

Bioteknologi **Konsorsium Mikroba** *(Actinomycetes-mikoriza)* **pada Tebu**

Tebu adalah tanaman tropis yang sering dibudidayakan karena kandungan gulanya yang tinggi. Karena kemampuan beradaptasi dan signifikansi ekonominya, itu adalah tanaman yang signifikan dalam bioteknologi pertanian. Tebu bukan hanya sumber utama produksi gula, tetapi juga merupakan bahan baku potensial untuk produksi biofuel. Output biomassa tanaman yang tinggi dan kapasitas untuk tumbuh subur dalam berbagai kondisi iklim menjadikannya pilihan yang baik untuk energi terbarukan berbasis biomassa. Selain itu, tebu sangat penting untuk pertumbuhan sosial ekonomi banyak negara, terutama di negara berkembang.

Buku ini membahas bagaimana produktivitas tebu dapat ditingkatkan dengan menggunakan pendekatan bioteknologi pertanian, sehingga menguntungkan baik sektor pertanian maupun ekonomi secara umum.

Tebu dapat direkayasa secara genetik untuk meningkatkan fitur seperti hasil, ketahanan terhadap penyakit, dan kandungan gula menggunakan bioteknologi. Modifikasi bioteknologi telah berkontribusi dalam kemajuan metode produksi tebu. Untuk mencapai tujuan peningkatan pendapatan petani, telah diciptakan teknologi produktivitas tebu dan gula yang terintegrasi.

nasmedia

Penerbit Anggota IKAPI

Sidorejo, Prambanan, Klaten 55584
Batua Raya No.3 Makassar 90233
+62812 1313 3800
redaksi@nasmedia.id
www.nasmedia.id

Harga P. Jawa Rp.00.000,-

Bioteknologi Konsorsium Mikroba (*Actinomycetes-mikoriza*) pada Tebu

Buku Referensi

Bioteknologi **Konsorsium Mikroba** *(Actinomycetes-mikoriza)* **pada Tebu**

ASMIATY SAHUR



Bioteknologi
Konsorsium Mikroba
(Actinomyces-mikoriza)
pada Tebu

Sanksi Pelanggaran Hak Cipta
**UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 28 TAHUN 2014 TENTANG HAK CIPTA**

Ketentuan Pidana

Pasal 113

- 1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
- 2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- 3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- 4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

Bioteknologi
Konsorsium Mikroba
(Actinomycetes-mikoriza)
pada Tebu

Asmiaty Sahur

Diterbitkan oleh
PT. Nas Media Indonesia
Tahun 2023

Bioteknologi Konsorsium Mikroba (Actinomycetes-mikoriza) pada Tebu

Asmiaty Sahur

Copyright © A. Sahur 2023

All rights reserved

Layout : Risma Amanda Putri
Desain Cover : Ryu
Image Cover : Freepik.com

Cetakan Pertama, September 2023

x + 112 hlm; 14.5 x 20.5 cm

ISBN xxx-xxx-xxx-xxx-x

Diterbitkan oleh Penerbit Nasmedia

PT. Nas Media Indonesia

Anggota IKAPI

No. 018/SSL/2018

Jl. Sidorejo, Prambanan, Klaten 55584

Jl. Batua Raya No. 3, Makassar 90233

Telp. 0812-1313-3800

redaksi@nasmedia.id

www.nasmedia.id

Instagram : @nasmedia.id

Fanspage : nasmedia.id

Youtube: nasmedia entertainment

PRAKATA

Syukur Alhamdulillah penulis hanturkan ke Allah Subhanahu Wa Taala Yang Maha pengasih lagi Maha penyayang yang telah memberikan limpahan Karunia dan Rahmat- Nya sehingga kita dapat melaksanakan aktivitas hidup dengan penuh keberkahan. Petunjuk dan tuntunan senantiasa kita harapkan dan mohon petunjuk Nya

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

Makassar, September 2023

Penulis

DRAFT

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	V
DAFTAR ISI.....	VI
DAFTAR TABEL.....	IX
DAFTAR GAMBAR	X

BAB 1

PENGANTAR BIOTEKNOLOGI MIKROBA.....	1
1.1. Perkembangan Sejarah	2
1.2. Aplikasi Bioteknologi Mikroba	5
1.3. Peningkatan Hasil Pertanian.....	6
1.4. Pupuk Hayati, Biopestisida dan Agrokimia lainnya.....	8
1.5. Rekayasa Biologi.....	9
1.6. Bioremediasi dan Biodegradasi.....	10

BAB 2

REKAYASA GENETIKA MIKROORGANISME	14
2.1. Organisme Yang Dimodifikasi Secara Genetika	17
2.2. Mikroba Transgenik	19

BAB 3

INTERAKSI TUMBUHAN-MIKROBA: GAMBARAN UMUM.....	24
3.1. Pengantar Interaksi Tumbuhan dan Mikroba	24
3.2. Memahami Dasar Mikroba.....	25
3.3. Signifikansi Interaksi Mikroba pada Tumbuhan	25
3.4. Mekanisme Interaksi Tumbuhan dan Mikroba.....	26
3.5. Faktor Kunci yang Mempengaruhi Hubungan Tumbuhan dan Mikroba.....	27
3.6. Dampak Interaksi Mikroba terhadap Kesehatan dan Pertumbuhan Tanaman.....	28

3.7. Menjelajahi Manfaat Bersama dari Interaksi Tumbuhan-Mikroba	29
3.8. Peran Mikroba dalam Penyakit dan Ketahanan Tanaman	30
3.9. Prospek Masa Depan dalam Studi Interaksi Tumbuhan dan Mikroba	31
3.10. Kesimpulan: Memanfaatkan Interaksi Tumbuhan-Mikroba untuk Kesuksesan Pertanian	32

BAB 4

BIOTEKNOLOGI MIKROBA DAN TEBU	33
4.1. Bioteknologi Mikroba	33
4.2. Tebu: Tanaman Penting dalam Bioteknologi Pertanian	35
4.3. Perlunya Bioteknologi Mikroba Pada Tanaman Tebu	36
4.4. Takeaway kunci	40

BAB 5

MIKROBIOMA TEBU	41
5.1. Pengertian Mikrobioma	41
5.2. Mikroba dan Resistensi Penyakit	47
5.3. Pengaruh Perubahan Musim pada Mikrobioma Tebu	52
5.4. Metode Mempelajari Mikrobioma Tebu	54
5.5. Variasi Musiman dan Mikrobioma Tebu	59
5.6. Peran Mikrobiom dalam Mitigasi Stres Biotik dan Abiotik	62
5.7. Variasi Mikrobioma pada Tahap Pertumbuhan Tebu	64
5.8. Konsep yang Muncul dan Arah Penelitian Masa Depan ..	65
5.9. Implikasi Terhadap Budidaya Tebu Berkelanjutan	67

BAB 6

TEBU YANG DIAPLIKASI DENGAN BAKTERI ACTINOMYCETES + MIKORIZA DAN ZAT PENGATUR TUMBUH	70
6.1. Hasil Penerapan Bioteknologi Aktinomycetes, Mikoriza dan Zat Pengatur Tumbuh	75

DAFTAR PUSTAKA.....89
TENTANG PENULIS..... 111

DRAFT

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Volume akar pada perlakuan ZPT dan konsorsium <i>Actinomyces</i> + Mikoriza.....	78
Tabel 1	Sidik ragam volume akar pada perlakuan ZPT dan konsorsium <i>Actinomyces</i> + Mikoriza	79
Tabel 2	Sidik ragam berat basah akar pada perlakuan ZPT dan konsorsium <i>Actinomyces</i> + Mikoriza.....	80
Tabel 2	Berat basah akar pada perlakuan ZPT dan konsorsium <i>Actinomyces</i> + Mikoriza	80
Tabel 3	Sidik ragam berat kering akar pada perlakuan ZPT dan konsorsium <i>Actinomyces</i> + Mikoriza.....	81
Tabel 4	Sidik ragam berat basah batang pada perlakuan ZPT dan konsorsium <i>Actinomyces</i> + Mikoriza.....	82
Tabel 5	Sidik ragam berat kering batang pada perlakuan ZPT dan konsorsium <i>Actinomyces</i> + Mikoriza.....	83
Tabel 6	Hasil Pengamatan Infeksi Mikoriza pada tanaman tebu	84

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1.** Grafik tinggi tanaman (cm) pada perlakuan ZPT dan konsorsium *Actinomycetes* dan Mikoriza 75
- Gambar 2.** Jumlah daun pada perlakuan ZPT dan konsorsium *Actinomycetes* dan Mikoriza 76
- Gambar 3.** Sidik ragam diameter batang pada perlakuan ZPT dan konsorsium *Actinomycetes* dan Mikoriza 77

DRAFT

Pengantar Bioteknologi Mikroba

Mikroba (atau mikroorganisme) adalah organisme yang terlalu kecil untuk dilihat oleh mata telanjang. Mereka termasuk bakteri, jamur, protozoa, mikroalga, dan virus. Mikroba hidup di tempat yang sudah dikenal seperti tanah, air, makanan, dan usus hewan, serta di tempat yang lebih ekstrim seperti bebatuan, gletser, mata air panas, dan ventilasi laut dalam. Berbagai macam habitat mikroba mencerminkan keragaman yang sangat besar dari sifat biokimia dan metabolisme yang muncul dari variasi genetik dan seleksi alam dalam populasi mikroba.

Secara historis, manusia telah mengeksploitasi beberapa keragaman mikroba ini dalam produksi makanan fermentasi seperti roti, yogurt, dan keju. Beberapa mikroba tanah melepaskan nitrogen yang dibutuhkan tanaman untuk tumbuh dan mengeluarkan gas yang menjaga komposisi kritis atmosfer bumi. Mikroba lain menantang pasokan makanan dengan menyebabkan penyakit yang mengurangi hasil pada tumbuhan dan hewan penghasil makanan. Di dalam tubuh kita, mikroba yang berbeda membantu mencerna makanan, menangkal organisme invasif, dan terlibat dalam pertempuran kecil dan pertempuran sengit dengan sistem kekebalan manusia dalam memberi dan menerima proses penyakit alami. Genom adalah totalitas materi genetik dalam DNA organisme tertentu. Genom sangat berbeda dalam

ukuran dan urutan di seluruh organisme yang berbeda. Memperoleh sekuens genom lengkap suatu mikroba memberikan informasi penting tentang biologinya, tetapi ini hanyalah langkah pertama untuk memahami kemampuan biologis mikroba dan memodifikasinya, jika diperlukan, untuk tujuan pertanian.

Bioteknologi mikroba, dimungkinkan oleh studi genom, akan mengarah pada terobosan seperti vaksin yang lebih baik dan alat diagnostik penyakit yang lebih baik, agen mikroba yang lebih baik untuk pengendalian biologis hama tanaman dan hewan, modifikasi patogen tanaman dan hewan untuk mengurangi virulensi, pengembangan katalis industri baru dan organisme fermentasi, dan pengembangan agen mikroba baru untuk bioremediasi tanah dan air yang terkontaminasi oleh limbah pertanian. Penelitian genomik mikroba dan bioteknologi mikroba sangat penting untuk kemajuan dalam keamanan pangan, keamanan pangan, bioteknologi, produk bernilai tambah, nutrisi manusia dan makanan fungsional, perlindungan tumbuhan dan hewan, dan melanjutkan penelitian mendasar dalam ilmu pertanian.

1.1. Perkembangan Sejarah

Bioteknologi adalah teknologi berbasis biologi, terutama bila digunakan di bidang pertanian, ilmu pangan, dan kedokteran. Ini sering digunakan untuk merujuk pada teknologi rekayasa genetika abad ke-21, namun istilah ini mencakup rentang yang lebih luas dan sejarah prosedur untuk memodifikasi organisme biologis sesuai dengan kebutuhan umat manusia, kembali ke modifikasi awal tanaman asli menjadi tanaman pangan yang lebih baik. melalui seleksi buatan dan hibridisasi. Bioengineering adalah ilmu yang mendasari semua aplikasi bioteknologi. Dengan pengembangan pendekatan baru dan teknik modern, industri bioteknologi tradisional juga memperoleh cakrawala baru yang memungkinkan mereka untuk meningkatkan kualitas produk dan meningkatkan produktivitas sistem mereka.

Sebelum tahun 1971, istilah bioteknologi terutama digunakan dalam industri pengolahan makanan dan pertanian. Sejak tahun 1970-an, ini mulai digunakan oleh lembaga ilmiah Barat untuk merujuk pada teknik berbasis laboratorium yang sedang dikembangkan dalam penelitian biologi, seperti DNA rekombinan atau proses berbasis kultur jaringan, atau transfer gen horizontal pada tumbuhan hidup, menggunakan vektor seperti bakteri untuk mentransfer DNA ke organisme inang. Bahkan, istilah tersebut harus digunakan dalam arti yang lebih luas untuk menggambarkan seluruh rangkaian metode, baik kuno maupun modern, yang digunakan untuk memanipulasi bahan organik untuk mencapai permintaan produksi pangan. Jadi istilah tersebut dapat didefinisikan sebagai, "Penerapan pengetahuan asli dan/atau ilmiah untuk pengelolaan (bagian dari) mikroorganisme, atau sel dan jaringan organisme yang lebih tinggi, sehingga menyediakan barang dan jasa yang berguna untuk industri makanan dan konsumennya.

Bioteknologi menggabungkan disiplin ilmu seperti genetika, biologi molekuler, biokimia, embriologi dan biologi sel, yang pada gilirannya terkait dengan disiplin praktis seperti teknik kimia, teknologi informasi, dan biorobotika. Patho-biotechnology menggambarkan eksploitasi patogen atau senyawa turunan patogen untuk efek yang menguntungkan. Meskipun biasanya tidak dianggap sebagai bioteknologi, pertanian jelas cocok dengan definisi luas "menggunakan sistem biologis untuk membuat produk" sehingga budidaya tanaman dapat dilihat sebagai perusahaan bioteknologi paling awal. Pertanian telah diteorikan telah menjadi cara produksi pangan yang dominan sejak Revolusi Neolitikum. Proses dan metode pertanian telah disempurnakan oleh ilmu mekanik dan biologi lainnya sejak awal. Melalui bioteknologi awal, petani dapat memilih tanaman yang paling cocok dan hasil tertinggi untuk menghasilkan makanan yang cukup untuk mendukung pertumbuhan populasi. Kegunaan lain dari bioteknologi diperlukan karena tanaman dan ladang menjadi semakin besar dan sulit untuk memelihara organisme tertentu dan

produk sampingan organisme digunakan untuk menyuburkan, memulihkan nitrogen, dan mengendalikan hama. Sepanjang penggunaan pertanian, petani secara tidak sengaja mengubah genetika tanaman mereka dengan memperkenalkannya ke lingkungan baru dan membiakkannya dengan tanaman lain - salah satu bentuk pertama bioteknologi. Budaya seperti di Mesopotamia, Mesir, dan India mengembangkan proses pembuatan bir. Itu masih dilakukan dengan metode dasar yang sama menggunakan biji-bijian malt (mengandung enzim) untuk mengubah pati dari biji-bijian menjadi gula dan kemudian menambahkan ragi khusus untuk menghasilkan bir. Dalam proses ini karbohidrat dalam biji-bijian dipecah menjadi alkohol seperti etanol. Orang India kuno juga menggunakan sari tanaman Ephedra vulgaris dan biasa menyebutnya Soma. Kemudian kultur lain menghasilkan proses fermentasi asam laktat yang memungkinkan fermentasi dan pengawetan bentuk makanan lainnya. Fermentasi juga digunakan dalam periode ini untuk menghasilkan roti beragi. Meskipun proses fermentasi tidak sepenuhnya dipahami sampai karya Louis Pasteur pada tahun 1857, ini masih merupakan penggunaan bioteknologi pertama untuk mengubah sumber makanan menjadi bentuk lain.

Kombinasi tumbuhan dan organisme lain digunakan sebagai obat di banyak peradaban awal. Sejak awal 200BC, orang mulai menggunakan agen infeksi dalam jumlah kecil atau kecil untuk mengimunisasi diri mereka sendiri terhadap infeksi. Proses ini dan yang serupa telah disempurnakan dalam pengobatan modern dan telah menghasilkan banyak perkembangan seperti antibiotik, vaksin, dan metode lain untuk melawan penyakit.

Pada awal abad ke-20 para ilmuwan memperoleh pemahaman yang lebih besar tentang mikrobiologi dan mengeksplorasi cara pembuatan produk tertentu. Pada tahun 1917, Chaim Weizmann pertama kali menggunakan biakan mikrobiologi murni dalam proses industri, yaitu pembuatan pati jagung menggunakan *Clostridium acetobutylicum*, untuk menghasilkan aseton, yang sangat dibutuhkan Inggris untuk membuat bahan peledak selama Perang Dunia I.

Bidang bioteknologi modern dianggap sebagai sebagian besar telah dimulai pada 16 Juni 1980, ketika Mahkamah Agung Amerika Serikat memutuskan bahwa mikroorganisme yang dimodifikasi secara genetik dapat dipatenkan dalam kasus *Diamond v. Chakrabarty*. Ananda Chakrabarty kelahiran India, bekerja untuk General Electric, telah mengembangkan bakteri (berasal dari genus *Pseudomonas*) yang mampu mengurai minyak mentah, yang ia usulkan untuk digunakan dalam menangani tumpahan minyak. Pendapatan di industri ini diperkirakan akan tumbuh pada 12,9% tahun 2008.

1.2. Aplikasi Bioteknologi Mikroba

Bioteknologi mikroba memiliki aplikasi di empat bidang industri utama, termasuk perawatan kesehatan (medis), produksi tanaman dan pertanian, penggunaan non makanan (industri) tanaman dan produk lainnya (misalnya plastik biodegradable, minyak sayur, biofuel), dan penggunaan lingkungan. Sebagai contoh, salah satu penerapan bioteknologi adalah penggunaan langsung organisme untuk pembuatan produk organik (contohnya termasuk produk bir dan susu). Contoh lain adalah penggunaan bakteri yang ada secara alami oleh industri pertambangan dalam bioleaching. Bioteknologi juga digunakan untuk mendaur ulang, mengolah limbah, membersihkan situs yang terkontaminasi oleh kegiatan industri (bioremediasi), dan juga untuk memproduksi senjata biologis.

Meskipun tidak diragukan lagi ada beberapa yang takut pada semua mikroba karena asosiasi beberapa mikroba dengan banyak penyakit manusia, banyak mikroba juga bertanggung jawab atas banyak proses bermanfaat seperti fermentasi industri (misalnya produksi alkohol dan produk susu), produksi antibiotik dan sebagai kendaraan untuk kloning pada organisme tingkat tinggi seperti tumbuhan. Para ilmuwan juga telah mengeksploitasi pengetahuan mereka tentang mikroba untuk menghasilkan enzim bioteknologi penting seperti Taq polimerase, gen reporter untuk digunakan dalam

sistem genetik lain dan teknik biologi molekuler baru seperti sistem dua-hibrida ragi.

Bakteri dapat digunakan untuk produksi industri asam amino. *Corynebacterium glutamicum* adalah salah satu spesies bakteri terpenting dengan produksi tahunan lebih dari dua juta ton asam amino, terutama L-glutamat dan L-lisin. Berbagai biopolimer, seperti polisakarida, poliester, dan poliamida, diproduksi oleh mikroorganisme. Mikroorganisme digunakan untuk produksi biopolimer bioteknologi dengan sifat khusus yang cocok untuk aplikasi medis bernilai tinggi seperti rekayasa jaringan dan penghantaran obat. Mikroorganisme digunakan untuk biosintesis xanthan, alginat, selulosa, cyanophycin, poli (asam gamma-glutamat), levan, asam hialuronat, asam organik, oligosakarida dan polisakarida, dan polihidroksialkanoat.

Mikroorganisme bermanfaat untuk biodegradasi mikroba atau bioremediasi limbah domestik, pertanian dan industri dan polusi bawah permukaan di tanah, sedimen dan lingkungan laut. Kemampuan setiap mikroorganisme untuk mendegradasi limbah beracun tergantung pada sifat masing-masing kontaminan. Karena sebagian besar situs biasanya terdiri dari beberapa jenis polutan, pendekatan yang paling efektif untuk biodegradasi mikroba adalah dengan menggunakan campuran spesies dan strain bakteri, masing-masing khusus untuk biodegradasi satu atau lebih jenis kontaminan. Ada juga berbagai klaim tentang kontribusi terhadap kesehatan manusia dan hewan dengan mengonsumsi probiotik (bakteri yang berpotensi bermanfaat bagi sistem pencernaan) dan/atau prebiotik (zat yang dikonsumsi untuk mendorong pertumbuhan mikroorganisme probiotik).

1.3. Peningkatan Hasil Pertanian

Dengan menggunakan teknik-teknik bioteknologi modern, satu atau dua gen dapat dipindahkan ke varietas tanaman yang sangat maju untuk memberikan karakter baru yang akan meningkatkan hasil panennya. Namun, sementara peningkatan hasil panen adalah aplikasi

bioteknologi modern yang paling jelas di bidang pertanian, itu juga yang paling sulit. Teknik rekayasa genetika saat ini bekerja paling baik untuk efek yang dikendalikan oleh gen tunggal. Banyak dari karakteristik genetik yang terkait dengan hasil (misalnya, peningkatan pertumbuhan) dikendalikan oleh sejumlah besar gen, yang masing-masing memiliki efek minimal pada hasil keseluruhan. Oleh karena itu, banyak karya ilmiah yang harus dilakukan di bidang ini.

Tanaman yang mengandung gen yang memungkinkannya bertahan terhadap tekanan biotik dan abiotik dapat dikembangkan. Misalnya, kekeringan dan tanah yang terlalu asin merupakan dua faktor pembatas penting dalam produktivitas tanaman. Ahli bioteknologi sedang mempelajari tanaman yang dapat mengatasi kondisi ekstrem ini dengan harapan menemukan gen yang memungkinkan mereka melakukannya dan akhirnya mentransfer gen ini ke tanaman yang lebih diinginkan. Salah satu perkembangan terbaru adalah identifikasi gen tanaman, At-DBF2, dari selada thale, gulma kecil yang sering digunakan untuk penelitian tanaman karena sangat mudah tumbuh dan kode genetiknya terpetakan dengan baik. Ketika gen ini dimasukkan ke dalam sel tomat dan tembakau, sel tersebut mampu menahan tekanan lingkungan seperti garam, kekeringan, dingin dan panas, jauh lebih banyak daripada sel biasa. Jika hasil awal ini terbukti berhasil dalam uji coba yang lebih besar, maka gen At-DBF2 dapat membantu dalam rekayasa tanaman yang lebih tahan terhadap lingkungan yang keras. Para peneliti juga telah menciptakan tanaman padi transgenik yang tahan virus belang kuning padi (RYMV). Di Afrika, virus ini merusak sebagian besar tanaman padi dan membuat tanaman yang masih hidup lebih rentan terhadap infeksi jamur.

Bioteknologi modern dapat digunakan untuk memperlambat proses pembusukan sehingga buah dapat matang lebih lama pada tanaman dan kemudian diangkut ke konsumen dengan umur simpan yang masih wajar. Ini dapat meningkatkan rasa, tekstur dan penampilan buah. Lebih penting lagi, itu bisa memperluas pasar bagi petani di negara berkembang karena pengurangan pembusukan.

Namun, terkadang ada pemahaman yang kurang dari para peneliti di negara maju tentang kebutuhan sebenarnya dari calon penerima manfaat di negara berkembang. Misalnya, merekayasa kedelai agar tahan pembusukan membuatnya kurang cocok untuk memproduksi tempe yang merupakan sumber protein penting yang bergantung pada fermentasi. Penggunaan kedelai modifikasi menghasilkan tekstur yang menggumpal sehingga kurang enak dan kurang nyaman saat dimasak.

1.4. Pupuk Hayati, Biopestisida dan Agrokimia lainnya

Sebagian besar aplikasi komersial bioteknologi modern saat ini di bidang pertanian adalah untuk mengurangi ketergantungan petani pada bahan kimia pertanian. Misalnya, *Bacillus thuringiensis* Bt adalah bakteri tanah yang menghasilkan protein dengan kualitas insektisida. Secara tradisional, proses fermentasi telah digunakan untuk menghasilkan semprotan insektisida dari bakteri ini. Dalam bentuk ini, toksin Bt terjadi sebagai protoksin tidak aktif, yang membutuhkan pencernaan serangga agar efektif. Ada beberapa Bt racun dan masing-masing khusus untuk serangga target tertentu. Tumbuhan tanaman sekarang telah direkayasa untuk mengandung dan mengekspresikan gen toksin Bt, yang mereka hasilkan dalam bentuk aktifnya. Ketika serangga yang rentan menelan kultivar tanaman transgenik yang mengekspresikan protein Bt, ia berhenti makan dan segera mati karena toksin Bt mengikat dinding ususnya. Jagung Bt sekarang tersedia secara komersial di sejumlah negara untuk mengendalikan penggerek jagung (serangga lepidoptera), yang sebaliknya dikendalikan dengan penyemprotan (proses yang lebih sulit).

Tanaman juga telah direkayasa secara genetik untuk memperoleh toleransi terhadap herbisida spektrum luas. Kurangnya herbisida hemat biaya dengan aktivitas spektrum luas dan tidak ada kerusakan tanaman merupakan batasan yang konsisten dalam pengelolaan gulma tanaman. Aplikasi ganda dari banyak herbisida secara rutin digunakan untuk mengendalikan berbagai spesies gulma yang merugikan tanaman agronomis. Pengelolaan gulma cenderung

mengandalkan preemergence - yaitu, aplikasi herbisida disemprot sebagai tanggapan terhadap infestasi gulma yang diharapkan daripada sebagai tanggapan terhadap gulma yang sebenarnya ada. Budidaya mekanis dan penyiangan tangan seringkali diperlukan untuk mengendalikan gulma yang tidak dikendalikan oleh aplikasi herbisida. Pengenalan tanaman toleran herbisida berpotensi mengurangi jumlah bahan aktif herbisida yang digunakan untuk pengelolaan gulma, mengurangi jumlah aplikasi herbisida yang dilakukan selama satu musim, dan meningkatkan hasil karena pengelolaan gulma yang lebih baik dan lebih sedikit kerusakan tanaman. Tanaman transgenik yang menunjukkan toleransi terhadap glifosat, glufosinat dan bromoksinil telah dikembangkan. Herbisida ini sekarang dapat disemprotkan pada tanaman transgenik tanpa menimbulkan kerusakan pada tanaman sambil membunuh gulma di sekitarnya.

1.5. Rekayasa Biologi

Rekayasa bioteknologi atau rekayasa biologi adalah cabang ilmu teknik yang berfokus pada bioteknologi dan ilmu biologi. Ini mencakup berbagai disiplin ilmu seperti teknik biokimia, teknik biomedis, teknik bioproses, teknik biosistem dan sebagainya. Karena kebaruan lapangan, definisi seorang bioengineer masih belum terdefinisi. Namun, secara umum ini merupakan pendekatan terintegrasi dari ilmu biologi fundamental dan prinsip teknik tradisional.

Bioengineers sering dipekerjakan untuk meningkatkan proses bio dari skala laboratorium ke skala manufaktur. Selain itu, seperti kebanyakan insinyur, mereka sering menangani masalah manajemen, ekonomi, dan hukum. Karena hak paten dan regulasi (misalnya, AS: Regulasi Food and Drug Administration di AS) merupakan isu yang sangat penting bagi perusahaan biotek, bioengineer seringkali dituntut untuk memiliki pengetahuan yang berkaitan dengan isu ini.

Meningkatnya jumlah perusahaan biotek kemungkinan besar akan menciptakan kebutuhan akan bioteknologi di tahun-

tahun mendatang. Banyak universitas di seluruh dunia sekarang menyediakan program di bidang bioengineering dan bioteknologi (sebagai program independen atau program khusus dalam bidang teknik yang lebih mapan).

