



“Z E C C”

(ZERO ENERGY COOL CHAMBER)

**PENYIMPANAN DINGIN YANG MURAH DAN RAMAH LINGKUNGAN
UNTUK MEMPERPANJANG MASA SIMPAN BUAH DAN SAYUR
SETELAH PANEN**

Andi Dirpan

ISBN 978-623-6415-44-3



“Z E C C”
(ZERO ENERGY COOL CHAMBER)

**PENYIMPANAN DINGIN YANG MURAH DAN RAMAH LINGKUNGAN
UNTUK MEMPERPANJANG MASA SIMPAN BUAH DAN SAYUR
SETELAH PANEN**

Andi Dirpan

Penerbit Yayasan Sahabat Alam Rafflesia
ISBN 978-623-6415-44-3

**ZECC (Zero Energy Cool Chamber):
Penyimpanan Dingin yang Murah dan Ramah
Lingkungan untuk Memperpanjang Masa Simpan Buah
dan Sayur Setelah Panen**

Penulis:

Andi Dirpan

ISBN:

978-623-6415-44-3

Desain Sampul:

Andi Dirpan

Hak Cipta © 2021, pada penulis
Hak publikasi pada
Penerbit Yayasan Sahabat Alam Rafflesia.

Dilarang memperbanyak, memperbanyak sebagian atau
seluruh isi dari buku ini dalam bentuk apapun, tanpa izin
tertulis dari penerbit.

Cetakan ke- 01 Tahun 2021

Cetakan ke- 02 Tahun 2022

Penerbit:

Yayasan Sahabat Alam Rafflesia

Anggota IKAPI No. 002/ Anggota Luar Biasa/BENGGULU/2019

Bengkulu - Yogyakarta

Kontak: +62 852 33833 290

Email: salamrafflesia@gmail.com

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat-Nya yang telah tercurah, sehingga penulis dapat menyelesaikan Buku **“ZECC” Penyimpanan Dingin yang Murah dan Ramah Lingkungan untuk Memperpanjang Masa Simpan Buah dan Sayur Setelah Panen** ini dengan harapan buku ini dapat membantu pembaca khususnya mahasiswa dalam mengetahui bagaimana cara penyimpanan dan mempertahankan kesegaran beberapa produk hasil pertanian tanpa menggunakan energi listrik.

Terselesainya buku ini tentu bukan dari usaha penulis seorang. Dukungan moral dan material dari berbagai pihak sangatlah membantu tersusunnya buku ini. Untuk itu, penulis ucapkan terima kasih kepada keluarga, sahabat, rekan-rekan, dan pihak-pihak lainnya yang membantu secara moral dan material sehingga tersusunnya buku ini.

Buku yang tersusun sekian lama ini tentu masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun sangat diperlukan agar buku ini bisa lebih baik nantinya

Makassar, 20 Agustus 2021

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	x
BAB I PASCA PANEN	1
1.1 Fisiologi Pasca Panen.....	1
1.2 Buah dan Sayur	23
1.3 Penanganan Pasca Panen	27
1.4 Teknologi Penanganan Buah dan Sayur Lepas Panen	34
1.5 Penyimpanan Buah dan Sayur	35
1.6 Komposisi Kimia dan Nilai Gizi Buah dan Sayur.....	40
1.7 Kerusakan Buah dan Sayur	46
BAB II TEKNIK PENDINGINAN BUAH	49
DAN SAYUR	49
2.1 Teknik Pendinginan	49
2.2 Sejarah Pendinginan.....	50
2.3 Penyimpanan Suhu Dingin	55
2.4 Istilah-istilah Teknik pendinginan	56
BAB III SISTEM ZERO ENERGY COOL CHAMBER (ZECC)	59
3.1 Pengertian Zero Energy Cool Chamber (ZECC).....	59
3.2 Sejarah Singkat ZECC.....	61
3.3 Prinsip kerja ZECC.....	46
3.4 Proses Pembuatan ZECC.....	68
3.5 Komponen penyusun ZECC.....	72
BAB IV APLIKASI ZECC PADA BEBERAPA BUAH DAN SAYUR	77
4.1 Terung (<i>Solanum melongena</i> , L.)	77
4.2 Tomat	89
4.3 Mangga	107
REFERENSI	121
BIODATA.....	129

