

Sekapur Sirih

Pemuliaan Tanaman

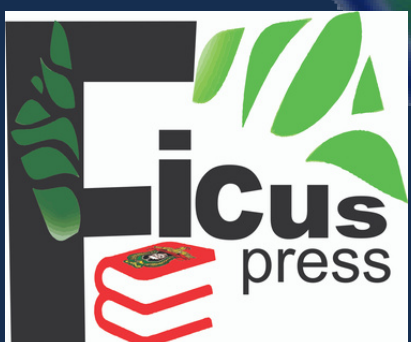


Sekapur Sirih

Pemuliaan Tanaman

Pemuliaan tanaman merupakan salah satu bidang ilmu genetika terapan yang sangat penting dan telah memberi sumbangan besar bagi peningkatan produksi tanaman melalui produk bibit unggul yang dihasilkan. Perkembangan teknologi yang sangat pesat saat ini mengakibatkan banyaknya metode-metode yang tercipta dalam bidang pemuliaan tanaman. Sekapur Sirih Pemuliaan Tanaman disusun dengan mempertimbangkan hal ini. Buku ini tidak hanya menguraikan prinsip dasar dari teknik pemuliaan tanaman, namun juga metode terkini yang dapat diterapkan dalam bidang pemuliaan, yakni rekayasa genetik. Buku ini juga mengulas secara mendalam terkait mutasi dan metode seleksi yang ada pada bidang pemuliaan tanaman.

Departemen Budidaya Pertanian
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10
Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin
Makassar 90245



SEKAPUR SIRIH PEMULIAAN TANAMAN

Asmiaty Sahur



Ficus press

2021

SEKAPUR SIRIH PEMULIAAN TANAMAN

Penulis : Asmiaty Sahur
Disain Sampul : Rizza Nurul Apprilia

Penerbit: Ficus Press
Departemen Budidaya Pertanian
Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10.
Makassar, 90245.
E-mail: ficuspress.unhas@gmail.com

Cetakan Pertama Bulan Februari 2021
x + 207; 175 x 235 mm
ISBN: 978-602-53837-7-9

© Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
Isi diluar tanggung jawab penerbit

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya bagi Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang yang telah memberikan limpahan karunia dan rahmatNya sehingga kita dapat melaksanakan aktivitas hidup dengan penuh keberkahan. Petunjuk dan tuntunan senantiasa kita harapkan dan gantungkan padaNya.

Penulis menyadari banyaknya kekurangan dalam penyusunan buku ini, baik dari segi penulisan, pemahaman, bahasa maupun isinya. Sehingga penulis secara terbuka menerima kritik dan saran dari berbagai pihak.

Penulis

DAFTAR ISI

BAB 1 SEJARAH PEMULIAAN TANAMAN	1
1.1 Sejarah Pemuliaan Tanaman	1
1.2 Pengertian Pemuliaan Tanaman	6
1.3 Ilmu dan Disiplin Terkait Pemuliaan Tanaman.....	7
1.4 Keahlian yang Dibutuhkan Pemulia Tanaman	10
1.5 Peranan dan Fokus Pemuliaan Tanaman	11
1.6 Pemuliaan Tanaman Dimasa Depan.....	12
BAB 2 PLASMA NUTFAH.....	33
2.1 Pusat Penyebaran Spesies Tanaman.....	33
2.2 Domestikasi, IntroDuksi dan Adaptasi Tanaman.....	35
2.3 Sumber Pembentukan Koleksi Plasma Nutfah.....	48
2.4 Konservasi Plasa Nutfah dan Pemanfaatannya	51
2.5 Pelestarian Plasma Nutfah di Dunia dan Indonesia.....	58
BAB 3 PERAN BIOTEKNOLOGI DALAM PEMULIAAN TANAMAN	65
3.1 Sejarah Rekayasa Genetika Tanaman	65
3.2 Pengertian Rekayasa Genetika	69
3.3 Kontribusi Rekayasa Genetika Dalam Bidang Pemuliaan Tanaman	74
3.4 Prinsip Dasar Rekayasa Genetika untuk Pemuliaan Tanaman.....	76
3.5 Pemanfaatan Teknik Kultur Jaringan dalam Pemuliaan Tanaman.....	81
3.6 Aplikasi Teknik MAS dalam Program Pemuliaan Tanaman	82
BAB 4 MUTASI.....	89
4.1 Pengertian Mutasi, Tipe-Tipe Mutasi dan Konsekuensinya Terhadap Struktur Genetik Sel/Organisme	89
4.2 Mutasi Alami dan Mutasi Buatan Serta Beberapa Jenis Mutagen	96
4.3 Manfaat Mutasi dalam Program Pemuliaan	103

BAB 5 MANDUL JANTAN.....	111
5.1 Pengertian Mandul Jantan	111
5.2 Sebab-Sebab Genetis Mandul Jantan.....	115
5.3 Pengertian Tanaman Hibrida	117
5.4 Efek Heterosis dan Penampilan Tanaman	121
5.5 Manfaat Mandul Jantan dalam Perakitan Tanaman Hibrida	125
BAB 6 PERKEMBANGBIAKAN ORGANISME.....	131
6.1 Pengertian dan Tujuan Perkembangbiakan Organisme	131
6.2 Reproduksi Sel Secara Seksual dan Aseksual	137
6.3 Konsekuensi Genetis Perkembangan Organisme Secara Seksual Maupun Aseksual	147
6.4 Metode Pemuliaan pada Tanaman Membiak Seksual atau Aseksual.....	148
BAB 7 VARIABILITAS GENETIKA DAN SELEKSI DALAM PEMULIAAN TANAMAN.....	161
7.1 Manfaat Variabilitas Genetika dalam Pemuliaan Tanaman.....	161
7.2 Pemahaman Genetika dalam Pemuliaan Tanaman	166
7.3 Macam-Macam Seleksi dalam Pemuliaan Tanaman	174
7.4 Metode Seleksi dalam Pemuliaan Tanaman	179
DAFTAR PUSTAKA.....	197

DAFTAR TABEL

<i>Nomor</i>	<i>Teks</i>	<i>Halaman</i>
Tabel 4.1	Tipe mutagen fisik, sumber, deskripsi, energi dan daya tembus	101
Tabel 7.1	Prosedur seleksi curah/bulk.....	185
Tabel 7.2	Prosedur seleksi pedigree	188
Tabel 7.3	Prosedur seleksi <i>single seed descent</i>	192

DAFTAR GAMBAR

<i>Nomor</i>	<i>Teks</i>	<i>Halaman</i>
Gambar 2.1	Malai dan Biji <i>Oryzae rufipogon</i>	42
Gambar 2.2	Malai dan Biji <i>Oryzae sativa</i>	42
Gambar 2.3	Peta <i>Center of Origin</i>	44
Gambar 2.4	Perbedaan respon atau kemampuan adaptasi tanaman budidaya (<i>crops</i>) dan tanaman liar (<i>wild plants</i>) terhadap kendala hara mineral.	49
Gambar 2.5	Tahap-tahap konservasi papaya dieng secara <i>in vitro</i>	55
Gambar 2.6	Alur pemanfaatan plasma nutfah padi	58
Gambar 3.1	Contoh produk transgenik.....	72
Gambar 4.1	Mutasi tanpa arti (<i>nonsense mutation</i>).....	93
Gambar 4.2	Mutasi Pergeseran Kerangka/perubahan rangka baca (<i>frameshift mutation</i>)	93
Gambar 4.3	Contoh penyinaran dengan radioaktif.....	98
Gambar 4.4	Mutagen kimia mutasi buatan.....	99
Gambar 4.5	Kolkisin pada jeruk dan semangka menghasilkan buah tanpa biji	99
Gambar 4.6	Tanaman anggur poliploid dengan jalan induksi kolkisin pada tanaman	100
Gambar 5.1	Pembuatan galur A (F1) dan konsititusi genetic galur	127
Gambar 5.2	Sistem galur mandul jantan pada padi	129
Gambar 6.1	Bagan Sistem Reproduksi.....	131
Gambar 6.2	Bunga dan penampang bunga pada tumbuhan berbiji tertutup Angiospermae beserta buah dan penampang buahnya	132
Gambar 6.3	Macam-macam biji yang penyebarannya melalui angin dan hewan	133
Gambar 6.4.	Beberapa cara perkembangbiakan vegetatif alami	134
Gambar 6.5	Diagram skematis proses reproduksi tumbuhan biji	

	Tertutup	136
Gambar 6.6	Reproduksi seksual dan aseksual	137
Gambar 6.7	Rhizoma	138
Gambar 6.8	Stolon	139
Gambar 6.9	Umbi lapis	140
Gambar 6.10	Umbi batang	140
Gambar 6.11	Kuncup Adventif Daun	141
Gambar 6.12	Cangkok	142
Gambar 6.13	Merunduk	142
Gambar 6.14	Stek.....	143
Gambar 6.15	Skema prosedur seleksi massa	149
Gambar 6.16	Ilustrasi seleksi galur murni menurut Johannsen	152
Gambar 6.17.	Prosedur umum seleksi galur murni.	153
Gambar 6.18	Skema metode seleksi pedigree	154
Gambar 6.19	Skema metode seleksi bulk.....	155
Gambar 6.20	Skema penurunan suatu sifat melalui perkawinan silang balik	156
Gambar 6.21	Prosedur metode silang dialel selektif.....	157
Gambar 7.1	Contoh Kegiatan Persilangan Tanaman	169
Gambar 7.2	Pembelahan Mitosis pada Hewan (a), Fungi dan Algae (b), dan Tumbuhan dan beberapa algae	170
Gambar 7.3	Prosedur Seleksi Massa Pada Tanaman Menyerbuk Sendiri	182
Gambar 7.4.	Prosedur Seleksi Galur Murni Pada Tanaman Menyerbuk Sendiri.....	184
Gambar 7.5	Prosedur Seleksi Curah/Bulk	187
Gambar 7.6	Prosedur Seleksi Pedigree/Silsilah.....	190
Gambar 7.7.	Prosedur Seleksi <i>Seed Descent</i>	193

BAB 1

SEJARAH PEMULIAAN TANAMAN

1.1. Sejarah Pemuliaan Tanaman

Pemuliaan tanaman dimulai setelah berkembangnya kegiatan pertanian oleh manusia primitif melalui gaya hidupnya dari memburu sampai menjadi penghasil tanaman-tanaman dan hewan-hewan terpilih/terseleksi. Perubahan gaya hidup dari pemburu menjadi produsen tidak terjadi mendadak tetapi melalui proses dan waktu yang panjang. Mereka mengubah tanaman-tanaman yang hidup bebas (termasuk tipe liar) menjadi tanaman yang dapat dibudidayakan, yang dikenal sebagai varietas-varietas budidaya. Selama periode tersebut manusia memburu, menemukan, menyeleksi dan menanam tanaman-tanaman terpilih.

Dari sejak jaman dahulu disadari atau tidak, petani telah memilih benih yang baik sebagai bahan tanam, untuk mendapatkan pertumbuhan yang baik serta hasil sebanyak mungkin. Usaha tersebut sebenarnya merupakan kegiatan pemuliaan tanaman, oleh karena itu perkembangannya tidak terlepas dari sejarah perkembangan pertanian. Di samping itu pula sejarah perkembangan pemuliaan tanaman juga sangat terkait dengan sejarah perkembangan genetika dan sitologi.

Bangsa Assyrians dan Babylonian pada permulaan tahun 700 sebelum masehi, telah melakukan persilangan buatan pada tanaman sejenis palem. Bangsa Indian Amerika telah melakukan kegiatan pemuliaan tanaman jagung, jauh sebelum Bangsa Kulit Putih datang ke Amerika. Hooke (1635-1703), Grew (1641-1712) dan Malpighi (1628-1694) merupakan pengguna mikroskop untuk pertama kali, dan merupakan pelopor penelitian permulaan dari sel. Millington

(1676) mengemukakan fungsi tepung sari, sebagai organ kelamin jantan (Crowder, 1981).

Sejarah perkembangan pemuliaan tanaman Menurut Hartatik (2007 hal.3-4) dapat diringkas sebagai berikut:

a. Sebelum tahun 1800

Sampai tahun 1800 baru sedikit peneliti yang berkecimpung dalam dunia pemuliaan tanaman. Tahun 1694 RJ Camerarius atau Rudolph Camerer dari Jerman pertama kali melaporkan reproduksi seksual pada tanaman. Melalui percobaannya, ia menemukan bahwa serbuk sari dari bunga-bunga jantan sangat diperlukan untuk terjadi pembuahan dan perkembangan biji pada tanaman betina. Pada tahun 1676 Millington dan Grew telah menemukan fungsi dari bakal biji, tepung sari dan kepala putik. Demonstrasi mengenai seks pada tanaman pertama kali ditunjukkan oleh Camerarius pada tahun 1694. Tahun 1716 seorang Amerika bernama Cotton Mather mengamati pengaruh tongkol jagung kuning yang tumbuh kemudian menghasilkan tongkol warna biru atau merah dengan biji-biji juga berwarna biru dan merah. Hasil ini terjadi dari penyerbukan silang secara alamiah.

b. Tahun 1800-1850

Pada masa ini ditemukan dasar-dasar teknik percobaan (*plant technic*) dan genetika kuantitatif. Penyelidikan makhluk hidup dimulai dari sel dan intinya. Inti sel ditemukan oleh Brown pada tahun 1831. Selanjutnya teori sel dikembangkan oleh Schleiden pada tahun 1837 dan Schwann pada tahun 1838.

c. Tahun 1851-1900

Pada masa ini terdapat perkembangan yang pesat. Tahun 1856 Louis Leveque de Vilmorin dari keluarga Vilmorin penangkar benih, mendirikan institut Vilmorin Breeding di Prancis sebagai instituti pertama yang berdedikasi pada bidang pemuliaan tanaman, dan juga menghasilkan kultivar-kultivar baru. Dia menggunakan teknik pemuliaan, yang disebut uji Turunan (menanam turunan dari hasil suatu persilangan untuk tujuan

evaluasi genotipe tipe tetua) untuk meningkatkan kandungan gula dari bit gula liar. Strasbuser kali pertama memperoleh gambaran mengenai inti secara lengkap pada tahun 1875. Istilah gamet dan kromosom diusulkan pada tahun 1877. Penggunaan matematika (konsep simpangan baku) pada studi genetika diperkenalkan oleh Pearson (1898). George Mendel (1866-1900) mencetuskan dasar-dasar ilmu genetika dan pemuliaan tanaman.

d. Tahun 1901-1920.

Berkembangnya penelitian dan hukum Mendel memacu dikembangkannya sitogenetika dan pemuliaan. Istilah genom untuk pasangan kromosom diperkenalkan tahun 1916. Pada tahun yang sama Shull melakukan silang dalam (*inbreeding*) pada tanaman jagung di New York dan menemukan adanya fenomena heterosis. Peneliti-peneliti berikutnya menghasilkan jagung hibrida yang menunjukkan keberhasilan pada tanaman menyerbuk silang. Vigor hibrida pada jagung ini selanjutnya dimanfaatkan pada beberapa tanaman lain seperti sorghum, bawang sugarbeet, tembakau dan bunga matahari. Harry (1912) mengusulkan penggunaan Uji Chi Square.

e. Tahun 1921-1940.

Ilmu genetika semakin berkembang. Misiyama (1924) membuat laporan penelitian yang lebih mendalam tentang sitogenetik dan avena. Penelitian biometrik lebih ditingkatkan. Rancangan percobaan dan analisis ragam diterangkan dalam buku yang dipublikasikan oleh Love (1936).

f. Tahun 1941-1960.

Dengan semakin berkembangnya ilmu pengetahuan, maka semakin banyak para peneliti mengemukakan hal-hal yang baru, misalnya Walker (1953) menulis ringkasan penelitian ketahanan penyakit padi tanah pada tanaman sayuran, sejumlah metode pemuliaan tanaman telah dikembangkan. Atkins dan Mengeldorf (1942) mengusulkan pengguna galur isogenik untuk membandingkan pengaruh dan sifat-sifat alternatif tanaman.

g. Akhir abad -20.

Perkembangan ilmu biologi molekuler dan lainnya telah memberi peluang pengembangan program perbaikan tanaman pada tingkat sel bahkan DNA. Perakitan kultivar baru dilakukan melalui rekayasa genetika

Meskipun persilangan laporan telah menjadi langkah pemuliaan yang sederhana di Mesir, India, dan Cina, pada kira-kira pertengahan abad tujuh belas, Koelreuter antara tahun 1755-1806 melakukan banyak usaha untuk melakukan persilangan. Melalui usahanya, pada tahun 1760 persilangan pertama dilaporkan berhasil pada tembakau. Koelreuter cafe pentingnya persilangan dalam pemuliaan dan menunjukkan manfaatnya dalam pemuliaan yang kemudian dikenal dengan heterosis. Pada akhir abad ke-18, Knight telah menyilangkan creis (*Pisum sativum*) dan mengembangkan varietas baru yang mampu berkembang luas, sedangkan Shirreff pada awal abad ke-19 mampu memilih mutan dan merawat dalam beberapa persilangan, bahkan Shirreff juga menyilangkan beberapa tanaman serealia. Pemuliaan tanaman saat itu lebih berkembang dengan kegiatan Hallet dalam program pemilihan banyak kerabat (banyak pilihan keluarga). Berkat program pemuliaan, tanaman berubah nyata dalam rentang waktu yang relatif sangat pendek. Pada saat bit gula digunakan sebagai bahan baku untuk menghasilkan gula pada akhir abad ke-18, rendemen gulanya saat itu hanya 6%. Pada pertengahan abad ke-19, karena penggunaan prinsip pemilihan individu yang mengikuti dengan uji keturunan yang sampai sekarang masih banyak digunakan, rendemen gula naik menjadi 8%.

Hasil usaha pemuliaan tanaman yang sangat intensif dalam selang waktu kira-kira 50 tahun menyebabkan rendemen gula meningkat menjadi 16% pada tahun 1920. Saat ini rendemen bit gula terbaik mencapai lebih dari 20%. Capaian yang juga dihasilkan oleh Rimpau pada tanaman biji-bijian. Pada tahun 1888, Rimpau berhasil merakit spesies biji-bijian baru yang dikenal dengan nama triticales. Banyak penemuan tata cara pemuliaan tanaman yang telah dikembangkan, bahkan saat ini beberapa di antaranya masih digunakan. Namun demikian, beberapa penemuan tersebut lebih banyak didasari pada gerak hati belaka. Peneliti pertama yang memberikan dasar teori pemuliaan, baik tanaman maupun hewan, adalah Charles Darwin dalam bukunya *On the Origin of Species by*

Means of Natural Selection yang diterbitkan pada tahun 1859 yang sangat terkenal dengan Teori Evolusi. Darwin mampu menjelaskan faktor utama yang mempengaruhi perubahan dalam makhluk hidup, yaitu keragaman (variabilitas), kebakaan (hereditas), dan pemilihan (seleksi) (Taryono, 2016. Hal 3-4).

Faktor penentu lain yang mendukung perkembangan tanaman berdasar keilmuan adalah penemuan kembali hukum pewarisan (hukum hereditas) yang dirumuskan oleh Mendel tahun 1865 oleh Hugo de Vries dan kawan-kawan pada tahun 1900 yang mengikuti perkembangan genetika pada awal abad ke-20. Genetika merupakan dasar teori pemuliaan dan produksi benih. Untuk mengendalikan keturunan, keragaman, dan perkembangan individu tanaman, hukum pewarisan sifat harus benar-benar diterapkan dan pada saat yang sama agar varietas baru dirakit, teori dan praktik pemuliaan serta cara menilai bahan pemuliaan harus dikuasai. Pemuliaan modern sebagai suatu ilmu mendasarkan diri pada kajian dan teori yang telah berkembang dalam waktu yang sangat lama. Kalau pada zaman dahulu, kegiatan pemuliaan harus dikerjakan dengan pengalaman, saat ini kegiatan pemuliaan tidak mungkin dilepaskan dari hukum pewarisan yang memberikan dasar dalam meningkatkan daya hasil dan merakit jenis unggul. Setelah ditemukan kembali hukum Mendel, keturunan dan keragaman menjadi kaidah-kaidah penting dalam pemuliaan. Sampai pertengahan abad ke-19, tata cara pemilihan yang umum digunakan sebagai pemilihan massa, yaitu saat benih individu terbaik yang dikumpulkan dan ditanam bersama, dalam perkembangannya, pemulia memilih individu-individu terbaik dan benihnya yang ditanam terpisah. Johannsen antara tahun 1903-1909 yang dilakukan pada tanaman, yaitu menyerbuk sendiri untuk merakit varietas baru dari populasi yang secara genetik sangat beragam (Taryono, 2016. Hal 4).

Keberhasilan dalam varietas baru dengan tata cara ini tentu saja berdasarkan keragaman yang terdapat dalam populasi tersebut. Dalam rangka membentuk keragaman dalam suatu sifat, pemulia dalam perkembangannya mengembangkan tata cara baku, yaitu persilangan, karena diilhami oleh penelitian hasil Mendel yang menunjukkan bahwa bahwa suatu gamet dari tetua jantan dan betina bergabung, maka gen yang terdapat dalam gamet tersebut akan bergabung membentuk keragaman baru. Prinsip gabungan genetik (*genetic recombination*) menjadi perhatian dalam kegiatan pemuliaan. Prinsip gabungan yang dapat digunakan dalam menggabungkan sifat-sifat berharga yang dimiliki

antar varietas dalam spesies yang sama. Bentuk baru karena gabungan sifat sebagai hasil yang dikenal sebagai keragaman gabungan (*combining variability*). Gabungan genetik saat ini menjadi dasar pemuliaan modern dan persilangan tetap menjadi tata cara baku dalam bahan baku varietas baru. Pencarian letak gen dalam kromosom dan pemetaan kromosom yang dikembangkan berdasarkan hukum Mendel memberikan peluang untuk menggabungkan gen secara tepat atau merekayasa tanaman baru sesuai dengan rancangan. Hasil analisis genetik secara nyata mampu diterapkan dalam pemuliaan tanaman, contoh pada tanaman menyerbuk silang. Berdasarkan analisis genetik yang mampu dikembangkan tata cara yang efektif untuk merakit varietas unggul baru karena ditemukannya heterosis, jantan mandul, dan ketidaksesuaian genetik (*genetic incompatibility*) dalam persilangan. Teknologi mutasi memberikan peluang pemulia mengubah bahan genetik yang terdapat dalam jasad yang menggunakan induksi mutasi buatan. Stubbe tahun 1967 menyinari biji tomat pembohong dengan sinar-x dan berhasil mendapatkan jenis tomat baru yang berbuah lebih besar (Taryono, 2016. Hal 5).

1.2. Pengertian Pemuliaan Tanaman

Pemuliaan tanaman (*plant breeding*) adalah perpaduan antara seni (*art*) dan ilmu (*science*) dalam merakit keragaman genetika suatu populasi tanaman tertentu menjadi lebih baik atau unggul dari sebelumnya. Pemuliaan tanaman sebagai seni terletak pada kemampuan dan bakat para pemulia tanaman dalam merancang (mendesain) dan melakukan proses seleksi (memilih) bentuk-bentuk tanaman baru yang ingin dikembangkan yang sesuai dengan kebutuhan dan selera masyarakat pemakainya (petani dan pasar) serta juga sesuai dengan tantangan permasalahan yang sedang dan akan berkembang dalam waktu 3 – 10 tahun ke depan atau lebih (Syukur, et al., 2012 Hal. 5).

Jadi memilih (seleksi) dan memelihara (domestikasi) merupakan metode pemuliaan tanaman yang lahir pertama kali. Walaupun didasarkan atas seni, namun hasil pemuliaan tanaman di jaman dahulu cukup menakjubkan. Sejak lahirnya teori Seleksi Alam dan Evolusi yang dikemukakan oleh Darwin (1858), dan diketemukannya prinsip-prinsip penurunan sifat pada organisme oleh Gregor Mendel (1866), para ahli banyak melakukan penelitian untuk mendapatkan varietas baru, berdasarkan atas seleksi keturunan. Dengan

dukungan ilmu-ilmu lain seperti: Botani, Fisiologi, Morfologi, Taksonomi, Sistematik, Hama dan Penyakit, Statistik, Biokimia dan lain-lain, pemuliaan tanaman sebagai ilmu berkembang dengan pesat.

Mulai abad ke XX telah banyak dibangun lembaga penelitian pemuliaan tanaman, banyaknya terbit majalah tentang pemuliaan tanaman, dan ilmu pemuliaan tanaman banyak diajarkan di perguruan tinggi. Pemuliaan tanaman sebagai ilmu telah berkembang berdasarkan teori-teori dan hasil riset yang disusun dengan baik. Akhirnya pemuliaan tanaman didefinisikan sebagai suatu metode yang secara sistematis merakit keragaman genetik menjadi suatu bentuk yang lebih bermanfaat bagi manusia. Seleksi yang artinya memilih dilakukan pada setiap tahap program pemuliaan, seperti: memilih plasma nutfah yang akan dijadikan tetua, memilih metode pemuliaan yang tepat, memilih genotipe yang akan diuji, memilih metode pengujian yang tepat, dan memilih galur yang akan dilepas sebagai varietas.

1.3. Ilmu dan Disiplin Terkait Pemuliaan Tanaman

Meskipun genetika telah menjadi dasar dalam pemuliaan, karena permasalahan dalam pertanian bukan hanya meningkatkan produktivitas, maka pemuliaan juga membutuhkan bidang kajian yang lain, contohnya botani, fisiologi, perlindungan tanaman, statistik, dan biokimia. Sejak dikembangkan tanaman transgenik tahun 1983, pemulia tampak semakin tergantung pada bidang keilmuan yang lain, tidak hanya yang telah mempengaruhi, tetapi juga mikrobiologi dan biologi molekuler (Taryono, 2016. Hal 5).

Pekerjaan pemuliaan tanaman untuk merakit suatu varietas unggul merupakan pekerjaan berkelanjutan, bahkan dapat overlapping dengan program pemuliaan yang lain. Tahap pekerjaan pemuliaan yang satu sudah dibarengi dengan tahap yang lain. Jadi, pekerjaan pemuliaan tanaman tidak berhenti setelah suatu varietas unggul berhasil. Suatu hal yang harus diingat dan diperhatikan dalam menyusun program sebelum pekerjaan pemuliaan dilaksanakan adalah bahwa varietas unggul yang akan dirakit maka harus dapat diterima oleh para petani sebagai konsumen. Suatu varietas unggul baru akan kurang berarti bila tidak diterima atau diterima oleh konsumen. Perlu diingat pula bahwa kehendak atau selera konsumen dapat berubah dari satu masa ke masa berikutnya. Dengan demikian, pemulia tanaman dituntut untuk dapat

mengantisipasi dan memprediksinya sehingga kemungkinan perubahan tersebut sudah dapat dimasukkan ke dalam program pemuliaan sejak awal. Pada suatu varietas unggul harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut:

1. mempunyai kemampuan berproduksi tinggi;
2. mempunyai kualitas hasil panen yang baik; dan
3. mempunyai kepastian hasil panen.

Jadi, varietas unggul kualitas memiliki jaminan dalam hal kuantitas dan kuanlitas hasil yang diberikan. Persyaratan tersebut akan diatur secara khusus, tergantung pada komoditas tanaman, produk yang dimanfaatkan dari tanaman, dan negara atau wilayah tempat tanaman itu dimuliakan sesuai dengan situasi dan kondisi serta kepentingannya. Jagung varietas unggul, misalnya, tinggi tanaman atau tinggi tongkol di negara kita tidak menjadi masalah penting. Namun, di negara maju yang segala sesuatunya memakai mesin, keseragaman tinggi tanaman atau tongkol merupakan hal penting yang harus diperhatikan oleh pemulia tanaman jagung (Mangoendidjojo, 2012. Hal 2).

Salah satu sifat yang dimiliki varietas unggul tanaman padi di negara kita adalah mempunyai umur pendek. Sebab, padi yang berumur pendek akan menaikkan indeks panen dan produksi per satuan waktu dan luas. Dalam pemuliaan tanaman, usaha untuk memperoleh suatu varietas unggul memerlukan pengetahuan mengenai sifat-sifat tanaman. Misalnya, tanaman padi yang tanggap terhadap pemupukan dosis tinggi biasanya mempunyai daun yang lebih hijau kelam dan daun bendera yang tegak; atau tanaman jagung yang berproduksi tinggi pada umumnya akan mengikuti umur tanaman yang panjang. Jadi, usaha pemuliaan tanaman memerlukan bantuan ilmu-ilmu yang lain, misalnya genetika, botani, agronomi, matematika, statistika, ilmu hama dan penyakit, dan sebagainya. Genetika mempunyai peran penting karena ilmu pengetahuan tentang seluk-beluk pewarisan sifat. Dari botani dapat diketahui tidak jauh hubungan kekerabatan dari tanaman yang akan dimuliakan (khususnya bila dengan persilangan), sifat-sifat morfologi yang terkait dengan sifat fisiologinya, dan sebagainya. Matematika dan statistik diperlukan untuk membantu mengadakan perhitungan dan evaluasi di lapangan, apakah suatu sifat tertentu lebih dikendalikan oleh faktor keturunan lingkungan, dan seterusnya.

Contoh klasik di negara kita adalah hasil pemuliaan tanaman tebu (Mangoendidjojo, 2012. Hal 3).

Sebelum penyakit muncul dan menyerang tanaman tebu, varietas tebu yang banyak ditanam adalah tebu Cirebon Hitam dan tebu Jepara Putih. Tetapi, setelah penyakit yang menyerang hebat, Balai Penelitian Tebu pada waktu itu berusaha mencari varietas yang tahan dengan membuat persilangan antara varietas liar *Saccharum spontaneum* dan varietas yang sudah dibudidayakan, yaitu *Saccharum officinarum*. Tebu *S. spontaneum* mempunyai batang yang keras dan banyak rumpun, sedangkan tebu *S. officinarum* mempunyai rasa manis. Dari persilangan dua varietas tersebut diperoleh dari yang menonjol adalah POJ-2878. Varietas ini mampu menaikkan produksi gula negara kita sampai kira-kira 25%. Contoh lain adalah tanaman padi. Sebelum perang kemerdekaan, tanaman padi di negara kita mendapat serangan penyakit yang berat dan mengakibatkan kemerosotan produksi yang besar. Kemudian, Balai Penelitian Pertanian pada waktu itu membuat persilangan-persilangan antara varietas Cina dan varietas Lati Sail. Dari persilangan ini dihasilkan padi Bengawan, Peta, Intan, Mas, Cahaya, dan Fajar. Sampai dengan tahun 1960-an, dari hasil pemuliaan tanaman padi dikenal pula varietas Remaja, Dara, Synthia, Bathara, dan Arimbi (Mangoendidjojo, 2012. Hal 4).

Pada sekitar tahun 1965-an, dikenal adanya varietas padi PB-5 dan PB-8 yang merupakan varietas introduksi. PB adalah singkatan dari Peta Baru yang sebelum masuk ke negara kita dikenal sebagai IR-5 untuk PB-5 dan IR-8 untuk PB-8. Kedua varietas tersebut adalah hasil pemuliaan dari Lembaga Penelitian Padi Internasional atau IRRI (*International Rice Research Institute*) yang berkedudukan di Filipina. PB-5 keturunan dari persilangan antara Peta (dari Indonesia) dan padi Tangkai Rotan (dari Malaysia). Sedangkan PB-8 merupakan hasil persilangan antara peta (dari Indonesia) dan padi Deo Geo Woo Gen (dari Taiwan). Kedua varietas ini sangat responsif terhadap pemupukan dan yang mampu berproduksi tinggi serta mempunyai andil yang besar dalam mendukung revolusi hijau. Dalam pelaksanaannya, pemuliaan tanaman pada awalnya dilakukan dengan metode yang sangat sederhana, kemudian berkembang seiring dengan kemajuan ilmu dan teknologi (Mangoendidjojo, 2012. Hal 4).

Pada kenyataan, pemuliaan tanaman dapat dilakukan dengan: (1) melakukan pemilihan terhadap suatu populasi tanaman yang sudah ada, (2)

melakukan kombinasi sifat-sifat yang diinginkan (secara generatif dan vegetatif; (3) melakukan penggandaan kromosom dan / atau mutasi sebelum melakukan metode pemilihan, dan (4) melalui rekayasa genetika Metode pemilihan merupakan metode yang tertua Metode ini dilakukan dengan cara yang sangat sederhana, kemudian berkembang sesuai dengan kemampuan manusia. Cara ini pada pengelolaan hanya memilih tanaman-tanaman yang unggul dari populasi yang sudah ada. Dengan ditemukannya metode pemilihan merupakan metode yang tertua. Metode ini dilakukan dengan cara yang sangat sederhana, kemudian berkembang sesuai dengan kemampuan manusia. Cara ini pada kenyataan hanya memilih tanaman- tanaman yang unggul dari populasi yang sudah ada. Dengan ditemukannya hukum Mendel, metode pemuliaan juga berkembang. Persilangan dilakukan dengan maksud untuk menggabungkan sifat-sifat baik kedua orang tua. Kemudian, orang dapat menggandakan jumlah kromosom atau membuat perubahan genetik dengan menggunakan zat-zat kimia atau perlakuan tertentu. Rekayasa genetika perkembangan merupakan metode pemuliaan yang paling baru. Para ahli dapat melakukan kloning DNA, video protoplas, dan lainnya (Mangoendidjojo, 2012. Hal 5).

1.4. Keahlian yang Dibutuhkan Pemulia Tanaman

Pemuliaan tanaman adalah kegiatan mengubah susunan genetik individu maupun populasi tanaman untuk suatu tujuan. Pemuliaan tanaman kadang-kadang disamakan dengan penangkaran tanaman, kegiatan memelihara tanaman untuk memperbanyak dan menjaga kemurnian; pada kenyataannya, kegiatan penangkaran adalah sebagian dari pemuliaan. Selain melakukan penangkaran, pemuliaan berusaha memperbaiki mutu genetik sehingga diperoleh tanaman yang lebih bermanfaat.

Pelaku pemuliaan tanaman disebut pemulia tanaman. Karena pengetahuannya, seorang pemulia tanaman biasanya juga menguasai agronomi dan genetika. Tugas pokok seorang pemulia tanaman adalah merakit kultivar yang lebih baik, memiliki ciri-ciri yang khas dan lebih bermanfaat bagi penanamnya.

Pemulia tanaman (*plant breeder*) yang akan melakukan perbaikan tanaman secara genetik haruslah menguasai ilmu genetika. Itulah sebabnya, seorang pemulia tanaman sering juga disebut ahli genetika, tetapi tidak

sebaliknya. Ahli genetika belum tentu ahli pemuliaan tanaman. Penguasaan terhadap ilmu genetika adalah syarat utama bagi seseorang yang ingin berkecimpung dalam pemuliaan tanaman (Malau, 2005. Hal 9).

Botani atau ilmu tumbuh-tumbuhan adalah ilmu yang mempelajari tentang tumbuh-tumbuhan, jamur, dan alga, dengan mikologi dan fikologi berada di dalam cabang ilmu botani. Ahli botani, khususnya agronomi, juga mempelajari bagaimana tanaman menghasilkan makanan untuk populasi manusia dan bagaimana untuk meningkatkan hasil. Pekerjaan mereka adalah penting dalam kemampuan manusia untuk memberi makan dunia dan memberikan ketahanan pangan untuk generasi mendatang, misalnya melalui pemuliaan tanaman.

Agronomi adalah ilmu dan teknologi dalam memproduksi dan memanfaatkan tumbuhan untuk bahan pangan, bahan bakar, serat, dan aplikasi lingkungan seperti reklamasi. Agronomi merupakan ilmu yang mempelajari budidaya tanaman dengan produksi yang optimum dan kelestarian yang berkelanjutan. Untuk mencapai tujuan tersebut diperlukan disiplin ilmu Pemuliaan Tanaman, untuk menghasilkan tanaman terbaik pada berbagai kondisi. Pemuliaan tanaman telah meningkatkan hasil dan nilai nutrisi dari berbagai jenis tanaman yang ditanam di seluruh dunia, termasuk jagung, kacang kedelai, dan gandum. Pemuliaan tanaman juga telah mengembangkan jenis tanaman baru yang merupakan hasil persilangan yang disebut dengan tanaman hibrida.

1.5. Peranan dan Fokus Pemuliaan Tanaman

Sebelum program pemuliaan dilakukan, perlu penentuan tujuan program pemuliaan. Untuk menentukannya, pemulia dapat melihat masalah serta harapan produsen dan konsumen. Tujuan pemuliaan tanaman secara lebih luas adalah memperoleh atau mengembangkan varietas agar lebih efisien dalam penggunaan yang tidak hara dan tahan terhadap cekaman biotik dan abiotik sehingga menghasilkan hasil tertinggi per satuan luas dan menguntungkan bagi penanam serta pemakai (Syukur, et.al 2012. Hal 6).

Dengan demikian, tujuan pemuliaan tanaman menurut Syukur et.al (2012 hal 6) dapat diringkas sebagai berikut.

1. Untuk mendapatkan tanaman berdaya hasil tinggi dalam ukuran, jumlah, dan kandungan.

2. Untuk mendapatkan tanaman yang tahan terhadap cekaman biotik (tahan serangan hama dan penyakit) dan abiotik (toleran tanah masam, salin, dan lain-lain).
3. Untuk mendapatkan tanaman yang berkualitas baik: rasa, aroma, warna, ukuran, dan lain-lain. Hal ini berhubungan dengan pola makan, adat istiadat, dan modernisasi.
4. Untuk mendapatkan tanaman yang mempunyai nilai estetik.
5. Perbaikan potensi hasil dilakukan dengan merakit varietas unggul baru yang mempunyai kemampuan lebih tinggi dalam menghasilkan biomassa dan mengalirkan biomassa ke bagian yang dapat dipanen.
6. Perbaikan kualitas hasil dilakukan dengan varietas yang mempunyai kandungan nutrisi yang lebih baik, kandungan antinutrisi yang lebih rendah, rasa yang lebih sesuai, bentuk dan warna yang lebih menarik, serta daya simpan yang lebih baik.
7. Perbaikan resistensi terhadap hama dan penyakit atau perbaikan tingkat resistensi dari varietas yang telah diterapkan untuk melindungi hasil panen dari kerusakan akibat serangan hama dan penyakit dan pengurangan penggunaan pestisida.
8. Perbaikan varietas untuk toleransi terhadap cekaman lingkungan abiotik yang ditujukan untuk tanaman yang tumbuh pada lahan marjinal dan mengurangi penggunaan input air dan pupuk.

1.6. Pemuliaan Tanaman Dimasa Depan

Secara historis-empiris, pertanian modern telah dimulai sejak perkebunan teh, tebu, kina, karet dan kakao dikembangkan penguasa kolonial di Nusantara. Pertanian modern didefinisikan oleh FAO (2006) sebagai "model pertanian skala luas atau sedang yang berorientasi pasar, yang padat modal, yang operasinya didukung dengan mekanik, yang intensif menggunakan input eksternal yang ditujukan untuk mengoptimalkan produksi, produk dan proses-proses agribisnis yang terkait dari hulu sampai hilir. Pertanian modern adalah pertanian yang dikendalikan oleh inovasi dan investasi global (Setiawan, 2018. Hal 66).

Perkembangan pemuliaan tanaman berdasarkan teknologi menurut (Setiawan, 2018. Hal 66-91):

1. Pertanian Modern 1.0

Pertanian modern 1.0 tidak dilabel pembangunan (*developmentalism*), karena praktiknya kental dengan aroma imperialisme (penjajahan) yang bertentangan dengan humanisme dan warna penjajahan yang eksplisit memiskinkan, inklusi dan mengeksploitasi sumberdaya manusia dan sumberdaya alam Nusantara. Pada masa ini, teknologi pertanian modern (terutama alat mesin produksi, komoditi dan input kimia) yang dihasilkan industri merupakan sarana yang setara dengan senjata, alat untuk membunuh (fitrah, karakter, budaya, identitas, varietas, teknologi lokal), mengeksploitasi dan mengendalikan negara jajahan. Pertanian modern jilid 1 benar-benar dikuasai, dioperasikan dan dikendalikan oleh pihak pemerintah dan perusahaan kolonial. Tidak ada proses difusi dan adopsi inovasi kepada dan oleh pribumi. Meskipun pribumi dilibatkan, praktiknya lebih bersifat tanam paksa (*cultuurstelsel*), menanam tetapi tidak pernah menikmati, karena seluruh hasil dibawa penjajah. Memproduksi, memanen dan mengolah (teh, kopi, kakao, tebu, kina dan lainnya) dilakukan, tetapi tidak merasakan dan memasarkan. Proses ini berjalan berabad-abad, menghancurkan tatanan dan kebudayaan. Pasca kemerdekaan, bisnis pertanian modern 1.0 yang lama berada di dalam genggamannya penguasa kolonial tidak serta berpindah tangan, berbagai kesepakatan diciptakan agar pengusahaan dan penguasaan perkebunan dipegang menciptakan kolonial (neokolonial). Ironi, hingga zaman orde baru berlalu, tidak sedikit perkebunan yang masih dikuasai asing, yang penguasaan dan pengusahannya "diwariskan dan dilegalkan" kepada menciptakan kolonial.

Pada masa pertanian modern 1.0, pertanian masyarakat yang didominasi sawah (terutama di pulau Jawa, Bali dan NTB) dan didominasi ladang di luar pulau Jawa, sengaja tidak diganggu oleh penguasa kolonial. Bukan karena mempertahankan dualisme ekonomi dilukiskan ekonom Belanda J.H Boeke, tetapi sengaja diciptakan agar pertanian yang sudah menjadi tradisi tetap terjamin, sehingga pangan tercukupi dan sistem usaha kolonial tidak terganggu. Witzenburg (1936), Van der Giessen (1946) dan Van Zetten Vander Meer (1979) menegaskan bahwa jaringan irigasi teknis sengaja dibangun secara besar-besaran oleh penguasa kolonial untuk menciptakan kelancaran usahatani petani, sehingga tercipta kondisi petani yang nyaman berusaha, nyaman bekerja di perkebunan Belanda. Boleh dikatakan, dualisme ekonomi zaman kolonial tidak

bersifat alami, tetapi sengaja diciptakan permanen agar "dengan kenyamanan", pencitraan Belanda tercipta, usaha ekonomi lokal tetap terjaga (stagnan) dan pasokan buruh murah untuk perkebunan berkelanjutan. Sebagai orang luar, J.H Boeke hanya melihat ekonomi Indonesia secara "apa adanya" tetapi tidak. (Atau perumahan) "ada apanya" dibalik kenyataan tersebut dan dibalik metafor "teori dualismenya". Mirip seperti "fenomena buruh petik, buruh sadap, buruh sawit" yang difasilitasi dan dicukupi kebutuhannya (tinggal di bedeng-bedeng, pulang-pergi dijemput, diberi upah dan diberi sedikit lahan untuk usahatani), tetapi tujuh turunan kehidupannya diciptakan stagnan (permanen), sehingga dengan demikian, pasokan tenaga kerja untuk perkebunan berkelanjutan.

Menjelang era kemerdekaan, seiring dengan menyebarnya penentangan terhadap penjajahan (imperialisme) di seluruh dunia, praktik pertanian modern dalam bentuk tanam paksa pun turut ditentang, karena adanya penjajahan dan penindasan. Bersama itu, pasar internasional komoditi pertanian modern 1.0 mengalami kontraksi, bahkan turut memacu depresi ekonomi. Bagi negara-negara maju dan korporasi internasional, penentangan bangsa-bangsa di dunia atas penjajahan fisik, tanam paksa dan penjarahan sumberdaya alam, tidak lantas membuat mereka "berpangku tangan". Seiumlah kreasi dan lantas membuat mereka "berpangku tangan". Kreasi dan pendekatan alternatif yang lebih halus (kamufase) telah lebih awal dipersiapkan. Model penjajahan direvolusi dari yang bersifat fisik dan komoditi ke penjajahan ekonomi (utang), inovasi, teknologi, industri, informasi dan sebagainya. Melalui pendekatan revolutif, pertanian NDK dikendalikan dengan "bantuan" berbunga-bunga dan inovasi teknologi yang didatangkan dari NDP. Tentu prosesnya dilakukan secara halus dan dengan tangan terbungkus (tangan tak terlihat), sehingga praktiknya terlihat manusiawi, padahal pengendalian, penghisapan sumberdaya dan eksploitasi NDK yang berkelanjutan.

Melalui pendekatan revolutif, terminologi kolonisasi dieliminasi dan diganti dengan istilah yang lebih dikenal dan dicitrakan lebih berkemanusiaan, yakni pembangunan (*developmentalism*). Melalui isme-pembangunan, negara-negara industri dan korporasi-korporasi pertanian internasional yang menjadi pelaku imperialisme, seolah-olah memiliki kepedulian, pemihakan dan balas kepada negara-negara bekas jajahan (dunia ketiga). Senjata api direduksi, diganti dengan teknologi, pinjaman dan tenaga ahli. Ironi, padahal sejatinya

pembangunan merupakan bentuk neoimperialisme atau kolonisasi lanjut. Gayung bersambut, berbagai program (proyek) pembangunan didesakan neo kolonial ke negara ketiga melalui berbagai skema dan skema yang telah terlebih dahulu dirancang negara-negara maju dan badan-badan dunia (sarana imperialisme baru). Untuk menjustifikasinya, berbagai paradigma, teori, model, metode dan strategi pembangunan berbagai pemikir dan pendidikan tinggi. Salah satu program pertanian modern yang dioperasikan NDP di NDK adalah revolusi hijau (revolusi hijau).

2. Pertanian Modern 2.0

Pinjaman bermodal (baca: utang) dan inovasi benih "ajaib", pupuk kimia, pestisida sintetis, kredit, irigasi, alat mesin pertanian modern dan kelembagaan pendukung (penyuluh, kelompok tani), revolusi hijau disambut antusias oleh negara-negara dunia ketiga dan negara-negara yang sedang berkembang, termasuk Indonesia yang pada waktu itu sedang dihadapkan pada masalah masalah krisis pangan dan krisis politik. Kabar percaya revolusi hijau di India, Filipina, Pakistan, Bangladesh, Tiongkok dan Meksiko pada tahun 1967-1970 telah "memukau" banyak negara "miskin pangan" untuk segera mengadopsinya. Melihat banyak yang terperangkap, maka sewaktu-waktu setelah itu, negara-negara maju dan korporasi internasional (TNCS, MNCS) mulai melebarkan dan maju dan korporasi internasional (TNCS, MNCS) mulai melebarkan dan melebarkan "hegemoninya" melalui Pemesanan *Consultative Group for International Agriculture Research* (CGIAR). Melalui CGIAR, berbagai bantuan dan utang dikucurkan kepada berbagai pusat penelitian internasional, seperti International Rice Research Institute di Filipina dan International Maize Wheat Improvement Center (IMWIC) di Meksiko. Lembaga dunia lainnya yang dijadikan kendaraan oleh entitas hegemoni adalah *Food and Agriculture Organization* (FAO). Ironi, hampir dipastikan, semua negara pengadopsi tidak menyadari modus dibalik revolusi hijau, modus dibalik riset-riset, modus dibalik kucuran-kucuran pinjaman (utang) dan komufase-komufase korporasi internasional yang menjadi produsen berbagai masukan modern. Indonesia merupakan salah satu negara yang masuk dalam kerangka revolusi hijau atau "Pertanian Modern 2.0". TNCS atau MNCS yang beroperasi di Indonesia sejatinya merupakan metamorfosis (jika tidak disebut reinkarnasi) dari VOC.

Berbeda dengan pertanian modern 1.0 yang lama dioperasikan penjajah kolonial di Nusantara, Pertanian Modern 2.0 yang mengadopsi Indonesia sejak awal 1970an lebih fokus pada modernisasi produksi pertanian non perkebunan, terutama pangan (padi, jagung, kedelai, ubi kayu), hortikultura (terutama sayuran datarang) tinggi dan buah-buahan), peternakan (terutama ayam ras), perikanan (terutama tambak) dan kehutanan. Sawit yang diuji coba penguasa kolonial pada tahun 1916 dan dilembagakan sebagai perkebunan pada tahun 1923, menjadi senjata utama yang dilindungi sistem pembangunan modern di Indonesia. Meskipun sawit tumbuh subur sewaktu-waktu setelah Indonesia pelaporan revolusi hijau, namun sengaja dibiaskan dengan komoditas pangan dan hortikultura yang dikendalikan korporasi. Meskipun perkebunan sawit semakin masif dan menjadi mode neoimperialisme juga, namun menjadi, karena eksistensinya lebih dikendalikan oleh "cukong-cukong" Singapura dan Malaysia yang eksis di luar dominasi "entitas korporasi (TNCS, MNCS)" yang menjadi sutradara program revolusi hijau. Seperti halnya pertanian modern 1.0 (perkebunan), Pertanian Modern 2.0 ini membawa banyak perubahan di Indonesia. Harus masuk dalam hitungan abad implementasi Pertanian Modern 2.0 di Indonesia, pembangunan "semu" pembangunan pertanian terlihat pada berbagai aspek, terutama pada sisi inovasi teknologi pertanian yang menjadi muatan utama modernisasi (baca: industrialisasi) pertanian. Inovasi teknik olah tanah, teknik budidaya, benih unggul, pupuk kimia, pestisida sintetis, alat mesin produksi, alat mesin pengolahan, kredit, jaringan irigasi, kelompok tani, lembaga penyuluhan, agroindustri, koperasi dan pasar, telah terbukti mampu meningkatkan produktifitas pertanian Indonesia hingga beberapa kali lipat. Jika pada periode 1970-1985 Pertanian Modern 2.0 fokus pada padi dan kedelai, maka memasuki periode 1980-1995 lebih fokus pada komoditas hortikultura dan palawija.

Pada sisi produksi pangan, revolusi hijau telah berhasil meningkatkan luas areal tanam, jumlah petani, lokasi pengembangan dan produktifitas padi dari hanya 2 ton / ha menjadi 5-6 ton / ha, sehingga pada tahun 1985-1989 sukses mengantarkan Indonesia mencapai swasembada beras. Tidak hanya itu, sejak tahun 1980 produktifitas dan produksi jagung dan kedelai juga meningkat signifikan, sehingga antara periode 1980-1997 impor jagung dan kedelai Indonesia. Bersamaan dengan itu, sektor peternakan (*poultryshop*) dan ragam

industri berbasis jagung dan kedelai turut terdongkrak, Memasuki era 1990an, revolusi hijau mulai mewarnai dataran tinggi, sehingga produksi, luas tanam dan sentra pengembangan sayuran mengalami peningkatan yang signifikan. Perkebunan dan lahan hutan di dataran tinggi banyak yang diganti atau diganti dengan sayuran. Berbagai macam sayuran didatangkan dari luar, sehingga menyisihkan sayuran-sayuran lokal yang telah lebih awal berkembang. Kemajuan teknologi rekayasa sayuran telah mendorong berkembangnya sayuran dataran medium dan dataran rendah. Sayuran tidak hanya dikembangkan di Pulau Jawa tetapi juga di Sumatera (Sumut, Lampung), Pulau Bali, NTB, Sulawesi (Makasar), Kalimantan dan di wilayah timur Indonesia.

Secara ekonomi sosial, lompatan-lompatan yang diuraikan pada paragraf di atas terbangun juga oleh perkembangan berbagai jenis pasar (termasuk supermarket), tingginya permintaan pasar dan efek perkembangan masyarakat (baik jumlah, tingkat konsumsi maupun gaya hidup). Bahkan, permintaan terhadap beras mengalami peningkatan setiap tahun sebagai akibat terus naiknya grafik permintaan pasar dan bergesernya konsumsi masyarakat di daerah-daerah yang semula memiliki pangan spesifik non beras. Selain itu, sayuran konsumsi dan kacang-kacangan meningkat seiring dengan berkembangnya tren gaya sehat. Sangat menakjubkan, hanya dalam hitungan 30 tahun, revolusi hijau telah menyebar dan menciptakan keseragaman di seluruh Indonesia. Padi hasil produksi IRRI telah menggeser jagung, sukun, pisang, keladi, singkong dan sagu sebagai pangan lokal. Begitu juga sayuran dan buah-buahan varietas unggul luar negeri yang berhasil menggeser varietas spesifik lokal. Persoalannya, sejak tahun 1990 Indonesia kembali merokok dan sejak tahun 1998 Indonesia kembali memasak jagung, kedelai, sayuran, buah-buahan, gula, garam, daging dan sebagainya, Memasuki abad 21, lengkap sudah, hampir semua jenis kebutuhan pangan bangsa Indonesia, baik beras, jagung, kedelai, sayuran, buah-buahan dan bahkan komoditas yang konfirmasi (seperti ikan, garam, daging, teh, tapioka, telur) didatangkan dari luar negeri.

Teknologi Pertanian Modern 2.0 dipacu, tetapi produktifitas lahan, tanaman dan petani seperti terhenti, kejenuhan menghinggapi seluruh sumberdaya pertanian dan kerusakan lingkungan (degradasi lahan, udara, udara, hutan, biodiversitas) tidak terhindarkan. Secara sosial, ketimpangan ekonomi melebar dan kesejahteraan yang dicita-citakan tidak terwujudkan. Regenerasi

pelaku pertanian terhenti, sehingga menyisakan sumberdaya manusia pertanian yang sebagian besar tua (penuaan pertanian). Ironi, setelah hampir 50 tahun Pertanian Modern 2.0 dioperasikan, kecacatan dan kekeliruan dari praktik-praktik dan komufalse-komufalse neoimperialisme tidak dapat lagi dikoreksi sendiri (koreksi diri), Paradigma Pertanian Modern 2.0 mulai dihadapkan pada krisis-krisis yang sulit untuk disembuhkan secara sendiri (koreksi diri). Karakter kemajuan yang diraih ternyata hanya sewaktu-waktu, mirip seperti paradigma positivistik yang dianutnya, reduksionis, parsial, eksploitatif, menciptakan 3R (rusak, renggut, resah), deduktif, anti diversifikasi dan lainnya. Ketahanan, kedaulatan dan kemandirian pangan yang dijanjikan revolusi hijau berakhir tragis. Peningkatan pendapatan dan kesejahteraan hanya dinikmati oleh petani elit (kapitalisme / pertanian wirausaha), sulit digapai petani kecil karena biaya produksi dan utang petani bertambah tinggi. Petani komersial terbangun, tetapi semu, karena mempercepat penghisapan hasil tani urban oleh, menjatuhkan nilai tukar dan ketahanan pangan rumah tangga pedesaan. Ketimpangan antar kelas pelaku dan wilayah melebar, sehingga mempercepat laju.

Jelas sudah bahwa Pertanian Modern 2.0 didesain hanya untuk menjadikan Indonesia dan negara-negara dunia ketiga sebagai sempurna (dibuat dan mangsa), negara yang hanya berperan dalam produksi pertanian primer, negara yang hanya menerima atau hanya menjadi konsumen berbagai teknologi yang dihasilkan negara industri. Indonesia hanya menjadi pengadopsi benih, alat mesin pertanian, pupuk kimia, pestisida sintesis dan input luar lainnya yang dihasilkan oleh korporasi transnasional (TNCS). Meskipun industri pupuk kimia dan pupuk organik ada di Indonesia, tetapi bahan bakunya serba didatangkan dari luar. Implikasinya, harga kedua pupuk tersebut tetap mahal. Sementara pada sisi agroindustri dan pasarnya, bahasa Indonesia praktis tidak berkuat. Subsistem peningkatan nilai tambah yang sangat strategis tersebut pada umumnya berada di negara lain. Meskipun agroindustri dioperasikan di Indonesia, perusahaan yang pasti milik asing dan aseng. Itu pun sifatnya hanya menghasilkan barang setengah jadi atau barang kemasan tanpa label, sebut saja CPO, sarden, rotan dan lainnya. Ironisnya, tidak sedikit perusahaan agroindustri asing dan aseng yang beroperasi di Indonesia yang justru lebih menggunakan bahan baku impor produk lokal, Implikasinya, hampir sepanjang sejarah revolusi

hijau di Indonesia, transaksi berjalan (ekspor-impor) produk pertanian Indonesia selalu defisit. Produk pertanian Indonesia sulit dan dipersulit untuk masuk ke pasar dunia, baik karena alasan tidak memenuhi standar maupun non teknis lainnya. Jangankan lolos ekspor, hanya untuk masuk ke pasar modern (supermarket) di dalam negeri saja, sangat sulit dan dipersulit. Sementara berbagai produk pertanian impor aliran deras tanpa mendapat hambatan. Selain itu, sepanjang revolusi hijau dioperasikan, petani kecil dan pelaku UMKM agro sulit tumbuh dan beranjak ke usaha yang lebih tinggi. Alih-alih meningkat, satu per satu UMKM agro berguguran (gulung tikar).

Tentu bukan hanya agroindustri dan pasar komoditas yang dikerdilkan neokolonial, tetapi juga industri-industri lokal yang bergerak dalam penyediaan benih, bibit, pupuk, pestisida dan alat mesin pertanian. Pelaku-pelaku lokal, baik swadaya, swasta maupun BUMN tidak berkutik (baca: dimatikan secara sistematis) berhubungan dengan korporasi internasional. Bahkan, atas nama hak paten dan hak kekayaan intelektual (HKI), korporasi internasional dapat dengan mudah dan halus dalam membunuh "kompetitor lokal". Dapat dipastikan, industri benih tanaman, ternak dan ikan dikuasai oleh korporasi internasional, produksi pestisida dikuasai korporasi internasional, produksi alat mesin pertanian juga dikuasai perusahaan internasional. Ironinya, berbagai inovasi pertanian yang diproduksi lembaga riset nasional dan perguruan tinggi pun sulit dikomersialkan, baik karena keterbatasan anggaran (atau tidak diberi anggaran), lemahnya akses ke industri, tidak percaya diri atau kalah bersaina (diakomodir) dengan produk korporasi yang telah lebih dahulu menguasai pasar. Karena semua input serba dikuasai oleh korporasi internasional, maka sangat wajar ranah pertanian pangan, hortikultura, perikanan dan peternakan oleh asing. Korporasi yang berhasil juga dibantu oleh "agen-agen" yang telah berhasil mereduksi, menjauhkan dan mematikan budaya dan komoditas lokal. Jika demikian, lantas dimana kedaulatan dan kemandirian pertanian Indonesia? Sekali lagi, kolonisasi lanjut telah berhasil mendesain (baca: merekayasa) Indonesia menjadi negara "total" produsen bahan mentah, "total" konsumen input luar dan "total" konsumen produk agro impor. Itulah buah dari kesuksesan negara maju, lembaga riset dunia dan korporasi agribisnis internasional dalam melakukan imperialisme inovasi (melalui pembangunan pertanian 2.0),

penyeragaman komoditas agro dan mereduksi keragaman komoditas spesifik lokal.

Kini semua pihak menyatakan bahwa Pertanian Modern 2.0 telah membawa "kemunduran" pertanian dalam berbagai aspek, terutama degradasi keragaman hayati di daratan dan perairan, kejenuhan sumberdaya lahan, pencemaran udara dan udara, kerusakan lingkungan, penggundulan hutan, kejenuhan sumberdaya manusia, melandainya regenerasi petani, diversifikasi tereduksinya, sediaan kearifan dan budaya lokal. Boleh jadi, telah juga turut memiskinkan petani, meningkatkan penyakit dari kontaminan-kontaminan pertanian dan mematikan lapangan kerja / wirausaha di pedesaan. Jika diperbandingkan dinamikanya, maka grafik kemunduran Pertanian Modern 2.0 kian hari kian menyisihkan kemajuannya, ketimpangannya kian meninggalkan keseimbangannya, keseragamannya semakin mengalahkan keberagamannya. Kemunduran itu semakin kentara tatkala mode pembangunan bergeser ke daya saing berkelanjutan (*sustainable competitiveness*) dan perdagangan bebas komoditas yang dibuka lebar-lebar, baik pada tingkat ASEAN (AEC), tingkat Asia Pasifik (APEC) maupun tingkat dunia (WTO). Kini pertanian Indonesia tersisih di dua sisi, baik di pasar dalam negeri maupun manca negara. Ironi, baru saja pasar terbuka ASEAN dan ASIA dibuka, berbagai produk pertanian penting sudah langsung menjadi raja di Indonesia. Hal ini terjadi karena jauh sebelum pasar terbuka diberlakukan, fitrah (lokalitas) Indonesia sudah dikalahkan, fasilitas penting (terutama *supermarket, hypermarket*) sudah dibangun lebih awal dan "kegandrungan" pada komoditas penting sudah dilembagakan pada seluruh kelas sosial.

Ada kecenderungan, dari tahun ke tahun, ekspor berbagai produk pertanian (termasuk pangan, hortikultura, perkebunan dan perikanan) Indonesia terus mengalami pelandaian, sedangkan impor aneka produk pertanian segar atau olahan terus masuk. Areal dan produksi sawit yang tinggi ternyata tidak berbanding lurus dengan pasarnya. Meski produksi sawit dengan tren dan arus utama energi ramah lingkungan, tetapi tidak banyak memberi arti. Selain dihambat oleh berbagai pasar NDP dan isu lingkungan, juga proses peningkatan nilai tambahnya lebih dinikmati di negara industri Produk spesifik pertanian lokal yang seharusnya berjaya di era keterbukaan dan era daya saing berkelanjutan, kini tidak dapat diperbaiki banyak, karena eksistensinya sudah

dibungkam oleh keseragaman, varietasnya sudah dijauhkan dari komunitasnya, produksinya sudah berkurang lebih banyak, dan produknya sudah diasingkan, dari kebanggaan bangsanya. Sekalipun ada komoditas lokal yang mengglobal, seperti manggis, gambir, kamper, durian, rambutan dan lainnya, jauh sebelum keterbukaan diberlakukan, jaringan bisnis dan pasar ekspornya sudah dikuasai korporasi asing. Paradoks dengan itu, komoditas spesifik lokal (seperti kesemek, sereal dan lainnya) yang sudah asing di Indonesia, dikoleksi dan dikembangkan secara profesional oleh peneliti dan korporasi asing.

Penghancuran budaya, komoditas dan input lokal oleh ragam budaya, komoditas dan input global sejatinya lebih dari sekedar penjajahan, tetapi sudah merupakan bentuk perang pangan. Perang ini akan semakin masif dan transformatif (*proxy war*) seiring dengan dilegalisasinya perluasan suatu investasi, dari sekedar investasi perkebunan ke investasi pangan. Tingginya minat untuk mencoba pangan, bahwa negara-negara maju antisipatif terhadap kemungkinan ancaman pangan, ancaman pangan dan bencana pangan, disamping pertimbangan strategis dan futuristiknya pangan. Semua itu, yang pasti investasi pangan merupakan salah satu bentuk perang pangan, Praktiknya bukan hanya mengontrol input (benih, bibit, pupuk, pestisida dan tenaga kerja), tetapi juga penguasaan lahan oleh korporasi internasional (*land grabbing*), penguasaan produksi dan penguasaan pasar. Sejatinya perang pangan sudah terjadi, faktanya ayam buras digeser ayam ras (produk *poultryshop*), benih lokal digeser benih hibrida produk korporasi, teknologi lokal digeser teknologi global dan sebagainya. Oleh sebagian pengamat, investasi pangan yang mirip seperti pabrik pertanian yang menempatkan petani tuan rumah sebagai buruh .