1.6. Bioremediasi dan Biodegradasi

Bioteknologi digunakan untuk merekayasa dan mengadaptasi organisme terutama mikroorganisme dalam upaya menemukan cara berkelanjutan untuk membersihkan lingkungan yang terkontaminasi. Penghapusan berbagai polutan dan limbah dari lingkungan merupakan persyaratan mutlak untuk mempromosikan pembangunan berkelanjutan masyarakat kita dengan dampak lingkungan yang rendah. Proses biologis memainkan peran utama dalam menghilangkan kontaminan dan bioteknologi mengambil keuntungan dari keserbagunaan katabolik yang menakjubkan dari mikroorganisme untuk menurunkan/mengubah senyawa tersebut. Terobosan metodologis baru dalam pengurutan, genomik, proteomik, bioinformatika, dan pencitraan menghasilkan informasi dalam jumlah besar. Di bidang mikrobiologi lingkungan, studi global berbasis genom membuka era baru yang memberikan pandangan *silico* yang belum pernah terjadi sebelumnya tentang jaringan metabolisme dan pengaturan, serta petunjuk untuk evolusi jalur degradasi dan strategi adaptasi molekuler untuk mengubah kondisi lingkungan. Pendekatan genomik dan metagenomik fungsional meningkatkan pemahaman kita tentang kepentingan relatif dari berbagai jalur dan jaringan pengaturan terhadap fluks karbon di lingkungan tertentu dan untuk senyawa tertentu dan mereka pasti akan mempercepat pengembangan teknologi bioremediasi dan proses biotransformasi.

Lingkungan laut sangat rentan karena tumpahan minyak di wilayah pesisir dan laut lepas tidak dapat ditahan dengan baik dan mitigasinya sulit. Selain polusi akibat aktivitas manusia, jutaan ton minyak bumi masuk ke lingkungan laut setiap tahun dari rembesan alami. Terlepas dari toksisitasnya, sebagian besar minyak

bumi yang memasuki sistem kelautan dihilangkan oleh aktivitas komunitas mikroba yang menurunkan hidrokarbon, khususnya oleh sekelompok spesialis yang baru ditemukan, yang disebut bakteri hidrokarbonoklastik (HCCB).

Bioremediasi dan fitoremediasi alami telah digunakan selama berabad-abad. Misalnya, desalinasi lahan pertanian dengan phytoextraction memiliki tradisi panjang. Teknologi bioremediasi menggunakan mikroorganisme dikabarkan ditemukan oleh George M. Robinson. Dia adalah asisten insinyur perminyakan daerah untuk Santa Maria, California. Selama tahun 1960-an, ia menghabiskan waktu luangnya bereksperimen dengan guci kotor dan berbagai campuran mikroba.

Teknologi bioremediasi secara umum dapat diklasifikasikan sebagai *in situ* atau *ex situ*. Bioremediasi *in situ* melibatkan pengolahan bahan yang terkontaminasi di lokasi sementara *ex situ* melibatkan pemindahan bahan yang terkontaminasi untuk dirawat di tempat lain. Beberapa contoh teknologi bioremediasi adalah bioventing, landfarming, bioreaktor, pengomposan, bioaugmentasi, rizofiltrasi, dan biostimulasi. Namun, tidak semua kontaminan mudah ditangani dengan bioremediasi menggunakan mikroorganisme. Misalnya, logam berat seperti kadmium dan timbal tidak mudah diserap atau ditangkap oleh organisme. Asimilasi logam seperti merkuri ke dalam rantai makanan dapat memperburuk keadaan. Fitoremediasi berguna dalam keadaan ini, karena tanaman alami atau tanaman transgenik mampu mengakumulasi racun ini secara biologis di bagian atas tanahnya, yang kemudian dipanen untuk dibuang. Logam berat dalam biomassa yang dipanen selanjutnya dapat dipekatkan dengan pembakaran atau bahkan didaur ulang untuk keperluan industri.

Penghapusan berbagai polutan dan limbah dari lingkungan membutuhkan peningkatan pemahaman kita tentang kepentingan relatif dari berbagai jalur dan jaringan pengaturan terhadap fluks karbon di lingkungan tertentu dan untuk senyawa tertentu dan mereka

pasti akan mempercepat pengembangan teknologi bioremediasi dan proses biotransformasi. Penggunaan rekayasa genetika untuk membuat organisme yang dirancang khusus untuk bioremediasi memiliki potensi besar. Bakteri *Deinococcus radiodurans* (organisme paling tahan radioaktif yang diketahui) telah dimodifikasi untuk mengonsumsi dan mencerna toluena dan merkuri ionik dari limbah nuklir yang sangat radioaktif.

Mikoremediasi adalah salah satu bentuk bioremediasi, proses penggunaan jamur untuk mengembalikan lingkungan (biasanya tanah) yang terkontaminasi oleh polutan ke keadaan yang kurang terkontaminasi. Istilah mikoremediasi diciptakan oleh Paul Stamets dan merujuk secara khusus pada penggunaan miselia jamur dalam bioremediasi. Salah satu peran utama jamur dalam ekosistem adalah dekomposisi, yang dilakukan oleh miselium. Miselium mengeluarkan enzim dan asam ekstraseluler yang memecah lignin dan selulosa, dua bahan penyusun utama serat tanaman. Ini adalah senyawa organik yang terdiri dari rantai panjang karbon dan hidrogen, secara struktural mirip dengan banyak polutan organik. Kunci untuk mikoremediasi adalah menentukan spesies jamur yang tepat untuk menargetkan polutan tertentu. Strain tertentu telah dilaporkan berhasil menurunkan gas saraf VX dan sarin.

Dalam percobaan yang dilakukan bersama dengan Thomas, kontributor utama dalam industri bioremediasi, sebidang tanah yang terkontaminasi minyak solar diinokulasi dengan miselia jamur tiram; teknik bioremediasi tradisional (bakteri) digunakan pada plot kontrol. Setelah empat minggu, lebih dari 95% banyak PAH (hidrokarbon polisiklik aromatik) telah direduksi menjadi komponen tidak beracun dalam plot yang diinokulasi miselium. Tampaknya komunitas mikroba alami berpartisipasi dengan jamur untuk memecah kontaminan, akhirnya menjadi karbon dioksida dan air. Jamur pengurai kayu sangat efektif dalam memecah polutan aromatik (komponen beracun dari minyak bumi), serta senyawa terklorinasi.

Ada sejumlah keunggulan biaya/efisiensi untuk bioremediasi, yang dapat digunakan di area yang tidak dapat diakses tanpa penggalian. Misalnya, tumpahan hidrokarbon (khususnya, tumpahan bensin) atau pelarut terklorinasi tertentu dapat mengkontaminasi air tanah, dan memasukkan amandemen akseptor elektron atau donor elektron yang sesuai, sebagaimana mestinya, dapat secara signifikan mengurangi konsentrasi kontaminan setelah jeda waktu yang memungkinkan aklimatisasi. Ini biasanya jauh lebih murah daripada penggalian diikuti dengan pembuangan di tempat lain, pembakaran atau strategi pengolahan ex situ lainnya, dan mengurangi atau meniadakan kebutuhan akan "pompa dan olah", praktik umum di lokasi di mana hidrokarbon telah mencemari air tanah bersih.

DRAFT

Rekayasa Genetika Mikroorganisme

Rekayasa genetika, teknologi DNA rekombinan, modifikasi/manipulasi genetik (GM) dan penyambungan gen adalah istilah yang berlaku untuk manipulasi langsung gen organisme. Rekayasa genetika berbeda dengan pemuliaan tradisional, di mana gen organisme dimanipulasi secara tidak langsung. Rekayasa genetika menggunakan teknik kloning dan transformasi molekuler untuk mengubah struktur dan karakteristik gen secara langsung. Teknik rekayasa genetika telah menemukan beberapa keberhasilan dalam berbagai aplikasi. Beberapa contohnya adalah dalam meningkatkan teknologi tanaman, pembuatan insulin manusia sintetik melalui penggunaan bakteri yang dimodifikasi, pembuatan erythropoietin pada sel ovarium hamster, dan produksi tikus percobaan jenis baru seperti oncomouse (tikus kanker) untuk penelitian.

Ada beberapa cara yang digunakan untuk melakukan rekayasa genetika. Pada dasarnya, proses tersebut memiliki lima langkah utama:

1. Isolasi gen yang menarik
2. Penyisipan gen ke dalam vektor transfer
3. Transfer vektor ke organisme yang akan dimodifikasi
4. Transformasi sel-sel organisme
5. Pemilihan organisme hasil rekayasa genetika (GMO) dari yang belum berhasil dimodifikasi

Isolasi dicapai dengan mengidentifikasi gen yang ingin disisipkan oleh ilmuwan ke dalam organisme, biasanya menggunakan pengetahuan yang ada tentang berbagai fungsi gen. Informasi DNA dapat diperoleh dari cDNA atau perpustakaan, dan diperkuat menggunakan teknik. Jika perlu, yaitu untuk penyisipan DNA genomik eukariotik ke dalam prokariota, modifikasi lebih lanjut dapat dilakukan seperti penghilangan intron atau ligasi promotor prokariotik. Penyisipan gen ke dalam vektor seperti plasmid dapat dilakukan setelah gen yang diinginkan diisolasi. Setelah vektor diperoleh, itu dapat digunakan untuk mengubah organisme target. Bergantung pada vektor yang digunakan, bisa kompleks atau sederhana. Misalnya, menggunakan DNA mentah dengan senjata gen adalah proses yang cukup mudah tetapi dengan tingkat keberhasilan yang rendah, di mana DNA dilapisi dengan molekul seperti emas dan ditembakkan langsung ke dalam sel. Metode lain yang lebih kompleks, seperti transformasi bakteri atau menggunakan virus sebagai vektor memiliki tingkat keberhasilan yang lebih tinggi. Setelah transformasi, GMO dapat dipilih dari yang gagal mengambil vektor dengan berbagai cara. Salah satu metodenya adalah skrining dengan probe DNA yang dapat menempel pada gen yang diinginkan yang seharusnya telah ditransplantasikan. Cara lainnya adalah mengemas gen yang memberikan resistensi terhadap bahan kimia tertentu seperti antibiotik atau herbisida ke dalam vektor. Zat kimia ini kemudian diterapkan untuk memastikan bahwa hanya sel-sel yang telah mengambil vektor yang akan bertahan.

Obat rekayasa genetika pertama adalah insulin manusia sintetik, disetujui oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan Amerika Serikat pada tahun 1982. Aplikasi awal rekayasa genetika lainnya adalah menciptakan hormon pertumbuhan manusia sebagai pengganti senyawa yang sebelumnya diekstraksi dari mayat manusia. Pada tahun 1987 FDA menyetujui vaksin rekayasa genetika pertama untuk manusia, untuk hepatitis B. Sejak penggunaan awal teknologi ini dalam pengobatan, penggunaan GM secara bertahap diperluas untuk memasok sejumlah obat dan vaksin lain. Salah satu aplikasi rekayasa

genetika yang paling terkenal adalah pembuatan organisme hasil rekayasa genetika (GMO) seperti makanan dan sayuran yang tahan terhadap infeksi hama dan bakteri dan memiliki kesegaran lebih lama dari yang lain. Meskipun telah terjadi revolusi dalam ilmu biologi dalam dua puluh tahun terakhir, masih banyak hal yang masih harus ditemukan. Akses cepat dan murah ke data genetik komprehensif telah menjadi kenyataan dengan miliaran nukleotida sekuens yang sudah online dan dianotasi.

Eksperimen kehilangan fungsi, seperti dalam eksperimen knockout gen, di mana suatu organisme direkayasa untuk tidak memiliki aktivitas satu gen atau lebih. Hal ini memungkinkan pelaku eksperimen menganalisis cacat yang disebabkan oleh mutasi ini, dan dapat sangat berguna dalam menggali fungsi gen. Ini digunakan terutama dalam biologi perkembangan. Metode lain, yang berguna pada organisme seperti (lalat buah), adalah menginduksi mutasi pada populasi besar dan kemudian menyaring progeni untuk mutasi yang diinginkan. Perolehan eksperimen fungsi, pasangan logis dari sistem gugur. Ini kadang-kadang dilakukan bersamaan dengan eksperimen sistem gugur untuk lebih menentukan fungsi gen yang diinginkan. Prosesnya hampir sama dengan teknik sistem gugur, kecuali konstruksinya dirancang untuk meningkatkan fungsi gen, biasanya dengan menyediakan salinan gen tambahan atau menginduksi sintesis protein lebih sering. Eksperimen pelacakan, yang berupaya mendapatkan informasi tentang lokalisasi dan interaksi protein yang diinginkan. Salah satu cara untuk melakukan ini adalah mengganti gen tipe liar dengan gen 'fusi', yang merupakan penjumlahan gen tipe liar dengan elemen pelaporan seperti Green Fluorescent Protein (GFP) yang memungkinkan visualisasi produk dengan mudah. dari modifikasi genetik. Meskipun ini adalah teknik yang berguna, manipulasi dapat menghancurkan fungsi gen, menciptakan efek sekunder dan mungkin mempertanyakan hasil percobaan. Teknik yang lebih canggih sekarang sedang dikembangkan yang dapat melacak produk protein tanpa

mengurangi fungsinya, seperti penambahan sekuens kecil yang akan berfungsi sebagai motif pengikat pada antibodi monoklonal.

Studi ekspresi bertujuan untuk menemukan di mana dan kapan protein spesifik diproduksi. Dalam percobaan ini, urutan DNA sebelum DNA yang mengkode protein, yang dikenal sebagai promotor gen, diperkenalkan kembali ke organisme dengan daerah pengkode protein digantikan oleh gen reporter seperti GFP atau enzim yang mengkatalisis produksi pewarna. Dengan demikian waktu dan tempat di mana protein tertentu diproduksi dapat diamati. Studi ekspresi dapat diambil selangkah lebih maju dengan mengubah promotor untuk menemukan bagian mana yang penting untuk ekspresi gen yang tepat dan benar-benar terikat oleh protein faktor transkripsi.

2.1. Organisme Yang Dimodifikasi Secara Genetika

Organisme hasil rekayasa genetika (GMO) atau organisme hasil rekayasa genetika (GEO) adalah organisme yang bahannya telah diubah menggunakan teknik rekayasa genetika. Teknik ini, umumnya dikenal sebagai teknologi DNA rekombinan, menggunakan molekul DNA dari sumber berbeda, yang digabungkan menjadi satu molekul untuk membuat satu set gen baru. DNA ini kemudian ditransfer ke suatu organisme, memberinya gen yang dimodifikasi atau baru. Organisme transgenik, bagian dari GMO, adalah organisme yang menyisipkan DNA yang berasal dari spesies yang berbeda. Beberapa GMO tidak mengandung DNA dari spesies lain dan karena itu tidak transgenik tetapi cisgenik.

Prinsip umum memproduksi GMO adalah menambahkan materi genetik baru ke dalam genom suatu organisme. Ini disebut rekayasa genetika dan dimungkinkan melalui penemuan DNA dan penciptaan bakteri rekombinan pertama pada tahun 1973, yaitu *E.coli* yang mengekspresikan gen salmonella. Hal ini menimbulkan kekhawatiran dalam komunitas ilmiah tentang potensi risiko dari rekayasa genetika, yang dibahas secara menyeluruh di. Salah satu

rekomendasi utama dari pertemuan ini adalah bahwa pengawasan pemerintah atas penelitian DNA rekombinan harus dilakukan sampai teknologi tersebut dianggap aman. Herbert Boyer kemudian mendirikan perusahaan pertama yang menggunakan teknologi DNA rekombinan, Genentech, dan pada tahun 1978 perusahaan tersebut mengumumkan pembuatan galur *E. coli* yang memproduksi insulin protein manusia.

Pada tahun 1986, uji lapangan bakteri yang direkayasa secara genetik untuk melindungi tanaman dari kerusakan akibat embun beku (bakteri tanpa es) di sebuah perusahaan bioteknologi kecil bernama Advanced Genetic Sciences of California, berulang kali ditunda oleh penentang bioteknologi. Pada tahun yang sama, uji lapangan yang diusulkan terhadap mikroba yang direkayasa secara genetik untuk protein ketahanan hama oleh Monsanto dibatalkan. GMO memiliki aplikasi luas. Mereka digunakan dalam penelitian biologi dan medis, produksi obat-obatan farmasi, pengobatan eksperimental (misalnya terapi gen), dan pertanian (misalnya beras emas). Istilah "organisme yang dimodifikasi secara genetik" tidak selalu menyiratkan, tetapi dapat mencakup, penyisipan gen yang ditargetkan dari satu spesies ke spesies lain. Misalnya, gen dari ubur-ubur, yang mengkodekan protein fluoresen yang disebut GFP, dapat dihubungkan secara fisik dan dengan demikian diekspresikan bersama dengan gen mamalia untuk mengidentifikasi lokasi protein yang dikodekan oleh gen bertanda GFP dalam sel mamalia. Metode semacam itu adalah alat yang berguna untuk banyak bidang penelitian, termasuk mereka yang mempelajari mekanisme manusia dan penyakit lain atau proses biologis mendasar dalam sel eukariotik atau prokariotik. Sampai saat ini penerapan teknologi transgenik yang paling luas adalah tanaman pangan yang dilindungi hak paten yang tahan terhadap herbisida komersial atau mampu menghasilkan protein pestisida dari dalam tanaman, atau benih sifat bertumpuk, yang melakukan keduanya. Bagian terbesar dari tanaman transgenik yang ditanam secara global dimiliki oleh Monsanto menurut perusahaan tersebut. Pada tahun 2007, teknologi

karakter Monsanto ditanam di lahan seluas 246 juta acre (1.000.000 km²) di seluruh dunia, tumbuh 13 persen dari tahun 2006.

Di pasar jagung, jagung triple-tumpukan Monsanto - yang memadukan teknologi pengendalian gulma Roundup Ready 2 dengan YieldGard Corn Borer dan YieldGard Rootworm insect control - adalah pemimpin pasar di Amerika Serikat. Petani jagung AS menanam lebih dari 17 juta hektar (69.000 km²) jagung tiga tumpukan pada tahun 2007, dan diperkirakan produk tersebut dapat ditanam pada 45 juta hingga 50 juta hektar (200.000 km²) pada tahun 2010. Di pasar kapas, Bollgard II dengan Roundup Ready Flex ditanam di hampir 3 juta acre (12.000 km²) kapas AS pada tahun 2007. Pertumbuhan pesat di total area yang ditanami dapat diukur dengan pangsa Monsanto yang terus meningkat. Pada tanggal 3 Januari 2008, Monsanto Company (MON.N) mengatakan laba kuartalannya naik hampir tiga kali lipat, dibantu oleh kekuatan dalam bisnis benih jagung dan herbisida, dan menaikkan prakiraan tahun 2008 ke Layanan Internasional untuk Akuisisi Aplikasi Agri- Biotek (ISAAA), dari sekitar 8,5 juta petani yang menanam tanaman biotek pada tahun 2005, sebagian 90% merupakan petani miskin sumber daya di negara berkembang.

2.2. Mikroba Transgenik

Mikroorganisme transgenik adalah mikroba, biasanya bakteri, di mana informasi genetik telah dimasukkan dari luar dan yang memiliki kemampuan untuk meneruskan informasi tersebut ke generasi berikutnya dengan cara yang stabil. Ini bukanlah ide yang sepenuhnya baru dalam mikroorganisme, karena bakteri telah mempraktikkan dan menyempurnakan seni ini selama miliaran tahun evolusi. Sebaliknya, kami baru saja belajar untuk menduplikasi fenomena ini dan mengubahnya untuk tujuan kami sendiri. Rekayasa genetika adalah bidang yang telah berkembang sebagai konsekuensi dari penelitian dalam proses ini. Aplikasi komersialnya menjadi dasar industri bioteknologi saat ini. Proses di mana para ilmuwan memasukkan materi genetik baru ke dalam mikroorganisme disebut

kloning molekuler atau gen. Ini melibatkan isolasi DNA dari sumber selain mikroorganisme itu sendiri. Organisme sumber menjangkau dunia makhluk hidup, dari mikroba hingga tumbuhan hingga hewan, termasuk manusia. Para ilmuwan memperoleh DNA sumber dengan beberapa cara berbeda: dengan mengganggu sel-sel mikroba target (atau tumbuhan atau hewan) dan memecahnya menjadi potongan-potongan kecil, dengan mensintesisnya dari templat RNA menggunakan enzim yang disebut reverse transcriptase, atau dengan mengetahui urutan gen tertentu, dan mensintesisnya langsung di laboratorium. Setelah diperoleh, potongan DNA tersebut dimasukkan ke dalam komponen genetik kecil yang memiliki kemampuan untuk membuat salinan dirinya sendiri (replikasi) secara mandiri dari genom mikroba. Unit yang mereplikasi diri ini disebut vektor kloning. Meskipun elemen genetik ini ada secara alami dalam bentuk plasmid dan virus bakteri, banyak dari yang digunakan saat ini telah diubah untuk meningkatkan sifat mereka untuk mentransfer gen. Enzim restriksi, yang memotong DNA donor dan vektor kloning di tempat tertentu, dan DNA ligase, yang menempelkan DNA donor ke vektor kloning, memungkinkan gen sumber yang diinginkan untuk dimasukkan ke dalam vektor kloning tanpa mengganggu kemampuannya untuk bereplikasi.

Langkah selanjutnya dalam proses ini adalah pengenalan vektor kloning dengan segmen DNA barunya ke dalam sel hidup. Bakteri memiliki kemampuan untuk mengangkut DNA ke dalam sel mereka dalam proses yang disebut transformasi, dan kemampuan ini umumnya dimanfaatkan untuk mencapai tujuan ini. Akan tetapi, memasukkan DNA ke dalam sel hanyalah permulaan. Tidak ada transformasi yang 100 persen efisien, sehingga bakteri yang menerima gen yang diinginkan harus dipisahkan dari yang tidak. Salah satu vektor kloning yang paling banyak dipelajari dan paling umum digunakan, pBR322, sangat berguna untuk tujuan ini, karena mengandung beberapa gen untuk resistensi antibiotik. Oleh karena itu, setiap sel yang ditransformasikan dengan DNA yang mengandung pBR322 akan resisten terhadap antibiotik, dan dengan demikian dapat

diisolasi dari sel serupa yang belum ditransformasikan hanya dengan menumbuhkannya dengan adanya obat yang sesuai. Yang tersisa hanyalah mengidentifikasi bakteri yang menghasilkan produk dari gen yang diinginkan, dan kloning berhasil..

Pengenalan gen manusia ke dalam bakteri memiliki beberapa kerutan rumit yang membuat kloning mereka semakin menantang. Misalnya, gen bakteri mengkode protein dari awal hingga akhir dalam satu rangkaian panjang nukleotida, sedangkan sel manusia memiliki rangkaian nukleotida nonkode yang disebut intron di dalam gen mereka. Bakteri tidak memiliki kemampuan yang sama dengan sel manusia untuk menghilangkan intron ini saat memproduksi protein dari gen, dan jika intron tidak dihilangkan, protein yang dimaksud tidak dapat diproduksi. Ini, bersama dengan komplikasi lainnya, telah diatasi dengan menggunakan banyak alat rekayasa genetika.

Mikroba transgenik memiliki banyak aplikasi komersial dan praktis, termasuk produksi produk mamalia. Sebuah perusahaan bernama Genentech adalah salah satu perusahaan komersial paling awal dan paling sukses yang menggunakan bakteri hasil rekayasa genetika untuk menghasilkan protein manusia. Produk pertama mereka adalah insulin manusia yang diproduksi oleh *Escherichia coli* yang direkayasa secara genetik. Berbagai hormon manusia lainnya, protein darah, dan modulator kekebalan kini diproduksi dengan cara yang sama, selain vaksin untuk agen infeksius seperti virus hepatitis B dan campak.

Aplikasi lain yang menjanjikan dari mikroba hasil rekayasa genetika adalah dalam pembersihan lingkungan, atau biomediasi. Para ilmuwan telah menemukan banyak gen alami yang mengkode enzim yang mendegradasi limbah beracun dan polutan air limbah pada bakteri. Contohnya termasuk gen untuk mendegradasi pestisida terklorinasi, klorobenzena, naftalena, toluena, anilin, dan berbagai hidrokarbon. Para peneliti menggunakan kloning molekuler untuk memasukkan gen ini dari beberapa mikroba berbeda ke dalam satu

mikroba, menciptakan "mikroba super" dengan kemampuan untuk mendegradasi banyak kontaminan.

Ananda Chakrabarty menciptakan salah satu mikroba pertama dari alam ini di awal 1970 s. Dia memperkenalkan gen dari beberapa bakteri berbeda ke dalam strain *Burkholderia cepacia*, memberikannya kemampuan untuk mendegradasi senyawa beracun yang ditemukan dalam minyak bumi. Mikroba ini menawarkan alternatif potensial untuk menyaring dan menyerap minyak yang tumpah. Namun, bakteri hasil rekayasa genetika Chakrabarty tidak pernah digunakan karena kekhawatiran publik tentang pelepasan mikroba hasil rekayasa genetika ke lingkungan. Mikroba memang, di sisi lain, memainkan peran penting dalam membangun industri bioteknologi. Kantor Paten AS memberi Chakrabarty paten pertama untuk konstruksi dan penggunaan bakteri hasil rekayasa genetika. Ini menjadi preseden yang memungkinkan perusahaan bioteknologi melindungi "penemuan" mereka dengan cara yang sama seperti yang dilakukan perusahaan kimia dan farmasi di masa lalu. Bakteri adalah organisme pertama yang dimodifikasi di laboratorium, karena genetiknya yang sederhana. Organisme ini sekarang digunakan untuk beberapa tujuan, dan sangat penting dalam memproduksi manusia murni dalam jumlah besar untuk digunakan dalam pengobatan.

Bakteri hasil rekayasa genetika digunakan untuk memproduksi protein insulin untuk mengobati diabetes. Bakteri serupa telah digunakan untuk menghasilkan faktor pembekuan untuk mengobati hemofilia, dan hormon pertumbuhan manusia untuk mengobati berbagai bentuk penyakit. Protein rekombinan ini lebih aman daripada produk yang diganti, karena produk lama dimurnikan dari mayat dan dapat menularkan penyakit. Memang protein yang berasal dari manusia menyebabkan banyak kasus AIDS dan hepatitis C pada penderita hemofilia dan penyakit Creutzfeldt-Jakob dari hormon pertumbuhan manusia. Selain bakteri yang digunakan untuk memproduksi protein, virus yang dimodifikasi secara genetik memungkinkan terapi gen, yang merupakan ide yang relatif baru dalam pengobatan. Virus bereproduksi

dengan menyuntikkan materi genetiknya sendiri ke dalam sel yang ada. Sel itu kemudian mengikuti petunjuk dalam materi genetik ini dan menghasilkan lebih banyak virus. Dalam pengobatan, proses ini direkayasa untuk mengirimkan gen yang dapat menyembuhkan penyakit ke dalam sel manusia. Meskipun terapi gen masih relatif baru, namun telah berhasil. Bakteri yang menyebabkan kerusakan gigi disebut *Streptococcus mutans*. Bakteri ini mengkonsumsi sisa gula di mulut, menghasilkan korosi dan akhirnya menyebabkan gigi berlubang. Para ilmuwan baru-baru ini memodifikasi *Streptococcus mutans* untuk tidak menghasilkan asam laktat. Bakteri transgenik ini, jika terkolonisasi dengan baik di mulut seseorang, dapat mengurangi pembentukan gigi berlubang. Mikroba transgenik juga telah digunakan dalam penelitian terbaru untuk membunuh atau menghalangi tumor, dan untuk melawan penyakit Crohn. Bakteri hasil rekayasa genetika juga digunakan di beberapa tanah untuk memfasilitasi pertumbuhan tanaman, dan juga dapat menghasilkan bahan kimia yang beracun bagi hama tanaman.

DRAFT

Interaksi Tumbuhan-Mikroba: Gambaran Umum

3.1. Pengantar Interaksi Tumbuhan dan Mikroba

Interaksi tanaman-mikroba memainkan peran penting dalam membentuk kesehatan dan fungsi tanaman dan mikroba. Interaksi tersebut dapat terjadi pada berbagai bagian tanaman, baik di atas maupun di bawah tanah. Interaksi tumbuhan-mikroba terjadi melalui serangkaian mekanisme yang berbeda-beda berdasarkan tumbuhan dan mikroba tertentu. Memahami sifat interaksi ini sangat penting untuk mengendalikan penyakit pada tumbuhan dan mengelola ekosistem tumbuhan secara efektif. Salah satu mekanisme utama interaksi tanaman-mikroba adalah hubungan simbiosis antara tanaman dan mikroba.