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur klorofil a, b, bakteriklorofil a dan karotenoid	3
Gambar 2. Proses reaksi fotosintesis yang terjadi pada tumbuhan.....	4
Gambar 3. Proses reaksi gelap atau siklus kelvin	5
Gambar 4. Proses degradasi sukrosa, lemak dan protein	8
Gambar 5. Fosforilasi glukosa menjadi glukosa-6-fosfat	9
Gambar 6. Isomerisasi glucose-6-P (aldosa) menjadi fructose-6-P (ketose)	10
Gambar 7. Pembentukan fruktosa-1,6-bifosfat	10
Gambar 8. Reaksi pemutusan fruktosa-1,6-bifosfat menjadi 2 triosafosfat	11
Gambar 9. Isomerisasi triosafosfat.....	11
Gambar 10. Oksidasi gliseraldehid-3-fosfat	12
Gambar 11. Adisi gugus fosfat pada oksidasi gliseraldehid-3-fosfat	12
Gambar 12. Transfer fosfat untuk membentuk ATP	13
Gambar 13. Reaksi perpindahan gugus fosfat pada 3-fosfoglisarat.....	13
Gambar 14. Pembentukan fosfoenolpiruvat	14
Gambar 15. Pembentukan ATP akhir	14
Gambar 16. Tahapan glikolisis	15
Gambar 17. Siklus krebs	16
Gambar 18. Pembentukan sitrat	17
Gambar 19. Pembentukan isositrat.....	17
Gambar 20. Pembentukan Oksalosusinat	18
Gambar 21. a- ketoglutarat menjadi suksinil ko-A	18
Gambar 22. suksinil-KoA menjadi suksinat.....	19
Gambar 23. Suksinat menjadi fumarat	19
Gambar 24. Malat menjadi oksaloasetat	20
Gambar 25. Diagram schematic.....	65
Gambar 26. Jenis-jenis ZECC.....	68
Gambar 27. Kenampakan ZECC	68
Gambar 28. Lubang tempat ZECC.....	69
Gambar 29. Penataan batu bata sebagai dinding ZECC	69
Gambar 30. Penampakan dinding ZECC bagian dalam dan luar.....	69

Gambar 31. Penambahan pasir	70
Gambar 32. ZECC dengan atap daun nipa.....	70
Gambar 33. Penambahan air pada ZECC	70
Gambar 34. Penutup ZECC	71
Gambar 35. Preparasi buah dan sayur.....	71
Gambar 36. Penyimpanan buah pada ZECC.....	72
Gambar 37. ZECC sebagai penyimpanan dingin tanpa menggunakan energi listrik	72
Gambar 38. Pictorial (atas) dan penampang lintang (bawah) dari ZECC.....	73
Gambar 39. ZECC dengan dua sistem pendingin yang ramah lingkungan	74
Gambar 40. Pendinginan isosteric adsorben	75
Gambar 41. Kolektor surya dengan model flat datar.....	75
Gambar 42. Terung	77
Gambar 43. Terung Telunjuk.....	84
Gambar 44. Terung Belanda	84
Gambar 45. Terung kopek ungu biasa	85
Gambar 46. Terung kopek ungu	85
Gambar 47. Terung Belanda	85
Gambar 48. Terung kopek ungu biasa	86
Gambar 49. Terung kopek ungu	86
Gambar 50. Terung lala.....	87
Gambar 51. Penyimpanan Terung	88
Gambar 52. Tomat	89
Gambar 53. Tanaman tomat.....	90
Gambar 54. Struktur molekul asam-asam organik pada buah tomat..	95
Gambar 55. Tomat Pulm	97
Gambar 56. Tomat Beef	97
Gambar 57. Tomat ceri	98
Gambar 58. Tomat Hijau	98
Gambar 59. Tomat Pir.....	99
Gambar 60. Tomat Anggur.....	99
Gambar 61. Visualisasi tomat	104
Gambar 62. Visualisasi tomat berdasarkan berbagai jenis penyimpanan	104
Gambar 63. Penyimpanan menggunakan ZECC dari hari ke-0 hingga hari ke- 20	106