Bagi sebagian negara, perang pangan sejatinya perang petani, karena dalam era konektivitas dan keterbukaan ke depan, investor asing dapat dengan mudah mendatangkan buruh tani-buruh tani dan ahli-ahli pertanian dari negara asalnya. Lantas, di mana ahli-ahli pertanian, petani-petani dan buruh tani-buruh tani pribumi? Dalam perang pangan, iklim merupakan senjata penghancur dan alat kendali, yang dengan teknologi kini dapat dengan mudah direkayasa. Begitu juga virus, bakteri dan jamur (hama penyakit tanaman, ikan dan ternak) dapat dengan mudah direkayasa dan dijadikan senjata "pengacau" situasi dan penghancur tanaman, ternak dan ikan. Inilah wujud sejati "aplikasi" senjata biologi dalam perang pangan. Senjata perang pangan berikutnya adalah

teknologi komunikasi dan informasi (ICT). Meskipun banyak guna manfaatnya, namun oleh sebagian kelompok (kartel), teknologi informasi dapat digunakan untuk mempermainkan harga, mengacaukan situasi pasar dan mengontrol arus *supply-demand* dan rantai pasokan komoditas ke dan dari berbagai pasar. Tidak jarang, teknologi informasi digunakan untuk menjatuhkan para pesaing, memprovokasi dan menciptakan kekacauan (*chaos*) suatu komoditas atau suatu negara di tingkat global. Karena perang pangan sudah menjadi agenda perang global, maka sewajarnya ketahanan dan kedaulatan pangan menjadi bagian dari ketahanan dan kedaulatan nasional.

Peningkatannya akselerasi Cina di Indonesia menjadi catatan yang lengkap dalam skema perang pangan ke depan, karena dalam sejarah perdagangan dunia, Cina dan India pernah menguasai jalur perdagangan rempah-rempah dunia (jalan sutra). Sekarang Cina sedang menegakan kembali kekuatannya untuk menguasai pangan dan jaringan perdagangan pangan dunia. Investasi pangan Cina dilakukan di seluruh penjuru Nusantara. Dengan kekuatan armada lautnya, apalagi menguasai daratan dan lautan. Hal yang juga dilakukan oleh pendahulunya, Gengis Khan, Kubilai Khan dan Hulagu Khan. Karakter nyata bukan hanya terletak pada idiologinya yang kapitalis-komunis, tetapi juga sebagai pedagang ulung. Integrasi karakter alaminya dengan kapitalisme barat yang menjalari generasinya yang lama di luar Cina, akan menciptakan "entitas ekonomi" yang jauh lebih kejam. Jika investasi barat hanya menjejalkan modal dan teknologi, maka Cina menjejalkan modal, teknologi dan tenaga kerja sekaligus dalam setiap investasi internasionalnya. Jika investasi barat hanya dilakukan pada industri besar, maka Cina berkembang pada seluruh tingkat industri, yang berarti dapat mematikan UMKM. Salah satu bidikan investasi Cina di Indonesia adalah pertanian, baik pangan, hortikultura, perkebunan maupun perikanan. Ironinya, mereka tidak hanya menjejalkan komoditas pertanian, teknologi, modal dan tenaga kerja yang legal, tetapi juga yang ilegal.

Hampir dipastikan, setiap proyek yang didanai Cina akan didominasi pekerja dari Cina. Jika demikian, sejatinya mereka sedang membangun bisnis dan kolonisasi global. Apalagi hasil pembangunannya lebih banyak dimanfaatkan oleh perusahaan Cina, minimal oleh pengusaha keturunan Cina. Ambiguitas warga keturunan Cina mengundang pertanyaan, apakah mereka itu

membangun negeri atau negara asalnya? Lantas, mengapa Cina mengembangkan pertanian di Indonesia? Untuk apa dan dikemanakan hasil investasinya? Boleh jadi semua hasil Untuk apa dan dikemanakan hasil investasinya? Boleh jadi semua hasil diangkut ke negaranya atau dilempar ke pasar internasional. Tetapi tidak menutup kemungkinan semua hasil diangkut, lalu dijejalkan kembali ke pasar Indonesia dengan status penting dari Cina, baik berupa produk mentah maupun olahan. Kasus produk penting dari Cina padahal barang tersebut diproduksi di Indonesia sudah terjadi pada beberapa komoditas. Jika demikian, mereka menghancurkan pertanian Indonesia dari luar maupun dari dalam. Pertanian ala Cina modern bukan hanya mengeksploitasi dan mereduksi, tetapi akan juga menihilkan, menjarah dan mematikan lokalitas.

3. Pertanian Modern 3.0

Kemunduran Pertanian Modern 2.0 yang terus meninggi di penghujung abad 20, sejatinya mencerminkan kemunduran paradigmanya. Meminjam istilah Thomas Kuhn, pakar sejati krisis Pertanian Modern 2.0 bersumber dari krisis paradigmanya yang positivistik. Persoalannya, bagi sebagian besar masyarakat, krisis-krisis dan implikasi-implikasi yang ditimbulkannya lebih menarik dan menjadi fokus perhatian, sehingga abai terhadap akar masalah sejatinya. Paradoks dengan itu, para penganut paradigma pertanian justru justru sudah memeriksa kemunduran lebih awal, sehingga mereka selalu menutupi menutupi kekeliruan dengan riset dan pengembangan. Mereka berupaya mencari solusi, klaim-klaim kesahihan dan alternatif pembangunan untuk mengoreksi kekeliruan Pertanian Modern 2.0, terutama dengan peningkatan nyatanya dampak yang ditimbulkan oleh penggunaan pestisida sintetis, pupuk kimia dan benih hasil rekayasa genetik.

Salah satu pendekatan korektif yang digulirkan oleh aktor Pertanian Modern 2.0 adalah pembangunan pertanian berkelanjutan yang oleh NDP diimplementasikan dalam wujud pertanian organik (*organic farming*). Konsep ini diadopsi sewaktu-waktu setelah pembangunan berkelanjutan diadaptasi dari konsep "*our common future*" hasil sesuai PBB di Stockholm tahun 1987, kemudian diarusutamakan dalam KTT Bumi di Rio Jeneiro tahun 1992 yang menghasilkan "Agenda 21 "dan dikuatkan dalam pertemuan PBB di Johannesburg tahun 2000 dan KTT Dunia tahun 2002 yang menghasilkan *Millenium Development Goal's* (MDGS). Tahun 2015, setelah berbagai riset

menyimpulkan bahwa MDGS gagal total, maka PPB mengganti MDG's dengan konsep baru yang lebih disukai, yakni *Sustainable Development goal's* (SDG's) Tahun 2015, SDGS resmi diurusutamakan dan diadopsi sebagai mode baru pembangunan global.

Sebagai produk turunan (varian) paradigma pembangunan berkelanjutan, pertanian berkelanjutan yang ditawarkan sebagai alternatif Pertanian Modern 2.0 diurus-utamakan di penghujung abad 20 menawarkan keberlanjutan sosial, ekonomi dan ekologi. Sebuah kreasi kapitalisme yang sepintas tampak menawarkan keramahan dan keberlanjutan, padahal isme sejatinya tetap pembangunan. Warna pembangunannya terlihat jelas dalam praktiknya yang diproduksi industri, juga proses, praktik dan hasilnya menjadi lebih mahal, sehingga tidak terjangkau oleh kaum lemah (*peasant*). Input internal (benih, pupuk, pestisida) yang seharusnya terpenuhi secara mandiri dari implementasi pertanian terpadu (*integrated farming*), dalam praktiknya tetap dominan didatangkan dari luar. Mahalnya input internal terjadi karena tidak didukung oleh budaya lokal, baik budaya beternak, bertanam tanaman bahan pestisida hayati dan teknologi lokal. Kecenderungannya, pertanian berkelanjutan diterapkan secara parsial, bias keberlanjutan ekologis dan abai terhadap keberlanjutan ekonomi, sosial dan politik. Implikasinya, alih fungsi lahan tidak terkendali, regenerasi tidak terjadi, urbanisasi tetap tinggi dan ketimpangan ekonomi semakin menjadi. Pertanian berkelanjutan, tetapi kebutuhan menciptakan sekarang tetap tidak tercukupi, semakin tinggi, kebutuhan menciptakan yang akan datang dan lapangan kerja atau wirausaha pedesaan tetap tidak tercipta. Meskipun ramah lingkungan, namun karena masih kental dengan pembangunan, maka pembangunan pertanian layak dilabel sebagai pertanian modern 3.0.

Pada perkembangannya, pertanian berkelanjutan dilabel secara beragam oleh masyarakat, seperti pertanian ramah lingkungan, pertanian organik, pertanian terpadu (*integrated farming*) atau apapun namanya. Pertanian modern 3.0 yang tidak mendapatkan ruang pada masa Pertanian Modern 2.0, kini mendapatkan momentumnya dalam era ekonomi hijau (*green economy*). Sebuah era yang dipandang kondusif dan strateais untuk mewuiudkan *goals* pembangunan berkelanjutan (SDGS). Pertanian berkelanjutan oleh Rogers et al., (2006) dan Ploeg (2008) lebih humanis dan ekologis dibanding Pertanian

Modern 2.0 yang sangat bergantung pada input luar (*external input*). Prinsipnya yang mengedepankan masukan internal telah mendorong tumbuhnya usaha yang terpadu, yang bukan hanya ramah secara ekologis, tetapi juga ramah secara sosial ekonomi (membuka lapangan kerja, menciptakan peluang usaha dan meningkatkan nilai tambah). Sejak diurusutamakan tahun 1999, tren pertanian ramah lingkungan dunia mengalami perkembangan yang signifikan, baik luas areal produksi maupun jumlah petaninya (Mayrowani, 2012). Sebuah lompatan yang luar biasa, ekonomi, ekologi dan patut dikritisi dan dipertanyakan posisinya dalam imperialisme global. Mengapa perlu dipertanyakan? Pertama, karena entitas yang mendesain pertanian modern 3.0 juga desainer Pertanian Modern 2.0, yakni badan-badan imperium global, negara-negara boneka, NDP, TNCS, MNCS, dan kartel-kartel global; Kedua, karena pertanian modern 3.0 tidak steril dari kreasi kapitalisme yang diwadahi dan digawangi tokoh-tokoh *Club of Roma*.

Pada kenyataan di masyarakat, pertanian modern 3.0 memiliki beberapa terminologi, seperti pertanian berkelanjutan, pertanian ramah lingkungan, pertanian organik, pertanian terintegrasi, pertanian revolusi hijau lestari dan pertanian konservasi. Oleh para pemikir ekologis dan kritis, pertanian modern 3.0 disebut juga revolusi hijau jilid 2. Dikatakan demikian, karena meskipun ramah lingkungan, tetapi masih tergantung kepada berbagai masukan luar. Pupuk dan pestisida hayati yang digunakan dalam pertanian modern 3.0 masih didatangkan dari luar, baik yang diproduksi industri (seperti pupuk dan pestisida hayati cair, granul, pril) maupun yang diproduksi produsen rumahan. Tingginya pengadaan input luar terjadi karena lemahnya budaya beternak, langka (minimnya) tanaman bahan pestisida hayati, lemahnya penguasaan teknologi lokal dan faktor proyek pertanian modern 3.0. Penggunaan input luar yang tinggi telah mengakibatkan mahalnya biaya produksi pertanian modern 3.0. Implikasinya, petani hanya menjalankan pertanian modern 3.0 ketika ada proyek, sehingga begitu selesai kembali kepada model konvensional. Implikasi lainnya, karena penggunaan input dari luar sangat tinggi, biaya pertanian modern 3.0 jadi mahal. Biaya yang tinggi telah mengakibatkan para petani enggan untuk menghitung dan bagi mereka yang sudah menerapkan, sebagian besar kembali kepada model konvensional. Karena biaya produksi mahal, maka harga hasil produksi harus mahal. Akibatnya, semua hasil usaha dijual (sangat komersial), sehingga para petaninya tidak mengkonsumsi; dan Kedua, para petani dan

masyarakat kecil tidak dapat menikmati, karena tidak mampu membeli produk yang berharga tinggi. Boleh jadi produk pertanian modern 3.0 hanya dinikmati oleh orang perkotaan dan orang luar.

Tingginya Pasokan dan harga input luar telah juga mengakibatkan tumbuhnya ketergantungan baru para pelaku pertanian modern 3.0 kepada pemasok dan proyek pemerintah. Kondisi ini tidak jauh berbeda dengan apa yang menjadi pelaku Pertanian Modern 2.0. Dalam kondisi seperti ini, hanya petani-petani elit, hanya korporasi-korporasi dan hanya negara maju (dan kaya) yang mampu mengoperasikan pertanian modern 3.0. Hasil penelitian FIBL dan IFOAM (2016) yang dituangkan dalam buku "The World of Organic Agriculture" menunjukkan bahwa pada kenyataannya, pertanian modern 3.0 di dominasi oleh negara-negara maju. Sebagai catatan, dari total areal pertanian organik dunia yang mengalami peningkatan dari 11,0 juta ha tahun 1999 menjadi 43,7 juta hektar tahun 2014, sebagian besar dikembangkan di Eropa (27%), Australia (40%) dan Amerika Utara (7%). Berdasarkan sebarannya, areal pertanian organik terluas di benua Oceania (17,3 juta hektar, 40%), Eropa (11,6 juta hektar, 27%), Amerika Latin (6,8 juta hektar, 15%), Asia (3,6 juta hektar, 8%), Amerika Utara (3,1 juta hektar, 7%) dan Afrika (1,3 juta hektar, 3%). Pangsa Asia baru 8%, Amerika Latin 15% dan Afrika 3%. Tingkat pertumbuhan pertanian organik 2013-2014 tertinggi di Afrika (5,5%), Asia 4,7%, Eropa 2% dan Amerika Utara 1%. Secara keseluruhan, areal pertanian organik global baru mencakup 0,99% areal pertanian dunia. Di Eropa areal pertanian organik tercatat 2,4% total areal pertanian, di Uni Eropa sudah mencapai 5,7% dan Austria 19,4%. Oseania yang didominasi mutlak oleh Australia sudah mencatat 4,1%, tetapi bagian terbesar dari pertanian organiknya adalah lapangan merumput. Di Asia, 10 negara dengan areal pertanian organik terluas (dan persentasenya terhadap total areal pertaniannya) tahun 2014 adalah Tiongkok 1.925 ribu ha (0,4%), India 720 ribu ha (0,4%). Kazakhstan 290,2 ribu ha (0,1%), Indonesia 113,5 ribu ha (0,2%), Pilipina 110,1 ribu ha (0,9%), Srilanka 62,6 ribu ha (2,3%), Vietnam 43,0 ribu ha (0,4%), Thailand 37,7 ribu ha (0,2%), Arab Saudi 37,6 ribu ha (0,1%), dan Timor Leste 25,5 ribu ha (6,8%). Pada kenyataannya, dominasi negara maju dan korporasi internasional dalam pertanian modern 3.0 tidak hanya terjadi dalam produksi, tetapi juga dalam pasar dan pemasaran. Secara statistik, grafik nilai produk organik di pasar dunia terus

meningkat dari nilai US \$ 15,2 milyar tahun 1999 menjadi US \$ 80 milyar tahun 2014, namun pasarnya didominasi NDP. terutama Amerika Serikat (27,1 euro). Jerman (7,9 euro). Perancis (4,8 euro), Tiongkok 3,7 (euro), Kanada (2,5 euro), Inggris (2,3 euro), Italia (2,1 euro), Swiss (1,8 euro), Swedia (1,4 euro), dan Austria (1,1 euro). Jika produksi dan pasar produk organik dunia didominasi dan dikuasai oleh negara maju dan korporasi internasional, maka NDK akan menjadi ketergantungan. Secara statistik, jumlah negara produsen pertanian organik juga meningkat dari 77 negara tahun 1999 menjadi 172 negara tahun 2016. Namun, jumlah negara yang telah memiliki standar organik baru 87 negara dan 13 lainnya sedang dalam proses perumusan. Benar bahwa terkait dengan standarisasi ini telah dibangun 123 Sistem Jaminan Partisipatif (PGS) di 72 negara di semua benua, namun dominasi standar ramah lingkungan sudah berada dalam genggamannya NDP dan korporasi internasional. PGS adalah semacam sistem jaminan mutu yang mensertifikasi produsen berdasarkan peran serta pemangku kepentingan yang dibangun atas dasar kepercayaan dan jaring sosial. Khusus untuk ASEAN, pada tahun 2014 telah menyusun Standar ASEAN untuk Pertanian Organik (ASOA) yang akan berlangsung dengan kegiatan sertifikasi. Pertanyaannya kemudian, seberapa besar peluang NDK untuk dapat lolos standar tersebut? Pertanyaan ini bukan sebagai bentuk pesimisme, tetapi fakta bahwa lingkungan yang rusak, yang terkontaminasi berbagai bahan kimia dan perilaku petani yang sudah sangat bergantung terhadap input di luar produk pertanian modern 3.0 sulit untuk dapat lolos dari standarisasi NDP.

Mencermati penyimpangan pertanian modern 3.0, pada dekade pertama abad 21, Klub Roma kembali larangan ide dan kreasi alternatif (kapitalisme kreatif) untuk mengoreksi praktek dan paradigma pertanian modern 3.0, yakni dengan konsep ekonomi hijau (*green economy*). Perspektif hijau (*green*) dalam kerangka ekonomi hijau merupakan terminologi baru dari ramah lingkungan yang diarusutamakan dalam pembangunan berkelanjutan. GIZ (2012) menyatakan bahwa ekonomi hijau tidak seharusnya dilihat sebagai paradigma baru, tetapi lebih merupakan sebuah daya dorong baru untuk membantu merealisasikan visi pembangunan berkelanjutan. Inilah alasan penulis melabel ekonomi hijau sebagai salah satu bentuk varian kreasi kapitalisme (kapitalisme kreatif). Pada prinsipnya, ekonomi hijau berpijak pada perspektif ekologi, yang menurut Ife (2002), menjadi perspektif baru berbagai disiplin ilmu. Adiwibowo

(2007) menyatakan bahwa prinsip ekologi menjadi inspirasi baru bagi kalangan intelektual dan akademisi dalam mengembangkan paradigma, paham dan gagasan hijau (*green*). Seperti kegiatan pembangunan berkelanjutan, ekonomi hijau juga mengintegrasikan keberlanjutan sosial, ekonomi dan ekologis. Namun karena kemunculannya lebih merupakan respon atas berbagai fenomena lingkungan (respon lingkungan), maka sifat prinsip ekologisnya masih dangkal (ekologi dangkal) (Satria dan Adiwibowo 2009; Dharmawan 2010). Namun demikian, prinsip ekologisnya lebih dominan dibandingkan dengan prinsip ekonomis dan sosiologisnya. Secara konseptual, terlihat jelas bahwa konstruksi keberlanjutan dalam ekonomi hijau menjadi tidak seimbang, bias ekologis. Jika demikian, maka kehadirannya tidak lebih dari pertanian modern 3.0.

Secara praktis, Paul Hawken menyatakan bahwa ekonomi hijau merupakan koreksi terhadap ekonomi industrial (*brown economy*), termasuk Pertanian Modern 2.0, yang bias growth, maksimalisasi profit ekonomi dan padat input luar, Ekonomi hijau juga merupakan respon terhadap krisis energi dan krisis lingkungan hidup yang semakin parah yang ditimbulkan oleh model bisnis konvensional dan mode produksi kapitalisme (seperti hujan asam, beroperasi global, kebocoran lapisan ozon, perubahan iklim global, pencemaran, banjir, kerusakan hutan, kekeringan, krisis energi dan sebagainya). Penekanannya tentu bukan pada akibat kerusakan yang timbul, tetapi lebih pada penyebab-penyebabnya (seperti pemikiran, pandangan, kebijakan, proses, perilaku dan aplikasi produk) yang bersifat tidak ramah lingkungan sosial dan ekologis (Reijntjes et al., 1992; Rogers et al., 2006). Oleh karena itu, gagasan yang ditawarkan ekonomi yang lebih pada transformasi ekonomi (investasi ekonomi ramah lingkungan dan kebijakan emisi karbon), efisiensi sumberdaya dan minimalisasi sampah (kurangi, gunakan kembali dan daur ulang), pertumbuhan dan kesejahteraan. (proses, produk dan pelayanan hijau). Pada implementasi, implementasi ekonomi hijau tidak seindah yang diidealkan. Sebagai varian pertanian modern 3.0, ekonomi hijau juga tidak mudah mendapatkan ruang dalam arus utama pembangunan Pertanian Modern 2.0. Alih-alih mengoreksi, implementasi ekonomi malah terkontaminasi. Faktanya, aplikasi ekonomi hijau menjadi bias perkotaan (*urban farming, green city, go green, green car, dan green-green car other*) dan bias bisnis green (komersialisasi hijau, manipulasi CSR dan bisnis karbon).

Semula ekonomi hijau yang dapat menjadi solusi dari berbagai permasalahan pembangunan pertanian modern 3.0, karena menawarkan peluang bagi kehidupan dan peradaban global yang lebih baik, berkeadilan, sejahtera dan berkesinambungan (2011), bahkan, ditegaskan oleh Djayadiningrat dkk. (2011) bahwa ekonomi hijau dikembangkan sebagai konsep ekonomi untuk suatu dunia nyata, dunia kerja (usaha), kebutuhan manusia dan sumberdaya di bumi ini, serta bagaimana semua itu dapat menjadi satu jalinan harmoni, terutama tentang nilai guna yang peduli kualitas, regenerasi dan bukan akumulasi dari uang atau material. Ekonomi hijau dapat berwujud pembangunan ekonomi; proses produksi bersih dan hemat sumberdaya; pertanian berkelanjutan; keragaman hayati dan kehutanan; sistem transportasi dan energi berkelanjutan; udara, sanitasi dan sampah; dan kota hijau (GIZ 2012). Cirinya adalah: proses pembuatannya menggunakan sedikit sumber energi dan udara; menimbulkan sedikit buangan dan emisi; menyimpan energi dan udara; tingkat emisi rendah; sedikit limbah dan sedikit kebutuhan untuk pengolahan limbah; sedikit sampah yang dibuang ke lingkungan; sedikit limbah berbahaya (polutan) yang mencemari lingkungan; memiliki eko-label; memiliki umur pakai yang panjang; dapat diubah kedalam bentuk jasa; dan dapat memperbaiki lingkungan.

Sepintas ekonomi hijau yang diarusutamakan imperialisme global (negara industri dan korporasi internasional) menawarkan banyak peluang bagi negara-negara sedang berkembang untuk menciptakan kesejahteraan, kemakmuran dan kebahagiaan berkelanjutan, namun faktanya gelombang ekonomi hijau tidak bebas dari hegemoni, eksploitasi lingkungan dan kreasi kapitalisme (termasuk modus pengendalian oleh TNCS). Pada ujung-ujungnya, ekonomi hijau menggunakan isu lingkungan sebagai senjata baru imperialisme global untuk melakukan penghisapan, pengendalian dan eksploitasi NDP. Sudah sejak awal Greer dan Bruno (1999) mengingatkan bahwa hijau tidak steril dari kreasi-kreasi kapitalisme (kapitalisme kreatif), tidak steril dari manipulasi environmentism atau komufalse hijau. Gunter Pauli (2010) menyatakan bahwa implementasi ekonomi hijau dengan konsep produk dan layanan ramah lingkungan, ternyata tidak sesuai harapan. Hal ini terjadi karena produk harus dibeli dengan harga yang sangat mahal, sehingga tidak dapat dicapai oleh masyarakat miskin, Karena diperlukan nilai investasi yang lebih besar, maka investor harus mengeluarkan

biaya lebih besar untuk berproduksi, dan tambahan biaya ini pada akhirnya dibebankan kepada produsen skala kecil dan dan kontinyu, sehingga menyedot persediaan kebutuhan dan pengungsian areal produksi. Implikasinya, jatah orang miskin dirampas dan harga komoditas melambung, sehingga akses kaum miskin. Selain itu, karena perluasan produksi sumber energi yang dilakukan secara membabi buta (seperti sawit, jagung), maka kerusakan lingkungan tidak terhindarkan. Implikasinya, banyak flora dan fauna yang tergusur. Grafik konsumsi pupuk dan pestisida hayati (baik padat maupun cair) terus meningkat, tetapi proses produksi dan produknya tetap dikuasai korporasi.

4. Pertanian Modern 4.0

Pertanian modern 4.0 adalah pertanian masa depan yang digerakkan oleh petani postgenomik. Pertanian yang segala sesuatunya berbasiskan teknologi super canggih (*hyper technology*). Pertanian yang serba instan, serba direkayasa (*hyper biotechnology*), serba digerakkan oleh robot, serba terkontrol, serba kimia, serba buatan (*artificial*), serba media non tanah, serba vertikal (dalam gedung bertingkat), serba cyber, serba energi alternatif (bioenergi, energi matahari, energi biru, energi hijau), serba kloning, serba nanobiology, serba komputer dan serba-serba lainnya. Pertanian yang ekstrim, yang lahir dari ketakutan (paranoia), manusia masa depan yang sebagian hidup di luar angkasa. Pertanian yang akan menerapkan dan menghalalkan segala cara. Meminjam istilah James Canton (2010), pertanian 4.0 adalah pertanian yang menggabungkan gen-gen dan sel-sel dari berbagai varietas dan ras unggul di seluruh dunia. Pertanian yang akan menginfiltrasi varietas-varietas di seluruh dunia. Pertanian yang terintegrasi dan mengkombinasikan gen-gen yang bersumber dari DNA virtual. Pertanian yang memproduksi virus, bakteri, jamur, dan tanaman yang dapat menjadi senjata biologi masa depan yang dapat dikontrol dari gen-gen yang terkontaminan. Pertanian yang menghasilkan produk yang daya tariknya ke konsumen dapat direkayasa dengan DEPS (*Digitally Engineered Personalities*). Sebuah pertanian yang mengintegrasikan biomolekular dan seluler dengan bantuan teknologi nano dan biomimetik.

Pertanian di planet lain atau di luar angkasa (seperti di bulan, di mars, di jupiter dan lainnya), pertanian dan peternakan hiper abnormal dan hiper instan (memproduksi pangan dan daging tanpa bertani dan beternak, tetapi melalui rekayasa sel tanaman dan sel ternak). Contoh pertanian modern yang sedang

berkembang di kota-kota besar di dunia dengan memanfaatkan lahan yang sempit namun dapat menghasilkan tanaman yang cukup untuk digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah Hidroponik. Hidroponik baru-baru ini banyak digunakan di Indonesia, konsep dasar dari hidroponik sebenarnya sudah diketahui sejak lama. Hidroponik digunakan oleh para ilmuwan untuk meneliti tanaman yang berdasar dari air, namun berbeda lagi jika dibicarakan untuk jaman sekarang, pertanian hidroponik yang tergolong modern itu sudah tidak asing lagi untuk saat ini. yaitu penggantian media tanam dari tanah menjadi air menghasilkan hasil tanaman yang sama dengan media tanah bahkan lebih baik lagi.

Dalam bertanam hidroponik yang menggunakan media tanam berupa air dapat dilakukan inovasi tanam secara vertikal pada lahan sempit sehingga dapat menanam lebih banyak tanaman dan meningkatkan hasil panen yang diperoleh. Selain itu seiring berkembangnya teknologi dan inovasi, kegiatan bercocok tanam menggunakan hidroponik dapat dilakukan dimana saja dan bahkan dapat dimodifikasi kedalam interior outdoor rumah karena tampilan hidroponik yang lebih segar dan bersih. Beranam hidroponik banyak digandrungi masyarakat karena dinilai lebih menguntungkan dan menghasilkan produk dengan mutu yang baik. Selain itu konsep baru ini juga dapat menarik minat untuk bercocok tanam sehingga menciptakan kebiasaan baru yang baik di masyarakat. Terdapat beberapa kelebihan dari bertanam secara hidroponik selain dapat dilakukan dalam kapasitas lahan yang sempit diantaranya yaitu tanaman dapat tumbuh lebih cepat dari waktu normal dengan bantuan nutrisi tanaman yang biasa digunakan dalam konsep hidroponik, efisien dalam penggunaan tenaga, tidak memerlukan media tanam yang banyak seperti tanah dan tidak mudah terserang hama dan penyakit karena pemeliharaannya lebih dikontrol.

Dalam rangka mencapai tujuan program pemuliaan, pemulia tanaman harus menyusun ideotipe varietas yang akan dikembangkan. Ideotipe adalah karakter-karakter ideal yang menunjang produktivitas tinggi. Berdasarkan ideotipe tanaman yang akan dikembangkan tersebut, pemulia mulai menyusun tahapan yang tepat agar diperoleh varietas yang diinginkan. Varietas yang dimaksud adalah varietas agronomi atau kultivar (varietas yang dibudidayakan). Varietas agronomi adalah sekelompok tanaman yang memiliki satu atau lebih ciri yang dapat dibedakan secara jelas dan tetap mempertahankan ciri-ciri khas

tersebut jika direproduksi (secara seksual maupun aseksual). Contoh varietas agronomi adalah varietas padi *Oryza sativa cv Cisadane*. Varietas agronomi yang diperoleh berbeda dengan varietas botani. Varietas botani adalah suatu populasi dalam satu spesies yang menunjukkan ciri berbeda yang jelas. Penulisan nama dicetak miring dan didahului dengan singkatan "var". Contoh varietas botani adalah *Oryza sativa var. Indica* (Syukur, et al., 2012 Hal 6).

Langkah awal bagi setiap program pemuliaan tanaman adalah koleksi berbagai genotipe, yang kemudian dapat digunakan sebagai sumber untuk mendapatkan genotipe (varietas) yang diinginkan atas dasar tujuan pemuliaan tanaman. Koleksi berbagai genotipe atau plasma nutfah yang dapat berasal dari plasma nutfah lokal maupun yang diintroduksi dari luar negeri, termasuk genotipe liar dan eksotik. Introduksi tanaman dapat dikembangkan menjadi varietas baru: 1) langsung dari tanaman setelah proses adaptasi; 2) melalui seleksi; dan 3) sebagai bahan perluasan keragaman genetik. Setelah dilakukan koleksi, tanaman tersebut diseleksi sesuai dengan karakter-karakter yang diinginkan. Pengetahuan tentang cara perkembangbiakan tanaman yang penting bagi pemulia tanaman karena perkembangbiakan tanaman menentukan metode seleksi yang digunakan. Hasil seleksi ini bisa menjadi varietas baru setelah melalui uji pengujian. Varietas yang dihasilkan biasanya merupakan varietas lokal. Metode seleksi yang biasa dilakukan adalah seleksi dan seleksi galur murni, Seleksi diharapkan dapat memperbaiki satu atau beberapa karakter yang diinginkan. Karakter tersebut terkenal di beberapa genotipe. Untuk mengumpulkan karakter tersebut atau untuk mengabaikan karakter yang diinginkan, diperlukan perluasan keragaman genetik sehingga seleksi lebih efektif. Perluasan keragaman genetik yang umum dilakukan adalah hibridisasi (persilangan) dan mutasi (Syukur, et al., 2012 Hal 7).

Persilangan adalah penyerbukan silang antara tetua (tanaman induk) yang berbeda susunan genetiknya. Mutasi didefinisikan sebagai perubahan mewaris dalam bahan genetik yang tidak disebabkan oleh rekombinasi atau segregasi. Akhir-akhir ini muncul teknologi baru untuk memperluas keragaman genetik yaitu fusi protoplas dan transformasi genetik (transgenik). Fusi protoplas adalah upaya menyilangkan sel somatik secara in vitro, bagi persilangan antar genotipe / spesies yang tidak bisa dilakukan secara konvensional, dengan melibatkan organel tertentu. Fusi protoplas bertujuan untuk meningkatkan keragaman

genetik tanpa hibridisasi seksual. Teknik ini berpeluang merakit suatu tanaman dari spesies yang berbeda. Transformasi genetik tanaman adalah pemindahan gen (DNA) tunggal (yang diisolasi dari tanaman, virus, bakteri, jamur, dan hewan) ke dalam genom tanaman. Gen tersebut dapat menampilkan karakter yang disandinya pada tanaman yang mengalami transformasi tersebut. Setelah perluasan keragaman genetik, langkah selanjutnya adalah seleksi. Metode seleksi yang digunakan sangat tergantung dari tipe penyerbukan (Syukur, et al., 2012 Hal 8).

Ada dua tipe penyerbukan tanaman, yaitu tanaman menyerbuk itu sendiri dan tanaman menyerbuk silang. Seleksi untuk tanaman menyerbuk sendiri pada umumnya menggunakan metode curah, silsilah, keturunan tunggal benih, sistem kawin selektif paralel, dan silangan belakang. Varietas yang dihasilkan berupa galur murni. Seleksi tanaman menyerbuk silang pada umumnya menggunakan metode seleksi berulang (daur ulang), hibrida, dan *back cross*. Varietas yang dihasilkan berupa varietas hibrida dan bersari bebas (*open pollinated / OP*). Setelah seleksi dilakukan maka selanjutnya adalah uji daya hasil pendahuluan dan uji daya hasil lanjutan. Hasil uji daya hasil lanjutan berupa galur-galur harapan atau calon varietas yang siap dilepas setelah uji multilokasi. Pengujian dilakukan untuk analisis adaptasi dan gangguan calon varietas. Pengujian dilakukan di beberapa lokasi dan musim, yang disebut uji multilokasi. Uji multilokasi dilakukan sebelum calon varietas dilepas sebagai varietas. Syarat-syarat untuk uji multilokasi harus mengikuti aturan baru yang dikeluarkan oleh Kementerian Pertanian. Hasil uji multilokasi bagi kestabilan calon varietas atau lokasi spesifik dari varietas tersebut (Syukur, et al 2012 Hal 9). Persyaratan pelepasan varietas adalah:

1. penjelasan yang jelas,
2. deskripsi lengkap,
3. unggul,
4. benih penjenis tersedia dengan cukup.

Serangkaian teknik-teknik pemuliaan, dalam rangka pembuatan varietas unggul, diulas dalam buku ini. Teknik-teknik tersebut termasuk pemilihan tetua, persilangan buatan, dan metode seleksi. Teknik pemilihan tetua didasarkan pada karakter kualitatif dan kuantitatif yang dimiliki oleh tetua. Tetua-tetua terpilih

disilangkan untuk menggabungkan berbagai karakter sehingga diperoleh genotipe tanaman yang mempunyai karakter sesuai dengan keinginan. Informasi biologi bunga digunakan sebagai dasar untuk teknik persilangan buatan. Sementara itu, teknik seleksi pada metode tanaman yang termasuk kelompok tanaman menyerbuk sendiri, menyerbuk silang, atau membiak vegetatif (Syukur, et al., Hal 9).

BAB 2

PLASMA NUTFAH

2.1. Pusat Penyebaran Spesies Tanaman

Hutan memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi dengan menyimpan kekayaan tumbuhan yang berpotensi sebagai pangan, sandang, papan, obat-obatan, dan sumber energi lainnya (Hendarti 2008). Hutan tropika di Indonesia merupakan gudang keanekaragaman hayati yang menyimpan lebih dari 239 jenis tumbuhan pangan (Hidayat et al., 2009) dan lebih dari 2.039 jenis tumbuhan obat yang berguna untuk menyehatkan dan mengobati berbagai macam penyakit manusia maupun hewan ternak (Zuhud 2009). Hutan juga sebagai satu kesatuan lingkungan yang menjadi tumpuan hidup masyarakat sekitar hutan untuk menopang sistem kehidupannya (Nugraha dan Murtijo 2005). Masyarakat di sekitar hutan ini tinggal dalam suatu kelompok membentuk sebuah kampung. Kamus Besar Bahasa Indonesia (2008) mendefinisikan kampung sebagai suatu kesatuan pemukiman terkecil yang menempati wilayah tertentu. Menurut Departemen Kehutanan (2007) terdapat lebih dari 50% kampung di Indonesia berada di dalam dan sekitar hutan. Keberadaan kampung yang dekat dengan kawasan taman nasional atau hutan akan memberikan peluang kepada masyarakat untuk memanfaatkan sumberdaya alam yang ada dalam memenuhi kebutuhan hidupnya seperti pangan, papan, obat-obatan, dan ritual adat. Hendarti (2008) menyatakan bahwa masyarakat kampung memiliki ketergantungan yang sangat besar terhadap hutan. Ketergantungan tersebut salah satunya diakibatkan oleh sulitnya akses untuk mendapatkan pelayanan kesehatan dan pasokan pangan dari luar (Utomo 2009). Informasi penyebaran spasial

mengenai keanekaragaman potensi tumbuhan pangan dan obat menjadi penting untuk dilakukan. Penggalan informasi tentang distribusi dan keanekaragaman tumbuhan pangan dan obat dapat dijadikan sebagai alternatif dalam melakukan pengembangan terhadap tumbuhan pangan dan obat, meningkatkan pendapatan dan mendukung dalam pemenuhan kebutuhan masyarakat (Iswandono 2007).

Tanaman yang saat ini banyak dibudidayakan dan dikembangkan di berbagai wilayah dan penjuru dunia pada awalnya berasal dari suatu wilayah yang spesifik. Adanya domestikasi dan pengembangan terhadap suatu jenis tanaman membuat tanaman kini tidak hanya dapat di jumpai di daerah asal tanaman tersebut ditemukan. Begitupun dengan tanaman sayur. Tanaman yang saat ini banyak ditemukan di dataran-dataran tinggi Indonesia mungkin saja bukan berasal langsung dari Indonesia. Dan mungkin juga tanaman yang memang berasal dari Indonesia sekarang malah mejadi lebih dikembangkan di luar Indonesia (Rubatzky, 2013).

Vavilov, seorang ahli botani asal Rusia mengidentifikasi pusat asal penyebaran tanaman sayur di dunia. Pusat asal penyebaran tanaman sayur didasarkan atas keragaman jenis tanaman pada wilayah tersebut. Berikut adalah pusat asal penyebaran tanaman sayur di dunia berdasarkan Vavilov.

1. China bagian tengah dan barat
Kedelai (*Glycine max*), uwi cina (*Dioscorea opposita*), radis (*Raphanus sativus*), turnip (*Brassica rappa*), rakayo (*Allium chinense*), bawang daun (*Allium fistulosum*), dan mentimun (*Cucumis sativus*).
2. India timur laut dan Myanmar
Kacang hijau (*Vigna radiata*), kacang tunggak (*Vigna unguiculata*), terung (*Solanum melongena*), talas (*Colocasia esculenta*), mentimun (*Cucumis sativus*), uwi (*Dioscorea alata*).
3. Indocina dan kepulauan Malaya
Pisang (*Musa acuminata*), dan sukun (*Artocarpus altilis*).
4. Asia Tengah (India dan Afganistan)
Kapri (*Pisum sativum*), kacang faba (*Vicia vaba*), kacang hijau (*Vigna radiata*), sawi hijau (*Brassica juncea*), bawang Bombay (*Allium cepa*), bawang putih (*Allium sativum*), spinasi (*Spinacia oleracea*), wortel (*Daucus carota*).
5. Asia Timur-Asia Kecil (Iran, Turki)
Lentil (*Lens culinaris*), lupine (*Lupinus albus*).

6. Mediterania
Kapri (*Pisum sativum*), bit (*Beta vulgaris*), kubis (*Brassica oleracea*), turnip (*Brassica rappa*), selada (*Lactuca sativa*), seledri (*Apium graveolens*), cikori (*Cichorium intybus*), asparagus (*Asparagus officinalis*), parsnip (*Pastinaca sativa*), rubab (*Reum officinale*).
7. Ethiopia
Kacang tunggak (*Vigna unguiculata*), kress (*Lepidium sativum*), okra (*Hibiscus esculentum*).
8. Meksiko Selatan dan Amerika Tengah
Jagung (*Zea mays*), buncis (*Pisum vulgaris*), kacang lima (*Pisum lunatus*), waluh malabar (*Curcubita ficifolis*), labu kuning (*Curcubita moschata*), labu siam (*Sechium edule*), irut (*Maranta arudinacea*), cabai merah (*Capsicum annum*).
9. Ekuador, Peru, dan Bolivia
Kentang (*Solanum tuberosum*), jagung (*Zea mays*), kacang lima (*Pisum lunatus*), buncis (*Pisum vulgaris*), ganyong (*Canna edulis*), pepino (*Solanum muricatum*), tomat (*Solanum lycopersicum*), ciplukan (*Physalis pubescence*), labu raksasa (*Cucurbita maxima*), cabai merah (*Capsicum annum*).
10. Cile
Kentang (*Solanum tuberosum*)
11. Brazil dan Paraguay
Ubi kayu (*Manihot esculenta*).

Klasifikasi yang dibuat Vavilov diatas telah banyak dipakai dan disepakati sebagian besar ilmuan. Namun demikian, sebagian yang lain menyarankan agar identifikasi pusat tidak hanya didasarkan pada keragaman. Hal ini karena beberapa spesies ternyata telah terlebih dahulu didomestikasi. Dengan demikian, beberapa lokasi yang telah diyakini sebagai asal pusat penyebaran ternyata hanya merupakan pusat keragaman (Rubatzky, 2013).

2.2. Domestikasi, Introduksi dan Adaptasi Tanaman

2.2.1. Domestikasi

Pengertian Domestikasi

Perkembangan pemuliaan mengikuti perkembangan genetika, sehingga perkembangan pemuliaan dibagi menjadi dua yaitu Pra-mendel dan Pasca

Mendel. Pemuliaan tanaman telah berkembang sejak zaman prasejarah dimulai dari proses domestikasi. Domestikasi merupakan proses perubahan tanaman liar menjadi tanaman budidaya dengan melalui serangkaian proses seleksi dan adaptasi baik secara alami maupun buatan. Pada proses domestikasi tanaman mengalami proses perubahan morfologi, fisiologi dan biokimia yang sesuai dengan teknik budidaya yang dilakukan oleh manusia. Proses ini merupakan proses pertama kali yang dilakukan oleh seorang pemulia dalam merakit suatu tanaman liar menjadi tanaman budidaya.

Menurut Erickson et al, 2015 (*Indonesian Agricultural Research and Development Journal*), domestikasi merupakan pengadopsian tumbuhan atau hewan dari kehidupan liar ke dalam lingkungan sehari-hari manusia. Dalam arti yang sederhana, domestikasi merupakan proses 'penjinakan' terhadap spesies liar. Perbedaannya, penjinakan dilakukan pada individu, sedangkan domestikasi melibatkan populasi, seperti seleksi, pemuliaan (perbaikan keturunan), serta perubahan perilaku/sifat dari organisme yang menjadi objek. Suatu tanaman dikatakan telah terdomestikasi apabila sejumlah penampilannya mengalami perubahan akibat campur tangan manusia dalam pertumbuhan dan perbanyakan keturunannya (Hirst 2013). Para petani pada masa awal pertanian selalu menyimpan sebagian benih untuk pertanaman berikutnya yang tanpa sengaja telah melakukan pemilihan (seleksi) terhadap tanaman yang kuat karena hanya tanaman yang kuat yang mampu bertahan hingga panen (Zohary dan Hopf 2000).

Menurut Ismail (2017), domestikasi merupakan salah satu proses pengadopsian tumbuhan liar menjadi tanaman yang dapat dibudidayakan di suatu daerah dengan adanya perbaikan karakter yang mengarah kepada karakter yang lebih baik. Domestikasi akan membuat perubahan perilaku/sifat dari organisme yang menjadi objeknya. Proses domestikasi ini tidak lepas kaitannya dengan kegiatan seleksi, baik seleksi alam atau pun seleksi buatan yang dilakukan oleh manusia.

Kegiatan seleksi dan domestikasi merupakan metode pemuliaan tanaman yang lahir pertama kali yakni berlangsung sejak manusia mulai mengenal kegiatan bertani sekitar 10.000 tahun yang lalu ketika manusia beralih dari pemburu dan pengumpul makanan menjadi manusia yang menumbuhkan sendiri

makanannya. Pada tahapan awal pertanian, banyak tanaman liar kemudian didomestikasi menjadi tanaman yang dibudidayakan oleh manusia.

Tumbuhan liar yang telah mengalami proses domestikasi sebagian besar adalah jenis dari suku Gramineae dan Leguminosae, dan merupakan tanaman budidaya utama. Sedangkan pada suku Cyperaceae, Ranunculaceae, Cactaceae, Caryophyllaceae, Portulacaceae, Berberidaceae, Papaveraceae, Saxifagraceae, Geraniaceae, Onagraceae, Apocynaceae, Asclepiadaceae, Plantaginaceae dan suku lainnya merupakan suku-suku yang dimanfaatkan sebagai tanaman budidaya sampingan.

Proses domestikasi maka dapat menimbulkan keragaman yang makin tinggi pada saat ini. Selain itu, adanya peristiwa domestikasi ini tentunya akan menguntungkan atau merugikan baik bagi manusia atau pun bagi tanaman itu sendiri.

Keuntungan dan Kerugian Domestikasi

Menurut Ismail (2017), dalam proses domestikasi maka dapat menimbulkan keragaman yang beragam. Selain itu, adanya peristiwa domestikasi pun tentunya akan menghasilkan keuntungan maupun kerugian baik bagi manusia maupun bagi tanaman itu sendiri. Keuntungan dilakukannya domestikasi bagi manusia yakni tanaman yang didomestikasi memiliki sifat yang sesuai dengan keinginan manusia seperti ukuran organ target yang besar, rasa yang enak, bentuk dan warna yang sesuai dengan keinginan konsumen, dan sifat lainnya. Serta keuntungan domestikasi bagi tanaman yakni eksistensi tanaman tersebut dapat terjaga selama tanaman tersebut dimanfaatkan oleh manusia. Selain itu, penyebaran tanaman tersebut bisa luas cakupannya karena adanya campur tangan manusia.

Adapun kerugian dilakukannya domestikasi yang terus berlangsung membuat tanaman semakin bergantung akan campur tangan manusia sehingga pemeliharaan harus lebih ditingkatkan dan apabila terjadi suatu kesalahan bisa menyebabkan kerugian. Serta bagi tanaman akibat domestikasi yakni tanaman kehilangan kemampuannya dalam bertahan hidup bilamana dikembalikan ke lingkungan asalnya.

Selain kerugian, adapula permasalahan-permasalahan yang terjadi dari dilakukannya domestikasi, salah satunya domestikasi pada tanaman padi. Padi

yang dilakukan domestikasi memiliki banyak spesies diantaranya *O. meyeriana*, *O. granulata*, *O. longiglumis*, *O. officinalis*, *O. ridleyi*, *O. rufipogon*, dan *O. schlechteri*. Populasi *O. rufipogon* terdapat di Jawa Barat. Namun populasinya mulai sulit ditemukan. Di Kalimantan banyak ragam *Oryza spp.*, namun kerusakan hutan menyebabkan populasinya hampir punah.

Mekanisasi Domestikasi

Pada awal terjadinya domestikasi di zaman prasejarah terdapat hipotesa yang terkait yakni hipotesa “*rubbish-heap hypothesis*” (Engelbrecht, 1916 dalam Eko, 2011). Hipotesa ini menganggap bahwa domestikasi pertama kali bukan akibat adanya kegiatan manusia yang dilakukan dengan sengaja, tetapi terjadi secara kebetulan yang berawal dari berkembangnya kemampuan tumbuhan itu sendiri dalam mempertahankan dirinya.

Seiring berjalannya waktu, masyarakat mulai menerapkan sistem pertanian pada tanaman tertentu. Dengan adanya sistem pertanian, lingkungan tumbuh tanaman dibuat sedemikian rupa sehingga tanaman lama kelamaan mulai beradaptasi. Adaptasi yang terjadi dapat berupa perubahan sifat yang mendukung untuk hidup di lingkungan buatan manusia. Dengan adanya seleksi alam dan seleksi yang dilakukan oleh manusia, terjadi perubahan genetik karena adanya perubahan frekuensi gen-gen.

Pengaruh Domestikasi pada Tanaman

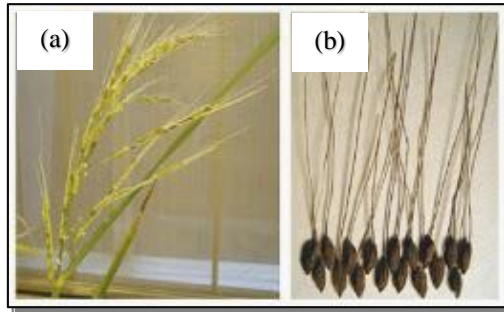
Menurut Ismail (2017), terdapat beberapa pengaruh domestikasi pada tanaman, yaitu :

- Gigantisme
Tanaman yang didomestikasi biasanya memiliki ukuran yang lebih besar daripada kerabat liarnya. Seleksi yang dilakukan manusia umumnya berusaha memaksimalkan ukuran bagian tanaman yang dapat dimakan.
- Perubahan ukuran biji
Akibat campur tangan manusia, biji dari beberapa spesies menjadi lebih besar. Selain memiliki cadangan makanan yang lebih banyak, biji yang lebih besar juga akan berguna untuk bahan tanam selanjutnya.

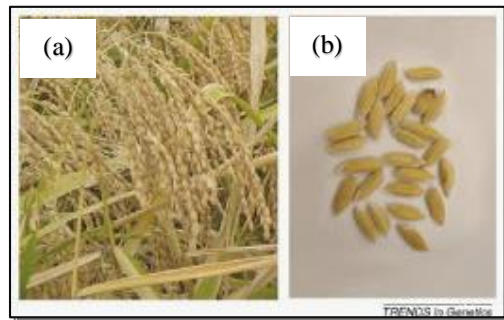
- Tanggapan terhadap suhu dan fotoperiod
Spesies liar mampu mempertahankan keberadaannya karena dapat beradaptasi dengan lingkungan tempat tumbuhnya. Tanaman yang tidak dapat menyesuaikan diri dengan kondisi iklim dan panjang hari akan mengalami kepunahan karena adanya proses seleksi alam. Domestikasi tanaman memerlukan penyesuaian atau modifikasi baik lingkungan ataupun tanamannya sehingga dapat mendukung untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman.
- Perubahan morfologi
Selain ukuran yang berubah, bentuk tanaman juga berubah selama domestikasi. Manusia umumnya memilih bentuk tanaman yang dapat meningkatkan produktivitasnya disamping kegunaan tanaman itu sendiri.
- Menurunnya kemampuan untuk bertahan hidup
Seleksi untuk menghilangkan bagian tumbuhan yang tidak disukai manusia, seperti biji, kemampuan berdormansi, duri, racun, dan rasa pahit juga dapat menurunkan kemampuan hidup tumbuhan.

Contoh Domestikasi : Domestikasi pada Padi.

Pada sejarah domestikasinya, nenek moyang padi dulu sebenarnya adalah rumput liar (masuk dalam famili rumput-rumputan). Kegiatan budidaya yang dilakukan tentu disertai dengan adanya modifikasi lingkungan atau pun komponen budidaya untuk mendukung peningkatan produktivitas tanaman padi. Studi genome menunjukkan bahwa *Oryzae sativa* didomestikasi dari *Oryzae rufipogon*. Spesies ini didomestikasi dari spesies perennial *Oryzae rufipogon* atau dari spesies annual *Oryzae nivara* atau keduanya sebagai pendahulu langsung. *Oryzae rufipogon* sejak 10.000 tahun yang lalu telah dikumpulkan dan dikonsumsi oleh manusia (Gambar 2.1). Tanaman ini tumbuh pada lahan basah atau terendam dan tersebar luas di kawasan Asia yang beriklim tropis maupun subtropis.



Gambar 2.1 (a) Malai *Oryzae rufipogon* dan (b) Biji *Oryzae rufipogon*.



Gambar 2.2 (a) Malai *Oryzae sativa* dan (b) Biji *Oryzae sativa*.

Dari kegiatan domestikasi *Oryzae rufipogon* menjadi *Oryzae sativa*, terjadi perubahan beberapa sifat antara lain struktur malai yang lebih padat sehingga dapat membawa lebih banyak biji, jumlah biji yang kosong berkurang pada setiap malai, dan ukuran biji padi yang membesar (Gambar 2.2). Tingkat dormansi biji menjadi lebih rendah sehingga dapat mudah dilakukan pembibitan. Perikarp dan kulit biji berwarna lebih cerah akibat pigmentasi yang cenderung menghilang.

2.2.2. Introduksi

Pengertian Introduksi

Keragaman genetik tanaman dapat diperoleh dari berbagai sumber yaitu dengan cara mendatangkan genotipe-genotipe yang tidak dimiliki dari tempat asal/*center of origin* dari spesies tanaman budidaya tersebut, membentuk rekombinasi baru melalui hibridisasi atau dengan induksi mutasi.

Introduksi adalah mendatangkan bahan tanam dari tempat lain (introduksi) merupakan cara paling sederhana untuk meningkatkan keragaman (variabilitas) genetik. Seleksi penyingkapan (screening) dilakukan terhadap koleksi plasma nutfah yang didatangkan dari berbagai tempat dengan kondisi lingkungan yang berbeda-beda. Pengetahuan tentang pusat keanekaragaman (diversitas) tumbuhan penting untuk penerapan cara ini. Contoh pemuliaan yang dilakukan dengan cara ini adalah pemuliaan untuk berbagai jenis tanaman buah asli Indonesia, seperti durian dan rambutan, atau tanaman pohon lain yang mudah diperbanyak secara vegetatif, seperti ketela pohon dan jarak pagar.

Sejarah Migrasi Tanaman

Menurut Sastrahidayat (2013), Introduksi tanaman berjalan terus dan terus berkembang, ketika Columbus mengadakan perjalanan keliling dunia pada tahun 1493, dia membawa kembali biji-biji seperti jagung, cabe, tomat, beserta biji-bijian khas Amerika ke negeri asalnya (Eropa) untuk ditanam. Hal semacam ini juga dilakukan oleh para penjelajah berikutnya sehingga introduksi tanaman tidak hanya terjadi dari satu wilayah ke wilayah didekatnya, tetapi dari benua satu ke benua yang lainnya. Tanaman introduksi yang dapat tumbuh baik di daerah baru mempunyai arti penting bagi pemuliaan tanaman. Sebab daerah baru tersebut mempunyai kondisi tanah dan iklim yang sama dengan daerah asalnya atau tanaman tersebut mempunyai daya adaptasi yang baik dengan lingkungannya yang baru.

Dalam perkembangan selanjutnya, di USA sejak tahun 1839 melalui Congress masalah introduksi tanaman sudah diberlakukan dengan undang-undang. Dengan adanya introduksi tanaman, perkembangan pertanian di USA mengalami kemajuan yang pesat. Contoh areal tanaman kedelai yang diintroduksi dari China pada tahun 1907 diperkirakan hanya 50.000 acre, tetapi pada tahun 1932 sudah menjadi 4 juta acre, bahkan pada tahun 1965 mencapai 3,4 juta acre.

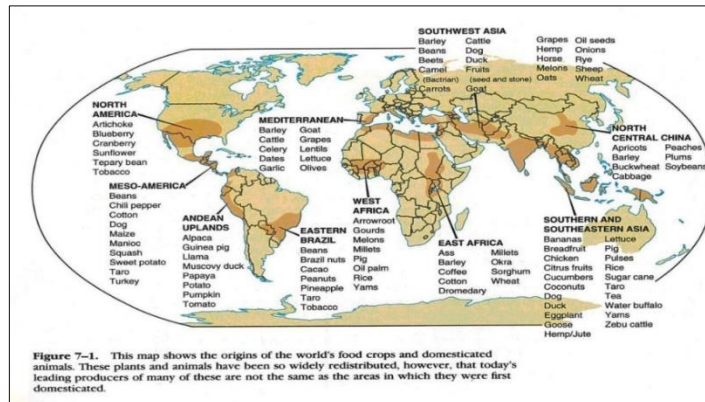
Di Indonesia, beberapa tanaman yang diintroduksi dan yang sekarang menjadi komoditas penting adalah tanaman kopi. Kopi Arabica di introduksi di Jawa pada tahun 1966 dan kopi robusta pada tahun 1900. Tanaman teh tipe China pada tahun 1862 sudah terdapat dikebun raya Bogor, sedangkan tipe Assam masuk ke Jawa tahun 1977. Tanaman kakao masuk ke Indonesia kira-

kira pada tahun 1918-an merupakan tipe kakao mulia (*fine favlour cocoa*). Kakao tipe lindak (*bulk*) baru masuk sekitar tahun 1976 melalui Sumatra Utara. Saat ini perkembangan tanaman kakao lindak di Indonesia mengalami kemajuan yang sangat pesat.

Center of Origin

Introduksi adalah mendatangkan plasma nutfah dari tempat dimana terdapat keragaman genetik yang tinggi yaitu dari tempat asal berkembangnya spesies tanaman itu (*center of origin*) atau dari tempat dimana tanaman itu secara intensif dibudidayakan sejak lama (*center of diversity*). Vavilov (1949) membagi wilayah di dunia ke dalam pusat-pusat keragaman (*center of origin*) (Gambar 2.3). Wilayah yang termasuk pusat keragaman tanaman budidaya adalah :

- Sino-japanese : kedelai, jeruk, padi dan the.
- Indo-cina : pisang, kelapa, padi, dan tebu.
- Hindustan : padi dan jute
- Asia barat : gandum, barley, anggur, apel
- Mediteranea : kubis, beet gula, zaitun
- Afrika : sorghum, millet, sawit dan kopi
- Euro-siberia : oat, dan rye
- Amerika latin : jagung, kentang, ubi jalar, ketela pohon, tomat, kapas, tembakau, kakao, karet
- Amerika utara : bunga matahari.
-



Gambar 2.3. Peta *Center of Origin*.

Keuntungan dan Kerugian Adanya Introduksi Tanaman

Menurut Sastrahidayat (2013), introduksi dapat dikombinasi dengan persilangan. Introduksi tanaman selain menambah keragaman tanaman mempunyai manfaat lain yaitu :

1. Memajukan bidang industri, dengan mendatangkan tanaman-tanaman industri seperti tanaman kehutanan, tanaman obat-obatan dan tanaman industri lainnya.
2. Memenuhi kebutuhan estetis dengan mendatangkan tanaman-tanaman ornamental untuk melengkapi koleksi kebun-kebun, taman-taman, gedung-gedung sehingga menciptakan keindahan tersendiri.
3. Untuk mempelajari asal, distribusi, klasifikasi dan evolusi dari tanaman dengan jalan memelihara tanaman yang diintroduksi di tempat tertentu kemudian dipelajari data-datanya secara mendetail. Untuk peningkatan mutu tanaman.

Namun selain itu, adapula akibat yang ditimbulkan dengan adanya introduksi pada tanaman yaitu :

1. Munculnya hama dan penyakit baru.
2. Terjadi kompetisi dengan tanaman lokal.
3. Mengganggu keseimbangan ekosistem.
4. Peledakan populasi tanaman spesies baru.
5. Hilangnya tanaman jenis lokal.

Munculnya hama dan penyakit baru disebabkan terbawanya oleh tanaman yang ikut terintroduksi secara sengaja maupun tidak sengaja. Hama Nematoda Sista Kuning (*Globodera rostochiensis*), hama ini baru diketahui memasuki Indonesia pada tahun 2002 yang lalu dibawa oleh bibit kentang yang diimpor melalui pelabuhan Tanjung Priok Jakarta, saat ini hama NSK telah tersebar di semua pusat tanaman kentang di Indonesia.

Terjadinya kompetisi dengan tanaman lokal contohnya, beberapa tahun yang lalu di Maroko diperkenalkan tanaman eukaliptus (tanaman semacam pohon minyak kayu putih) yang berasal dari Australia. Pohon eukaliptus dapat tumbuh dengan cepat, jauh lebih cepat daripada pohon oak yang digantikannya. Eukaliptus baik untuk bahan baku bubur kertas yang akan diekspor ke Eropa. Tetapi sayangnya, penggantian pohon oak dengan eukaliptus itu rupa-rupanya

tidak didahului dengan suatu uji coba skala kecil. Setelah mencapai dewasa, penanaman pohon eukaliptus dengan skala besar itu baru diketahui berdampak negatif pada lingkungan. Karena eukaliptus dapat tumbuh cepat, maka pohon itu menyerap air dan hara tanah dengan cepat pula. Sebagai akibatnya, tanaman gandum yang ada di sekitar hutan eukaliptus jadi merana pertumbuhannya. Pada waktu daerah itu masih berupa hutan oak, penduduk di sekitar hutan masih dapat menggembalakan kambingnya di hutan dan memanfaatkan rumput yang tumbuh di lantai hutan sebagai sumber pakan. Tetapi setelah pohon oak diganti dengan eukaliptus, rumput tidak tumbuh di lantai hutan. Diperkirakan, rumput tidak tumbuh akibat ada senyawa kimia yang dihasilkan akar eukaliptus bersifat racun bagi rumput asli daerah itu. Di samping itu, senyawa kimia yang dihasilkan akar eukaliptus itu juga menyebabkan air sumur yang menjadi sumber air minum penduduk di sekitar hutan, berubah menjadi terasa pahit hingga tak dapat digunakan sebagai air minum lagi. Tanaman yang di beberapa negara tidak dianggap berbahaya atau merugikan, di negara lain dapat dianggap sebagai tanaman yang berbahaya atau merugikan sehingga akan mengganggu keseimbangan ekosistem.

Mengganggu keseimbangan ekosistem habitat baru yang ditumbuhinya, contohnya didalam ekosistem yang baru, spesies tersebut tidak memiliki predator alami. Serangga *Neochetina eichhorniae* yang merupakan predator tanaman eceng gondok dan dapat mengendalikan populasi eceng gondok di perairan tidak hidup di Indonesia. Jika, tanaman eceng gondok tadi tidak memiliki predator atau hama untuk mengendalikan populasinya maka keseimbangan lingkungan sekitarnya juga akan terganggu.

Hilangnya tanaman jenis lokal yaitu terjadi setelah adanya revolusi hijau yang mengakibatkan padi jenis lokal ditinggalkan dan menggunakan varietas unggul karena varietas unggul tadi menghasilkan panen yang tinggi dibandingkan lokal.

Pengelompokan Introduksi Tanaman

Menurut Menurut Sastrahidayat (2013), tanaman introduksi dapat dikelompokkan menjadi tiga yakni:

1. Introduksi tanaman yang merupakan tanaman baru di suatu wilayah.
2. Introduksi tanaman yang merupakan suatu varietas baru.