Hubungan simbiosis antara tumbuhan dan mikroba dihasilkan dari koevolusi antara kedua organisme ini. Seiring waktu, tumbuhan dan mikroba telah mengembangkan hubungan yang saling menguntungkan yang memungkinkan kedua pasangan untuk berkembang. Interaksi simbiosis ini seringkali diperlukan untuk kelangsungan hidup tanaman dan kesehatan secara keseluruhan. Interaksi mikroba-tanaman memainkan peran penting dalam sistem agroekologi, dan memahami hubungan ini merupakan garis depan yang signifikan dalam pengelolaan ekosistem tanaman. Interaksi ini

sangat penting dalam kasus blueberry lowbush, yang dibudidayakan sebagai tanaman liar yang dikelola di berbagai daerah. Interaksi mikroba-tanaman dapat terjadi dengan berbagai cara dan di berbagai bagian tanaman. Interaksi mikroba-tanaman dapat terjadi di berbagai bagian tanaman, termasuk di atas dan di bawah tanah. Salah satu bidang utama fokus dalam mempelajari interaksi tumbuhan-mikroba adalah memahami mekanisme terjadinya interaksi ini.

3.2. Memahami Dasar Mikroba

Untuk memahami interaksi tanaman-mikroba, penting untuk memiliki pemahaman dasar tentang mikroba. Mikroba adalah mikroorganisme yang meliputi bakteri, jamur, virus, dan organisme mikroskopis lainnya. Mikroorganisme ini banyak ditemukan di tanah, air, dan permukaan tanaman. Mereka memainkan peran penting dalam berbagai proses ekologi, termasuk siklus nutrisi, pengendalian penyakit, dan dekomposisi bahan organik. Mikroba memiliki hubungan yang erat dengan tanaman, dan interaksinya dapat memberikan efek positif dan negatif pada kesehatan dan produktivitas tanaman. Interaksi mikroba-tanaman terjadi melalui berbagai mekanisme, termasuk hubungan mutualistik, interaksi patogenik, dan hubungan komensal. Hubungan mutualistik antara tanaman dan mikroba adalah salah satu mekanisme interaksi yang paling penting. Interaksi ini melibatkan hubungan erat antara tumbuhan dan mikroba, di mana kedua pasangan mendapat manfaat.

3.3. Signifikansi Interaksi Mikroba pada Tumbuhan

Interaksi mikroba pada tanaman sangat penting untuk beberapa hal. Interaksi mikroba pada tanaman sangat penting karena beberapa alasan. Pertama, interaksi mikroba memainkan peran penting dalam perolehan dan pemanfaatan nutrisi oleh tanaman. Mikroba tertentu, seperti jamur mikoriza, membentuk hubungan mutualistik dengan tanaman dan membantu penyerapan nutrisi, terutama fosfor. Interaksi ini sangat penting untuk blueberry lowbush, yang ditanam

sebagai tanaman liar yang dikelola di berbagai daerah. Signifikansi lain dari interaksi mikroba pada tanaman adalah manajemen penyakit. Memahami sifat mikroba dan hubungannya dengan tumbuhan tertentu berguna dalam pengendalian penyakit pada tumbuhan.

3.4. Mekanisme Interaksi Tumbuhan dan Mikroba

Mekanisme interaksi tanaman-mikroba dapat bervariasi tergantung pada tanaman spesifik dan mikroba yang terlibat. Namun, beberapa mekanisme umum terlibat dalam interaksi ini. Salah satu mekanisme tersebut adalah pertukaran nutrisi antara tanaman dan mikroba. Mikroba dapat meningkatkan pertumbuhan dan kesehatan tanaman dengan menyediakan nutrisi penting bagi tanaman, seperti nitrogen dan fosfor. Selain itu, beberapa mikroba dapat menghasilkan hormon pemacu pertumbuhan yang merangsang pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Selain itu, mikroba juga dapat meningkatkan pertahanan tanaman terhadap patogen melalui produksi senyawa antimikroba atau dengan menginduksi resistensi sistemik pada tanaman.

Interaksi tanaman-mikroba diatur oleh berbagai mekanisme, yang dapat berbeda tergantung pada kombinasi spesies tanaman dan mikroba yang terlibat. Mekanisme ini berkontribusi pada hubungan mutualistik antara tumbuhan dan mikroba, di mana kedua belah pihak mendapat manfaat dari asosiasi mereka. Salah satu mekanisme yang menonjol adalah pertukaran nutrisi yang terjadi antara tumbuhan dan mikroba dalam interaksi tersebut. Mikroba dapat memberikan nutrisi penting, seperti nitrogen dan fosfor, untuk tanaman. Pertukaran nutrisi ini memainkan peran penting dalam mendorong pertumbuhan tanaman dan kesehatan secara keseluruhan.

Selain itu, mikroba tertentu memiliki kemampuan bawaan untuk memproduksi hormon pemacu pertumbuhan yang bertindak sebagai stimulan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Melalui proses biokimia ini, mereka secara efektif meningkatkan

berbagai proses fisiologis di dalam tanaman yang memfasilitasi kinerja optimal.

Selain pasokan nutrisi dan aktivitas produksi hormon, subset komunitas mikroba juga memainkan peran penting melawan patogen dengan mengurangi kejadian penyakit melalui berbagai strategi. Kolonisasi mikroba sering memicu respons pertahanan sistemik dengan memanfaatkan biosintesis senyawa antimikroba endogen atau menginduksi jalur resistensi pada pejamu yang terinfeksi. Sangat menarik bagaimana mekanisme yang rumit ini tidak hanya mendorong hubungan simbiosis tetapi juga membantu kemampuan tanaman untuk mempertahankan diri dari invasi patogen.

3.5. Faktor Kunci yang Mempengaruhi Hubungan Tumbuhan dan Mikroba

Beberapa faktor kunci mempengaruhi hubungan tanaman-mikroba. Ini termasuk identitas dan keragaman spesies tanaman dan mikroba yang terlibat, lingkungan sekitar dan faktor abiotiknya, dan interaksi spesifik antara tanaman dan mikroba. Selain itu, susunan genetik dan respons fisiologis tumbuhan itu sendiri juga dapat memengaruhi hasil interaksi. Misalnya, spesies tanaman tertentu mungkin telah mengembangkan mekanisme spesifik untuk mengenali dan berinteraksi dengan mikroba yang bermanfaat, sementara yang lain mungkin lebih rentan terhadap mikroba patogen. Hasil interaksi tanaman-mikroba juga dapat dipengaruhi oleh faktor abiotik seperti suhu, kelembaban, dan ketersediaan nutrisi. Secara keseluruhan, interaksi tanaman-mikroba adalah proses yang sangat dinamis yang dipengaruhi oleh berbagai faktor (Amoozadeh et al., 2021).

Positive and Negative Interactions

Interaksi tanaman-mikroba dapat memiliki efek positif dan negatif pada kebugaran tanaman. Interaksi positif terjadi bila interaksi antara tumbuhan dan mikroba menguntungkan kedua belah pihak. Misalnya, interaksi simbiosis dapat mendorong pertumbuhan tanaman

dengan memfasilitasi perolehan nutrisi, seperti fiksasi nitrogen atmosfer atau penyerapan senyawa fosfor dan nitrogen. (Amoozadeh et al., 2021).

Di sisi lain, beberapa interaksi antara tumbuhan dan mikroba dapat bersifat negatif. Interaksi negatif dapat mengakibatkan penurunan kebugaran tanaman dan peningkatan kerentanan terhadap penyakit. Interaksi ini dapat terjadi ketika mikroba patogen menyerang tanaman, menyebabkan penyakit dan mengganggu pertumbuhan dan reproduksi tanaman. Interaksi negatif juga dapat terjadi ketika mikroba bersaing dengan tanaman untuk mendapatkan sumber daya atau menghasilkan senyawa berbahaya yang menghambat pertumbuhan tanaman.

Secara keseluruhan, interaksi tanaman-mikroba sangat kompleks dan beragam. Mereka dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk identitas dan keragaman spesies yang terlibat, lingkungan, dan interaksi spesifik antara tumbuhan dan mikroba. Hasil dari interaksi ini dapat berdampak signifikan pada kebugaran dan kesehatan tanaman.

3.6. Dampak Interaksi Mikroba terhadap Kesehatan dan Pertumbuhan Tanaman

Mikroba dapat memiliki berbagai dampak terhadap kesehatan dan pertumbuhan tanaman (Amoozadeh et al., 2021). Mereka dapat memiliki efek positif dengan mendorong pertumbuhan tanaman, meningkatkan serapan nutrisi, dan meningkatkan ketahanan terhadap stresor. Misalnya, mikroba tertentu dapat memperbaiki nitrogen atmosfer, mengubahnya menjadi bentuk yang dapat digunakan tumbuhan untuk pertumbuhan. Proses ini, dikenal sebagai fiksasi nitrogen, dapat meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman, terutama pada tanah yang kekurangan nitrogen. Selain itu, beberapa mikroba dapat membentuk hubungan simbiosis dengan tanaman, seperti jamur mikoriza, yang membantu tanaman memperoleh nutrisi dari tanah dan meningkatkan efisiensi serapan nutrisi secara

keseluruhan. Interaksi simbiosis ini dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap berbagai cekaman, termasuk kekeringan, salinitas, dan penyakit. Selain itu, mikroba tertentu yang disebut rizobakteri pemacu pertumbuhan tanaman dapat secara langsung berkontribusi pada pertumbuhan dan kesehatan tanaman. Mereka menghasilkan senyawa yang mendorong perkembangan akar, meningkatkan ketersediaan nutrisi, dan merangsang pertumbuhan tanaman melalui produksi hormon atau pelarutan nutrisi. Interaksi tersebut dapat terjadi di rizosfer, yaitu daerah di sekitar akar tanaman, tempat banyak mikroba bermanfaat berada. Interaksi tanaman-mikroba juga dapat berdampak negatif pada kesehatan dan pertumbuhan tanaman. Interaksi negatif dapat terjadi ketika mikroba patogen menyerang tanaman dan menyebabkan penyakit. Patogen ini dapat mengganggu pertumbuhan dan reproduksi tanaman, yang menyebabkan penurunan hasil panen dan kerugian ekonomi.

3.7. Menjelajahi Manfaat Bersama dari Interaksi Tumbuhan-Mikroba

Plant-microbe interactions can also result in mutualistic relationships, where both the plant and the microbe benefit. For example, mycorrhizal fungi form mutualistic relationships with plants by establishing a symbiotic association. Through this association, the fungi provide the plants with enhanced nutrient uptake, especially phosphorus, while the plants provide the fungi with carbohydrates produced through photosynthesis. Similarly, nitrogen-fixing bacteria, such as rhizobium, form nodules on the roots of leguminous plants, providing them with a source of fixed nitrogen while benefiting from a supply of carbohydrates from the plant. This mutualistic relationship allows the plant to access nitrogen, an essential nutrient for growth, and the bacteria to obtain a source of energy. Overall, plant-microbe interactions occur thro Interaksi tanaman-mikroba juga dapat menghasilkan hubungan mutualistik, di mana tanaman dan mikroba sama-sama mendapat manfaat. Sebagai contoh, jamur

mikoriza membentuk hubungan mutualistik dengan tumbuhan dengan membangun hubungan simbiosis. Melalui asosiasi ini, jamur memberi tanaman penyerapan nutrisi yang ditingkatkan, terutama fosfor, sementara tanaman memberi jamur karbohidrat yang dihasilkan melalui fotosintesis. Demikian pula, bakteri penambat nitrogen, seperti rhizobium, membentuk nodul pada akar tanaman polongan, memberi mereka sumber nitrogen tetap sambil mendapat manfaat dari pasokan karbohidrat dari tanaman. Hubungan mutualistik ini memungkinkan tanaman mengakses nitrogen, nutrisi penting untuk pertumbuhan, dan bakteri memperoleh sumber energi. Secara keseluruhan, interaksi tanaman-mikroba terjadi melalui mekanisme yang beragam dan dapat berdampak positif maupun negatif terhadap pertumbuhan dan kesehatan tanaman. Diverse mechanisms and can have both positive and negative impacts on plant growth and health.

3.8. Peran Mikroba dalam Penyakit dan Ketahanan Tanaman

Interaksi tanaman-mikroba juga memainkan peran penting dalam penyakit dan ketahanan tanaman. Mikroba tertentu, yang dikenal sebagai patogen tanaman, dapat menyerang jaringan tanaman dan menyebabkan penyakit. Patogen ini dapat merusak pertumbuhan dan reproduksi tanaman, yang menyebabkan penurunan hasil panen dan kerugian ekonomi. Di sisi lain, tumbuhan telah mengembangkan berbagai mekanisme pertahanan untuk memerangi patogen ini. Mekanisme pertahanan ini termasuk aktivasi gen spesifik yang menyandikan protein pertahanan dan produksi senyawa antimikroba. Mekanisme pertahanan ini dipicu melalui pengenalan pola molekuler terkait patogen oleh reseptor pengenalan pola tanaman. Interaksi antara tumbuhan dan mikroba dapat terjadi melalui berbagai mekanisme. Interaksi antara tanaman dan mikroba dapat terjadi melalui berbagai mekanisme, termasuk kontak fisik, pensinyalan kimiawi, dan pertukaran nutrisi. Interaksi tanaman-mikroba terjadi melalui berbagai

mekanisme, termasuk kontak fisik, pensinyalan kimia, dan pertukaran nutrisi.

3.9. Prospek Masa Depan dalam Studi Interaksi Tumbuhan dan Mikroba

Prospek dalam studi interaksi tanaman dan mikroba mencakup pemahaman lebih lanjut tentang interaksi kompleks yang terjadi antara tanaman dan mikroba. Prospek dalam studi interaksi tanaman dan mikroba termasuk mendapatkan pemahaman yang lebih dalam tentang mekanisme spesifik yang terlibat dalam interaksi ini, serta mengidentifikasi interaksi tanaman-mikroba baru yang dapat dimanfaatkan untuk tujuan yang bermanfaat, seperti meningkatkan produktivitas dan ketahanan tanaman. Beberapa prospek lain dalam studi interaksi tanaman dan mikroba termasuk mengungkap peran mikrobioma tanaman dalam kesehatan tanaman dan memahami bagaimana kultivar tanaman yang berbeda berinteraksi dengan mikroba. Interaksi antara tumbuhan dan mikroba dapat terjadi melalui berbagai mekanisme, seperti kontak fisik, pensinyalan kimiawi, dan pertukaran nutrisi. Memahami interaksi tanaman-mikroba sangat penting dalam bidang penyakit dan ketahanan tanaman. Memahami interaksi tanaman-mikroba sangat penting dalam bidang penyakit dan ketahanan tanaman. Selain itu, studi masa depan dalam interaksi tanaman dan mikroba harus mempertimbangkan sifat multi-dimensi dari interaksi ini dengan menggabungkan fasilitas pertumbuhan generasi berikutnya yang mensimulasikan kondisi abiotik alami dan memeriksa pengaruh faktor lingkungan pada interaksi tanaman-mikroba.

3.10. Kesimpulan: Memanfaatkan Interaksi Tumbuhan-Mikroba untuk Kesuksesan Pertanian

Memahami interaksi tanaman-mikroba sangat berharga dalam berbagai bidang, termasuk pencegahan penyakit tanaman, peningkatan hasil panen, dan kelestarian lingkungan. Interaksi tanaman-mikroba terjadi melalui berbagai mekanisme dan dapat berdampak signifikan terhadap kesehatan dan produktivitas tanaman. Misalnya, mikroba telah terbukti meningkatkan serapan sumber daya dan menyediakan jalur nutrisi dan pertahanan baru, sehingga berkontribusi pada kesehatan tanaman. Interaksi tanaman-mikroba bersifat timbal balik, di mana tanaman memberikan nutrisi kepada mikroba dengan imbalan manfaat lainnya. Interaksi tersebut dapat terjadi melalui kontak fisik, seperti kolonisasi akar oleh mikroba yang menguntungkan, dan pensinyalan kimia, di mana mikroba melepaskan molekul yang dapat mempengaruhi fisiologi tanaman dan pertukaran nutrisi antara tanaman dan mikroba. Memahami kompleksitas interaksi tanaman-mikroba membutuhkan studi tentang mikrobioma endofit tanaman, yang merupakan mikroba yang berada di dalam jaringan tanaman dan berkontribusi terhadap kesehatan dan fungsinya secara keseluruhan.

Bioteknologi Mikroba dan Tebu

4.1. Bioteknologi Mikroba

Pertanian tebu adalah salah satu bidang di mana bioteknologi mikroba telah membuat kemajuan besar. Bioteknologi mikroba telah digunakan dalam budidaya tebu untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan. Interaksi tanaman-mikroba yang menguntungkan adalah salah satu komponen bioteknologi mikroba yang paling penting dalam pertanian tebu. Interaksi ini memerlukan hubungan simbiosis antara tebu dan mikroba tertentu seperti bakteri dan jamur, yang dapat meningkatkan pertumbuhan dan kesehatan tanaman. Mikroorganisme ini berkontribusi dalam berbagai cara, termasuk fiksasi nitrogen, penyerapan nutrisi, dan pengendalian penyakit, menghasilkan produksi dan kualitas tanaman yang lebih tinggi.

Bioteknologi mikroba dalam pertanian tebu mencakup penerapan teknologi mikrobioma selain penggunaan interaksi tanaman-mikroba yang menguntungkan. Studi dan pengelolaan populasi mikroba yang ditemukan di lingkungan tebu disebut sebagai teknologi microbiome.

Metode ini membantu para peneliti untuk mendapatkan pengetahuan yang lebih baik tentang keragaman dan fungsi komunitas mikroba di rizosfer tebu, filosfer, dan endosfer. Komunitas mikroba yang ditemukan di berbagai wilayah tanaman tebu ini sangat penting

bagi kesehatan dan produksi tanaman secara keseluruhan. Selain itu, kemajuan teknologi genomik, pasca-genomik, dan biokimia telah membantu penciptaan dan pemasaran produk mikroba yang efektif untuk pertanian tebu. Produk mikroba, seperti pupuk hayati yang diproduksi dengan bakteri menguntungkan, telah dimanfaatkan untuk meningkatkan ketersediaan dan penyerapan hara pada tanaman tebu, misalnya.

Ini menghasilkan pertumbuhan tanaman yang lebih baik dan hasil yang lebih besar. Secara keseluruhan, penggabungan interaksi tanaman-mikroba yang positif dan bioteknologi mikroba dalam pertanian tebu memiliki potensi untuk mengubah sektor ini dengan mengembangkan teknik pertanian yang ramah lingkungan dan layak secara ekonomi. Bioteknologi mikroba telah terbukti menjadi alat yang bermanfaat dalam pertanian tebu, meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan. Penggunaan interaksi tanaman-mikroba yang bermanfaat dan teknologi mikrobioma, di antara unsur-unsur bioteknologi mikroba lainnya dalam pertanian tebu, memiliki potensi untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan tebu secara signifikan. Selain itu, penggunaan bioteknologi mikroba dalam pertanian tebu dapat membantu mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia dan pestisida. Selain itu, menggabungkan interaksi tanaman-mikroba yang bermanfaat dan rekayasa mikroba dapat membantu pengelolaan penyakit pada tanaman tebu.

Industri tebu dapat meminimalkan ketergantungannya pada pupuk dan pestisida kimia dengan memanfaatkan potensi interaksi mikroba yang positif dan bioteknologi mikroba, mendukung pendekatan pertumbuhan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Selain itu, penggunaan bioteknologi mikroba dalam budidaya tebu dapat membantu meningkatkan kesehatan dan kesuburan tanah. Hal ini dicapai melalui peningkatan ketersediaan dan penyerapan nutrisi, serta mempromosikan populasi mikroba bermanfaat yang berkontribusi terhadap kesehatan tanah. Secara keseluruhan, bioteknologi mikroba dalam produksi tebu memberikan

jawaban yang layak untuk masalah industri, seperti peningkatan produktivitas, peningkatan keberlanjutan, penurunan biaya input, dan penurunan dampak lingkungan. Singkatnya, penggabungan interaksi tanaman-mikroba yang bermanfaat dan bioteknologi mikroba dalam pertanian tebu memiliki potensi besar untuk merevolusi industri dengan mempromosikan praktik yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, meningkatkan produktivitas tanaman, mengurangi ketergantungan pada bahan kimia, meningkatkan pengelolaan penyakit, dan meningkatkan kualitas tanah. kesehatan dan kesuburan.

4.2. Tebu: Tanaman Penting dalam Bioteknologi Pertanian

Tebu adalah tanaman tropis yang sering dibudidayakan karena kandungan gulanya yang tinggi. Karena kemampuan beradaptasi dan signifikansi ekonominya, itu adalah tanaman yang signifikan dalam bioteknologi pertanian. Tebu bukan hanya sumber utama produksi gula, tetapi juga merupakan bahan baku potensial untuk produksi biofuel. Output biomassa tanaman yang tinggi dan kapasitas untuk tumbuh subur dalam berbagai kondisi iklim menjadikannya pilihan yang baik untuk energi terbarukan berbasis biomassa. Selain itu, tebu sangat penting untuk pertumbuhan sosial ekonomi banyak negara, terutama di negara berkembang. Dengan menggunakan pendekatan bioteknologi pertanian, peneliti dapat meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian tebu, menguntungkan baik sektor pertanian maupun ekonomi secara umum. Tebu dapat direkayasa secara genetik untuk meningkatkan fitur seperti hasil, ketahanan terhadap penyakit, dan kandungan gula menggunakan bioteknologi. Modifikasi bioteknologi telah berkontribusi dalam kemajuan metode produksi tebu. Untuk mencapai tujuan peningkatan pendapatan petani, telah diciptakan teknologi produktivitas tebu dan gula yang terintegrasi.

Selain itu, penerapan bioteknologi dalam pertanian tebu telah menghasilkan kemajuan penting yang memecahkan masalah industri yang kritis. Secara khusus, penerapan bioteknologi telah menghasilkan

produksi kultivar tebu hasil rekayasa genetika yang tahan terhadap hama seperti penggerek tebu. Sejarah singkat bioteknologi mikroba dan pengaruhnya terhadap produktivitas tanaman mengungkapkan potensi keuntungan dari pendekatan ini dalam pertanian tebu. Para peneliti telah merekayasa genetik kultivar tebu, seperti CTC20Bt dan CTC9001BT, agar tahan terhadap penggerek tebu. Komite Teknis Nasional Keamanan Hayati di Brasil telah mengesahkan penanaman dan penggunaan kultivar hasil rekayasa genetika ini dalam makanan dan ransum. Selain itu, penerapan bioteknologi telah mengarah pada pemahaman yang lebih baik tentang proses biologis dalam tebu, mungkin mengarah pada perubahan teknik pertanian. Sebagai contoh, peneliti dari Brasil, Amerika Serikat, dan Prancis menyelidiki RAV, faktor transkripsi yang termasuk dalam superfamili faktor respons etilen. Studi mereka telah mengungkapkan wawasan penting tentang kerusakan dinding sel tebu dan dapat berfungsi sebagai batu loncatan dalam mengendalikan hidrolisis dinding sel. Secara keseluruhan, penerapan bioteknologi dalam budidaya tebu memiliki potensi yang cukup besar untuk meningkatkan produktivitas, keberlanjutan, dan ketahanan terhadap penyakit pada tanaman penting ini. Selanjutnya, penggunaan bioteknologi dalam perbaikan tanaman tebu sangat penting karena tantangan unik yang terkait dengan tanaman ini.

4.3. Perlunya Bioteknologi Mikroba Pada Tanaman Tebu

Karena kendala khusus yang dihadapi tanaman ini, bioteknologi memberikan prospek yang luar biasa untuk meningkatkan pertanian tebu. Pemeriksaan masalah yang dihadapi dalam pertanian tebu tradisional, seperti infestasi serangga, penyakit, dan degradasi tanah, menggarisbawahi kebutuhan kritis untuk pengembangan dan penerapan bioteknologi mikroba di sektor tebu. Tebu komersial menghadapi sejumlah masalah, termasuk kesuburan rendah, kepekaan terhadap penyakit dan hama, dan proses pemuliaan yang panjang untuk menghasilkan kultivar unggul. Penjelasan tentang bagaimana bioteknologi mikroba memberikan jawaban baru atas kesulitan ini

akan meletakkan dasar bagi sektor tebu yang berkelanjutan. Selain itu, penerapan bioteknologi dalam pertanian tebu tidak hanya mengatasi masalah tanaman, tetapi juga menambah perbaikan sektor tebu secara umum. Bioteknologi memiliki potensi untuk meningkatkan pertanian tebu secara dramatis, khususnya dalam mengatasi masalah yang dihadapi tanaman ini.

Aplikasi yang efektif dari bioteknologi mikroba dalam berbagai tanaman memberikan bukti yang kuat tentang potensinya untuk meningkatkan pertanian tebu. Secara signifikan, varietas hasil rekayasa genetika yang tahan terhadap hama dan penyakit telah diproduksi, memberikan informasi tentang bagaimana teknologi ini dapat membantu peningkatan produksi tebu. Selain itu, para peneliti telah membuat kemajuan luar biasa dalam memahami fitur biokimia dan genetik tebu, tetapi masih banyak yang harus dipelajari dan diselidiki. Meskipun telah ada kemajuan yang cukup besar dalam memahami biologi dan pertanian tebu, masih diperlukan karakterisasi biokimia dan genetik yang lebih luas dari tanaman ini untuk memanfaatkan potensinya secara maksimal.

Hal ini menggarisbawahi perlunya penelitian dan pengembangan berkelanjutan dalam bioteknologi mikroba untuk memecahkan masalah yang dihadapi oleh sektor tebu dan meningkatkan ketahanan terhadap penyakit pada tanaman ini. Singkatnya, bioteknologi mikroba menunjukkan potensi yang sangat besar untuk meningkatkan pertanian tebu. Kapasitasnya untuk menangani masalah seperti hama, penyakit, dan kesehatan tanah yang buruk menjadikannya alat yang berguna untuk pengembangan jangka panjang industri tebu. Selain itu, penerapan bioteknologi dapat membantu produksi kultivar unggul dengan kinerja agronomi yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan produktivitas total sektor tebu. Bersama-sama, kemajuan dalam bioteknologi ini menawarkan solusi yang menjanjikan untuk mengatasi tantangan yang dihadapi oleh industri tebu dan berkontribusi pada pertumbuhan dan keberlanjutannya secara keseluruhan.

4.3.1 Manfaat Mengintegrasikan Bioteknologi Mikroba

Mengintegrasikan bioteknologi mikroba ke dalam produksi tebu memiliki beberapa manfaat yang dapat sangat meningkatkan pertumbuhan tanaman. Penggabungan berbagai mikroorganisme dan interaksinya dengan tanaman tebu berpotensi meningkatkan metode pertanian secara signifikan. Interaksi tanaman-mikroba dan mikrobioma yang menguntungkan, khususnya, dapat meningkatkan kesuburan tanah dan ketersediaan unsur hara, menghasilkan pengembangan tanaman dan potensi hasil yang lebih besar. Selain itu, penggunaan bioteknologi mikroba pada tebu dapat meningkatkan pengendalian penyakit dan hama. Selain itu, bioteknologi mikroba memberikan pendekatan pertanian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan dengan mengurangi permintaan pupuk kimia dan pestisida, sehingga mengurangi dampak lingkungan yang negatif.

Bioteknologi mikroba telah muncul sebagai pilihan yang layak untuk meningkatkan pertanian tebu karena kemampuannya untuk memenuhi masalah yang dihadapi tanaman ini. Bioteknologi mikroba memberikan berbagai manfaat untuk meningkatkan operasi pertanian dengan mengintegrasikan interaksi yang menguntungkan antara tanaman, mikroba, dan mikrobioma. Salah satu keuntungan utama adalah peningkatan kesuburan tanah dan ketersediaan unsur hara, yang mengarah pada peningkatan pertumbuhan tanaman dan potensi produksi. Selain itu, penerapan bioteknologi mikroba dapat membantu dalam produksi kultivar hasil rekayasa genetika yang tahan terhadap hama dan penyakit, memberikan tanaman tebu perlindungan jangka panjang. Cara ini juga berpotensi untuk meningkatkan penampilan agronomi kultivar, mengurangi ketergantungan pada agrokimia sintetis dan efek lingkungannya.

Terobosan signifikan dalam pertanian tebu telah dicapai melalui penggunaan bioteknologi, meningkatkan keberlanjutan

dan potensi hasil bagi produsen. Solusi bioteknologi terbukti bermanfaat dalam mengatasi berbagai masalah yang dihadapi oleh produsen tebu. Kesulitan-kesulitan ini termasuk genom poliploid-aneuploid yang kompleks, keragaman genetik yang terbatas dalam kultivar komersial (terutama hibrida interspesifik dari *S. officinarum* dan *S. spontaneum*), tingkat kesuburan yang rendah, kerentanan terhadap penyakit dan hama, dan periode pemuliaan yang panjang yang diperlukan untuk mengembangkan kultivar unggul.

Para peneliti telah menggunakan bioteknologi mikroba untuk meningkatkan kesuburan tanah dan ketersediaan unsur hara pada tanaman tebu, yang menghasilkan peningkatan pertumbuhan dan hasil. Selain itu, pemanfaatan strain mikroba yang bermanfaat telah menunjukkan harapan yang luar biasa dalam memberikan ketahanan jangka panjang terhadap penyakit dan hama. Selain itu, bioteknologi mikroba memiliki kemampuan untuk meningkatkan kinerja agronomis kultivar tebu secara keseluruhan, memastikan bahwa mereka dapat beradaptasi dengan baik dengan lingkungannya dan dapat bertahan dalam berbagai tekanan.

Selain itu, penelitian yang berfokus pada faktor transkripsi seperti RAV dari superfamili faktor respons etilen atau enzim endo-poli-galakturonik yang terlibat dalam degradasi dinding sel merupakan kemajuan signifikan dalam mengungkap proses molekuler fundamental yang berkontribusi pada karakteristik yang diinginkan pada tanaman tebu [8]. Para peneliti dapat membuat teknik untuk mengatur dan mengelola hidrolisis dinding sel dalam tebu dengan mengklarifikasi proses ini, yang dapat mengarah pada kemajuan dalam pemrosesan tebu seperti peningkatan ekstraksi sukrosa dan penguraian serat yang lebih sederhana selama pembuatan etanol. Secara keseluruhan, bioteknologi memberikan prospek yang sangat besar untuk peningkatan tanaman tebu dan pertanian berkelanjutan.

4.4. Takeaway kunci

Nilai bioteknologi mikroba dalam pertanian tebu tidak dapat ditekankan. Inovasi bioteknologi memiliki potensi untuk meningkatkan beberapa elemen produksi tebu, memecahkan masalah yang melekat dan meningkatkan hasil panen. Penelitian mikrobioma telah membuka jalan bagi solusi jangka panjang untuk meningkatkan hasil pertanian dengan memanfaatkan potensi interaksi tanaman-mikroba yang menguntungkan. Penggabungan teknologi terobosan seperti pemupukan terintegrasi, taktik biokontrol penyakit, dan pendekatan berbasis pencitraan dan penginderaan telah mengubah pertanian kontemporer.

Selain itu, penelitian berkelanjutan terhadap struktur genomik tebu yang kompleks telah menghasilkan kultivar rekayasa genetika yang tahan terhadap hama seperti penggerek tebu. Kemajuan ini tidak hanya membantu ketahanan terhadap penyakit, tetapi juga memungkinkan panen berkualitas lebih tinggi dengan mengurangi kerugian panen akibat hama.

Perkembangan dalam penelitian genom, analisis pasca-genomik, pengetahuan biokimia, dan wawasan ekologi ke dalam hubungan simbiosis dengan mikroorganisme mendorong upaya ke arah komersialisasi produk mikroba yang efektif yang meningkatkan pertumbuhan dan kesehatan tebu. Lanjutkan membaca untuk mempelajari lebih lanjut tentang dunia bioteknologi mikroba tebu yang menarik.

Mikrobioma Tebu

5.1. Pengertian Mikrobioma

Dalam bab ini, kita akan melihat mikrobioma, yaitu populasi mikroba yang banyak dan kompleks yang hidup di tanaman tebu. Kami akan menyelidiki komposisi, fungsi, dan dinamika mikrobioma tebu, yang meliputi bakteri, jamur, dan virus yang diketahui berinteraksi dengan tanaman tebu.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menyelami fitur mendalam dari mikrobioma tebu. Kami ingin mengeksplorasi bukan hanya komposisinya, tetapi juga fungsi dan dinamikanya. Ini akan mencakup pemeriksaan menyeluruh terhadap banyak mikroorganisme yang hidup dalam ekologi di sekitar tanaman tebu.

Rencana studi kami mencakup analisis menyeluruh terhadap bakteri, jamur, dan virus sebagai komponen utama ekosistem mikroba yang kompleks ini. Beberapa mikroba telah ditemukan memiliki interaksi substansial dengan tanaman tebu, mengubah perkembangan, kesehatan, dan produksinya. Selain itu, kami akan menyelidiki hubungan mutualistik antara bakteri dari keluarga *Acetobacteraceae*, lebah madu *Apis mellifera*, dan kutu putih tebu merah muda *Saccharococcus sacchari*, keduanya memakan gula. Selain itu, kami akan menyelidiki fungsi jamur yang berhubungan dengan usus dalam memberikan nutrisi penting dan enzim pada tanaman tebu, serta berkontribusi

pada jalur detoksifikasi, metabolisme, dan pembentukan feromonnya. Memahami interaksi dan aktivitas yang rumit dari taksa tertentu dalam mikrobioma tebu memungkinkan para peneliti untuk memperoleh pengetahuan yang lebih menyeluruh tentang bagaimana mikroba ini berkontribusi pada pertumbuhan, perkembangan, dan toleransi stres pada tanaman tebu. Para peneliti dapat memperoleh wawasan yang signifikan tentang interaksi rumit antara mikroorganisme dan tanaman tebu dengan menyelidiki mikrobioma tebu.

5.1.1 Peran Mikroba dalam Serapan Nutrisi

Mikroba membantu dalam penyerapan nutrisi dengan menguraikan bahan organik dan melepaskan nutrisi penting ke dalam tanah. Mikroba dalam mikrobioma tebu melepaskan nutrisi penting ke dalam tanah dengan memecah puing-puing organik kompleks, yang membantu tanaman tebu menyerap nutrisi. Generasi metabolit sekunder yang aktif secara fisiologis, seperti fitohormon dan bahan kimia antimikroba, oleh bakteri dalam mikrobioma tebu meningkatkan penyerapan nutrisi oleh tanaman tebu. Metabolit sekunder ini berfungsi sebagai sinyal bagi tanaman, mendorongnya untuk meningkatkan penyerapan dan pemanfaatan nutrisi. Selain itu, karakteristik pemupukan mikrobioma tebu meningkatkan ketersediaan dan aksesibilitas nutrisi ke tanaman tebu. Mikroba dalam mikrobioma tebu juga meningkatkan efisiensi konsumsi nutrisi pada tanaman tebu.

Bakteri pengikat nitrogen, misalnya, meningkatkan asupan nutrisi dengan mengubah nitrogen atmosfer menjadi bentuk yang dapat diserap tanaman. Dengan menciptakan hubungan simbiosis dengan tanaman tebu, bakteri pengikat nitrogen ini memberi tanaman sumber nitrogen langsung, meningkatkan asupan nutrisi dan perkembangannya. Selain itu, mikroorganisme menguntungkan dalam bantuan mikrobioma tebu dalam pengaturan pertumbuhan tanaman dan efisiensi penggunaan nutrisi. Mikroorganisme ini berperan penting dalam

perkembangan tanaman pada banyak tahap, dimulai dengan perkecambahan biji. Selain itu, interaksi antara bakteri dalam mikrobioma tebu dan tanaman membantu tanaman beradaptasi dengan lingkungan yang keras. Mereka meningkatkan toleransi tanaman tebu terhadap cekaman biotik yang dihasilkan oleh mikroorganisme patogen tular tanah, misalnya. Mikroorganisme menguntungkan yang berasosiasi dengan tanaman tebu memiliki fungsi dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap stressor abiotik selain penyerapan nutrisi. Mereka membantu tanaman tebu, misalnya, mengatasi kekeringan, variasi suhu, dan defisit nutrisi.

Jamur mikoriza mengembangkan hubungan simbiosis dengan tanaman, meningkatkan asupan nutrisi dengan memperluas sistem akar. Jamur ini menghasilkan jaringan mikoriza, yang memungkinkan pertukaran nutrisi antara tanaman terkait. Dalam kasus tanaman tebu, jamur mikoriza dalam mikrobioma tebu membantu asupan hara dengan memperluas sistem perakaran tanaman. Ini meningkatkan luas permukaan yang dapat diakses untuk penyerapan nutrisi, memungkinkan tanaman tebu memperoleh lebih banyak nutrisi di dalam tanah. Selain itu, mikrobioma tebu penting dalam pembentukan metabolit sekunder yang aktif secara fisiologis seperti fitohormon dan bahan kimia antibakteri. Metabolit sekunder yang dihasilkan oleh bakteri dalam mikrobioma tebu menunjukkan berbagai sifat ramah tanaman.

Mikroba membantu asupan nutrisi melalui pelarutan fosfor dari sumber organik dan anorganik, membuatnya dapat diakses oleh tanaman. Mereka juga meningkatkan penyerapan nitrogen dengan mengubah nitrogen atmosfer menjadi bentuk yang dapat dimanfaatkan tanaman. Selain itu, mikroorganisme dalam mikrobioma tebu membantu tanaman mengeluarkan eksudat akar. Eksudat akar merupakan kombinasi bahan kimia organik yang dilepaskan ke dalam tanah oleh tumbuhan. Zat-zat ini memberikan makanan bagi mikroorganisme dan menghasilkan

lingkungan yang kondusif bagi kolonisasi dan aktivitas mikroba. Dalam mikrobioma tebu, eksudat akar yang dihasilkan oleh tanaman menawarkan pasokan bahan kimia organik yang kaya yang mendorong pertumbuhan dan aktivitas bakteri. Kehadiran mikroorganisme menguntungkan dalam mikrobioma tebu sangat penting untuk perkembangan dan nutrisi tanaman. Selain itu, mikrobioma tebu berkontribusi terhadap toleransi tanaman terhadap banyak stresor biotik dan abiotik. Mikroorganisme ini membuat fitohormon dan metabolit sekunder lainnya yang membantu tanaman menghadapi tantangan abiotik seperti kekeringan, variasi suhu, dan defisiensi nutrisi kekurangan.

Mikroba membantu mineralisasi nutrisi dengan mengubah zat organik yang rumit menjadi bentuk yang lebih sederhana yang dapat diserap tanaman. Akibatnya, mikrobioma tebu tidak hanya meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman, tetapi juga berkontribusi terhadap kesehatan dan ketahanan tanaman tebu secara umum. Secara keseluruhan, interaksi tanaman-mikroba dalam mikrobioma tebu sangat penting untuk asupan nutrisi dan pertumbuhan tanaman. Selain itu, mikrobioma tebu penting dalam pengendalian pH tanah. Pelepasan eksudat akar rizosfer tanaman tebu mempengaruhi komposisi dan aktivitas mikrobiota rizosfer. Dengan menggunakan eksudat akar dan molekul organik lainnya, mikroorganisme dalam mikrobioma tebu membantu mempertahankan pH yang diatur di rizosfer. Ini mendorong pertumbuhan dan perkembangan tanaman dengan menciptakan lingkungan yang ideal untuk penyerapan nutrisi. Susunan dan aktivitas mikrobioma tebu dipengaruhi oleh keluarnya eksudat akar oleh tanaman tebu ke rizosfer.

Mikroba memainkan peran penting dalam penyerapan nutrisi di lingkungan perairan dengan mempromosikan siklus nutrisi antara kolom air dan sedimen. Mekanisme ini sangat penting untuk memastikan ketersediaan nutrisi yang cukup, yang diperlukan untuk perkembangan tanaman air. Mikroba memainkan

peran penting dalam penghancuran bahan organik dalam sistem ini, memecah bahan kimia kompleks dan melepaskan nutrisi penting yang diperlukan untuk perkembangan tanaman. Selain itu, bakteri secara aktif berkontribusi dalam konversi bentuk nutrisi anorganik, seperti nitrogen dan fosfor, menjadi bentuk organik yang lebih mudah tersedia. Komunitas mikroba berhasil mengubah komponen penting ini menjadi molekul yang dapat dengan mudah digunakan tanaman air sebagai sumber nutrisi utama dengan melakukan proses konversi ini. Secara keseluruhan, jelas bahwa mikroorganisme melayani berbagai fungsi dalam ekosistem perairan untuk mempromosikan siklus dan ketersediaan nutrisi yang efektif, yang pada gilirannya mendukung perkembangan tanaman yang optimal.

Mikroba membantu penyerapan nutrisi dengan memperkuat struktur tanah, memungkinkan lebih banyak penetrasi akar dan ketersediaan nutrisi. Mikroba dalam mikrobioma tanah membantu membangun dan menstabilkan agregat tanah, yang menciptakan lingkungan yang ideal untuk perkembangan akar dan penyerapan nutrisi. Selain itu, mikroorganisme ini menghasilkan enzim yang mendegradasi bahan organik, membuat nutrisi lebih tersedia bagi tanaman. Selain itu, beberapa bakteri di dalam tanah dapat melarutkan mineral seperti fosfor, membuatnya lebih mudah diakses oleh tanaman. Secara keseluruhan, keberadaan dan aktivitas mikroorganisme pada berbagai mikrobioma tanaman memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap asupan nutrisi, pertumbuhan, dan perkembangan tanaman. Mikroba dalam mikrobioma tanaman menghasilkan eksudat akar, yang menyediakan lingkungan yang ideal untuk penyerapan nutrisi tanaman. Selain itu, mikroorganisme ini membuat metabolit sekunder yang aktif secara fisiologis, seperti fitohormon, yang mendorong perkembangan tanaman dan ketahanan terhadap stres.

Dengan meremediasi lingkungan yang terkontaminasi, memecah polutan, dan melepaskan nutrisi, mikroba berkontribusi

dalam asupan nutrisi dan kesehatan lingkungan. Bakteri ini memiliki kemampuan untuk memecah bahan kimia beracun dan mengubahnya menjadi bentuk yang kurang berbahaya. Mereka tidak hanya memurnikan lingkungan, tetapi juga melepaskan nutrisi yang dapat diserap tanaman. Selain itu, mikroorganisme di rizosfer dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stresor biotik dan abiotik. Mereka mungkin, misalnya, melindungi tanaman dari bakteri tanah patogen dan meningkatkan toleransi mereka terhadap tekanan lingkungan termasuk kekeringan, suhu ekstrem, dan infestasi serangga. Terakhir, mikroorganisme berperan penting dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman serta penyerapan nutrisi. Mereka memperbaiki struktur tanah, melarutkan mineral, dan melepaskan enzim yang memecah bahan organik, yang semuanya berkontribusi pada siklus dan ketersediaan nutrisi. Selain itu, interaksi mikroba dalam bantuan mikrobioma tanaman dalam pembentukan fitohormon dan metabolit sekunder lainnya yang mendorong perkembangan dan ketahanan tanaman terhadap stres.

Mikroba digunakan dalam pertanian untuk meningkatkan penyerapan nutrisi melalui strategi seperti pengomposan, pupuk hayati, dan inokulan mikroba. Pendekatan ini mencoba memasukkan bakteri menguntungkan ke dalam tanah untuk mendorong siklus hara dan ketersediaan tanaman. Selain itu, penggunaan inokulan mikroba dapat meminimalkan kebutuhan pupuk kimia, menghasilkan praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Terakhir, keberadaan dan aktivitas bakteri dalam mikrobioma tanaman memiliki konsekuensi penting bagi asupan nutrisi, pertumbuhan, dan perkembangan tanaman. Secara umum, mikroorganisme berperan penting dalam nutrisi dan pertumbuhan tanaman.

5.2. Mikroba dan Resistensi Penyakit

Mikroba, kelompok beragam organisme mikroskopis, memainkan peran penting dalam menyebabkan dan memerangi penyakit dalam berbagai ekosistem. Mikroba dapat menekan penyakit pada tanaman dengan beberapa mekanisme. Mereka dapat bersaing dengan mikroba patogen untuk sumber daya dan ruang, membatasi pertumbuhan dan kolonisasi mereka. Mikroba juga dapat menghasilkan senyawa antimikroba yang secara langsung menghambat pertumbuhan patogen. Selain itu, mikroba tertentu dapat menginduksi resistensi sistemik pada tanaman, di mana sistem kekebalan tanaman diaktifkan dan dipersiapkan untuk mempertahankan diri dari serangan patogen di masa depan.

Mikroba tertentu bertindak sebagai patogen, memicu respons imun pada manusia dan organisme lain untuk mengembangkan mekanisme resistensi penyakit. Kehadiran mereka dalam mikrobiota tanaman dapat menghasilkan respons imun lokal, yang dikenal sebagai Respon Hipersensitif, yang mencegah penyebaran patogen dan meminimalkan kerusakan pada tanaman. Kehadiran mikroba berasosiasi tanaman yang menguntungkan dapat secara signifikan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap berbagai faktor cekaman biotik dan abiotik, termasuk penyakit yang disebabkan oleh mikroba tular tanah. Mikroba bermanfaat ini dapat membantu mencegah penyakit dengan memproduksi senyawa antimikroba dan dengan meningkatkan sistem kekebalan tanaman. Secara keseluruhan, keberadaan mikroba terkait tanaman yang bermanfaat memainkan peran penting dalam ketahanan terhadap penyakit. Penerapan mikroba tanaman bermanfaat dalam pertanian memiliki potensi untuk meningkatkan produksi pangan dan biofuel yang berkelanjutan, menyediakan populasi yang terus bertambah. Selain perannya dalam penyerapan dan pengembangan nutrisi, mikroba berasosiasi tanaman yang bermanfaat juga dapat berkontribusi secara signifikan terhadap ketahanan penyakit pada tanaman.

Mikrobiota tubuh manusia, yang terdiri dari komunitas mikroba yang beragam, berkontribusi secara signifikan terhadap pengembangan sistem kekebalan dan ketahanan terhadap penyakit. Mikroba ini berinteraksi dengan sistem kekebalan tubuh kita dan membantu mendidik dan mengaturnya, memainkan peran penting dalam menjaga kesehatan secara keseluruhan dan mencegah timbulnya penyakit. Dalam hal ketahanan terhadap penyakit, mikroba bermanfaat dapat meningkatkan kemampuan sistem kekebalan tubuh kita untuk melawan patogen. Mereka dapat merangsang produksi senyawa antimikroba, bersaing dengan mikroba patogen untuk sumber daya dan ruang, dan memodulasi respon imun inang untuk meningkatkan hasil penyakit. Kesimpulannya, keberadaan mikroba terkait tumbuhan dan komunitas mikroba yang bermanfaat dalam tubuh manusia memainkan peran penting dalam ketahanan terhadap penyakit.

Di luar patogen, banyak mikroba memiliki hubungan simbiosis dengan inangnya, membantu pencegahan penyakit dan pemeliharaan kesehatan secara keseluruhan. Mikroba simbiotik ini dapat menghasilkan zat antimikroba, bersaing dengan patogen untuk sumber daya yang terbatas, dan memodulasi sistem kekebalan inang untuk meningkatkan ketahanan terhadap penyakit. Selain itu, mikroba yang bermanfaat dapat membantu menempati ruang yang tersedia untuk kolonisasi patogen, secara efektif mengurangi kemungkinan pembentukan patogen dan perkembangan penyakit. Secara keseluruhan, mikroba terkait tanaman yang bermanfaat berkontribusi secara signifikan terhadap ketahanan penyakit pada tanaman melalui berbagai mekanisme. Oleh karena itu, keberadaan dan kelimpahan mikroba terkait tanaman yang bermanfaat merupakan penentu utama kesehatan dan produktivitas tanaman.

Manfaat pertanian dari mikroba yang meningkatkan ketahanan penyakit tanaman, meminimalkan kebutuhan intervensi kimia. Dengan memanfaatkan potensi mikroba terasosiasi tanaman yang bermanfaat, petani dapat mengurangi ketergantungan pada pestisida dan fungisida sintetik, sehingga meminimalkan dampak

negatif terhadap lingkungan dan mempromosikan praktik pertanian berkelanjutan. Selain itu, mikrobioma tanaman, khususnya di rizosfer dan filosfer, memainkan peran penting dalam menentukan kesehatan dan produktivitas tanaman secara keseluruhan. Kehadiran mikroba menguntungkan di rizosfer dan filosfer dapat menekan pertumbuhan patogen tanaman, merangsang sistem kekebalan inang, meningkatkan serapan dan mobilisasi nutrisi, serta meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Secara keseluruhan, peran mikroba tanaman yang bermanfaat dalam resistensi penyakit beragam.

Kekhawatiran yang berkembang tentang resistensi antibiotik menyoroti interaksi yang rumit antara mikroba, gen resistensi, dan tantangan dalam mempertahankan manajemen penyakit yang efektif. Sangat penting untuk mengeksplorasi pendekatan alternatif untuk ketahanan terhadap penyakit, seperti memanfaatkan kekuatan mikroba terkait tanaman yang bermanfaat. Dengan memahami komposisi dan fungsi mikrobioma tanaman, peneliti dapat mengidentifikasi spesies atau galur mikroba tertentu yang berpotensi meningkatkan ketahanan terhadap penyakit dan mengembangkan strategi baru untuk perlindungan tanaman. Kesimpulannya, mikroba berasosiasi tanaman yang menguntungkan memiliki dampak yang signifikan terhadap ketahanan penyakit tanaman.

Probiotik, mikroba bermanfaat hidup, telah mendapat perhatian karena potensinya dalam meningkatkan respons kekebalan manusia dan ketahanan terhadap penyakit. Demikian pula, mikroba terkait tanaman yang bermanfaat dapat dianggap sebagai "probiotik" untuk tanaman, karena mereka meningkatkan sistem kekebalan tanaman dan berkontribusi terhadap ketahanan terhadap penyakit. Misalnya, mikroba yang berasosiasi dengan akar dapat secara langsung menekan patogen tular tanah atau merangsang sistem kekebalan tanaman, yang menyebabkan peningkatan ketahanan terhadap penyakit. Mikroba pengkolonisasi filosfer tanaman, sebaliknya, dapat meningkatkan pertumbuhan dan status nutrisi tanaman inang dan menekan pertumbuhan berlebih patogen tanaman, sehingga menjaga

kesehatan tanaman. Oleh karena itu, memanfaatkan kekuatan mikroba terkait tanaman yang bermanfaat dapat memberikan pendekatan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan terhadap ketahanan penyakit pada tanaman. Selain itu, peran mikroba terkait tumbuhan yang bermanfaat melampaui ketahanan terhadap penyakit.

Mikroba dapat membentuk dinamika penyakit global melalui faktor-faktor seperti urbanisasi, perubahan iklim, dan perjalanan internasional, yang memengaruhi strategi ketahanan terhadap penyakit. Selain itu, penggunaan mikroba terasosiasi tanaman yang bermanfaat dapat memiliki efek positif pada hasil dan kualitas tanaman. Mikroba ini dapat merangsang pertumbuhan tanaman dengan memobilisasi dan mengangkut nutrisi, yang pada akhirnya mengarah pada peningkatan hasil panen. Selain itu, dengan menempati ruang yang seharusnya diambil oleh patogen, mikroba terkait tanaman yang bermanfaat mencegah perkembangbiakan mikroba berbahaya dan meningkatkan ketahanan terhadap cekaman biotik, yang selanjutnya berkontribusi pada kesehatan dan produktivitas tanaman. Secara keseluruhan, mikrobioma tanaman memainkan peran penting dalam kesehatan dan produktivitas tanaman. Secara keseluruhan, mikrobioma tanaman adalah penentu utama kesehatan dan produktivitas tanaman. Secara keseluruhan, keberadaan dan aktivitas mikroba berasosiasi tanaman yang bermanfaat telah terbukti memiliki banyak manfaat bagi kesehatan dan produktivitas tanaman.

Aplikasi bioteknologi memanfaatkan mikroba untuk membuat tanaman tahan penyakit dan mengembangkan alat inovatif untuk menangkal penyakit yang muncul. Aplikasi ini melibatkan pemanfaatan mikroba terkait tanaman yang bermanfaat untuk meningkatkan respons kekebalan tanaman dan meningkatkan ketahanan terhadap penyakit. Kesimpulannya, keberadaan dan aktivitas mikroba berasosiasi tanaman yang bermanfaat memiliki dampak besar pada kesehatan dan produktivitas tanaman. Dengan secara langsung menekan patogen tular tanah, merangsang sistem kekebalan tanaman, meningkatkan ketersediaan hara, meningkatkan

ketahanan terhadap cekaman biotik, dan meningkatkan hasil dan kualitas tanaman, mikroba terasosiasi tanaman yang menguntungkan dapat memberikan kontribusi besar bagi pertanian berkelanjutan dan ketahanan pangan untuk pertumbuhan populasi. Oleh karena itu, memanfaatkan kekuatan mikroba terkait tanaman yang bermanfaat dapat memberikan pendekatan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan terhadap ketahanan penyakit pada tanaman.

Seiring pemahaman kita tentang mikroba semakin dalam dan kemajuan teknologi, sinergi antara mikrobiologi dan resistensi penyakit memiliki jalan yang menjanjikan untuk masa depan. Para peneliti dapat terus mengeksplorasi mekanisme di balik interaksi tanaman-mikroba dan mengembangkan strategi inovatif untuk memaksimalkan manfaat mikroba terkait tanaman yang menguntungkan di bidang pertanian. Selain itu, ada kebutuhan untuk menyelidiki efek dari mikroba yang berasosiasi dengan tumbuhan terhadap resistensi cekaman abiotik. Memahami peran mikroba terkait tanaman yang bermanfaat dalam resistensi stres abiotik sangat penting untuk mengembangkan strategi untuk mengurangi efek stresor lingkungan pada produksi tanaman. Secara keseluruhan, mikrobioma tanaman dan interaksinya dengan mikroba bermanfaat memiliki potensi besar untuk meningkatkan kesehatan tanaman, produktivitas, dan ketahanan terhadap penyakit.

Aspek penting lain dari mikrobioma tebu adalah perannya dalam ketahanan terhadap penyakit. Mikroba dapat berperan sebagai agen pengendali hayati, menekan pertumbuhan dan penyebaran patogen penyebab penyakit pada tanaman tebu. Mereka melakukannya melalui berbagai mekanisme seperti persaingan sumber daya, produksi senyawa antimikroba, dan induksi pertahanan tanaman tanggapan. Memahami dinamika mikrobioma tebu sangat penting dalam mengembangkan strategi manajemen untuk budidaya tebu yang sehat. Salah satu tema utama yang akan dieksplorasi sepanjang bab ini adalah interaksi antara tanaman tebu dan mikrobiomanya, khususnya bagaimana mikroorganisme berkontribusi pada kemampuan tanaman untuk melawan penyakit dan mengatasi stres.

Selanjutnya, mempelajari perubahan mikrobioma tebu dengan musim dapat memberikan wawasan berharga untuk pengembangan strategi pengelolaan yang efektif.

5.3. Pengaruh Perubahan Musim pada Mikrobioma Tebu

Variasi musim dapat sangat memengaruhi komposisi dan fungsi mikrobioma tebu. Variasi musim dapat sangat memengaruhi komposisi dan fungsi mikrobioma tebu, yang pada gilirannya dapat memengaruhi kesehatan dan produktivitas tanaman tebu secara keseluruhan. Memahami bagaimana mikrobioma rizosfer tebu berubah seiring musim sangat penting untuk mengoptimalkan budidaya tebu. Misalnya, sebuah studi oleh She et al menemukan bahwa mikrobioma rizosfer jagung sangat penting untuk bioremediasi tanah yang dipengaruhi oleh penambahan netral-alkalin. Dengan nada yang sama, memahami bagaimana mikrobioma rizosfer tebu berubah seiring musim dapat memberikan data dan wawasan penting untuk pengembangan strategi pengelolaan potensial untuk budidaya tebu yang sehat.

Pemahaman ini dapat mengarah pada identifikasi strategi manajemen potensial, seperti proses pemuliaan yang lebih baik yang memperhitungkan peran mikroorganisme atau pencegahan dan perawatan biologis yang ditargetkan dengan lebih baik. Selain itu, karena tebu memperluas area tanamnya dalam konteks pemanasan global, mempelajari perubahan waktu mikrobioma rizosfer tebu menjadi lebih signifikan. Dengan mempelajari perubahan waktu mikrobioma rizosfer tebu, para peneliti dapat memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang interaksi antara mikrobiota rizosfer tebu dan mikrobiota rizosfer.