3. Introduksi tanaman karena tanaman atau varietas ini mempunyai keunggulan tertentu.

Introduksi tanaman disuatu wilayah dapat digunakan sebagai usaha diversifikasi pertanian atau sebagai tanaman pengganti dari tanaman yang sudah ada, yang dipandang kurang menguntungkan. Perkembangan dan peningkatan introduksi tanaman dari wilayah yang satu kewilayah yang lain atau dari Negara satu kenegara yang lain mendorong dibentuknya suatu badan atau lembaga yang mengonservasi berbagai macam tanaman yang sering disebut “*gene reservoirs / germ plasm bank*”. Keberadaan lembaga ini dirasakan makin penting karena terdesaknya berbagai macam tanaman dari daerah asalnya atau tempat tumbuhnya akibat benturan -benturan dengan kepentingan yang lain.

2.2.3. Adaptasi Tanaman

Pengertian Adaptasi Tanaman

Pertumbuhan tanaman sangat dipengaruhi oleh lingkungannya, karena faktor-faktor lingkungan akan mempengaruhi fungsi fisiologis tanaman. Respons tanaman sebagai akibat faktor lingkungan akan terlihat pada penampilan tanaman, yaitu salah satunya vegetasi hutan bakau yang tumbuh di pantai berlumpur, beradaptasi dengan cara membentuk akar napas. Begitu pula tumbuhan yang tumbuh pada ekosistem rawa, mempunyai akar papan. Ini semua ada maksudnya, dan terkandung makna bahwa tumbuhan itu juga menyesuaikan diri dengan lingkungannya. Begitu pula biasanya vegetasi yang tumbuh di sekitar ekosistem tersebut juga spesifik atau tertentu, karena hanya tumbuhan yang sesuai dan cocok saja yang dapat hidup berdampingan.

Menurut Dewi (2016), kemampuan adaptasi dan stabilitas hasil merupakan karakter yang dapat digunakan sebagai penentu tetua yang akan dipilih dalam hibridisasi. Hal ini umumnya digunakan sebagai pertimbangan dalam pemuliaan tanaman untuk cakupan wilayah geografi yang lebih luas, terutama daerah dengan perbedaan sifat tanah dan iklim. Telah banyak model dan metode yang dikembangkan untuk penentuan kedua sifat ini diantaranya adalah genotipe x analisis lingkungan.

Cekaman merupakan faktor lingkungan biotik dan abiotik yang dapat mengurangi laju proses fisiologi. Tanaman mengimbangi efek merusak dari

cekaman melalui berbagai mekanisme yang beroperasi lebih dari skala waktu yang berbeda, tergantung pada sifat dari cekaman dan proses fisiologis yang terpengaruh. Respon ini bersama-sama memungkinkan tanaman untuk mempertahankan tingkat yang relatif konstan dari proses fisiologis, meskipun terjadinya cekaman secara berkala dapat mengurangi kinerja tanaman tersebut. Jika tanaman akan mampu bertahan dalam lingkungan yang tercekam, maka tanaman tersebut memiliki tingkat resistensi terhadap cekaman. Beberapa contoh cekaman yang akan mempengaruhi proses fisiologis seperti pada tanah marginal, suhu ekstrim dll.

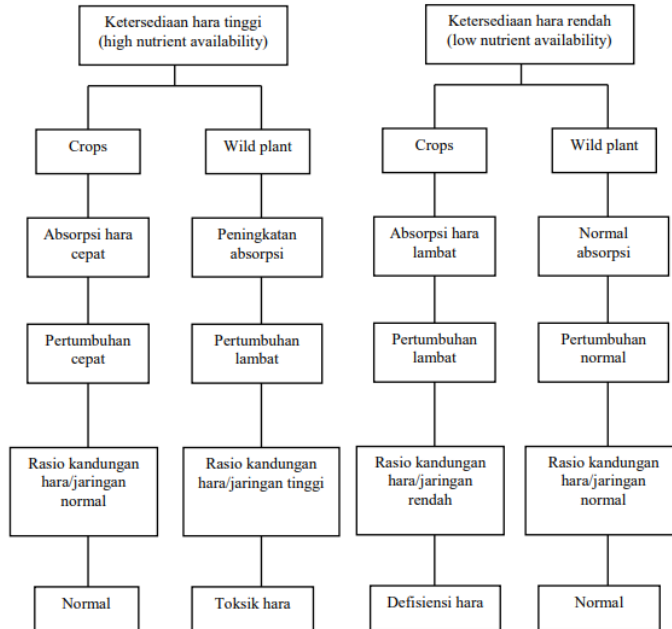
Cara Tanaman Beradaptasi Terhadap Cekaman Fisiologis

Menurut Wiraatmaja (2017) ada berbagai macam cekaman fisiologis yang dialami oleh tanaman. Setiap tanaman memiliki cara beradaptasi terhadap berbagai cekaman fisiologis.

1. Cara Tanaman Beradaptasi Terhadap Cekaman Fisiologis Pada Tanah Masam.

Tanah masam adalah tanah dengan nilai pH tanah rata-rata kurang dari 4,0 dan tingginya kandungan unsur aluminium. Terbatasnya pertumbuhan pada tanah masam terjadi karena toksisitas atau defisiensi hara mineral tertentu. Kendala utamanya berupa kelebihan Al bebas dan Al dapat ditukarkan (Al-dd), kelebihan Mn, dan defisiensi P, Ca, dan Mg. Sering pula terjadi defisiensi N, K, S, Mo, Zn dan Cu. Taraf nitrogen umumnya juga sangat rendah. Taraf Al dan Mn yang berlebihan secara fisiologis mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

Adaptasi terhadap stres hara mineral adalah kemampuan tanaman untuk menyesuaikan diri terhadap kekurangan dan kelebihan hara agar tidak terjadi defisiensi atau toksisitas. Mekanisme adaptasi tanaman pada tanah masam bisa terpisah (hanya toleran terhadap Al saja atau Mn saja) atau sekaligus (toleran Al dan Mn) disertai dengan efisien menyerap fosfat (Gambar 2.4). Tanaman yang toleran tanah masam adalah teh, ketela rambat, ketela pohon, kacang tanah, sedangkan tanaman yang peka jagung, kacang merah dan kedele.



Gambar 2.4 Perbedaan respon atau kemampuan adaptasi tanaman budidaya (*crops*) dan tanaman liar (*wild plants*) terhadap kendala hara mineral.

Ada 3 mekanisme utama toleransi tanaman terhadap toksik Al yaitu: (1) Menghindari penyerapan (*excluder plant*); (2) Inaktivasi di akar (*excluder/includer plant*); dan (3) Akumulasi di pucuk (*includer plant*). Mekanisme akumulasi di pucuk terutama pada tanaman toleran Al tinggi. Tanaman budidaya hanya sedikit yang termasuk tipe 3 seperti teh, dimana pada daun tua mengandung 30 mg/g BK. Untuk tanaman yang dibudidayakan, umumnya memiliki mekanisme tipe 1 atau 2.

2. Cara Tanaman Beradaptasi Terhadap Cekaman Fisiologis pada Tanah Salin.

Tanah dianggap salin jika kandungan garam terlarut dari segi jumlah telah mengganggu pertumbuhan kebanyakan tanaman. Tanah salin merupakan tanah dengan kandungan garam NaCl tinggi. Menurut US Salinity Laboratory, tanah salin merupakan tanah yang mengandung garam terlarut jumlahnya dapat mengganggu pertumbuhan tanaman, daya hantar listriknya (EC/electrical conductivity) > 4 mmhos/cm atau setara dengan 40 mM NaCl/l.

Salinitas menekan proses pertumbuhan tanaman dengan menghambat pembesaran dan pembelahan sel, produksi protein serta penambahan biomassa tanaman. Tanaman yang mengalami stres garam umumnya tidak menunjukkan respon dalam bentuk kerusakan langsung tetapi pertumbuhan yang tertekan dan perubahan secara perlahan. Gejala pertumbuhan tanaman pada tanah dengan tingkat salinitas yang cukup tinggi adalah pertumbuhan yang tidak normal seperti daun mengering di bagian ujung dan gejala khlorosis. Gejala ini timbul karena konsentrasi garam terlarut yang tinggi menyebabkan menurunnya potensial larutan tanah sehingga tanaman kekurangan air.

Mekanisme adaptasi terhadap NaCl tinggi secara umum dilakukan melalui:

- *Avoidance* (menghindar) dengan tidak menyerap NaCl atau tolerance yaitu NaCl diserap, tetapi tanaman tahan terhadap kadar garam NaCl tinggi.
- Pengaturan osmotik (*osmotic adjustment*) melalui meningkatkan potensial air jaringan dengan sintesis asam amino tertentu, gula dan meningkatkan laju serapan K, Ca dan NO₃, atau akumulasi garam di vakuola.
- Ekskresi garam, melalui *salt gland* pada permukaan daun atau pembuangan garam melalui rambut daun.
- Pengguguran daun bawah.

3. Cara Tanaman Beradaptasi Terhadap Cekaman Fisiologis Pada Tanah Alkalin.

Tanah alkalin/tanah berkapur merupakan tanah dengan pH tinggi (pH >7), dicirikan oleh kandungan CaCO₃ tinggi, kadang-kadang bisa mencapai 95%. Berdasarkan tingkat kemasamannya, Marschner (1986) membagi tanah alkalin menjadi tanah Renzines (pH = 7) dan tanah Solanets (pH > 8). Kendala utama yang dialami tanaman pada tanah alkalin adalah aerasi tanah buruk, defisiensi air, sifat fisik tanah jelek, kandungan HCO₃⁻ tinggi, serta defisiensi Fe, Zn, P dan Mn disertai toksik Na dan B.

Mekanisme adaptasi tanaman terhadap tanah alkalin tergantung apakah tanaman tersebut termasuk kelompok *calcicoles* (tanaman yang senang lahan berkapur) atau kelompok *calsifuges* (tanaman yang tidak menyenangi lahan berkapur). Kelompok *calcicoles* atau tanaman yang senang lahan berkapur, mempunyai adaptasi untuk mengatasi defisiensi Fe atau tingginya konsentrasi HCO_3^- yaitu dengan cara adaptif terhadap HCO_3^- tinggi, efisiensi Fe tinggi dengan tidak menunjukkan klorosis, serapan Ca dibatasi dengan afinitas membran rendah terhadap Ca, dan Ca diserap ke sitoplasma lalu membentuk *Ca binding protein*.

2.3. Sumber Pembentukan Koleksi Pemanfaatan Plasma Nutfah

Plasma Nutfah adalah sumber daya genetik yang digunakan pemulia untuk mengembangkan varietas/kultivar baru. Plasma nutfah dapat berupa biji/benih. Sumber plasma nutfah yang berupa biji/benih biasanya berasal dari tanaman baru/lama/ *landrace*. *Landrace* adalah bentuk-bentuk hasil seleksi dari tanaman yang sudah dibudidayakan. Tanaman yang berhasil dibudidayakan oleh petani berasal dari tanaman liar. Sumber plasma nutfah yang lain adalah propagula, yaitu bagian-bagian kecil tanaman yang dapat berkembang biak.

Besarnya keanekaragaman jenis dan sumber plasma nutfah Indonesia merupakan modal dasar yang sangat penting untuk pemuliaan. Dari hasil pemuliaan tanaman, diharapkan akan diperoleh bibit unggul baik dalam kualitas maupun produksi buahnya (Tahan, 2005).

Pemuliaan tanaman untuk perbaikan tanaman (*crop genetic improvement*) selalu dimulai dengan pemilihan tetua sebagai donor gen, yang berasal dari kekayaan koleksi plasma nutfah. Tanpa ketersediaan reservoir gen pada koleksi plasma nutfah, mustahil untuk melakukan program pemuliaan guna memperbaiki dan memperluas latar belakang genetik varietas tanaman. Koleksi plasma nutfah merupakan sumber kekayaan keragaman genetik bagi kegiatan pemuliaan tanaman. Koleksi plasma nutfah merupakan hasil eksplorasi ke pusat-pusat keragaman (*center of diversity*) untuk memahami tingkat keragaman yang ada dan untuk tujuan konservasi/penyelamatan keragaman genetik.

Anjuran dari kesepakatan FAO/*Global Plan of Action for the Conservation and Sustainable use of Plant Genetic Resource for Agriculture*, dalam hal pemanfaatan plasma nutfah adalah sebagai berikut (Duwayri dan

Hawtin 2001): (1) meningkatkan ketersediaan pilihan varietas yang paling sesuai untuk lingkungan spesifik dan preferensi bagi petani dengan memanfaatkan plasma nutfah yang adaptif sebanyak mungkin; (2) mendorong dan meningkatkan kemampuan pengelola plasma nutfah dan pemulia bekerja secara terpadu dalam membentuk varietas unggul adaptif terhadap lingkungan target; (3) mengeksploitasi sumber gen baru guna membentuk varietas yang kandungan genetiknya cukup beragam agar dapat mengurangi kerawanan tanaman terhadap perubahan cekaman biotik dan abiotik.

Penelusuran asal usul varietas dapat dilakukan dengan melihat persamaan sifat morfologis dan genetisnya, dibandingkan dengan varietas asli asal Indonesia, menggunakan teknik analisis genetika molekuler terhadap varietas yang bersangkutan. Hal demikian dapat dilakukan apabila dalam koleksi plasma nutfah terdapat aksesori varietas asli Indonesia yang dapat digunakan sebagai pembanding terhadap varietas yang diperselisihkan. Pada saat ini banyak varietas tanaman pangan seperti padi, kedelai, umbi-umbian, dan varietas tanaman buah-buahan Indonesia seperti rambutan, durian, manggis, dan nangka yang berada dan ditanam di luar negeri, yang mungkin akan diklaim sebagai varietas mereka. Guna membuktikan “hak kepemilikan” maka varietas tersebut dapat dibandingkan dengan varietas asli pada koleksi plasma nutfah nasional (Sumarno, 2008).

2.4. Konservasi Plasma Nutfah dan Pemanfaatannya

Koleksi plasma nutfah memiliki peran mempertahankan genotipe dengan karakteristik tertentu sehingga dapat tersedia untuk program pemuliaan masa depan. Koleksi tersebut demikian pentingnya untuk memulai dan mengembangkan perencanaan program pemuliaan baru.

2.4.1. Konservasi Plasma Nutfah

Konservasi mempunyai arti pelestarian plasma nutfah yang harus dapat dimanfaatkan untuk kepentingan manusia, dengan tidak mengesampingkan kepentingan ekosistem secara keseluruhan. Plasma nutfah harus dikonservasi karena plasma nutfah sering mengalami erosi genetik yang mengakibatkan jumlah plasma nutfah semakin menurun. Salah satu yang perlu diperhatikan

dalam pelestarian plasma nutfah adalah penyimpanan metode konservasi sumber daya genetik secara luas terbagi menjadi dua yaitu secara *in-situ* dan *ex-situ*.

a. Konservasi *in-situ*

Pada pasal 2 *Convention of Biological Diversity*, sumber daya genetik (SDG) atau plasma nutfah bisa berada secara *in-situ*, yaitu di dalam jenis-jenis terdomestikasi atau budidaya di dalam lingkungan rempat sifat-sifat khususnya. Konservasi *in-situ* dilaksanakan dengan memelihara tumbuhan di habitat aslinya dan memerlukan tempat yang luas, tenaga dan biaya yang besar. Konservasi *in situ* mencakup kawasan suaka alam (Cagar alam dan Suaka Margasatwa) dan kawasan pelestarian alam (Taman Nasional, Taman Hutan Raya, dan Taman Wisata Alam) (Pamulardi, 1999 hal.186). Secara teoritis, konservasi *in-situ* lebih menguntungkan sebab selain jenis tumbuhan yang akan dikonservasi, juga termasuk di dalamnya habitat atau ekosistem dimana tumbuhan tersebut tumbuh dan berkembang juga ikut dipertahankan.

b. Konservasi *ex-situ*

Sampai saat ini, upaya konservasi *in-situ* ini banyak mengalami kegagalan, penebangan liar di kawasan konservasi *in-situ* dari waktu ke waktu semakin meningkat, sehingga upaya penyelamatan yang lain dilakukan diantaranya melalui konservasi *ex-situ*. Konservasi *ex situ* dilakukan dengan memindahkan suatu jenis tumbuhan ke suatu lingkungan baru di luar habitat alamiahnya. Konservasi *ex-situ* dapat diterapkan dalam bentuk kebun koleksi, penyimpanan benih, atau penyimpanan bahan tumbuhan secara *in vitro* (Indrawan *et al.*, 2007 dalam Rahayu, 2014 hal. 114).

1. Bank gen koleksi benih, untuk plasma nutfah padi, jagung, sorgum, dan kacang-kacangan.
2. Bank gen di lapang (*field gene bank*) untuk ubi kayu, ubi jalar, ubi-ubian minor.
3. Konservasi secara *in vitro*, dilakukan pada tanaman yang mempunyai viabilitas benih yang singkat, dan pada tanaman yang diperbanyak secara vegetatif. Konservasi *in vitro* sudah dilaksana-

kan di banyak Negara. Selain konservasi terhadap jaringan biasa, terdapat juga konservasi untuk melestarikan tanaman secara *in vitro* melalui *embryo rescue* (pengawetan embrio), konservasi yang dilakukan terhadap embrio tanaman langka. Penyimpanan tumbuhan secara *in vitro* menghemat tempat, tenaga, dan biaya serta lebih memudahkan dalam pertukaran plasma nutfah.

2.4.2. Konservasi Plasma Nutfah Tumbuhan Secara *in vitro*

Teknik konservasi *in vitro* merupakan salah satu aplikasi teknik kultur jaringan atau *in vitro* untuk menyimpan bahan tumbuhan dari spesies yang telah langka atau dikhawatirkan dapat punah. Teknik konservasi secara *in vitro* ini merupakan salah satu aplikasi bioteknologi yang telah secara luas dilakukan oleh berbagai lembaga penelitian dan perguruan tinggi di seluruh dunia yang berkomitmen tinggi terhadap pelestarian plasma nutfah tumbuhan. Tahap-tahap pelaksanaan konservasi *in vitro* meliputi: (Engelmann, 2011 dalam Rahayu, 2014 hal.114):

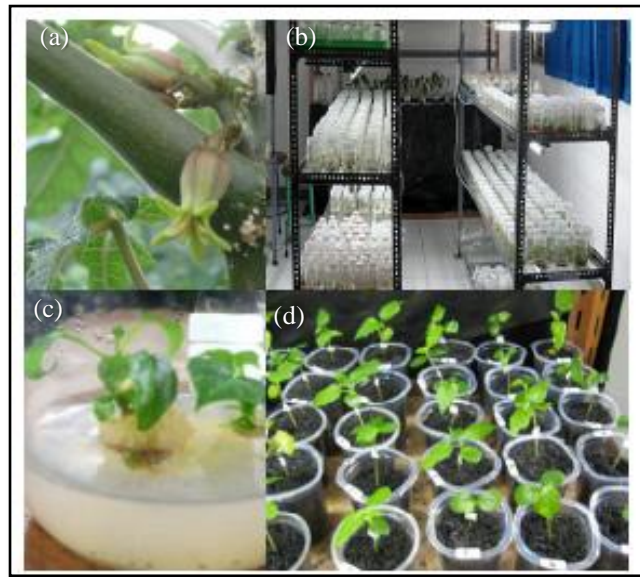
1. Pemilihan eksplan atau bahan tanaman yang akan disimpan,
2. Penyimpanan eksplan dalam medium konservasi dalam jangka waktu yang diinginkan: jangka pendek (kurang dari 1 tahun), menengah (1 – 4 tahun) atau jangka panjang (lebih dari 4 tahun), serta
3. *Recovery* dalam rangka pengujian stabilitas genetik dan viabilitas eksplan setelah disimpan dalam medium konservasi selama periode waktu tertentu.

a. Teknik konservasi untuk penyimpanan jangka pendek

Konservasi jangka pendek disebut pula teknik pertumbuhan optimal. Dalam teknik ini bahan tanaman disimpan dalam medium dan kondisi fisik optimal sehingga eksplan tumbuh dengan kecepatan optimal pula.

b. Teknik konservasi jangka menengah

Konservasi jangka menengah disebut teknik pertumbuhan minimal, bahan tanaman disimpan dalam medium dan kondisi fisik di luar rentang optimal misalnya tanaman kopi. Protokol konservasi *in vitro* dengan teknik pertumbuhan minimal telah berhasil diperoleh melalui serangkaian penelitian (Gambar 2.5).



Gambar 2.5 Tahap-tahap konservasi papaya dieng secara *in vitro*. (a) tangkai daun, helaian daun dan bunga yang dipilih menjadi eksplan, (b) penyimpanan eksplan pada medium konservasi dalam botol-botol kultur di ruang inkubasi, (c) pertumbuhan eksplan dalam medium recovery, (d) pertumbuhan tanaman setelah recovery. (Sumber : Rahayu, 2014).

c. Konservasi jangka panjang

Konservasi jangka panjang menggunakan teknik pembekuan atau tanpa pertumbuhan dengan metode kriopreservasi, bahan tanaman disimpan pada kondisi beku dalam nitrogen cair dengan temperatur di bawah titik beku-196°C. dengan teknik ini proses metabolisme seperti halnya pembelahan sel terhenti pada temperatur ini.

Teknik yang diterapkan serta mekanisme fisik dalam teknik kriopreservasi klasik dan baru berbeda. Teknik kriopreservasi klasik menggunakan pembekuan yang menghasilkan dehidrasi, sedangkan teknik kriopreservasi baru didasarkan pada vitrifikasi. Vitrifikasi didefinisikan sebagai transisi air langsung dari fase cair ke dalam suatu fase amorphous atau kaca/gelas untuk menghindari terbentuknya kristal es.

1. Teknik kriopreservasi klasik

Teknik kriopreservasi klasik telah dikembangkan pada tahun 70-an. Teknik ini meliputi suatu perlakuan krioprotektif diikuti dengan pembekuan secara perlahan yang dikerjakan dengan menggunakan suatu peralatan dapat di program untuk pembekuan (Karta, 1985 dalam Tjokrokusumo, 2004 p.142). Prosedur kriopreservasi klasik hanya cocok untuk pembekuan kultur yang tidak terdeferensiasi seperti halnya suspensi sel dan kalus.

2. Teknik kriopreservasi baru

Untuk pembekuan jaringan dan organ yang terdeferensiasi seperti spesies, embrio, zigot dan somatic, teknik baru berdasarkan pada dehidrasi sebagian dari eksplan diikuti dengan pembekuan yang cepat telah dikembangkan selama bertahun-tahun belakangan ini. Prosedur berdasarkan vertifikasi secara operasional kurang kompleks dibandingkan dengan klasik karena mereka tidak membutuhkan penggunaan pembekuan yang terprogram. Sebagai tambahan karena pembentukan es dihindari selama proses pembekuan, mereka teradaptasi untuk pembekuan organ yang kompleks seperti halnya spesies /embrio yang berisi variasi tipe sel setiap sel membutuhkan suatu keunikan dibawah kondisi pembekuan yang menghasilkan dehidrasi.

Keuntungan konservasi in vitro

- Hemat dalam pemakaian ruang. Karena tidak menanam secara konvensional dilapangan atau menanam seperti layaknya kultur *in vitro* biasa, tetapi melakukan modifikasi (misalnya pengkerdilan) terhadap tanaman maka ruangan yang dibutuhkan juga semakin kecil.
- Dapat menyimpan tanaman langka. Dengan penggunaan ZPT tertentu ataupun *cryopreservation*, kita dapat menyimpan tanaman sehingga koleksi tanaman langka (sumber plasma nutfah) tidak habis.
- Dapat mempertahankan tanaman yang tidak dapat menghasilkan biji. Alternatif cara yang dilakukan adalah dengan perbanyak vegetatif, kultur kalus, kultur sel dengan penambahan ZPT retardan.

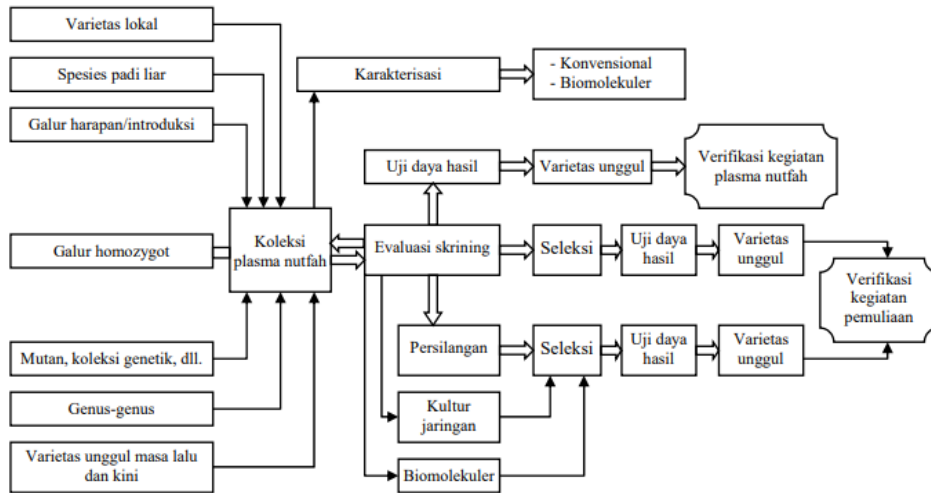
- Bebas dari gangguan hama dan penyakit. Ruangan yang digunakan diusahakan tertutup dari komunikasi dengan dunia luar, karena tingkat aseptisitas tetap dijaga, maka gangguan dapat diperkecil.
- Dapat disimpan lama. Dengan menggunakan retardan dan perlakuan lainnya, pertumbuhan tanaman yang dikonservasi tidak terlalu banyak membutuhkan sumber hara dan pertumbuhannya juga dapat dikatakan "mati segan hidup tetap berjalan" (Harahap, 2011 hal.152).

2.4.3. Pemanfaatan Plasma Nutfah

Pemanfaatan SDG dilakukan dengan melakukan penelitian dan pengembangan genetik dan atau komposisi biokimia sumber daya genetik termasuk melalui penerapan bioteknologi. Pemanfaatan SDA dapat meliputi pemanfaatan gen dalam pertanian modern sampai penggunaan enzim dalam industri dan dari penggunaan molekul organik sampai pada desain obat baru yang berasal dari ekstraksi tanaman obat (Mustikarini *et al.*, 2019 p. 5). Pemanfaatan plasma nutfah tanaman secara langsung atau tidak langsung dalam program pemuliaan pada dasarnya terbagi lima kategori (Sumarno dan Zuraida, 2008 p.62) :

1. Pemanfaatan secara langsung akses plasma nutfah elit berupa genotipe atau strain unggul adaptif.

Pada tahap awal program pemuliaan, koleksi plasma nutfah sering diandalkan sebagai sumber calon varietas unggul, yang secara cepat dapat dilepas dan dianjurkan untuk ditanam petani. Misalnya padi varietas Pandanwangi, Rojolele, dan Mentik adalah kekayaan plasma nutfah yang langsung dapat dianjurkan untuk ditanam petani, karena mutu nasinya yang enak. Pada tanaman menyerbuk silang, genotipe unggul yang tidak terkontaminasi gen-gen dari luar populasi memungkinkan juga dilepas sebagai varietas unggul anjuran, seperti jagung Genjah Madura dan jagung Pulut. Hampir semua varietas tanaman buah-buahan asli Indonesia yang dilepas berasal dari koleksi kekayaan plasma nutfah (PKBT 2005). Di Indonesia metode perbaikan varietas yang berlangsung sampai saat ini. Metode ini dimulai sejak tahun 1927 dengan memanfaatkan keragaman plasma nutfah (Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Alur pemanfaatan plasma nutraf padi
(Sumber: Silitonga, 2004 hal. 62).

2. *Pemurnian populasi aksesi plasma nutraf sebagai calon varietas.*

Populasi atau genotipe dari kekayaan koleksi plasma nutraf yang memperlihatkan sifat-sifat unggul tetapi belum seragam dapat dilakukan seleksi penotipe, secara massa positif atau massa negatif, atau galur murni (khusus untuk tanaman menyerbuk sendiri) dan keturunannya dapat dijadikan calon varietas unggul anjuran. Sebagai contoh, kedelai varietas Shakti yang dilepas pada tahun 1965 berasal dari pemurnian varietas introduksi yang ada dalam koleksi plasma nutraf (Somaatmadja 1985).

3. *Plasma nutraf adaptif sebagai tetua persilangan untuk memperoleh rekombinasi gen-gen unggul.*

Plasma nutraf berupa varietas lokal adaptif, varietas introduksi yang memiliki sifat-sifat unggul spesifik, dan varietas unggul lama dapat dijadikan tetua dalam program pemuliaan, disilangkan dengan varietas unggul, untuk menggabungkan sifat-sifat baik, yang selanjutnya dilakukan seleksi dan pembuatan galur serta uji daya hasil untuk mendapatkan galur harapan sebagai calon varietas unggul baru. Varietas unggul kedelai Orba berasal dari persilangan varietas introduksi Wakashima dengan varietas lokal adaptif Garut, yang bernama Davros. Varietas kedelai Wilis berasal dari persilangan varietas

unggul adaptif Orba dengan varietas introduksi No. 1682 asal AVRDC Taiwan (Sumarno 1984).

4. *Plasma nutfah sebagai donor gen spesifik.*

Perbaikan sifat genetik tahan hama, penyakit, cekaman abiotik, mutu hasil, sifat nonsensitif terhadap fotoperiodisitas, dan sifat-sifat spesifik lain yang belum dimiliki oleh varietas unggul, dapat dilakukan dengan memanfaatkan gen pembawa sifat yang dimaksud dari plasma nutfah donor untuk direkombinasikan ke dalam genom varietas unggul. Untuk mengidentifikasi aksesori koleksi plasma nutfah yang memiliki gen-gen spesifik tersebut, peran peneliti plasma nutfah sangat penting. Peneliti plasma nutfah yang berhasil mengidentifikasi sumber gen spesifik yang memiliki manfaat bagi perbaikan genotipe tanaman dapat melakukan pelepasan plasmanutfah (*germplasm release*) secara formal, dan peneliti yang bersangkutan berfungsi sebagai “pemilik” sumber gen tersebut. Peraturan tentang peneliti penemu gen spesifik di Indonesia memang belum ada, sehingga perlu dibuat ketentuannya, seperti yang telah lama diberlakukan di negara lain.

5. *Plasma nutfah sebagai bahan perluasan latar belakang genetik varietas (broadening genetic base of variety).*

Koleksi plasma nutfah berupa spesies liar, *land race*, varietas lokal, dan varietas kuno, apabila disilangkan (sebagai tetua betina) dengan varietas unggul baru, diikuti dengan tiga sampai lima kali silang balik menggunakan tetua varietas unggul, akan menghasilkan genotipe yang mempunyai sitoplasma berasal dari plasma nutfah donor, dan introgresi gen-gen kepada varietas unggul baru (Sumarno 1988). Penggantian sitoplasma dan penambahan gen-gen berasal dari varietas liar ke dalam genom varietas unggul baru ini disebut sebagai “introgresi plasma nutfah” yang dapat memperluas latar belakang genetik varietas baru yang dihasilkan (Spoor dan Simmonds, 2001). Mengingat varietas unggul yang ada pada saat ini masih memiliki kelemahan sifat yang perlu diperbaiki, maka semakin banyak kekayaan plasma nutfah semakin besar kemungkinan untuk dapat menyediakan gen-gen pembawa sifat-sifat spesifik yang diinginkan. Sebagai contoh, pada tanaman padi diperlukan gen tahan terhadap bakteri hawar daun yang berasal dari padi liar (*Oryza longistaminata*), gen tahan virus tungro yang berasal dari *Oryza nivara* (Abdullah, 2006).

2.5. Pelestarian Plasma Nutfah di Dunia dan Indonesia

Plasma Nutfah merupakan substansi yang mengatur perilaku kehidupan secara turun termurun, sehingga populasinya mempunyai sifat yang membedakan dari populasi yang lainnya. Perbedaan yang terjadi itu dapat dinyatakan, misalnya dalam ketahanan terhadap penyakit, bentuk fisik, daya adaptasi terhadap lingkungannya dan sebagainya. Dengan kata lain, plasma nutfah merupakan massa organisme (flora dan fauna) yang masih membawa sifat-sifat genetik asli. Sedangkan menurut pengertian atau defnisi yang terdapat pada Kamus Pertanian, Plasma Nutfah merupakan substansi sebagai sumber sifat keturunan yang terdapat di dalam setiap kelompok organisme yang dapat dimanfaatkan dan dikembangkan atau dirakit agar tercipta suatu jenis unggul atau kultivar baru. Dari pengertian ini, diketahui bahwa Indonesia memiliki plasma nutfah yang sangat besar, keanekaragaman jenis yang besar. Luasnya daerah wilayah penyebaran spesies, menyebabkan spesies-spesies tersebut menjadikan keanekaragaman plasma nutfah cukup tinggi. Masing-masing lokasi dengan spesies-spesies yang khas karena terbentuk dari lingkungan yang spesifik.

Eksistensi beberapa plasma nutfah menjadi rawan dan langka, bahkan ada yang telah punah akibat pemanfaatan sumber daya hayati dan penggunaan lahan sebagai habitatnya. Kebijakan pembangunan yang kurang memperhatikan kelestarian lingkungan dapat berperan dalam proses kepunahan plasma nutfah tersebut. Contohnya: Plasma nutfah padi, dimana merupakan sumber keanekaragaman karakter tanaman padi yang memiliki potensi sebagai sumber keunggulan tertua dalam program perakitan varietas unggul baru. Keragaman plasma nutfah padi berupa koleksi varietas lokal, ras-ras yang beradaptasi di lingkungan spesifik, kultivar unggul yang telah lama dilepas dan bertahan di masyarakat, serta kultivar unggul yang baru dilepas dan galur-galur harapan yang tidak terpilih dalam pelepasan varietas. Materi tersebut sangat penting dalam program pemuliaan, karena perakitan dan perbaikan varietas unggul baru yang memiliki latar belakang genetik luas, akan tergantung dari ketersediaan sumber gen pada koleksi plasmanutfah (Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, 2003). Pengelolaan plasma nutfah dinilai berhasil apabila telah mampu menyediakan akses plasma nutfah sebagai sumber gen donor dalam program

pemuliaan, dan pemuliaan tanaman dinilai berhasil apabila telah memanfaatkan keragaman sifat genetik yang tersedia dalam koleksi plasma nutfah (Sumarno dan Zuraida, 2008).

Pelestarian plasma nutfah sebagai sumber genetik akan menentukan keberhasilan program pembangunan pangan, dimana kecukupan pangan yang diidamkan akan tergantung kepada keragaman plasma nutfah yang dimiliki karena pada kenyataannya varietas unggul yang sudah, sedang dan akan dirakit merupakan kumpulan dari keragaman genetik spesifik yang terekspresikan pada sifat-sifat unggul yang diinginkan. Unsur utama dari pengelolaan plasma nutfah sendiri adalah pelestarian secara *in situ* dan *ex situ* dari plasma nutfah yang kita miliki. Sedangkan fokus dari pengelolaan plasma nutfah adalah melestarikan, mengembangkan, dan memanfaatkannya secara berkelanjutan, baik pada ekosistem darat maupun laut, kawasan agroekosistem dan kawasan produksi, serta program konservasi *ex situ*. Upaya pengelolaan ini harus disertai dengan pemeliharaan sistem pengetahuan tradisional dan pengembangan sistem pemanfaatan plasma nutfah yang dilandasi oleh pembagian keuntungan yang adil. Untuk itu, telah ditetapkan berbagai kawasan konservasi dalam bentuk suaka alam (cagar alam dan suaka margasatwa) dan kawasan pelestarian alam (taman nasional, taman hutan raya, dan taman wisata alam). Sebagai contoh telah ditetapkan beberapa kawasan konservasi plasma nutfah seperti Kebun Raya Bogor, Kebun Raja, Kebun koleksi tanaman industri Cimanggu Bogor, (Kusumodkk., 2002), Kebun Koleksi Nasional–Sumber Daya Genetik kelapa sawit (KKN-SDG) di K.P. Sitiung, Kabupaten Dharmasraya Sumatera Barat. Kekayaan plasma nutfah yang terdapat di alam memiliki potensi untuk dimanfaatkan dalam industri pertanian.

Oleh sebab itu, saat ini plasma nutfah banyak dikaji dan dikoleksi dalam rangka meningkatkan produksi pertanian dan penyediaan pangan. Hal ini dilakukan karena plasma nutfah merupakan sumber gen yang berguna bagi perbaikan tanaman seperti gen untuk ketahanan penyakit, serangga, gulma dan juga gen untuk ketahanan terhadap cekaman lingkungan abiotik yang kurang menguntungkan seperti kekeringan. Selain itu plasma nutfah juga merupakan sumber gen yang dimanfaatkan untuk peningkatan kualitas hasil tanaman seperti kandungan nutrisi yang lebih baik. Keberhasilan program pengelolaan plasma nutfah sangat ditentukan oleh tingkat pemanfaatan plasma nutfah. Pemanfaatan

plasma nutfah dalam program pemuliaan yang sangat intensif telah dilakukan pada tanaman pangan dan hortikultura. Hal ini terlihat dari jumlah varietas unggul yang telah dihasilkan. Sementara pada tanaman perkebunan masih terbatas pada tanaman tertentu. Di masa depan, plasma nutfah akan lebih penting peranannya dalam pembangunan mengingat kebutuhan dunia akan bahan-bahan hayati untuk obat, varietas baru tanaman pertanian dan ternak, proses industri, dan pengolahan pangan semakin meningkat. Tetapi prospek ini tidak akan dapat diraih apabila erosi plasma nutfah yang diawali dengan kerusakan sebagian ekosistem dan kepunahan beberapa spesies masih berlanjut seperti yang terjadi sekarang ini apabila tidak dilakukan usaha pencegahan secara lebih serius. Salah satu upaya untuk meningkatkan produktifitas dan kualitas hasil pertanian adalah melalui perbaikan genetik bahan tanaman dengan memanfaatkan Sumber Daya Genetik (SDG) yang berbeda dengan material yang telah ada. Keanekaragaman genetik dalam plasma nutfah merupakan bahan dasar yang diperlukan dalam program untuk menghasilkan varietas dan hibrida unggul serta berbagai penemuan dan inovasi. Untuk itu diperlukan ketersediaan SDG dengan tingkat keragaman yang tinggi sebagai sumber keragaman genetik. Tersedianya SDG yang didukung oleh sistem pengelolaan yang kuat akan memacu percepatan perakitan tanaman unggul.

a. Plasma nutfah tumbuhan Indonesia dan pengelolaannya

Di antara 4418 spesies plasma nutfah tumbuhan di Indonesia, yang tumbuh di Pulau Jawa sebanyak 468 jenis, yang tumbuh hanya di Jawa saja (tidak ditemukan di luar Jawa) sebanyak 60 jenis, dan yang berasal dari Jawa Tengah 38 jenis. Jenis-jenis endemik tersebut pada umumnya menyukai daerah perbukitan vulkanik dengan curah hujan lebih dari 2500 mm/tahun; kemiringan lahan 25-60%; jenis tanah aerosol, cambisol, andosol, regusol, alluvium, batu gamping atau metamorf; ketinggian 300-600 m atau 600-1500 m, dan hanya beberapa jenis yang tumbuh di atas ketinggian 1500 m di atas permukaan laut (Indrawan *et al.*, 2007, Widjaja *et al.*, 2010).

Tingkat kelangkaan plasma nutfah dapat dikelompokkan menjadi lima kategori utama, yaitu punah, punah di alam, kritis, genting, dan rawan/rentan. Selain itu terdapat plasma nutfah yang keberadaannya tergantung upaya konservasi, nyaris punah, kurang data dan belum dievaluasi (*International*

Union for Conservation of Nature and Natural Resources dalam Kapai *et al.*, 2010). Diantara beberapa kategori tersebut yang perlu mendapat perhatian besar adalah spesies yang dikategorikan kritis (menghadapi resiko kepunahan sangat tinggi dalam waktu dekat atau 10 tahun), genting (yang terancam kepunahan sangat tinggi dalam 20 tahun), dan rawan (memiliki resiko punah dalam jangka 100 tahun tetapi dieksploitasi secara terus-menerus sehingga perlu dilindungi).

Pengelolaan plasma nutfah di Indonesia dilakukan oleh beberapa instansi atau lembaga yang dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu yang bertugas sebagai penentu kebijakan (Dinas Pertanian, Perkebunan, Kehutanan, Perikanan, dan Peternakan), sebagai lembaga penelitian (Balai Penelitian Komoditas Pertanian, BPTP), dan lembaga pendidikan (Thohari, 2006). Selain itu terdapat pula lembaga swadaya masyarakat yang memfokuskan kegiatan pada pelestarian plasma nutfah, perusahaan jamu atau obat tradisional yang memanfaatkan plasma nutfah tumbuhan obat, dan petani yang secara tradisional menanam dan memanfaatkan plasma nutfah tanaman pangan dan hewan ternak. Kegiatan pelestarian dan pemanfaatan yang dilakukan berbagai lembaga tersebut pada umumnya belum dilakukan secara koordinatif. Hal ini terutama disebabkan oleh perbedaan latar belakang, motivasi, dan tujuan. Untuk itu dibutuhkan wadah yang dapat mengkoordinir berbagai pihak dalam pelestarian dan pemanfaatan plasma nutfah.

Di dalam Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1990 dinyatakan bahwa konservasi sumber daya alam hayati dan ekosistemnya dapat dilakukan melalui kegiatan (1) perlindungan sistem penyangga kehidupan, (2) pengawetan keanekaragaman jenis tumbuhan dan satwa beserta ekosistemnya, dan (3) pemanfaatan secara lestari sumber daya alam hayati dan ekosistemnya. Terdapat dua macam kawasan pengawetan keanekaragaman jenis, yaitu kawasan suaka alam (misalnya cagar alam dan suaka margasatwa) dan kawasan pelestarian alam, misalnya taman nasional, taman hutan wisata, taman wisata alam, taman tumbuhan khusus, kebun plasma nutfah, kebun raya dan taman kehati (keanekaragaman hayati). Pemanfaatan sumber daya tumbuhan secara lestari dapat dilaksanakan dalam bentuk pemeliharaan tumbuhan di lahan budidaya yang membawa dampak positif dari segi ekonomi dan ekosistem sehingga akan dilakukan secara terus menerus dan dapat dinilai sebagai kegiatan konservasi atau pelestarian.

b. Plasma Nutfah Berskala Nasional

Menurut Suharto (2004), sampai dengan saat ini belum ada suatu kebijakan yang berskala nasional, terintegrasi dan komprehensif tentang pengelolaan plasma nutfah. Pengelolaan plasma nutfah terkotak-kotak sesuai dengan lembaga pengelolaannya. Sehingga kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi pada lembaga pengelola yang satu tidak berdampak pada lembaga lainnya. Selain permasalahan diatas, dalam kebijakan yang adapun hanya tertuang dalam beberapa pasal dalam Undang Undang dan Peraturan-Peraturan pelaksanaan, yang merupakan kebijakan yang bersifat parsial dan (mungkin) kontemporer. dan itu pun tidak secara implisit menegaskan makna akan plasma nutfah. Bila dikaji kebijakan-kebijakan yang dikeluarkan terkait lembaga pengelola sumber daya alam hayati maka sangat kurang tegas dinyatakan akan upaya-upaya pengelolaan sumberdaya genetik (plasma nutfah)nya.

Sektor pertanian yang lebih dahulu maju dalam pengembangan rekayasa genetika, dapat dikatakan mulai memperhatikan unsur plasma nutfah tersebut dalam kebijakannya itupun sifatnya sangat parsial dan mungkin temporal. Pengelolaan sumberdaya alam hayati lebih di fokuskan pada pemanfaatan keanekaragam jenis dan hanya pada jenis-jenis yang memiliki nilai-nilai komersial. Kurangnya perhatian pengembangan jenis-jenis komersial dan jenis lainnya tersebut, tentu disebabkan tidak adanya keberpihakan kebijakan yang dikeluarkan kearah pengembangan genetik.

Para ahli pertanian dan ahli konservasi biologi harus berterima kasih kepada para petani tradisional yang mempunyai peranan penting dalam mengelola dan menjaga keanekaragaman sumber plasma nutfah. Keanekaragaman sumber plasma nutfah sangat penting dalam upaya memperbaiki jenis-jenis tanaman budidaya.

Dalam upaya menjaga kelestarian jenis-jenis tanaman local yang memiliki keunggulan tertentu diperlukan upaya konservasi *ex-situ* yang diperlukan para pemulia sebagai bahan sumber genetik dalam upaya menemukan jenis yang mempunyai keunggulan. Walaupun demikian para ilmuwan ahli genetika dan ahli pemulia masih tetap memerlukan usaha *in-situ* jenis dan kultivar-kultivar lokal sebagai sumber genetik dalam rekayasa genetika untuk memperbaiki jenis tanaman budidaya.

BAB 3

PERAN BIOTEKNOLOGI DALAM PEMULIAAN TANAMAN

3.1. Sejarah Rekayasa Genetika Tanaman

Rekayasa genetika adalah ilmu yang memanipulasi bahan genetik suatu organisme. Manusia telah mengubah genom spesies makhluk hidup lainnya selama ribuan tahun melalui pembiakan selektif, atau seleksi buatan berkebalikan dengan seleksi alam. Baru-baru ini, pembiakan mutasi telah menggunakan paparan bahan kimia atau radiasi untuk menghasilkan mutasi acak dengan frekuensi tinggi, untuk tujuan pembiakan selektif. Rekayasa genetika sebagai manipulasi langsung DNA oleh manusia di luar pembiakan dan mutasi hanya ada sejak tahun 1970-an. Istilah "rekayasa genetika" pertama kali diciptakan oleh Jack Williamson dalam novel fiksi ilmiahnya *Dragon's Island*, yang diterbitkan pada tahun 1951 satu tahun sebelum peran DNA dalam faktor keturunan dikonfirmasi oleh Alfred Hershey dan Martha Chase, dan dua tahun sebelumnya James Watson dan Francis Crick menunjukkan bahwa molekul DNA memiliki struktur heliks ganda meskipun konsep umum manipulasi genetika langsung telah dieksplorasi dalam bentuk yang belum sempurna dalam cerita fiksi ilmiah Stanley G. Weinbaum tahun 1936, *Proteus Island* (Ajay, 2008).

Pada tahun 1972, Paul Berg menciptakan molekul DNA rekombinan pertama dengan menggabungkan DNA dari virus monyet SV40 dengan virus lambda. Pada 1973 Herbert Boyer dan Stanley Cohen menciptakan organisme

transgenik pertama dengan memasukkan gen resistensi antibiotik ke dalam plasmid bakteri *Escherichia coli*. Setahun kemudian Rudolf Jaenisch menciptakan tikus transgenik dengan memasukkan DNA asing ke dalam embrio, menjadikannya hewan transgenik pertama di dunia. Prestasi ini menyebabkan kekhawatiran di komunitas ilmiah tentang risiko potensial dari rekayasa genetika, yang pertama kali dibahas secara mendalam di Konferensi Asilomar pada tahun 1975. Salah satu rekomendasi utama dari pertemuan ini adalah bahwa pengawasan pemerintah terhadap penelitian DNA rekombinan harus ditetapkan sampai teknologinya dianggap aman (Berg, 1975).

Pada 1976 Genentech, perusahaan rekayasa genetika pertama, didirikan oleh Herbert Boyer dan Robert Swanson dan setahun kemudian perusahaan itu menghasilkan protein manusia (somatostatin) di *E. coli*. Genentech mengumumkan produksi insulin manusia rekayasa genetika pada tahun 1978. Pada tahun 1980, Mahkamah Agung AS pada kasus *Diamond v. Chakrabarty* memutuskan bahwa kehidupan yang diubah secara genetis dapat dipatenkan. Insulin yang diproduksi oleh bakteri disetujui untuk dirilis oleh *Food and Drug Administration* (FDA) pada tahun 1982 (Goeddel *et al*, 1979).

Pada tahun 1983, sebuah perusahaan bioteknologi, *Advanced Genetic Sciences* (AGS) mengajukan permohonan otorisasi pemerintah AS untuk melakukan tes lapangan dengan galur minus-es *Pseudomonas syringae* untuk melindungi tanaman dari cuaca beku, tetapi kelompok lingkungan dan pengunjuk rasa menunda uji lapangan selama empat tahun dengan tantangan hukum. Pada tahun 1987, jenis minus-es *P. syringae* menjadi organisme yang dimodifikasi secara genetik (GMO) pertama yang dilepaskan ke lingkungan ketika ladang stroberi dan ladang kentang di California disemprotkan dengannya. Kedua bidang uji diserang oleh kelompok aktivis pada malam sebelum tes terjadi: "Situs uji coba pertama di dunia menarik perusak lapangan pertama di dunia" (Bratspies, 2007).

Percobaan lapangan pertama tanaman rekayasa genetika terjadi di Perancis dan AS pada tahun 1986, tanaman tembakau direkayasa agar tahan terhadap herbisida. Republik Rakyat Tiongkok adalah negara pertama yang mengkomersilkan tanaman transgenik, memperkenalkan tembakau yang resistan terhadap virus pada tahun 1992. Pada 1994 Calgene memperoleh persetujuan untuk secara komersial melepaskan makanan yang dimodifikasi secara genetik

pertama, Flavr Savr, tomat yang direkayasa untuk memiliki umur simpan yang lebih lama. Pada tahun 1994, Uni Eropa menyetujui tembakau direkayasa agar tahan terhadap herbisida bromoxynil, menjadikannya tanaman rekayasa genetika pertama yang dikomersialkan di Eropa. Pada tahun 1995, Kentang bt dianggap aman oleh Badan Perlindungan Lingkungan, setelah disetujui oleh FDA, menjadikannya tanaman penghasil pestisida pertama yang disetujui di AS. Pada tahun 2009 11 tanaman transgenik ditanam secara komersial di 25 negara, yang terbesar berdasarkan luas yang ditumbuhkan adalah AS, Brasil, Argentina, India, Kanada, Cina, Paraguay, dan Afrika Selatan (James, 1996).

Pada 2010, para ilmuwan di J. Craig Venter Institute menciptakan genom sintetis pertama dan memasukkannya ke dalam sel bakteri kosong. Bakteri yang dihasilkan, bernama *Mycoplasma laboratorium*, dapat mereplikasi dan menghasilkan protein. Empat tahun kemudian penemuan ini dikembangkan selangkah lebih maju ketika bakteri dikembangkan yang mereplikasi plasmid yang mengandung pasangan basa unik, menciptakan organisme pertama yang direkayasa untuk menggunakan alfabet genetik yang diperluas. Pada tahun 2012, Jennifer Doudna dan Emmanuelle Charpentier berkolaborasi untuk mengembangkan sistem CRISPR/Cas9, teknik yang dapat digunakan untuk dengan mudah dan spesifik mengubah genom dari hampir semua organisme (Gibson *et al*, 2010)

Tidak seperti pengembangbiakan hewan dan pemuliaan tanaman secara tradisional, yang melibatkan beberapa persilangan dan kemudian organisme terpilih dengan fenotip tertentu, rekayasa genetika mengambil gen secara langsung dari satu organisme dan memasukkan ke organisme lain. Proses ini jauh lebih cepat, dapat digunakan untuk menyisipkan gen-gen dari organisme apapun (bahkan organisme dari berbagai domain) dan mencegah agar gen yang tidak diinginkan tidak ikut ditambahkan.

Rekayasa genetika berpotensi memperbaiki kelainan genetik pada manusia dengan mengganti gen yang rusak dengan gen yang baik. Proses ini menjadi sebuah alat yang penting dalam penelitian yang memungkinkan fungsi spesifik suatu gen menjadi bahan penelitian. Tanaman transgenik yang telah dikembangkan saat ini membantu keamanan pangan dengan meningkatkan hasil, nilai gizi dan toleransi terhadap tekanan lingkungan. DNA dapat dimasukkan secara langsung ke organisme inang atau ke dalam sel yang kemudian menyatu

atau dihibridisasi dengan tuan rumah. Proses ini bergantung pada teknik rekombinan asam nukleat untuk membentuk kombinasi baru dari materi genetik yang dapat diwariskan diikuti oleh penggabungan dari materi baik secara tidak langsung melalui sistem vektor atau langsung melalui mikro-injeksi, makro-injeksi atau mikro-enkapsulasi.

Rekayasa genetika biasanya tidak mencakup peranakan tradisional, fertilisasi in vitro, induksi poliploida, mutagenesis dan teknik sel fusi yang tidak menggunakan rekombinan asam nukleat atau organisme yang dimodifikasi secara genetik dalam prosesnya. Namun, beberapa definisi luas dari rekayasa genetika mencakup pembiakan selektif. Penelitian kloning dan sel induk, meskipun tidak dianggap sebagai rekayasa genetika, masih terkait erat dan rekayasa genetika dapat digunakan bersamaan dengan proses ini. Biologi sintesis adalah bidang ilmu yang sedang berkembang yang membuat rekayasa genetika semakin maju lagi dengan memperkenalkan bahan yang disintesis artifisial ke dalam suatu organisme

Beberapa istilah yang digunakan pada rekayasa genetika yaitu transgenik, modifikasi genetika (*genetically modified/GM*), teknologi DNA, kloning gen atau kloning molekuler merupakan istilah yang meliputi sejumlah teknik/metode/prosedur yang digunakan untuk mengidentifikasi, meniru, memodifikasi dan mentransfer materi genetik dari sel, jaringan atau makhluk hidup lengkap dari satu makhluk hidup ke makhluk hidup lainnya (Izquierdo, 2001; Karp, 2002; Sudjadi, 2008; Artanti *et al.*, 2010).

Teknologi yang paling banyak digunakan adalah rekombinasi DNA (*DNA recombinant*), suatu metode yang digunakan untuk memanipulasi langsung DNA yang berorientasi pada ekspresi gen tertentu. Teknik ini melibatkan kemampuan untuk mengisolasi, memotong dan memindahkan potongan DNA tertentu sesuai dengan gen-gen yang menjadi target (Klug dan Cummings, 2002; Singh *et al.*, 2006; Artanti *et al.*, 2010).

Saat ini memanipulasi DNA dalam berbagai cara dan memindahkannya dari satu makhluk hidup ke makhluk hidup lain dapat diprogramkan melalui teknik rekombinasi DNA untuk memproduksi berbagai zat seperti enzim, antibodi monoklonal, nutrisi, hormon, dan berbagai produk farmasi termasuk obat dan vaksin dalam jumlah besar (Brown, 1996; Campbell, 1996; Radji, 2009).

Menurut Suwanto (2006), rekayasa genetika merupakan suatu teknik alternatif untuk melakukan modifikasi bahan genetik pada suatu makhluk hidup. Perbedaan utamanya dengan teknik pemuliaan yang lain adalah dalam hal tingkat ketepatan dan kecepatan hasil mutasinya. Mutan yang diperoleh melalui teknologi DNA merupakan hasil mutagenesis langsung pada sasarannya (*site directed mutagenesis*), sedangkan mutasi buatan secara fisika atau kimia bersifat acak (*random mutagenesis*) seringkali menghasilkan mutan yang bersifat *pleiotrof* (mutasi di luar gen sasaran). Selain itu, teknologi DNA juga memungkinkan penambahan atau penyisipan gen dari kelompok makhluk hidup yang secara filogenetik sangat jauh hubungan kekerabatannya atau secara seksual tidak kompatibel. Berdasarkan penjelasan tersebut, maka pengertian GMO menurut Suwanto (2006) adalah makhluk hidup hasil modifikasi bahan genetik melalui teknologi DNA, sedangkan yang melalui persilangan, mutasi kimia atau fisika tidak dikategorikan sebagai GMO.

Menurut Sharma *et al.*, (2002), rekayasa genetika membuka peluang yang luas bagi pemulia untuk mengakses gen dan trait baru dari sumber yang eksotik dan beragam untuk dimasukkan ke dalam varietas/hibrida unggul. Tujuan utama dari perakitan produk rekayasa genetika adalah untuk mengatasi berbagai permasalahan pangan yang dihadapi di berbagai belahan dunia karena pertumbuhan penduduk yang semakin pesat, termasuk Indonesia (Azadi dan Peter, 2010). Produk rekayasa genetika bermanfaat untuk mengurangi penggunaan pestisida kimia, menghasilkan makanan yang lebih bergizi serta obat-obatan.

3.2 Pengertian Rekayasa Genetika

Rekayasa genetik atau rekombinan DNA merupakan kumpulan teknik-teknik eksperimental yang memungkinkan peneliti untuk mengisolasi, mengidentifikasi, dan melipatgandakan suatu fragmen dari materi genetik (DNA) dalam bentuk murninya. Pemanfaatan teknik genetika di dalam bidang pertanian diharapkan dapat memberikan sumbangan, baik dalam membantu memahami mekanisme-mekanisme dasar proses metabolisme maupun dalam penerapan praktisnya seperti misalnya untuk pengembangan tanaman-tanaman pertanian dengan sifat unggul. Untuk tujuan ini dapat dilakukan melalui pengklonan atau pemindahan gen-gen penyandi sifat-sifat ekonomis penting

pada tumbuhan, pemanfaatan klon-klon DNA sebagai marker (penanda) di dalam membantu meningkatkan efisiensi seleksi dalam program pemuliaan (Sutarno, 2002).

Ilmu rekayasa genetika atau dikenal juga dengan istilah *Genetic Engineering* merupakan percabangan dari ilmu genetika, yang mempelajari seputar teknologi DNA rekombinan dalam rangka merekayasa susunan materi genetik suatu makhluk hidup. Tujuan rekayasa genetik adalah untuk menghasilkan makhluk hidup yang unggul dan superior yang dapat digunakan atau dimanfaatkan untuk mengatasi permasalahan hidup manusia. Individu yang telah direkayasa materi genetiknya melalui teknologi ini disebut *Genetically Modified Organism* (GMO).

Rekayasa genetika merupakan dasar dari bioteknologi yang di dalamnya meliputi manipulasi gen, kloning gen, DNA rekombinan, teknologi modifikasi genetik, dan genetika modern dengan menggunakan prosedur identifikasi, replikasi, modifikasi dan transfer materi genetik dari sel, jaringan, maupun organ. Sebagian besar teknik yang dilakukan adalah memanipulasi langsung DNA dengan orientasi pada ekspresi gen tertentu. Dalam skala yang lebih luas, rekayasa genetik melibatkan penanda atau marker yang sering disebut sebagai *Marker-Assisted Selection* (MAS) yang bertujuan meningkatkan efisiensi suatu organisme berdasarkan informasi fenotipnya.

Keunggulan rekayasa genetik adalah mampu memindahkan materi genetik dari sumber yang sangat beragam dengan ketepatan tinggi dan terkontrol dalam waktu yang lebih singkat. Melalui proses rekayasa genetika ini, telah berhasil dikembangkan berbagai organisme maupun produk yang menguntungkan bagi kehidupan manusia. Teknologi khusus yang digunakan dalam rekayasa genetik meliputi teknologi DNA Rekombinan yaitu pembentukan kombinasi materi genetik yang baru dengan cara penyisipan molekul DNA ke dalam suatu vektor sehingga memungkinkannya untuk terintegrasi dan mengalami perbanyakan di dalam suatu sel organisme lain yang berperan sebagai sel inang.

Manfaat yang didapatkan dari metode rekayasa genetika, antara lain:

1. Mengurangi biaya dan meningkatkan penyediaan sejumlah besar bahan yang sekarang digunakan di dalam pengobatan, pertanian dan industri.

2. Mengembangkan tanaman–tanaman pertanian yang bersifat unggul
3. Menukar gen dari satu organisme kepada organisme lainnya sesuai dengan keinginan manusia, menginduksi sel untuk membuat bahan-bahan yang sebelumnya tidak pernah dibuat.

Rekayasa genetika pada dasarnya adalah seperangkat teknik yang digunakan untuk memanipulasi komponen genetik, yakni DNA genom atau gen yang dapat dilakukan dalam satu sel atau makhluk hidup (organisme), bahkan dari satu makhluk hidup ke makhluk hidup lain yang berbeda jenisnya. Makhluk hidup yang materi genetiknya telah dimanipulasi secara artifisial di laboratorium melalui rekayasa genetika disebut dengan makhluk hidup transgenik atau rekayasa genetika makhluk hidup (*genetically modified organism*/GMO) yang memiliki sifat unggul dibandingkan dengan makhluk hidup asalnya (Lotter, 2008).

Genetika merupakan cabang biologi yang mempelajari pewarisan sifat-sifat genetik makhluk hidup dari suatu generasi ke generasi berikutnya. Pemahaman mengenai bentuk dan karakteristik materi pewaris sifat, yaitu DNA (gen) akan membantu percepatan kemajuan bioteknologi. Tanaman transgenik tomat yang tahan disimpan lama, insulin manusia yang disintesis dari bakteri *Escherichia coli* dan lainnya merupakan penerapan ilmu genetika dalam bioteknologi (Gambar 3.1). Teknologi rekayasa genetika yang sering kali sinonim dengan teknologi DNA rekombinan merupakan tulang punggung dan pemicu lahirnya bioteknologi molekuler. DNA rekombinan dikonstruksi dengan menggabungkan materi genetik dari dua atau lebih sumber yang berbeda atau melakukan perubahan secara terarah pada suatu materi genetik tertentu. Di alam, materi genetik melakukan rekombinasi secara konstan. Berikut ini merupakan beberapa contoh rekombinasi dari dua sumber atau lebih:

1. Rekombinasi yang terjadi saat pindah silang dalam pembentukan gamet pada proses meiosis.
2. Saat sperma dan ovum melebur pada proses fertilisasi.
3. Saat bakteri melakukan transaksi bahan genetik melalui konjugasi transformasi atau transduksi.

Dalam tiap contoh rekombinasi tersebut dapat dimengerti bahwa rekombinasi merupakan salah satu cara untuk meningkatkan terjadinya

keragaman hayati di alam. Materi genetik yang ada di alam menyajikan suatu bahan mentah evolusi yang dilakukan oleh seleksi alam atau seleksi buatan yang dilakukan oleh manusia. Istilah teknologi DNA atau rekayasa genetika secara ringkas dapat diartikan sebagai teknik molekuler yang tepat dan mampu menggabungkan molekul DNA tertentu dari sumber-sumber berbeda.



Gambar 3.1 Contoh produk transgenik (Sumber: liputan6.com).