Pemahaman ini sangat penting untuk mengembangkan strategi pengelolaan yang efektif yang dapat mengoptimalkan budidaya tebu, terutama dalam menghadapi tantangan seperti Yellow

Canopy Syndrome di Australia yang menjadi ancaman signifikan bagi pertumbuhan tebu [6].

Kajian tentang perubahan waktu mikrobioma rizosfer tebu memiliki arti penting dalam memahami lebih baik interaksi antara mikrobiota rizosfer tebu dan tebu. Ini dapat memberikan wawasan berharga tentang hubungan dinamis antara tebu dan komunitas mikroba di sekitarnya dan membantu mengidentifikasi potensi agen biokontrol atau metode bioremediasi yang dapat meningkatkan kesehatan dan produktivitas tanaman tebu. Selain itu, mempelajari perubahan musim dalam mikrobioma rizosfer tebu juga dapat berkontribusi pada pengembangan praktik budidaya tebu yang ramah lingkungan, karena memungkinkan pemahaman yang lebih tepat tentang bagaimana mikroorganisme dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kesehatan dan produktivitas tanah. Selain itu, memahami perubahan musim dalam mikrobioma rizosfer tebu juga dapat membantu dalam mengembangkan praktik budidaya tebu yang ramah lingkungan.

Misalnya, temuan dari penelitian ini dapat menginformasikan pengembangan metode pencegahan dan pengobatan biologis yang ditargetkan untuk penyakit dan hama yang umumnya menyerang tanaman tebu, membantu mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia dan mempromosikan praktik pertanian yang lebih berkelanjutan. Selain itu, identifikasi agen biokontrol potensial dari mikrobioma rizosfer tebu dapat menawarkan solusi alami dan ramah lingkungan untuk mengendalikan patogen dan mengurangi kerugian panen. Secara keseluruhan, mempelajari perubahan waktu mikrobioma rizosfer tebu sangat penting karena meningkatkan pemahaman kita tentang interaksi antara tebu dan mikrobiota rizosfernya, memberikan wawasan berharga untuk mengembangkan strategi manajemen, meningkatkan kesehatan dan produktivitas tanaman, dan mempromosikan praktik lingkungan yang berkelanjutan di budidaya tebu.

Dengan mendapatkan pemahaman yang lebih dalam tentang mikrobioma rizosfer tebu dan bagaimana perubahannya dari waktu

ke waktu, para peneliti dapat mengungkap hubungan rumit antara tebu dan komunitas mikrobya.

5.4. Metode Mempelajari Mikrobioma Tebu

Patogen adalah bakteri yang menyebabkan respons imun pada manusia dan makhluk lain untuk mengembangkan mekanisme resistensi penyakit. Kehadiran mereka dalam mikrobiota tanaman dapat menyebabkan respon imun terbatas yang dikenal sebagai Respon Hipersensitif, yang membatasi penyebaran patogen dan mengurangi kerusakan tanaman. Bakteri terkait tanaman yang bermanfaat dapat secara dramatis meningkatkan ketahanan tanaman terhadap banyak tekanan biotik dan abiotik, termasuk penyakit yang disebabkan oleh mikroba tanah. Bakteri bermanfaat ini dapat membantu pencegahan penyakit dengan menciptakan bahan kimia antimikroba dan meningkatkan sistem kekebalan tanaman. Secara umum, mikroorganisme yang berasosiasi dengan tanaman yang bermanfaat memainkan peran penting dalam ketahanan terhadap penyakit. Penggunaan mikroorganisme tanaman yang bermanfaat dalam pertanian memiliki potensi untuk meningkatkan produksi pangan dan biofuel yang berkelanjutan, sehingga memenuhi kebutuhan populasi yang berkembang. Mikroorganisme yang berasosiasi dengan tumbuhan yang bermanfaat dapat sangat berkontribusi terhadap ketahanan penyakit pada tumbuhan selain keterlibatannya dalam asupan nutrisi dan perkembangan [2].

Mikrobiota tubuh manusia, yang terdiri dari banyak komunitas mikroba, berperan penting dalam pengembangan sistem kekebalan dan ketahanan terhadap penyakit. Mikroorganisme ini berinteraksi dengan sistem kekebalan tubuh kita, mendidik dan mengaturnya, sehingga memainkan peran penting dalam menjaga kesehatan secara umum dan menghindari timbulnya penyakit. Bakteri menguntungkan dapat meningkatkan kapasitas sistem kekebalan tubuh kita untuk menangkis infeksi. Mereka dapat mempromosikan sintesis bahan kimia antimikroba, bersaing untuk sumber daya dan

ruang dengan mikroorganisme berbahaya, dan memodifikasi respon imun inang untuk meningkatkan hasil penyakit. Akhirnya, keberadaan mikroorganisme yang berhubungan dengan tumbuhan dan komunitas mikroba dalam tubuh manusia sangat penting untuk ketahanan terhadap penyakit.

Selain patogen, banyak mikroorganisme mengembangkan interaksi simbiosis dengan inangnya, membantu pencegahan penyakit dan pemeliharaan kesehatan secara umum. Mikroorganisme simbiotik ini memiliki kemampuan untuk membuat senyawa antimikroba, bersaing dengan penyakit untuk sumber daya yang terbatas, dan memodifikasi sistem kekebalan inang untuk meningkatkan ketahanan terhadap penyakit. Selain itu, mikroorganisme yang menguntungkan dapat menempati ruang yang dapat diakses untuk kolonisasi patogen, membatasi kemungkinan pembentukan patogen dan perkembangan penyakit. Secara keseluruhan, mikroorganisme berasosiasi tanaman yang bermanfaat memainkan peran penting dalam ketahanan penyakit pada tanaman melalui berbagai cara. Akibatnya, keberadaan dan jumlah mikroorganisme berasosiasi tanaman yang bermanfaat merupakan faktor penting yang mempengaruhi kesehatan dan produksi tanaman.

Mikroba dalam pertanian meningkatkan ketahanan terhadap penyakit tanaman, mengurangi kebutuhan akan perawatan kimia. Petani dapat meminimalkan ketergantungan mereka pada pestisida dan fungisida industri dengan memanfaatkan potensi mikroorganisme terasosiasi tanaman yang bermanfaat, sehingga membatasi efek negatif terhadap lingkungan dan mendukung praktik pertanian berkelanjutan. Selain itu, mikrobioma tanaman, terutama di rizosfer dan filosfer, sangat penting dalam menentukan kesehatan dan produksi tanaman. Mikroorganisme yang menguntungkan di rizosfer dan filosfer dapat menghambat pertumbuhan patogen tanaman, meningkatkan sistem kekebalan inang, meningkatkan penyerapan dan mobilisasi nutrisi, serta mendorong pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Secara umum, mikroorganisme berasosiasi tanaman yang bermanfaat memainkan fungsi yang beragam dalam ketahanan terhadap penyakit.

Kekhawatiran yang meningkat tentang resistensi antibiotik menekankan hubungan kompleks antara mikroorganisme dan gen resistensi, serta kesulitan dalam mempertahankan pengobatan penyakit yang efisien. Sangat penting untuk menyelidiki teknik alternatif untuk ketahanan terhadap penyakit, seperti menggunakan mikroorganisme yang berhubungan dengan tanaman yang bermanfaat. Para peneliti mungkin menemukan spesies atau galur mikroba tertentu yang berpotensi meningkatkan ketahanan terhadap penyakit dan menciptakan langkah-langkah perlindungan tanaman yang inovatif dengan meneliti susunan dan fungsi mikrobioma tanaman. Akhirnya, mikroorganisme yang berasosiasi dengan tanaman yang bermanfaat memainkan peran penting dalam ketahanan penyakit tanaman.

Probiotik, atau mikroorganisme bermanfaat hidup, telah mendapatkan popularitas karena kemampuannya untuk meningkatkan respons kekebalan manusia dan ketahanan terhadap penyakit. Demikian pula, bakteri terkait tanaman yang bermanfaat dapat dianggap sebagai "probiotik" untuk tanaman karena mereka meningkatkan sistem kekebalan tanaman dan membantunya menahan penyakit. Mikroorganisme yang berasosiasi dengan akar, misalnya, dapat secara langsung mengurangi patogen tular tanah atau mengaktifkan sistem kekebalan tanaman, sehingga menghasilkan resistensi penyakit yang lebih besar. Mikroorganisme kolonisasi tanaman filosof, di sisi lain, dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman inang dan kondisi nutrisi sambil menekan perkembangbiakan patogen tanaman, sehingga menjaga kesehatan tanaman. Oleh karena itu, memanfaatkan potensi bakteri menguntungkan yang berasosiasi dengan tanaman dapat memberikan strategi jangka panjang dan dapat diterima secara ekologis untuk ketahanan terhadap penyakit pada tanaman. Selain itu, mikroorganisme tanaman yang bermanfaat memiliki fungsi yang melampaui ketahanan terhadap penyakit.

Mikroba dapat mempengaruhi strategi resistensi penyakit dengan mempengaruhi dinamika penyakit global seperti urbanisasi, perubahan iklim, dan perjalanan internasional. Selain itu, penggunaan

mikroorganisme terasosiasi tanaman yang bermanfaat dapat meningkatkan hasil dan kualitas pertanian. Mikroorganisme ini dapat mendorong perkembangan tanaman dengan memobilisasi dan mentransfer nutrisi, menghasilkan hasil pertanian yang lebih tinggi. Selain itu, dengan menempati ruang yang seharusnya ditempati patogen, mikroorganisme terkait tanaman yang bermanfaat menghambat perbanyakan mikroba patogen dan meningkatkan toleransi cekaman biotik, menambah kesehatan tanaman dan hasil panen. Secara umum, mikrobioma tanaman penting untuk kesehatan dan produksi tanaman. Secara keseluruhan, mikrobioma tanaman memainkan peran penting dalam kesehatan dan produksi tanaman. Secara keseluruhan, telah ditunjukkan bahwa keberadaan dan aktivitas mikroorganisme berasosiasi tanaman yang bermanfaat memiliki beberapa keuntungan bagi kesehatan dan produksi tanaman.

Aplikasi bioteknologi menggunakan mikroorganisme untuk membangun tanaman yang tahan penyakit dan cara baru untuk memerangi penyakit yang sedang berkembang. Aplikasi ini termasuk menggunakan mikroorganisme terkait tanaman yang bermanfaat untuk meningkatkan respons kekebalan tanaman dan meningkatkan ketahanan terhadap penyakit. Kesimpulannya, mikroorganisme berasosiasi tanaman yang menguntungkan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kesehatan dan produksi tanaman. Mikroba berasosiasi tanaman yang bermanfaat dapat sangat berkontribusi pada pertanian berkelanjutan dan ketahanan pangan untuk pertumbuhan populasi dengan secara langsung menekan patogen tular tanah, merangsang sistem kekebalan tanaman, meningkatkan ketersediaan nutrisi, meningkatkan ketahanan terhadap cekaman biotik, dan meningkatkan hasil dan kualitas tanaman. Oleh karena itu, memanfaatkan potensi bakteri menguntungkan yang berasosiasi dengan tanaman dapat memberikan strategi jangka panjang dan dapat diterima secara ekologis untuk ketahanan terhadap penyakit pada tanaman.

Interaksi antara mikrobiologi dan resistensi penyakit menjanjikan jalur masa depan yang menarik seiring dengan meningkatnya pengetahuan kita tentang bakteri dan kemajuan teknologi. Para peneliti dapat terus menyelidiki proses di balik interaksi tanaman-mikroba dan menyusun teknik baru untuk meningkatkan keuntungan pertanian dari bakteri yang berhubungan dengan tanaman yang menguntungkan. Selain itu, penelitian tentang dampak mikroorganisme yang berasosiasi dengan tanaman terhadap toleransi cekaman abiotik diperlukan. Mengetahui fungsi mikroorganisme berasosiasi tanaman yang bermanfaat dalam toleransi cekaman abiotik sangat penting untuk menciptakan teknik mitigasi produksi pertanian. Secara keseluruhan, mikrobioma tanaman dan interaksinya dengan bakteri menguntungkan sangat menjanjikan untuk meningkatkan kesehatan tanaman, produksi, dan ketahanan terhadap penyakit.

Keterlibatan mikrobiota tebu dalam resistensi penyakit merupakan komponen penting lainnya. Mikroba dapat beroperasi sebagai agen pengendali hayati, membatasi perkembangan dan penyebaran patogen pada tanaman tebu. Mereka melakukan ini melalui berbagai cara, termasuk persaingan sumber daya, pembuatan bahan kimia antimikroba, dan stimulasi respons pertahanan tanaman. Mengetahui dinamika mikrobioma tebu sangat penting untuk menciptakan metode pengelolaan pertanian tebu berkelanjutan. Hubungan antara tanaman tebu dan mikrobiomanya, terutama bagaimana bakteri berkontribusi terhadap kemampuan tanaman untuk melawan penyakit dan mengatasi stres, merupakan salah satu pokok bahasan penting yang akan dipelajari sepanjang bab ini. Selain itu, menyelidiki variasi musiman dalam mikrobioma tebu dapat memberikan informasi yang berguna untuk mengembangkan teknik pengelolaan yang efisien.

5.5. Variasi Musiman dan Mikrobioma Tebu

Perubahan musim mungkin memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kandungan dan fungsi mikrobioma tebu. Fluktuasi musim mungkin memiliki pengaruh yang signifikan terhadap susunan dan fungsi mikrobioma tebu, yang memengaruhi kesehatan dan produksi tanaman tebu secara keseluruhan. Mengetahui bagaimana mikrobioma rizosfer tebu bervariasi dengan musim sangat penting untuk meningkatkan pertanian tebu. Menurut She et al., mikrobioma rizosfer jagung sangat penting untuk bioremediasi tanah yang terkena dampak penambangan netral-alkalin. Demikian pula, mengetahui bagaimana mikrobioma rizosfer tebu bervariasi dengan musim dapat memberikan data dan wawasan penting untuk pengembangan kemungkinan teknik pengelolaan tebu.

Pengetahuan ini dapat mengarah pada penemuan metode manajemen yang mungkin, seperti teknik pemuliaan yang ditingkatkan yang mempertimbangkan fungsi mikroba atau pencegahan dan terapi biologis yang lebih terfokus. Selain itu, ketika area penanaman tebu tumbuh karena pemanasan global, memahami perubahan temporal mikrobioma rizosfer tebu menjadi lebih penting. Para peneliti dapat memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang hubungan antara tebu dan bakteri rizosfer dengan memeriksa perubahan temporal mikrobioma rizosfer tebu.

Pengetahuan ini sangat penting untuk menetapkan metode pengelolaan yang efektif yang dapat memaksimalkan produksi tebu, terutama dalam menghadapi masalah seperti Penyakit Kanopi Kuning, yang menghadirkan bahaya besar bagi pengembangan tebu di Australia.

Penelitian tentang perubahan temporal mikrobioma rizosfer tebu sangat penting untuk lebih memahami interaksi antara bakteri tebu dan rizosfer. Ini dapat membantu menemukan calon agen biokontrol atau pendekatan bioremediasi yang dapat meningkatkan kesehatan dan produksi tanaman tebu dengan memberikan wawasan

yang signifikan tentang interaksi dinamis antara tebu dan populasi mikroba di sekitarnya. Selain itu, menyelidiki variasi musiman dalam mikrobioma rhizosfer tebu dapat membantu merancang teknik produksi tebu yang ramah lingkungan dengan memberikan pengetahuan yang lebih akurat tentang bagaimana mikroorganisme dapat digunakan untuk meningkatkan kesehatan dan produktivitas tanah. Selain itu, mempelajari variasi musiman dalam mikrobioma rhizosfer tebu dapat berkontribusi dalam pengembangan strategi produksi tebu yang ramah lingkungan.

Hasil penelitian ini, misalnya, dapat membantu memengaruhi pengembangan strategi pencegahan dan pengobatan biologis yang disesuaikan untuk penyakit dan hama yang sering merusak tanaman tebu, mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia, dan mendukung praktik pertanian yang lebih berkelanjutan. Selain itu, mengidentifikasi agen biokontrol potensial dari mikrobioma rizosfer tebu dapat memberikan alternatif yang alami dan ramah lingkungan untuk mengelola infeksi dan meminimalkan kerugian panen. Secara keseluruhan, mempelajari perubahan waktu mikrobioma rizosfer tebu sangat penting karena meningkatkan pemahaman kita tentang interaksi antara tebu dan mikrobiota rizosfernya, memberikan wawasan berharga untuk mengembangkan strategi manajemen, meningkatkan kesehatan dan produktivitas tanaman, dan mempromosikan praktik budidaya tebu yang ramah lingkungan.

Para peneliti dapat mengungkap hubungan rumit antara tebu dan populasi mikroba dengan mempelajari lebih lanjut tentang mikrobioma rhizosfer tebu dan bagaimana perkembangannya dari waktu ke waktu.

Varietas bululawang merupakan hasil pemutihan varietas yang ditemukan pertama kali di wilayah Kecamatan Bululawang, Malang Selatan. Melalui Surat Keputusan Menteri Pertanian tahun 2004, maka varietas ini dilepas resmi untuk digunakan sebagai benih bina. BL lebih cocok pada lahan-lahan

ringan (geluhan/liat berpasir) dengan sistem drainase yang baik dan pemupukan N yang cukup. Sementara itu pada lahan berat dengan drainase terganggu tampak keragaan pertumbuhan tanaman sangat tertekan. BL tampaknya memerlukan lahan dengan kondisi kecukupan air pada kondisi drainase yang baik. Khususnya lahan ringan sampai geluhan lebih disukai varietas ini dari pada pada lahan berat. (Sugiyarta, 2012)

Secara umum pembibitan merupakan serangkaian kegiatan untuk mempersiapkan bahan tanam yang meliputi persiapan medium pembibitan, pemeliharaan, pemeliharaan, dan seleksi bibit hingga siap tanam. Medium pembibitan yang baik mempunyai sifat fisik yang baik seperti aerasi yang baik, tekstur tekstur berliat, kapasitas menahan air yang baik, total ruang pori optimal dan tidak terdapat kedap lapisan kedap air, selain itu medium harus bersifat kimia yang baik yaitu mengandung bahan organik tinggi, juga mengandung unsur hara makro dan mikroyang cukup (Ali *et al.*, 2015).

Pembibitan merupakan tahap awal pengelolaan tanaman yang hendak diusahakan. Pertumbuhan bibit yang baik merupakan faktor utama yang memperoleh tanaman yang baik di lapangan. Berdasarkan hal itu, maka pembibitan perlu ditangani secara optimal. Salah satu faktor yang dapat menentukan pertumbuhan dan perkembangan bibit tebu adalah media tanam. Bibit tebu membutuhkan media tanam yang mempunyai sifat fisik kimia dan biologi yang baik (Nurseha *et al.*, 2019). Hal ini didukung berdasarkan hasil penelitian Yulianingtyas *et al.* (2013), yang menyatakan bahwa bibit sebagai bahan tanam sangat menentukan produktivitas hasil dari tebu. Pertumbuhan awal bibit ditentukan oleh media tanam dan ukuran bibit (cadangan makanan).

5.6. Peran Mikrobiom dalam Mitigasi Stres Biotik dan Abiotik

Interaksi rumit antara organisme dan lingkungannya melampaui dunia yang terlihat ke dalam domain mikrobiologi. Mikrobioma, populasi kompleks mikroba yang hidup di dalam dan pada spesies berbeda, sangat penting dalam memodulasi respons terhadap tekanan biotik dan abiotik. Interaksi simbiosis ini telah mendapat banyak perhatian karena potensinya untuk meningkatkan toleransi stres dan meningkatkan ketahanan ekosistem. Menurut penelitian, microbiome dapat berkontribusi pada ketahanan tanaman dengan secara aktif terlibat dalam pengurangan stres. Misalnya, beberapa mikroba mengeluarkan antibiotik yang menekan perkembangan patogen, sehingga melindungi tanaman dari penyakit. Selain itu, mikrobioma secara tidak langsung dapat meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman dengan meningkatkan penyerapan nutrisi. Mikroba yang menguntungkan di dalam tanah dapat melepaskan enzim yang memecah puing-puing organik, membuat nutrisi lebih mudah diakses tanaman dan akhirnya merangsang perkembangannya dengan mengembangkan hubungan simbiosis dengan tanaman.

Dalam menghadapi tekanan biotik seperti penyakit dan hama, microbiome berfungsi sebagai mekanisme pertahanan alami. Tumbuhan, misalnya, membentuk aliansi kompleks dengan mikroorganisme yang bermanfaat seperti rhizobakteria dan jamur mikoriza. Hubungan ini memberikan peningkatan resistensi penyakit, meningkatkan penyerapan nutrisi, dan mengaktifkan respon imun sistemik. Mikrobioma memodulasi jalur pensinyalan defensif tanaman melalui proses seperti resistensi sistemik terinduksi (ISR) dan resistensi didapat sistemik (SAR), sehingga menurunkan efek tekanan biotik. Selain stres biotik, mikrobioma memainkan peran penting dalam mengurangi tekanan abiotik seperti kekeringan, garam, dan suhu yang parah. Mikroba di rizosfer tanaman dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap stresor abiotik dengan membuat dan mengeluarkan antibiotik yang membatasi perkembangan bakteri

berbahaya. Selain itu, mereka dapat merangsang perkembangan osmoprotektan dan antioksidan, yang membantu tanaman melawan dehidrasi dan kerusakan oksidatif yang disebabkan oleh stres abiotik.

Terlepas dari tekanan biotik, microbiome memberikan kontribusi yang cukup besar untuk mengurangi masalah yang disebabkan oleh stres abiotik. Stresor abiotik, seperti kekeringan, garam, dan suhu yang parah, dapat mengubah sistem fisiologis pada tanaman. Mikroba di rizosfer dan endosfer memainkan peran penting dalam meningkatkan toleransi stres tanaman dengan meningkatkan ketersediaan nutrisi, menghasilkan senyawa yang responsif terhadap stres, dan mengendalikan penyerapan air. Bantuan mikroba ini memungkinkan tanaman untuk bertahan lebih baik dalam kondisi iklim yang merugikan sambil mempertahankan pertumbuhan dan hasil. Untuk sepenuhnya mewujudkan janji mikrobioma tanaman untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres, diperlukan pengetahuan yang lebih baik tentang fungsi fungsional komunitas mikroba dalam interaksi tanaman-mikroba dan responsnya terhadap berbagai stresor.

Mengetahui berbagai keterlibatan microbiome dalam pengentasan stres memiliki implikasi yang menarik untuk pertanian, pengelolaan ekosistem, dan bioteknologi. Menggunakan interaksi mikroba ini dapat mengarah pada penciptaan taktik pertanian baru seperti pupuk hayati, biopestisida, dan varian tanaman tahan stres. Namun demikian, studi lebih lanjut diperlukan untuk memahami proses kompleks yang mendorong pengurangan stres yang dimediasi mikrobioma dan bagaimana interaksi ini dapat diubah untuk memenuhi kesulitan yang terus meningkat yang disediakan oleh stresor biotik dan abiotik. Untuk sepenuhnya memanfaatkan mikrobioma dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap stres, diperlukan eksplorasi lebih jauh ke dalam fungsi fungsional komunitas mikroba dan responsnya terhadap berbagai stresor.

Akhirnya, peran fungsional komunitas mikroba di rizosfer tanaman sangat penting untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman biotik dan abiotik.

5.7. Variasi Mikrobioma pada Tahap Pertumbuhan Tebu

Komposisi mikrobioma sebagian besar dipengaruhi oleh variabel seperti sifat tanah, perkembangan bibit, dan eksudat akar selama fase awal pertumbuhan tebu. Susunan mikrobioma dapat bervariasi saat tanaman tumbuh karena variabel seperti ketersediaan nutrisi, interaksi tanaman-mikroba, dan perubahan eksudat akar. Perbedaan susunan mikrobioma ini mungkin berpengaruh pada kapasitas tanaman untuk bertahan hidup dari cekaman biotik dan abiotik. Beberapa taksa mikroba, misalnya, mungkin menjadi lebih umum di rizosfer pada berbagai tahap perkembangan, meningkatkan kapasitas tanaman untuk melawan invasi patogen atau bertahan dalam keadaan lingkungan yang merugikan.

Perubahan signifikan dalam mikrobioma terjadi ketika tebu mencapai tahap pertengahan pertumbuhan, karena perubahan fisiologi tanaman, ketersediaan nutrisi, dan interaksi dengan populasi mikroba di sekitarnya. Perubahan susunan mikrobiota ini mungkin berdampak besar pada kesehatan dan hasil tebu. Beberapa taksa mikroba, misalnya, yang terkait dengan siklus hara, promosi pertumbuhan tanaman, dan penekanan penyakit dapat menjadi lebih umum selama fase pertumbuhan pertengahan. Bakteri menguntungkan ini dapat meningkatkan penyerapan nutrisi, pertumbuhan dan perkembangan tanaman, serta melindungi tanaman dari infeksi dan penyakit. Selain itu, keragaman dan komposisi mikrobioma tebu pada fase akhir pengembangan dapat memengaruhi kualitas dan cita rasa hasil panen.

Mikrobioma tebu cenderung stabil sepanjang fase perkembangan dewasa, membentuk interaksi simbiosis antara tanaman dan penghuni mikrobanya, berkontribusi terhadap kesehatan dan produksi tanaman secara keseluruhan. Ingatlah untuk memperluas

masing-masing garis kunci ini dengan data pendukung, contoh, dan hasil penelitian untuk membangun gambaran umum keanekaragaman mikrobioma yang lengkap dan terstruktur dengan baik di antara fase pengembangan tebu. Namun, dalam bidang tertentu, genotipe tanaman berdampak besar pada kekayaan mikrobioma (sumber). Selain itu, penelitian telah menunjukkan bahwa komunitas mikroba yang terkait dengan tebu sebagian besar dikendalikan oleh kompartemen tanaman seperti akar, daun, dan batang (sumber).

5.8. Konsep yang Muncul dan Arah Penelitian Masa Depan

Banyak lanskap disiplin telah berubah dengan cepat dalam beberapa tahun terakhir, melahirkan gagasan unik dan inventif yang menantang paradigma lama. Relevansi dinamika temporal adalah gagasan baru dalam penelitian mikrobioma tanaman. Perubahan yang terjadi dalam mikrobioma sepanjang waktu, termasuk osilasi dalam kelimpahan, keanekaragaman, dan komposisi mikroba, disebut sebagai dinamika temporal. Mempelajari dinamika temporal mikrobiome tebu dapat memberikan wawasan penting tentang operasinya dan penggunaan pertanian di masa depan. Misalnya, menyelidiki dinamika temporal mikrobioma tebu dapat membantu dalam identifikasi taksa mikroba penting yang terlibat dalam siklus nutrisi, penekanan penyakit, dan interaksi positif lainnya selama berbagai fase perkembangan. Selain itu, menyelidiki dinamika temporal mikrobioma tebu dapat mengungkapkan bagaimana populasi mikroba bereaksi terhadap perubahan lingkungan seperti pemanasan global dan perubahan teknik pertanian.

Konvergensi teknologi mutakhir seperti kecerdasan buatan, komputasi kuantum, dan bioteknologi membuka jalan bagi cakrawala penelitian baru dan mendorong batas dari apa yang sebelumnya dianggap dapat dibayangkan. Kemajuan ini memiliki potensi untuk mengubah pengetahuan dan pengelolaan populasi mikroba dalam konteks penelitian mikrobioma tebu. Kemajuan dalam teknologi

pengurutan throughput tinggi, misalnya, telah memungkinkan para peneliti untuk mendapatkan profil komunitas mikroba yang tepat dan lengkap yang terkait dengan tebu pada berbagai tahap pengembangan dan dalam kondisi lingkungan yang beragam. Selain itu, metode metagenomik dan metatranskriptomik dapat memberikan informasi yang berguna mengenai potensi dan aktivitas fungsional mikrobioma tebu.

Mengembangkan gagasan keberlanjutan menekankan metode holistik yang menggabungkan aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan, membuka jalan bagi masa depan di mana manusia hidup berdampingan secara damai dengan bumi. Sesuai dengan gagasan ini, penelitian tentang mikrobioma tebu memberikan prospek yang menarik untuk pertanian berkelanjutan. Kita dapat menciptakan teknik baru untuk meningkatkan hasil panen, meningkatkan kesehatan tanah, meminimalkan ketergantungan pada pupuk dan pestisida sintetik, dan mengurangi dampak perubahan iklim dengan mengetahui dan memanfaatkan potensi mikrobioma tebu. Terlepas dari keuntungan potensial dalam produksi tanaman dan keberlanjutan pertanian, penelitian tentang mikrobioma tebu menjanjikan untuk mengatasi masalah khusus industri, seperti Sindrom Kanopi Kuning di Australia. Memahami dinamika temporal mikrobioma rizosfer tebu, misalnya, dapat memberikan wawasan tentang respons mikroba terhadap Sindrom Kanopi Kuning, yang mengarah pada pengembangan manajemen penyakit yang disesuaikan dan teknik pencegahan dalam pertanian tebu. Akhirnya, penelitian mikrobioma tebu sangat penting untuk memahami dan mengendalikan populasi mikroba untuk meningkatkan hasil panen dan keberlanjutan pertanian.

Lanskap layanan kesehatan berubah menuju pengobatan yang dipersonalisasi dan kesehatan digital, yang memanfaatkan wawasan genetik dan analitik data yang kuat untuk mengubah perawatan dan kesejahteraan pasien secara individu. Demikian pula, studi tentang mikrobioma tanaman, terutama mikrobioma tebu, semakin populer di bidang pertanian sebagai cara untuk menyesuaikan teknik

budidaya dan meningkatkan kesehatan tanaman. Para ilmuwan dapat menemukan taksa mikroba tertentu dan aktivitas metabolisme terkait yang berkontribusi pada perkembangan dan kesehatan tanaman dengan lebih memahami susunan dan fungsi mikrobioma tebu.

5.9. Implikasi Terhadap Budidaya Tebu Berkelanjutan

Tujuan pertanian tebu berkelanjutan memiliki potensi yang luar biasa untuk perlindungan lingkungan dan kemakmuran pertanian. Seiring meningkatnya permintaan gula dan produk sampingannya di seluruh dunia, penerapan teknik budidaya tebu yang berkelanjutan dapat mengurangi dampak lingkungan, melestarikan keanekaragaman hayati, dan meningkatkan kesehatan tanah. Petani dapat menggunakan langkah-langkah yang disesuaikan untuk meningkatkan hasil panen dan kualitas sekaligus mengurangi penggunaan pupuk dan pestisida sintetis dengan memanfaatkan pengetahuan mikrobioma tebu. Selain itu, mengetahui fungsi mikrobioma tebu dalam siklus nutrisi dan menekan penyakit dapat membantu membangun strategi pertanian yang lebih berkelanjutan.

Menggunakan teknik produksi tebu yang berkelanjutan juga memiliki keuntungan sosial dan ekonomi yang signifikan. Masyarakat lokal dapat memperoleh manfaat dari hasil pertanian yang lebih tinggi, mata pencaharian yang lebih baik, dan masalah kesehatan yang lebih sedikit terkait dengan pertanian intensif bahan kimia dengan menerapkan metode seperti pertanian presisi, pengendalian hama terpadu, dan penggunaan air yang bertanggung jawab. Selain itu, penanaman tebu yang berkelanjutan dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan meringankan dampak perubahan iklim. Studi tentang mikrobioma tebu memiliki potensi untuk berkontribusi secara signifikan terhadap teknik produksi tebu berkelanjutan. Selain itu, mengetahui dinamika mikrobioma tebu dari waktu ke waktu dapat memberikan wawasan yang berguna tentang bagaimana pemanasan global berdampak pada pertumbuhan tebu dan interaksinya dengan bakteri rizosfer.

Meskipun demikian, peralihan ke pertanian tebu berkelanjutan bukannya tanpa kesulitan. Menyeimbangkan pengadopsian pendekatan baru dengan kebutuhan akan hasil dan laba reguler memerlukan perencanaan dan investasi yang cermat. Untuk sepenuhnya mencapai konsekuensi menguntungkan jangka panjang dari penanaman tebu berkelanjutan, pemangku kepentingan di seluruh rantai pasokan, termasuk petani, pengolah, dan konsumen, harus bekerja sama untuk mengatasi tantangan seperti biaya awal, distribusi informasi, dan perubahan permintaan pasar.

Selain perubahan tanaman, penelitian difokuskan pada populasi mikroba yang terkait dengan tebu untuk interaksi positif. Interaksi ini berpotensi meningkatkan pertumbuhan tebu, ketersediaan nutrisi, dan ketahanan terhadap penyakit.

Aspek lain dalam teknik budidaya adalah pemupukan berimbang. Pemupukan berimbang adalah jumlah dan jenis pupuk yang digunakan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Hal ini sangat penting karena salah satu faktor yang menentukan produktivitas tanaman adalah ketersediaan unsur hara yang diserap tanaman dari pupuk yang diberikan selama pertumbuhan (Sari *et al.*, 2017). Pemberian pupuk yang tidak tepat dapat menyebabkan kelebihan unsur saat pertumbuhan vegetatif sehingga mengurangi jumlah buah (Kadarwati & Rijaya, 2016). Pupuk NPK mengandung unsur nitrogen, kalium, dan fosfor yang bermanfaat untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Setiap jenis pupuk NPK memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, sehingga diperlukan jenis dan dosis pupuk yang tepat untuk memenuhi kebutuhan tanaman (Sasongko, 2010). Nasution *et al.* (2013) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa aplikasi pupuk majemuk NPK dengan dosis 400 kg/ha menghasilkan diameter batang dan bobot kering gulma yang lebih rendah pada tanaman tebu.

Penggunaan pupuk kimia yang semakin tinggi mempengaruhi pencemaran NO_3 pada air tanah, emisi CH_4 , dan NO_2 di lingkungan berdampak buruk pada sifat kimia dan biologi tanah. Oleh karena itu,

pengurangan penggunaan pupuk kimia dapat digantikan oleh mikroba. Mikroba berperan penting dalam proses dekomposisi, termasuk degradasi lignin dan selulosa serta pergantian karbon tanah. Aplikasi terpadu mikroba dan pupuk kimia memiliki ruang lingkup yang besar, sehingga dapat mengurangi unsur hara makro yang disediakan melalui pupuk kimia dan meningkatkan efisiensi penggunaan unsur hara (Shukla *et al.*, 2020). Penggunaan mikroorganisme dapat menghindari terjadinya hal tersebut, misalnya mikoriza. Kombinasi antara inokulasi mikoriza dan pemberian pupuk

NPK dapat meningkatkan penyerapan hara untuk tanaman, terutama serapan P. Penyerapan P oleh tanaman dapat ditingkatkan dengan adanya mikoriza pada akar tanaman (Danu *et al.*, 2015).

Mikoriza adalah suatu struktur yang dibentuk oleh akar tanaman dan cendawan tertentu. Mikoriza merupakan suatu bentuk hubungan simbiosis mutualisme antara fungi dengan perakaran tanaman (Hardiatmi, 2008). Cendawan tersebut akan mendapat keuntungan dengan memperoleh karbohidrat dari tanaman, sedangkan tanaman mendapat keuntungan dengan bertambahnya luas permukaan penyerapan air dan hara, tersedianya fosfat dan mineral lain yang penting bagi proses metabolisme tanaman (Khadijah, 2017). Prasetio (2022) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa pemberian mikoriza 15 g/tanaman pada tanaman jagung manis memberikan pertumbuhan yang lebih baik dan produksi tertinggi, yaitu 11,61 kg/petak atau setara dengan 15,48 ton/ha. Menurut Tena *et al.* (2017) mikoriza dapat mengubah pola eksudasi akar yang secara tidak langsung mendorong pembentukan dan bersimbiosis dengan mikroorganisme yang menguntungkan. Salah satu mikroba yang mampu bersimbiosis dengan mikoriza adalah *Actinomycetes*.

TEBU YANG DIAPLIKASI DENGAN BAKTERI ACTINOMYCETES + MIKORIZA DAN ZAT PENGATUR TUMBUH

Tebu (*Saccharum officinarum* L.) merupakan komoditas penting sebagai bahan baku pembuatan gula yang mengandung banyak karbohidrat. Tanaman ini sangat penting karena merupakan sumber utama untuk konsumsi gula dalam negeri. Hal ini menjadi sebuah permasalahan karena konsumsi gula nasional masih belum bisa diimbangi oleh produksi gula nasional. Data Badan Pusat Statistik (BPS, 2021) produksi gula nasional sebesar 2,35 juta ton padahal kebutuhan gula tahun 2022 mencapai sekitar 6,48 juta ton. Salah satu permasalahan perindustrian gula di Indonesia adalah masih rendahnya produktivitas tebu akibat dari teknik budidaya yang kurang optimal seperti ketersediaan bibit yang kurang dan kualitasnya yang juga kurang baik serta varietas yang digunakan (Tando, 2017).

Produksi nasional tebu secara umum masih rendah bila dibandingkan dengan besarnya kebutuhan dalam negeri. Berdasarkan

data Badan Pusat Statistik (2022), produksi tebu di Indonesia pada tahun 2021 sebesar 2,35 juta ton. Indonesia masih harus mengimpor serat kapas lebih dari 99% dari total produksi di Indonesia guna memenuhi kebutuhan dalam negeri (Harsanti *et al.*, 2017). Hal ini terjadi karena pengembangan kapas banyak mengalami kendala terutama disebabkan oleh pemeliharaan tanaman yang belum optimal (Sari *et al.*, 2017). Turunnya produksi tanaman kapas disebabkan karena kurangnya ketersediaan unsur hara dalam tanah sebab pemupukan yang tidak berimbang (Suriyani, 2020).

Upaya peningkatan produksi tebu salah satunya adalah dengan penyediaan bibit unggul dan bermutu. Bibit memiliki peranan besar terhadap peningkatan produksi gula. Bibit tebu yang baik memiliki tingkat pertumbuhan dan ketahanan terhadap serangan hama dan penyakit serta rendemen gula yang tinggi. Namun untuk mendapatkan bibit dengan kriteria tersebut diperlukan waktu yang cukup lama 5 sampai 7 bulan. Permasalahan dalam hal penyediaan bibit adalah pertumbuhan akar yang lama. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan zat pengatur tumbuh eksternal (Rachmawati *et al.*, 2019).

Pemberian *Actinomyces* juga memberikan manfaat penting dalam siklus nutrisi karena dapat meningkatkan unsur hara dan dijadikan sebagai zat pengatur tumbuh tanaman serta menjadi pengurai didalam tanah sehingga dapat memperbaiki sifat tanah. Selain itu *Actinomyces* memiliki kemampuan meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. *Actinomyces* juga mempunyai kemampuan dalam menguraikan fosfat didalam tanah, proses pelarutan fosfat oleh aktifitas *Actinomyces* terjadi melalui banyak cara, salah satunya dengan cara pelepasan ion H^+ dari sitoplasma keluar sel melalui bantuan ATPase pemindahan H^+ sehingga menghasilkan fosfat terlarut dalam bentuk H_2PO_4 yang dapat digunakan oleh tumbuhan maupun mikroba lain. Fosfat dibutuhkan oleh tanaman dalam mempercepat pembungaan yang berperan sebagai pendukung pupuk organik hayati.

Mikoriza adalah salah satu bentuk simbiosis (mutualisme) yang saling menguntungkan antara fungi dan sistem perakaran tanaman. Mikoriza berperan dalam membantu menyerap unsur hara untuk tanaman, meningkatkan pertumbuhan, dan hasil produksi dari suatu tanaman. Sehingga fungi mikoriza mendapatkan energi dari hasil fotosintesis pada tumbuhan tersebut. Mikoriza memiliki manfaat pada tanaman yaitu terbungkusnya permukaan akar oleh mikoriza menyebabkan akar terhindar dari serangan hama dan penyakit. Mikoriza memanfaatkan karbohidrat terlebih dan eksudat akar lainnya maka menciptakan lingkungan yang tidak sesuai untuk patogen (Suharno, 2013).

Mikoriza membantu peningkatan pertumbuhan tanaman pada tingkat kesuburan tanah yang kurang baik (adar N, P, K) dengan cara fungi mengkolonisasi apoplas dan sel korteks untuk memperoleh karbon yang berasal dari hasil fotosintesis dari tanaman, lahan yang beralih fungsi (terdegradasi) serta membantu memperluas fungsi sistem perakaran di dalam tanah untuk memperoleh nutrisi. Soernatiningsih (2013), menyatakan bahwa peran jamur mikoriza untuk meningkatkan ketahanan tanaman dari infeksi suatu patogen dapat dipengaruhi oleh ketahanan terimbas (induksi) untuk mengeliminasi.

Zat pengatur tumbuh merupakan senyawa organik bukan hara, yang dalam jumlah sedikit dapat mendukung namun apabila digunakan dalam jumlah banyak dapat menghambat dan merubah dalam proses fisiologi tanaman. Zat pengatur tumbuh yang sering digunakan adalah ZPT dari bahan sintesis dengan harga relatif mahal dan sulit diperoleh. Ada beberapa jenis zat pengatur tumbuh seperti auksin, giberelin, sitokinin, asam absisat dan etilen. Hormon auksin berperan dalam proses pemanjangan sel, terdapat pada titik tumbuh pucuk tumbuhan yaitu pada ujung akar dan ujung batang tumbuhan (Sandra, 2011). Hasil penelitian Alfiansyah *et al.* (2015), menyatakan bahwa pemberian auksin 50mg/0,5ml air pertanaman dapat meningkatkan tinggi tunas bibit karet yaitu 41,60 cm dan terendah pada tanpa perlakuan yaitu 18,70 cm.

Tauge merupakan salah satu sumber zat pengatur tumbuh alami. Tauge adalah salah satu jenis sayuran yang sering dikonsumsi, ekonomis, mudah diperoleh serta tidak menghasilkan senyawa toksik. Ekstrak tauge mengandung konsentrasi senyawa sitokinin sebanyak 96,26 ppm, auksin 1,68 ppm, dan giberelin 39,94 ppm (Ulfa, 2014). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Pamungkas dan Nopiyanto (2020), menyatakan bahwa pemberian ekstrak tauge dengan perlakuan 20% memberikan hasil terbaik terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, berat basah dan berat kering tanaman tebu.

Aspek lain dalam teknik budidaya adalah pemupukan berimbang. Pemupukan berimbang adalah jumlah dan jenis pupuk yang digunakan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Hal ini sangat penting karena salah satu faktor yang menentukan produktivitas tanaman adalah ketersediaan unsur hara yang diserap tanaman dari pupuk yang diberikan selama pertumbuhan (Sari *et al.*, 2017). Pemberian pupuk yang tidak tepat dapat menyebabkan kelebihan unsur saat pertumbuhan vegetatif sehingga mengurangi jumlah buah (Kadarwati & Rijaya, 2016). Pupuk NPK mengandung unsur nitrogen, kalium, dan fosfor yang bermanfaat untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Setiap jenis pupuk NPK memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, sehingga diperlukan jenis dan dosis pupuk yang tepat untuk memenuhi kebutuhan tanaman (Sasongko, 2010). Nasution *et al.* (2013) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa aplikasi pupuk majemuk NPK dengan dosis 400 kg/ha menghasilkan diameter batang dan bobot kering gulma yang lebih rendah pada tanaman tebu.

Penggunaan pupuk kimia yang semakin tinggi mempengaruhi pencemaran NO_3 pada air tanah, emisi CH_4 , dan NO_2 di lingkungan berdampak buruk pada sifat kimia dan biologi tanah. Oleh karena itu, pengurangan penggunaan pupuk kimia dapat digantikan oleh mikroba. Mikroba berperan penting dalam proses dekomposisi, termasuk degradasi lignin dan selulosa serta pergantian karbon tanah. Aplikasi terpadu mikroba dan pupuk kimia memiliki ruang lingkup yang besar,

sehingga dapat mengurangi unsur hara makro yang disediakan melalui pupuk kimia dan meningkatkan efisiensi penggunaan unsur hara (Shukla *et al.*, 2020). Penggunaan mikroorganisme dapat menghindari terjadinya hal tersebut, misalnya mikoriza. Kombinasi antara inokulasi mikoriza dan pemberian pupuk

NPK dapat meningkatkan penyerapan hara untuk tanaman, terutama serapan P. Penyerapan P oleh tanaman dapat ditingkatkan dengan adanya mikoriza pada akar tanaman (Danu *et al.*, 2015).

Mikoriza adalah suatu struktur yang dibentuk oleh akar tanaman dan cendawan tertentu. Mikoriza merupakan suatu bentuk hubungan simbiosis mutualisme antara fungi dengan perakaran tanaman (Hardiatmi, 2008). Cendawan tersebut akan mendapat keuntungan dengan memperoleh karbohidrat dari tanaman, sedangkan tanaman mendapat keuntungan dengan bertambahnya luas permukaan penyerapan air dan hara, tersedianya fosfat dan mineral lain yang penting bagi proses metabolisme tanaman (Khadijah, 2017). Prasetyo (2022) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa pemberian mikoriza 15 g/tanaman pada tanaman jagung manis memberikan pertumbuhan yang lebih baik dan produksi tertinggi, yaitu 11,61 kg/petak atau setara dengan 15,48 ton/ha. Menurut Tena *et al.* (2017) mikoriza dapat mengubah pola eksudasi akar yang secara tidak langsung mendorong pembentukan dan bersimbiosis dengan mikroorganisme yang menguntungkan. Salah satu mikroba yang mampu bersimbiosis dengan mikoriza adalah *Actinomycetes*.

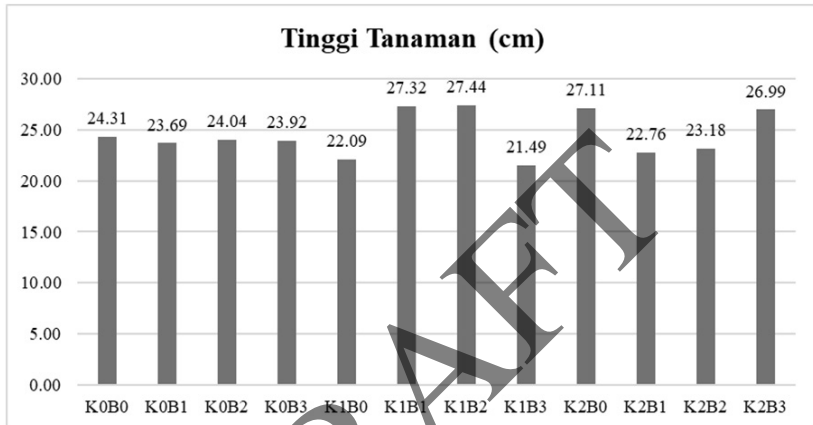
Tujuan menginvestigasi ini adalah untuk menginvestigasi konsorsium *Actinomycetes* dan Mikoriza serta Zat Pengatur Tumbuh (ZPT) pada pertumbuhan dan perkembangan bibit Tebu.

Kegunaan nya adalah mengkaji pemanfaatan mikroorganisme khususnya *Actinomycetes* dan Mikoriza, serta ZPT dan NPK yang ditanami bibit tanaman tebu dan kapas serta dapat dijadikan sebagai agen pengendali hayati

6.1. Hasil Penerapan Bioteknologi Aktinomyces, Mikoriza dan Zat Pengatur Tumbuh.

Tinggi Tanaman

Hasil pengamatan tinggi tanaman menunjukkan bahwa perlakuan, *Actinomyces* dan Mikoriza dan ZPT interaksinya berpengaruh tidak nyata terhadap tinggi tanaman



Gambar 1. Grafik tinggi tanaman (cm) pada perlakuan ZPT dan konsorsium *Actinomyces* dan Mikoriza

Keterangan :

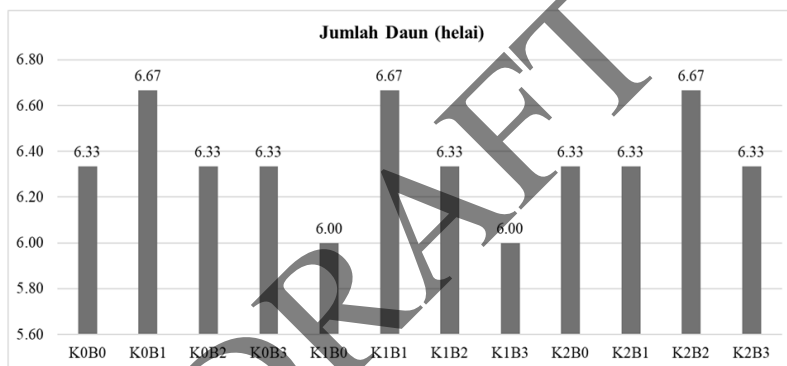
- k0b0 : Kontrol + Kontrol
- k0b1 : Kontrol + 10^4 CFU *actinomyces* + 5 gr mikoriza
- k0b2 : Kontrol + 10^5 CFU *actinomyces* + 10 gr mikoriza
- k0b3 : Kontrol + 10^6 CFU *actinomyces* + 15 gr mikoriza
- k1b0 : 20 ml/L air +Kontrol
- k1b1 : 20 ml/L air + 10^4 CFU *actinomyces* + 5 gr mikoriza\
- k1b2 : 20 ml/L air + 10^5 CFU *actinomyces* + 10 gr mikoriza
- k1b3 : 20 ml/L air + 10^6 CFU *actinomyces* + 15 gr mikoriza
- k2b0 : 30 ml/L air + kontrol
- k2b1 : 30 ml/L air + 10^4 CFU *actinomyces* + 5 gr mikoriza

- k2b2 : 30 ml/L air + 10^5 CFU *actinomycetes* + 10 gr mikoriza
 k2b3 : 30 ml/L air + 10^6 CFU *actinomycetes* + 15 gr mikoriza

Gambar 1 menunjukkan hasil analisis tinggi tanaman tertinggi terdapat pada perlakuan b2k1 yaitu 27,44 cm sedangkan sidik ragam tinggi tanaman terendah terdapat pada perlakuan b3k1 yaitu 21,49 cm.

Jumlah Daun

Hasil pengamatan jumlah daun disajikan pada tabel lampiran 2a dan 2b. Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan ZPT, *Actinomycetes* dan Mikoriza serta interaksinya berpengaruh tidak nyata terhadap jumlah daun.



Gambar 2. Jumlah daun pada perlakuan ZPT dan konsorsium *Actinomycetes* dan Mikoriza

Keterangan

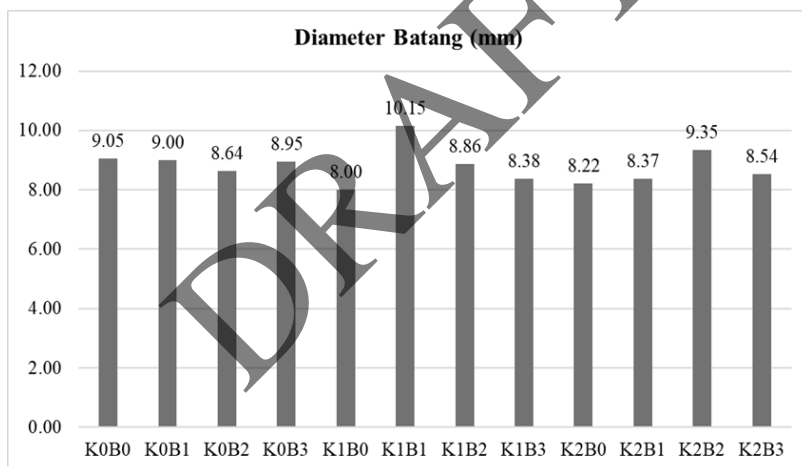
- k0b0 : Kontrol + Kontrol
 k0b1 : Kontrol + 10^4 CFU *actinomycetes* + 5 gr mikoriza
 k0b2 : Kontrol + 10^5 CFU *actinomycetes* + 10 gr mikoriza
 k0b3 : Kontrol + 10^6 CFU *actinomycetes* + 15 gr mikoriza
 k1b0 : 20 ml/L air + Kontrol
 k1b1 : 20 ml/L air + 10^4 CFU *actinomycetes* + 5 gr mikoriza
 k1b2 : 20 ml/L air + 10^5 CFU *actinomycetes* + 10 gr mikoriza
 k1b3 : 20 ml/L air + 10^6 CFU *actinomycetes* + 15 gr mikoriza

- k2b0 : 30 ml/L air + kontrol
- k2b1 : 30 ml/L air + 10^4 CFU *actinomyces* + 5 gr mikoriza
- k2b2 : 30 ml/L air + 10^5 CFU *actinomyces* + 10 gr mikoriza
- k2b3 : 30 ml/L air + 10^6 CFU *actinomyces* + 15 gr mikoriza

Gambar 2 menunjukkan sidik ragam jumlah daun tertinggi terdapat pada perlakuan b2k2 yaitu 6,67 sedangkan sidik ragam jumlah daun terendah terdapat pada perlakuan b0k1 yaitu 6,00.

Diameter Batang

Hasil pengamatan diameter batang disajikan pada tabel lampiran 3a dan 3b. Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan ZPT, *Actinomyces* dan Mikoriza serta interaksinya berpengaruh tidak nyata terhadap diameter batang.



Gambar 3. Sidik ragam diameter batang pada perlakuan ZPT dan konsorsium *Actinomyces* dan Mikoriza

Keterangan

- k0b0 : Kontrol + Kontrol
- k0b1 : Kontrol + 10^4 CFU *actinomyces* + 5 gr mikoriza
- k0b2 : Kontrol + 10^5 CFU *actinomyces* + 10 gr mikoriza

- k0b3 : Kontrol + 10^6 CFU *actinomycetes* + 15 gr mikoriza
- k1b0 : 20 ml/L air +Kontrol
- k1b1 : 20 ml/L air + 10^4 CFU *actinomycetes* + 5 gr mikoriza\
- k1b2 : 20 ml/L air + 10^5 CFU *actinomycetes* + 10 gr mikoriza
- k1b3 : 20 ml/L air + 10^6 CFU *actinomycetes* + 15 gr mikoriza
- k2b0 : 30 ml/L air + kontrol
- k2b1 : 30 ml/L air + 10^4 CFU *actinomycetes* + 5 gr mikoriza
- k2b2 : 30 ml/L air + 10^5 CFU *actinomycetes* + 10 gr mikoriza
- k2b3 : 30 ml/L air + 10^6 CFU *actinomycetes* + 15 gr mikoriza

Gambar 3 menunjukkan diameter batang tertinggi terdapat pada perlakuan b1k1 yaitu 10,15 cm sedangkan sidik ragam diameter batang terendah terdapat pada perlakuan b0k1 yaitu 8,00.

Volume Akar

Hasil pengamatan volume akar disajikan pada tabel lampiran 4a dan 4b. Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan ZPT berpengaruh nyata, *Actinomycetes* dan Mikoriza berpengaruh nyata tetapi interaksinya berpengaruh tidak nyata terhadap volume akar.

Tabel 1.
Volume akar pada perlakuan ZPT dan konsorsium *Actinomycetes* + Mikoriza

K	B				Rata-rata	NP BNT
	b0 (kontrol)	b1 (10^4+5)	b2 (10^5+10)	b3 (10^6+15)		
k0 (kontrol)	4.33	9.33	8.67	7.67	7.50 b	1.57
k1(20 ml)	9.00	10.33	10.67	12.67	10.67 a	
k2 (30 ml)	7.00	10.00	7.33	11.00	8.83 b	
Rata-rata	6.78 q	9.89 p	8.89 p	10.44 p		
NP BNT	1.79					

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf yang sama artinya berbeda tidak nyata pada uji lanjut BNT taraf kepercayaan $\alpha = 0,05$

Tabel 1 menunjukkan bahwa sidik ragam volume akar tertinggi terdapat pada perlakuan k1 (20 ml ekstrak touge + 980 ml air) yaitu 10.67 m³ dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

Tabel 1.
Sidik ragam volume akar pada perlakuan ZPT dan konsorsium *Actinomycetes* + Mikoriza

ZPT	konsorsium <i>Actinomycetes</i> + Mikoriza				Rata-rata	NP BNT
	kontrol	10 ⁴ +5	10 ⁵ +10	10 ⁶ +15		
kontrol	4.33	9.33	8.67	7.67	7.50 b	1.57
20 ml	9.00	10.33	10.67	12.67	10.67 a	
30 ml	7.00	10.00	7.33	11.00	8.83 b	
Rata-rata	6.78 q	9.89 p	8.89 p	10.44 p		
NP BNT	1.79					

Tabel 1 juga menunjukkan bahwa sidik ragam volume akar tertinggi terdapat pada perlakuan b3 (10⁶ CFU *actinomycetes* + 15 gr mikoriza) yaitu 10.44 m³ berbeda tidak nyata dengan b1 (10⁴ CFU *actinomycetes* + 5 gr mikoriza) 9.89 m³ dan b2 (10⁵ CFU *actinomycetes* + 10 gr mikoriza) 8.89 m³ tetapi berbeda nyata dengan b0 (tanpa *actinomycetes* + mikoriza) yaitu 6.78 m³.