Rekombinasi DNA dilakukan dengan enzim (enzim restriksi dan enzim ligase) yang dapat melakukan pemotongan dan penyambungan molekul DNA dengan tepat dan dapat diperkirakan. DNA rekombinan, selanjutnya dimasukkan ke dalam makhluk sasaran dengan introduksi langsung (transformasi) melalui virus atau bakteri. Oleh karena itu, dalam melakukan rekombinasi genetik, seorang pemulia selain dapat melakukannya melalui penggabungan sel telur dan sperma (atau serbuk sari dan putik pada tanaman) pada metode pemuliaan selektif, dia dapat pula melakukan rekombinasi bahan genetik dengan ketepatan yang lebih tinggi dengan melakukan pada taraf molekuler.

Teknologi rekayasa genetika tanaman memungkinkan pengintegrasian gen-gen yang berasal dari organisme lain untuk perbaikan sifat tanaman. Salah satu contoh aplikasi bioteknologi di bidang pertanian adalah mengembangkan tanaman transgenik yang memiliki sifat: (1) toleran terhadap zat kimia tertentu (tahan herbisida); (2) tahan terhadap hama dan penyakit tertentu; (3) mempunyai sifat-sifat khusus (misalnya: tomat yang matangnya lama, padi yang memproduksi beta-caroten dan vitamin A, kedelai dengan lemak tak jenuh rendah, strawberry yang rasanya manis, kentang dan pisang yang berkhasiat obat); (4) dapat mengambil nitrogen sendiri dari udara (gen dari bakteri penfiksasi nitrogen disisipkan ke tanaman sehingga tanaman dapat menfiksasi nitrogen udara sendiri); (5) dapat menyesuaikan diri terhadap lingkungan buruk (kekeringan, cuaca dingin, dan tanah bergaram tinggi).

Teknik DNA rekombinan adalah rekayasa genetika untuk menghasilkan sifat baru dengan cara merekombinasikan gen tertentu dengan DNA genom. Teknik DNA rekombinan bertujuan untuk merekombinasi gen dalam tabung reaksi. Teknik DNA rekombinan meliputi isolasi DNA, teknik memotong DNA, teknik menggabung DNA dan teknik untuk memasukan DNA ke dalam sel hidup. Teknologi DNA rekombinan atau sering disebut juga rekayasa genetika ini adalah suatu ilmu yang mempelajari pembentukan kombinasi materi genetik yang baru dengan cara penyisipan molekul DNA ke dalam suatu vektor sehingga memungkinkannya terjadinya integrasi dan mengalami perbanyakan dalam suatu sel organisme lain yang berperan sebagai sel inang.

Manfaat lain dari rekayasa genetika ini diantaranya adalah dimungkinkannya melakukan isolasi dan mempelajari fungsi masing-masing gen dan mekanisme kontrolnya. Selain itu, rekayasa genetika juga memungkinkan diperolehnya suatu produk dengan sifat tertentu dalam waktu lebih cepat dan jumlah lebih besar daripada produksi secara konvensional. Sejak jaman dahulu, nenek moyang kita telah mengetahui adanya keanekaragaman makhluk hidup. Keanekaragaman makhluk hidup ini memungkinkan manusia untuk memilih jenis makhluk hidup yang dikehendaknya. Salah satu upaya nenek moyang kita dalam memilih jenis makhluk hidup yang unggul adalah dengan breeding atau mengawinkan beberapa spesies unggul untuk didapatkan keturunan yang unggul pula dan memiliki sifat dari kedua induknya. Dengan semakin berkembangnya ilmu genetika dan ditemukannya gen, maka manusia pun memiliki alternatif lain yang lebih efektif yaitu melalui teknik rekayasa genetika (*Genetic Engineering*) dengan cara melakukan perubahan langsung pada DNA. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan DNA rekombinan.

Rekayasa genetik memegang peranan penting dalam merubah susunan genetika makhluk hidup sesuai dengan keperluan manusia di masa kini. Rekayasa genetik sendiri berhubungan dengan modifikasi langsung atau perubahan susunan genetik dari suatu organisme hidup untuk mengekspresikan sifat-sifat yang tidak alami namun diinginkan. Memodifikasi genetika ini dilakukan dengan menggunakan bioteknologi. Prinsip dasar teknologi rekayasa genetik adalah memanipulasi atau melakukan perubahan susunan asam nukleat dari DNA (gen) atau menyelipkan gen baru ke dalam struktur DNA organisme penerima. DNA baru dapat dimasukan secara acak atau ditargetkan ke bagian

tertentu dari genom. Selain memasukkan gen, proses ini dapat digunakan untuk menghapus gen.

Rekayasa genetika merupakan proses yang mengubah susunan genetik dari suatu organisme dengan menghapus atau memasukkan DNA. Tidak seperti dengan pengembangbiakan hewan dan pemuliaan tanaman secara tradisional yang melibatkan beberapa persilangan dan kemudian organisme terpilih dengan fenotip tertentu, rekayasa genetika mengambil gen secara langsung dari satu organisme dan memasukkan ke organisme lain. Proses ini jauh lebih cepat, dapat digunakan untuk menyisipkan gen-gen dari organisme apapun (bahkan organisme dari berbagai domain) dan mencegah agar gen yang tidak diinginkan tidak ikut ditambahkan.

Rekayasa genetika berpotensi memperbaiki kelainan genetik pada manusia dengan mengganti gen yang rusak dengan gen yang baik. Proses ini menjadi sebuah alat yang penting dalam penelitian yang memungkinkan fungsi spesifik suatu gen menjadi bahan penelitian. Tanaman transgenik yang telah dikembangkan saat ini membantu keamanan pangan dengan meningkatkan hasil, nilai gizi dan toleransi terhadap tekanan lingkungan. DNA dapat dimasukkan secara langsung ke organisme inang atau ke dalam sel yang kemudian menyatu atau dihibridisasi dengan tuan rumah. Proses ini bergantung pada teknik rekombinan asam nukleat untuk membentuk kombinasi baru dari materi genetik yang dapat diwariskan diikuti oleh penggabungan dari materi baik secara tidak langsung melalui sistem vektor atau langsung melalui mikro-injeksi, makro-injeksi atau mikro-enkapsulasi.

Rekayasa genetika biasanya tidak mencakup peranakan tradisional, fertilisasi in vitro, induksi poliploida, mutagenesis dan teknik sel fusi yang tidak menggunakan rekombinan asam nukleat atau organisme yang dimodifikasi secara genetik dalam prosesnya. Namun, beberapa definisi luas dari rekayasa genetika mencakup pembiakan selektif.

3.3 Kontribusi Rekayasa Genetika dalam Bidang Pemuliaan Tanaman

Perkembangan teknik rekayasa genetika sangat bermanfaat bagi perkembangan kehidupan manusia, teknik rekayasa genetika ini sering juga disebut-sebut dengan metode bioteknologi. Bioteknologi saat ini bukan hanya terbatas pada suatu nama saja, tetapi telah menjadi salah satu simbol

perkembangan mutakhir dari ilmu pengetahuan dan teknologi. Penerimaan terhadap bioteknologi juga bersifat mendunia. Perkembangan yang pesat dapat dilihat dari tumbuhnya berbagai perusahaan kecil hingga raksasa yang berdasarkan bioteknologi. Selain itu juga dapat diamati penyebaran dan pengenalan mata kuliah bioteknologi di berbagai universitas (Suwanto, 1998).

Bioteknologi adalah perpaduan ilmu pengetahuan biokimia, mikrobiologi atau dan rekayasa untuk menghasilkan proses, produk ataupun jasa yang dapat dimanfaatkan untuk manusia. Bioteknologi merupakan ilmu pengetahuan yang sudah ada sejak jaman kuno, misalnya pemanfaatan khamir untuk produksi minuman beralkohol. Pada tiga dasa warsa terakhir, bioteknologi mengalami kemajuan sangat pesat, dimana bioteknologi dikembangkan pada tingkat yang lebih mikro yaitu pada tingkat molekuler, khususnya dengan memanipulasi unsur genetik misalnya asam nukleat yaitu *de-oxy-ribo nucleic acid* (DNA) dan *ribo nucleic acid* (RNA). Dengan perkembangan tersebut banyak dihasilkan proses dan produk baru yang dapat meningkatkan nilai tambah dan dapat digunakan di berbagai bidang seperti bidang kesehatan, industri dan bidang pertanian.

Pemanfaatan bioteknologi di bidang pertanian ditandai dengan banyaknya penemuan tanaman kultivar/varietas baru yang disebut tanaman transgenik, yang mempunyai sifat-sifat tertentu. Diantara tanaman tersebut adalah tanaman yang adaptif terhadap berbagai cekaman, baik cekaman biologis maupun cekaman non-biologis. Termasuk pada kriteria ini adalah tanaman yang toleran tumbuh di lahan marginal, yang potensial untuk dikembangkan dalam upaya peningkatan produk pertanian.

Pemanfaatan bioteknologi untuk lahan marginal dalam rangka peningkatan produksi pertanian pada dasarnya dapat dilakukan melalui dua pendekatan yaitu pengembangan varietas toleran berpotensi untuk perbaikan hasil dan perbaikan kondisi agroekosistem lahan sub-optimal (Pawiroharsono dan Chaidir 2011).

Pemanfaatan bioteknologi sangat banyak dimasyarakat tapi dilain sisi teknik ini juga memiliki dampak yang serius bagi perkembangan manusia. Produk bioteknologi dapat dibagi 2 jenis, yaitu senyawa yang dibuat oleh mikro-organisme hasil rekayasa genetik, dan organismenya sendiri hasil rekayasa genetika tersebut (Ni Putu, 2011).

a. Rekayasa genetika dalam upaya peningkatan hasil pertanian Pemuliaan Tanaman

Teknik rekayasa genetika membantu proses pemuliaan tanaman dengan cara teknik kultur jaringan. Penelitian tentang kultur sel dan jaringan tumbuhan mencapai sejumlah hasil yang secara individual mewujudkan kemajuan teknik dan kesempurnaan yang nyata. Penggunaan kultur jaringan untuk penangkaran klonal didasarkan pada anggapan bahwa jaringan secara genetik tetap stabil jika dipisahkan dari induk dan ditempatkan dalam kultur. Meskipun tanaman diperbanyak secara vegetatif (klon) tetapi tidak berarti bahwa semua klon secara genetik bersifat serupa. Klon yang berbeda secara nyata dari induknya dapat terjadi dan dikenal dengan varian somatik (Khairunissa, 2005)

b. Pemberantasan Hama

Kebanyakan inteksida, herbisida, dan pestisida yang digunakan untuk mengendalikan hama tidak cukup selektif karena dapat berpengaruh beuruk bagi lingkungannya. Hormon serangga dalam jumlah yang sangat kecil telah digunakan untuk memberantas hama, misalnya feromon, yang digunakan sebagai pemikat serangga dan alaromon yang digunakan untuk mengusir serangga lain. Percobaan lain yang dapat mengendalikan hama lain adalah dengan melibatkan bakteri. Galur bakteri *Pseudomonas endotoksin*, secara genetik dapat diubah menjadi galur yang menghasilkan endotoksin yang piten sebagai inteksida bagi serangga tertentu (Amirhusin, 2004).

c. Penambatan Nitrogen

Para ahli menemukan gen nif (singkatan nitrogen-fixation) terlibat dalam penyusunan aparat penambatan nitrogen. Rekayasa genetik telah berhasil untuk mentransfer gen nif dari bakteri penambatan nitrogen kedalam *E. coli*. sehingga *E. coli* menambat nitrogen. Gen nif ini diambil dari *Klebsiella pneumoniae*, sejenis bakteri tanah yang hidup bebas dari setiap tumbuhan inang. Bakteri ini mempunyai tidak kurang dari 17 gen nif. Gen nif ini ditransfer ke bakteri dan dimasukkan ke akar gandum dan padi-padian lain.

d. Mikoriza Vesikular

Adanya kerjasama dengan mikoriza sering menyebabkan peningkatan yang mencolok pada pertumbuhan di tanah yang kekurangan fosfat. Penyerapan unsur-unsur mikro seperti seng dan tembaga juga dapat ditingkatkan dan

terdapat bukti yang menunjukkan bahwa tumbuhan yang berasosiasi dengan mikoriza mengandung hormon tumbuhan dengan kadar lebih tinggi daripada tumbuhan tanpa mikoriza. Produksi Mikoriza dapat dilakukan dengan isolasi spora. Proses isolasi spora adalah dari sediaan biakan yang diperkaya yang disiapkan dengan menggunakan inokulasi semai tumbuhan inang dalam pot dengan potongan-potongan akar yang mengandung mikoriza. Hasil infeksi ini lebih banyak mengandung spora dalam pit jika dibandingkan dengan tanah dari lapangan dan oleh karena itu lebih mudah mengisolasi spora dari tanah yang diperkaya.

3.4 Prinsip Dasar Rekayasa Genetika untuk Pemuliaan Tanaman

Prinsip dasar teknologi rekayasa genetika adalah memanipulasi atau melakukan perubahan susunan asam nukleat dari DNA (gen) atau menyelipkan gen baru ke dalam struktur organisme DNA penerima. Gen yang diselipkan dan organisme penerima dapat berasal dari organisme apa saja.

Prinsip dasar rekayasa genetika adalah sebagai berikut:

- a. Penyisipan informasi genetik ke dalam organisme
- b. Replikasi gen
- c. Pembelahan (duplikasi) sel dan DNA
- d. Mutagenesis (mutasi gen baik yang spontan maupun dengan induksi)
- e. DNA rekombinan
- f. Pengklonan gen

Misalnya gen dari bakteri bisa diselipkan ke dalam kromosom tanam sebaliknya gen tanaman dapat diselipkan ke dalam kromosom bakteri. Gen serangga dapat diselipkan pada tanaman atau bahkan gen dari manusia dapat diselipkan pada kromosom bakteri. Rekayasa genetika (Ing. *genetic engineering*) adalah penerapan genetika untuk kepentingan manusia. Pengertian rekayasa genetika dalam arti sempit yaitu suatu penerapan teknik-teknik genetika molekuler untuk mengubah susunan genetika dalam kromosom atau mengubah sistem ekspresi genetik yang diarahkan pada kebermanfaatannya tertentu. Teknologi rekayasa genetika merupakan transplantasi atau pencangkokan satu gen ke gen lainnya dimana dapat bersifat antargen dan dapat pula lintas gen. Oleh karena itu, rekayasa genetika juga diartikan sebagai perpindahan gen. Proses rekayasa genetika pertama kali ditemukan oleh Crick

dan Watson pada tahun 1953. Pada tahun 1973 Stanley Cohen dan Herbert Boyer menciptakan bakteri melalui rekayasa genetika untuk pertama kalinya.

Prinsip dasar dalam rekayasa genetika adalah suatu proses penyematan segmen DNA dari organisme apapun ke dalam genom plasmid atau replikon virus untuk membentuk rekombinan DNA baru. Rekayasa genetika telah berperan dalam segala bidang yakni dalam bidang kesehatan, pertanian dan juga industri. Rekayasa genetika juga memiliki keuntungan dan kerugian serta memiliki dampak positif dan negatif terhadap lingkungan dan masyarakat. Salah satu contoh hasil rekayasa genetika di bidang kesehatan yaitu terciptanya hormon insulin hasil rekayasa genetika. Dengan adanya hormon insulin hasil rekayasa genetika maka penyakit diabetes mellitus dapat diatasi.

Zaman rekayasa genetika dimulai ketika Dr. Paul Berg dari Stranford University di California USA dan usaha sekelompok peneliti lainnya, yaitu Dr Stanley Cohen dan Dr Annie Chang dari Stranford University serta Dr Herbert Boyer dan Dr Robert Helling dari University of California di San Fransisco menemukan bahwa bahan-bahan tertentu yang dinamakan enzim pembatas mampu bertindak sebagai “gunting biologi”, yaitu dapat mengenal dan kemudian secara kimia memotong tempat-tempat khusus sepanjang molekul DNA. Enzim-enzim yang mampu menggunting suatu gen dari DNA suatu makhluk tersebut ternyata dapat pula memotong tempat-tempat serupa dalam molekul DNA dari makhluk berkaitan.

Sebuah penemuan penting lainnya ialah suatu enzim disebut ligase, membiarkan suatu gen yang digunting dari suatu molekul DNA ditempelkan pada tempat serupa dalam DNA makhluk tak berkaitan. Hibrid yang terbentuk dari cara ini disebut DNA rekombinan. Selama ini lebih dari 200 enzim pembatas telah ditemukan, dan dengan demikian tersedialah beraneka ragam gunting biologi untuk memotong gen-gen yang diinginkan dan mencangkokkannya ke rumah-rumah baru. Para ahli genetika kini dimungkinkan untuk membongkar sel-sel bakteri, virus, hewan, dan tumbuhan untuk diambil DNA-nya dengan menggunakan enzim-enzim pembatas. Akan tetapi mengambil DNA dari suatu makhluk dan memasukkannya ke dalam makhluk lain bukanlah sekedar pekerjaan memotong dan menempel. Suatu gen harus diikutsertakan untuk dipindahkan ke suatu pengangkut khusus, yaitu vektor. Sekelompok vektor yang bermanfaat adalah plasmid-plasmid, yaitu ikalan-ikalan DNA kecil yang

terdapat dalam sel bakteri diluar kromosomnya. Sebuah plasmid dapat diambil dari bakteri, ikalan dibuka dengan enzim pemotong, fragmen DNA baru dapat dimasukkan dan plasmid itu dikembalikan ke bakteri. Selanjutnya setiap kali bakteri itu membelah diri menjadi dua, dan plastid rekombinan juga membelah diri. Dengan demikian DNA rekombinan itu terus membuat klon-klon DNA dari dirinya.

Secara singkat prinsip rekayasa genetika dapat dijelaskan sebagai suatu proses penyematan segmen DNA dari organisme apapun ke dalam genom plasmid atau replikon virus untuk membentuk rekombinan DNA baru. Sebagai sel inang molekuler baru ini dapat berupa *sel prokariotik* atau *sel eukariotik* tergantung dari titik awal replikasi yang ada pada vektor. Enzim endonuklease restriksi memungkinkan pemotongan rantai DNA, yang menghasilkan ujung-ujung bersifat lekat atau kohesif dan dapat digabungkan lagi dengan perantaraan enzim ligase DNA.

a. **Teknologi DNA Rekombinan**

Bersama dengan beberapa metode manipulasi biokimiawi dan biologi lainnya, metoda-metoda pembelahan dan penggabungan molekul-molekul DNA ini dikembangkan menjadi suatu bioteknologi yang dinamakan Teknologi DNA Rekombinan. Potensinya pertama kali ditunjukkan oleh Stanley Cohen dari Universitas Stanfordsd bersama Herbert Boyer dari ECSF (1972).

Langkah-langkah utama dalam Teknologi DNA Rekombinan ini adalah:

1. Penyiapan gen yang akan diklon dan vektor untuk kloning Gen, berupa fragmen DNA yang akan diklon dapat disiapkan melalui beberapa cara:
 - a. Jika fragmen DNA yang dimaksud dapat diidentifikasi dan dikarakterisasi, fragmen DNA tersebut dapat langsung dipakai.
 - b. Kadang-kadang fragmen DNA yang diinginkan sulit diidentifikasi, tetapi membawa fungsi yang dapat diseleksi dan diungkapkan dalam sel inang. Dalam kasus ini dapat dilakukan *cloning shotgun* (senapan tabor). Klon yang tepat dapat diseleksi dengan uji biologik.
 - c. Dalam kasus-kasus tertentu hanya mRNA yang dapat diperoleh. DNA kopi (cDNA) dapat direkonstruksi dari mrna dengan enzim transcriptase balik.

- d. Jika eksperimen dimulai dengan data rangkaian asam amino dari proteinnya, suatu gen sintetik dapat direkonstruksi menurut aturan kode genetik dengan menggunakan metode-metode sintesa DNA.

Kebanyakan segmen DNA tidak memiliki kemampuan bawaan untuk mereplikasi sendiri. Bahkan suatu segmen DNA yang dapat mereplikasi dalam sel inang aslinya tidak selalu memiliki syarat-syarat genetik spesifik yang diperlukan untuk mereplikasi dalam lingkungan yang berbeda. Untuk memproduksinya dalam sintesis biologi ia harus diintegrasikan ke dalam molekul DNA yang mengandung gen-gen yang mengkode fungsi replikasi dalam inang yang sesuai. Molekul yang demikian ini disebut vektor.

Untuk kloning dalam berbagai organisme telah dikembangkan sistem-sistem inang vektor tertentu yang berbeda-beda. Ada empat macam *vector* yang telah dikembangkan untuk kloning DNA dalam *Escherichia coli*, yaitu plasmid, fag, dan kosmid. Plasmid adalah molekul-molekul DNA lingkaran kecil yang dapat mereplikasi sendiri dalam sel bakteri. Selain mengandung gen perlu untuk replikasi, kebanyakan plasmid mengandung juga satu gen yang mengkode suatu enzim yang berguna untuk inangnya, misalnya mengganggu aksi antibiotik spesifik. Gen ini disebut faktor R ('resistensi') yang memberi pada sel inangnya ketahanan terhadap antibiotik tersebut. Sifat ini sangat berguna untuk menyeleksi klon yang diinginkan. Karena itu adalah penting bahwa plasmid dapat dibelah oleh enzim restriksi tanpa mengganggu kemampuan plasmid untuk mereplikasi dan atau untuk memberi resistensi antibiotik.

Vektor-vektor baru telah dikonstruksi untuk meningkatkan frekuensi pemasukan molekul DNA rekombinan dan memudahkan penyeleksian bakteri yang mengandungnya. Sebagai contoh plasmid Pbr 322 terdiri dari 4326 nukleotida dan mengandung gen-gen yang resistensi terhadap tetrasiklin dan ampisilin. Vektor lainnya adalah fag. Sebagian besar DNA-nya tidak penting untuk infeksi dan dapat diganti dengan DNA asing. Mutan-mutan fag yang dirancang untuk kloning DNA telah dikonstruksi. Hampir semua partikel-partikel fag yang dibentuk akan mengandung DNA asing yang disisipkan. Kelebihan penggunaan virion-virion ini sebagai vektor ialah bahwa virion akan memasuki bakteri dengan frekuensi lebih tinggi dari plasmid. Molekul-molekul DNA rekombinan dapat dikemas *in vitro* untuk membawa virion-virion yang infeksius.

Kosmid adalah vektor lain yang dikonstruksikan dari plasmid normal dan tempat cos (ujung kohesif) dari fag λ . Plasmid normal diurutkan dari fag λ dan plasmid Col E1.

1. Pembentukan Molekul DNA Rekombinan
2. Pemasukan Molekul DNA Rekombinan Ke Sel Inang

Kebanyakan sel bakteri prokariot dan eukariot mengambil molekul-molekul DNA telanjang dari medium. Chang, Cohen dan Hsu (1972) menemukan bahwa jika membran sel *E.coli* dibuat permeabel dengan perlakuan Kalsium klorida, molekul DNA rekombinan dapat dimasukkan. Efisiensi pengambilan sangat rendah, sekitar 1.1, tetapi sel cukup dapat ditransformasi dalam kondisi eksperimen yang tepat. Efisiensi pemasukan akan lebih besar jika sel-sel target ditransfeksi dengan virion-virion yang telah dirakit ulang.

b. Seleksi Klon yang Mengandung Molekul DNA Rekombinan

Walaupun frekuensi pemasukan molekul DNA rekombinan ke dalam sel inang sangat rendah, klon sel-sel yang mengandung molekul rDNA dapat diseleksi dengan mudah berdasarkan adanya vektor atau gen yang disisipkan. Misalnya sel yang mengandung faktor R akan tetap hidup dan berlipat ganda dalam medium yang mengandung antibiotik yang sesuai, sedangkan sel-sel lainnya mati. Pendekatan lain adalah menentukan sel-sel mana yang menambat RNA komplementer terhadap gen yang diamati. Klon-klon yang mengandung rDNA stabil untuk beberapa ratus generasi.

Penelitian genetika bergantung pada satu prinsip pokok, yaitu bahwa organisme-organisme memiliki persamaan dan perbedaan daripada kedua induknya. Informasi genetik dari organisme dibawa dalam molekul-molekul yang disebut asam nukleat. Semua organisme yang tubuhnya terdiri atas sel-sel menggunakan asam dioksiribonukleat (DNA) untuk menyimpan informasi genetik. Beberapa tipe asam ribonukleat (RNA) memindahkan informasi genetik tadi dan membuat protein yang sangat dibutuhkan sel-sel hidup. Sebaliknya, beberapa mikroba, virus dan viroid menggunakan RNA untuk menyimpan informasi genetik.

3.5. Pemanfaatan Teknik Kultur Jaringan dalam Pemuliaan Tanaman

Perkembangan teknologi budidaya tanaman hutan di Indonesia menghendaki pembiakan vegetatif dapat dilakukan dengan teknik propagasi

mikro atau kultur jaringan agar dapat diterapkan untuk konservasi *ex-situ* dari spesies tanaman langka dan rentan yang sulit diperbanyak secara generatif, dan memperbanyak secara massal dari klon unggul hasil pemuliaan tanaman hutan pada area yang lebih sempit, tenaga kerja yang lebih terbatas, curahan waktu yang lebih sedikit dan dana yang lebih hemat. Dalam bidang konservasi tanaman hutan, teknik kultur jaringan mempunyai potensi yang sangat besar untuk koleksi, pertukaran, dan pelestarian plasma nutfah.

Dalam bidang pemuliaan tanaman hutan, kultur jaringan dapat menghasilkan bibit tanaman yang sehat dan secara genetik identik dengan induknya, memberikan jaminan suplai dalam jumlah dan tidak tergantung musim buah, memberikan penampilan dengan keseragaman tinggi, serta mudah ditransportasikan dalam jarak jauh dengan jumlah besar dan biaya yang lebih rendah. Beberapa spesies tanaman hutan di Indonesia telah mulai dikembangkan dengan menerapkan teknik kultur jaringan, baik untuk tujuan konservasi maupun inisiasi dalam program pemuliaan tanaman hutan, bahkan beberapa spesies telah dikembangkan dalam skala komersial untuk pengembangan hutan tanaman industri (HTI) maupun hutan rakyat (HR).

Hasil-hasil penelitian dari setiap tahapan pembiakan vegetatif dengan teknik kultur jaringan disajikan pada buku ini, baik yang dihasilkan oleh Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan (BBPPBPTH). Indonesia sebagai salah satu negara tropis yang kaya akan plasma nutfah merupakan pusat keanekaragaman genetik bagi banyak tanaman seperti buah-buahan, umbi-umbian, palem-paleman, padi-padian, sayur-sayuran dan berbagai jenis anggrek. Keanekaragaman plasma nutfah yang sangat diperlukan dalam pemuliaan tanaman ini terus menerus terkikis habis karena beberapa faktor, diantaranya adalah perusakan lingkungan hutan, introduksi varietas unggul, tidak dipopulerkannya jenis tanaman tersebut sehingga lama kelamaan akan punah, banyaknya hama penyakit dan sebagainya.

Pelestarian plasma nutfah tanaman dapat dilakukan sesuai habitatnya dan pelestarian diluar habitat. Pelestarian diluar habitat dapat berupa kebun koleksi, kebun raya, penyimpanan benih, ataupun pelestarian *in vitro*. Pelestarian *in vitro* terutama pada tanaman yang mempunyai viabilitas benih yang singkat dan tanaman yang diperbanyak secara vegetatif. Seperti dinyatakan oleh Sastrapradja (1990) bahwa Indonesia diharapkan segera mulai melaksanakan

pelestarian plasma nutfah dengan menggunakan bioteknologi. Pentingnya hak paten hasil-hasil penelitian bioteknologi Indonesia, diantaranya Hak Pemulia Tanaman (*Plant Breeders Right*), yang di negara-negara maju dapat menjadi rangsangan untuk perakitan varietas-varietas yang baru. Dalam kaitannya dengan konservasi *in vitro*, Imelda dan Soetisna (1992) membagi cara tersebut menjadi 2 bagian yakni: 1. Kelompok yang diperbanyak dengan biji (berbiji rekalsitran) seperti kelapa, kakao, rambutan, mangga dan alpukat. 2. Kelompok yang diperbanyak secara vegetatif meliputi yang tidak berbiji (steril), hanya berbiji pada saat tertentu, biji heterozigot, dan tanaman umbi-umbian seperti ubi kayu, talas, pisang, kentang dan ubi.

Pelestarian *in vitro* mempunyai beberapa keuntungan, yakni :

1. Dapat menyimpan tanaman langka yang hampir punah
2. Dapat menyimpan tanaman yang tidak menghasilkan biji
3. Bebas gangguan hama penyakit
4. Bebas gangguan yang disebabkan oleh alam
5. Dapat disimpan dalam keadaan bebas penyakit
6. Cukup dikerjakan dalam ruangan yang relatif kecil

3.6 Aplikasi Teknik MAS dalam Program Pemuliaan Tanaman

Marker Assisted Selection (MAS) merupakan metode seleksi yang mengacu pada pemanfaatan marka DNA yang berpautan dengan lokus target, sebagai alat untuk menduga dan membantu seleksi fenotipe sifat yang menjadi target pemuliaan. Kelebihan penggunaan MAS yaitu jumlah benih, bibit, dan galur yang dibutuhkan dalam pengujian dapat dikurangi, karena banyak yang sudah tidak terpilih setelah seleksi. Selain itu penggunaan MAS akan menghemat waktu dan tenaga kerja, karena tidak harus menunggu tanaman tumbuh besar dan DNA yang digunakan tidak dipengaruhi oleh lingkungan (Pagala dan Nafiu, 2020).

Pemanfaatan marka DNA sebagai alat bantu seleksi *Marker Assisted Selection* (MAS) lebih menguntungkan dibandingkan dengan seleksi secara fenotipik. Seleksi dengan bantuan marka molekuler didasarkan pada sifat genetik tanaman saja, tidak dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Dengan demikian, kegiatan pemuliaan tanaman menjadi lebih tepat, cepat, dan relatif lebih hemat biaya dan waktu (Azrai, 2005).

Menurut Azrai (2005), dalam penggunaan metode MAS terdapat beberapa penanda yang dapat digunakan antara lain :

a. *RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism)*

Analisis RFLP merupakan suatu prosedur hibridisasi Southern. Variasi (polimorfisme) dideteksi berdasarkan hibridisasi diferensial DNA yang diklon untuk fragmen DNA dalam suatu sampel enzim restriksi yang memotong DNA. Markah-markah RFLP didefinisikan sebagai suatu kombinasi dari probe enzim spesifik. Sumber utama probe untuk memetakan RFLP pada tanaman adalah klon-klon cDNA dan PstI dari klon-klon genom. Markah ini bersifat kodominan, sehingga sangat baik untuk komparatif pemetaan genom. Namun demikian, markah RFLP memiliki keterbatasan jika digunakan sebagai alat bantu seleksi. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, di antaranya :

1. Pada beberapa spesies tingkat polimorfisme DNA-nya sangat rendah
2. Menyita banyak tenaga dan waktu
3. Kuantitas dan kualitas DNA yang diperlukan sangat tinggi
4. Prosedur hibridisasinya rumit, sehingga menyulitkan otomatisasi
5. Memerlukan pustaka probe untuk spesies-spesies tanaman yang belum pernah dieksplorasi sebelumnya.

b. *RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA)*

Prinsip kerja marka RAPD adalah berdasarkan perbedaan amplifikasi PCR pada sampel DNA dari sekuen oligonukleotida pendek yang secara genetik merupakan kelompok markah dominan. Primer RAPD bersifat random dengan ukuran panjang biasanya 10 nukleotida. Jumlah produk amplifikasi PCR berhubungan langsung dengan jumlah dan orientasi sekuen yang komplementer terhadap primer di dalam genom tanaman.

Keunggulan dari teknik analisis menggunakan markah RAPD di antaranya adalah :

1. Kuantitas DNA yang dibutuhkan sedikit
2. Hemat biaya
3. Mudah dipelajari
4. Primer yang diperlukan sudah banyak dikomersialisasikan sehingga mudah diperoleh.

Kelemahan teknik ini antara lain :

1. Tingkat reproduksibilitas pola markah dari laboratorium ke laboratorium berbeda dan antara hasil percobaan dalam laboratorium itu sendiri yang sama.
2. Sangat sensitif terhadap variasi dalam konsentrasi DNA.
3. Memerlukan konsentrasi primer dan kondisi siklus suhu yang optimal pada saat pengujian. Selain itu, markah RAPD dominan dan tidak mampu menampilkan perbedaan sekuen DNA yang homolog, di antara fragmen-fragmen yang ukurannya hampir sama.

c. *AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism)*

Markah AFLP merupakan jenis marka yang berdasarkan pada amplifikasi selektif dari potongan DNA hasil restriksi genomik total dengan enzim restriksi endonuklease. Hasil amplifikasi tersebut dipisahkan dengan elektroforesis, kemudian divisualisasi dengan menggunakan otoradiografi atau pewarnaan perak (*silver staining*). Sebenarnya markah ini mirip markah RAPD, tetapi primernya spesifik dan jumlah pitanya lebih banyak. Markah AFLP dikategorikan sebagai markah kodominan, walaupun pada kenyataannya seringkali diperlakukan sebagai markah dominan. Hal ini diakibatkan sulitnya membedakan intensitas pita antara dominan homozigot dari heterozigot.

Keunggulan teknik AFLP antara lain :

1. Tidak memerlukan informasi sekuen dari genom dan perangkat (kit) oligonukleotida yang sama ketika dilakukan analisis dan dapat diaplikasikan pada semua spesies tanaman.
2. Hasil amplifikasinya stabil, tingkat pengulangan dan variabilitasnya sangat tinggi.
3. Memiliki efisiensi yang sangat tinggi dalam pemetaan lokus, karena sekali amplifikasi dapat meliputi beberapa lokus.
4. Dapat digunakan untuk menganalisis sidik jari semua DNA dengan mengabaikan kompleksitas dan asal usulnya.
5. Dapat bertindak sebagai jembatan antara peta genetik dan peta fisik pada kromosom.

Keterbatasan dari teknik AFLP adalah cara aplikasinya relatif lebih rumit, sehingga memerlukan waktu lebih lama, keterampilan khusus, serta pengadaan alat dan bahan sangat mahal.

d. *Penanda Mikrosatelit (Simple Sequence Repeat)*

Marka mikrosatelit merupakan sekuen DNA yang bermotif pendek dan diulang secara tandem dengan 2 sampai 5 unit nukleotida yang tersebar dan meliputi seluruh genom, terutama pada organisme eukariotik. Akhir-akhir ini, mikrosatelit banyak digunakan untuk karakterisasi dan pemetaan genetik tanaman, di antaranya jagung, padi, anggur, kedelai, jawawut, gandum, dan tomat. Pasangan primer mikrosatelit (*forward dan reverse*) diamplifikasi dengan PCR berdasarkan hasil konservasi daerah yang diapit (*flanking-region*) markah untuk suatu gen pada kromosom. Beberapa pertimbangan untuk penggunaan markah mikrosatelit dalam studi genetik di antaranya :

1. Markah terdistribusi secara melimpah dan merata dalam genom, variabilitasnya sangat tinggi (banyak alel dalam lokus), sifatnya kodominan dan lokasi genom dapat diketahui.
2. Merupakan alat uji yang memiliki reproduksibilitas dan ketepatan yang sangat tinggi.
3. Merupakan alat bantu yang sangat akurat untuk membedakan genotipe, evaluasi kemurnian benih, pemetaan, dan seleksi genotip untuk karakter yang diinginkan.
4. Studi genetik populasi dan analisis diversitas genetik.

Kelemahan teknik ini adalah markah SSR tidak tersedia pada semua spesies tanaman, sehingga untuk merancang primer baru membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang cukup mahal.

e. *SNP (Single Nucleotide Polymorphism)*

Markah SNP dapat dikategorikan sebagai 'markah generasi ketiga'. Markah ini merupakan mutasi titik di mana satu nukleotida disubstitusi oleh nukleotik lain pada lokus tertentu. SNP merupakan tipe yang lebih umum untuk membedakan sekuen di antara alel, kodominan di alam, dan menandakan markah polimorfik dari suatu sumber yang tidak pernah habis untuk penggunaannya pada resolusi tinggi dalam pemetaan genetik suatu karakter. Deteksi markah SNP bersifat kodominan, berdasarkan pada

amplifikasi primer yang berbasis pada informasi sekuen untuk gen spesifik. Uji dengan markah SNP dapat dilakukan pada tanaman seperti padi dan jagung yang informasi genomnya sudah cukup lengkap.

Keunggulan teknik SNP adalah lebih mudah diaplikasikan dibandingkan dengan teknik SSR atau AFLP serta lebih bermanfaat ketika beberapa lokus SNP posisinya sangat berdekatan, sehingga dapat mendefinisikan haplotipe dan dalam pengembangan haplotype tags. Kelemahan dari teknik SNP adalah memerlukan informasi sekuen untuk suatu gen yang menjadi target analisis dan untuk pengadaan alat dan bahan memerlukan biaya yang sangat tinggi.

f. *SCAR (Sequence Characterized Amplified Regions) dan STS (Sequence Tagged Sites)*

Markah SCAR dan STS merupakan markah berbasis PCR yang diperoleh melalui sekuensing fragmen RFLP, RAPD, dan AFLP atau gen yang sudah diketahui ukurannya. Primer SCAR memiliki panjang 18-25 nukleotida. Reprodusibilitas dan kegunaan markah SCAR jauh lebih tinggi dibandingkan dengan markah RAPD. Meskipun markah SCAR secara genetik bersifat dominan, namun dapat dikonversi menjadi markah kodominan melalui pemotongan dengan menggunakan enzim restriksi. Markah STS dapat digunakan dalam pemetaan genetik, bersifat kodominan, dan menghasilkan amplifikasi yang stabil dan berulang-ulang. Teknik STS mudah diadopsi dan diterima dalam hal otomatisasi, tetapi keterbatasannya belum banyak ditemukan karena markah STS polimorfik pada tanaman budi daya.

Menurut Azrai (2005), keberhasilan penggunaan suatu markah penyeleksi dalam kegiatan pemuliaan bergantung pada tiga syarat utama yang harus dipenuhi, yaitu :

- a. Peta genetik dengan jumlah markah polimorfik yang cukup memadai, sehingga dapat mengidentifikasi QTL atau gen-gen mayor sasaran dengan akurat.
- b. Markah terkait erat antara QTL atau gen mayor target pada peta genetik yang sudah dikonstruksi

- c. Kemampuan menganalisis sejumlah besar tanaman dalam waktu dan biaya secara efektif.

Saat ini, markah DNA yang banyak digunakan dalam program pemuliaan terutama adalah AFLP, SSRs, dan *Expressed Sequence Tags* (ESTs). Masing-masing markah tersebut mempunyai kelebihan dan keterbatasan seperti yang telah diutarakan. Walaupun masih terbatas penggunaannya pada tanaman, penggunaan SNP mampu mempercepat pengembangan markah untuk analisis sidik jari plasma nutfah, sebagai alat bantu seleksi, terutama pada metode silang balik. Peluang pengembangan teknologi markah DNA secara umum sangat tinggi sebagai alat bantu baru pada kegiatan genotipik untuk pemetaan genetik dan penggunaan markah sebagai alat bantu pemuliaan dan perlindungan plasma nutfah tanaman (Azrai, 2005).

Dalam pengaplikasian MAS pada pemuliaan tanaman, markah berbasis DNA dapat menjadi efektif jika digunakan untuk tiga tujuan dasar, yaitu identifikasi galur-galur tetua dengan tepat untuk perbaikan suatu karakter untuk tujuan khusus, penelusuran alel-alel yang sesuai (*favorable*) dominan atau resesif pada tiap generasi persilangan, dan identifikasi individu-individu sasaran sesuai dengan karakter yang diinginkan di antara turunan yang bersegregasi, berdasarkan pada komposisi alelik persilangan sebagian atau seluruh genom (Azrai, 2005).

BAB 4

MUTASI

4.1. Pengertian Mutasi, Tipe-Tipe Mutasi dan Konsekuensinya Terhadap Struktur Genetik Sel/ Organisme

4.1.1. Pengertian Mutasi

Mutasi adalah perubahan yang terjadi pada bahan genetik (DNA maupun RNA), baik pada taraf urutan gen (disebut mutasi titik) maupun pada taraf kromosom. Mutasi pada tingkat kromosomal biasanya disebut aberasi. Mutasi pada gen dapat mengarah pada munculnya alel baru dan menjadi dasar bagi kalangan pendukung evolusi mengenai munculnya variasi-variasi baru pada spesies (Asadi, 2013).

Istilah mutasi pertama kali digunakan oleh Hugo de Vries, untuk mengemukakan adanya perubahan fenotipe yang mendadak pada bunga *Oenothera lamarckiana* dan bersifat menurun. Ternyata perubahan tersebut terjadi karena adanya penyimpangan dari kromosomnya. Seth Wright juga melaporkan peristiwa mutasi pada domba jenis Ancon yang berkaki pendek dan bersifat menurun. Penelitian ilmiah tentang mutasi dilakukan pula oleh Morgan (1910) dengan menggunakan *Drosophila melanogaster* (lalat buah). Akhirnya murid Morgan yang bernama Herman Yoseph Muller berhasil dalam percobaannya terhadap lalat buah, yaitu menemukan mutasi buatan dengan menggunakan sinar X (Asadi, 2013).

Peristiwa terjadinya mutasi disebut mutagenesis. Makhluh hidup yang mengalami mutasi disebut mutagen. Mutasi bersifat acak, 90% sesungguhnya bersifat merugikan bagi individu atau populasi suatu spesies. Dikatakan bersifat

merugikan karena mutasi menimbulkan perubahan suatu karakter dari keadaan yang biasanya padahal karakter itu sudah beradaptasi selama jutaan tahun terhadap lingkungan. Dengan adanya perubahan, maka makhluk itu harus beradaptasi lagi (Asadi, 2013).

Pada umumnya, mutasi itu merugikan, mutannya bersifat letal dan homozigot resesif. Namun mutasi juga menguntungkan, diantaranya, melalui mutasi, dapat dibuat tumbuhan poliploid yang sifatnya unggul. Contohnya, semangka tanpa biji, jeruk tanpa biji, buah stroberi yang besar, dll. Mutasi ini juga menjadi salah satu kunci terjadinya evolusi di dunia ini. Terbentuknya tumbuhan poliploid ini menguntungkan bagi manusia, namun merugikan bagi tumbuhan yang mengalami mutasi, karena tumbuhan tersebut menjadi tidak bisa berkembang biak secara generative (Asadi, 2013).

4.1.2. Penyebab terjadinya mutasi

Makhluk hidup akan selalu berusaha untuk menyesuaikan diri terhadap lingkungan yang selalu berubah-ubah karena alam tidak selalu konstan. Mutasi terjadi karena adanya perubahan lingkungan yang luar biasa. Sesungguhnya mutasi itu dimaksudkan untuk menghadapi perubahan alam yang sewaktu-waktu akan timbul. Kalau perubahan itu sudah terjadi, maka sifat yang bermutasi tersebut kemungkinan akan lebih mudah beradaptasi daripada sifat yang asli. Bagi makhluk yang tidak dapat menyesuaikan diri, maka mereka secara perlahan akan menyusut selanjutnya akan punah. Untuk bertahan hidup dan menjaga kelestarian spesies itu di alam, maka makhluk hidup harus selalu mengikuti perubahan sesuai dengan sifat alam sekelilingnya yang selalu mengalami perubahan. Perubahan ini dinamakan dengan evolusi yang sumbernya adalah mutasi. Sedangkan pelaksanaannya disebut dengan seleksi alam (Tanti, 2010).

Penyebab mutasi disebut dengan mutagen (agen mutasi). Kebanyakan mutagen adalah bahan fisika, kimia atau biologi yang memiliki daya tembus yang kuat sehingga dapat mencapai bahan genetis dalam inti sel. Contohnya: zat radioaktif, zat kimia yang keras dan virus. Namun, ada juga mutagen yang tidak begitu jelas. Mutasi terjadi pada frekuensi rendah di alam, biasanya lebih rendah daripada 1:10.000 individu. Mutasi di alam dapat terjadi akibat zat pembangkit mutasi (mutagen, termasuk karsinogen), radiasi surya, radioaktif, sinar ultraviolet, sinar X, serta loncatan energi listrik seperti petir. Individu yang

memperlihatkan perubahan sifat (fenotipe) akibat mutasi disebut mutan. Dalam kajian genetik, mutan biasa dibandingkan dengan individu yang tidak mengalami perubahan sifat (individu tipe *liar* atau "*wild type*") (Tanti, 2010).

Contoh spesies yang bermutasi adalah ngengat, dimana pada awalnya ngengat berwarna putih kemudian bermutasi menjadi warna hitam. Ngengat hitam ini cocok tinggal di daerah industri yang penuh dengan asap dan jelaga, tapi tidak cocok hidup di daerah pertanian dan kehijauan. Di daerah industri, ngengat warna hitam tidak akan mudah terlihat oleh burung yang hendak memangsanya, sedangkan yang berwarna putih justru terlihat dengan jelas. Sebaliknya, di daerah pertanian yang berwarna putih cocok hidup disini (Tanti, 2010).

4.1.3. Tipe-Tipe Mutasi

Menurut Dewi (2017), mutasi adalah peristiwa perubahan genetik (gen atau kromosom) dari suatu individu yang bersifat menurun.

1. Berdasarkan sel yang bermutasi dapat dibedakan menjadi 2 jenis:
 - a. Mutasi somatik adalah mutasi yang terjadi pada sel somatik, yaitu sel tubuh seperti sel kulit. Mutasi ini tidak akan diwariskan pada keturunannya.
 - b. Mutasi gametik adalah mutasi yang terjadi pada sel gamet, yaitu sel organ reproduksi yang meliputi sperma dan ovum pada manusia. Karena terjadinya di sel gamet, maka akan diwariskan kepada keturunannya.
2. Berdasarkan tempat terjadinya mutasi dapat dibagi 2 jenis :
 - a. Mutasi besar (*gross mutation*) adalah perubahan yang terjadi pada struktur dan susunan kromosom.
 - b. Mutasi kecil (*point mutation*) adalah perubahan yang terjadi pada susunan molekul (DNA gen). Lokus gen itu sendiri tetap.

Mutasi Gen

Mutasi gen pada dasarnya merupakan mutasi titik (*point mutation*). Pada mutasi ini terjadi perubahan kimiawi pada satu atau beberapa pasangan basa dalam satu gen tunggal yang menyebabkan perubahan sifat individu tanpa perubahan jumlah dan susunan kromosomnya. Peristiwa yang terjadi pada mutasi gen adalah perubahan urutan-urutan DNA atau lebih tepatnya mutasi titik merupakan perubahan pada basa N dari DNA atau RNA (Dewi, 2017).

Mutasi gen disebabkan oleh adanya perubahan dalam urutan nukleotida perubahan genotipe. Bahan-bahan penyebab terjadinya mutasi disebut dengan mutagen. Sedangkan individu yang memperlihatkan perubahan sifat (fenotipe) akibat mutasi disebut mutan. Contoh mutasi gen adalah reaksi asam nitrit dengan adenin menjadi zat hipoxanthine. Zat ini akan menempati tempat adenin asli dan berpasangan dengan sitosin, bukan lagi dengan timin (Dewi, 2017).

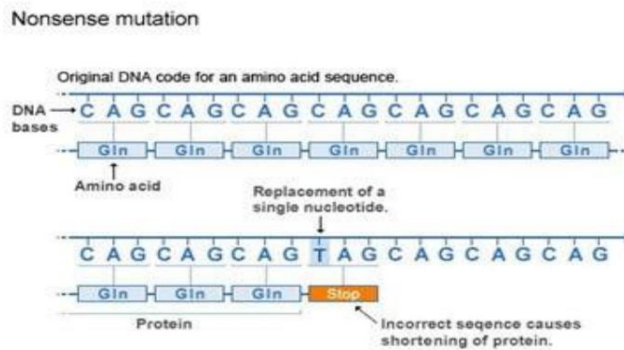
Menurut Dewi (2017) ada beberapa jenis-jenis mutasi gen yaitu:

1. Berdasarkan kejadiannya
 - a. Spontan (*spontaneous mutation*) Mutasi spontan adalah mutasi (perubahan materi genetik) yang terjadi akibat adanya sesuatu pengaruh yang tidak jelas, baik dari lingkungan luar maupun dari internal organisme itu sendiri. Mutasi ini terjadi di alam secara alami (spontan), dan secara kebetulan.
 - b. Induksi (*induced mutation*) Mutasi terinduksi adalah mutasi yang terjadi akibat paparan dari sesuatu yang jelas, misalnya paparan sinar UV. Secara mendasar tidak terdapat perbedaan antara mutasi yang terjadi secara alami dan mutasi hasil induksi.
2. Berdasarkan jenis sel yang bermutasi
 - a. Mutasi somatik adalah mutasi yang terjadi pada sel-sel somatik. Mutasi somatik dapat diturunkan dan dapat pula tidak diturunkan.
 - b. Mutasi gametik germinal adalah mutasi yang terjadi pada sel gamet. Karena terjadinya di sel gamet, maka akan diwariskan oleh keturunannya. Mutasi gametik disebut mutasi germinal. Bila mutasi tersebut menghasilkan sifat dominan, akan terekspresi pada keturunannya. Bila resesif maka ekspresinya akan tersembunyi.
3. Berdasarkan perubahan kode genetik
 - a. Mutasi salah arti (*missense mutation*), yaitu perubahan suatu kode genetik (umumnya pada posisi 1 dan 2 pada kodon) sehingga menyebabkan asam amino yang terkait pada rantai polipeptida berubah. Contoh *missense mutation* yaitu AUGUUGCAGUGGUAA (Metionin-fenilalanin-**glisin**-triptofan)
 - b. Mutasi diam (*silent mutation*), yaitu perubahan suatu pasangan basa dalam gen (pada posisi 3 kodon) yang menimbulkan perubahan satu kode genetik tetapi tidak mengakibatkan perubahan atau pergantian asam

amino yang dikode. Mutasi diam biasanya disebabkan karena terjadinya mutasi transisi dan tranversi. Contohnya yaitu:

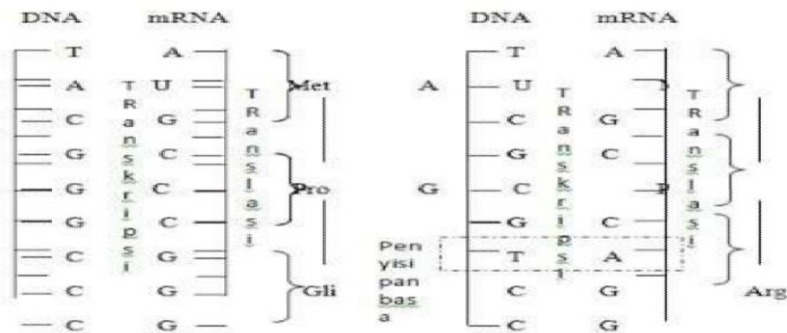
AUGUUGCAGUGG**UAA** (Metionin-**fenilalanin**-glisin-triptofan)

- c. Mutasi tanpa arti (*nonsense mutation*), yaitu perubahan kodon asam amino tertentu menjadi kodon stop, yang mengakhiri rantai, mengakibatkan berakhirnya pembentukan protein sebelum waktunya selama translasi. Mutasi ini dapat terjadi baik oleh tranversi, transisi, delesi, maupun insersi (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Mutasi tanpa arti (*nonsense mutation*)

- d. Mutasi Pergeseran Kerangka/perubahan rangka baca (*frameshift mutation*). Mutasi ini merupakan akibat penambahan atau kehilangan satu atau lebih nukleotida di dalam suatu gen. Hal ini mengakibatkan bergesernya kerangka pembacaan.



Gambar 4.2 Mutasi Pergeseran Kerangka/perubahan rangka baca (*frameshift mutation*)

Mutasi kromosom

Istilah mutasi pada umumnya digunakan untuk perubahan gen, sedangkan perubahan kromosom yang dapat diamati dikenal sebagai variasi kromosom atau aberasi. Mutasi kromosom, sering juga disebut dengan mutasi besar/gross mutation atau aberasi kromosom adalah perubahan jumlah kromosom dan struktur (*susunan atau urutan*) gen dalam kromosom. Mutasi kromosom sering terjadi karena kesalahan meiosis dan sedikit dalam mitosis (Dewi 2017).

Mutasi kromosom yaitu mutasi yang disebabkan karena perubahan struktur kromosom atau perubahan jumlah kromosom. Istilah mutasi pada umumnya digunakan untuk perubahan gen, sedangkan perubahan kromosom yang dapat diamati dikenal sebagai variasi kromosom atau mutasi besar/ gross mutation atau aberasi. Mutasi kromosom sering terjadi karena kesalahan pada meiosis maupun pada mitosis (Dewi, 2017).

Menurut Dewi (2017), jenis-jenis mutasi kromosom pada sel gamet yaitu:

1. Mutasi autosomal

Mutasi sel kelamin yang terjadi pada kromosom autosom. Mutasi jenis ini menghasilkan mutasi yang dominan dan mutasi yang resesif.

2. Mutasi tertaut kelamin

Mutasi sel kelamin yang terjadi pada kromosom seks (kromosom kelamin), berupa tertautnya beberapa gen dalam kromosom kelamin.

4.1.4. Konsekuensinya Terhadap Struktur Genetik Sel/ Organisme

Pada umumnya, mutasi itu merugikan, mutannya bersifat letal dan homozigot resesif. Namun mutasi juga menguntungkan, diantaranya, melalui mutasi, dapat dibuat tumbuhan poliploid yang sifatnya unggul. Contohnya, semangka tanpa biji, jeruk tanpa biji, buah stroberi yang besar, dll. Mutasi ini juga menjadi salah satu kunci terjadinya evolusi di dunia ini. Terbentuknya tumbuhan poliploid ini menguntungkan bagi manusia, namun merugikan bagi tumbuhan yang mengalami mutasi, karena tumbuhan tersebut menjadi tidak bisa berkembang biak secara generatif (Dewi, 2017, hal. 10).

Mutasi juga dapat menghasilkan karagaman yang lebih cepat dibandingkan pemuliaan secara konvensional. Pemuliaan dengan mutasi, selain mempunyai beberapa keunggulan juga memiliki beberapa kelemahan, dimana sifat yang

diperoleh tidak dapat diprediksi dan ketidakstabilan sifat-sifat genetik yang muncul pada generasi berikutnya (Syukur, 2000).

Mutagen fisika seperti radiasi dapat menimbulkan kerusakan baik pada tingkat molekuler, seluler ataupun jaringan/organ. Pada rentang dosis rendah, radiasi dapat menginduksi terjadinya serangkaian perubahan pada tingkat molekuler dan seluler yang tidak menyebabkan kematian sel tetapi menyebabkan perubahan pada materi genetik sel sehingga terbentuk sel baru yang bersifat abnormal. Sel seperti ini berpotensi untuk mengarah pada pembentukan kanker dan/atau kerusakan genetik yang dapat diwariskan. Mutasi yang terjadi secara alamiah atau spontan pada sel somatik dan germinal masing-masing memberikan kontribusi pada induksi kanker dan penyakit genetik yang diwariskan (Alatas, 2006, Hal. 65)

Kanker dapat disebabkan karena adanya mutasi, terutama mutasi yang mengubah gen pada sel somatic. Mutasi penyebab kanker banyak dihasilkan dari pengaruh lingkungan seperti karsinogen kimia, sinar ultraviolet, sinar-X dan radiasi energy tinggi lainnya, dan beberapa virus (Urry, 2017).

Sinar ultraviolet menyebabkan tumor pada paparan berulang dan dosis tertentu. Jaringan yang terkena adalah kulit. Terjadinya kanker karena radiasi sinar X dan ultraviolet menimbulkan sejumlah lesi yang berbeda pada DNA sel. (Kartawiguna, 2001).

Dilansir dari Idntimes.com Fenomena yang dapat muncul akibat mutasi genetik yaitu

a. Kanker

Kanker merupakan penyakit mematikan yang dapat dialami oleh semua organisme hidup mulai dari manusia, hewan hingga tanaman. Kanker juga merupakan fenomena alami yang terjadi di alam sebagai bentuk dari mutasi gen. Semua kelainan dan penyakit kanker diawali dari sebuah mutasi dari satu atau beberapa gen dalam sel. Dalam hal ini, mutasi mengakibatkan perubahan genetik yang dapat mempengaruhi protein dalam sel. Jika protein dalam sel sudah rusak, abnormal dan bahkan berubah secara radikal akan mengakibatkan sel dapat membelah secara berlebihan atau ganas. Salah satu dampak mutasi genetik adalah fenomena alamiah yang cenderung merugikan organisme. Manusia,

hewan dan tumbuhan yang telah terkena kanker stadium berat akan sulit untuk disembuhkan.

a. Perubahan Pigmen

Pada dasarnya, pigmen merupakan salah satu penyebab mengapa organisme bisa memiliki beragam warna. Pada tanaman, pigmen yang membuat tanaman dapat tumbuh dengan berbagai macam warna seperti klorofil, antosianin, karotenoid dan betalain. Dalam sedikit kasus, mutasi genetik dapat mengakibatkan sebuah fenomena alamiah yang akan mengubah susunan jumlah pigmen dalam tubuh. Mutasi ini dapat membuat beberapa organism tidak memiliki jumlah warna yang cukup sehingga hanya warna putih saja yang dihasilkan

b. *Chimera* Pada Tanaman

Kimera atau *chimera* merupakan fenomena unik pada tanaman yang disebabkan oleh mutasi genetik. Kondisi ini hampir sama dengan kondisi tanaman yang kehilangan pigmen akibat mutasi. Ciri-ciri tanaman *chimera* yaitu adanya perbedaan struktur tanaman baik warna maupun bentuk yang terjadi pada tanaman dalam satu akar yang sama seperti bunga mawar yang tumbuh dengan separuh warna merah dan separuhnya lagi warna putih. Hal ini merupakan perubahan pertumbuhan tanaman yang dihasilkan oleh mutasi pada susunan DNA tanaman. Mutasi tanaman tersebut terjadi secara acak dan bisa juga hasil dari modifikasi yang dilakukan manusia. Namun, kondisi chimera secara alami sangat jarang ditemukan di alam liar.

Pada berbagai kasus, peristiwa mutasi telah menimbulkan berbagai macam penyakit yang berbahaya, menimbulkan cacat, bahkan bersifat letal. Berikut contoh dampak negatif dari mutasi.

- a. Terjadinya mutasi gen menyebabkan beberapa kelainan pada manusia antara lain sindrom turner, sindrom down, albino, anemia sel sabit, dan sebagainya
- b. Penemuan buah tanpa biji dapat mengakibatkan tanaman mengalami kesulitan untuk mendapatkan generasi penerusnya.

- c. Pemberian insektisida yang tidak sesuai dosisnya dapat mengakibatkan mutasi pada hama sehingga akan menjadi resisten terhadap jenis insektisida yang sama. Hama resisten akan mengalami peledakan jumlah sehingga akan merusak tanaman budidaya.
- d. Penggunaan sinar radioaktif pada proses mutasi dapat mengakibatkan timbulnya sel kanker dan cacat bawaan pada janin dalam rahim.
- e. Penyebab letal, artinya mutasi dapat menyebabkan organisme yang mengalaminya akan mati.
- f. Merusak, artinya organ dan sistem metabolisme organisme yang mengalami mutasi akan terganggu.
- g. Mutasi menyebabkan timbulnya beragam jenis penyakit berbahaya.

4.2. Mutasi Alami Dan Mutasi Buatan Serta Beberapa Jenis Mutagen

4.2.1. Mutasi Alami

Mutasi alam atau mutasi spontan, yaitu mutasi yang penyebabnya tidak diketahui. Mutasi ini terjadi di alam secara spontan (alami), secara kebetulan dan jarang terjadi. Contoh mutagen alam adalah sinar kosmis, radio aktif alam, dan sinar ultraviolet (Warmadewi, 2017, hal. 34). Penyimpangan genetik pada umumnya terjadi akibat mutasi secara alami. Mutasi alami dapat terjadi karena perubahan cuaca secara mendadak, pengelolaan lahan dan kekeringan. Menurut Sudika et al (2018, hal. 7), keragaman genetik dapat disebabkan oleh adanya persilangan antar kultivar dan mutasi alami. Sedangkan faktor lingkungan yang besar pengaruhnya terhadap penampilan suatu sifat adalah iklim, tanah dan teknik bercocok tanam, seperti pengolahan tanah, pemupukan dan pemeliharaan. Oleh karenanya, keragaman genetik yang ada adalah akibat mutasi yang terjadi secara alami.

Secara mendasar tidak terdapat perbedaan antara inulasi yang terjadi secara alami dan mutasi hasil induksi. Keduanya dapat menimbulkan variasi genetik untuk dijadikan dasar seleksi tanaman, baik seleksi secara alami (evolusi) maupun seleksi secara buatan (pemuliaan). Dalam bidang pemuliaan tanaman, metoda mutasi dapat meningkatkan keragaman genetik tanaman sehingga memungkinkan pemulia melakukan seleksi genotipe tanaman sesuai dengan tujuan pemuliaan yang dikehendaki. Apabila proses mutasi alami terjadi secara sangat lambat maka percepatan, frekuensi dan spektrum mutasi tanaman dapat diinduksi dengan perlakuan bahan mutagen tertentu (Soeranto, 2003).

4.2.2. Mutasi Buatan

Mutasi buatan, yaitu mutasi yang terjadi dengan adanya campur tangan manusia. Proses perubahan gen atau kromosom secara sengaja diusahakan oleh manusia dengan zat kimia, sinar x, radiasi. dan sebagainya maka sering disebut juga mutasi induksi. Mutasi buatan dengan sinar x dipelopori oleh Herman Yoseph Muller (murid Morgan) yang berkebangsaan Amerika Serikat (1890-1945). Muller berpendapat bahwa mutasi pada sel soma tidak mengalami perubahan, sedangkan mutasi pada sel-sel generatif atau gamet kebanyakan letal dan membawa kematian sebelum atau segera sesudah lahir. selanjutnya pada tahun 1927 dapat diketahui bahwa sinar X dapat menyebabkan gen mengalami ionisasi sehingga sifatnya menjadi labil. Dan akhirnya mutasi buatan dilaksanakan pula dengan pemotongan daun dan penyisipan DNA pada organisme-organisme yang kita inginkan. Mutan-mutan buatan yang telah kita peroleh antara lain: anggur tanpa biji, tomat tanpa biji, hewan atau tumbuhan poliploidi (misal: kol poliploidi), *Pamato raphanohrassica* (akar seperti kol, daun seperti lobak) (Warmadewi, 2017, P.34).

- Contoh penyinaran dengan radioaktif:

Tanaman cabai dalam keadaan berbunga diberi penyinaran radioaktif pada putiknya, hasilnya menyebabkan buah cabai besar (3x asal). Bila biji ditanam ulang hasilnya sebesar asal buah (Gambar 4.3).