Berat Basah Akar

Hasil pengamatan berat basah akar pada disajikan pada tabel lampiran 5a dan 5b. Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan *Actinomycetes* + Mikoriza berpengaruh nyata tetapi ZPT interaksinya berpengaruh tidak nyata terhadap berat basah akar.

Tabel 2.
Sidik ragam berat basah akar pada perlakuan ZPT dan konsorsium *Actinomyces* + Mikoriza

K	B			
	b0 (kontrol)	b1 (10 ⁴ +5)	b2 (10 ⁵ +10)	b3 (10 ⁶ +15)
k0 (kontrol)	5.86	11.30	9.97	11.82
k1 (20 ml)	9.24	11.96	13.45	16.52
k2 (30 ml)	8.96	12.56	9.20	15.93
Rata-rata	8.02 q	11.94 pq	10.87 q	14.76 p
NP BNT	3.31			

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf yang sama artinya berbeda tidak nyata pada uji lanjut BNT taraf kepercayaan $\alpha = 0,05$

Tabel 2.
Berat basah akar pada perlakuan ZPT dan konsorsium *Actinomyces* + Mikoriza

ZPT	konsorsium <i>Actinomyces</i> + Mikoriza			
	kontrol	10 ⁴ +5	10 ⁵ +10	10 ⁶ +15
Control	5.86	11.30	9.97	11.82
20 ml	9.24	11.96	13.45	16.52
30 ml	8.96	12.56	9.20	15.93
Rata-rata	8.02 q	11.94 pq	10.87 q	14.76 p
NP BNT	3.31			

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf yang sama artinya berbeda tidak nyata pada uji lanjut BNT taraf kepercayaan $\alpha = 0,05$

Tabel 2 menunjukkan bahwa berat basah akar tertinggi terdapat pada perlakuan b3 (10⁶ CFU *actinomyces* + 15 gr mikoriza) yaitu 14.76 g berbeda tidak nyata dengan b1 (10⁴ CFU *actinomyces* + 5 gr mikoriza) 11.94 g tetapi berbeda nyata dengan perlakuan b0

(tanpa *actinomyces* + mikoriza) yaitu 8.02 g dan b2 (10^5 CFU *actinomyces* + 10 gr mikoriza 11.94 g).

Berat Kering Akar

Hasil pengamatan berat kering akar pada disajikan pada tabel lampiran 6a dan 6b. Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan ZPT berpengaruh nyata, *Actinomyces* dan Mikoriza berpengaruh sangat nyata tetapi interaksinya berpengaruh tidak nyata terhadap berat kering akar.

Tabel 3.

Sidik ragam berat kering akar pada perlakuan ZPT dan konsorsium *Actinomyces* + Mikoriza

ZPT	konsorsium <i>Actinomyces</i> + Mikoriza				Rata-rata	NP BNT
	kontrol	10^4+5	10^5+10	10^6+15		
Kontrol	0.67	0.76	1.02	0.90	0.84 b	
20 ml	0.85	0.73	1.04	1.31	0.98 a	0.12
30 ml	0.66	1.05	1.23	1.06	1.00 a	
Rata-rata	0.73 q	0.85 pq	1.09 p	1.09 p		
NP BNT	0.16					

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf yang sama artinya berbeda tidak nyata pada uji lanjut BNT taraf kepercayaan $\alpha = 0,05$

Tabel 3 menunjukkan bahwa berat kering akar tertinggi terdapat pada perlakuan k2 (30 ml ekstrak touge + 970 ml air) yaitu 1.00 g berbeda tidak nyata dengan perlakuan k1(20 ml ekstrak touge + 980 ml air) 0.98 g dan berbeda nyata dengan perlakuan ko (kontrol) yaitu 0.84 g. Tabel 3 juga menunjukkan bahwa sidik ragam berat kering akar tertinggi terdapat pada perlakuan b2 dan b3 (10^6 CFU *actinomyces* + 15 gr mikoriza) yaitu 1.09 g berbeda tidak nyata dengan b1 (10^4 CFU *actinomyces* + 5 gr mikoriza) 0.85 g tetapi berbeda nyata dengan b0 (tanpa *actinomyces* + mikoriza) yaitu 0.73 g

Berat Basah Batang

Hasil pengamatan berat basah batang pada disajikan pada tabel lampiran 7a dan 7b. Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan ZPT berpengaruh nyata, *Actinomycetes* + Mikoriza berpengaruh sangat nyata tetapi interaksinya berpengaruh tidak nyata terhadap berat basah batang.

Tabel 4.

Sidik ragam berat basah batang pada perlakuan ZPT dan konsorsium *Actinomycetes* + Mikoriza

ZPT	konsorsium <i>Actinomycetes</i> + Mikoriza				Rata-rata	NP BNT
	kontrol	10 ⁴ +5	10 ⁵ +10	10 ⁶ +15		
Kontrol	12.19	17.29	20.33	22.71	18.13 b	1.91
20 ml	17.19	20.59	21.89	23.19	20.72 a	
30 ml	18.48	19.88	23.13	21.71	20.80 a	
Rata-rata	15.96 r	19.25 q	21.79 pq	22.54 p		
NP BNT	3.01					

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf yang sama artinya berbeda tidak nyata pada uji lanjut BNT taraf kepercayaan $\alpha = 0,05$

Tabel 4 menunjukkan bahwa berat basah batang tertinggi terdapat pada perlakuan k2 (30 ml ekstrak touge + 970 ml air) 20.80 g berbeda tidak nyata dengan perlakuan k1 (20 ml ekstrak touge + 980 ml air) yaitu 20,72 g tetapi berbeda nyata dengan perlakuan ko (Kontrol) yaitu 18.13 g.

Tabel 4 juga menunjukkan bahwa berat basah batang tertinggi terdapat pada perlakuan b3 (10⁶ CFU *actinomycetes* + 15 gr mikoriza) yaitu 22.54 g berbeda tidak nyata dengan perlakuan b2 (10⁵ CFU *actinomycetes* + 10 gr mikoriza) 21.79 g dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

Berat Kering Batang

Hasil pengamatan berat kering batang pada disajikan pada tabel lampiran 8a dan 8b. Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan ZPT berpengaruh nyata, *Actinomyces* + Mikoriza berpengaruh sangat nyata tetapi interaksinya berpengaruh tidak nyata terhadap berat kering batang

Tabel 5.

Sidik ragam berat kering batang pada perlakuan ZPT dan konsorsium *Actinomyces* + Mikoriza

ZPT	konsorsium <i>Actinomyces</i> + Mikoriza				Rata-rata	NP BNT
	kontrol	10 ⁴ +5	10 ⁵ +10	10 ⁶ +15		
Kontrol	1.42	2.14	2.24	2.47	2.07 b	
20 ml	1.96	2.34	2.45	3.51	2.56 a	0.41
30 ml	2.60	2.75	2.69	3.22	2.82 a	
Rata-rata	1.99 r	2.41 q	2.46 q	3.07 p		
NP BNT	0.29					

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf yang sama artinya berbeda tidak nyata pada uji lanjut BNT taraf kepercayaan $\alpha = 0,05$

Tabel 5 menunjukan bahwa berat kering batang tertinggi terdapat pada perlakuan k2 (30 ml ekstrak touge + 970 ml air) 2.82 g berbeda tidak nyata dengan perlakuan k1 (20 ml ekstrak touge + 980 ml air) yaitu 2.56 g dan berbeda nyata dengan perlakuan ko (Kontrol) yaitu 2.07 g. Tabel 5 juga menunjukkan bahwa sidik ragam berat kering batang tertinggi terdapat pada perlakuan b3 (10⁶ CFU *actinomyces* + 15 gr mikoriza) yaitu 3.07 g dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

Infeksi Mikoriza

Tabel 6.
Hasil Pengamatan Infeksi Mikoriza pada tanaman tebu

Perlakuan	Persentase			Keterangan
	I	II	III	
K0B1	100%	100%	100%	Lampiran 11 (a1,b1,c1)
K0B2	100%	100%	100%	Lampiran 11 (a2,b2,c2)
K0B3	100%	100%	100%	Lampiran 11 (a3,b3,c3)
K1B1	100%	100%	100%	Lampiran 11 (a4,b4,c4)
K1B2	100%	100%	100%	Lampiran 11 (a5,b5,c5)
K1B3	100%	100%	100%	Lampiran 11 (a6,b6,c6)
K2B1	100%	100%	100%	Lampiran 11 (a7,b7,c7)
K2B2	100%	100%	100%	Lampiran 11 (a8,b8,c8)
K2B3	100%	100%	100%	Lampiran 11 (a9,b9,c9)

Pengaruh Zat Pengatur Tumbuh

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perlakuan zat pengatur tumbuh memberikan pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan bibit tebu. Perlakuan zat pengatur tumbuh 20 ml ekstrak touge + 980 ml air memberikan pengaruh terbaik pada parameter volume akar, sedangkan zat pengatur tumbuh 30 ml ekstrak touge + 970 ml air memberikan pengaruh terbaik pada parameter berat akar kering dan berat batang kering. Pada pembibitan tanaman tebu secara vegetatif, pertumbuhan tanaman akan cenderung lama jika tanpa diberikan zat pengatur tumbuh. Proses pembentukan organ tanaman dibentuk karena adanya hormon auksin yang mampu meningkatkan aktivitas produksi enzim dan sintesis protein (Alpriyan dan Karyawati, 2018).

Pada parameter volume akar, teknis kerja auksin sangat aktif untuk mempercepat dan memperbanyak keluarnya akar yang berfungsi untuk penyerapan air dan unsur hara yang ada di dalam

tanah. Akar terbentuk karena adanya pembelahan dan pemanjangan sel dalam ujung akar. Apabila auksin dalam jumlah tepat, maka pertumbuhan tanaman akan lebih baik. Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian Pamungkas dan Nopiyanto (2020), bahwa kecambah kacang hijau (tauge) mengandung hormon alami yaitu hormon auksin, dimana hormon auksin memiliki fungsi dalam pembelahan sel dan pertumbuhan akar. Selain itu, menurut Lahay dan Simanungkalit (2015), yang menyatakan bahwa auksin dapat merangsang pertumbuhan akar tanaman, meningkatkan daya serap akar terhadap unsur hara.

Perlakuan konsentrasi ekstrak tauge yang diberikan menghasilkan pengaruh nyata, hal ini dikarenakan auksin yang terkandung dalam ekstrak tauge bekerja secara maksimal dan hasilnya dapat dilihat pada parameter berat akar kering tanaman. Pengukuran biomassa tanaman dapat dilakukan menggunakan berat kering tanaman. Menurut Panglipur *et al.* (2013), penambahan ukuran maupun berat kering tanaman mencerminkan bertambahnya protoplasma, yang terjadi karena bertambahnya ukuran dan jumlah sel serta biomassa. Artinya pada perlakuan 30 ml ekstrak touge + 970 ml air menunjukkan bahwa bahan organik yang diproduksi oleh tanaman lebih banyak dibandingkan perlakuan 20 ml ekstrak touge + 980 ml air dan kontrol (tanpa pemberian).

Peningkatan berat kering tanaman disebabkan karena meningkatnya aktivitas sel pada masing-masing perlakuan. Di dalam sel, auksin diduga mempengaruhi metabolisme RNA, yang mengontrol metabolisme protein, yang kemungkinan dilakukan pada proses transkripsi molekul RNA. Menurut Pamungkas dan Nopiyanto (2020), kenaikan sintesis protein menyebabkan bertambahnya sumber tenaga untuk pertumbuhan. Penggunaan auksin dapat memacu pertumbuhan tanaman. Hal ini ditunjukkan dengan terjadinya penambahan ukuran dan berat kering tanaman yang tidak dapat balik. Selain itu, pertumbuhan berkaitan dengan penambahan volume dan jumlah sel, pembentukan protoplasma baru, penambahan berat dan selanjutnya

meningkatkan berat keringnya. Bahan kering ini terdiri dari bahan-bahan organik dan mineral yang penting untuk pertumbuhan tanaman (Panglipur *et al.*, 2013).

Zat pengatur tumbuh merupakan senyawa yang berperan penting dalam mengarahkan pertumbuhan sel tanaman. Ekstrak tauge memiliki konsentrasi senyawa auksin sebanyak 1,68 ppm. Peningkatan volume akar pada tanaman tebu membutuhkan auksin untuk membantu penyerapan air dan unsur hara yang ada di dalam tanah yang dapat meningkatkan pertambahan volume akar. Hal ini sesuai pendapat Lahay dan Simanungkalit (2015), bahwa auksin dapat merangsang pertumbuhan akar tanaman, meningkatkan daya serap akar terhadap unsur hara. Peningkatan volume akar tanaman disebabkan oleh bertambahnya protoplasma, yang terjadi karena bertambahnya ukuran dan jumlah sel serta biomassa. Hal ini berkaitan dengan pertambahan berat dan selanjutnya meningkatkan berat kering akar tanaman tebu (Pamungkas dan Nopiyanto, 2020).

6.1.1 Pengaruh Konsorsium *Actinomyces* dan Mikoriza

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perlakuan konsorsium *actinomyces* dan mikoriza memberikan pengaruh signifikan terhadap parameter berat akar basah, berat akar kering dan berat batang kering. Pemberian 10^6 CFU *actinomyces* + 15 gr mikoriza memberikan pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan bibit tebu. Pemberian *Actinomyces* dapat memproduksi IAA yang membantu dalam proses mempercepat pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Rahayu *et al.* (2014), yang menyatakan bahwa terdapat isolat bakteri yang dapat melarutkan fosfat salah satunya isolat dari *actinomyces* yang juga dapat membantu pertumbuhan tanaman dengan menfiksasi N dari udara. Pemberian mikoriza 15 gr dapat meningkatkan berat akar basah yang merupakan hasil pertumbuhan suatu tanaman diperoleh dari perubahan energi matahari menjadi energi kimia yang dipengaruhi dengan ketersediaan hara dan air di dalam tanah.

Keberadaan mikoriza sangat bermanfaat dalam penyerapan air dan unsur hara terutama fosfor. Keadaan yang sama ditunjukkan para parameter berat basah tanaman. Hal ini sesuai dengan pernyataan Wardhika *et al.* (2015), bahwa hifa mikoriza pada bagian luar akan berperan bagi tanaman pada perluasan penetrasi akar. Selain itu, kebutuhan air yang tercukupi menyebabkan metabolit untuk kelangsungan hidup tanaman juga menjadi tersedia. Hal ini sesuai dengan pendapat Riliana *et al.* (2020), yang menyatakan bahwa transpirasi dan fotosintesis yang rendah terjadi pada kandungan air tanah yang lebih sedikit. Rendahnya kedua aktivitas fisiologis tanaman ini berakibat bagi pertumbuhan tanaman seperti berat basah tanaman. Berat kering tanaman merupakan akumulasi senyawa organik yang berhasil disintesis oleh tanaman ke organ-organ lainnya.

Respon mikoriza memberikan pengaruh yang signifikan terhadap berat akar kering dan berat batang kering karena adanya pengaruh hara yang diserap oleh perakaran tanaman. Setiap unsur hara yang diserap memiliki fungsi dan peran yang berbeda bagi tanaman. Menurut Amal *et al.* (2020), unsur P akan mempengaruhi berat akar kering tanaman. Unsur N dibutuhkan oleh tanaman sepanjang pertumbuhannya sehingga jumlah yang diambil berhubungan langsung dengan produksi berat keringnya. Sementara unsur K, Ca, dan Mg tersedia dapat meningkatkan proses fotosintesis yang berlangsung pada tanaman sehingga dapat tumbuh dengan normal serta diikuti oleh peningkatan berat akar kering tanaman.

Inveksi mikoriza pada akar tanaman tebu menunjukkan arah positif dengan jenis mikoriza arbuskular. Hasil analisa kimia tanah menunjukkan bahwa kandungan kondisi kimia tanah ditemukan tidak terdapat perbedaan sifat kimia. pH tanah pada kondisi netral. Posfor tersedia pada tanah dalam kondisi tinggi, demikian juga dengan N dalam kondisi sedang. Hal ini berarti kondisi tanah dalam keadaan cukup nutrisi bagi tanaman.

Hal ini langsung berakibat kurangnya infeksi mikoriza pada tanaman tersebut. Fungsi mikoriza sendiri bagi tanaman adalah sebagai pembantu penyerapan hara khususnya fosfor bagi tanaman, akan tetapi jika kondisi tanah cukup kandungan nutrisinya, maka mikoriza mengurangi infeksi. Hal ini didukung oleh pendapat Pulungan (2013), yang menyatakan bahwa infeksi mikoriza pada akar suatu tanaman dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara pada tanah tempat tanaman tersebut. Semakin tinggi unsur hara yang telah terkandung di tanah tersebut, maka infeksi mikoriza pada akar tanaman semakin berkurang.

Peran *actinomycetes* terhadap parameter pengamatan pada berat akar basah dan berat kering tanaman yaitu penambahan *actinomycetes* yang merupakan bakteri yang banyak hidup di tanah dan pada jaringan tanaman seperti daun, batang dan akar menghasilkan senyawa bioaktif yang lebih banyak. Pemberian inokulan *Actinomycetes* mampu meningkatkan ketersediaan hara N dan P di dalam tanah. Unsur P yang tersedia sangat dibutuhkan untuk perkembangan akar tanaman yang lebih baik (Rahayu *et al.*, 2014). Selain itu, dengan pemberian *Actinomycetes* dapat memproduksi IAA yang membantu dalam proses mempercepat pertumbuhan dan perkembangan tanaman tebu. Dalam menunjang perkembangan tanaman tebu juga dibutuhkan penambahan mikoriza karena memiliki peranan sangat bermanfaat dalam penyerapan air dan unsur hara terutama fosfor. Perkembangan akar tanaman membutuhkan unsur hara dalam tanah. Dengan pemberian mikoriza pada bagian luar akan berperan bagi tanaman pada perluasan penetrasi akar. Selain itu, kebutuhan air yang tercukupi menyebabkan metabolit untuk kelangsungan hidup tanaman juga menjadi tersedia (Riliana *et al.*, 2020).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M.W dan Nirwana. 2019. Pengaruh Ekstrak Tanaman Sebagai Sumber ZPT Alami terhadap Pertumbuhan Setek Tanaman Lada (*Piper nigrum*L.). *Jurnal Agrotek*, 3 (1) : 1-9.
- Abdullah, M.W dan Nirwana. 2019. Pengaruh Ekstrak Tanaman Sebagai Sumber ZPT Alami terhadap Pertumbuhan Setek Tanaman Lada (*Piper nigrum* L.). *Jurnal Agrotek*, 3 (1) : 1-9.
- Abdullah, M.W dan Nirwana. 2019. Pengaruh Ekstrak Tanaman Sebagai Sumber ZPT Alami terhadap Pertumbuhan Setek Tanaman Lada (*Piper nigrum*L.). *Jurnal Agrotek*, 3 (1) : 1-9.
- Alfiansyah, Sukemi IS dan Khoiri MA.2015. Pemberian Zat Pengatur Tumbuh Auksin dengan Berbagai Konsentrasi pada Bibit Karet (*Hevea brasiliensis* Muell Arg) Stum Mata Tidur Klon PB 260. *Jurnal Agroekoteknologi* Fakultas Pertanian Universitas Riau. Vol 2 (1) Februari 2015.
- Alfiansyah, Sukemi IS dan Khoiri MA.2015. Pemberian Zat Pengatur Tumbuh Auksin dengan Berbagai Konsentrasi pada Bibit Karet (*Hevea brasiliensis* Muell Arg) Stum Mata Tidur Klon PB 260. *Jurnal Agroekoteknologi* Fakultas Pertanian Universitas Riau. Vol 2 (1) Februari 2015.
- Alfiansyah, Sukemi IS dan Khoiri MA.2015. Pemberian Zat Pengatur Tumbuh Auksin dengan Berbagai Konsentrasi pada Bibit Karet (*Hevea brasiliensis* Muell Arg) Stum Mata Tidur Klon PB 260. *Jurnal Agroekoteknologi* Fakultas Pertanian Universitas Riau. Vol 2 (1) Februari 2015.
- Amoozadeh, S., Johnston, J., & Meisrimler, C.. (2021, November 30). Exploiting Structural Modelling Tools to Explore Host-Translocated Effector Proteins. <https://scite.ai/reports/10.3390/ijms222312962>

- Amoozadeh, S., Johnston, J., & Meisrimler, C.. (2021, November 30). Exploiting Structural Modelling Tools to Explore Host-Translocated Effector Proteins. <https://scite.ai/reports/10.3390/ijms222312962>
- Anwar, A. R. 2015. *Uji Efektifitas Dua Jenis Mikoriza (Glomus sp. dan Acaulospora sp). Dalam Meningkatkan Pertumbuhan Bibit Tanaman Tebu (Saccharum officinarum L.)*. Budidaya Tanaman Perkebunan. Politeknik Pertanian Negeri Pangkep
- Anwar, A. R. 2015. Uji Efektifitas Dua Jenis Mikoriza (Glomus sp. dan Acaulospora sp). Dalam Meningkatkan Pertumbuhan Bibit Tanaman Tebu (Saccharum officinarum L.). Budidaya Tanaman Perkebunan. Politeknik Pertanian Negeri Pangkep.
- Anwar, A. R. 2015. *Uji Efektifitas Dua Jenis Mikoriza (Glomus sp. dan Acaulospora sp). Dalam Meningkatkan Pertumbuhan Bibit Tanaman Tebu (Saccharum officinarum L.)*. Budidaya Tanaman Perkebunan. Politeknik Pertanian Negeri Pangkep
- Ariani, E., F.Y. Wicaksono, A.W. Irwan, T. Nurmala, dan Y. Yuwariah. 2015. Pengaruh berbagai pengaturan jarak tanam dan konsentrasi giberelin (GA3) terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman gandum (*Triticum aestivum L.*) kultivar dewata di dataran medium Jatinangor. *J. Agric. Sci 2*, (1) : 31 – 52.
- Ariani, E., F.Y. Wicaksono, A.W. Irwan, T. Nurmala, dan Y. Yuwariah. 2015. Pengaruh berbagai pengaturan jarak tanam dan konsentrasi giberelin (GA3) terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman gandum (*Triticum aestivum L.*) kultivar dewata di dataran medium Jatinangor. *J. Agric. Sci 2*, (1) : 31 – 52.
- Ariani, E., F.Y. Wicaksono, A.W. Irwan, T. Nurmala, dan Y. Yuwariah. 2015. Pengaruh berbagai pengaturan jarak tanam dan konsentrasi giberelin (GA3) terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman gandum (*Triticum aestivum L.*) kultivar dewata di dataran medium Jatinangor. *J. Agric. Sci 2*, (1) : 31 – 52.

- Arlianti, T., Syahid, S.F., Kristina, N.N., Rostiana, O. 2013. Pengaruh Auksin IAA, IBA dan NAA terhadap Induksi Perakaran Tanaman Stevia (*Stevia rebaudiana*) Secara *in Vitro*. *Buletin Litro*, Vol. 24 (2): 58.
- Arlianti, T., Syahid, S.F., Kristina, N.N., Rostiana, O. 2013. Pengaruh Auksin IAA, IBA dan NAA terhadap Induksi Perakaran Tanaman Stevia (*Stevia rebaudiana*) Secara *in Vitro*. *Buletin Litro*, Vol. 24 (2): 58.
- Arlianti, T., Syahid, S.F., Kristina, N.N., Rostiana, O. 2013. Pengaruh Auksin IAA, IBA dan NAA terhadap Induksi Perakaran Tanaman Stevia (*Stevia rebaudiana*) Secara *in Vitro*. *Buletin Litro*, Vol. 24 (2): 58.
- Badan Pusat Statistik. 2022. Statistik Tebu Indonesia. Diakses melalui ditjenbun.pertanian.go.id/tinymcpuk/gambar/file/statistik/2017/Tebu-2015-2017.pdf. pada tanggal 17 febuari 2022.
- Badan Pusat Statistik. 2022. Statistik Tebu Indonesia. Diakses melalui ditjenbun.pertanian.go.id/tinymcpuk/gambar/file/statistik/2017/Tebu-2015-2017.pdf. pada tanggal 17 febuari 2022.
- Bhatti, A. A., Shamsul, H. dan Rouf, A. B. 2017. Actinomycetes benefaction role in soil and plant health. *Jurnal Microbial Pathogenesis*. Hal 458-467.
- Bhatti, A. A., Shamsul, H. dan Rouf, A. B. 2017. Actinomycetes benefaction role in soil and plant health. *Jurnal Microbial Pathogenesis*. Hal 458-467.
- Biglari, N., Hasnuri, M. H., dan Javid A. 2016. The Ability of *Streptomyces* spp. Isolats from Iranian Soil to Solubilize Rock Phosphate. Australian International Academic Centre, Australia. *Advances in Bioscience & Clinical Medicine*. Vol. (3).

- Biglari, N., Hasnuri, M. H., dan Javid A. 2016. The Ability of *Streptomyces* spp. Isolatd from Iranian Soil to Solubilize Rock Phosphate. Australian International Academic Centre, Australia. *Advances in Bioscience & Clinical Medicine*. Vol. (3).
- Biotechnology Industry Organization. *Biotechnology in Perspective*. Washington, D.C.: Biotechnology Industry Organization. 1990.
- Chamikara, P. 2016. *Actinomycetes: Advanced Study on selected taxonomic groups of Bacteria and Archaea*. *Microbiology* (Sp.), University of Kelaniya, Sri Lanka. Dhanasekaran and Jiang. 2016. *Basic and Biotechnical Applications*. Ave4eva Movimix Records.
- Chamikara, P. 2016. *Actinomycetes: Advanced Study on selected taxonomic groups of Bacteria and Archaea*. *Microbiology* (Sp.), University of Kelaniya, Sri Lanka. Dhanasekaran and Jiang. 2016. *Basic and Biotechnical Applications*. Ave4eva Movimix Records.
- Chemical communication in plant–microbe beneficial interactions: a.... (n.d).<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369527423000061>
- Cookson, J. T. *Bioremediation Engineering: Design and Application*. McGraw-Hill. New York. 1994.
- D. Marčiulyrienė, A. Marčiulynas, J. Lynikienė, M. Vaičiukynė, A. Gedminas and A. Menkis. “DNA-Metabarcoding of Belowground Fungal Communities in Bare-Root Forest Nurseries: Focus on Different Tree Species”. Jan. 2021.
- D. Marčiulyrienė, A. Marčiulynas, J. Lynikienė, M. Vaičiukynė, A. Gedminas and A. Menkis. “DNA-Metabarcoding of Belowground Fungal Communities in Bare-Root Forest Nurseries: Focus on Different Tree Species”. Jan. 2021.

- Dea, T. 2009. Pengaruh dosis ekstrak rebung bambu betung (*Dendrocalamus asper*) terhadap pertumbuhan semai sengon (*Paraserianthes falcataria*). Skripsi Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Bogor. (Tidak dipublikasikan).
- Dea, T. 2009. Pengaruh dosis ekstrak rebung bambu betung (*Dendrocalamus asper*) terhadap pertumbuhan semai sengon (*Paraserianthes falcataria*). Skripsi Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Bogor. (Tidak dipublikasikan)
- Dey, A., S. Tamta and D. Giri, 2011. Role of Auxin on adventitious Root Formation and Subsequent Growth of Cutting Raised Plantlets of *Ginkgo biloba L.* *International Journal of Biodiversity and Conservation*. 3(4): 142-146.
- Dey, A., S. Tamta and D. Giri, 2011. Role of Auxin on adventitious Root Formation and Subsequent Growth of Cutting Raised Plantlets of *Ginkgo biloba L.* *International Journal of Biodiversity and Conservation*. 3(4): 142-146.
- Environmental Defense Fund. Genetically Engineered Foods: Who's Minding the Store? New York. NY: Environmental Defense Fund. 1995.
- Environmental Defense Fund. Genetically Engineered Foods: Who's Minding the Store? New York. NY: Environmental Defense Fund. 1995.
- Eyfani, W. 2016. Pengaruh Bokashi Sekam Padi dan Konsentrasi Ekstrak Tauge Terhadap Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cacao L.*). *Skripsi*. Fakultas Pertanian, UIN Sultan Syarif Kasim, Riau.
- Eyfani, W. 2016. Pengaruh Bokashi Sekam Padi dan Konsentrasi Ekstrak Tauge Terhadap Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cacao L.*). *Skripsi*. Fakultas Pertanian, UIN Sultan Syarif Kasim, Riau.