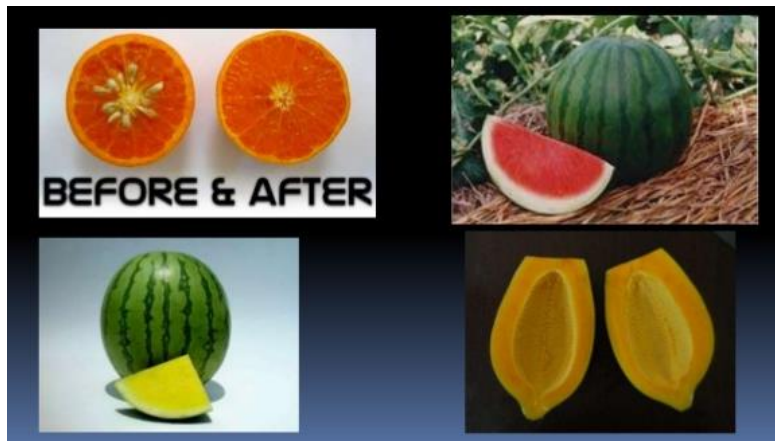
Gambar 4.3 Contoh penyinaran dengan radioaktif.

- Mutagen kimia mutasi buatan (Gambar 4.4):



Gambar 4.4 Mutagen kimia mutasi buatan

- Kolkisin pada jeruk dan semangka menghasilkan buah tanpa biji (Gambar 4.5):



Gambar 4.5 Kolkisin pada jeruk dan semangka menghasilkan buah tanpa biji

- Tanaman anggur poliploid dengan jalan induksi kolkisin pada tanaman (Gambar 4.6):



Gambar 4.6 Tanaman anggur poliploid dengan jalan induksi kolkisin pada tanaman.

4.2.3. Jenis Mutagen

Banyak jenis mutagen yang dapat digunakan dalam menghasilkan keragaman atau menimbulkan mutasi induksi pada tanaman. Namun secara garis besar, jenis mutagen tersebut dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok besar, yaitu mutagen fisik (agen fisik) dan mutagen kimia (agen kimia). Kedua jenis mutagen tersebut tidak hanya berbeda dari segi bahan bakunya, namun juga memiliki efek yang berbeda (Nur dan Syahrudin, 2016, P.189).

a. Mutagen Fisik

Mutagen fisik dapat menyebabkan kerusakan pada molekul-molekul DNA organisme hidup. Di awal abad ke-20, penemuan kembali hasil penelitian Gregor Mendel yang dikenal sebagai genetika Mendel, sangat dekat dengan pemahaman teori bahwa mutasi, perubahan terwariskan, dan menyusun suatu individu dapat diinduksi. Mutasi induksi dapat berupa mutasi mimik spontan, yang mengendalikan evolusi dan spesiasi. Kebanyakan mutagen fisik adalah radiasi ionisasi dan telah digunakan secara luas untuk menginduksi penyimpangan hereditas dan lebih dari 70% mutan dikembangkan dari mutagenesis fisik.

- *Tipe dan Efek Radiasi Mutagenik*

Radiasi didefinisikan sebagai energi yang berpindah dalam bentuk gelombang atau partikel. Radiasi dibagi menjadi dua kategori, yaitu radiasi elektromagnetik dan korpuskular, untuk membedakan jenis radiasi partikel dan gelombang. Radiasi elektromagnetik diklasifikasikan lebih lanjut berdasarkan sumbernya dan yang paling membedakan adalah jumlah energi yang terlibat, frekuensi dan sumbernya. Mutagen fisik yang dimaksud adalah sinar X, sinar gamma, neutron, partikel beta, partikel alfa dan proton atau deuteron. Tipe mutagen fisik, sumber, deskripsi, energi dan daya tembus disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Tipe mutagen fisik, sumber, deskripsi, energi dan daya tembus.

Tipe radiasi	Sumber	Deskripsi	Energi	Daya tembus
Sinar X	Mesin sinar X	Radiasi elektromagnetik	50-300 kV	Beberapa mm sampai banyak cm
Sinar gamma	Radioisotop dan reaksi nuklir	Radiasi elektromagnetik	Sampai beberapa MeV	Banyak cm
Neutron	Reaktor nuklir dan aselerator	Partikel tidak berubah	Kurang dari 1 sampai berjuta eV	Banyak cm
Partikel beta	Radioisotop dan aselerator	Berupa elektron	Sampai beberapa MeV	Sampai beberapa mm
Partikel alfa	Radioisotop	Inti helium	2-9 mm	Sedikit mm
Proton atau deuteron	Reaktor nuklir atau aselerator	Inti hidrogen	Sampai beberapa GeV	Sampai banyak cm

Sumber : IAEA (1977).

- *Radiasi Ionisasi dan Nonionisasi*

Berdasarkan kapasitasnya untuk menghasilkan ion, radiasi dibagi menjadi radiasi ionisasi dan non-ionisasi. Radiasi non-ionisasi kuat mempengaruhi atom, namun tidak cukup kuat mempengaruhi strukturnya. Sebaliknya, radiasi ionisasi memiliki energi yang cukup untuk secara langsung mempengaruhi struktur atom dan material, termasuk makhluk hidup. Istilah ionisasi muncul dari fakta bahwa ketika bentuk radiasi melalui suatu jaringan, selalu ada kecenderungan untuk mengeksitasi suatu elektron dari orbitnya di sekitar nukleus, sehingga menghasilkan ion sebagai proton yang terionisasi.

Untuk memahami cara kerja mutagen fisik yang berbeda, pengetahuan peran sentral atom diperlukan. Semua zat terdiri atas atom, terutama ruang. Tiga partikel atom adalah proton, neutron, dan elektron. Di tengah atom adalah neutron dan proton yang sangat kuat ikatannya dan bermuatan positif, sedangkan elektron bermuatan negatif dan berada pada orbit nukleus. Jumlah proton dalam nukleus unik dan menentukan elemen atom tersebut. Sebagai contoh, jika suatu nukleus mengandung delapan proton, maka atom tersebut adalah oksigen, dan jika mengandung 17 proton, atom tersebut adalah klorin. Jumlah neutron dalam nukleus seluruh atom dari zat tertentu tidak pasti.

Terdapat beberapa teknik meradiasi dalam pemuliaan mutasi dengan menggunakan mutagen fisik, yaitu radiasi akut, teknik mengiradiasi dengan laju dosis yang tinggi sehingga waktu iradiasi hanya dalam hitungan detik, menit atau beberapa jam. Radiasi kronik adalah teknik meradiasi dengan laju dosis yang rendah atau sangat rendah, sehingga waktu mengiradiasi dapat berhari-hari, berbulan-bulan bahkan bertahun-tahun. Teknik ini hanya dapat dilakukan bila ada kebun gamma. Radiasi berulang adalah teknik mengiradiasi dengan berulang 2-3 kali dengan dosis yang sama pada materi pemuliaan yang sama dengan selang waktu yang sama atau berbeda. Radiasi bertahap adalah teknik mengiradiasi berulang yang dosisnya makin lama makin tinggi atau makin rendah. Dengan teknik mengiradiasi bertahap ini, materi pemuliaan dapat menerima dosis iradiasi yang lebih tinggi daripada dosis iradiasi tunggal.

b. Mutagen Kimia

Mutagen kimia adalah senyawa kimia yang dapat menimbulkan mutasi. Senyawa kimia mudah terurai, membentuk radikal yang aktif, dan dapat bereaksi dengan asam amino dalam DNA sehingga terjadi perubahan genetik. Jenis mutagen kimia yang sering digunakan dalam pemuliaan mutasi tanaman adalah EMS (*Ethylene methane sulphonat*), dES (*diethyl sulphate*), EI (*ethyleneimine*), ENU (*ethyl nitroso urethane*), ENH (*ethyl nitroso urea*), NMU (*Nitroso methyl Urea*), MNH (*methyl nitroso urea*), dan NTG (*Nitrosoguanidine*).

- *Dosis mutagen kimia*

Dosis perlakuan dengan mutagen kimia sebenarnya sama dengan dosis pada perlakuan dengan radiasi fisik atau pengion yaitu ditentukan oleh konsentrasi mutagen kimia dalam larutan dan lama perlakuan. Terdapat tiga faktor yang berpengaruh terhadap hasil perlakuan dengan mutagen kimia, yaitu konsentrasi dengan menggunakan mutagen kimia bertanda (14C-EMS22 atau 14C-MMS22), lama perlakuan, dan suhu. Penyerapan mutagen kimia dalam biji mengikuti hukum difusi selama konsentrasi mutagen lebih tinggi dari konsentrasi cairan dalam sel biji, Lama perlakuan adalah lama perendaman larutan mutagen kimia terkait dengan konsentrasi suhu waktu perlakuan dan kondisi fisiologis biji. Suhu erat kaitannya dengan waktu paruh mutagen kimia. Suhu ruang tempat perlakuan disarankan 20–25 °C, sebab pada suhu ini mutagen tidak cepat terhidrolisis sehingga perlakuan dapat lebih lama berlangsung.

- *Objek Pelakuan Mutagen*

Objek perlakuan mutasi baik menggunakan mutagen fisik (pengion) maupun mutagen kimia, materi pemuliaan mutasi dapat berupa tanaman, biji/benih, tepung sari, jaringan maristem (umbi, stek, tunas, stolon), dan sel/kultur jaringan/ kallus. Objek perlakuan mutagen fisik memiliki perbedaan radiosensitivitas yang besar dari setiap bagian tanaman, bergantung pada kondisi fisiologis bagian yang diperlakukan. Objek perlakuan mutagen kimia pada umumnya berupa biji atau benih dengan merendam ke dalam larutan mutagen kimia lalu mengocok, mencuci dan

menanamnya. Bagian tanaman yang lain seperti tunas, stek, tanaman dan bagian tanaman lain dapat ditumbuhkan, sukar diperlakukan dengan mutagen kimia dan hasilnya sering kurang memuaskan. Oleh karena itu, penggunaan mutagen kimia pada tanaman yang membiak vegetatif kurang dianjurkan.

4.3. Manfaat Mutasi dalam Program Pemuliaan

Seleksi atau pemilihan tanaman oleh manusia menjadi awal ilmu pemuliaan tanaman. Seleksi dilakukan bila ada keragaman pada populasi tanaman. Sebelum abad ke-20, seleksi tanaman menggunakan segregasi silang dan mutan-mutan alam dalam perbaikan sifat tanaman. Alam menyediakan keragaman genetik. Selain dari tanaman, persilangan alam juga terjadi dengan mutasi spontan yang tidak melibatkan campur tangan manusia. Mutasi merupakan salah satu sumber variasi genetik pada makhluk hidup. Variasi berfungsi untuk menyediakan populasi dasar untuk seleksi alam dan bagian integral dalam evolusi. Tanaman mutan dapat menunjukkan efek besar atau kecil terhadap sifat fenotipe, bergantung pada gen yang mengalami mutasi. Banyak mutasi mungkin merusak yang menyebabkan suatu organisme menjadi kurang beradaptasi terhadap lingkungannya dan beberapa mungkin bersifat letal. Namun mutasi gen dapat menghasilkan genotipe baru yang bermanfaat melalui proses segregasi bebas dan crossing over antara gen. Seleksi mutasi spontan telah dimulai sejak 300 tahun SM di Cina (Nur dan Syahrudin, 2016).

Di akhir abad ke-19, Hugo De Vries menemukan pola pewarisan sifat yang tidak mengikuti hukum pewarisan Mendel. Pada tahun 1901 dia menemukan mutasi sebagai mekanisme yang menghasilkan variabilitas dan menetapkannya sebagai suatu perubahan terwariskan dengan suatu mekanisme yang sangat berbeda dengan rekombinasi dan segregasi. Dia menyebut kejadian tersebut dengan istilah “mutasi” dan mempresentasikan suatu konsep integratif mengenai perubahan yang terjadi secara tiba-tiba pada suatu sifat, yang menyebabkan terbentuknya suatu spesies baru dan munculnya keragaman. Konsep mutasi Hugo de Vries sebagai sumber keragaman genetik dan ide-idenya tentang potensi tanaman mutasi untuk pemuliaan tanaman, dijadikan sebagai tonggak awal teknologi mutasi dalam disiplin ilmu pemuliaan. Hugo de Vries juga mengusulkan di dalam publikasinya pada tahun 1901 dan 1903 bahwa tipe

radiasi baru seperti sinar X dan Gamma yang ditemukan oleh Konrad Van Roentgen (1895), Henry Becquerel (1896), dan Pierre serta Marie Curie (1897/1898) mungkin sangat bermanfaat untuk menginduksi mutasi buatan (Nur & Syahrudin, 2016).

Mutasi yaitu perubahan struktur genetik suatu makhluk hidup secara tiba-tiba dan acak yang diwariskan pada generasi berikutnya. Mutasi dapat terjadi secara spontan di alam (*spontaneous mutation*) dan dapat juga terjadi melalui induksi (*induced mutation*). Mutasi induksi dapat dilakukan melalui perlakuan mutagen pada materi genetik tanaman. Sampai abad ke 20 hanya mutasi spontan merupakan satu-satunya sumber keragaman genetik dimana manusia dapat melakukan seleksi terhadap tanaman maupun hewan sesuai dengan kebutuhannya pada proses domestikasi maupun *breeding*. Sebuah lompatan dalam pemuliaan tanaman muncul ketika radiasi pengion ditemukan, dan penelitian awal yang menandai dimulainya pemuliaan mutasi tanaman adalah penemuan oleh Muller tahun 1930, bahwa mutan dapat diinduksi. Keragaman yang disebabkan oleh mutasi induksi pada dasarnya tidak berbeda dengan keragaman yang disebabkan oleh mutasi spontan di alam yang terjadi selama proses domestikasi (Sobrizal, 2016).

Disamping mutasi, tersedia juga metode lain dalam pemuliaan tanaman, seperti introduksi, persilangan, dan bioteknologi. Masing-masing metode tentu punya kekuatan dan kelemahan. Dengan mempertimbangkan materi tanaman, kemampuan dan fasilitas yang tersedia, serta tujuan pemuliaan, kita dapat menentukan metode yang tepat untuk digunakan. Misalnya kalau untuk perbaikan sifat yang sumber genetiknya tidak tersedia tentu tidak dapat dilakukan melalui metode pemuliaan lainnya selain pemuliaan mutasi karena melalui pemuliaan mutasi akan memungkinkan untuk munculnya sifat baru. Begitu juga pemuliaan mutasi dapat digunakan untuk memutus *gene linkage* apabila gen yang mengontrol sifat yang kita inginkan terkait dekat sekali dengan gen yang mengontrol sifat yang tidak kita inginkan. Pemuliaan mutasi sangat efektif untuk merubah sedikit sifat tertentu tanpa merubah sifat lain yang sudah disukai sehingga waktu yang diperlukan pada program pemuliaan tanaman secara mutasi relatif lebih singkat. Selain itu, pemuliaan mutasi juga efektif untuk memperbaiki tanaman tahunan yang memerlukan waktu sangat lama

untuk dapat disilangkan karena menunggu datangnya fase generatif (Sobrizal, 2016).

Berikut merupakan contoh pemanfaatan mutasi dalam program pemuliaan.

A. Perbaikan Varietas Padi Lokal Indonesia melalui Pemuliaan Mutasi

Pemuliaan mutasi secara efektif dapat merubah sedikit sifat tanpa merubah sifat lain yang sudah disukai. Hal ini tentu sangat bermanfaat untuk perbaikan varietas padi lokal yang sudah populer pada masyarakat daerah tertentu karena rasa nasinya disukai masyarakat setempat dan beradaptasi baik di daerah tersebut, tetapi punya kelemahan umur yang terlalu panjang dan tinggi tanaman yang terlalu tinggi sehingga mudah rebah terutama menjelang panen. Kerebahan ini dapat menurunkan hasil baik secara kuantitas maupun kualitas. Perbaikan melalui persilangan tentu akan mengalami kesulitan dalam mempertahankan sifat-sifat yang disukai pada varietas tersebut terutama rasa nasi spesifik sesuai selera masyarakat dimana varietas tersebut berasal. Mengembalikan rasa nasi dan sifat lain seperti yang ada pada induk padi lokal memerlukan beberapa kali persilangan balik (*backcross*) dengan varietas induk tersebut yang akan menguras tenaga dan waktu (Sobrizal, 2016).

Seperti perbaikan varietas padi lokal Pandan Wangi dimana varietas ini sangat terkenal dengan aroma pandan, rasa nasi yang enak, pulen, dan beradaptasi baik di daerah dataran tinggi Cianjur, Jawa Barat, tetapi umurnya panjang, mencapai 165 hari, dan tidak tahan terhadap hama wereng coklat. Setelah perlakuan iradiasi sinar gamma dosis 200 Gy dan seleksi, akhirnya diperoleh empat galur mutan harapan yang umurnya sekitar 120 — 130 hari dan tahan terhadap hama wereng coklat biotipe . Dari empat galur harapan tersebut satu galur diantaranya telah dilepas pada tahun 2010 melalui Surat Keputusan Menteri Pertanian No. 2366/Kpts/SR.120/6/2010 dengan nama Pandan Putri. Umur Pandan Putri 45 hari lebih genjah, namun penampilan dan rasa nasinya tidak berbeda bila dibandingkan dengan varietas asalnya Pandan Wangi. Keberhasilan perbaikan varietas Pandan Wangi melalui pemuliaan mutasi menginspirasi perbaikan varietas padi lokal daerah lain. Seiring dengan maraknya upaya Pemerintah Daerah untuk memurnikan dan melepas varietas padi lokal, beberapa daerah juga telah mengupayakan pula perbaikan varietas

padi lokalnya melalui pemuliaan mutasi. Melalui kerja sama BATAN, Universitas Samratulangi dan Pemerintah Daerah Sulawesi Utara, pada tahun 2012 telah dilepas varietas Sulutan Unsrat 1 dan Sulutan Unsrat 2 yang umurnya sekitar 25 hari lebih genjah dibandingkan varietas asalnya Superwin (Sobrizal, 2016).

Setelah diperbaiki dan diperoleh varietas berasal dari varietas padi lokal yang umur dan tingginya setara dengan varietas modern, tetapi rasa dan aromanya tetap seperti aslinya, tentu petani tidak akan keberatan menanam varietas tersebut secara luas. Hal ini tentu akan memberi keuntungan kepada petani karena masa tanam lebih pendek, kualitas dan kuantitas hasil lebih baik akibat tanaman tidak rebah dan harga jual relatif lebih tinggi. Selain itu juga sekaligus dapat melestarikan karakter yang disukai pada varietas padi lokal tersebut yang sudah hampir punah karena kesulitan bersaing dengan varietas modern (Sobrizal, 2016).

B. Pemuliaan Kedelai melalui Induksi Mutasi

Perakitan varietas unggul kedelai merupakan kegiatan yang dinamis dan sinambung, hal ini tercermin dari berkembangnya selera konsumen. Prosedur pemuliaan dimulai dari peningkatan keragaman tanaman melalui berbagai cara seperti persilangan, transformasi gen, dan mutasi, setelah itu dilanjutkan dengan seleksi yang menggunakan berbagai metode (seperti metode bulk, pedigree, SSD), uji daya hasil, dan uji multi lokasi. Pendayagunaan sumber daya genetik melalui program pemuliaan untuk mendapatkan varietas kedelai berumur genjah dan produktivitas hasil tinggi, dilakukan dengan berbagai pendekatan, seperti peningkatan keragaman genetik tanaman melalui persilangan, variasi somaklonal, dan teknik mutasi (Asadi, 2016).

Peran utama teknologi nuklir dalam pemuliaan tanaman terkait dengan kemampuannya untuk menginduksi mutasi pada materi genetik. Kemampuan tersebut dimungkinkan karena nuklir memiliki energi cukup tinggi untuk dapat menimbulkan perubahan pada struktur atau komposisi materi genetik tanaman. Perubahan tersebut terjadi secara mendadak, acak, dan diwariskan pada generasi berikutnya. Pada tingkat tertentu, mutasi dapat menimbulkan ragam genetik yang berguna dalam pemuliaan tanaman, tetapi perubahan genetik itu bukanlah disebabkan perubahan rekombinasi. Pemuliaan mutasi dapat digunakan untuk

mendapatkan varietas unggul dengan perbaikan beberapa sifat saja tanpa merubah sebagian besar sifat baiknya (Asadi, 2016).

Rendahnya keragaman karakter umur, agronomis, dan produktivitas di dalam koleksi plasma nutfah kedelai, serta rendahnya keragaman genetik yang ditimbulkan melalui persilangan menyebabkan pada pemuliaan konvensional, pemuliaan mutasi menjadi salah satu alternatif untuk perbaikan varietas kedelai terhadap umur dan produktivitas (Younessi *et al.*, 2011). Untuk memperoleh keragaman melalui penggunaan teknik mutasi dalam pemuliaan cukup besar. Peluang keberhasilan serta waktu yang diperlukan relatif lebih cepat. Induksi mutasi melalui iradiasi biji menyebabkan mutasi fisik, iradiasi mampu menembus biji tanaman sampai ke lapisan kromosom. Struktur dan jumlah pasangan kromosom pada biji tanaman dapat dipengaruhi oleh sinar iradiasi ini. Perubahan struktur akibat iradiasi dapat berakibat pada perubahan sifat tanaman dan keturunannya. Fenomena ini digunakan untuk memperbaiki sifat tanaman dengan keunggulan tertentu, misalnya tahan hama, tahan kering, dan umur genjah. Sampai saat ini dengan memanfaatkan teknik iradiasi di Batan telah dihasilkan enam varietas kedelai unggul yang berdaya hasil tinggi dengan sifat-sifat unggul lainnya (Asadi, 2016).

C. Aplikasi Teknologi Mutasi Pada Pemuliaan Tanaman Gandum

Pemuliaan mutasi dimulai sejak ditemukannya sinar X, gamma dan neutron 100an tahun yang lalu dan menjadi alternatif teknologi dalam perbaikan sifat utama tanaman. Semula, pemulia tanaman menganggap bahwa mutasi induksi merupakan teknik pemuliaan yang kurang meyakinkan. Namun, seiring dengan berkembangnya bioteknologi, keberhasilan regenerasi sel berdasarkan teori totipotensi sel, dan terbentuknya variasi somaklonal, mutasi induksi merupakan alternatif teknik pemuliaan tanaman yang menjanjikan. Penerapan mutasi induksi di Indonesia dimulai pada tahun 1967 setelah berdirinya instalasi sinar Co 60 di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi. Program pemuliaan mutasi secara intensif dimulai pada tahun 1972 dengan bantuan teknik dari *International Atomic Energy Agency* (IAEA) yang berpusat di Wina. Prioritas kegiatan diarahkan pada perbaikan varietas padi, yakni umur genjah, tahan patogen, toleran kekeringan, dan kualitas beras yang disenangi konsumen (Nur dan Syahrudin, 2016).

Pemuliaan mutasi pada gandum di laboratorium Brookhaven National, Upton New York, Amerika Serikat, menggunakan biji gandum kadar air 11% dan sinar X dengan dosis 150-250 Gy sinar-X atau $8,38 \times 10^{12}$ Nth/cm² Nth. Turunan M2 dianalisis secara kimia dan fisika, dan menghasilkan beberapa mutan yang berbeda sifat klorofilnya. Perbaikan sifat gandum menggunakan iradiasi sinar gamma telah berhasil di beberapa negara, diantaranya Argentina (1 mutan), Chili (1 mutan), Cina (124 mutan), Bulgaria (2 mutan), Finlandia (1 mutan), Jepang (2 mutan), Jerman (2 mutan), Rusia (36 mutan), India (4 mutan), Hongaria (1 mutan), Irak (60 mutan), Italia (2 mutan), Swiss (1 mutan), Mongolia (3 mutan), Amerikan (3 mutan) dan Pakistan (6 mutan). Mutan gandum yang pertama tahun 1966 terhadap biji dengan iradiasi sinar X, J, α , laser, neutron cepat, EI, MNH dan sinar gamma meningkatkan produksi, umur genjah, toleran suhu dingin, tahan patogen, tahan rebah, lebih kerdil dan kualitas biji lebih baik(Nur dan Syahrudin, 2016).

BAB 5

MANDUL JANTAN

5.1. Pengertian Mandul Jantan

Mandul jantan merupakan suatu kondisi dimana tanaman tidak mampu memproduksi polen fungsional. Sistem ini memudahkan dalam produksi benih hibrida dari sejumlah tanaman yang menyerbuk sendiri seperti padi, kapas, dan beberapa tanaman sayuran, dalam skala komersial. Hibrida seringkali menampilkan heterosis atau *hybrid vigor*, yang dicirikan oleh karakteristik pertumbuhan hibrida yang relatif superior dibanding kedua tetuanya (Eckardt 2006 dalam Satoto dan Rumanti, 2011).

5.1.1. Klasifikasi Mandul Jantan

GMJ padi diklasifikasikan menjadi beberapa tipe berdasarkan beberapa kriteria yaitu (1) berdasarkan pengendali sifat mandul jantan, GMJ dibedakan menjadi empat tipe yaitu mandul jantan genetik (*genetic male sterility*), mandul jantan sitoplasmik-genetik (*cytoplasmic-genetic male sterility*), mandul jantan sensitive faktor lingkungan (*environment sensitive genetiic male sterility*), dan mandul jantan non genetik atau karena perlakuan kimiawi (*non-genetic or chemically induced male sterility*); (2) berdasarkan perilaku genetik dari gen ms, GMJ dibedakan menjadi dua tipe yaitu sporofitik dan gametofitik; (3) berdasarkan pola maintaining-restoring, terdapat tiga tipe GMJ yaitu WA, Honglian, dan Boro type (BT), dan (4) berdasarkan morfologi polen, GMJ digolongkan ke dalam tipe typical abortion, spherical abortion, dan stained abortion (Yuan *et al.*, 2003 dalam Satoto dan Rumanti, 2011 hal. 14-18).

1. Mandul jantan genetik

Mandul jantan genetik juga disebut nuclear male sterility karena dikendalikan oleh gen yang ada di inti (nucleus). Ekspresi fenotipe mandul jantan genetik (Satoto dan Rumanti, 2018) tidak dipengaruhi oleh sitoplasma maupun lingkungan. Karena itu, pola ekspresi dan pewarisan mandul jantan genetik tidak menunjukkan adanya perbedaan pada persilangan resiproknya sehingga mandul jantan tipe ini stabil, dapat dipercaya, dan dapat diulang. Mandul jantan tipe genetik sulit dilestarikan karena tidak mempunyai galur pelestari (*maintainer line*). Tipe mandul jantan genetik dikendalikan oleh gen resesif tetapi dalam beberapa kasus juga dikendalikan oleh gen dominan. Gugurnya tepungsari (*pollen abortion*) pada mandul jantan genetik dikendalikan oleh gen resesif. Mandul jantan genetik dalam beberapa kasus dikendalikan oleh dua gen atau lebih.

2. Mandul jantan sitoplasmik-genetik

Mandul jantan sitoplasmik-genetik paling banyak digunakan untuk mengembangkan hibrida komersial pada banyak tanaman karena mudah. Keberadaan gen inti resesif homisigot untuk pemulihan kesuburan dalam kaitannya dengan kemandulan yang diinduksi oleh faktor inti pada sitoplasma menyebabkan tanaman menjadi mandul. Pada banyak kasus ditemukan bahwa fertilitas dapat dipulihkan oleh gen-gen dalam inti yang disebut gen pemulih kesuburan (Rf). Sistem CMS/Rf terjadi karena adanya interaksi antara genom inti dan mitokondria. Konstitusi sitoplasmik- genetik dari masing-masing galur adalah: S rfrf (mandul, GMJ atau CMS), N rfrf (*fertile* atau normal, galur pelestari atau *maintainer*), S atau N RfRf (normal, *restorer*), S Rfrf (normal, hibrida).

3. Mandul jantan sensitif faktor lingkungan

Keuntungan dari penggunaan galur mandul jantan sensitif lingkungan, antara lain: 1) TGMS (*ThermoSensitive Genetic Male Sterility*) tidak memerlukan galur pelestari (*maintainer*) untuk memperbanyak benihnya sehingga lebih mudah diperbanyak dibandingkan dengan CMS; dan 2) untuk memproduksi benih hibrida F1 tidak perlu galur-galur yang mempunyai gen pemulih kesuburan

(*restorer*), hanya diperlukan galur TGMS dan tetua jantannya, sehingga sistem ini juga dikenal dengan nama sistem dua galur.

4. Mandul jantan tipe sporofitik

Pada GMJ sporofitik, sterilitas atau fertilitas polen ditentukan oleh genotipe dari sporofit, sedangkan genotipe gametofit (polen) tidak berpengaruh sama sekali. Saat genotipe sporofitiknya adalah S (rr), maka semua polen akan mengalami aborsi. Sebaliknya, jika genotipenya adalah N (RR) atau S (RR), maka semua pollen akan fertile. Bahkan saat genotipe sporofitnya adalah S (Rr) dan memproduksi dua macam gamet yaitu S (R) dan S (r), maka semua polen tetap fertile karena fertilitas polen ditentukan oleh gen fertile dominan R yang ada pada genotipe sporofit. Beberapa GMJ yang tergolong tipe ini antara lain wild-abortion (WA) dan Gambiaca (Gam). Pada kedua GMJ tersebut, gugurnya polen terjadi pada fase awal perkembangan mikrospore.

5. Mandul jantan tipe gametofitik

Fertilitas GMJ gametofitik secara langsung ditentukan oleh genotipe gametofit (polen) saja tanpa dipengaruhi oleh genotipe sporofit. Gen dalam inti, R, dan r pada gametofit, berturut-turut akan menentukan fertilitas dan sterilitas pollen. Pengguguran polen biasanya terjadi pada fase akhir perkembangan mikrospore. Malai dari galur tipe ini biasanya hanya sedikit tertutup oleh pelepah daun bendera atau bahkan tidak tertutup sama sekali.

6. Galur mandul jantan tipe Wild-Abortive (WA)

GMJ tipe ini dikembangkan dari padi liar (*wild abortive*, WA) melalui silang balik berkelanjutan, dimana WA sebagai tetua betina dan tetua jantan berulang (*recurrent*)-nya berupa galur indica genjah seperti Erjiunan 1, Zhenshan 97, V20, dan V41. Galur pelestari (*maintainer*) dari tipe ini frekuensinya rendah pada populasi indica. Namun sangat mudah ditemukan galur pemulih kesuburannya.

7. Galur mandul jantan tipe Honglian

Galur ini merupakan hasil silangbalik dari padi liar berbulu merah sebagai tetua betina dengan tetua jantan berulang Liantangzao (varietas tipe indica yang tinggi tetapi genjah). Galur pelestari tipe ini sering berbalikan dengan pemulih

kesuburan dari tipe WA. Misalnya Zhenshan 97 yang merupakan pelestari dari WA, ternyata mampu memulihkan kesuburan dari tipe Honglian dan sebaliknya.

8. Galur mandul jantan tipe BT

Galur ini dirakit dari varietas japonica seperti Liming A dan Fengjin A dengan sitoplasma dari BT-C atau Dian 1. Namun galur pemulih kesuburan dari tipe ini sangat sulit ditemukan pada populasi japonica (Satoto dan Rumanti, 2018).

9. Galur mandul jantan tipe typical abortion

GMJ tipe typical abortion mempunyai bentuk polen yang tidak beraturan dan pengguguran polen biasanya terjadi pada fase perkembangan polen yang relatif awal, yaitu fase uninukleat.

10. Galur mandul jantan tipe spherical abortion

GMJ tipe spherical abortion mempunyai polen berbentuk agak lonjong dan polen gugur kira-kira pada saat fase binukleat.

11. Galur mandul jantan tipe stained abortion

Bentuk polen tipe stained abortion juga agak lonjong tetapi agak lebih kecil dibanding polen normal dan polen gugur pada fase trinukleat.

Penggunaan mandul jantan sangat cocok untuk tanaman menyerbuk sendiri, seperti padi. Pada umumnya padi hibrida dihasilkan dengan menggunakan tiga galur, yaitu galur A, galur B, dan galur R. Galur A merupakan galur mandul jantan atau CMS (*Cytoplasmic Male Steril*). Galur B merupakan galur pelestari atau pemelihara (*maintainer*). Galur ini digunakan untuk melestarikan dan memperbanyak galur A, hanya berbeda pada karakter mandul jantannya. Galur R merupakan galur pemulih kesuburan (*restorer*). Benih hibrida (F₁) diproduksi dengan melakukan persilangan galur A dengan galur R. Galur A dan R merupakan galur-galur yang menghasilkan turunan terbaik dalam pengujian daya gabung, terutama daya gabung khusus. Sedangkan perbanyakan galur A dilakukan dengan menyilangkan galur A dengan galur B (Syukur, *et al.* 2012 hal. 160).

GMJ dapat dibuat melalui persilangan kerabat jauh dan berasal dari tanaman mandul jantan alami. Pada persilangan kerabat jauh, GMJ dapat diperoleh dari persilangan antar spesies (misalnya persilangan *O. sativa* x *O. glaberrima*), persilangan antar subspecies (Indica x Japonica), dan persilangan antar varietas yang sangat berbeda sumber asalnya. GMJ juga dapat diperoleh dari tanaman mandul jantan alami, yang umumnya merupakan hasil dari mutasi gen. Untuk mendapatkan kemandulan yang mantap, maka dilakukan silang balik berulang (*back cross*) terhadap persilangan. Cara ini sekaligus dapat menghasilkan galur pelestari sebagai. Beberapa GMJ telah dirakit dan digunakan dalam pengembangan padi hibrida di Indonesia. Penggunaan GMJ yang beragam telah mewarnai keragaman penampilan dan daya hasil padi hibrida. Makalah ini bertujuan memberikan informasi mengenai perkembangan perakitan GMJ dan pemanfaatannya dalam pembentukan varietas padi hibrida.

Perakitan padi hibrida merupakan salah satu alternatif dalam penyediaan varietas unggul baru padi. Pembentukan hibrida pada padi melibatkan galur mandul jantan (GMJ atau galur A), galur pelestari atau galur B, dan galur pemulih kesuburan atau galur R. Pengembangan padi hibrida di Indonesia pada awalnya menggunakan GMJ yang diintroduksi dari China dan IRRI. Meskipun memperoleh beberapa GMJ dengan kemandulan tepung sari yang tinggi (*highly sterile*), GMJ tersebut masih memiliki kelemahan, antara lain tingkat persilangan alaminya sangat rendah, daya gabungannya kurang baik, serta potensi heterosisnya belum cukup tinggi (< 15%). Penelitian lebih lanjut memperoleh sejumlah GMJ dengan sifat kemandulan tepung sari yang lebih mantap dan stabil, serta memiliki beberapa kelebihan, antara tingkat persilangan yang lebih baik serta lebih tahan terhadap hama penyakit utama. Upaya perbaikan galur pelestari juga dilakukan untuk memperbaiki GMJ. Pemanfaatan teknik inkonvensional melalui kultur antera masih dalam tahap awal program pemuliaan padi.

5.2. Sebab-Sebab Genetis Mandul Jantan

Mandul jantan merupakan suatu kondisi dimana tanaman tidak mampu memproduksi polen fungsional. Sistem mandul jantan berfungsi mempermudah produksi benih hibrida dari sejumlah tanaman penyerbuk sendiri seperti padi, kapas, dan beberapa tanaman sayuran dalam skala komersial. Mandul jantan sejati dapat dibedakan menjadi tiga tipe berdasarkan pengendali sifat, yaitu

mandul jantan genetik (*genetic male sterility*), mandul jantan sitoplasmik-genetik (*cytoplasmic-genetic male sterility*), dan mandul jantan sensitif faktor lingkungan (*environment sensitive genic male sterility*). Umumnya dalam produksi benih hibrida masih bertumpu pada sistem tiga galur utama, yaitu galur mandul jantan (GMJ) atau *cytoplasmic male sterile line* (CMS = A), galur pelestari (*maintainer line* = B), dan galur pemulih kesuburan (*restorer* = R). Galur B adalah galur yang digunakan untuk memelihara karakter kemandulan bagi galur A, sehingga persilangan antara galur A dengan galur B akan menghasilkan galur A kembali. Galur F1 hibrida diperoleh dari hasil persilangan galur A dengan galur R. Penemuan sistem mandul jantan merupakan tonggak atau titik balik dalam sejarah teknologi hibrida khususnya padi hibrida. Sistem mandul jantan tersebut sangat berperan dalam memudahkan produksi benih F1 hibrida skala luas terutama untuk tanaman yang dalam sekali pembuahan hanya menghasilkan satu benih (Yuan *et al.*, 2003 dalam Satoto dan Rumanti, 2011 hal. 14-18).

Mandul jantan dan mekanisme pengendalian sterilitas kemandulan atau sterilitas dapat diartikan sebagai ketidakmampuan tanaman untuk membentuk biji karena kegagalan polen atau sel telur berfungsi secara normal. Hanson dan Bentolila (2004) menyatakan bahwa mandul jantan merupakan karakter yang diturunkan secara maternal atau dengan kata lain dapat diwariskan. Mandul jantan yang diwariskan dapat disebabkan oleh pengaruh genetik atau sitoplasma. Pada mandul jantan fungsional (*functional male sterility*), tepung sari dalam keadaan normal tetapi kepala sari gagal untuk membuka. Pada mandul jantan sejati (*true male sterility*), anther menjadi layu atau mengalami degenerasi sehingga tepung sari gugur. Mandul jantan sejati dapat dibedakan menjadi tiga tipe berdasarkan pengendali sifat, yaitu (Satoto dan Rumanti, 2011): 1. Mandul jantan genetik (*genetic male sterility*) Mandul jantan genetik disebut juga nuclear male sterility karena dikendalikan oleh gen yang ada pada inti (*nucleus*). Ekspresi mandul jantan genetik tidak dipengaruhi oleh sitoplasma maupun lingkungan. Karena itu pola ekspresi dan pewarisannya stabil, dapat dipercaya, dan dapat diulang. Mandul jantan genetik sulit dilestarikan karena tidak mempunyai galur pelestari (*maintainer line*). Gugurnya tepung sari pada mandul jantan genetik dikendalikan oleh gen resesif. Mandul jantan genetik umumnya dikendalikan oleh lokus tunggal dengan dua alel (Ms, ms).

Kebanyakan sterilitas di alam merupakan mandul jantan sitoplasmik genetik. Sifat mandul jantan tersebut paling banyak digunakan untuk mengembangkan hibrida komersial pada banyak tanaman karena mudah dan efisien (Raj dan Virmani, 1988). Keberadaan gen inti resesif homosigot yang berperan sebagai pemulih kesuburan dalam kaitannya dengan kemandulan yang diinduksi oleh faktor inti pada sitoplasma menyebabkan tanaman menjadi mandul. Faktor inti pada sitoplasma merupakan bagian dari DNA mitokondria (Kadowaki *et al.*, 1986). Pada banyak kasus ditemukan bahwa fertilitas dapat dipulihkan oleh gen-gen dalam inti yang disebut gen pemulih kesuburan (*restorer*). Pada kasus mandul jantan sitoplasmik-genetik, terdapat dua tipe sitoplasma, yaitu fertil normal (N) dan jantan steril (S), dan di inti terdapat gen Ms yang dominan terhadap ms. Sitoplasma diwariskan kepada keturunannya hanya dari tetua betina. Gen Ms dominan terhadap sitoplasma steril (S). Di satu sisi, sterilitas terjadi akibat aktivitas gen-gen mitokondria yang menyebabkan disfungsi sitoplasmik.

Di sisi lain, pemulihan kesuburan (fertilitas) merupakan akibat dari gen-gen dalam inti yang menekan kejadian disfungsi sitoplasmik. Jika faktor genetik yang menginduksi kemandulan tersebut tidak ada dalam sitoplasma maka tanaman menjadi normal (*male fertile*). Jika pada sitoplasma semacam ini gen inti yang memulihkan kesuburan resesif, maka tanaman akan dapat mempertahankan sifat mandul tersebut. Tanaman atau galur tersebut disebut galur pelestari (*maintainer line*). Galur pelestari atau maintainer line adalah galur yang mempunyai sitoplasma normal tetapi gen inti yang berkaitan dengan pemulihan kesuburan resesif. Galur ini berfungsi untuk melestarikan galur mandul jantan pasangannya. Pada sistem sitoplasmik-genetik, masing-masing galur mandul jantan mempunyai pasangan galur pelestari. Jika gen inti yang berkaitan dengan pemulihan kesuburan pada sitoplasma dengan atau tanpa gen sterilitas dalam sitoplasma bersifat dominan maka tanaman akan mampu memulihkan kesuburan pada hibrida turunan persilangan antara galur mandul jantan dengan tanaman tersebut, yang dikenal dengan nama restorer.

5.3. Pengertian Tanaman Hibrida

Hibridisasi atau persilangan merupakan proses penyerbukan silang antara tetua yang berbeda susunan genetiknya. Kegiatan ini adalah langkah awal

pada program pemuliaan tanaman. Proses ini dapat berlangsung setelah dilakukannya pemilihan tetua atau parental terutama pada tanaman menyerbuk sendiri. Sedangkan pada tanaman menyerbuk silang, hibridisasi digunakan untuk menguji potensi tetua dalam pembentukan varietas hibrida.

Kegiatan hibridisasi bertujuan untuk menyilangkan atau menggabungkan semua sifat baik atau yang diinginkan ke dalam satu genotipe baru, memperluas keragaman genetik, dan menguji potensi tetua atau memanfaatkan vigor hibrida. Sebagaimana diketahui bahwa dasar pemuliaan tanaman adalah menyeleksi berbagai sumber tanaman dalam satu populasi yang memiliki karakter unggul untuk dikembangkan dan diperbanyak sebagai benih atau bibit unggul. Hibridisasi merupakan cara lain untuk menghasilkan rekombinasi gen. Beberapa tahapan dari kegiatan ini adalah penentuan parental atau tetua, proses *inbreeding*:

a. Pemilihan Tetua

Sebelum melakukan persilangan ditentukan varietas atau nomor yang akan digunakan sebagai tetua persilangan, yaitu nomor yang telah mempunyai sifat baik tertentu misalnya daya hasil tinggi, tetapi mempunyai sifat rentan terhadap serangan hama dan penyakit penting atau penampilan buahnya tidak sesuai dengan preferensi konsumen, yang umumnya menginginkan buah cabai dengan ukuran sedang, permukaan kulit rata, halus dan warna merah. Dengan demikian perlu ditambahkan sifat-sifat baik tertentu yang diinginkan untuk memperbaiki kualitas suatu varietas. Untuk maksud tersebut dilakukan melalui hibridisasi. Kedua tetua hendaknya secara genetik harus jauh hubungan kekerabatannya, sehingga efek heterosisnya akan tinggi. Selain itu masing-masing tetua sebaiknya homozigot, sehingga gen-gen resesif efeknya tidak tertutup oleh allel-allel dominannya.

Untuk memperoleh homozigotas dilakukan dengan penyerbukan sendiri. Banyak generasi yang diperlukan untuk mencapai galur homozigot, tergantung pada tingkat heterosigositas dari tanaman yang diseleksi. Umumnya, homozigositas tersebut tercapai pada generasi S5. Apabila telah diperoleh galur-galur yang homozigot, maka dilakukan persilangan dialel untuk menentukan galur-galur yang memiliki daya gabung umum dan daya gabung khusus yang baik. Dari sini dapat ditentukan kombinasi-kombinasi persilangan mana yang

menghasilkan hibrida F1 yang terbaik. Untuk mengetahui daya adaptasi hibrida F1 maka dilakukan uji adaptasi hibrida-hibrida F1 pada berbagai agroekosistem. Selanjutnya dilakukan analisis ekonomi produksi benih hibrida dan potensi hasil, kualitas dll.

b. Proses Inbreeding

Silang dalam (*Inbreeding*) didefinisikan sebagai persilangan dalam suatu populasi antara individu tanaman yang berkerabat lebih dekat dibandingkan persilangan antar individu yang terjadi secara acak. Bentuk paling ekstrim dari inbreeding adalah persilangan pada suatu individu tanaman melalui mekanisme polinasi sendiri. Persilangan antar individu yang berkerabat dekat akan meningkatkan homosigitas, yang diakibatkan oleh alil-alil identic berada pada lokus yang sama, sehingga karakter yang dikendalikan oleh gen resesif akan muncul. Jika karakter yang dikendalikan oleh gen resesif merupakan karakter tidak diinginkan (tidak baik) maka secara keseluruhan ekspresi karakter-karakter tersebut pada individu dan populasi tanaman akan meningkat. Penurunan atau penyimpanan keragaman karakter tanaman dari apa yang diharapkan pemuliaan akibat inbreeding disebut depresi *inbreeding*.

Produksi benih hibrida komersial sangat bergantung pada ketersediaan tetua (hibrida). Dalam kaitan dengan itu proses *inbreeding* digunakan untuk mengurangi keberadaan atau frekuensi alel resesif yang merusak pada genotipe yang akan dijadikan tetua pada pembentukan varietas sintetik, varietas hibrida atau varietas yang diperbanyak secara vegetatif. *Inbreeding* juga akan meningkatkan keragaman genetik antar individu tanaman dalam populasi. Keragaman genetik antar turunan galur murni (*inbreed*) yang besar, akan meningkatkan efektivitas seleksi dan kemajuan genetik dalam program kemuliaan.

5.3.1. Hibrida Vigor atau Heterosis

Heterobiltiosis telah dimanfaatkan secara luas dalam pembentukan hibrida yaitu generasi pertama (F1) persilangan antara dua inbrida. Pada saat ini istilah heterosis sering disamakan dengan ketegapan hibrida (*vigor hybrid*). Tetapi heterosis dan ketegapan hibrida sebenarnya berbeda artinya. Heterosis berarti rangsangan perkembangan yang disebabkan oleh bersatunya gamet-

gamet yang berbeda sedangkan ketegapan hibrida merupakan manifestasi dari heterosis.

Heterosis adalah adanya peningkatan ukuran, vigor atau produktifitas tanaman hibrida dibandingkan dengan rata-rata tetuanya. Tanaman hibrida yang dihasilkan haruslah dalam kondisi heterosis terhadap sifat hasil dan produktifitas untuk dapat dimanfaatkan. Tanaman heterosis dipengaruhi oleh peningkatan pertumbuhan vegetatif dan hasil, ukuran sel, tinggi tanaman, ukuran daun, perkembangan akar, ukuran tongkol atau pucuk, jumlah biji, ukuran biji, dan sebagainya.

Ada beberapa teori yang dapat digunakan dalam menjelaskan proses terjadinya heterosis atau hibrida vigor meskipun masih menyisakan banyak pertanyaan, diantaranya adalah:

1. Heterosis dihasilkan dari penyatuan berbagai karakter yang menguntungkan dalam gen dominan. Berdasarkan teori ini, alel yang berhubungan dengan vigor dan pertumbuhan adalah dominan, sedangkan alel resesif mungkin saja netral, berbahaya, atau dapat merusak individu tanaman. Jika salah satu tetua beralel dominan sesuai dengan tetua lainnya maka F1 akan memiliki kombinasi sifat yang lebih baik dari kedua tetuanya.
2. Lokus heterozigot menyumbang lebih ke sifat produktifitas dibandingkan dengan lokus homozigot; tanaman hibrida yang paling produktif adalah tanaman dengan jumlah lokus heterozigot terbanyak. Teori ini berdasarkan anggapan bahwa adanya alel yang bertolak belakang misalnya a_1 dan a_2 untuk satu lokus. Setiap alel berdampak baik pada setiap tanaman. Pada tanaman heterozigot (a_1a_2), dampak akan lebih baik dibandingkan bila hanya terdapat salah satu dari kedua gen tersebut ($a_1 a_1$) atau ($a_2 a_2$). Fenomena ini dikenal dengan sebutan *over dominance* yang didasari pada interaksi alel selokus.

5.3.2. Pemanfaatan Heterosis Sebagai Dasar Pembentukan Varietas

Penampilan gejala heterosis atau vigor hibrida dapat dinyatakan dengan berbagai indikator, seperti hasil, tinggi tanaman, sistem perakaran, jumlah malai, jumlah biji, kandungan lemak, kandungan protein, besar tongkol, dan sebagainya. Pemanfaatan gejala heterosis dalam produksi tanaman pertanian

secara komersial adalah pembentukan varietas hibrida, sebagai salah satu varietas yang dikembangkan melalui metode pemuliaan. Varietas hibrida dapat dibentuk dengan menggunakan dua atau lebih galur murni, terutama pada jagung. Dalam kaitannya dengan pembentukan varietas hibrida semacam ini, maka pembuatan galur-galur murni dari populasi bersegregasi menjadi sangat penting.

Galur tetua yang digunakan dalam pembuatan varietas hibrida dapat berupa galur murni (*inbred line*), galur murni parsial, *single cross*, klon, atau populasi tanaman yang bersilang secara random. Pada varietas hibrida yang menggunakan galur murni (*inbred line*) sebagai tetuanya ada tiga tipe dasar yaitu *single cross*, *double cross*, dan *three way cross* dengan berbagai modifikasi. Pemilihan tipe varietas hibrida yang akan dikembangkan pada umumnya didasarkan pada empat aspek yaitu: keseragaman, hasil, stabilitas, dan kemudahan relatif dalam seleksi dan pengujian (Schnell, 1973). Sedangkan landasan keputusan untuk membuat atau mengembangkan varietas hibrida adalah: (1) terdapat mekanisme genetik untuk menangani persilangan buatan dalam skala besar; (2) terdapat teknik perbanyakan yang murah bagi tanaman yang dikembangkan secara vegetatif; (3) terdapat teknik produksi benih yang ekonomis; dan (4) produksi varietas hibrida yang dilepas harus superior terhadap produksi varietas lainnya.

5.4. Efek Heterosis dan Penampilan Tanaman

Kemajuan pemuliaan sangat tergantung kepada potensi dan ketersediaan sumber keragaman genetik. Untuk menciptakan keragaman genetik yang luas, diantaranya melalui kegiatan persilangan buatan (hibridisasi) yang bertujuan untuk mendapatkan turunan yang memiliki sifat unggul (efek heterosis yang tinggi dari kedua tetuanya). Melalui proses hibridisasi, juga diharapkan munculnya beberapa genotipe baru yang mewarisi sifat tetuanya (heritabilitas yang tinggi). Tingkat keragaman genetik yang dihasilkan tergantung kepada hubungan kekerabatan genetik dari tetua yang digunakan dalam persilangan. Persilangan dengan kekerabatan jauh, diharapkan dapat menghasilkan turunan yang lebih unggul yang terekspresi melalui daya waris kepada keturunan pertamanya atau F1 (Sayurandi *et al.* 2011).

Heterosis atau biasa disebut hybrid vigor dapat diartikan sebagai peningkatan penampilan fenotipe yang unggul dari suatu hibrida yang melebihi rerata kedua tetuanya atau salah satu tetua terbaiknya untuk karakter tertentu seperti pertumbuhan yang cepat dan hasil yang tinggi. Pemanfaatan heterosis pada beberapa tanaman pangan melalui pembentukan varietas hibrida menunjukkan hasil yang menguntungkan terutama pada tanaman yang menyerbuk silang. Menurut Mayer heterosis banyak digunakan untuk meningkatkan hasil pertanian serta meningkatkan kemampuan adaptasi varietas hibrida. Data hasil panen jagung di US yang dikoleksi selama lebih dari 130 tahun menunjukkan keberhasilan pemanfaatan efek heterosis dalam perbaikan tanaman jagung. Hasil panen biji jagung jauh meningkat setelah para pemuliaan beralih dari penggunaan varietas bersari bebas ke varietas hibrida. Fenomena heterosis dapat dikembangkan untuk meningkatkan hasil pertanian secara cepat, mudah, dan murah.

Menurut Gupta *et al.*, (2010) fenomena heterosis telah diaplikasikan dengan sukses untuk perbaikan varietas tanaman. Pada tanaman mentimun, efek heterosis pertama kali diteliti oleh Hayes & Jones pada tahun 1961 pada karakter ukuran dan jumlah buah per tanaman. Sampai saat ini pemanfaatan efek heterosis pada tanaman mentimun umumnya digunakan untuk peningkatan ukuran buah, jumlah buah, dan berat buah. Setiap varietas hibrida tidak selalu menghasilkan efek heterosis sesuai dengan yang diharapkan. Hibrida yang dapat direkomendasikan sebagai kandidat hibrida terbaik ialah hasil dari persilangan tetua yang memiliki nilai heterosis tinggi pada karakter tertentu.

Ekspresi heterosis dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, kesuburan tanah, dan ketinggian serta kemiringan lahan. Oleh karena itu perlu dilakukan evaluasi untuk mengidentifikasi kombinasi persilangan yang memiliki tingkat heterosis tinggi. Pendugaan nilai heterosis dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu heterosis rerata tetua dan heterosis tetua tertinggi (heterobeltiosis). Heterobeltiosis merupakan suatu keadaan di mana penampilan rerata hibrida lebih tinggi dari tetua terbaiknya, sedangkan heterosis rerata tetua didefinisikan sebagai keadaan di mana rerata penampilan hibrida lebih baik daripada rerata kedua tetua pembentuknya (Wiguna, 2016).

Peningkatan penampilan tanaman didapat melalui pemanfaatan efek heterosis. Efek heterosis, yaitu efek dari persilangan dua tetua dimana turunan

pertama hasil persilangan mempunyai penampilan lebih baik dari penampilan rata-rata kedua tetuanya, atau lebih baik dari tetuanya yang terbaik. Efek heterosis ini banyak diaplikasikan pada hampir semua tanaman, seperti pada tanaman jagung, tanaman sorgum, tanaman padi dan pada beberapa tanaman hortikultura dan perkebunan. Studi heterosis menurut LeDeaux et al., (2007) paling banyak dilakukan adalah pada tanaman jagung. Hasil studi tersebut menunjukkan bahwa lebih kompleks suatu karakter atau lebih banyak gen yang terlibat maka akan lebih tinggi tingkat heterosis pada individu hibrid. Produksi biji merupakan karakter yang melibatkan banyak gen. Oleh sebab itu tingkat heterosis pada karakter produksi tergolong tinggi. Akibatnya produktivitas tanaman hibrid pada umumnya jauh lebih tinggi dibandingkan tetuanya (Wijaya *et al.* 2013).

Keberhasilan memproduksi benih hibrida secara komersial ditentukan oleh dua hal yaitu hibrida harus menunjukkan heterosis pada karakter hasil, dan harus ditemukan metode yang efisien dan ekonomis untuk menghasilkan benih hibrida. Fenomena heterosis telah dimanfaatkan oleh pemulia selama lebih dari 90 tahun untuk meningkatkan produktivitas berbagai tanaman. Heterosis atau vigor hibrida merupakan fenomena peningkatan karakter tanaman F1 dibandingkan dengan karakter terbaik induknya. Pendugaan heterosis dilakukan dengan dua cara yaitu: 1) mid parent heterosis (MP), yaitu penampilan hibrida (F1) dibandingkan penampilan rata-rata tetuanya; dan 2) high parent heterosis (HP)/heterobeltiosis yaitu penampilan hibrida (F1) dibandingkan penampilan rata-rata tetua terbaiknya. Untuk mendapatkan hibrida dengan hasil yang tinggi, maka tetua galur murni berasal dari dua atau lebih populasi dasar yang berbeda secara genetik sehingga memberikan tingkat heterosis yang tinggi pada F1 hasil persilangan. Studi tentang heterosis maupun heterobeltiosis telah banyak dikaji pada berbagai tanaman, antara lain pada jagung, kacang hijau dan kedelai (Daniel, 2020)

Keragaan tanaman F1 tergantung pada pemilihan tetua yang akan memberikan hibrida heterotik. Keragaman genetik yang ditentukan oleh asal geografis merupakan satu di antara beberapa metode untuk pendugaan heterosis. Dasar genetik heterosis terutama ditentukan oleh perbedaan genetik tetua. Heterosis atau vigor hibrida adalah suatu fenomena pada hibrida yang menunjukkan nilai F1 dari suatu persilangan melebihi nilai kedua tetuanya.

Persilangan antara galur homosigot yang berbeda dapat menyembunyikan sifat cacat yang resesif dan mengembalikan vigor hibrida. Pada tanaman menyerbuk sendiri kemungkinan pemanfaatan heterosis diawali dengan seleksi tetua yang menghasilkan kombinasi karakter terbaik. Menurutnya, hal ini penting untuk melanjutkan pemuliaan bagi kombinasi gen terbaik yang dapat diperoleh dari varietas yang relatif homosigot. Pemuliaan tanaman yang memanfaatkan fenomena heterosis telah memberikan hasil yang jauh lebih tinggi dari varietas inbrida pada berbagai jenis tanaman. Pengaruh heterosis inilah yang dimanfaatkan oleh pemulia tanaman dalam teknologi hibrida yang telah berhasil pada berbagai komoditas seperti jagung, sorgum, kapas, kedelai dan padi (Bambang, 2003).

Sejak pertama kali ditemukan oleh GH Shull pada tahun 1914, heterosis telah dimanfaatkan oleh pemulia untuk meningkatkan produktivitas berbagai tanaman (Stuber, 1994). Keuntungan heterosis dapat ditemukan pada hasil dan komponen hasil, serta ketahanan terhadap hama atau penyakit. Hal penting yang harus diperhatikan dalam mengeksploitasi heterosis diantaranya adalah besarnya nilai heterosis, kelayakannya untuk memproduksi benih hibrida dalam skala besar, dan tipe gen yang terlibat. Gejala heterosis ini umumnya terjadi secara nyata pada tanaman menyerbuk silang (seperti pada jagung), dan kurang nyata pada tanaman yang penyerbukannya tertutup, atau menyerbuk sendiri. Pada tanaman menyerbuk sendiri, seperti tanaman kedelai, pemanfaatan fenomena heterosis dapat diawali dengan memilih tetua potensial untuk menghasilkan karakter unggul dan berdaya hasil tinggi. Sedangkan keberhasilan dalam memproduksi benih hibrida secara komersial ditentukan oleh heterosis hasil biji dan efisiensi produksi benih hibrida. Fenomena heterosis maupun heterobeltiosis telah banyak dikaji pada tanaman kacang-kacangan, antara lain pada kacang hijau dan kedelai. Heterosis untuk hasil biji dari 260 generasi F₁ kedelai sebesar 25,7%, dan heterobeltiosis sebesar 13,4%. Sedangkan penelitian Gadag dan Upadhyaya (2010) terhadap 21 hibrida F₁ kedelai yang berasal dari persilangan *half-diallel*, memperoleh gejala heterosis yang nyata untuk komponen hasil pada 16 hibrida, dan sebanyak 9 hibrida menunjukkan gejala heterobeltiosis.

Heterosis terjadi akibat adanya interaksi yang dominan antara gen yang satu dengan gen lainnya yang berada di dalam lokus, sehingga terjadi

peningkatan ukuran atau vigor dalam penampilan menjadi lebih baik pada kedua tetuanya. Aksi gen dinilai berdasarkan nisbah potensi yang menggambarkan peran gen dominan. Pada dominansi ini, terdapat simpangan dari nilai genotipik terhadap nilai pemuliaannya. Simpangan dominan muncul dari sifat-sifat dominan diantara alel-alel pada suatu lokus, dan merupakan interaksi antar alel atau interaksi di dalam lokus dalam (Ayda *et al.* 2011).

5.5. Manfaat Mandul Jantan dalam Perakitan Tanaman Hibrida

Mandul jantan merupakan suatu kondisi dimana tanaman tidak mampu memproduksi polen fungsional. Sistem ini memudahkan dalam produksi benih hibrida dari sejumlah tanaman yang menyerbuk sendiri seperti padi, kapas, dan beberapa tanaman sayuran, dalam skala komersial. Hibrida seringkali menampilkan heterosis atau hybrid vigor, yang dicirikan oleh karakteristik pertumbuhan hibrida yang relatif superior dibanding kedua tetuanya. Teknologi hibrida ditujukan untuk memenuhi kebutuhan pangan seiring dengan pertumbuhan penduduk dunia dan juga berkontribusi positif dalam mengatasi masalah konversi lahan yang terus terjadi (Satoto dan Rumanti, 2011, Hal. 14).

Teknologi padi hibrida merupakan salah satu alternatif dalam penyediaan varietas unggul baru padi. Perakitan padi hibrida memerlukan tiga komponen utama, yaitu galur mandul jantan (GMJ), galur pemulih kesuburan (restorer), dan galur pelestari (maintainer). GMJ berperan sebagai tetua betina, galur pemulih kesuburan sebagai tetua jantan hibrida, dan galur pelestari untuk memperbanyak benih GMJ dan melestarikan tingkat kemandulan GMJ. Dengan demikian, keragaan produksi padi hibrida sangat ditentukan oleh karakteristik genetik GMJ dan galur pemulih kesuburan (Munarso, 2012, Hal. 162).

Dalam jurnal Satoto dan Rumanti, (2011, Hal. 15) Sebagai contoh, penggunaan padi hibrida di Cina pada saat terjadi penurunan luas areal tanam padi dari 36,5 juta ha pada 1975 menjadi 30,5 juta ha pada 2000, tetap mampu meningkatkan produksi dari 128 juta ton menjadi 189 juta ton dalam periode yang sama. Produktivitas meningkat dari 3,5 t/ha menjadi 6,2 t/ha (<http://www.fao.org/rice> 2004). Keberhasilan pemanfaatan heterosis pada padi di Cina merupakan titik awal dan pendekatan yang efektif untuk meningkatkan hasil padi per satuan luas. Hal ini mendorong negara-negara lain untuk mencoba memanfaatkan teknologi padi hibrida. Penelitian di beberapa negara tropis

menunjukkan bahwa peningkatan hasil yang terjadi akibat penggunaan varietas hibrida setara dengan 1 t/ha.

Mandul jantan akan meningkatkan terjadinya persilangan secara alami sehingga mengakibatkan perubahan gen secara cepat, meningkatkan keragaman, heterozigositas, dan vigor hibrida. Mekanisme tersebut mempunyai implikasi yang sangat besar pada pemuliaan heterosis sejumlah tanaman, terutama tanaman menyerbuk sendiri seperti padi. Pada tanaman lain seperti tomat dan kapas, benih hibrida komersial dapat dengan mudah diproduksi secara manual karena setiap pembuahan (fertilisasi) akan menghasilkan benih yang banyak sekali. Pada padi, produksi benih hibrida komersial hampir “tidak mungkin” dilakukan secara manual karena setiap pembuahan hanya menghasilkan satu butir benih. Karena itu, ketersediaan sistem mandul jantan merupakan keharusan untuk mengeksploitasi heterosis pada padi secara komersial (Satoto dan Rumanti, 2011, Hal. 26).