- Fuady Z. 2013. Kontribusi Cendawan Mikoriza Arbuskular Terhadap Pembentukan Agregat Tanah dan Pertumbuhan Tanaman. *Jurnal Lentera*, 13(3) : 12-13
- Fuady Z. 2013. Kontribusi Cendawan Mikoriza Arbuskular Terhadap Pembentukan Agregat Tanah dan Pertumbuhan Tanaman. *Jurnal Lentera*, 13(3) : 12-13
- germination stage of soybean. IOP Conf. Ser.: Earth Environ.*
- Ginzburg, Lev. R. Assessing Ecological Risks of Biotechnology. Boston: Butterworth-Heinemann. 1991.
- Ginzburg, Lev. R. Assessing Ecological Risks of Biotechnology. Boston: Butterworth-Heinemann. 1991.
- J. Yuan et al.. “Root exudates drive the soil-borne legacy of aboveground pathogen infection”. Sep. 2018.
- J. Yuan et al.. “Root exudates drive the soil-borne legacy of aboveground pathogen infection”. Sep. 2018.
- Margaret G. Mellon. Biotechnology and the Environment: A Primer on the Environmental Implications of Genetic Engineering.
- Margaret G. Mellon. Biotechnology and the Environment: A Primer on the Environmental Implications of Genetic Engineering.
- N. Bziuk, L. Maccario, S. J. Sørensen, A. Schikora and K. Smalla. “Barley Rhizosphere Microbiome Transplantation – A Strategy to Decrease Susceptibility of Barley Grown in Soils With Low Microbial Diversity to Powdery Mildew”. May. 2022.
- N. Bziuk, L. Maccario, S. J. Sørensen, A. Schikora and K. Smalla. “Barley Rhizosphere Microbiome Transplantation – A Strategy to Decrease Susceptibility of Barley Grown in Soils With Low Microbial Diversity to Powdery Mildew”. May. 2022. n. Diakses 14 Januari 2015

- Nasaruddin. 2018. *Ekofisiologi, Kebutuhan Air dan Nutrisi Kakao*. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Nasaruddin. 2018. *Ekofisiologi, Kebutuhan Air dan Nutrisi Kakao*. Makassar: Universitas Hasanuddin
- Olson, Steve. *Biotechnology: An Industry Comes of Age*. Washington. D.C.: National Academy Press. 1986.
- Olson, Steve. *Biotechnology: An Industry Comes of Age*. Washington. D.C.: National Academy Press. 1986.
- Ouellette, Robert P., and Paul N. Cheremisinoff. *Essentials of Biotechnology*. Lancaster. Pennsylvania: Technomic Publishing Company. 1985.
- Ouellette, Robert P., and Paul N. Cheremisinoff. *Essentials of Biotechnology*. Lancaster. Pennsylvania: Technomic Publishing Company. 1985.
- Pamungkas, S. S. T dan Nopiyanto, R. 2020. Pengaruh Zat Pengatur Tumbuh Alami dari Ekstrak Tauge Terhadap Pertumbuhan Pembibitan Budchip Tebu (*Saccharum officinarum* L.) Varietas Bululawang (BL). *MEDIAGRO*. Vol. 16(1): 68-80.
- Pamungkas, S. S. T dan Nopiyanto, R. 2020. Pengaruh Zat Pengatur Tumbuh Alami dari Ekstrak Tauge Terhadap Pertumbuhan Pembibitan Budchip Tebu (*Saccharum officinarum* L.) Varietas Bululawang (BL). *MEDIAGRO*. Vol. 16(1): 68-80.
- Panem, Sandra. (ed.) *Biotechnology: Implications for Public Policy*. Washington. D.C.: The Brookings Institution. 1985.
- Panem, Sandra. (ed.) *Biotechnology: Implications for Public Policy*. Washington. D.C.: The Brookings Institution. 1985.
pengelolaanya. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Peters, Pamela. *Biotechnology: A Guide to Genetic Engineering*. Dubuque. IA: Wm. C. Brown Publishers, 1993.

- Peters, Pamela. *Biotechnology: A Guide to Genetic Engineering*. Dubuque. IA: Wm. C. Brown Publishers, 1993.
- Plant root-microbe communication in shaping root microbiomes. (n.d). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26729479/>
- Purlani, E., Dieng. HP., Heri, I., dan Subiyakto. 2015. Balittas. Diakses dari <http://www.litbang.pertanian.go.id/berita/one/2326/file/PembenihanTebu-Bud-Chips.pdf> hal 1.
- Purlani, E., Dieng. HP., Heri, I., dan Subiyakto. 2015. Balittas. Diakses dari <http://www.litbang.pertanian.go.id/berita/one/2326/file/PembenihanTebu-Bud-Chips.pdf> hal 1.
- Purwanti, G., Togar. F. M, Herlina, D., 2014. Pengaruh Auksin Terhadap Pertumbuhan Bibit Cabutan Alam Gaharu (*Aquilaria Malaccensis* Lamk). Fakultas Kehutanan Universitas Tanjungpura.
- Purwanti, G., Togar. F. M, Herlina, D., 2014. Pengaruh Auksin Terhadap Pertumbuhan Bibit Cabutan Alam Gaharu (*Aquilaria Malaccensis* Lamk). Fakultas Kehutanan Universitas Tanjungpura.
- R. B. D. Silva, P. Iori, Z. M. D. Souza, D. D. M. G. Pereira, O. P. R. Filho and F. A. D. M. Silva. "Contact pressures and the impact of farm equipment on Latosol with the presence and absence of sugarcane straw". Jun. 2016.
- R. B. D. Silva, P. Iori, Z. M. D. Souza, D. D. M. G. Pereira, O. P. R. Filho and F. A. D. M. Silva. "Contact pressures and the impact of farm equipment on Latosol with the presence and absence of sugarcane straw". Jun. 2016.
- Rajiman. 2018. Pengaruh Zat Pengatur Tumbuh (ZPT) Alami terhadap Hasil dan Kualitas Bawang Merah. Seminar Nasional Dalam Rangka Dies Natalis UNS Ke 42 "Peran Keanekaragaman

Hayati untuk Mendukung Indonesia sebagai Lumbung Pangan Dunia”. (327-335).

Rajiman. 2018. Pengaruh Zat Pengatur Tumbuh (ZPT) Alami terhadap Hasil dan Kualitas Bawang Merah. Seminar Nasional Dalam Rangka Dies Natalis UNS Ke 42 “Peran Keanekaragaman Hayati untuk Mendukung Indonesia sebagai Lumbung Pangan Dunia”. (327-335).

Riliana, N., Parapasan, A. Y dan Sukmawan, Y. 2020. Pengaruh Inokulan Fungi Mikoriza Arbuskula dan Komposisi Media Tanam pada Pertumbuhan Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum* L.). *Jurnal Pertanian Konservasi Lahan Kering*. Vol. 5(3): 44-46.

Riliana, N., Parapasan, A. Y dan Sukmawan, Y. 2020. Pengaruh Inokulan Fungi Mikoriza Arbuskula dan Komposisi Media Tanam pada Pertumbuhan Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum* L.). *Jurnal Pertanian Konservasi Lahan Kering*. Vol. 5(3): 44-46.

Rittmann, B.E., and P.L. McCarty. *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. Boston, MA: McGraw-Hill. pp. 720-721. 2001.

Rittmann, B.E., and P.L. McCarty. *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. Boston, MA: McGraw-Hill. pp. 720-721. 2001.

Sahur, A. 2015. The Interaction Between Endophytic Actinomycetes and Rhizobium in Leguminous Plants. *Journal of Tropical Crop*. Vol 2 No.3

Sahur, A. 2015. The Interaction Between Endophytic Actinomycetes and Rhizobium in Leguminous Plants. *Journal of Tropical Crop*. Vol 2 No.3

- Sahur, A. Dermawan, R. and Hendrik, S. 2020. *The application of biopriming using trichoderma and Streptomyces spp. on the*
- Sahur, A. Dermawan, R. and Hendrik, S. 2020. The application of biopriming using trichoderma and Streptomyces spp. on the germination stage of soybean. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 575 012122.
- Sandra, E. 2011. Hormon dan Pertumbuhan Tanaman. Online: http://eshafloa.blogspot.com/hormon_dan_pertumbuhan_tanama
- Sandra, E. 2011. Hormon dan Pertumbuhan Tanaman. Online: http://eshafloa.blogspot.com/hormon_dan_pertumbuhan_tanaman
Diakses 14 Januari 2015
- Sci.* 575 012122.
- Sugiarta, Eka. 2012. Benih Perkebunan “Varietas Unggul Tebu”. Diakses dari <https://www.benihperkebunan.com/indeks.php/benih-unggul/52-varietas-unggul-tebu>
- Sugiarta, Eka. 2012. Benih Perkebunan “Varietas Unggul Tebu”. Diakses dari <https://www.benihperkebunan.com/indeks.php/benih-unggul/52-varietas-unggul-tebu>
- Systems Biology of Plant-Microbiome Interactions - ScienceDirect. (n.d).<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674205219301716> (PDF) Microbial Production of Plant Hormones -Research Gate. (n.d). https://www.researchgate.net/publication/226822307_Microbial_Production_of_Plant_Hormones
- T. Fatima, S. Sharma, A. Bano, D. Srivastava, I. Verma and P. Singh. “Microbial Endophytes: A Hidden Plant Resident, Application and Their Role in Abiotic Stress Management in Plants”. Sep. 2022.

- T. Fatima, S. Sharma, A. Bano, D. Srivastava, I. Verma and P. Singh. "Microbial Endophytes: A Hidden Plant Resident, Application and Their Role in Abiotic Stress Management in Plants". Sep. 2022.
- T. Kuhl-Nagel et al.. "Novel *Pseudomonas* sp. SCA7 Promotes Plant Growth in Two Plant Families and Induces Systemic Resistance in *Arabidopsis thaliana*". Jun. 2022.
- T. Kuhl-Nagel et al.. "Novel *Pseudomonas* sp. SCA7 Promotes Plant Growth in Two Plant Families and Induces Systemic Resistance in *Arabidopsis thaliana*". Jun. 2022.
- Tando, E. 2017. Peningkatan Produktivitas Tebu (*Saccharum Officinarum* L.) pada Lahan Kering Melalui Pemanfaatan Bahan Organik dan Bahan Pelembab Tanah Sintesis. Biotropika. *Journal of Tropical Biology*. Vol. 5(3): 90–96
- Tando, E. 2017. Peningkatan Produktivitas Tebu (*Saccharum Officinarum* L.) pada Lahan Kering Melalui Pemanfaatan Bahan Organik dan Bahan Pelembab Tanah Sintesis. Biotropika. *Journal of Tropical Biology*. Vol. 5(3): 90–96.
- The Coevolution of Plants and Microbes Underpins Sustainable Agriculture. (n.d). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34065848/>
- Turner A. P. F. (ed.). *Biosensors: Fundamentals and Applications*. Oxford University Press. Oxford. 1987.
- Turner A. P. F. (ed.). *Biosensors: Fundamentals and Applications*. Oxford University Press. Oxford. 1987.
- Ulfa, F. 2014. Peran Senyawa Bioaktif Tanaman Sebagai Zat Pengatur Tumbuh Dalam Memacu Produksi Umbi Mini Kentang *Solanum tuberosum* L Pada Sistem Budidaya Aeroponik. Disertasi Program Studi Ilmu Pertanian Pasca Sarjana. Universitas Hasanuddin. Makassar

- Ulfa, F. 2014. *Peran Senyawa Bioaktif Tanaman Sebagai Zat Pengatur Tumbuh Dalam Memaacu Produksi Umbi Mini Kentang Solanum tuberosum L Pada Sistem Budidaya Aeroponik*. Disertasi Program Studi Ilmu Pertanian Pasca Sarjana. Universitas Hasanuddin. Makassar
Universitas Riau. Vol 2 (1) Februari 2015.
- Upreti, K.K. dan M. Sharma, M. (2016) Role of Plant Growth Regulators in Abiotic Stress Tolerance. In: Rao, N.S. *et al.* (eds.) *Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops*. India, pp.19–46. doi:10.1007/978- 81-322-2725-0.
- Upreti, K.K. dan M. Sharma, M. (2016) Role of Plant Growth Regulators in Abiotic Stress Tolerance. In: Rao, N.S. *et al.* (eds.) *Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops*. India, pp.19–46. doi:10.1007/978- 81-322-2725-0.
- Wahyuningrum, S. A., Bahar, M dan Pramono, A. P. 2021. Uji Daya Hambat Isolat Actinomycetes sebagai Antibakteri terhadap Pertumbuhan *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 secara In Vitro. *Jurnal Kesehatan Andalas*. Vol. 10 (1): 21-29.
- Wahyuningrum, S. A., Bahar, M dan Pramono, A. P. 2021. Uji Daya Hambat Isolat Actinomycetes sebagai Antibakteri terhadap Pertumbuhan *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 secara In Vitro. *Jurnal Kesehatan Andalas*. Vol. 10 (1): 21-29.
- Walker P.M.B. (ed.) *Chambers Science and Technology Dictionary*. Chambers, Edinburgh. 1992.
- Walker P.M.B. (ed.) *Chambers Science and Technology Dictionary*. Chambers, Edinburgh. 1992.
- Walker P.M.B. (ed.) *Chambers Science and Technology Dictionary*. Chambers, Edinburgh. 1992.
- Widawati, S., Arif N. dan I Made S. 2008. Aktivitas Pelarutan Fosfat oleh *Actinomycetes* yang Diisolasi dari Waigeo, Kepulauan

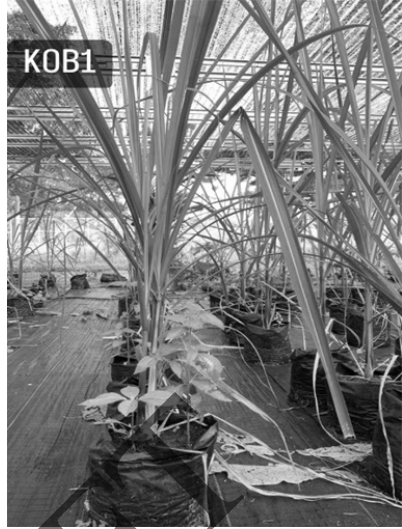
- Raja Ampat, Papua Barat. *Jurnal Biodiversitas*, vol. 9 No.2. Hal. 87-90.
- Widawati, S., Arif N. dan I Made S. 2008. Aktivitas Pelarutan Fosfat oleh *Actinomyces* yang Diisolasi dari Waigeo, Kepulauan Raja Ampat, Papua Barat. *Jurnal Biodiversitas*, vol. 9 No.2. Hal. 87-90.
- Yasmin, S., Tatik W., dan Koesriharti. 2014. Pengaruh Perbedaan Waktu Aplikasi dan Konsentrasi Giberelin (GA3) Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Cabai Besar (*Capsicum annum* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*, 2 (5) : 395-403.
- Yulipriyanto H. 2010. Biologi Tanah dan Strategi pengelolaannya. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Yasmin, S., Tatik W., dan Koesriharti. 2014. Pengaruh Perbedaan Waktu Aplikasi dan Konsentrasi Giberelin (GA3) Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Cabai Besar (*Capsicum annum* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*, 2 (5) : 395-403.
- Yulipriyanto H. 2010. Biologi Tanah dan Strategi pengelolaannya. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Yulianingtyas, A. P., Sebayang, H. T dan Tyasmoro, S. Y. 2013. Pengaruh Komposisi Media Tanam dan Ukuran Bibit pada Pertumbuhan Pembibitan Tebu (*Saccharum officinarum* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*. Vol. 3(3): 362-369.
- Yulianingtyas, A. P., Sebayang, H. T dan Tyasmoro, S. Y. 2013. Pengaruh Komposisi Media Tanam dan Ukuran Bibit pada Pertumbuhan Pembibitan Tebu (*Saccharum officinarum* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*. Vol. 3(3): 362-369.
- Zumaroh, F. R., Abidin, Z dan Pitaloka, D. 2022. Pengaruh Pemberian Zpt Atonik dan Ekstrak Tauge Terhadap Pembibitan Bud set tebu (*Saccharum officinarum* L.) Varietas Bululawang. *Jurnal IlmuPertanian*. Vol. 1(2): 70-77.

Zumaroh, F. R., Abidin, Z dan Pitaloka, D. 2022. Pengaruh Pemberian Zpt Atonik dan Ekstrak Tauge Terhadap Pembibitan Bud set tebu(*Saccharum officinarum* L.) Varietas Bululawang. *Jurnal IlmuPertanian*. Vol. 1(2): 70-77.

DRAFT



K0B0



K0B1

(a1)

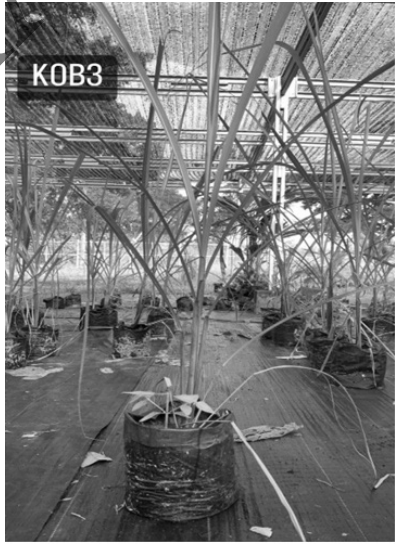
k0b0: Kontrol

k0b1: 10^4 CFU

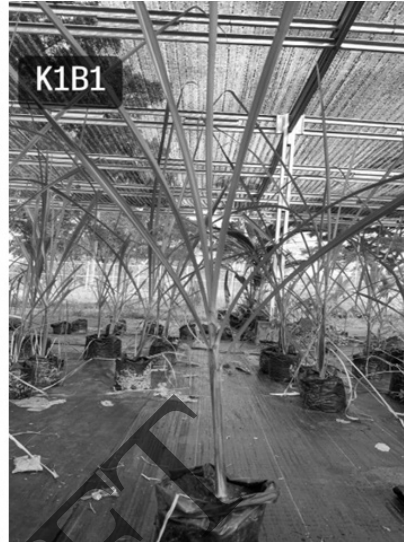
actinomyces + 5 gr mikoriza



K0B2

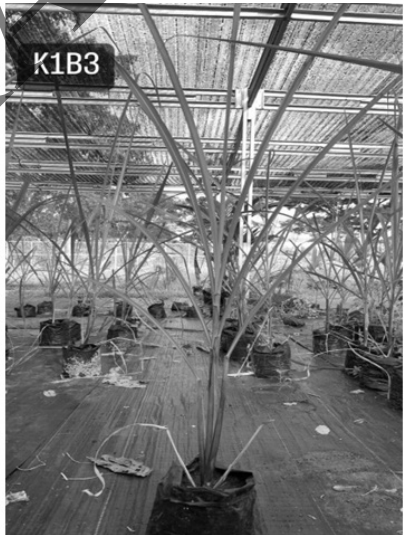


K0B3



k1b0 : 20 ml/L air +Kontrol

k1b1 : 20 ml/L air + 10^4 CFU *actinomycetes* + 5 gr mikoriza



K1b2 : 20 ml/L air + 10^5 CFU *actinomycetes* + 10 gr mikoriza

K1b3 : 20 ml/L air + 10^6 CFU *actinomycetes* + 15 gr mikoriza



K2B0



K2B1

K2b0 : 30 ml/L air + kontrol

K2b1 : 30 ml/L air + 10^4 CFU *actinomycetes* + 5 gr mikoriza



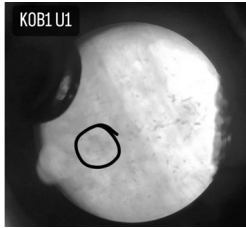
K2B2



K2B3

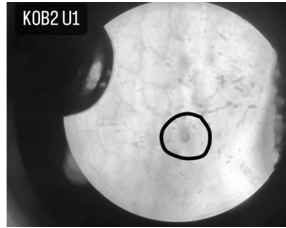
k2b2 : 30 ml/L air + 10^5 CFU *actinomycetes* + 10 gr mikoriza

k2b3 : 30 ml/L air + 10^6 CFU *actinomycetes* + 15 gr mikoriza



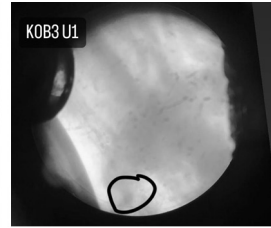
(a1)

k0b1 :
Kontrol +
 10^4 CFU
actinomyces +
5 gr mikoriza



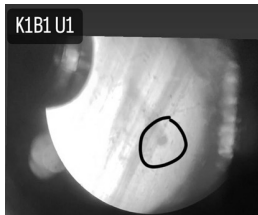
(a2)

k0b2 :
Kontrol + 10^5 CFU
actinomyces +
10 gr mikoriza



(a3)

k0b3 :
Kontrol + 10^6 CFU
actinomyces +
15 gr mikoriza



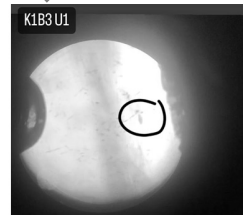
(a4)

k1b1 :
20 ml/L air +
 10^4 CFU
actinomyces +
5 gr mikoriza



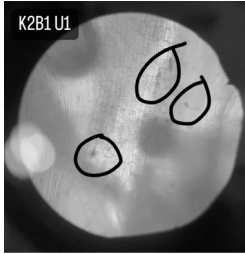
(a5)

k1b2 :
20 ml/L air +
 10^5 CFU
actinomyces +
10 gr mikoriza



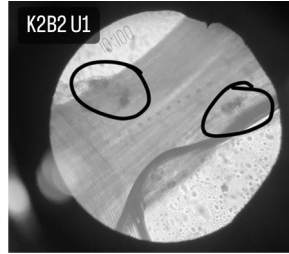
(a6)

k1b3 :
20 ml/L air +
 10^6 CFU
actinomyces +
15 gr mikoriza



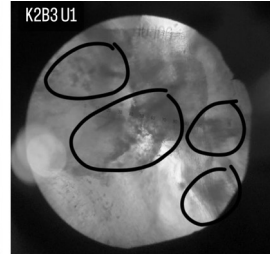
(a7)

k2b1 :
30 ml/L air +
 10^4 CFU
actinomyces +
5 gr mikoriza



(a8)

k2b2 :
30 ml/L air +
 10^5 CFU
actinomyces +
10 gr mikoriza



(a9)

k2b3 :
30 ml/L air +
 10^6 CFU
actinomyces +
15 gr mikoriza



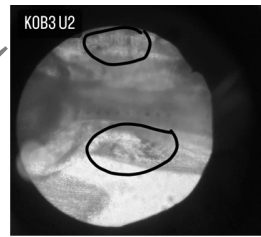
(b1)

k0b1 :
Kontrol +
 10^4 CFU
actinomyces +
5 gr mikoriza



(b2)

k0b2 :
Kontrol +
 10^5 CFU
actinomyces +
10 gr mikoriza



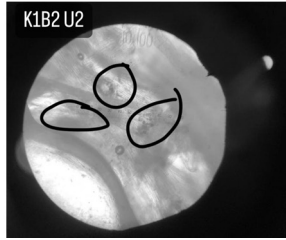
(b3)

k0b3 :
Kontrol + 10^6 CFU
actinomyces +
15 gr mikoriza



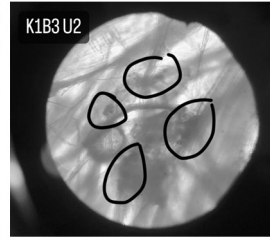
(b4)

k1b1 :
20 ml/L air +
 10^4 CFU
actinomyces +
5 gr mikoriza



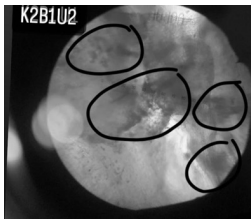
(b5)

k1b2 :
20 ml/L air + 10^5 CFU
actinomyces +
10 gr mikoriza



(b6)

k1b3 :
20 ml/L air +
 10^6 CFU
actinomyces +
15 gr mikoriza



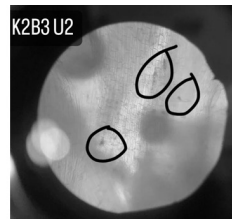
(b7)

k2b1 :
30 ml/L air +
 10^4 CFU
actinomyces +
5 gr mikoriza



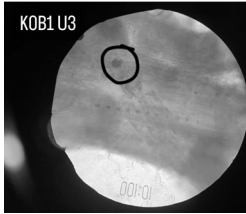
(b8)

k2b2 :
30 ml/L air +
 10^5 CFU
actinomyces +
10 gr mikoriza



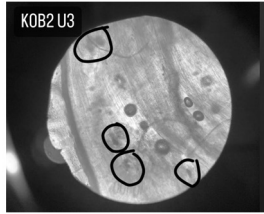
(b9)

k2b3 :
30 ml/L air +
 10^6 CFU
actinomyces +
15 gr mikoriza



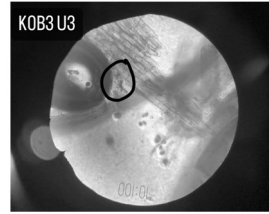
(c1)

k0b1 :
Kontrol +
 10^4 CFU
actinomyces +
5 gr mikoriza



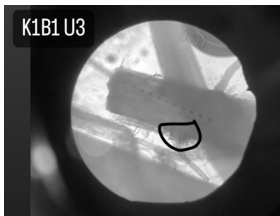
(c2)

k0b2 :
Kontrol + 10^5 CFU
actinomyces +
10 gr mikoriza



(c3)

k0b3 :
Kontrol + 10^6 CFU
actinomyces +
15 gr mikoriza



(c4)

k1b1 :
20 ml/L air +
 10^4 CFU
actinomyces +
5 gr mikoriza



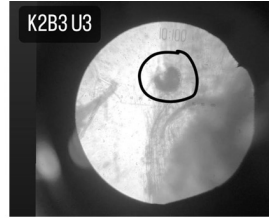
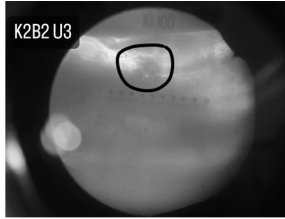
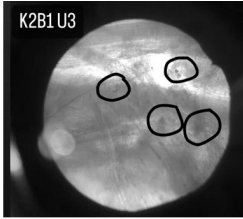
(c5)

k1b2 :
20 ml/L air +
 10^5 CFU
actinomyces +
10 gr mikoriza



(c6)

k1b3 :
20 ml/L air +
 10^6 CFU
actinomyces +
15 gr mikoriza



k2b1 :
30 ml/L air +
 10^4 CFU
actinomycetes +
5 gr mikoriza

k2b2 :
30 ml/L air +
 10^5 CFU
actinomycetes +
10 gr mikoriza

k2b3:
30 ml/L air +
 10^6 CFU
actinomycetes +

DRAFT

TENTANG PENULIS



Dr. Ir. Asmiaty Sahur, MP. lahir di Makassar, pada tanggal 10 oktober 1969 menyelesaikan Pendidikan SMP di SMP NEG X Makassar pada tahun 1984 dan SMA di SMA Negeri 4 Makassar pada tahun 1987. Melanjutkan Pendidikan pada Fakultas Pertanian Jurusan Agronomi (Budidaya Tanaman) Universitas Hasanuddin dan selesai 1992. Menyelesaikan Program Pasca Sarjana (S2), Universitas Hasanuddin tahun 1996 pada program studi 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 utama nya terkait kompetensi bidang ilmu penulis yakni bioteknologi. Artikel yang telah diterbitkan antara lain karya ilmiah diantaranya Efek Inokulasi Actinomycetes pada pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai (*Glycine max Merril L.*) pada tahun 2018, *Effect of seed inoculant with Actinomycetes 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 Tricoderma sp. And Azolla Liquid Organic Fertilizer* pada tahun 2020, *Drought Levels of Several Soybeans Variety (Glycine max L.)* pada tahun 2020, *Growth Response of Pepper (Piper nigrum L.) on Application Arbuscular Mycorrhizal*

fungi (AMF) and The Application Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and The Shallot Filtrate pada tahun 2020, Inovasi Bioteknologi pada tanaman Padi (2023).

DRAFT