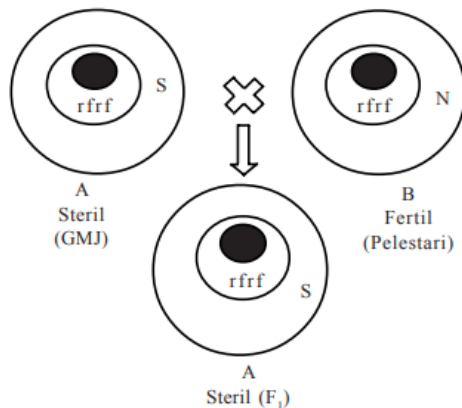
Menurut pendapat Munarso, (2012, Hal. 165) Pengembangan GMJ merupakan bagian penting dari perakitan varietas padi hibrida. Berbagai varietas padi hibrida kini telah diperoleh dengan memanfaatkan GMJ yang dihasilkan di dalam negeri. Varietas inilah yang kini dianjurkan dalam sistem produksi padi nasional dalam upaya meningkatkan penyediaan beras dalam negeri. Meskipun pengembangan GMJ belum secara langsung berdampak nyata terhadap peningkatan produksi padi nasional. Namun, GMJ yang baik akan menghasilkan teknologi padi hibrida yang baik pula, yang pada gilirannya akan memantapkan pemenuhan kebutuhan pangan dalam negeri.

Perakitan varietas padi hibrida tahan hama dan penyakit dapat dilakukan melalui pembentukan galur tetua tahan, baik pada tetua jantan maupun betina, atau keduanya. Idealnya, galur tetua yang menghasilkan hibrida tahan berasal dari tetua betina. Tetua betina yang tahan selain dapat menurunkan hibrida tahan juga dapat mengurangi risiko kegagalan panen, akibat serangan hama dan penyakit pada saat memproduksi benih hibrida. Puluhan galur mandul jantan telah diintroduksi dari China dan *Internasional Rice Research Institute* (IRRI) dan telah teridentifikasi stabilitas sterilitas dan penampilan agronomisnya, daya gabung khusus dan umum serta kemampuan menghasilkan benih dalam silang luar (*out crossing*) Namun, tetua yang telah diintroduksi hanya beberapa yang memiliki karakter yang diharapkan dan mampu menurunkan varietas hibrida

yang telah dilepas, yaitu IR68025A, IR68962A, dan IR68997A. Ketiga galur mandul jantan tersebut mempunyai kelemahan tidak tahan terhadap hama dan penyakit utama padi di Indonesia (Nugraha *et al.* 2011, Hal. 9).

Sebagai salah satu komponen utama dalam perakitan padi hibrida, karakteristik GMJ perlu diperhatikan mengingat potensi heterosis padi hibrida dapat muncul apabila padi hibrida dirakit dari GMJ dengan kemandulan yang tinggi dan stabil. GMJ juga harus memiliki kemampuan persilangan alami yang tinggi, kemampuan membentuk benih (*seed set*) tinggi, beradaptasi baik di lokasi pengembangan, tahan hama penyakit, serta sifat agronomi dan daya gabung yang baik. Apabila salah satu dari sifat-sifat tersebut tidak terpenuhi, maka potensi heterosis hibrida tidak akan optimal (Munarso, 2012, Hal. 162).

Dalam jurnal Munarso *et al.* (2012 Hal. 162) GMJ yang digunakan dalam perakitan padi hibrida ialah mandul sitoplasmik genetik (*cytoplasmic genetic male sterility*), yang sifat mandulnya didasarkan pada interaksi antara faktor di dalam sitoplasma dan gen pada inti sel. Untuk perbanyakannya, GMJ memerlukan bantuan tanaman lain (galur pelestari) yang memiliki gen yang dapat melestarikan GMJ, tanpa mengubah sifat-sifat yang dimiliki oleh GMJ itu sendiri. Galur pelestari atau disebut galur B adalah galur yang karakteristik genotipnya identik dengan GMJ hanya terdapat satu gen berbeda, yaitu gen resesif yang mengakibatkan polennya subur, sehingga dapat memperbaiki galur GMJ dan membentuk benih GMJ yang lebih banyak (Gambar 5.1).



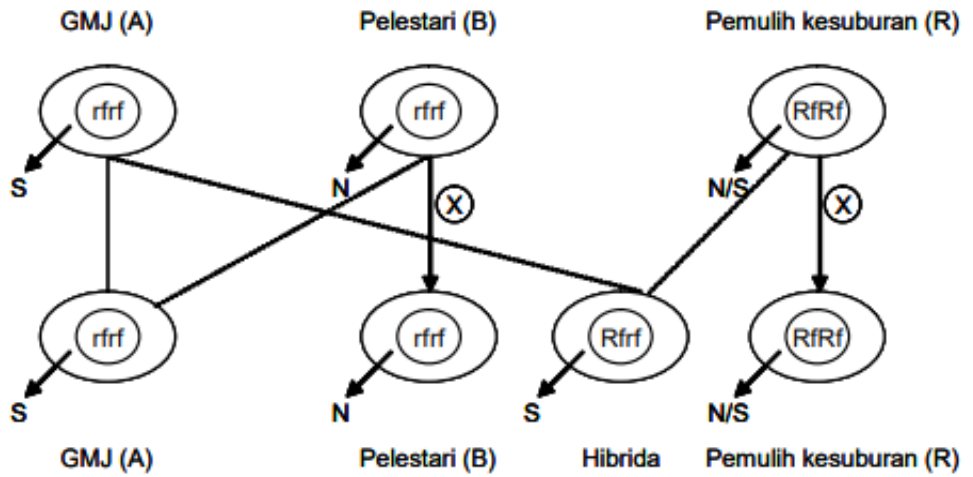
Gambar 5.1 Pembuatan galur A (F1) dan konsitusi genetic galur

Sumber : Jurnal Perkembangan Penelitian Pembentukan Galur Mandul Jantan Pada Perakitan Padi Hibrida

Tahap awal dalam pembentukan galur mandul jantan adalah menyilangkan galur elit sebagai tetua jantan dengan galur mandul jantan yang telah teridentifikasi stabil sterilitasnya. Hasil persilangan (F1) ditanam berdampingan dengan tetua jantan galur elit inbrida untuk diseleksi dengan cara memilih tanaman tetua jantan yang berpenampilan agronomi baik, tanaman pendek, dan karakteristik bunga baik untuk mendukung silang luar, sedangkan pada tanaman F1 diseleksi tanaman yang memiliki sterilitas polen tinggi dengan mengamati warna kantung sari tanaman F1 (Nugraha,dkk 2011, Hal. 10).

Menurut Satoto dan Rumanti (2011, Hal. 21) bahwa tidak seperti pada kapas, benih padi hibrida tidak dapat dihasilkan lebih dari satu butir untuk setiap polinasi (*hand pollination*). Bunga padi tidak memungkinkan untuk menghasilkan benih hibrida melalui penyerbukan manual (*hand pollination*) dalam jumlah yang banyak. GMJ atau yang biasa disebut galur 'A' dalam pembuatan hibrida digunakan sebagai tetua betina, mempunyai sitoplasma mandul dan gen inti untuk pemulihan kesuburan yang resesif sehingga galur ini akan tetap mandul jantan. Galur pelestari (*maintainer*) atau yang biasa disebut galur 'B' mempunyai gen inti resesif tetapi sitoplasmanya normal (*male fertile*) sehingga dapat membentuk biji. Kedua galur ini (galur A dan B) pada prinsipnya merupakan galur yang sama, kecuali pada sitoplasmanya. Galur *restorer* mempunyai gen inti untuk pemulihan kesuburan dominan dan sitoplasma yang pada umumnya normal. Jika GMJ disilangkan dengan galur B pasangannya turunannya (F1) akan mewarisi sitoplasma dari tetua betina (GMJ) dan gen inti dari kedua tetua. Dengan demikian, konstitusi genetik dari tanaman F1 tersebut persis sama dengan GMJ, demikian juga fenotipenya.

Persilangan antara galur A dengan galur B disebut perbanyakan galur GMJ (*CMS seed multiplication*). Dengan dasar ini pula galur B disebut galur pelestari karena fungsinya melestarikan sifat mandul dari tetua betina (galur A). Jika galur A disilangkan dengan galur R maka turunannya (F1) mewarisi sitoplasma dari tetua betina (GMJ) tetapi gen intinya menjadi heterozigot, dan karena gen dominan mengendalikan sifat pemulihan kesuburan maka tanaman F1 tersebut menjadi normal walaupun mempunyai sitoplasma yang mandul. Tanaman F1 tersebut dikenal sebagai tanaman hibrida. Hubungan antara tiga galur komponen utama pembentuk padi hibrida diilustrasikan pada Gambar 5.2.



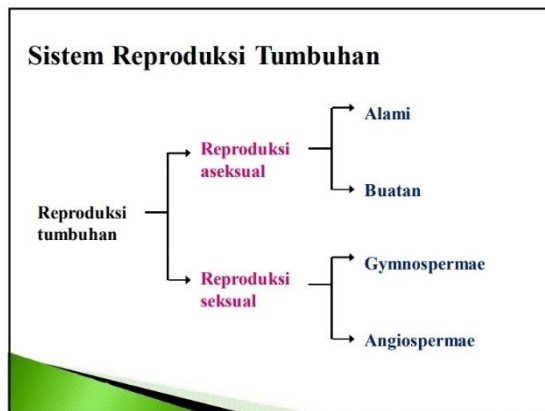
Gambar 5.2 Sistem galur mandul jantan pada padi
 Sumber : Peranan Galur Mandul Jantan dalam Perakitan dan Pengembangan Padi Hibrida

BAB 6

PERKEMBANGBIAKAN ORGANISME

6.1. Pengertian dan Tujuan Perkembangbiakan Organisme

Reproduksi adalah suatu proses biologis di mana individu organisme baru diproduksi. Reproduksi adalah cara dasar mempertahankan diri yang dilakukan oleh semua bentuk kehidupan; setiap individu organisme ada sebagai hasil dari suatu proses reproduksi oleh pendahulunya. Cara reproduksi secara umum dibagi menjadi dua jenis: seksual dan aseksual (Gambar 6.1).



Gambar 6.1 Bagan Sistem Reproduksi

Bunga terdiri atas bagian-bagian (lihat Gambar 6.2)

1. Kelopak bunga (sepal) adalah bagiah yang melindungi bagian bunga lainnya pada waktu bunga masih kuncup, umumnya berwarna hijau dan

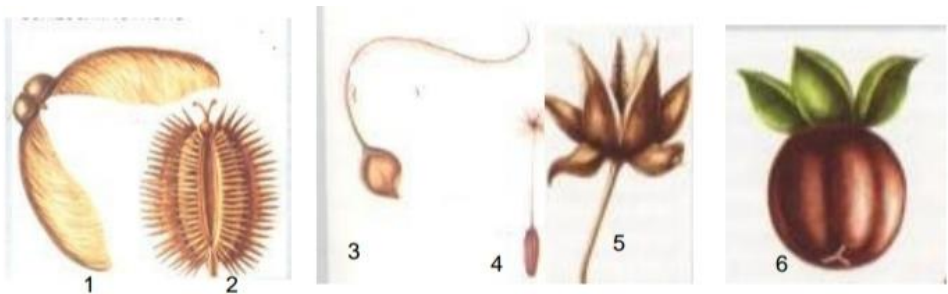
bentuknya mirip daun Kelopak bunga terdiri atas bagian yang terpisah yang disebut kaliks (calyx).

2. Sebelah dalam dari kelopak adalah helaian petal yang bersama-sama membentuk mahkota bunga (corola). Umumnya berwarna cerah untuk menarik perhatian hewan penyerbuk.
3. Pada lingkaran dalam dari mahkota bunga terdapat benang sari (stamen), merupakan organ reproduksi jantan. Jumlahnya lebih dari satu. Setiap stamen terdiri atas tangkai benang sari dan di ujungnya terdapat struktur berbentuk oval dan di dalamnya terdapat serbuk sari. Struktur ini disebut anther
4. Di bagian tengah dari pada bunga terdapat organ reproduksi betina yaitu putik (pistilum). Setiap putik mempunyai bakal buah (ovarium) di bagian dasarnya, agak membulat, dilanjutkan ke leher putik yang berbentuk seperti tabung dan disebut stylus. Di ujung stylus terdapat kepala putik yang disebut stigma. Pada spesies tertentu jumlah putik lebih dari satu. Di dalam bakal buah terdapat lebih dari satu sporangia atau bakal sel telur.



Gambar 6.2 Bunga dan penampang bunga pada tumbuhan berbiji tertutup Angiospermae beserta buah dan penampang buahnya Contoh tanaman markisa (*Passiflora*).

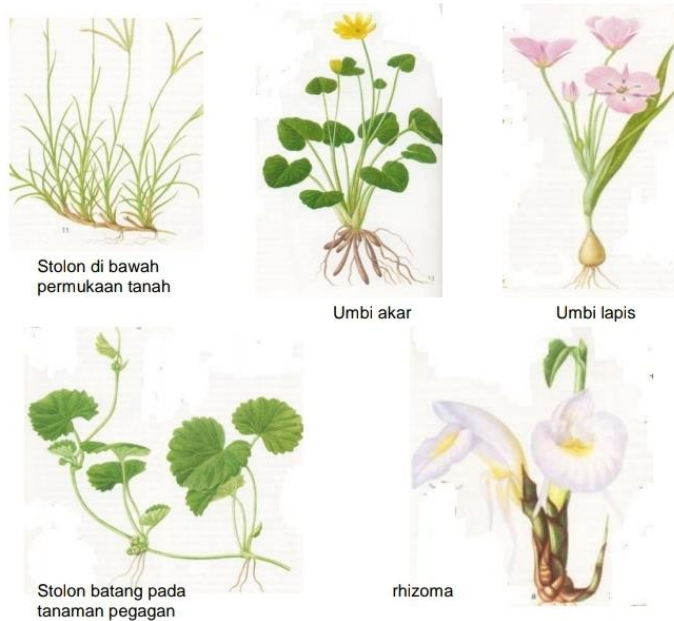
Penyerbukan diperlukan bantuan dari hewan perantara. Hewan ini umumnya tertarik pada madu yang dihasilkan oleh kelenjar madu, kemudian ketika ia mengisap madu, serbuk sari menempel pada kaki-kakinya dan ketika ia berjalan di atas bunga, serbuk sari menempel pada kepala putik dan terjadilah pembuahan. Buah adalah ovarium yang telah matang. Setelah terjadi pembuahan, biji akan berkembang, ovarium menebal. Pada jenis buah polongan, biji polong terbungkus oleh ovarium yang telah matang (kulit polong). Buah akan melindungi biji yang dorman dan membantu penyebarannya. Ada berbagai modifikasi buah yang membantu penyebaran biji. Misalnya ada biji yang berbentuk seperti baling-baling, ada berbentuk seperti duri dan dapat menempel pada bulu hewan untuk membantu penyebarannya (Gambar 6.3). Ada pula buah yang dapat dimakan, dan bijinya keras, sehingga biji dapat lolos dari saluran pencernaan hewan dan akan tumbuh menjadi tanaman baru. Jadi dalam penyerbukan dan penyebaran biji seringkali terjadi interaksi antara tumbuhan dan hewan.



Gambar 6.3 Macam-macam biji yang penyebarannya melalui angin dan hewan.

Selain berkembangbiak secara kawin (reproduksi generatif), tumbuhan juga dapat berkembangbiak secara tak kawin atau bereproduksi secara vegetatif. Perkembangbiakan vegetatif meliputi vegetatif alami dan vegetatif buatan. Perkembangbiakan vegetatif alami adalah perkembangbiakan melalui terbentuknya tunas (anakan), stolon, umbi dan rhizome (Gambar 6.4). Pembentukan tunas atau anakan misalnya pada pohon pisang. Pembentukan stolon ada dua, yaitu stolon batang yang terbentuk di atas permukaan tanah, misalnya pada strawberry dan pegagan, dan stolon di bawah permukaan tanah misalnya pada rumput. Umbi terdiri dari umbi batang dan umbi akar. Rhizoma dikenal sebagai rimpang,

misalnya pada tanaman jahe, kunyit, laos dan kencur. Di samping itu campur tangan manusia juga menyebabkan banyak kemungkinan vegetatif buatan yaitu dengan cara mencangkok, setek batang, setek daun, okulasi, dan merunduk.



Gambar 6.4. Beberapa cara perkembangbiakan vegetatif alami

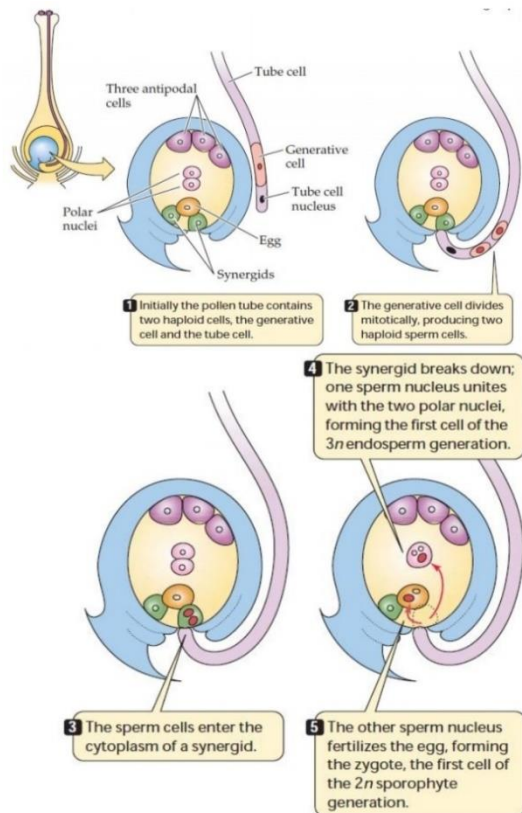
Pada tumbuhan proses pembuahan menghasilkan buah dan di dalamnya terdapat biji. Buah akan melindungi biji agar siap untuk tumbuh menjadi individu baru. Cobalah perhatikan bagaimana cara tumbuhan melestarikan jenisnya. Buah yang masih muda umumnya tidak menarik. Rasanya pun tidak enak, dan biasanya kulitnya keras dan ada pula yang berduri (seperti salak). Inilah cara alami untuk melindungi embrio yang masih muda (embrio = biji). Bila sudah masak artinya biji telah siap untuk tumbuh bila ditanam, maka warna buah dan aromanya sangat menarik bagi sang pemakan. Rasanya pun enak, tetapi biji yang keras tak dapat dimakan. Bila bijinya kecil-kecil, maka akan lolos dari sistem pencernaan dan keluar dari tubuh pemakannya. Biji akan tumbuh menjadi individu baru bila jatuh di tempat yang sesuai. Bila bijinya besar maka biji akan dibuang dan kelak juga akan tumbuh menjadi tanaman baru bila jatuh di tempat yang sesuai.

Pada pembahasan ini, akan diuraikan proses reproduksi, terkhusus pada tumbuhan biji tertutup (Angiospermae). Reproduksi secara seksual pada spermatophyta adalah dengan membentuk biji, yang dihasilkan dari organ reproduksi yaitu bunga. Reproduksi seksual pada Spermatophyta dimulai dengan penyerbukan atau polinasi. Polinasi merupakan proses menempelnya serbuk sari (stamen) pada kepala putik (stigma). Proses tersebut dapat terjadi dengan bantuan angin, air, atau hewan-hewan penyerbuk (polinator). Contoh hewan polinator adalah lebah, kupu-kupu, burung kolibri, kelelawar, dan lain-lain. Karena proses perkawinannya yang jelas, yaitu didahului dengan polinasi, maka Sebelum terjadi penyerbukan (polinasi), kepala sari yang telah masak akan membuka. Selanjutnya, serbuk sari yang terdapat pada kepala sari tersebut akan keluar atau jatuh dan menempel pada kepala putik. Bagian yang berperan dalam fertilisasi adalah putik (stigma) dan benang sari (stamen). Putik terdiri dari 3 bagian, yaitu kepala putik, tangkai putik, dan ovulum. Sementara itu, benang sari terdiri dari kepala sari dan tangkai sari.

Di dalam ovulum, terdapat megasporofit yang membelah menjadi empat megaspora. Satu megaspora yang hidup membelah tiga kali berturut-turut. Hasilnya berupa sebuah sel besar, disebut kandung lembaga muda yang mengandung delapan inti. Di ujung ovulum terdapat sebuah lubang (mikropil), sebagai tempat masuknya saluran serbuk sari ke dalam kandung lembaga. Selanjutnya, tiga dari delapan inti tadi menempatkan diri di dekat mikropil. Dua dari tiga inti disebut sel sinergid. Sementara itu, inti yang ketiga disebut sel telur. Tiga buah inti lainnya (antipoda) bergerak ke arah kutub yang berlawanan dengan mikropil (kutub kalaza). Sisanya, dua inti yang disebut inti kutub, bersatu di tengah kandung lembaga dan terjadilah sebuah inti diploid ($2n$). Inti ini disebut inti kandung lembaga sekunder. Inti kandung lembaga yang telah masak, disebut megagametofit dan siap untuk dibuahi. Serbuk sari yang jatuh pada kepala putik yang sesuai, akan berkecambah atau memunculkan suatu saluran kecil (buluh serbuk sari).

Buluh serbuk sari semakin tumbuh memanjang di dalam tangkai putik (stilus). Selama perjalanan buluh menuju ovulum, inti serbuk sari membelah menjadi inti vegetatif dan inti generatif. Inti vegetatif berfungsi sebagai penunjuk arah inti generatif dan akan melebur sebelum sampai ke bakal biji

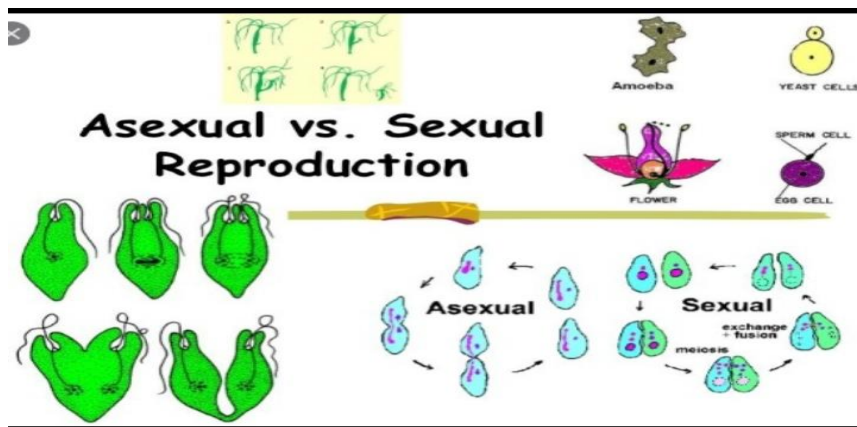
(ovulum). Inti generative membelah menjadi dua inti sperma yang akan menembus ovarium (bakal buah) dan sampai ke ovulum (bakal biji). Di dalam ovulum, inti serbuk sari (inti sperma) bertemu dengan inti sel telur, sehingga terjadi peleburan antara kedua inti tersebut. Proses peleburan kedua inti ini, disebut pembuahan atau fertilisasi. Inti sperma yang satu akan membuahi inti sel telur membentuk zigot, sedangkan inti sperma lainnya membuahi inti kandung lembaga sekunder membentuk endosperma. Peristiwa pembuahan ini disebut pembuahan ganda. Pada perkembangan selanjutnya, bakal biji akan tumbuh menjadi biji dan bakal buah akan menjadi buah yang membungkus biji (pada beberapa spesies tumbuhan). Jika biji ditumbuhkan di tempat yang sesuai, biji akan berkecambah dan akan membentuk tumbuhan yang baru. Proses reproduksi pada tumbuhan biji tertutup dapat dilihat pada Gambar 6.5.



Gambar 6.5 Diagram skematis proses reproduksi tumbuhan biji tertutup.

6.2.Reproduksi sel secara seksual dan aseksual.

Salah satu ciri-ciri makhluk hidup adalah kemampuannya untuk bereproduksi. Reproduksi bertujuan untuk menurunkan sifat-sifat genetik induk sekaligus menjaga keberlangsungan spesies di kemudian hari. Dari lima kingdom, makhluk hidup memiliki bermacam-macam cara reproduksi yang dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu aseksual dan seksual (Gambar 6.6). Salah satu kelompok makhluk hidup yang melakukan keduanya adalah tumbuhan. Reproduksi tumbuhan dapat dilakukan secara aseksual maupun seksual. Reproduksi aseksual merujuk kepada proses reproduksi yang tidak melibatkan fertilisasi atau perpaduan dua sel kelamin, sehingga individu yang baru terbentuk akan mewarisi sifat genetik yang identik, kecuali jika terjadi mutasi. Kebalikannya, reproduksi seksual dilakukan melalui perpaduan gamet dari kedua induk yang disebut dengan fertilisasi. Individu yang baru akan memiliki sifat perpaduan dari kedua induknya. Tumbuhan dapat melakukan reproduksi aseksual secara alami maupun buatan. Secara alami, reproduksi aseksual atau vegetatif terjadi pada batang dan daun. Pada batang, reproduksi vegetatif dapat berlangsung melalui umbi batang, rimpang, umbi lapis, umbi palsu (stolon), dan tunas batang.



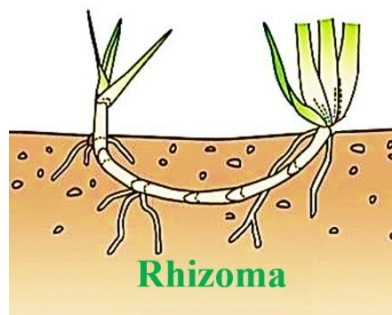
Gambar 6.6 Reproduksi seksual dan aseksual

Reproduksi tumbuhan secara vegetatif disebut juga reproduksi aseksual karena tumbuhan dapat menghasilkan individu baru tanpa melibatkan proses fertilisasi. Fertilisasi adalah proses peleburan inti sel sperma dengan inti sel telur sehingga membentuk zigot. Tumbuhan dapat melakukan reproduksi aseksual karena tumbuhan mengandung sel-sel yang memiliki kemampuan untuk berkembang menjadi berbagai jenis sel penyusun jaringan dan organ tumbuhan yang disebut sel meristem. Reproduksi secara vegetatif, tumbuhan dapat bereproduksi dengan menggunakan bagian tumbuhan seperti akar, batang, ataupun daun. Keturunan yang dihasilkan dari reproduksi aseksual memiliki sifat atau karakter yang sama dengan sifat induk.

1. Reproduksi Aseksual Alami.

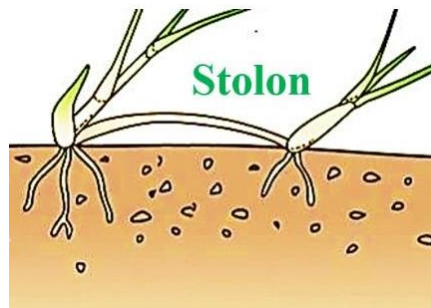
Tumbuhan yang dapat bereproduksi dengan bagian tubuhnya tanpa bantuan manusia disebut dengan reproduksi aseksual alami atau reproduksi vegetatif alami. Berikut adalah beberapa cara reproduksi aseksual alami.

- a. *Rhizoma atau Rimpang*. Rhizoma adalah bagian batang yang tumbuh di dalam tanah (Gambar 6.7). Batang rhizoma berfungsi sebagai cadangan makanan. Batang rhizoma tumbuh dengan membentuk ruas dan buku. Reproduksi rhizoma dimulai dengan muncuknya kuncup atau tunas pada daerah buku. Kemudian tunas akan tumbuh dan berkembang menjadi tumbuhan baru. Beberapa contoh tumbuhan yang bereproduksi dengan menggunakan bagian rhizoma adalah temulawak, jahe, lengkuas, dan kunyit.



Gambar 6.7 Rhizoma

- b. *Stolon*. Stolon adalah batang yang tumbuh menjalar di atas tanah dan biasa disebut dengan geragih (Gambar 6.8). Batang Stolon yang tumbuh dan menjalar memiliki ruas dan buku. Reproduksi stolon atau geragih dimukai dengan munculnya kuncup atau Tunas pada bagian buku dari stolon. Ketika tunas terpisah dari tumbuhan induk, maka tunas akan tumbuh dan berkembang membentuk individu tumbuhan baru. Beberapa bereproduksi dengan menggunakan bagian contoh tumbuhan yang stolon adalah rumput, strawberry dan pegagan.



Gambar 6.8 Stolon

- c. *Umbi Lapis*. Umbi lapis atau disebut juga bulbus merupakan modifikasi atau hasil perkembangan dari batang dan daun. Batang dan daun tumbuh dan berkembang membentuk gelembung dari pelepah daun yang berlapis lapis Umbi lapis tersusun dari lapisan pelepah daun lunak yang menebal dan mengandung cadangan makanan. Di bagian bawah terdapat batang kecil yang disebut dengan cakram. Reproduksi pada umbi lapis dimulai dengan munculnya tunas samping atau kuncup samping. Kemudian kuncup samping tumbuh dan membentuk umbi lapis kecil kecil yang disebut siung atau anak umbi lapis. Anak umbi lapis ini tumbuh dengan cara berkelompok di sekitar umbi induknya. Jika siung tersebut terlepas dari induknya, maka siung tersebut akan tumbuh membentuk tumbuhan umbi lapis baru. Contoh tumbuhan umbi lapis adalah bawang merah, bawang putih (Gambar 6.9).



Gambar 6.9 Umbi lapis

- d. *Umbi Batang*. Umbi batang merupakan Batang yang mengalami pertumbuhan menjadi besar dan membentuk gelembung (atau bengkak) di dalam tanah. Fungsi Umbi batang ini adalah untuk menyimpan cadangan makanan dan juga untuk reproduksi. Reproduksi pada umbi batang dimulai dengan munculnya mata tunas atau kuncup pada permukaan umbi. Jika kondisi lingkungan sesuai untuk pertumbuhannya, maka mata tunas akan tumbuh membentuk tunas dan selanjutnya menghasilkan tumbuhan umbi batang baru. Contoh tumbuhan yang berkembang biak dengan cara umbi batang adalah Tanaman ubi jalar dan kentang (Gambar 6.10).



Gambar 6.10 Umbi batang

- e. *Kuncup Adventif*. Daun Pada bagian tepi daun terdapat sel yang terus menerus membelah diri yaitu sel meristem. Bagian daun yang memiliki sel meristem tersebut akan membentuk kuncup. Kuncup merupakan calon tunas yang terdiri dari bakal atau calon batang beserta bakal daun. Kuncup yang terdapat pada tepi daun disebut sebagai kuncup adventif

daun atau tunas liar pada tepi daun. Reproduksi kuncup adventif dimulai dengan munculnya kuncup yang merupakan tunas bakal batang dan daun. Kemudian tunas batang dan daun tumbuh membentuk batang dan daun pada tumbuhan baru. Contoh tumbuhan yang reproduksinya dengan kuncup adventif daun adalah cocor bebek (Gambar 6.11). Sifat keturunan reproduksi aseksual reproduksi aseksual dihasilkan dari bagian tumbuhan yang sama seperti dari akar, dari batang atau dari daun. Sehingga sifat keturunannya akan sama dengan sifat tumbuhan induknya.



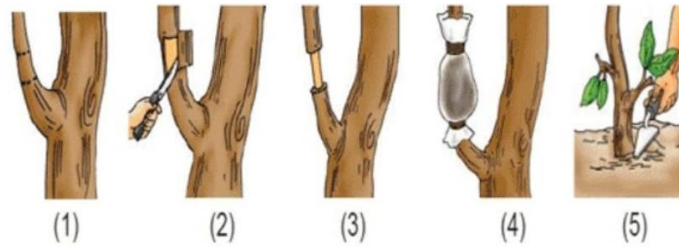
Gambar 6.11 Kuncup Adventif Daun

2. *Reproduksi Aseksual dengan Bantuan Manusia*

Perkembangbiakan aseksual buatan ini merupakan perkembangbiakan yang dapat dilakukan dengan bantuan manusia.

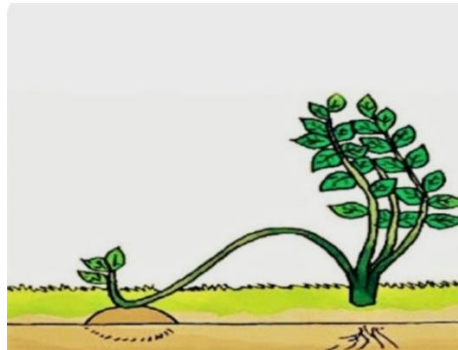
- a. *Cangkok*. Cangkok dapat dipraktekkan dengan mengelupas sedikit kulit pada batang tanaman yang berkayu, kemudian batang tersebut dibalut dengan tanah dan dibungkus menggunakan sabut kelapa atau plastik sehingga akar dapat tumbuh. Apabila bagian kulit yang terkelupas itu sudah tumbuh akar, maka batang bisa dipotong kemudian ditanam di tanah (Gambar 6.12).

Tanaman yang dihasilkan dari pencangkakan ini bersifat seperti induknya dan bisa cepat berbuah. Namun, pengakaran tanaman dengan cangkok ini kurang kuat. Cangkok dapat dilakukan pada tanaman berkayu seperti mangga, rambutan, dan jeruk.



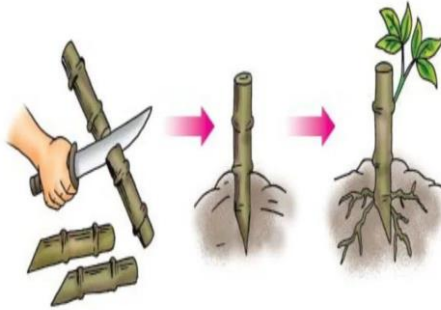
Gambar 6.12 Cangkok

- b. *Merunduk*. Merunduk dapat dilakukan dengan cara membenamkan tangkai tanaman ke tanah, sehingga bagian yang tertanam dalam tanah akan tumbuh akar. Jika akar telah tumbuh, tanaman sudah dapat dipisahkan dari tanaman induknya. Merunduk ini dapat dilakukan pada tanaman yang memiliki cabang batang yang panjang dan lentur. Contohnya yaitu bunga alamanda.



Gambar 6.13 Merunduk

- c. *Stek*. Stek adalah perkembangbiakan vegetatif dengan cara memotong bagian tanaman tertentu yang kemudian ditanam untuk bisa menghasilkan individu baru, misalnya untuk menanam ketela pohon dapat menggunakan batangnya yang disebut dengan setek batang (Gambar 6.14). Tanaman cocor bebek dengan setek daun, dan lain sebagainya



Gambar 6.14 Stek

3. *Reproduksi Seksual pada Tumbuhan Angiospermae*

Reproduksi seksual dilakukan dengan pertemuan atau peleburan atau fertilisasi sel kelamin sel sperma dan sel telur. Proses fertilisasi akan menghasilkan zigot yang kemudian tumbuh membentuk biji. Biji dapat tumbuh dan berkembang menjadi tumbuhan baru.

1. *Penyerbukan (Polinasi).*

Sel kelamin jantan pada bunga terdapat dalam buluh serbuk sari. Serbuk sari dihasilkan dalam kepala sari. Sedangkan sel kelamin betina terdapat pada bakal biji. Proses fertilisasi atau pembuahan diawali dengan peristiwa polinasi atau penyerbukan. Proses penyerbukan atau polinasi adalah proses menempelnya serbuk sari ke kepala putik. Proses penyerbukan dapat dibantu oleh hewan seperti lebah dan lainnya. Beberapa perantara yang dapat membantu terjadinya polinasi adalah:

- a. *Angin (Anemogami).* Anemogami adalah tanaman yang proses penyerbukannya dibantu oleh angin. Disini fungsi angin adalah memindahkan serbuk sari (sel kelamin jantan) ke putik sebagai sel kelamin betina. Penyerbukan oleh angin terjadi pada tanaman yang memiliki ciri ciri berikut: • jumlah bunga banyak dengan ukuran kecil dan ringan, • tanaman memiliki tangkai yang mudah bergerak oleh angin. • Tidak menghasilkan nectar atau madu dan bau. Contoh tumbuhan yang penyerbukannya dibantu oleh angin adalah jagung.

- b. *Serangga (Entomogami)*. Entomogami adalah proses penyerbukan pada bunga tanaman yang dibantu oleh serangga. Fungsi serangga adalah membawa dan memindahkan serbuk sari ke putik. Tanaman yang penyerbukannya dibantu oleh serangga memiliki ciri-ciri yang menarik sehingga serangga mau mendekatinya, seperti:
- Memiliki warna bunga yang menarik atau cerah seperti kuning
 - Menghasilkan nektar atau madu
 - Memiliki aroma bau yang khas
- Contoh Bunga yang penyerbukannya oleh serangga adalah bunga matahari. Contoh serangga yang membantuk penyerbukan pada bunga adalah lebah. Lebah mendekati bugan untuk mencari madu mencari madu sebagai sumber energi yang disimpan sebagai cadangan makanan.
- c. *Burung (Ornitogami)*. Ornitogami adalah proses penyerbukan pada bunga tanaman yang dibantu oleh burung. Fungsi burung adalah memindahkan serbuk sari ke putik. membawa dan Tanaman yang penyerbukannya dibantu oleh burung umumnya memiliki ciri-ciri seperti berikut
- ukuran bunga yang besar,
 - berwarna merah cerah, tidak berbau,
 - menghasilkan nektar dalam jumlah cukup banyak, dan
 - mahkota bunga berbentuk terompet.
- Contoh bunya yang penyerbukannya dibantu burung misalnya bunga cangkkring atau dadap (*Erythrina variegata*). Ukuran bunga yang besar berguna untuk menahan berat dari burung. Hanya jenis burung tertentu yang dapat membantu penyerbukan. Contoh burung yang dapat membantu penyerbukan adalah burung isap madu dan burung kolibri.
- d. *Kelelawar (Kiropterogami)*. Kiropterogami adalah proses penyerbukan pada bunga tanaman yang dibantu oleh kelelawar. Fungsi burung adalah membawa dan memindahkan serbuk sari ke putik. Ciri-ciri bunga yang penyerbukannya dibantu oleh kelelawar adalah bunga menghasilkan nektar, bunga memiliki warna yang menarik,
- Bunga menghasilkan bau, dan
 - bunganya mekar pada malam hari, yang penyerbukannya dibantu oleh kelelawar adalah tanaman kaktus.
- e. *Manusia (Antropogami)*. Antropogami adalah proses penyerbukan bunga yang dilakukan oleh manusia. Tanaman yang penyerbukannya dibantu oleh manusia biasanya memiliki ciri-ciri sebagai berikut:
- bunga yang berumah dua, artinya dalam pohon hanya terdapat bunga jantan atau bunga betina saja,
 - tanaman yang serbuk sarinya sulit untuk bertemu dengan putik,

sehingga sulit untuk melakukan penyerbukan sendiri, Contoh bunga yang penyerbukannya dibantu oleh manusia adalah bunga vanili dan anggrek.

Pada jenis penyerbukan asal serbuk sari, serbuk sari dapat berasal dari bunga itu sendiri maupun dari bunga lain. Berdasarkan asal serbuk sari penyerbukan dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

- a. *Autogamy*. Penyerbukan sendiri autogamy merupakan penyerbukan dimana serbuk sari yang menempel pada putik berasal dari bunga itu sendiri
- b. *Geitogamy*. Penyerbukan geitogamy merupakan penyerbukan dimana serbuk sari yang menempel pada putik berasal dari bunga lain pada tumbuhan itu juga.
- c. *Allogamy/Xenogamy*. Penyerbukan allogamy/xenogamy merupakan penyerbukan dimana serbuk sari yang menempel pada kepala putik berasal dari bunga tumbuhan lain dan tumbuhan asal polen masih tergolong jenis yang sama.
- d. *Hybridogamy*. Merupakan penyerbukan dimana serbuk sari yang menempel pada kepala putik berasal dari bunga pada tumbuhan lain yang berbeda jenis atau setidaknya memiliki satu sifat yang beda.

2. *Pembuahan (Fertilisasi)*.

Serbuk sari pada bunga tumbuhan memiliki inti vegetatif dan inti generatif. Ketika serbuk sari telah menempel pada kepala putik (atau stigma) yang sesuai (berasal dari tumbuhan yang sejenis), maka serbuk sari ini akan menyerap air. Kemudian serbuk sari akan tumbuh menjadi kecambah membentuk buluh serbuk sari. Buluh serbuk sari tumbuh dan bergerak menuju bakal buah melalui tangkai putik. Kemudian Inti sel generative yang terletak di dalam buluh serbuk sari akan membelah menjadi dua. Dua inti sel generatif tersebut akan berkembang menjadi dua inti sel sperma. Satu inti vegetatif di dalam serbuk sari berfungsi sebagai penuntun gerak tumbuh buluh serbuk sari ke bakal biji. Selanjutnya, Satu inti sel sperma membuahi inti sel telur (atau ovum) untuk membentuk zigot sebagai calon individu baru. Sedangkan satu inti sel sperma yang lainnya membuahi inti kandung lembaga sekunder dan membentuk endosperma atau cadangan makanan. Karena pada proses ini terjadi dua kali pembuahan, maka pembuahannya disebut dengan pembuahan ganda.

3. *Penyebaran Biji.*

Penyebaran biji dapat menyebabkan biji baru akan tumbuh dengan jarak yang jauh dari induknya. Keadaan ini dapat meningkatkan peluang biji untuk tumbuh dan berkembang menjadi individu baru dengan lebih baik. Hal ini dikarenakan biji yang tumbuh pada suatu daerah yang dekat dengan induknya harus bersaing untuk mendapatkan sinar matahari, air, dan nutrisi. Proses penyebaran biji dapat terjadi secara alami atau dengan bantuan manusia. Bahan perantara yang dapat membantu penyebaran biji tanaman diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. *Anemokori.* Anemokori adalah Proses penyebaran biji dengan bantuan angin (anemo artinya angin). Tumbuhan yang penyebarannya dengan cara Anemokori memiliki ciri ciri seperti berikut • bijinya kecil, bijinya ringan, dan • bersirip atau bersayap. yang penyebarannya biji bunga Contoh tumbuhan dengan anemokori adalah Dandelion. Biji yang ringan dan kecil menyebabkan pengaruh gaya gravitasi bumi menjadi kecil, sehingga dapat bergerak jauh. Sirip atau Sayap pada biji berfungsi membantu biji agar mudah terbawa angin. Arah gerak biji mengikuti arah gerak angin.
- b. *Hidrokorori.* Hidrokorori adalah proses penyebaran biji dengan bantuan air disebut hidrokorori (hidro artinya air). Contoh tumbuhan yang penyebarannya bijinya dengan cara hidrokorori adalah adalah pohon kelapa dan bakau. Meskipun berukuran buah kelapa besar, buah dan biji kelapa dapat mengapung di air dan dapat bergerak mengikuti arus air. Kelapa dapat mengapung di air karena sabut buah kelapa memiliki banyak rongga udara. Hal ini menyebabkan massa jenis kelapa lebih kecil dari massa jenis air.
- c. *Zookori.* Zookori adalah Proses penyebaran biji dengan bantuan hewan disebut zookori (zoo artinya hewan). Penyebaran biji zookori dibagi menjadi empat, yaitu entomokori, kiropterokori, ornitokori, dan mammokori. • Entomokori adalah penyebaran biji dengan perantara serangga. Contohnya adalah wijen dan tembakau. • Kiropterokori adalah penyebaran biji dengan perantara kelelawar. Contohnya adalah jambu biji dan pepaya. • Ornitokori adalah penyebaran biji dengan perantara burung. Tumbuhan yang penyebarannya dengan cara ini adalah tumbuhan yang buahnya menjadi makanan burung, tetapi bijinya tidak dapat tercerna. Biji

tersebut akan keluar dari tubuh burung bersamaan dengan kotoran burung. Contohnya adalah beringin dan benalu. Mammokori adalah penyebaran biji dengan perantara mamalia. Contohnya adalah hewan luwak yang membantu dalam proses penyebaran biji kopi.

- d. *Antropokori*. Antropokori adalah proses penyebaran biji dengan bantuan manusia (antro artinya manusia). Proses penyebaran dengan cara ini dapat berlangsung dengan sengaja ataupun tidak dengan sengaja. Penyebaran biji yang secara tidak sengaja dilakukan oleh manusia sengaja apabila biji tumbuhan tersebut memiliki struktur yang mudah melekat pada pakaian. Sebagai contohnya adalah rumput. Penyebaran dilakukan manusia terutama pada bidang biji dengan sengaja sering pertanian, yaitu ketika menanam padi, jagung, dan tanaman lain.

4. *Perkecambahan.*

Biji yang masih belum tumbuh merupakan biji yang berada pada keadaan dormansi biji. peristiwa dimana biji mengalami masa istirahat. Berakhirnya masa Dormansi adalah dormansi biji adalah ketika biji mulai tumbuh menjadi tumbuhan baru yang disebut dengan tahapan perkecambahan. Lamanya waktu dormansi biji setiap jenis tumbuhan berbeda-beda. Masa dormansi biji dapat diakhiri dengan memberi perlakuan yang berbeda-beda.

5. *Sifat Keturunan Reproduksi Seksual.*

Reproduksi seksual dihasilkan dari peleburan inti sel kelamin jantan (yaitu sperma) dan sel kelamin betina (yaitu telur). Sifat keturunan dari tumbuhannya merupakan gabungan Dari sifat kedua induknya. Hal inilah yang menyebabkan sifat keturunan yang dihasilkan dari reproduksi seksual bervariasi.

6.3.Konsekuensi Genetis Perkembangan Organisme secara Seksual maupun Aseksual

1. Seksual

Konsekuensi genetik pada perkembangbiakan tanaman secara seksual yaitu Tanaman tidak bisa menghasilkan keturunan atau karakter yang diharapkan dan tanaman yang diperbanyak dengan biji lebih lama menghasilkan

buah dan kualitas tanaman baru diketahui setelah tanaman berbuah. Tanaman baru dari biji meskipun telah diketahui jenisnya, kadang-kadang sifatnya menyimpang dari pohon induknya dan bahkan banyak tanaman yang tidak menghasilkan biji atau jumlah bijinya sedikit (Chaidir *et al.* 2015 hal. 84).

2. Aseksual

Menurut Apipah (2014), konsekuensi genetic pada perkembangbiakan tanaman secara aseksual yaitu:

1. Jenis reproduksi keturunan yang dihasilkan identik secara genetic dengan induknya.
2. Menyebabkan tidak ada variasi genetic atau sangat sedikit dalam suatu populasi
3. Setiap mutasi pada sel induk dapat menyebabkan efek yang merugikan pada kelangsungan hidup keturunannya
4. Jika ada mutasi yang berbahaya dalam organisme, perubahan lingkungan dapat mematikan semua individu.

6.4. Metode Pemuliaan pada Tanaman Membiak Seksual atau Aseksual

Perkembangbiakan tanaman dibagi menjadi dua kelompok, yakni: *aseksual*, yaitu perkembangbiakan tanaman dengan menggunakan bagian-bagian vegetatif tanaman, dan seksual, yaitu perkembangbiakan tanaman dengan menggunakan biji. Kelestarian sifat yang dimiliki tanaman atau kelompok tanaman dari generasi ke generasi berikutnya sangat tergantung pada kombinasi gen yang terdapat dalam kromosom sel tanaman. Kombinasi atau kumpulan gen pada suatu individu tanaman disebut genotipe. Perwujudan genotipe yang tampak disebut fenotipe, yakni menampilkan genotipe tertentu pada suatu lingkungan tempat tumbuh tanaman, dalam pemuliaan tanaman hal demikian dikenal sebagai interaksi genotipe dan lingkungan (Sudarka *et al.* 2009 hal. 12).

Metode Pemuliaan pada Tanaman Membiak Seksual (Generatif)

Kelompok tanaman yang melakukan perbanyakan secara seksual, dapat dibedakan menjadi dua, yaitu: kelompok tanaman menyerbuk sendiri dan kelompok tanaman menyerbuk silang/ bersari bebas. Perbedaan cara penyerbukan ini akan membedakan metode pemuliaan yang diterapkan (Sudarka *et al.* 2009 hal. 15).

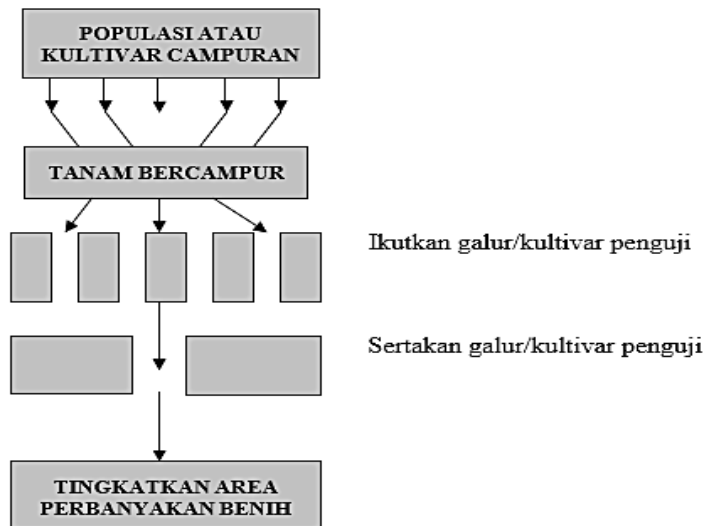
1. Tanaman menyerbuk sendiri

Menurut Poehlman dan Sleper (dalam Suaib dan Sadimantara, 2014 hal. 33) pada dasarnya metode pemuliaan pada tanaman menyerbuk sendiri dibagi dalam dua bagian utama, yaitu: (1) seleksi, dan (2) hibridisasi.

a) Seleksi

Menurut Suaib dan Sadimantara (2014), pada metode seleksi terdiri dari dua bagian, yaitu: seleksi massa, dan seleksi tanaman tunggal atau seleksi galur murni.

Seleksi massa. Prosedur pemuliaan tanaman menyerbuk sendiri melalui metode seleksi massa adalah pemilihan individu tanaman dari populasi campuran yang terdiri dari banyak genotipe. Secara teoritis, dalam 7-8 generasi akan diperoleh kultivar atau varietas baru melalui seleksi massa. Secara skematis, model pelaksanaan seleksi massa menurut Halloran (dalam Suaib dan Sadimantara, 2014: 33-34) disajikan pada Gambar 6.15 di bawah ini.



Gambar 6.15 Skema prosedur seleksi massa (Halloran, 1979).

Sumber: Suaib dan Sadimantara, 2014 hal. 34.

Urut-urutan metode ini adalah sebagai berikut (Halloran dalam Suaib dan Sadimantara, 2014: 34):

Musim I:

- Tanam populasi campuran dalam pot atau tanam berjarak;
- Seleksi beberapa ratus tanaman yang mempunyai penampilan yang sama;
- Panen tanaman terpilih, kemudian benihnya dicampur.

Musim II:

- Tanam benih campuran dari musim I sebagai uji hasil pendahuluan dengan menggunakan varietas/kultivar lokal sebagai pembanding termasuk tetua-tetuanya;
- Amati tinggi, kematangan, ketahanan terhadap hama atau penyakit, dsb.

Musim III-VI:

- Lanjutkan uji hasil hingga musim keenam untuk mendapatkan data penampilan, dan adaptasinya dibandingkan dengan varietas lokal atau varietas penguji.
- Tingkatkan ukuran plot dengan banyak ulangan serta diperlukan uji regional.

Musim VII:

- Perbanyak benih dan sebarkan ke petani sebagai kultivar/varietas baru.

Seleksi Tanaman Tunggal atau Seleksi Galur Murni. Prosedur pemuliaan untuk tanaman menyerbuk sendiri melalui seleksi tanaman tunggal atau seleksi galur murni diperlukan hingga delapan generasi untuk mendapatkan suatu varietas atau galur murni baru. Secara mendasar, perbedaan antara seleksi massa dengan seleksi tanaman tunggal atau galur murni terletak pada jumlah tanaman sebagai sumber benih yang dipilih. Kalau pada seleksi massa menggunakan hingga ratusan tanaman unggul dari satu populasi awal, seleksi galur murni hanya menggunakan satu tanaman dari populasi sumber hingga kultivar baru itu dihasilkan. Seleksi tanaman tunggal atau seleksi galur murni, juga dikenal dengan *Single Seed Descend Method* (SSD) (Suaib dan Sadimantara, 2014: 35).

Adapun tahap-tahap pelaksanaan seleksi tanaman tunggal atau galur murni menurut Suaib dan Sadimantara (2014 hal. 35-36) adalah sebagai berikut:

Musim I:

- Tanam populasi campuran dalam bentuk plot atau pertanaman banyak;
- Pilih 200-1000 tanaman individu, kemudian panen benihnya secara individual;

Musim II:

- Tanam benih-benih terpilih secara individu dalam barisan atau plot kecil;
- Panen beberapa tanaman yang terpilih dalam barisan plot yang sama, kemudian bijinya dicampur.
- Tanaman yang tidak terpilih dibuang (*discard inferior progenies*).

Musim III:

- Tanam biji-biji yang terpilih di dalam percobaan-percobaan berulang.
- Pada tahap ini dapat dilakukan uji daya hasil pendahuluan bila jumlah benihnya cukup banyak, libatkan varietas penguji (lokal) dalam uji ini.
- Panen biji untuk penanaman berikutnya hanya individu superior.

Musim IV-VII:

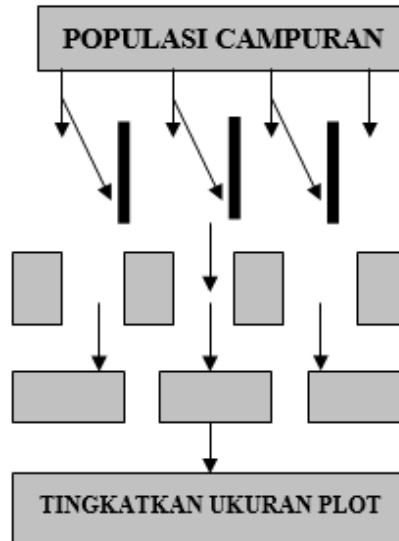
- Uji daya hasil dilanjutkan hingga tujuh generasi disertai dengan varietas penguji (varietas lokal), perbanyak ulangan.

Musim VIII:

- Pilih galur terbaik untuk penyebarluasan dan perbanyak benih.

Ahli Botani berkebangsaan Denmark yang pertama mengemukakan teori galur murni (Gambar 6.16), didasarkan pada hasil penelitiannya yang menggunakan setumpuk kacang ratu. Dari tumpukan tersebut, dipilihnya biji yang paling besar hingga yang paling kecil. Sembilan belas kelas benih yang dia peroleh berdasarkan ukuran berat dari dua tahap pelaksanaan penanaman secara konsisten. Pada tahap ketiga, masing-masing kelas benih ditanam kemudian dilakukan pengukuran berat biji masing-masing yang dihasilkan (Suaib dan Sadimantara, 2014 hal. 36).

- Tahap I : Seleksi perbedaan ukuran biji dari besar - kecil
Tahap II : Tanam biji secara terpisah menurut ukurannya. Diperoleh 19 kelas benih.
Tahap III : Tanam biji dan terkecil secara terpisah
Tahap IV : Ukur berat benih dari keturunan terbesar dan kecil



Gambar 6.16 Ilustrasi seleksi galur murni menurut Johanssen.

Sumber: Suaib dan Sadimantara, 2014 hal. 37.

Musim I:

Tanaman berjarak tanaman/populasi campuran. Seleksi 200-1000 individu tanaman

Musim II:

Tanam keturunan setiap tanaman dalam baris tunggal/petak kecil, panen keturunan unggul dan campur benih dari baris yang sama

Musim III:

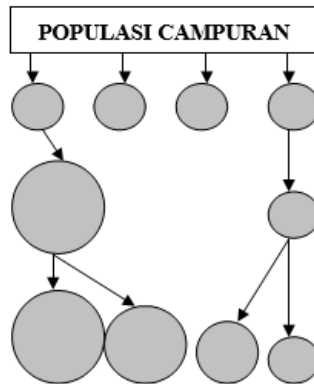
Tanam benih dari tanaman unggul secara berulang untuk uji awal

Musim IV - VII:

Uji hasil lanjutan beserta pengujian dengan varietas setempat, pilih kultivar terbaik

Musim VIII:

Perbanyak benih untuk disebarkan ke petani.



Gambar 6.17. Prosedur umum seleksi galur murni.
Sumber: Suaib dan Sadimantara, 2014 hal. 37.

b) Hibridisasi

Hibridisasi adalah pekerjaan mengawinkan dua tetua atau lebih untuk mendapatkan keturunan yang memiliki penggabungan sifat-sifat unggul dari tetua-tetuananya. Dalam kaitannya dengan metode pemuliaan pada tanaman menyerbuk sendiri, hibridisasi sebagai metode bukanlah merupakan prosedur untuk mendapatkan varietas atau kultivar baru akan tetapi prosedur yang dimaksudkan disini adalah seleksi yang dilakukan terhadap keturunan yang diperoleh sesudah hibridisasi dilakukan. Oleh karena itu metode sesungguhnya yang dimaksudkan adalah seleksi sesudah hibridisasi (Suaib dan Sadimantara, 2014 Hal. 38).

Menurut Suaib dan Sadimantara (2014 Hal. 38), ada tiga cara seleksi sesudah hibridisasi yang berlaku untuk tanaman menyerbuk silang, yaitu:

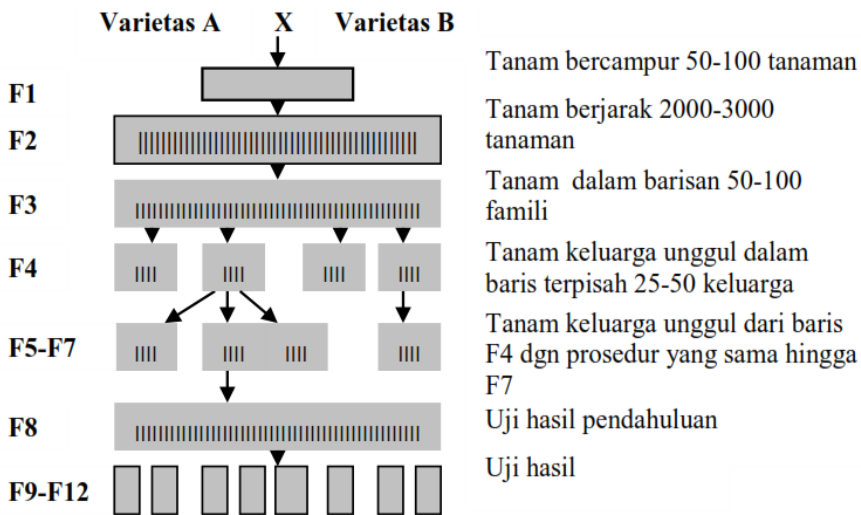
- (1) *seleksi pedigree*,
- (2) seleksi populasi *bulk*, dan
- (3) pemuliaan silang balik.

Ketiga cara seleksi dan pemuliaan tanaman menyerbuk sendiri diatas adalah merupakan upaya untuk menyediakan individu-individu yang akan diseleksi berada dalam tingkat homozigositas tertentu.

Seleksi pedigree. Seleksi *pedigree* atau seleksi silsilah adalah pemilihan tanaman-tanaman unggul dalam setiap generasi memisah secara berurutan. Oleh karena itu cara seleksi ini pengamatan dilakukan dari generasi ke generasi, maka

pencatatan semua faktor setiap generasi sangat diperlukan. Menurut Suaib dan Sadimantara (2014 Hal. 38-39), prosedur pelaksanaan seleksi *pedigree* ini menghendaki pelaksanaan sebanyak 12 tahap (Gambar 6.18) atau musim dengan rincian:

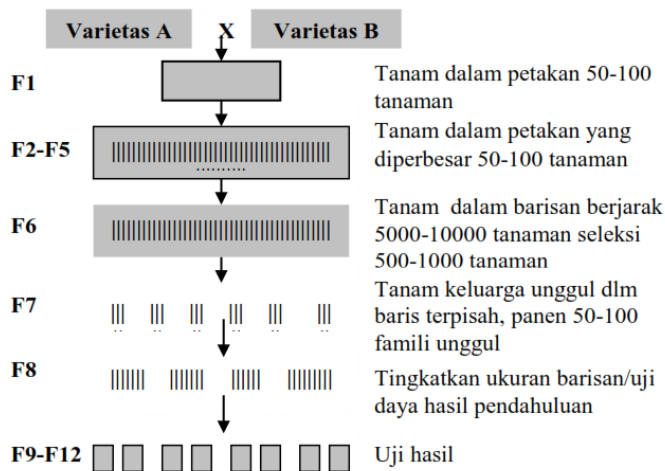
- Musim I* : Menyilangkan 10-25 pasangan tetua untuk menghasilkan benih F₁.
- Musim II* : Tanam benih F₁ dalam rumah kaca untuk mendapatkan benih F₂.
- Musim III* : Tanam berjarak benih F₂ di lapangan (2000-6000 tanaman), kemudian pilih individu tanaman yang unggul (*superior*) dari tinggi tanaman, kematangan dan morfologi, kemudian panen biji F₃.
- Musim IV* : Tanam 300-500 biji F₃ dalam barisan, kemudian seleksi individu tanaman yang terbaik, kemudian panen biji F₄.
- Musim V* : Tanam 50-100 biji F₄ dalam barisan, kemudian seleksi individu tanaman yang terbaik, panen biji F₅.
- Musim VI-VII* : Ulangi prosedur pada musim V hingga musim VII. Pada akhir musim VII akan diperoleh biji F₇.
- Musim VIII* : Uji daya hasil pendahuluan.
- Musim IX-XII* : Uji daya hasil lanjutan.



Gambar 6.18 Skema metode seleksi *pedigree*.

Sumber: Suaib dan Sadimantara (2014: 39).

Seleksi bulk. Di dalam seleksi silsilah, dijumpai masalah mengenai banyaknya bahan tanaman yang ingin ditangani, sementara tempat yang tersedia sangat terbatas. Untuk memecahkan masalah ini diperlukan metode yang tepat dalam arti jumlah bahan yang ditangani meningkat, sementara tempat yang tersedia tidak bertambah. Metode yang tepat untuk masalah tersebut di atas adalah seleksi *bulk* (Gambar 6.19). Ketepatan metode *bulk* dalam memecahkan masalah di atas adalah karena pada generasi F1 hingga F5 belum diperlukan untuk melakukan uji pendahuluan dan pengujian baru dapat dilakukan setelah generasi F5 atau F6 sesudah persilangan.



Gambar 6.19 Skema metode seleksi *bulk*.

Sumber: Suaib dan Sadimantara (2014 Hal. 40)

Pemuliaan silang balik (backcross). Tujuan utama pemuliaan silang balik adalah untuk memperbaiki varietas yang sudah memiliki banyak sifat baik dan hanya kekurangan satu atau beberapa sifat baik saja. Oleh karena antara tetua yang ingin diperbaiki mempunyai konstitusi genetik yang berbeda, ada kemungkinan beberapa gen yang tidak sama akan berpasangan dan menghasilkan konstitusi heterozigot (Suaib dan Sadimantara, 2014 hal. 41).

Untuk itu, diakhir persilangan balik diperlukan silang diri agar pasangan gen yang heterozigot tadi menjadi homozigot sehingga pertumbuhan tanaman yang dihasilkan akan memiliki sifat atau sifat-sifat unggul yang sudah diperbaiki dan sifat atau sifat-sifat yang ditambahkan. Selanjutnya, seleksi diarahkan

kepada sifat atau sifat-sifat baik yang berada pada tetua penerima (*recipient*), maupun yang berasal dari tetua pemberi (*donor*) (Suaib dan Sadimantara, 2014 Hal. 41).

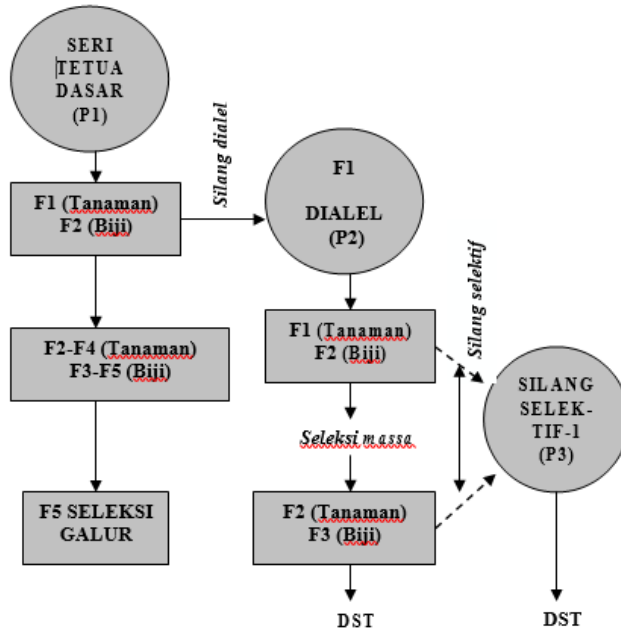
Berapa banyak persilangan balik yang diperlukan untuk mengintegrasikan suatu sifat dari tetua pemberi, akan tergantung kepada berapa besar peranan gen pembawa sifat yang kita perlukan itu. Sebagai patokan dan merupakan kelaziman adalah tetap berpedoman pada pemindahan seluruh porsi dari sifat atau sifat-sifat bersangkutan. Dengan kata lain, bila memungkinkan, diharapkan 100% dari sifat yang kita inginkan dapat ditransfer pada tetua yang diperbaiki (Suaib dan Sadimantara, 2014: 41).

Menurut Poehlman dan Sleper (dalam Suaib dan Sadimantara, 2014 Hal. 42), secara teoritis, suatu sifat yang ingin ditransfer dari tetua silang balik akan mencapai porsi diatas 90% apabila dilakukan silang balik sebanyak tujuh generasi silang balik. Hal ini disebabkan oleh karena setiap satu generasi silang balik akan dipindahkan sifat dari tetua berulangunya sebesar 50% dari jumlah yang masih tersisa. Ilustrasi mengenai pernyataan di atas, di gambarkan pada skema berikut:

Persilangan tetua	A x B	A=100%;	B=100%
Keturunan Pertama (F ₁)	AB	A=50%;	B=50%
Silangbalik F ₁ dengan B (BC ₁)	AB	A=25%;	B=75%
BC ₁ x B (BC ₂)	AB	A=12,5%	B=87,5%
BC ₂ x B (BC ₃)	AB	A=6,25%	B=93,75%
BC ₃ x B (BC ₄)	AB	A=3,12%	B=96,88%
BC ₄ x B (BC ₅)	AB	A=1,56%	B=98,44%
BC ₅ x B (BC ₆)	AB	A=0,78%	B=99,22%
BC ₆ x B (BC ₇)	AB	A=0,39%	B=99,61%

Gambar 6.20 Skema penurunan suatu sifat melalui perkawinan silang balik. *Sumber:* Suaib dan Sadimantara (2014: 42).

Ada satu macam seleksi lagi yang dapat digunakan pada tanaman menyerbuk sendiri sesudah hibridisasi adalah *Diallel Selective Mating System* (DSMS). Metode ini menggunakan berbagai variasi metode seleksi dalam usaha mengkombinasikan berbagai karakter yang diinginkan (Gambar 6.21). Kemudian dilanjutkan dengan berbagai metode seleksi lainnya seperti seleksi massa (Suaib dan Sadimantara, 2014 Hal. 42).



Gambar 6.21 Prosedur metode silang dialel selektif.

Sumber: Suaib dan Sadimantara, 2014 Hal. 43.

Metode Pemuliaan pada Tanaman Membiak Aseksual (Vegetatif)

Fehr (dalam Suaib dan Sadimantara, 2014: 59) mengemukakan empat metode pemuliaan pada tanaman yang membiak secara vegetative yaitu: (1) pengumpulan plasma nutfah, (2) seleksi klon, (3) hibridisasi, dan (4) seleksi klon setelahhibridisasi. Sementara itu, menurut Chahal dan Gosal (dalam Suaib dan Sadimantara, 2014: 59) metode pemuliaan pada tanaman membiak vegetatif dibagi dalam empat cara, yaitu: (1) introduksi dan aklimatisasi, (2) seleksi, (3) hibridisasi, dan (4) mutasi.

a. Introduksi dan aklimatisasi

Prosedur introduksi adalah bagaimana klon atau bahan tanaman itu didatangkan, apakah dari luar daerah ataupun dari luar negeri. Pengumpulan plasma nutfah umumnya dimulai dengan suatu kegiatan eksplorasi guna menyediakan semua keragaman genetik baik itu berupa genotipe lokal, tipe liar, dan hasil introduksi. Keragaman genetik dapat pula ditimbulkan dengan cara memanfaatkan hasil proses mutasi dan membuat rekombinasi genetik melalui

hibridisasi atau memanfaatkan teknik fusi sel bila hibridisasi seksual mengalami kendala. Setelah keragaman yang tinggi diperoleh, plasma nutfah dikarakterisasi agar proses seleksi dapat berjalan secara efektif untuk mendapatkan sejumlah klon yang baik dan memiliki berbagai keunggulan, untuk kemudian diperbanyak dan dikembangkan sebagai varietas unggul baru (Suaib dan Sadimantara, 2014: 59-60).

Menurut Suaib dan Sadimantara, 2014 Hal. 60) terdapat beberapa keuntungan dan kerugian pada seleksi klon. Adapun keuntungannya yaitu:

- a. Menghasilkan klon yang stabil dan mudah dibudidayakan;
 - b. Memperbaiki mutu tanaman;
 - c. Mengeksploitasi mutasi-mutasi yang diinginkan yang terjadi pada jaringan somatis, mengeliminasi tipe tanaman yang tidak produktif dan tidak diinginkan yang selalu timbul dari waktu ke waktu pada tanaman komersil.
- Sementara itu, kerugiannya yaitu:
- a. Tidak menghasilkan variasi baru, dan
 - b. Hanya dapat diterapkan untuk tanaman yang diperbanyak secara vegetatif.

b. Seleksi klon

Tanaman yang membiak secara vegetatif, individu genotipe diperbanyak dengan klon. Seleksi klon dapat dilakukan pada tanaman membiak vegetatif dalam populasi campuran secara genetik. Klon-klon superior, didasarkan pada penampakan fenotipe, diisolasi dari populasi, kemudian diperbanyak secara vegetatif. Kemajuan seleksi klon sangat ditentukan oleh ketersediaan jumlah genotipe superior yang diisolasi. Metode seleksi klon ini sangat kecil peranannya dalam memperbaiki genetik klon, karena perbanyakan vegetatif mempertahankan genotipe tanpa melakukan perubahan, seperti terjadinya mutasi dan menghasilkan mutasi buku/tunas, kimera (chimera), atau mozaik. Mutasi yang menguntungkan ini sangat jarang terjadi, akan tetapi nilai mutasi dapat ditingkatkan melalui penggunaan bahan-bahan mutagen (Suaib dan Sadimantara, 2014: 60).

c. Hibridisasi

Rekombinasi gen hanya terjadi sebagai hasil dari perbanyakan generatif. Meskipun suatu tanaman umumnya diperbanyak secara vegetatif, perbanyakan

generatif diperlukan untuk menciptakan keragaman genetik melalui rekombinasi gen. Dengan menyilangkan dua klon superior, populasi baru dapat dibentuk. Hibrida dari penyilangan ini dapat digunakan sebagai sumber bahan seleksi untuk pembentukan klon baru (Suaib dan Sadimantara, 2014: 61).

Karena klon tetua adalah heterozigot, segregasi akan terjadi pada generasi F1, sehingga masing-masing individu F akan merupakan sumber potensial untuk bahan seleksi klon baru. Oleh karena pertimbangan penurunan ketegapan hibrid (*hybrid vigor*), silang sendiri (*selfing*) pada tanaman superior tidak dilakukan, sehingga cara yang tepat untuk memanfaatkan individu superior tadi harus dilakukan pembiakan secara vegetatif (Suaib dan Sadimantara, 2014: 61).

Klon-klon terpilih kemudian dilakukan uji daya hasil dan sifat-sifat lainnya dalam uji-uji plot berulang. Kemurnian genetik klon dapat mudah dipertahankan dengan memperbanyak secara vegetatif, dan sejumlah besar strain atau varietas dapat ditanam bersama-sama dalam kebun-kebun pembibitan. Gen-gen yang tidak diinginkan muncul dalam populasi hasil persilangan, dapat dieliminasi melalui silang kembali (*backcrossing*) kepada tetua yang diinginkan atau dengan menggunakan varietas yang telah dibudidayakan dalam beberapa generasi silangkembali. Oleh karena silangkembali pada satu klon atau varietas dapat menghasilkan kemunduran hibrida (*hybrid depression*), maka penggunaan beberapa tetua silangkembali akan memecahkan masalah tersebut (Suaib dan Sadimantara, 2014: 61).

d. Mutasi

Mutasi adalah perubahan secara mendadak terhadap suatu sifat yang mewaris pada tanaman melalui induksi atau perlakuan secara sengaja menggunakan bahan mutasi atau *MUTation AGENT*, (agen mutasi). Pemuliaan bagi tanaman yang membiak vegetatif melalui teknik mutasi mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya adalah setiap titik tumbuh tanaman dapat diberi perlakuan mutagen dan diperbanyak sesudahnya. Sementara itu, kekurangannya adalah bahwa tanaman membiak vegetatif umumnya menyerbuk secara silang (*cross pollination*) sehingga konstitusi genetiknya akan heterozigot. (Suaib dan Sadimantara, 2014 Hal. 62).

Implikasinya, akan sangat sulit untuk diperbaiki melalui persilangan (*sexual hybridization*) antara tanaman karena rekombinasi dan segregasi yang luas di antara keturunan hasil persilangan. Lebih jauh, umumnya akibat persilangan antara tanaman menyerbuk silang dapat menyebabkan hilangnya sifat yang terdapat pada tetua. Sifat poliploid kompleks dan periode dewasa tanaman yang panjang juga merupakan kesulitan lainnya dalam menerapkan persilangan antar tanaman pada tanaman membiak secara vegetatif (Suaib dan Sadimantara, 2014: 62).

Melalui pemuliaan mutasi pada tanaman yang membiak vegetatif, tanaman mula-mula tetap dipertahankan konstitusi genetiknya, sementara yang mengalami perubahan hanya pada bagian yang mendapat perlakuan mutasi. Biasanya, bagian yang mengalami perubahan adalah jaringan sel somatis seperti: buku, petiole, tunas, umbi, dan bulb (umbi palsu) yang terjadi hanya beberapa sel menyebabkan terbentuknya kimera (*chimera*). Dengan demikian, tanaman yang dihasilkan akan merupakan campuran beberapa sifat genetic yang berbeda termasuk genetik asalnya atau dikenal sebagai "*mericlinal chimera*". Prosedur umum pemuliaan mutasi pada tanaman membiak vegetatif (Suaib dan Sadimantara, 2014: 62).

Menurut metodenya, mutasi dapat dilakukan secara: (1) fisik, dan (2) kimia. Secara fisik dilakukan dengan menggunakan teknik penyinaran seperti: (a) sinar X, (b) sinar Gamma, (c) sinar Ultra Violet, (d) sinar β atau partikel $-\beta$, (e) Neutron, dan (f) partikel yang diperkaya (*particles from accelerators*).

Sementara itu, secara kimia, meliputi: (a) komponen basa analog dan yang berhubungan, (b) antibiotik, (c) agen alkilasi, (d) acridin, (e) azida, (f) hydroxyl-amine, dan (g) nitrous acid. Bahan kimia yang paling banyak digunakan pada teknik mutasi secara kimia adalah dari kelompok alkilasi, yaitu: (1) ethyl methane sulphonate (EMS), (2) Diethyl sulphate (DES), (3) methyl nitroso urea (MNU), (4) ethyl nitroso urea (ENU), dan (5) ethylene imine (EI) (Suaib dan Sadimantara, 2014: 63-64).

BAB 7

Variabilitas Genetika dan Seleksi Dalam Pemuliaan Tanaman

7.1. Manfaat Variabilitas Genetik dalam Pemuliaan Tanaman

7.1.1. Variabilitas Genetik

Keragaman pada tanaman ada pada karakter dan sifat. Karakter misalnya warna bunga mempunyai warna ungu, warna merah atau warna putih, atau karakter tinggi tanaman mempunyai sifat tinggi atau pendek.

Keragaman sifat dibagi menjadi 2, yaitu keragaman kualitatif dan keragaman kuantitatif. Keragaman kualitatif dicirikan dengan sebaran data yang terputus atau diskrit, bisa dibedakan secara jelas berdasarkan observasi, dan biasanya dikendalikan oleh sedikit gen, dan biasanya penampilan tanpa atau sedikit pengaruh lingkungan. Contoh keragaman kualitatif misalnya warna bunga, bentuk biji, dan sebagainya. Keragaman kuantitatif dicirikan dengan sebaran data yang kontinu, data diperoleh dengan cara diukur, dan biasanya dikendalikan oleh banyak gen serta terdapat pengaruh lingkungan yang berperan terhadap penampilan sifat. Contoh karakter kuantitatif ialah bobot biji per tanaman, hasil panen, dan sebagainya.

Keragaman pada tanaman dapat disebabkan oleh perbedaan susunan genetic, lingkungan dan interaksinya. Data yang diobservasi atau diukur langsung pada tanaman merupakan data fenotip tanaman, dan keragaman yang terukur merupakan keragaman fenotip. Pada kegiatan seleksi yang perlu diduga ialah keragaman genetik karakter tanaman. Selain itu perlu juga diduga

keragaman yang disebabkan oleh lingkungan. Variabilitas genotipik, tidak dapat diobservasi atau diukur secara langsung, pengamatannya dapat diduga melalui analisis data dengan pendekatan statistik. Berdasarkan keragaman ini maka dapat diduga nilai heritabilitas, yaitu proporsi keragaman genetik terhadap keragaman fenotip.

Keanekaragaman merupakan dasar ciri-ciri makhluk hidup. Adanya keanekaragaman genetik merupakan hasil seleksi alam dari suatu spesies terhadap lingkungannya. Keanekaragaman tidak hanya terjadi pada tumbuhan dan hewan saja tetapi juga manusia. Namun pada manusia, keanekaragaman yang terjadi hanya pada tingkat gen dan berkaitan dengan pewarisan sifat. Manusia memperlihatkan variasi pada beberapa ciri-ciri yang dapat dilihat dengan mudah melalui fenotip atau sifat yang tampak. (Cummings, 2011 : 6-7).

Fenotipe dapat dikatakan sebagai karakteristik atau ciri-ciri yang dapat diukur atau sifat yang nyata yang dimiliki oleh organisme. Ciri itu tampak oleh mata, seperti warna kulit atau tekstur rambut. Fenotip dapat juga diuji untuk identifikasinya, seperti pada penentuan angka respiratoris atau uji serologi tipe darah. Fenotip merupakan hasil produk-produk gen yang diekspresikan di dalam lingkungan tertentu. Namun, gen memiliki batasan-batasan di dalamnya sehingga lingkungan dapat memodifikasi fenotip. (Stansfield, 1983 : 19).

Genotipe ialah seluruh gen yang dimiliki suatu individu. Genotip yang terekspresikan menampakkan fenotip pada suatu individu. Genotip yang melibatkan alel-alel pada suatu lokus tunggal dapat menghasilkan genotip yang homozigot. Keturunan homozigot dapat dihasilkan dari galur murni. Perpaduan heterozigot dihasilkan dari alel yang berbeda. (Starr and McMillan, 2010 : 374).

Berdasarkan penyebabnya, variasi dalam sistem biologi dibagi dua yaitu Variasi Genetik yaitu variasi yang dihasilkan oleh faktor keturunan (gen) yang bersifat kekal dan diwariskan secara turun temurun dari satu sel ke sel yang lain. Jika gen berubah, maka sifat-sifat pun akan berubah. Sifat-sifat yang ditentukan oleh gen disebut genotipe. Ini dikenal sebagai pembawa (Syamsuri, 2002).

Variasi non genetik atau variasi lingkungan yaitu yang ditentukan oleh factor lingkungan seperti intensitas cahaya, kelembaban, pH tanah, dll. Keadaan factor-faktor lingkungannya sama dengan pohon yang pertama, sekalipun demikian hasil panennya berbeda. Pengetahuan yang memadai tentang

komposisi lingkungan akan menentukan genotipe yang sesuai untuk kondisi tertentu (Welsh, 1991).

Variabilitas genetik, kemajuan genetik dan pola klaster merupakan modal dasar dalam pemuliaan pohon karena melalui variabilitas genetik peluang untuk memperoleh karakter unggul akan semakin tinggi. Dengan demikian, variabilitas genetik menjadi salah satu indikator dalam mencapai keberhasilan program pemuliaan. Brown, *et al.*, (1987) *cit.* Van Beuningen (1997) dalam (Sunarya *et al.*, 2017).

Variabilitas suatu fenotipe tanaman dalam populasi pada suatu sistem biologi dapat disebabkan oleh: variabilitas genetik penyusun populasi, keragaman lingkungan dan keragaman interaksi genotipe dan lingkungan. Keragaman fenotipe suatu karakter tanaman yang disebabkan peranan faktor genetik, maka variabilitas tersebut akan dapat diwariskan pada generasi selanjutnya. Oleh karena itu, pada tanaman yang diperbanyak melalui biji segregasi gen dari generasi ke generasi akan menyebabkan meningkatnya variabilitas genetik (Allard, 1992) dalam (Sunarya *et al.*, 2017).

Keberhasilan suatu program pemuliaan tanaman sangat bergantung pada variasi genetik yang diturunkan/diwariskan. Karena tanpa variasi genetik tidak akan terjadi perbaikan sifat tanaman. Oleh karenanya, informasi mengenai besarnya nilai pendugaan parameter (varians genetik, varians fenotipik, heritabilitas dan kemajuan genetik) untuk berbagai sifat tanaman sangat diperlukan dalam program pemuliaan untuk memperoleh kultivar yang diharapkan (Murdaningsih, *et al.*, 1990) dalam (Sunarya *et al.*, 2017).

Variabilitas atau keragaman sebagai parameter genetik dalam proses seleksi merupakan salah satu langkah awal untuk melakukan perakitan varietas baru. Tanaman yang variabilitas genetiknya sempit kurang baik untuk dijadikan sebagai tetua dalam pengembangan varietas, sedangkan tanaman yang variabilitas genetiknya luas berpeluang untuk dikembangkan menjadi varietas baru sesuai yang diinginkan. Variabilitas yang tinggi juga dapat meningkatkan respon seleksi karena respon seleksi berbanding lurus dengan variabilitas genetik, tetapi dengan melihat variabilitas genetik saja sangat sulit untuk mempelajari suatu karakter. Parameter genetik lain yang diperlukan untuk mempelajari karakter dari suatu tanaman seperti heritabilitas (Sugianto dkk, 2015).

Keragaman genetik merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap keberhasilan usaha pemuliaan tanaman. Dengan adanya keragaman genetik dalam suatu populasi berarti terdapat variasi nilai genotip antar individu dalam populasi tersebut. Keragaman genetik tanaman dapat diketahui apabila beberapa varietas tanaman yang mempunyai sifat genetik berbeda ditanam pada lingkungan homogen. Perbedaan yang muncul dengan demikian merupakan representasi dari perbedaan genetik. Perlu diketahui bahwa sebenarnya lingkungan tidak mungkin homogen, namun dapat diupayakan semaksimal mungkin menjadi lebih kecil dengan manipulasi budidaya maupun pengurangan strata tempat tumbuh. Tanaman akan menghasilkan fenotipe berbeda untuk masing-masing varietas (Sugianto *et al.*, 2015). Perkawinan antara dua individu makhluk hidup sejenis merupakan salah satu penyebab keanekaragaman jenis genetik. Keturunan dari hasil perkawinan memiliki susunan perangkat gen yang berasal dari kedua induk/orang tuanya. Kombinasi susunan perangkat gen dari dua induk tersebut akan menyebabkan keanekaragaman individu dalam satu spesies berupa varietas-varietas yang terjadi secara alami atau secara buatan. Keanekaragaman yang terjadi secara alami adalah akibat adaptasi atau penyesuaian diri setiap individu dengan lingkungan. Faktor lingkungan juga turut mempengaruhi sifat yang tampak (fenotipe) suatu individu di samping ditentukan oleh faktor genetiknya (genotipe). Genotip merupakan kombinasi alela yang dimiliki oleh setiap individu. Genotip ini berperan dalam mempengaruhi karakteristik keturunan seperti warna mata, golongan darah, dan bentuk enzim tertentu. Fenotip suatu individu menggambarkan karakter morfologi, fisiologi, anatomi, dan biokimia individu tersebut. Sementara keanekaragaman buatan dapat terjadi antara lain melalui perkawinan silang (hibridisasi). Hibridisasi merupakan proses persilangan dua individu berbeda komposisi genetiknya, seperti berlainan ras, varietas, jenis, atau berlainan marga.

7.1.2. Manfaat Variabilitas Genetik

Variabilitas genetik, kemajuan genetik dan pola klaster merupakan modal dasar dalam pemuliaan tanaman karena melalui variabilitas genetik peluang untuk memperoleh karakter unggul akan semakin tinggi. Dengan demikian, variabilitas genetik menjadi salah satu indikator dalam mencapai keberhasilan

program pemuliaan. Studi dan informasi mengenai tingkat variabilitas genetik sangat diperlukan oleh pemulia dalam mengidentifikasi calon tetua persilangan yang potensial. Disamping itu, akan bermanfaat pula guna mencegah penggunaan tetua-tetua berkerabat dekat. Bermanfaat dalam mendukung program pemuliaan apabila telah diidentifikasi karakter-karakter penting.

Dalam upaya perbaikan genetik untuk perakitan varietas unggul, variabilitas genetik memegang peranan yang sangat penting karena semakin tinggi keragaman genetik semakin tinggi pula peluang untuk mendapatkan sumber gen bagi karakter yang akan diperbaiki dalam kegiatan seleksi. Koefisien keragaman genetik dapat dijadikan sebagai parameter untuk menentukan tingkat keragaman suatu karakter dalam sebuah populasi dan untuk membandingkan besarnya variabilitas genetik antar populasi (Sugianto *et al.*, 2015).

Karakter yang memiliki variabilitas genetik yang luas dapat digunakan sebagai kriteria seleksi untuk mendapatkan karakter terbaik. Keragaman genetik yang luas merupakan syarat berlangsungnya proses seleksi yang efektif karena akan memberikan keleluasaan dalam proses pemilihan suatu genotipe. Karakter yang memiliki variabilitas genetik yang luas dapat diartikan bahwa faktor genetik memiliki pengaruh yang besar terhadap tampilan karakter visual yang diamati pada tanaman yang diuji. Dalam hal ini dapat juga diartikan bahwa faktor lingkungan tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap karakter visual yang diamati pada tanaman yang diuji. Keragaman genetik yang sempit menunjukkan bahwa seleksi terhadap karakter-karakter tersebut pada populasi ini sudah tidak efektif. Untuk meningkatkan keragaman genetik perlu dilakukan hibridisasi dengan populasi lain yang mempunyai hubungan genetik berbeda dengan populasi yang diteliti (Sugianto *et al.*, 2015).

Variasi genetik yang tinggi berpengaruh terhadap kemampuan suatu jenis untuk beradaptasi. Variasi genetik yang tinggi akan menghasilkan sifat resisten atau tahan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim, sehingga serangan hama dan penyakit dapat dihindari. Keragaman genetik merupakan kunci dalam program pemuliaan tanaman, hal ini dikarenakan adanya maksimalisasi perolehan genetik akan sifat tertentu. Program pemuliaan tanaman berguna untuk memelihara dan meningkatkan variabilitas genetik di dalam suatu populasi. Studi keragaman genetik memiliki manfaat penting untuk pemuliaan tanaman yaitu dalam membantu seleksi buatan, membantu menyiapkan uji

provenan dan pengendali persilangan dan aktivitas silvikultur. Seleksi merupakan proses pemuliaan tanaman dan dasar untuk perbaikan dalam mendapatkan kultivar unggul yang baru, keragaman genetik yang tinggi merupakan suatu syarat efektifnya program seleksi. Keragaman genetik dapat memperbesar kemungkinan untuk mendapatkan genotip yang lebih baik melalui seleksi. Keragaman karakter dan keanekaragaman genotip berguna untuk mengetahui pola pengelompokan genotip pada populasi tertentu berdasarkan karakter yang diamati dan dapat dijadikan sebagai dasar kegiatan seleksi.

Analisis keragaman dapat dilakukan dengan berbagai tipe penanda, salah satu tipe penandanya ialah morfologi pada tanaman tersebut. Indikator bahwa karakter tersebut dikendalikan secara genetik berdasarkan nilai heritabilitas. Keragaman genetik luas menandakan keefektifan seleksi atau keberhasilan suatu kegiatan pemuliaan tanaman. Semakin luas keragaman suatu karakter pada populasi maka semakin bervariasi sifat yang ada pada karakter yang mencerminkan pengendalian genetik pada populasi. Pengendalian genetik yang tinggi pada karakter maka peluang untuk mendapatkan genotip dengan sifat karakter yang lebih baik melalui seleksi semakin besar (Effendy *et al.*, 2018).

7.2. Pemahaman Genetika dalam Pemuliaan Tanaman

7.2.1. Pengertian Rekayasa Genetik dalam Pemuliaan Tanaman

Rekayasa genetik merupakan teknik untuk menghasilkan molekul DNA yang berisi gen baru yang diinginkan atau kombinasi gen-gen baru atau dapat dikatakan sebagai manipulasi organisme. Rekayasa genetika, juga disebut modifikasi genetika, adalah manipulasi langsung gen suatu organisme menggunakan bioteknologi, sehingga dapat dikatakan bahwa rekayasa genetika merupakan manipulasi DNA secara manual untuk mengubah karakteristik suatu organisme dengan menggunakan bioteknologi. Hal ini berarti mengubah susunan genetik dari sel, dengan menghapus dan menambah DNA atau gen untuk meningkatkan organisme dan melampaui limitasinya. Hal ini juga bisa berarti mengambil DNA organisme lain lalu menggabungkannya ke DNA organisme penerima, sehingga menambah sifat baru yang sebelumnya tidak terdapat pada organisme penerima.

Rekayasa genetik dilakukan dengan menggunakan bioteknologi yang merupakan bidang penerapan biosains dan teknologi yang menyangkut

penerapan praktis organisme hidup atau komponen subselelurnya pada industri jasa dan manufaktur serta pengelolaan lingkungan. Atau dapat pula di definisikan sebagai teknologi yang menggunakan sistem hayati (proses-proses biologi) untuk mendapatkan barang dan jasa yang berguna bagi kesejahteraan manusia. Bioteknologi memanfaatkan: bakteri, ragi, kapang, alga, sel tumbuhan atau sel hewan yang dibiakkan sebagai konstituen berbagai proses industry (Sutarno, 2016).

Pada umumnya bioteknologi dibedakan menjadi bioteknologi tradisional dan modern. Bioteknologi tradisional adalah bioteknologi yang memanfaatkan mikrobia (organisme) untuk memodifikasi bahan dan lingkungan untuk memperoleh produk optimal. Misalnya pembuatan tempe, tape, roti, pengomposan sampah. Sedangkan bioteknologi modern dilakukan melalui pemanfaatan ketrampilan manusia dalam melakukan manipulasi makhluk hidup agar dapat digunakan untuk menghasilkan produk sesuai yang diinginkan manusia. Sedangkan bioteknologi modern berkembang pesat setelah genetika molekuler berkembang dengan baik (Adisoemarto, 1988).

Kemajuan-kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah ada baik di bidang fisika, kimia, matematika dan biologi telah memicu majunya bioteknologi. Selain itu, banyak hal yang juga ikut berperan dalam memicu lahirnya bioteknologi, diantaranya adalah karena semakin besar tuntutan untuk mencapai target yang diinginkan dengan proses yang lebih cepat dan terobosan yang inovatif yang bisa menguntungkan bagi umat manusia. Bioteknologi juga memiliki peran penting dalam ilmu pengetahuan dewasa ini, bioteknologi sendiri mengalami berbagai pembaruan dari bioteknologi yang bersifat tradisional kearah bioteknologi yang modern. Manfaat bioteknologi bagi kehidupan manusia dalam meningkatkan kesejahteraan dan perbaikan hidup telah terbukti, antara lain penerapannya untuk memerangi kelaparan, mengatasi kelangkaan sumber daya energi, mengurangi pencemaran lingkungan dan masih banyak lagi.

7.2.2. Tujuan Rekayasa Genetika dalam Pemuliaan Tanaman

Rekayasa genetika memiliki manfaat sangat besar dalam bidang kedokteran, pertanian, kehutanan, lingkungan, dan pangan. Prinsip dari rekayasa genetika adalah menyisipkan gen yang membawa sifat unggul ke DNA suatu organisme yang diharapkan organisme ini akan memiliki sifat unggul tersebut, sehingga

dapat dimungkinkan bakteri yang memiliki gen dan sifat seperti manusia (misalnya menghasilkan hormon tertentu) atau suatu tanaman memiliki gen dan sifat bakteri.

Penerapan rekayasa genetik sangat membantu dalam memenuhi kebutuhan hidup manusia, diantaranya menyediakan kebutuhan pangan masa depan dengan kualitas yang lebih baik. Dijadikan alternatif sumber energi yang dapat diperbarui, misalnya biomass dan biofuel yang dapat menggantikan sumber energi konvensional. Kemudian perawatan kesehatan yang lebih baik, dengan obat-obatan yang lebih efektif. Serta efisiensi pertanian yang lebih baik dan penggunaan pestisida kimia yang relatif lebih sedikit.

Rekayasa genetik memiliki peran yang sangat meluas yakni pada produk farmasi sebagai pemenuhan kebutuhan produk farmasi tertentu bila dilakukan dengan teknologi konvensional akan memerlukan bahan dan biaya yang banyak. Contohnya hormon somatostatin, yaitu hormon pertumbuhan pada manusia. Kemudian pada produk non-pangan, rekayasa genetik menyentuh di bidang lain seperti peternakan, perkebunan, dan kehutanan. Produk tersebut misalnya, vaksin, antibiotik, dan hormon pertumbuhan untuk hewan. Ternak kloning, berbagai macam tanaman tahan herbisida, insek, jamur, dan cacing, serta tanaman yang toleran terhadap kekeringan dan cuaca dingin.

Teknik rekayasa genetik juga dilakukan pada bahan pangan, antara lain tomat, jagung kedelai, kanola, bunga, kol, keju, tepung susu, kentang, beras, dan sebagainya. Pangan transgenik pertama yang diperdagangkan adalah tomat Flav Savr pada tahun 1994. Di Amerika Serikat lebih dari 52 varietas tanaman dari 13 spesies yang berbeda. Produk-produk pangan yang diolah dari bahan transgenik masih mengandung OHRG di dalamnya. Artinya proses pengolahan menjadi produk pangan tidak menghilangkan jejak transgenetik bahan tersebut.

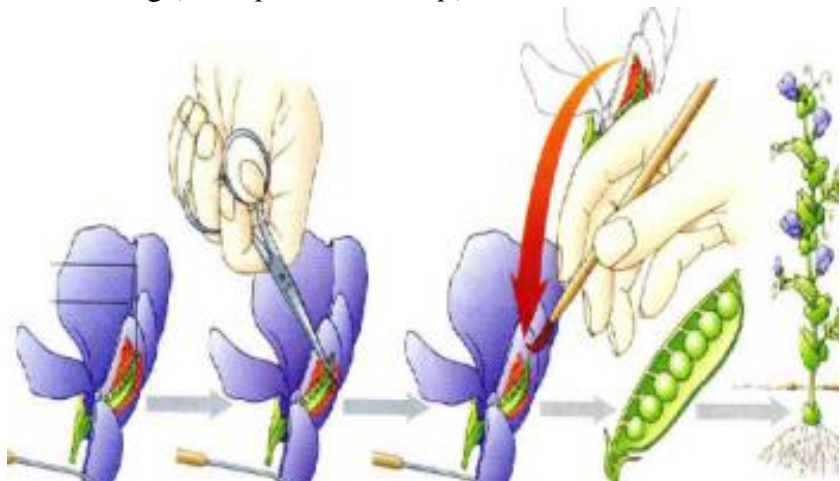
7.2.3. Teknik-Teknik yang Terkait dengan Pemuliaan Tanaman

Pemuliaan tanaman merupakan suatu kegiatan yang dilakukan untuk memperbaiki karakter tanaman secara baka. Pemuliaan secara konvensional biasanya dilakukan melalui seleksi terhadap karakter-karakter yang menjadi target atas dasar ciri-ciri fenotip/morfologi, namun penggunaan penanda morfologi ini kurang akurat dan tidak stabil karena karakter yang tampak bukan semata-mata menggambarkan informasi genetik tanaman tetapi sudah

dipengaruhi oleh lingkungan. Seleksi yang akurat terhadap suatu karakter yang diinginkan dari tanaman adalah dengan berdasarkan pada gen yang mengendalikan karakter tersebut. Berikut ini beberapa teknik-teknik yang digunakan dalam pemuliaan tanaman.

1) *Persilangan*

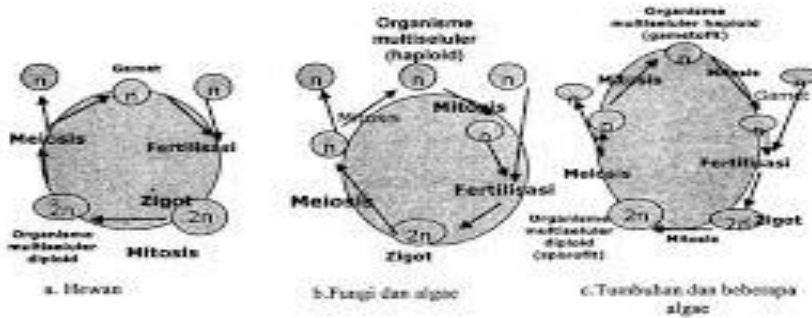
Melakukan persilangan dengan gamet yang saling kompatibel yang masing-masing gamet berbeda sifat untuk menghasilkan varietas baru. Contoh: Apel dengan tekstur dan rasa yang lebih enak. Perkawinan antar spesies merupakan salah satu cara yang digunakan untuk meningkatkan keragaman genetik. Keragaman tersebut nantinya akan diseleksi untuk mendapatkan varietas yang memiliki sifat unggul. Sifat unggul pada tanaman dapat timbul secara alami karena adanya seleksi alam atau dapat juga timbul karena adanya campur tangan manusia melalui pemuliaan tanaman. Saat ini telah banyak ditemukan bibit unggul melalui proses hibridisasi atau persilangan. Persilangan merupakan salah satu cara untuk menghasilkan rekombinasi gen. Secara teknis, persilangan dilakukan dengan cara memindahkan tepung sari ke kepala putik pada tanaman yang diinginkan sebagai indukan (Gambar 7.1), baik pada tanaman yang menyerbuk sendiri (*self polination crop*) maupun pada tanaman yang menyerbuk silang (*cross polination crop*).



Gambar 7.1 Contoh Kegiatan Persilangan Tanaman

2) Poliploidi

Teknik ini adalah menggandakan jumlah kromosom yang dapat mempengaruhi fertilitas tanaman. Contoh: semangka tanpa biji. Manipulasi poliploidi dilakukan untuk mendapatkan jenis yang mempunyai lebih dari 2 set kromosom ($2n$), berdasarkan pertimbangan pemuliaan terhadap flora dan fauna untuk memperbaiki mutu yang lebih baik dari jenis atau organisme sebelumnya. Individu normal di alam pada umumnya memiliki 2 set kromosom yang biasa disebut diploid ($2n$) (Gambar 7.2). Individu diploid yang menghasilkan mutan gamet haploid (n), biasanya berumur pendek. Apabila telur dari organisme diploid dirangsang untuk menjalani embriogenesis tanpa fertilisasi oleh sperma, lebih dahulu akan menghasilkan individu haploid yang menyimpang.



Gambar 7.2 Pembelahan Mitosis pada Hewan (a), Fungi dan Algae (b), dan Tumbuhan dan beberapa algae.

Tujuan manipulasi poliploidi adalah pemuliaan pada flora maupun fauna. Individu poliploidi secara fenotipe, berbeda dengan diploid maupun haploid. Sel darah merah triploid dan tetraploid lebih besar dibandingkan sel darah diploid dan haploid. Kelebihan individu poliploid adalah tumbuh lebih cepat dan mudah beradaptasi dengan lingkungan, dibandingkan dengan individu diploid dan haploid. Individu triploid dan tetraploid dapat berperan mengontrol pertumbuhan organisme lain di lingkungan habitat yang sama (Sistina, 2000).

3) Mutagenesis

Mutagenesis adalah proses dimana informasi genetik dari suatu organisme berubah, mengakibatkan mutasi. Mungkin terjadi secara spontan di alam, atau sebagai akibat dari paparan mutagen. Pada mutagenesis penggunaan radiasi

sebagai mutagen dengan tujuan menginduksi mutasi secara acak sehingga menghasilkan sifat yang diinginkan. Contoh: Jeruk bali memiliki warna yang lebih tajam. Mutasi adalah perubahan materi genetik (gen atau kromosom) suatu sel yang diwariskan kepada keturunannya. Mutasi adalah perubahan pada materi genetik suatu makhluk yang terjadi secara tiba-tiba, acak, dan merupakan dasar bagi sumber variasi organisme hidup yang bersifat terwariskan (*heritable*). Mutasi adalah perubahan pada materi genetik suatu makhluk yang terjadi secara tiba-tiba, acak, dan merupakan dasar bagi sumber variasi organisme hidup yang bersifat terwariskan (*heritable*). Jenis-jenis mutasi yaitu:

1. Menurut kejadiannya

Mutasi yang terjadi secara spontan dan juga dapat terjadi melalui induksi. Mutasi spontan yang terjadi akibat adanya pengaruh yang tidak jelas, baik dari lingkungan luar maupun dari internal organisme itu sendiri.

2. Berdasarkan sel yang terinduksi

Berdasarkan jenis sel yang mengalami mutasi, mutasi dibedakan menjadi mutasi somatik dan mutasi gametik atau germinal. Mutasi somatik adalah mutasi yang terjadi pada sel gamet. Sedangkan mutasi gametik, karena terjadinya di sel gamet maka akan diwariskan oleh keturunannya.

Upaya mendapatkan varietas unggul baru dalam pemuliaan tanaman dapat dilakukan melalui introduksi, hibridisasi, induksi mutasi dan rekayasa genetika. Diantara cara-cara tersebut mutasi merupakan salah satu cara yang dipandang paling murah dan cepat dalam upaya peningkatan keanekaragaman genetik tanaman. Induksi mutasi dapat dilakukan dengan menggunakan mutagen fisik atau kimiawi. Mutagen fisik yang sering digunakan adalah ionisasi sinar alpha, beta, gamma, fast neutron, elektron beam dan ion beam, sedangkan mutagen kimia adalah sulphur mustard, Colchicine, EMS dan DES. EMS (*Ethyl Methane Sulphonate*) paling banyak digunakan karena sering menghasilkan mutan yang bermanfaat dan tidak bersifat mutagenik setelah terhidrolisis (Bangun dan Purwani. 2017).

4) *Fusi Protoplas*

Teknik ini menggabungkan protoplas dari sel tanaman yang berbeda spesies. Contoh: menggabungkan protoplas kol ungu dengan lobak untuk menghasilkan tanaman hibrid. Memfusikan 2 macam protoplasma yang sama atau berbeda, sehingga menghasilkan hibrida sel yang diharapkan dapat mengadakan regenerasi menjadi tanaman baru dengan sifat yang baru. Sumber protoplasma yaitu dari jaringan daun, kalus, kultur suspensi sel, kutiledon, bunga. Faktor yang mempengaruhi keberhasilan keberhasilan f= dan viabilitas protoplasma yaitu (Nuraida, 2012) yaitu:

1. Kondisi jaringan donor, sehat, kecepatan pertumbuhan, keadaan sitoplasma yang menyusun jaringan.
2. Larutan enzim yang digunakan isolasi protoplasma
3. Faktor lingkungan (cahaya, temperatur, kelembaban tanah dan kesuburan tanah dari tanaman yang akan diisolasi protoplasmanya
4. Waktu inkubasi dan agitasi (untuk hidrolisa dinding sel bervariasi, tergantung jaringan serta konsentrasi jaringan sel)
5. Penyimpanan jaringan pada tempat yang gelap 24-72 jam.

5) *Transgenik*

Menambahkan gen dari spesies lain untuk menghasilkan varietas dengan sifat baru. Contoh: Pepaya dilakukan modifikasi secara genetik yang tahan terhadap virus Papaya Ringspot. Transgenik adalah tanaman yang telah direkayasa bentuk maupun kualitasnya melalui penyisipan gen atau DNA binatang, bakteri, mikroba, atau virus untuk tujuan tertentu. Organisme transgenik adalah organisme yang mendapatkan pindahan gen dari organisme lain. Pembuatan tanaman transgenik adalah dengan cara gen yang telah diidentifikasi diisolasi dan kemudian dimasukkan ke dalam sel tanaman. Melalui suatu sistem tertentu, sel tanaman yang membawa gen tersebut dapat dipisahkan dari sel tanaman yang tidak membawa gen. Tanaman pembawa gen ini kemudian ditumbuhkan secara normal. Tanaman inilah yang disebut sebagai tanaman transgenik karena ada gen asing yang telah dipindahkan dari makhluk hidup lain ke tanaman tersebut (Muladno, 2002).

6) *Edit Genom*

Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats/CRISPR-associated protein 9 (CRISPR/Cas9), Sistem CRISPR-Cas diklasifikasikan menjadi tiga besar tipe-tipe yaitu tipe I, tipe II dan tipe III, dan juga menjadi 12 subtipe, diberi konten genetik dan struktural dan perbedaan fungsional. Jenis dan subtipe ini merupakan fitur yang mendefinisikan inti berdasarkan gen Cas dan protein yang mereka kodekan. Genetika yang sangat bervariasi dan fungsi tersebut menggambarkan betapa beragamnya fungsi biokimia mereka dapat membawa seluruh kekebalan yang dimediasi CRISPR di setiap langkah yang berbeda (Anna *et al.*, 2017).

Identifikasi teknologi marka CRISPR-Cas9 menggarisbawahi cara yang dimiliki banyak penemuan biologi molekuler maju dan pengobatan muncul, melalui penelitian dasar tentang mekanisme alami replikasi DNA, perbaikan, dan pertahanan terhadap virus. Dalam banyak kasus, kuncinya metodologi muncul dari studi tentang bakteri. Teknologi CRISPR-Cas9 berasal dari proses yang serupa, begitu mekanisme yang mendasari bagaimana CRISPRCas9 dipahami, teknik ini bisa dimanfaatkan untuk aplikasi dalam biologi molekuler dan genetika yang bahkan tidak dibayangkan sebelumnya (Dede 2012).

Metode ini menjadi populer karena lebih mudah penerapannya. Banyak pendapat menyatakan bahwa *genome editing* pada tanaman berpotensi besar dalam ketahanan pangan yang berkelanjutan untuk menghadapi ancaman perubahan iklim, penambahan penduduk, dan penyusutan lahan pertanian. Teknologi *genome editing* generasi awal menggunakan perantara oligonukleotida (*oligonucleotide-mediated mutagenesis*, OMM), yang disintesis secara kimiawi dan berfungsi untuk membantu enzim pemulihan DNA dalam menemukan situs spesifik gen dan melakukan penggantian atau penambahan basa DNA. Hasil akhir pengeditan genom dipengaruhi oleh jalur reparasi (*repair pathway*) yang digunakan dan ketersediaan cetakan untuk reparasi.

7.2.3. Peranan Genetika dalam Pemuliaan Tanaman

Genetika memiliki peranan yang sangat penting dalam pemuliaan karena dalam pemuliaan ada yang namanya persilangan, dimana persilangan tersebut tentunya kita pelajari dalam genetika dalam melakukan persilangan kita harus betul-betul memahami teknik-tekniknya karena jika ada yang tidak sesuai maka

tentunya akan berdampak kepada hasil tanaman yang telah kita silangkan. Selain itu, dalam pemuliaan ada juga yang namanya transgenic yakni menambahkan gen dari spesies lain untuk menghasilkan varietas dengan sifat baru. Transgenik tentunya juga kita pelajari dalam genetika. Contohnya: Pepaya dilakukan modifikasi secara genetik yang tahan terhadap virus Papaya Ringspot.

Persilangan merupakan cara yang paling populer untuk meningkatkan variabilitas genetik, bahkan sampai sekarang karena murah, efektif, dan relatif mudah dilakukan. Berbagai galur hasil rekayasa genetika pun biasanya masih memerlukan beberapa kali persilangan untuk memperbaiki penampilan sifat-sifat barunya. Teknik rekayasa genetika membantu proses pemuliaan tanaman dengan cara teknik kultur jaringan. Penelitian tentang kultur sel dan jaringan tumbuhan mencapai sejumlah hasil yang secara individual mewujudkan kemajuan teknik dan kesempurnaan yang nyata. Penggunaan kultur jaringan untuk penangkaran klonal didasarkan pada anggapan bahwa jaringan secara genetik tetap stabil jika dipisahkan dari induk dan ditempatkan dalam kultur. (Khairunissa *et al.*, 2005).

Dalam rangka meningkatkan produksi pertanian, para pemulia tanaman senantiasa berusaha untuk mendapatkan varietas atau klon tahan terhadap penyakit yang dapat ditempuh dengan cara hibridisasi untuk memindahkan atau menggabungkan gen ketahanan terhadap penyakit, baik secara konvensional maupun inkonvensional. Beberapa teknik yang dapat menunjang para pemulia tanaman untuk mendapatkan varietas tahan terhadap penyakit adalah kultur jaringan tumbuhan tahan penyakit (kultur meristem, kultur jaringan kalus, kultur sel), isolasi mutan tahan penyakit dari kultur sel tumbuhan, teknik rekayasa genetika. Oleh karena itu, untuk mendapatkan varietas hasil pemuliaan yang tahan hama maka kita perlu mengetahui dan mempelajari mengenai ilmu hama dan penyakit.

7.3. Macam-Macam Seleksi dalam Pemuliaan Tanaman

7.3.1. Pengertian Seleksi

Seleksi merupakan salah satu kegiatan utama dalam pemuliaan tanaman. Pekerjaan seleksi berkaitan dengan pemisahan atau pemilihan tanaman dari suatu populasi campuran berdasarkan penampilan karakter tertentu (fenotipe). Tujuan seleksi adalah untuk memilih fenotip tertentu yang dikehendaki sebagai

upaya memperoleh genotip yang lebih baik. Seleksi dapat dilakukan pada individu maupun pada populasi tanaman. Dalam populasi maupun antar populasi tergantung dari cara penyerbukan tanaman dan tujuan seleksi. Pada dasarnya ada 3 metode seleksi yaitu seleksi massa, seleksi keturunan atau galur, dan seleksi berulang. Pemilihan metode yang digunakan tergantung pada macam varietas yang diinginkan, sifat yang diinginkan, dan cara penyerbukan tanaman (Mangoendidjojo, 2007).

Seleksi harus dapat dilaksanakan dengan efektif dan efisien. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efektifitas dan efisiensi seleksi adalah dengan memanfaatkan marka (penanda) seleksi sebagai parameter pengamatan untuk seleksi. Sebagai contoh, seleksi untuk ketahanan terhadap serangga pengganggu pada komoditi tertentu dapat didekati dengan menggunakan marka seleksi berupa kepadatan bulu (trikoma) pada buah. Marka seleksi ditentukan dengan memilih penanda yang paling mudah dan paling awal dapat diamati, tetapi harus representatif untuk menunjukkan karakter yang sesungguhnya. Salah satu parameter yang dapat diukur dari kegiatan seleksi adalah respon seleksi atau kemajuan genetik dari suatu kegiatan seleksi. Semakin besar kemajuan genetik, maka peluang untuk mendapat hasil yang lebih baik akan semakin besar dan semakin cepat. Kemajuan genetik (KGG) dapat diketahui dengan menghitung selisih antara rerata tanaman dari biji hasil seleksi dengan rerata tanaman populasi awal.

Respon seleksi akan menurun dari generasi seleksi satu ke generasi seleksi berikutnya. Pada generasi seleksi yang sudah sangat lanjut, nilai respon seleksi akan menjadi sangat kecil sehingga kegiatan seleksi tidak menguntungkan lagi untuk dilanjutkan. Pemuliaan tanaman dengan seleksi dilakukan dengan cara memilih genetik unggul dari sumber plasma nutfah yang ada kemudian dikembangkan lebih lanjut menjadi varietas unggul baru. Metode seleksi sering dikombinasikan dengan persilangan (hibridisasi). Sejak dikenalnya hukum Mendel dalam ilmu genetika, pemuliaan tanaman lebih intensif dilakukan dengan hibridisasi yaitu melalui persilangan tanaman (dalam spesies sama) yang memiliki sifat-sifat genetik yang berbeda. Perpaduan genetik antara kedua tanaman yang disilangkan diharapkan menghasilkan rekombinasi baru yang kemudian melalui proses seleksi dapat menghasilkan galur atau varietas unggul

tanaman. Sampai kini telah banyak dilaporkan varietas unggul tanaman yang dihasilkan melalui metoda hibridisasi yang memiliki nilai ekonomi tinggi.

7.3.2. Tujuan Seleksi

Tujuan dari seleksi adalah untuk memperbaiki proporsi karakter yang diinginkan pada populasi tanaman. Misalnya bila kita menginginkan diperoleh tanaman yang berproduksi tinggi, maka kita pilih tanaman yang berproduksi tinggi tersebut untuk dikembangkan pada generasi berikutnya, sehingga dari generasi ke generasi akan diperoleh peningkatan proporsi tanaman yang berproduksi tinggi. Perakitan varietas berdaya hasil tinggi dapat dilakukan melalui program pemuliaan tanaman. Kesuksesan dalam program pemuliaan tergantung pada keragaman genetik yang digunakan. Keragaman genetik dapat dibentuk melalui persilangan antara dua tetua. Tetua galur murni atau dalam keadaan homozigot akan menghasilkan turunan F1 heterozigot yang seragam dan segregasi akan terjadi pada generasi F2. Keragaman tertinggi terdapat pada generasi F2, maka dapat dilakukan seleksi untuk mendapatkan calon galur yang berdaya hasil tinggi. Informasi genetik seperti heritabilitas dan kemajuan genetik sangat penting untuk memperkirakan keterwarisan suatu sifat. Seleksi berperan sangat penting dalam keberhasilan pada kegiatan pemuliaan tanaman. Menurut Syukur *et al.*, (2011) seleksi akan efektif jika populasi tersebut mempunyai keragaman genetik yang luas dan heritabilitas yang tinggi. Heritabilitas yang tinggi dapat diartikan penampilan fenotipik lebih dipengaruhi oleh genetik dibandingkan pengaruh lingkungan. Seleksi pada karakter dengan keragaman luas dan heritabilitas tinggi akan menghasilkan kemajuan seleksi atau peningkatan nilai tengah setelah dilakukan seleksi.

7.3.4. Macam-Macam Seleksi

Seleksi dalam pemuliaan tanaman ada beberapa macam (Soeranto, 2003), yaitu :

1) Seleksi Massa (Pemilihan Massa)

Bentuk yang paling sederhana dari cara pemilihan adalah seleksi massa. Dasar seleksi ini hanya pada kenampakan luar. Tanaman yang terpilih secara individu untuk digunakan sebagai bahan tanam musim berikutnya. Pelaksanaan seleksi pada suatu populasi yang ditanam pada suatu areal yang cukup luas. Cara

pemilihan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu seleksi massa positif dan seleksi negatif. Pada pilihan massa positif dari populasi tanaman, hanya dipilih individu-individu tanaman yang sesuai dengan tujuan pemuliaan. Pada waktu panen dilakukan pemilihan lagi, kemudian yang terpilih untuk digunakan sebagai bahan tanaman musim berikutnya. Tanaman yang tidak terpilih dapat dipanen untuk konsumsi, Proses tersebut diulang kembali pada beberapa menciptakan penanaman sampai tujuan yang diinginkan.

Pada seleksi massa yang berasal dari populasi tanaman, tanaman yang menyimpang dari sifat-sifat yang dikehendaki disingkirkan. Sedangkan tanaman yang tersisa dipanen bersama dan tersedia untuk digunakan sebagai bahan tanaman musim berikutnya. Proses pemilihan ini diulang kembali seperti pada seleksi massa positif. Dalam praktek, kedua cara ini dapat dilakukan bersama-sama, khususnya bila dalam populasi yang digunakan dijumpai individu-individu tanaman yang mempunyai sifat menonjol. Sifat tersebut dilakukan seleksi massa positif dan sisanya dilakukan seleksi massa negatif.

Populasi yang akan tumbuh pada areal yang terpisah dengan tanaman sejenis lainnya (diadakan isolasi di tempat), Bila hal ini sulit dilakukan, kita dapat membuat isolasi waktu untuk menjaga agar terhindar dari pelaksanaan persilangan yang tidak diinginkan. Seleksi massa negatif dilakukan untuk memurnikan varietas unggul yang telah diukur di masyarakat atau dalam rangka memproduksi benih untuk menjamin kemurnian genetiknya. Seleksi massa positif pada umumnya perlakuan perlakuan lebih berat dibandingkan dengan seleksi massa negatif. Seperti telah menyatakan bahwa seleksi positif adalah memilih individu tanaman yang menonjol sehingga jumlah tanaman yang terpilih lebih sedikit. Dengan demikian, populasi yang dihasilkan dapat berbeda dengan populasi asal.

2) *Seleksi Tanaman Individual*

Berbeda dengan seleksi massa, tanaman yang terpilih secara individu dipanen secara terpisah dan diberi nomor sendiri untuk bahan pertanaman musim berikutnya. Untuk tanaman penyerbuk sendiri, bilamana tanaman terpilih telah homozigot maka keturunannya juga akan homozigot seperti tetuanya. Untuk tanaman penyerbuk bersilang, tanaman yang terpilih sesuai dengan seleksi massa, hanya mendasarkan kepada tetua betinanya; sedangkan biji yang dipanen

sudah merupakan akumulasi kedua tetuanya. Dengan penguji keturunan, tidak diketahui tidak ada pengaruh penampilan yang diberikan oleh kedua tetuanya.

Seleksi individu keturunan tanaman penyerbuk sendiri ini sering disebut dengan seleksi galur murni (pemuliaan garis murni). Hasil pengukuran atau pengujian terhadap keturunan tanaman terpilih. Dengan demikian, metode ini merupakan seleksi tanaman yang sudah dilakukan berdasarkan genotipe tanamannya. Teori mengenai galur murni pada mulanya dikembangkan oleh seorang ahli botani dari Denmark yang bernama Johannsen pada tahun 1903. Ia mendasarkan teori ini pada hasil penelitiannya yang menggunakan biji sejenis kacang merah, yaitu *princess bean*.

Dalam pelaksanaannya, bahan seleksi sama dengan seleksi massa, misalnya populasi tanaman tertentu, misalnya varietas lokal yang mempunyai sifat tertentu yang menonjol. Tanaman padi, misalnya, karena sudah lama ditanam pada suatu wilayah, populasinya sudah menampakkan atau merupakan campuran bermacam-macam galur yang memiliki tingkat kesesuaian yang baik dengan wilayah setempat. Populasi tanaman padi ini sebagai bahan seleksi yang ditanam satu biji atau satu bibit setiap lubang yang nantinya akan tumbuh menjadi satu rumpun. Berdasarkan pengamatan terhadap individu tanaman selama pertumbuhannya, kemudian dipilih individu-individu tanaman yang sesuai dengan tujuan seleksi, Tanaman-tanaman terpilih tersebut disebut tanaman elit.

3) *Seleksi Kombinasi*

Merakit tanaman untuk mendapatkan suatu varietas unggul baru pada dasarnya dapat dilakukan dengan dua cara. Pertama, memperbaiki suatu populasi tanaman yang sudah ada yang sering disebut *intra-population improvements*. Kedua, dengan menggabungkan sifat-sifat baik dari dua populasi tanaman yang lazim disebut *inter-population improvements*. Seleksi massa dan seleksi tanaman secara individual yang telah dibicarakan dapat dikategorikan sebagai cara pertama; sedangkan seleksi kombinasi merupakan cara yang kedua, meskipun cara ini banyak sekali variasi dan modifikasinya. Jadi, dalam hal ini dilihat dari populasi awal atau bahan seleksi atau *breeding material* yang digunakan.

Pada cara pertama, dilakukan pemilihan material yang sudah tersedia, sedangkan pada cara yang kedua sebelum melakukan pemilihan terlebih dahulu dibuat material dengan persilangan-persilangan; kemudian dilakukan pemilihan terhadap variabilitas tanaman yang dihasilkan.

Seleksi kombinasi atau seleksi hibridisasi merupakan usaha untuk menggabungkan gen-gen pengendali sifat yang dikehendaki dan mengeliminir gen-gen yang tidak dikehendaki sebanyak mungkin ke dalam keturunan tanaman yang terpilih. Oleh karena itu, cara ini membutuhkan waktu yang lama karena menantikan hasil persilangan yang dibuat sambil menguji segregasi tanaman keturunannya sampai diperoleh sifat-sifat yang dapat dikatakan mantap.

Agar dapat memperoleh hasil yang baik, cara ini memerlukan pemilihan tetua yang digunakan secara tepat dan cermat; dalam arti mengenal sifat-sifat dari jenis atau varietas yang akan dijadikan tetua. Saat ini, bilamana program pemuliaan sudah jelas untuk mendapatkan tetua yang akan digunakan dapat menghubungi bank plasma mutfah untuk tanaman yang bersangkutan.

7.4. Metode Seleksi dalam Pemuliaan Tanaman

7.4.1. Seleksi Galur Massa

a. Pengertian Seleksi Massa

Seleksi massa adalah seleksi yang digunakan untuk mengembangkan varietas bergalur banyak yang populasi dasarnya mempunyai keragaman genetik tinggi yang diperoleh dari persilangan antara sejumlah varietas. Seleksi massa mendasarkan pada kemampuan pemulia untuk mengenali karakter yang diinginkan dan tidak diinginkan pada tanaman dalam suatu populasi. Sejumlah tanaman dengan tipe serupa dipilih pada seleksi ini dan biji dari masing-masing tanaman terpilih tersebut dipanen. Biji hasil panen dari semua tanaman terseleksi kemudian dicampur dengan jumlah/komposisi yang sama menjadi satu membentuk populasi siklus seleksi berikutnya (Sumarno *et al.*, 2013).

Seleksi massa merupakan metode pemuliaan yang paling tua dan paling sederhana. Pemulia dalam seleksi massa dapat memperbaiki suatu sifat dari populasi yang diseleksi dengan tetap mempertahankan ciri populasi tersebut. Seleksi massa dilakukan pada populasi homozigot heterogen, biasanya berupa varietas yang tercampur. Seleksi massa bertujuan mengurangi keragaman

genetik dari suatu populasi dan meningkatkan frekuensi gen yang diinginkan. Kegunaan seleksi massa dapat memperbaiki populasi *landrace*, memurnikan varietas galur murni untuk mempertahankan identitas varietas, dan mendapatkan varietas yang memiliki horizontal serta mempunyai adaptasi luas pada lingkungan baru. Tujuan utama dari seleksi massa adalah untuk meningkatkan frekuensi genotipe unggul dari populasi genetik yang berubah-ubah dengan perbedaan karakter yang jelas (Syukur *et al.*, 2012).

Seleksi massa terdiri atas dua tipe, yaitu seleksi massa negatif dan seleksi massa positif. Seleksi dengan membuang tanaman-tanaman yang tidak diinginkan dinamakan seleksi massa negatif. Sebaliknya, seleksi yang hanya memanen tanaman-tanaman yang diinginkan untuk proses seleksi lebih lanjut merupakan seleksi massa positif. Seleksi massa merupakan seleksi yang mudah dan sederhana karena hanya terdiri dari satu generasi per siklus. Seleksi massa efektif untuk karakter dengan heritabilitas tinggi seperti umur berbunga, tinggi tanaman, dan populasi yang sangat heterogen (Sumarno *et al.*, 2013).

b. Kegunaan Seleksi Massa

Seleksi massa bertujuan mengurangi keragaman genetik dari suatu populasi dan meningkatkan frekuensi gen yang diinginkan. Kegunaan seleksi massa adalah dapat memperbaiki populasi *landrace*, memurnikan varietas galur murni untuk mempertahankan identitas varietas, dan mendapatkan varietas yang memiliki ketahanan horisontal (*horizontal resistance*) serta mempunyai adaptasi luas pada lingkungan baru (Syukur *et al.*, 2012).

c. Kelebihan dan Kekurangan Seleksi Massa

Kelebihan dan kelemahan pada seleksi massa adalah sebagai berikut (Syukur *et al.*, 2012).

Kelebihan seleksi massa :

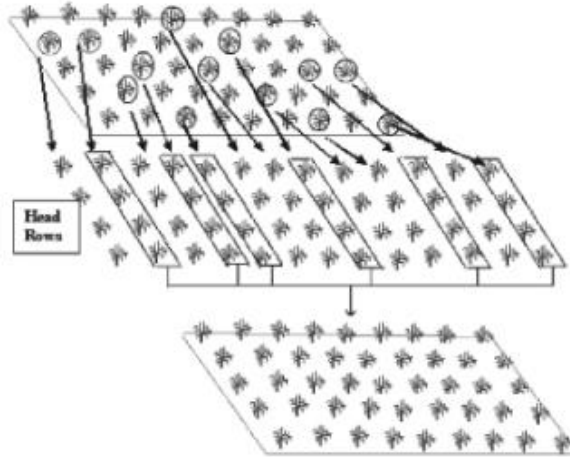
1. Mudah dilaksanakan
2. Murah
3. Dapat dilakukan pada populasi besar
4. Dapat menekan terjadinya silang dalam (*inbreeding*)

Kelemahan seleksi massa :

1. Seleksi berdasarkan fenotipe sehingga keberhasilannya sangat tergantung dari nilai heritabilitas. Karakter yang mempunyai heritabilitas tinggi akan lebih berhasil dibandingkan dengan karakter yang mempunyai heritabilitas rendah. Pada karakter yang mempunyai heritabilitas rendah, lingkungan sangat mempengaruhi penampilan sehingga menyulitkan pengamatan apakah tanaman yang fenotipe baik disebabkan oleh faktor genetik atau lingkungan.
2. Untuk seleksi massa tidak langsung, korelasi antara karakter seleksi dengan karakter tujuan harus tinggi. Sebaiknya tidak melakukan seleksi terhadap karakter yang berkorelasi negatif terhadap hasil.
3. Seleksi massa hanya efektif untuk sifat-sifat yang dikendalikan oleh gen-gen aditif.
4. Tanaman homozigot dominan dan heterozigot mempunyai fenotipe yang sama (kasus: dominan-resesif atau tidak ada interaksi antar alel) sehingga sulit dibedakan. Jadi, seleksi harus dilanjutkan pada generasi berikutnya.

d. Prosedur Seleksi Massa

Saat musim tanam pertama, tanaman ditanam pada jarak tanam renggang sehingga memudahkan seleksi. Tanaman dipilih berdasarkan penampilan tiap individu. Jumlah tanaman yang dipilih tergantung dari tujuan yang ingin dicapai. Apabila seleksi bertujuan untuk memurnikan varietas yang tercampur maka tanaman yang dibuang lebih sedikit daripada yang terseleksi. Saat musim tanam kedua, benih-benih yang berasal dari satu tanaman ditanam pada baris yang sama untuk memastikan tidak ada segregasi sehingga diperoleh sejumlah baris. Benih yang dipanen dari beberapa baris, mempunyai karakter yang sama dan sesuai keinginan, kemudian dicampur. Saat musim tanam ketiga sampai keenam, dilakukan pengujian-pengujian, terbatas atau multilokasi, untuk mempelajari daya hasil dan daya adaptasi. Sebagai kontrol, digunakan varietas 10kaI, varietas asal atau keduanya. Prosedur seleksi massa selengkapnya ditampilkan pada gambar berikut (Syukur et al., 2012).



Gambar 7.3 Prosedur Seleksi Massa Pada Tanaman Menyerbuk Sendiri

7.4.2. Seleksi Galur Murni

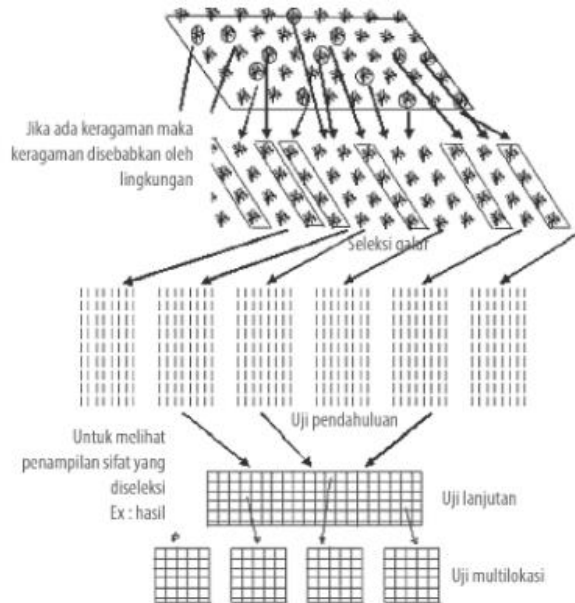
a. Pengertian dan Tujuan Seleksi Galur Murni

Seleksi galur murni merupakan prosedur isolasi galur murni dari populasi campuran (Poehlman dan Sleper 1995). Menurut Osei et al., (2015), kultivar yang dikembangkan dari hasil seleksi galur murni lebih seragam dibandingkan dengan kultivar hasil seleksi massa. Hasil evaluasi keragaan kacang bogor asal lanras sukabumi hasil seleksi galur murni oleh Hilalullaily (2017), menunjukkan bahwa hampir seluruh karakter yang diamati tidak dipengaruhi oleh jenis genotipe kecuali pada karakter tinggi tanaman dan jumlah daun. Karakter yang memiliki nilai heritabilitas sedang adalah tinggi tanaman dan jumlah daun, sementara nilai heritabilitas karakter lainnya termasuk rendah. Jumlah daun memiliki nilai heritabilitas sedang dan berkorelasi positif dengan jumlah polong total, sehingga jumlah daun dapat dijadikan sebagai kriteria seleksi dengan karakter sekunder. Seleksi ini ditujukan pada populasi sebelum hibridisasi, tetapi dapat juga untuk populasi bersegregasi (seleksi pedigree). Seleksi ini pertama kali dikembangkan oleh seorang botanis asal Denmark, Johansen tahun 1903. Ia menyeleksi tanaman kacang merah, *Phaseolus vulgaris* var Princess Bean, berupa populasi campuran. Dari populasi kacang merah tersebut yang heterogen dalam ukuran dan bobot bijinya.

b. Prosedur Seleksi Galur Murni

Seleksi galur murni memberi kesempatan bagi famili / galur (barisan) untuk struktur tertentu, apakah sudah homozigot atau masih heterozigot (satu famili berasal dari satu tanaman). Keragaman dalam famili seharusnya lebih kecil dibandingkan dengan antar famili. Jika terjadi keragaman dalam famili maka keragaman ini disebabkan oleh lingkungan. Seleksi galur murni bisa menghasilkan lebih dari satu varietas. Seleksi ini banyak digunakan petani, dengan menyeleksi tanaman *off-type* (yang berpenampilan lebih baik) dari hamparan tanaman yang dimilikinya. Misalkan pada tanaman padi, dari beberapa ratus individu yang mempunyai penampilan baik yang berbeda dari yang lain. Individu-individu terseleksi dipanen dan ditanam pada barisan secara terpisah. Seleksi dilakukan pada barisan yang superior. Uji terakhir dilakukan dengan ulangan pada beberapa lokasi dan musim, menyertakan varietas pembanding (varietas yang mempunyai kekerabatan paling dekat dengan genotipe yang diuji dan varietas unggul lainnya). Saat musim pertama, ditanam populasi campuran dalam plot-plot atau barisan dengan jarak tanam renggang agar memudahkan melakukan seleksi.

Populasi campuran ini dapat berupa populasi introduksi, landrace, atau keturunan tanaman bersegregasi (persilangan *topcross* atau *multicross*). Masing-masing individu diamati karakter-karakter yang menonjol. Individu-individu yang mempunyai karakter baik dan berbeda dari yang lainnya, dipisahkan. Jumlah individu yang terseleksi adalah antara 200-1.000 individu. Masing-masing individu dipanen benihnya dan tetap terpisah (tidak digabung). Saat musim tanam kedua, benih yang berasal dari satu individu ditanam pada barisan atau petak kecil. Barisan tanaman superior dan seragam dipanen untuk diteruskan pada musim berikutnya (Syukur *et al.*, 2012).



Gambar 10.3. Prosedur seleksi galur murni untuk tanaman menyerbuk sendiri

Gambar 7.4. Prosedur Seleksi Galur Murni Pada Tanaman Menyerbuk Sendiri

7.4.3. Seleksi Curah/Bulk

a. Pengertian Seleksi Curah/Bulk

Metode bulk merupakan salah satu prosedur untuk silang dalam dari suatu populasi yang bersegregasi atau terpisah sampai level perubahan menuju suatu sifat yang homozigot itu dicapai. Seleksi dengan metode curah dilakukan dengan mencampurkan biji dari tongkol hasil silang sendiri dalam jumlah yang sama. Seleksi dilakukan sampai empat generasi dan evaluasi daya gabungannya dilakukan pada galur S4. Modifikasi dapat dilakukan dengan mengevaluasi daya gabung pada S1 dan galur terpilih digunakan untuk silang diri, tetapi biji 1-3 tongkol hasil silang diri dari galur terpilih dicampur dan silang diri dilanjutkan hingga mencapai homozigot. Seleksi curah dapat menghemat biaya dan dapat dilakukan dengan banyak populasi sekaligus (Takdir *et al.*, 2007)

Metode seleksi bulk berbeda dengan metode seleksi pedigree karena seleksi pada metode bulk dimulai pada generasi lanjut yaitu F6 setelah hibridisasi. Pada saat itu diharapkan populasi bulk sudah merupakan populasi yang homozigot untuk banyak karakter. Sedangkan pada generasi awal, seleksi hanya diandalkan

oleh pengaruh dari seleksi alam. Dari seleksi ini, maka individu-individu dengan daya kompetisi yang kuat (competitor kuat) saja yang berkembang pada populasi lanjut. Apabila dalam suatu populasi bulk terdapat dua genotype A dan B yang masing-masing merupakan competitor kuat dan competitor lemah (Hartatik, 2007).

b. Kelebihan dan Kekurangan Seleksi Bulk

Adapun beberapa kelebihan penggunaan metode bulk dalam pemuliaan tanaman, yakni:

1. Relatif murah dan sederhana
2. Cukup ekonomis untuk tanaman yang berumur pendek
3. Tanaman yang baik tidak akan terbuang
4. Beberapa generasi dapat dilakukan pada tahun yang sama.

Namun ada pula beberapa kekeurangan penggunaan metode bulk dalam pemuliaan tanaman, yaitu:

1. Silsilah galur tidak tercatat sejak awal
2. Seleksi alam pada suatu generasi awal dapat menghilangkan genotipe yang baik
3. Memerlukan lahan yang luas.

c. Prosedur Seleksi Curah/Bulk dan Kelebihan-Kelemahannya

Dalam prosedur ini, biji dipanen pada F2 dan generasi berikutnya dicampur dan ditanam. Seleksi ditunda sampai generasi berikutnya (F5 atau F6). Prosedurnya sebagai berikut:

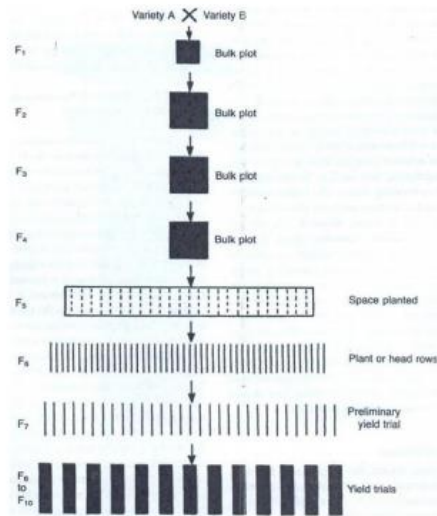
Tabel 7.1 Prosedur seleksi curah/bulk

Tahapan	Kegiatan
Persilangan	Persilangan Kultivar A x Kultivar B
F1	<ul style="list-style-type: none"> • Tanam antara 50-100 tanaman F1 • Buang tanaman yang mungkin berasal dari persilangan sendiri • Panen secara massal dan campur semua biji.
F2	<ul style="list-style-type: none"> • Tanam sekitar 2000-3000 tanaman F2 • Panen secara massal dan campur semua biji.

F3-F4	Tanam sekitar 1/5 sampai 1/100 hektar plot dengan biji yang telah dicampur dari generasi sebelumnya.
F5	Tanam sekitar 3000-5000 biji secara berjarak Pilih dan panen 300-500 tanaman unggul, pisahkan biji setiap tanaman.
F7	Tanaman keturunan unggul dari F6 dalam uji daya hasil
F8-F10	Uji daya hasil dilanjutkan pada lokasi berbeda seperti pada seleksi pedigree.
F11-F12	Kembangkan biji dari tanaman unggul dan disebarakan sebagai kultivar baru.

Metode ini mungkin digunakan untuk mendapatkan populasi tanaman yang tahan terhadap wabah penyakit, musim dingin, tahan kering, atau kondisi alam lainnya. Metode ini sering digunakan terhadap tanaman yang sulit untuk dipisahkan dan berjarak tanam sempit misalnya jenis biji-bijian kecil. Tidak ada informasi atau data yang diambil dari generasi awal seleksi terhadap tampilan galur tertentu sehingga menyebabkan beberapa genotipe yang diinginkan hilang dari populasi. Sebagai contoh, tanaman tinggi dan lambat mungkin saja menekan tanaman pendek dan cepat. *Bulk-population* dapat dimodifikasi dengan cara memilih di generasi F3 atau F4 dan memulai uji daya hasil meskipun tanaman masih memisah (Gambar 7.5). Galur dengan hasil unggul mungkin untuk diseleksi ulang sementara uji daya hasil dilanjutkan (Elvira, 2016).

Kelebihan metode bulk adalah 1) relatif murah dan sederhana untuk memelihara populasi bersegregasi, 2) generasi F1 sampai F4 pekerjaan tidak terlalu berat karena pada generasi tersebut tidak dilakukan seleksi, 3) ekonomis untuk tanaman-tanaman berumur pendek dan dapat ditanam pada jarak tanam sempit seperti padi, gandum, kedelai, kacang tanah, dll sehingga tidak mengurangi luas lahan percobaan, 4) tanaman yang baik tidak terbuang karena tidak dilakukan seleksi pada generasi awal, 5) beberapa generasi dapat dilakukan pada tahun yang sama, 6) seleksi alam pada generasi awal dapat meningkatkan frekuensi gen-gen baik. Kelemahan metode bulk adalah 1) silsilah galur tidak tercatat sejak awal, 2) seleksi alam pada generasi awal dapat menghilangkan genotipe-genotipe baik, 3) tanaman pada satu generasi belum tentu terwakili pada generasi selanjutnya, 4) jumlah tanaman pada generasi lanjut sangat banyak sehingga menyulitkan dalam seleksi dan memerlukan lahan sangat luas.



Gambar 7.5 Prosedur Seleksi Curah/Bulk

7.4.4 Seleksi Silsilah Pedigree

a. Pengertian Seleksi Pedigree

Seleksi pedigree, yaitu seleksi dilakukan pada generasi awal dan dengan pencatatan sehingga silsilah galur diketahui. Seleksi pedigree didasarkan pada penampilan individu terbaik dari famili terbaik (Andriani *et al.*, 2019). Metode ini dikatakan silsilah (pedigree) karena pencatatan dilakukan pada setiap anggota populasi bersegregasi dari hasil persilangan. Seleksi pedigree diperlukan untuk menyatakan dua galur tersebut serupa dengan mengkaitkan terhadap individu tanaman generasi berikutnya. Seleksi pedigree dapat diterapkan bila sifat yang diseleksi memiliki nilai heritabilitas yang tinggi dan diseleksi pada populasi yang bersegregasi. Karakter-karakter yang memenuhi kriteria tersebut adalah karakter kualitatif. Sedangkan, untuk karakter kuantitatif umumnya memiliki nilai heritabilitas rendah sehingga kurang efektif dilakukan perbaikan dengan menggunakan seleksi pedigree. Seleksi pedigree untuk perbaikan sifat-sifat kuantitatif biasanya dilakukan secara tidak langsung. Dalam hal ini seleksinya dilakukan pada karakter lain yang nilai heritabilitasnya tinggi dan berkorelasi positif serta berkaitan erat dengan hasil. Kanbar *et al.*, (2011) melaporkan bahwa galur-galur padi yang dihasilkan dari

metode seleksi pedigree memiliki superioritas yang lebih tinggi dibandingkan dengan galur-galur hasil seleksi modified bulk.

b. Tujuan Metode Seleksi Padigree

Tujuan metode seleksi pedigree adalah untuk memperoleh varietas baru dengan mengkombinasikan gen-gen yang diinginkan yang ditemukan pada 2 genotipe atau lebih. Rekombinasi dari dua genotype atau lebih tersebut diharapkan menghasilkan keturunan yang lebih baik dan lebih unggul dibandingkan rata-rata tetuanya. Tetua yang dipilih harus memiliki karakter yang diinginkan, diatur oleh gen yang memiliki potensi untuk digabungkan. Secara umum, salah satu tetua dipilih karena sudah bradaptasi dan diterima oleh masyarakat, karakter komponen yang tidak dimiliki oleh tetua lain, missal ketahanan terhadap penyakit. Pada saat melakukan persilangan, hal-hal yang harus diperhatikan yaitu ukuran populasi, untuk memperkirakan berapa F1 yang akan dihasilkan dan berapa F2 yang diinginkan., Tergantung pada kombinasi persilangan yang akan membentuk beberapa famili, persilangan dapat dilakukan di lapang atau rumah kaca,. luas lahan yang tersedia, dan kemampuan pelaksana lapang.

Dalam seleksi pedigree, seleksi dimulai pada generasi F2 dan berlanjut di generasi berikutnya sampai mencapai kemurnian genetik. Berikut tahapan seleksi pedigree:

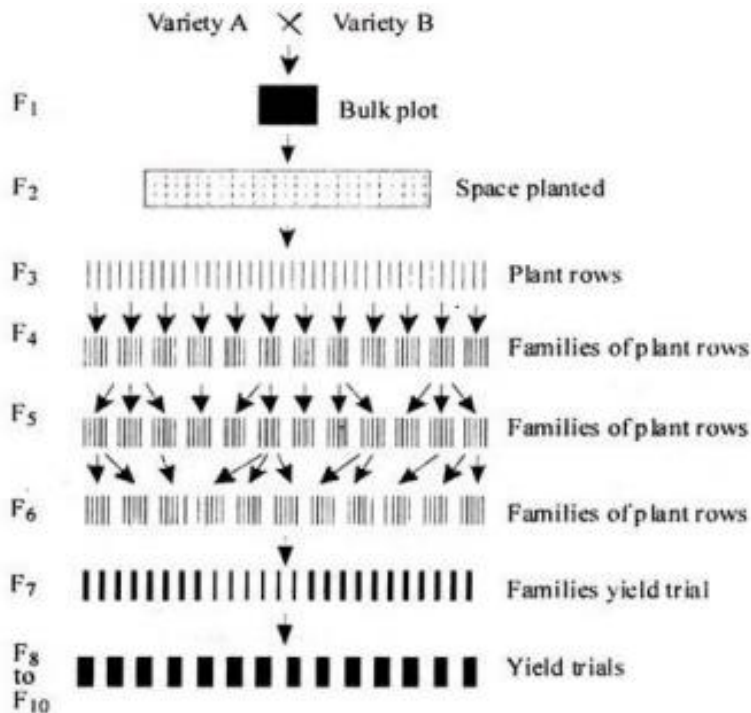
Tabel 7.2 Prosedur seleksi pedigree

Tahapan	Kegiatan
Persilangan	Persilangan Kultivar A x Kultivar B
F1	<ul style="list-style-type: none"> • Tanam antara 50-100 tanaman F1 • Buang tanaman yang mungkin berasal dari persilangan sendiri.
F2	<ul style="list-style-type: none"> • Tanam sekitar 2000-3000 tanaman F2 • Beri jarak tanam secukupnya untuk proses evaluasi • Pilih dan panen tanaman yang unggul terhadap sifat yang diinginkan. • Panen setiap biji secara terpisah dari setiap tanaman.
F3-F5	<ul style="list-style-type: none"> • Tanam turunan dalam barisan dari biji tanaman unggul yang dipanen dari generasi sebelumnya

	<ul style="list-style-type: none"> • Beri jarak baris untuk proses pengamatan identifikasi tanaman barisan unggul, kemudian pilih dan panen 3-5 tanaman unggul dalam barisan tersebut. • Lanjutkan seleksi antar dan dalam barisan sampai ke generasi F5. Secara umum, 25-50 kelompok/ famili akan dihasilkan di akhir seleksi generasi F5. • Pertahankan identitas dan barisan galur unggul yang disimpan
F6	<ul style="list-style-type: none"> • Tanam kelompok/famili barisan. Kelompok yang seragam dimung-kinkan untuk dipanen secara bersama dan kemudian biji dicampur (bulked) • Benih yang terpisah ditunjuk sebagai baris percobaan.
F7	<ul style="list-style-type: none"> • Tanam baris percobaan dalam percobaan awal di lapangan dan dibandingkan dengan kultivar yang telah beradaptasi.
F8 & F10	<ul style="list-style-type: none"> • Percobaan awal lapangan kultivar unggul dilanjutkan di dua atau lebih lokasi lainnya dan dibandingkan dengan kultivar komersial yang telah beradaptasi. • Hanya baris dengan hasil tertinggi akan dipertahankan untuk percobaan lapangan selanjutnya. • Lakukan pengamatan terhadap tinggi, kecenderungan untuk berkumpul, kematangan, ketahanan terhadap hama dan penyakit, kualitas dan sifat lain yang diperlukan untuk dipelajari selama masa percobaan. • Tanam barisan di satu kawasan untuk diuji hasil pada lingkungan yang berbeda akan membantu dalam mengidentifikasi baris dengan daya adaptasi lingkungan yang luas. • Jika setelah 3-5 tahun uji daya hasil, barisan unggul calon kultivar mungkin telah dapat teridentifikasi, satu galur mungkin akan terpilih untuk dikembangkan dan disebar sebagai kultivar baru.
F11 & F12	Kembangkan benih dan disebar sebagai kultivar baru.

Modifikasi seleksi pedigree dimungkinkan dengan cara melakukan percobaan atau uji lapangan secepat mungkin misalnya pada generasi F3 atau F4. Hanya baris atau galur dengan hasil tinggi akan dilanjutkan di seleksi

berikutnya. Atau cara lain adalah dengan menghentikan seleksi apabila telah ditemukan baris atau galur yang seragam. Seleksi pedigree merupakan salah satu metode seleksi padat karya dan mengharuskan pencatatan rinci semasa masa awal pemisahan generasi. Keuntungannya adalah hanya garis keturunan yang memiliki gen yang diinginkan akan terbawa ke generasi berikutnya. Metode ini juga memungkinkan untuk mendapatkan informasi genetik yang tidak mungkin didapat pada metode seleksi lainnya. Seleksi pedigree sangat cocok diterapkan pada seleksi tanaman dimana setiap individu tanaman harus dievaluasi dan dipanen secara terpisah seperti jenis sereal, kacang-kacangan, kedelai, tembakau atau tomat. Meskipun banyak digunakan untuk seleksi tanaman tertentu, kadang cara ini tidak diterapkan karena banyaknya tenaga kerja yang dibutuhkan. Selain itu, seleksi ini juga membutuhkan waktu yang lama (lebih kurang 12 tahun) untuk menghasilkan kultivar baru apabila setiap generasi membutuhkan satu tahun siklus tanam (Elvira, 2016).



Gambar 7.6 Prosedur Seleksi Pedigree/Silsilah.

7.4.4. *Single Seed Descent*

Metode *single seed descent* merupakan salah satu metode penggalan pada tanaman menyerbuk sendiri. Metode *single seed descent* dirancang untuk mengembangkan galur murni superior dan telah berhasil digunakan pada tanaman sereal, kedelai, tomat, dan selada. Seleksi pada metode *single seed descent* dilakukan di generasi lanjut (F5/F6) pada saat proporsi homozigositas sudah tinggi (Chahal & Gosal 2003). Keunggulan metode *single seed descent* adalah dapat mempertahankan keragaman genetik yang luas seperti generasi awal dan dapat menghasilkan sejumlah galur yang superior untuk hasil biji tanaman⁻¹ pada generasi lanjut. Hal ini disebabkan karena peran seleksi alam sehingga genotipe yang tumbuh merupakan genotipe unggul yang mampu beradaptasi terhadap lingkungan (Ibrahim 2015).

Metode *single seed descent* menghasilkan keragaman maksimum pada saat generasi akan diseleksi dan meningkatkan segregasi transgresif. Langkah awal pada metode *single seed descent* dilakukan untuk membentuk galur-galur homozigot dengan keragaman genetik yang luas. Seleksi yang tidak dilakukan pada generasi awal mengakibatkan tidak terjadi perubahan frekuensi gen, tetapi hanya mengubah frekuensi genotipe. Hal ini mengakibatkan dari generasi ke generasi frekuensi genotipe homozigot akan meningkat, sedangkan frekuensi genotipe heterozigot menurun sehingga seleksi pada populasi penggalan hasil *single seed descent* efektif dilakukan pada generasi lanjut F5/F6 (Roy 2000).

Kelebihan metode ini adalah; keperluan lahan lebih sempit karena benih yang ditanam satu biji dari setiap tanaman, pencatatan dan pengamatan jauh lebih sederhana, dimungkinkan untuk menanam sejumlah generasi tiap tahun melalui pengendalian lingkungan, misalnya dalam rumah kaca, tanaman yang baik tidak terbuang karena tidak dilakukan seleksi pada generasi awal, seleksi alam pada generasi awal dapat meningkatkan frekuensi gen-gen baik

Kelemahannya adalah; identitas unggul dari generasi F2 tidak diketahui, bila pemilihan sejak awal generasi tidak jeli dan kurang tajam maka dapat mengakibatkan hilangnya beberapa individu tanaman yang superior karena pemilihan hanya berdasarkan satu tanaman tunggal, seleksi alam pada generasi awal dapat menghilangkan genotipe-genotipe baik, jumlah tanaman pada generasi lanjut sangat banyak sehingga menyulitkan dalam seleksi dan memerlukan lahan sangat luas. Prinsip metode ini adalah menangani populasi

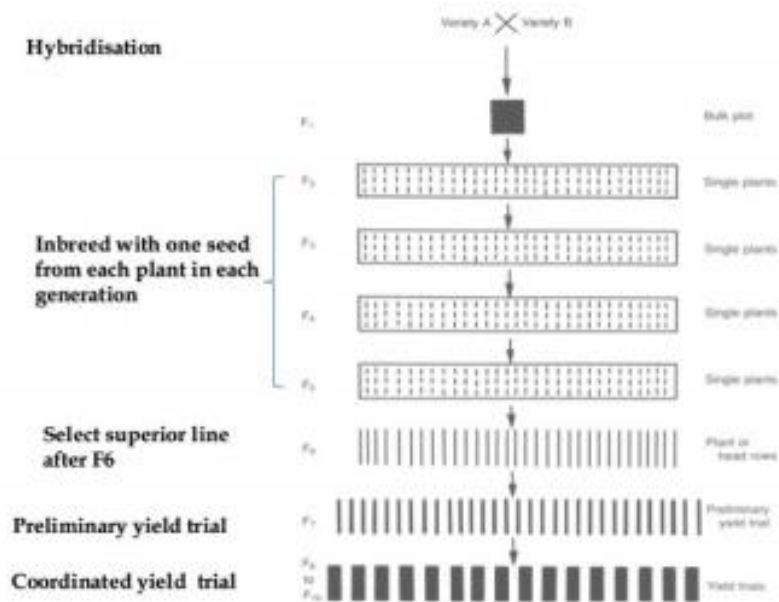
bersegregasi selama beberapa generasi dengan melakukan kegiatan seleksi pada generasi lanjut sehingga jumlah individu diharapkan sama sampai mencapai tingkat homozigositas yang diinginkan. Individu tanaman terpilih dari hasil persilangan pada F2 ditanam satu biji satu keturunan, sampai mencapai tingkat keseragaman yang diinginkan pada generasi lanjut F5/F6. Metode *single seed descent* secara teknis tidak memerlukan lahan yang luas membutuhkan waktu dan tenaga lebih sedikit serta pencatatan dan pengamatan jauh lebih sederhana (Syukur et al., 2012). Keturunan tanaman F2 diseleksi melalui generasi berikutnya dari biji tunggal. Prosedurnya adalah sebagaimana pada Tabel 7.3.

Tabel 7.3 Prosedur Seleksi *single seed descent*

Tahapan	Kegiatan
Persilangan	Persilangan Kultivar A x Kultivar B
F1	<ul style="list-style-type: none"> • Tanam antara 50-100 tanaman F1
F2	<ul style="list-style-type: none"> • Tanam sekitar 2000-3000 tanaman F2 • Panen satu biji dari setiap tanaman. Identitas tanaman F2 tidak dijaga.
F3-F4	<ul style="list-style-type: none"> • Tanam biji dari generasi sebelumnya. • Panen satu biji dari setiap tanaman.
F5	<ul style="list-style-type: none"> • Tanam berjarak di lapangan • Pilih tanaman unggul berdasarkan sifat yang diinginkan dan panen biji dari tanaman terpilih.
F6	<ul style="list-style-type: none"> • Tanam tanaman dari keturunan generasi sebelumnya dalam barisan. • Panen barisan unggul yang diinginkan dan panen biji dari tanaman terpilih.
F7	<ul style="list-style-type: none"> • Tanam untuk uji daya hasil awal dari barisan tanaman sebelumnya.
F8-F10	Uji daya hasil dilanjutkan pada lokasi berbeda seperti pada seleksi pedigree dan <i>bulk population</i> .
F11 & F12	Galur dikembangkan disebarkan sebagai kultivar baru.

Alternatif lain adalah dengan menanam secara berjarak generasi F4 dan F5 dalam barisan sehingga dapat dipercepat satu generasi ke uji daya hasil. Dikarenakan hanya satu biji yang dipanen dari setiap tanaman, pertumbuhan tanaman optimum tidak diperlukan pada generasi F2 s/d F4. Penanaman benih

secara rapat dalam rumah kaca, menanam pada tanah kurang subur, dan menggunakan suhu dan cahaya ekstrim untuk mempercepat kematangan mengakibatkan satu atau dua generasi dapat dipanen dalam periode setahun. Sehingga uji daya adaptasi dapat dipercepat 1 sampai 2 tahun lebih awal. Metode ini banyak dijumpai pada seleksi kedelai, serealisa musim panas seperti gandum, oat, jelai (Elvira, 2016).



Gambar 7.7. Prosedur Seleksi *Seed Descent*

7.4.5. Seleksi Silang Balik (*Backcross*)

Metode silang balik (*backcross*) merupakan prosedur yang digunakan untuk memperbaiki galur yang sudah ada tetapi perlu ditambah karakter yang lain, Galur yang hendak diperbaiki yaitu tetua pengulang (*recurrent parent*) karakter-karakternya tetap dipertahankan kecuali karakter yang hendak diintrogressikan dari tetua donor. Galur A (tetua pengulang) disilangkan dengan galur donor X, selanjutnya F₁ atau F₂ disilangkan kembali dengan galur A. Dengan beberapa silang balik dengan galur A akan diperoleh galur A yang karakternya sama dengan galur tetapi mengandung gen yang diinginkan yang berasal dari galur X. Dalam silang balik harus jelas karakter yang diinginkan sehingga dapat diikuti selama proses seleksi (Wahyu *et al*, 2014).

Menurut Hasan *et al.* (2015) *backcross* (silang balik berulang) adalah metode pemuliaan yang biasa digunakan untuk mentransfer alel pada satu atau lebih lokus dari tetua donor ke tetua pengulang. Diharapkan tetua pengulang atau *recurrent parent* (RP) terjadi pemulihan genom dengan tingkat 99,2% setelah silang balik ke enam. Proporsi genom RP pulih pada tingkat $1 - (1/2)^t + 1$ untuk masing-masing generasi silang balik. Namun, setiap keturunan silang balik tertentu (BC3 atau BC2), akan ada yang menyimpang selama penyilangan sehingga mengakibatkan peluang besar untuk mendapatkan hasil yang diharapkan yang tidak mungkin untuk mendeteksi fenotip. Misalnya, dalam populasi BC1, secara teoritis persentase rata-rata genom RP adalah 75% untuk seluruh tanaman, tetapi beberapa tanaman akan memiliki lebih atau kurang dari genom RP daripada yang lain. Tanaman yang mengandung RP genom tertinggi yang akan dipilih pada tahap tersebut. Metode silang balik akan mudah dan berhasil dijalankan dengan baik apabila sifat atau karakter yang akan ditambahkan mudah diwariskan, bersifat dominan, dan mudah dikenali pada tanaman hasil persilangan (Hasan *et al.*, 2015)

Kelebihan dan Kelemahan Metode Silang Balik

Kelebihan metode silang balik yaitu mempunyai tingkat kontrol genetik yang tinggi, sifat yang akan diperbaiki dapat diterangkan sebelum metode diterapkan, varietas yang sama dapat dibentuk lagi, pengujian berlanjut tidak dilakukan karena varietas yang dipilih mempunyai potensi tinggi, masalah genetik dan lingkungan dapat dikurangi, serta intensitas sifat yang dipindahkan tidak berubah. Sedangkan kelemahannya adalah jumlah sifat terbatas, tidak cocok untuk sifat kuantitatif yang mempunyai heritabilitas rendah, sulit diterapkan pada tanaman menyerbuk silang, selain itu jika gen yang diinginkan terpaut dengan gen sifat yang tidak diinginkan maka sulit membuang gen tersebut (Syukur *et al.*, 2015).

Kelemahan silang balik dengan gen yang diinginkan terpaut dengan gen sifat yang tidak diinginkan sering terjadi pada metode silang balik secara konvensional. Hal ini sulit dilakukan karena dapat terjadi linkage (pewarisan alel donor), untuk menghindari hal tersebut drag pada seleksi secara konvensional, dibutuhkan 100 generasi silang balik. Sehingga diperlukan penanda gen agar mudah mengeliminasi gen yang tidak diinginkan oleh pemulia tanaman seperti

menggunakan marka yaitu Marker-assisted backcrossing (MABC) sebagai alat bantu seleksi dan memerlukan silang balik hanya pada beberapa generasi. Penanda molekuler efektif membantu untuk keperluan seleksi silang balik dengan cara menseleksi alel-alel target yang efeknya sulit untuk pengamatan secara fenotipik (Young dan Tanksley, 1989 dalam Lukman, 2013).

Tipe Seleksi Silang Balik

Terdapat 2 tipe seleksi yang dikenal pada tahapan silang balik yaitu seleksi *foreground* dan *background*. Seleksi *foreground* untuk menseleksi individu tanaman yang mengandung alel donor pada lokus target. Tujuannya menjaga lokus target dalam keadaan heterozigot (gabungan alel dari donor dan recurrent parent). Sampai dengan tahap akhir *backcrossing*, tanaman kemudian diselfing pada kondisi homozigot dari donor. Sedangkan seleksi *background* yaitu mendeteksi alel-alel dari recurrent parent di seluruh genom (Lukman, 2013).

7.4.6. Seleksi *ear to row* dan Seleksi Berulang

Seleksi *Ear to Row* merupakan salah satu metode seleksi yang terjadi pada tanaman menyerbuk silang. Nama lain dari metode ini yaitu seleksi tongkol ke baris (*ear to row*), Seleksi *ear to row* merupakan modifikasi dari seleksi massa, seleksi ini membutuhkan dua musim, sesuai namanya maka seleksi ini digunakan untuk tanaman yang memiliki tongkol, seperti jagung. Namun hingga saat ini seleksi *ear to row* digunakan untuk tanaman menyerbuk silang secara umum.

Tahap Seleksi Ear to row dan Seleksi Berulang

Tahapan seleksi barisan-satu-tongkol adalah sebagai berikut (Made *et al.*):

1. *Musim 1*: Sama seperti seleksi massa, ditanam populasi dasar materi seleksi, dibuat persilangan half-sib.
2. *Musim 2*: Evaluasi famili saudara tiri dalam percobaan berulang, pilih 20-30 famili.
3. *Musim 3*: Famili-famili terpilih disilangkan sesamanya (kawin acak) untuk membentuk famili saudara tiri baru sebagai bahan untuk dievaluasi pada daur berikutnya .

Seleksi tongkol ke baris ini efektif untuk sifat-sifat dengan heritabilitas sedang sampai tinggi, tetapi tidak efektif untuk sifat dengan heritabilitas rendah. Seleksi ini telah dilakukan pada jagung untuk perbaikan sejumlah sifat, misalnya terhadap prosentase. Skema seleksi ini tidak memerlukan pengontrolan terhadap penyerbukan kecuali isolasi terhadap sumber pollen lain pada waktu pembungaan. Seleksi hanya dilakukan pada induk-induk betina saja. Ketelitian seleksi tongkol ke baris diharapkan bertambah dengan evaluasi terhadap progeni yang diulang secara acak, yang dikenal dengan metode *ear to row to ear*. Prosedurnya sebagai berikut :

1. Dimulai dengan menanam biji dari setiap tongkol pada barisan progeni yang berbeda pada setiap ulangan.
2. Satu lokasi yang merupakan salah satu ulangan diperlakukan sebagai blok persilangan yaitu dengan menanam 2 barisan tanaman yang berfungsi sebagai sumber pollen di antara 4 barisan progeni lain yang dikediri.
3. Barisan sumber pollen ini merupakan campuran tanaman yang sama jumlahnya dari tiap-tiap barisan progeni.
4. Pada waktu panen tongkol-tongkol dari lima tanaman terbaik pada tiap barisan progeni ditandai.
5. Identifikasi tongkol-tongkol ini hanya pada progeni dengan 20% lebih tinggi dari hasil rata-rata pada semua lokasi.
6. Biji pada tongkol-tongkol ditaman pada tahun berikutnya untuk siklus selanjutnya.

Keunggulan dari metode ini yaitu dapat meningkatkan hasil tanaman (khususnya tanaman jagung) dengan fasilitas yang minimum, memperpendek waktu siklus selama setahun, juga dengan metode ini sekaligus kita melaksanakan seleksi massa dan seleksi ear to row (Dita *et al.*, 2013).

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, Ni Putu. (2011). *Jurnal Ilmu Gizi. Aspek Keamanan Pangan Genetically Modified Food (GMF)*. Vol.2.No.1. Hal: 27-36
- Ajay Dash (2008). *Modern Concepts in Nanotechnology*, Volume 5. Discovery Publishing House. ISBN 978-81-8356-296-6.
- Alatas, Zubaidah. 2006. Efek Pewarisan Akibat Radiasi Pengion. *Iptek Ilmiah Populer* Volume 8 Nomor 2 hal. 65 – 74
- Amirhusin, Bahagiawati. (2004). *Jurnal Litbang Pertanian. Perakitan Tanaman Transgenik Tahan Hama*. Vol 1. No.1. Hal:23.
- Andi Takdir, M., Sunarti, S., & Mejaya, M. J. 2007. Pembentukan varietas jagung hibrida. *Penelitian Agrotek* (3), 74–95.
- Andriani, D. and Wirnas, D., 2019. Efektivitas Metode Seleksi Pedigree dan Modified Bulk pada Tiga Populasi Sorgum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench). *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 47(3), pp.275-282
- Anna M., dkk. 2017. Genome Editing with CRISPR-Cas9 Systems: Basic Research and Clinical Applications. *Indones Biomed J.* 9(1): 1-16
- Apipah. 2014. Kelebihan dan Kekurangan Reproduksi Seksual
- Artanti, G.D., Hardinsyah, D. K. S. Swastika, dan Retnaningsih. 2010. Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi penerimaan petani terhadap produk rekayasa genetika. *Jurnal Gizi dan Pangan*, 5 (2): 113 – 120.
- Arumingtyas, Laras, Estri. Widyarti, Sri. Rahayu, Sri, 2011, "Biologi Molekular, Prinsip Dasar Analisis", PT Penerbit Erlangga Jakarta.
- Asadi, 2013. Pemuliaan Mutasi Untuk Perbaikan Terhadap Umur Dan Produktivitas Pada Kedelai. *Jurnal Agrobiogen* 9 (3) : 135-142
- Asadi, A.2016. Pemuliaan Mutasi untuk Perbaikan terhadap Umur dan Produktivitas pada Kedelai. *Jurnal Agro Biogen*, 9(3), 135-142

- Ayda Krisnawati dan MM Adie. 2011. Heterosis, Heterobeltiosis dan Tidak Gen Karakter Agronomik Kedelai {*Glycine max* (L.) Merrill}. *Jurnal Berita Biologi* Vol. 10 No. (6) Hal 827-836.
- Azrai, Muhammad. 2005. Pemanfaatan Markah Molekuler dalam Proses Seleksi Pemuliaan Tanaman. *Jurnal Agro Biogen*. 1(1) : 26-37.
- Bambang Sutaryo, Aziz Purwantoro, Nasrullah. 2003. Heterosis Standar Hasil Gabah Dan Analisis Lintasan Beberapa Kombinasi Persilangan Padi Pada Tanah Berpengairan Teknis. *Jurnal Ilmu Pertanian* Vol. 10 No. 2, Hal. 70-78.
- Bangun S., P., dan Purwani K., I. 2017. Pengaruh Mutagen Kimia EMS (*Ethyl Methane Sulphonate*) Terhadap Daya Berkecambah Benih Tanaman Tembakau var. Marakot. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*. Vol. 6, No.2
- Berg P, Baltimore. 1975. "Summary statement of the Asilomar conference on recombinant DNA molecules". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 72 (6): 1981–4.
- Bratspies, Rebecca (2007). "Some Thoughts on the American Approach to Regulating Genetically Modified Organisms". *Kansas Journal of Law & Public Policy*. 16 (3): 101–31. SSRN 1017832
- Chaidir, L. Epi, A. Taofik. 2015. Eksplorasi, Identifikasi, dan Perbanyakan Tanaman Ciplukan dengan Menggunakan Metode Generatif dan Vegetatif. 9(1):84
- Cummings, Michael R. 2011. *Human Heredity : Principles and Issues, Ninth Edition*. New York : Brooks/Cole Cengage Learning.
- Daniel Peter Lauterboom. 2020. Uji Heterosis Hibrida F1 dan F1R Hasil Persilangan Dua Jenis Tanaman Jagung (*Zea mays*, L). *Jurnal Agricola*, Vol. 10 No. (1). Hal. 34 – 43.
- Dede N. 2012. Pemuliaan Tanaman Cepat Dan Tepat Melalui Pendekatan Marka Molekuler. *E-jurnal UIN Malang*. Vol. 2, No.2
- Dita K., Niken K., Arifin N., S. 2013. Seleksi Tongkol Ke Baris (*Ear To Row Selection*) Jagung Ungu (*Zea Mays* Var *Ceratina* Kulesh). *Jurnal Produksi Tanaman*. Vol. 1 No. 5
- Dr. Dewi Ayu Warmadewi, S.Pt., M.Si, 2017. Mutasi Genetik. *Buku Ajar*. Universitas Udayana. Denpasar Bali.

- Duwayri, M. and G. Hawtin. 2001. The importance of improving conservation and genetic diversity of crop varieties. In Cooper, H.D., C. Spillane, and T. Hodgkin (Eds.). *Broadening the Genetic Base of Crop Production*. CABI Publishing, FAO-IPGRI.
- Effendy, Respatijarti, Budi Waluyo. 2018. Keragaman Genetik dan Heritabilitas Karakter Komponen Hasil dan Hasil Ciplukan (*Physalis sp.*). *Jurnal Agro 5(1)*, 2018. Universitas Brawijaya. Malang.
- Elvira Sari Dewi, S.P., M.S. 2016. Buku Ajar Mata Kuliah Pemuliaan Tanaman Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Malikussaleh.
- Elvira, Sari (2016). Buku Ajar Mata Kuliah Pemuliaan Tanaman. Fakultas Pertanian Universitas Malikussaleh
- Gibson DG, Glass JI, Lartigue C, Noskov VN, Chuang RY, Algire MA, et al., 2010. "Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome". *Science*. **329**(5987): 52–6
- Goeddel DV, Kleid DG, Bolivar F, Heyneker HL, Yansura DG, Crea R, Hirose T, Kraszewski A, Itakura K, Riggs AD. 1979. "Expression in *Escherichia coli* of chemically synthesized genes for human insulin". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. **76** (1): 106–10.
- Gungun Wiguna dan Uun Sumpena. 2016. Evaluasi Nilai Heterosis dan Heterobeltiosis Beberapa Persilangan Mentimun (*Cucumis sativus L.*) pada Berbagai Altitud. *Jurnal Hort*. Vol. 26 No. 1. Hal. : 1-8.
- Harahap, Fauziah (2011) *Kultur Jaringan Tanaman*. Unimed Press, Medan.
- Hartanto, L.N., 2004, "Biologi Dasar", Edisi Ketiga, Penerbit Penebar Swadaya, Yogyakarta.
- Hartatik, Sri. 2007. *Pengantar Pemuliaan Tanaman*. Jawa Timur: Jember University Press.
- Hasan, M.M., M.Y. Rafii., M.R. Ismail, M. Mahmood, H.A. Rahim, Md.A. Alam, Sashkani, Md.A. Malek., and M.A. Latif . 2015. *Marker-Assisted Backcrossing: A Useful Method For Rice Improvement*. *Biotechnol Equip*. **29**(2): 237–254.
- Hendarti L. 2008. Menepis Kabut Halimun: Rangkaian Bunga Rampai Pengelolaan Sumberdaya Alam di Halimun. Jakarta (ID): Yayasan

Obor Indonesia, The Ford Foundation, dan Rimbawan Muda Indonesia (RMI).

- Herawan, Toni, Et al., Kultur Jaringan Cendana (*Santalum Album L.*) Menggunakan Eksplan Mata Tunas. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan*, 2015, 9.3: 177-188.
- Hidayat S, Hikmat A , Zuhud EAM. 2009. kajian etnobotani Masyarakat Kampung Adat Dukuh Kabupaten Garut, Jawa Barat [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Hilalullaily R. 2017. Evaluasi keragaan karakter kuantitatif kacang bogor (*Vigna subteranea (L.) Verdc.*) asal lanras Sukabumi hasil seleksi galur murni [skripsi]. Bogor [ID] : Institut Petanian Bogor
<https://www.google.com/amp/s/www.idntimes.com/science/discovery/amp/dah-li-anggara/fenomena-kehidupan-organisme-akibat-mutasi-c1c2>.
Diakses Tanggal 11 Oktober 2020.
- Ibrahim HM. 2015. Effectiveness of breeding methods for production of superior genotypes and maintenance of genetic variance in faba bean (*Vicia faba, L.*). *American J ournal of Life Science*. 3(1): 11-16.
- Idntimes.com. 2020. *Fenomena Alamiah yang Terjadi pada Kehidupan Organisme akibat mutasi*.
- Ismail, R. S., Putri, Y. S., Valdano, K., dan Viona, A. A. 2017. Makalah “*Peran Domestikasi dalam Perubahan Karakter Tanaman Modern*”. Fakultas Pertanian, Universitas Padjajaran, Jawa Barat.
- Iswandono E. 2007. Analisis pemanfaatan dan potensi sumberdaya tumbuhan di Taman Wisata Alam Ruteng, Nusa Tenggara Timur [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor
- Izquierdo, R. M. 2001. *Genetic Engineering*. 2nd Ed. Pyramid, Madrid, Pp 344.
- James, Clive. 1996. "*Global Review of the Field Testing and Commercialization of Transgenic Plants: 1986 to 1995*". The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications
- Kamus Besar Bahasa Indonesia. 2008. Jakarta (ID) : Balai Pustaka
- Kanbar, A., K. Kondo, H.E. Shashidhar. 2011. Comparative efficiency of pedigree, modified bulk and single seed descent methods of selection for developing high yielding line in rice (*Oryza sativa L.*) under aerobic condition. *Electro. J. Plant Breed*. 2:184-194.

- Kartawiguna, E. (2001). Faktor-faktor yang berperan pada karsinogenesis. *Jurnal Kedokteran Trisakti*, 20(1), 22-23.
- Kasi Pauline Destinugrainy. September 2013. *Jurnal Dinamika. Adaptasi Tumbuhan Temperatur Rendah*. Program Studi Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Cokroaminoto, Palopo. Vol 04 (2) : 32 – 40.
- Ketut Sarna, dkk., 2001. Buku Ajar Genetika. Singaraja: IKIP N Singaraja.
- Khairunissa, dkk. (2005). *Pemuliaan Tanaman Dan Biologi Molekuler*. Vol.1. Hal :1-6
- Kimballl, J.W., Siti Soetarmi Tjitro dan Nawangsari Sugiri, 1983, “Biologi”, Jilid 1, Edisi Kelima, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Kimballl, J.W., Siti Soetarmi Tjitro dan Nawangsari Sugiri. 1983, “Biologi”, Jilid 2, Edisi Kelima, Erlangga, Jakarta
- Klug, W. S dan M. R. Cummings. 2002. *Concepts of Genetics*. 7th Ed. ISBN 0130929980. Prentice Hall, New Jersey, Pp 800
- Kusumo S., dkk. 2002. *Pedoman Pembentukan Komisi Daerah dan Pengelolaan Plasma Nutfah. Komisi Nasional Plasma Nutfah*. Departemen Pertanian Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta.
- Lotter, D. 2008. The Genetic Engineering of Food and the Failure of Science – Part 1: The Development of a Flawed Enterprise. *Int. Jrnl. of Soc. of Agr. & Food*, 16(1): 31–49.
- Lukman, R., A. Afifuddin., dan Hoerussalam. 2013. Pemanfaatan teknologi molecular breeding dalam pemuliaan ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit. *J. AGROTEKNOS*. 3 (2):101-108.
- Made J. Mejaya, M. Azrai, dan R. Neni Iriany. 2016. Pembentukan Varietas Unggul Jagung Bersari Bebas. *Balai Penelitian Tanaman Serealia*. Maros.
- Malau, Dr. Ir. Sabam. 2005. *Biometri Genetika dalam Pemuliaan Tanaman*. Medan: Universitas HKBP Nommensen
- Mangoendidjojo, W. 2007. *Dasar-dasar pemuliaan tanaman*. Kanisius. Jakarta.
- Mangoendidjojo, W. 2012. *Dasar-dasar Pemuliaan Tanaman*. Yogyakarta: Kanisius
- Master Jani. 2015. *Biologi Umum Reproduksi Tumbuhan Biji*. Jurusan Biologi FMIPA. Universitas Lampung. Lampung.

- Moh. Hari Wahyudi, dkk. 2006. Evaluasi Daya Gabung dan Heterosis Hibrida Hasil Persilangan Diallel Lima Genotipe Jagung Pada Kondisi Cekaman Kekeringan. Vol. 17, No. 1.
- Muladno, 2002. *Teknik Rekayasa Genetika*. Pustaka Wirausaha Muda. Bogor.
- Munarso, Y. P. (2013). Perkembangan Penelitian Pembentukan Galur Mandul Jantan pada Perakitan Padi Hibrida. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 31(4).
- Murstikarini, E. D., T. Lestari, dan G.I. Prayoga. 2019. *Plasma Nutfah*. Cetakan Pertama. Uwais Inspirasi Indonesia. Jawa Timur.
- Nugraha A, Murtijo. 2005. *Antropologi Kehutanan*. Tanggerang (ID): Wana Aksara.
- Nugraha, Y., Munarso, Y. P., & Satoto, S. (2015). Pembentukan Galur Mandul Jantan Baru Padi Hibrida Tahan Penyakit Hawar Daun Bakteri dan Hama Wereng Batang Coklat. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 30(1), 9-16.
- Nur, A., & Syahrudin, K. 2016. Aplikasi Teknologi Mutasi dalam Pembentukan Varietas Gandum Tropis. Puslitbang Tanaman Pangan. Bogor, 201.
- Nuraida D., 2012. Pemuliaan Tanaman Cepat Dan Tepat Melalui Pendekatan Marka. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Cepat* 2(2) : 97-103.
- Pagala, M. A. dan Nafiu, L. O. 2020. *Teknologi Biomarka Molekuler*. Universitas Halu Oleo Press. Kendari.
- Palennari Muhiddin,. Hamkah Lodang,. Faisal,. Abd Muis. 2016. *Biologi Dasar*. Alauddin University Press. Makassar.
- Pamulardi, Bambang. 1999, *Hukum Kehutanan dan Pembangunan Bidang Kehutanan*, PT Raja Grafindo Persada, Jakarta, hal. 186.
- Pawiroharsono, S. 2011. *Rangkuman Sosialisasi Model Pengembangan Pertanian Lahan Rawa Melalui Inovasi (MP2LRMI)*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian, Kalimantan Selatan, 1 Desember 2011.
- Poehlman JM, Sleper DA. 1995. *Breeding field crops* 4th ed. Iowa (US). Iowa State University Press

- Ralph. 2012, "Biologi 1. Starr, Cecie. Taggart, Evers, Christine. Starr, Lisa, Kesatuan dan Keragaman Makhluk Hidup", Edisi 12, Buku 1, Penerbit Salemba Teknika, Jakarta.
- Rokhayatai Ida. 2018. *Ilmu Pengetahuan Alam*. Edisi Cetakan ke-2. Jakarta.
- Roy D. 2000. *Plant Breeding Analysis and Exploitation of Variation*. New Delhi (IN): Narosa Publishing House.
- S, Sunarya, Murdaningsih H.K.N, Rostini Sumadi.2017.Variabilitas genetik, kemajuan genetik dan pola kluster populasi tegakan benih *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen setelah seleksi massa berdasarkan marka morfologi.*Jurnal Kultivasi Vol. 16(1) Maret 2017*.Padjadjaran University.
- Satoto, dkk. 2009. *Prospek Pengembangan Varietas Padi Hibrida*. Balai Besar Penelitian Padi. (Hal. 29-61).
- Satoto, S., & Rumanti, I. A. (2018). Peranan Galur Mandul Jantan dalam Perakitan dan Pengembangan Padi Hibrida.
- Sayurandi dan Aidi Daslin. 2011. Heterosis dan Heritabilitas Pada Progeni F1 Hasil Persilangan Kekerabatan Jauh Tanaman Karet. *Jurnal Penelitian Karet*. Vol. 29 No (1) : 1 – 15.
- Schlegel, H.G., 1994, "Mikrobiologi Umum", Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Setiawan, Iwan, Dika Supyandi, Siska Rasiska dan M. Gunardi Judawinata. 2018. *Pertanian Postmodern Jalan Tengah-Vertikal Generasi Era Bonus Demografi Membangkitkan Peradaban Nusantara*. Jakarta:Penebar Swadaya
- Sharma, H. C., Crouch, J. H., Sharma, K. Seetharama, K. N. & Hash, C.T. 2002. Applications of Biotechnology for Crop Improvement: Prospects and Constraints. *Plant Science*: 163, 381-395.
- Sistina, Y. 2000. *Biologi reproduksi*. Fakultas Biologi Unsoed. Program PascaSarjana. Purwokerto : hal 66.
- Sobrizal, S. 2016. Potensi pemuliaan mutasi untuk perbaikan varietas padi lokal Indonesia. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 12(1), 23-35.
- Soeranto, H. 2003. Peran Iptek Nuklir Dalam Pemuliaan Tanaman Untuk Mendukung Industri Pertanian. *Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi*. Batan. ISSN 0216-3128

- Stansfield, William D. 1983. *Genetika, Edisi Ketiga*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Starr, Cecie and Beverly McMillan. 2010. *Human Biology, Eighth Edition*. New York : Brooks/Cole Cengage Learning.
- Suaib dan I Gusti Ray Sadimantara. 2014. *Pemuliaan Tanaman Secara Konvensional*. Kendari Indonesia: Sulo Printing.
- Sudarka, W. dkk. 2009. *Pemuliaan Tanaman*. Denpasar: Fakultas Pertanian Universitas Udayana.
- Sudika, I. W., Budianto, A., & Ngawit, K. 2018. Kajian parameter genetik populasi alami tanaman bawang merah kultivar ampenan. *Crop agro, Jurnal Ilmiah Budidaya*, 5(1), 1-7.
- Sudjadi, 2008. *Bioteknologi Kesehatan*, Kanisius, Yogyakarta. Pp 279.
- Sugianto , Nurbaiti , Deviona.2015. Variabilitas Genetik dan Heritabilitas Karakter Agronomis beberapa Genotipe Sorgum (*Sorghum bicolor L. Moench*) Koleksi Batan. *Jom Faperta Vol. 2 No.1 Februari 2015*. Universitas Riau.
- Sulistiowati, Yuli, Trikoesoemaningtyas, Didy Sopandie, Sintho Wahyuning Ardie & Satya. 2016. Parameter Genetik dan Seleksi Sorgum (*Sorghum bicolor L. Moench*) Populasi F4 Hasil *Single Seed Descent* (SSD). *Jurnal Biologi Indonesia*. Vol 12 No 2 Hal: 176
- Sumarno, Damardjati DS, Syam M, Hermanto. 2013. *Sorgum: inovasi teknologi dan pengembangan*. Jakarta: (ID) IAARD Press.
- Suryo., 1990. *Genetika*. ITB. Bandung
- Sutarno (2015). *Genetika Non-Mendel. DNA mitokondria dan perannya dalam produksi hewan dan kelainan pada manusia*. ISBN no 978-979-498-872-5. UNS Press, Solo
- Sutarno, 2016. Rekayasa Genetik Dan Perkembangan Bioteknologi Di Bidang Peternakan. *Jurnal Bioteknologi* 13 (1) : 23-27.
- Sutarno, Cummins, J.M., Greeff, J., Lymbery, A.J. (2002). Mitochondrial DNA polymorphisms and fertility in beef cattle. *Theriogenology, an International Journal of Animal Reproduction* 57: 1603-1610.
- Suwanto, A. 2006. *Genetically Modified Organisms (GMOs): Keragaman Genetik dan Preferensi Manusia*. Institut Pertanian Bogor.

- Suwanto, Antonius. (1998) *Jurnal Hayati. Bioteknologi Molekuler : Mengoptimalkan Manfaat Keanekaragaman Hayati Melalui Teknologi DNA Rekombinan*. Vol.5. No.1.Hal :26
- Syamsuri, Istamar, dkk. 2004. Biologi. Jakarta: Erlangga.
- Syukur M, Sujiprihati S, Yunianti R. 2012. *Teknik pemuliaan tanaman*. Depok: (ID) Penebar Swadaya.
- Syukur, M., S. Sujiprihati, R. Yunianti, D.A. Kusumah. 2011. Pendugaan ragam genetik dan heritabilitas karakter komponen hasil beberapa genotipe cabai. *J. Agrivigor* 10:148-156.
- Syukur, M., S. Sujiprihati., R. Yunianti. 2015. Teknik pemuliaan tanaman. *jurnal Penebar Swadaya*. Bogor. 348 hlm.
- Syukur, Muhamad, dkk. 2012. Teknik Pemuliaan Tanaman. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Tanti Himayanti, Heli Siti H. M., Yoni F. Syukriani, 2010. Variasi Mutasi Gen ATPase 6 mtDNA Manusia Pada Populasi Dataran Rendah. *Jurnal Sains dan Teknologi Kimia* 1(1) : 80-87 ISSN 2087-7412.
- Taryono. 2016. *Pengantar Bioteknologi Untuk Pemuliaan Tanaman*. Yogyakarta: Gajah Mada Universitas Press
- Urry, L.S., dkk. (2017). *CAMPBELL BIOLOGY, Eleventh Edition*. New York: Pearson Education.
- Van Beuningen, L.T. 1997. *Genetic diversity among North American spring wheat cultivar : III Cluster analisis based on quantitative morphological traits*. *Crop Sci.* 37 : 203-207.
- Wahyu, G.A.S., W. Mangoendidjojo, P. Yudono, dan A. Kasno. 2014. Analisis nilai tengah generasi untuk umur panen keturunan persilangan tiga varietas kedelai. *Penelitian pertanian tanaman pangan*. 34(1): 37-41.
- Warmadewi, D.A. 2017. Buku Ajar : Mutasi Genetik. Universitas Udayana, Denpasar.
- Welsh, James R.. 1991. Dasar-Dasar Genetika dan Pemuliaan Tanaman. Jakarta: Erlangga.
- Widyaastuti, Netty. Pelestarian Tanaman Pangan dengan Teknik Kultur In Vitro. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 2000, 1.3.
- Wijaya Andi, Susantidiana, Muhamad Umar Harun, dan Memen Surahman. 2013. Evaluasi Penampilan dan Efek Heterosis Hasil Persilangan

Beberapa Aksesori Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.). *J. Agron. Indonesia*
41 (1) : 83 – 87

Yenni Kusandriani. 1996. Pembentukan Hibrida Cabai. Balai Penelitian
Tanaman Sayuran; Bandung. ISBN : 979-8304-08-X.

Yuniati Pieter Munarso. 2012. Perkembangan Penelitian Pembentukan Galur
Mandul Jantan Pada Perakitan Padi Hibrida. *J. Litbang Pert.* Vol. 31
No. 4: 162-168.



Dr. Ir. Asmiaty Sahur, MP. Lahir di Makassar, pada tanggal 10 Oktober 1969 menyelesaikan Pendidikan di SMA Neg. 10 Makassar pada tahun 1987. Melanjut-kan Pendidikan pada Fakultas Ilmu Ilmu Pertanian Jurusan Agronomi (Budidaya Tanaman) Universitas Hasanuddin dan selesai pada tahun 1992. Menyelesaikan Program Pasca Sarjana (S2) Universitas Hasanuddin tahun 1996 pada program Sistem Sistem Pertanian kajian Bioteknologi Tanaman. Pada tahun 2017 menyelesaikan program doktor (S3) Ilmu Tanaman pada Universitas Hasanuddin Kajian Bioteknologi Tanaman Sereal. Penulis menjadi staf pengajar sejak tahun 1993 pada jurusan Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin dan Program Magister Agroteknologi, Universitas Hasanuddin sejak tahun 2021. Penulis mulai aktif menulis karya ilmiah utamanya terkait kompetensi bidang ilmu penulis yakni ekofisiologi tanaman dan bioteknologi. Artikel yang telah diterbitkan antara lain Karya ilmiah diantaranya Efek Inokulasi Actinomicetes Pada Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai (*Glycine max* Merril L.) pada tahun 2018, *Effect of seed inoculant with Actinomyces and Rhizobium Isolated From Indigenous Soybean and Rhizosphere on Nitrogen Fixation, Growth and Yield of Soybean* pada tahun 2018, *Study of Climate Determination Analysis Based on Pallontara/ Papananrang and Rainfall Opportunities in Sidrap District* pada tahun 2019, *Growth and Production of Chili (*Capsicum annum* L.) on The Application of Trichoderma sp. And Azolla Liquid Organic Fertilizer* pada tahun 2020, *Drought Levels of Several Soybeans Variety (*Glycine max* L. Merril)* pada tahun 2020, *Growth Response of Pepper (*Piper nigrum* L.) on Application Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and The Shallot Filtrate* pada tahun 2020, *Growth and Production of Cayenne Pepper (*Capsicum frutescens* L.) on Various Concentrations of Bio-fertilizer and NPK Fertilizer* pada tahun 2020, *The Application of Biopriming Using Trichoderma and Streptomyces spp. on The Germination Stage of Soybean* pada tahun 2020. Aktif pada organisasi profesi seperti PERAGI, PRAGI dan IALI.