Gambar 64. Penyimpanan tomat menggunakan penyimpanan suhu dingin dari hari ke-0 hingga hari ke -20.....	106
Gambar 65. Penyimpanan tomat menggunakan penyimpanan suhu ruang dari hari ke-0 hingga hari ke-20.....	107
Gambar 66. Buah mangga	107
Gambar 67. Jenis- jenis buah mangga	111
Gambar 68. Jenis- jenis buah mangga	112
Gambar 69. ZECC (A), Suhu Dingin (B), dan Suhu Ruang (C) Hari ke 14.....	117
Gambar 70. Penyimpanan buah mangga pada ZECC.....	120
Gambar 71. Penyimpanan buah mangga pada suhu dingin.....	120
Gambar 72. Penyimpanan buah mangga pada suhu ruang	120

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penyimpanan hasil fotosintesis dari berbagai tanaman	3
Tabel 2. Laju respirasi beberapa hasil pertanian berdasarkan suhu penyimpanannya.	8
Tabel 3. Potensial reduksi bebas pada reaksi redoks	21
Tabel 4. Klasifikasi beberapa buah-buahan sesuai dengan peroses respirasi.	21
Tabel 5. Kandungan gula pada beberapa jenis buah dan sayur	41
Tabel 6. vitamin, sumber dan struktur kimianya	42
Tabel 7. Varietas terung dan karakteristiknya	81
Tabel 8. Komposisi gizi terung.....	87
Tabel 9. Kandungan Nutrisi Buah Tomat.....	93
Tabel 10. Jenis-jenis buah mangga	108
Tabel 11. Jenis dan kutivar mangga beserta sifatnya	112



BAB 1 PASCA PANEN

1.1 Fisiologi Pasca Panen

Setiap bahan pangan hasil pertanian melakukan proses metabolisme baik sebelum ataupun setelah panen hingga mencapai tahap matang optimal yang diawali dengan proses pembelahan sel, pembesaran sel, pendewasaan sel (*maturation*), pematangan (*ripening*), kelayuan (*senescence*) dan pembusukan (*deterioration*). Proses pembelahan sel berlangsung setelah terjadinya pembuahan, kemudian diikuti dengan pembesaran atau pengembangan sel hingga mencapai volume maksimum, untuk mencapai tahapan tersebut diperlukan suatu energi yang diperoleh dari proses fotosintesis, respirasi dan fermentasi (Hayati, Syamsuddin, & Halimursyadah, 2015).

Proses kelayuan pada tanaman dapat berlangsung setiap saat selama pembentukan buah atau setelah panen yang ditandai dengan adanya perubahan warna daun menjadi kekuningan.

1.1.1 Fotosintesis

Fotosintesis merupakan proses biokimia yang terjadi pada tumbuhan yang mengandung klorofil atau zat hijau daun. Proses fotosintesis menggunakan CO_2 dan H_2O sebagai substrat dalam pembentukan senyawa organik (karbohidrat) dengan bantuan cahaya matahari dan pigmen klorofil. Cahaya matahari dan klorofil membantu proses pengadaan energi dalam tanaman yang digunakan untuk sintesa makromolekul di dalam sel. Hasil reaksi sampingan yang terjadi berupa molekul O_2 yang merupakan sumber oksigen.

Proses fotosintesis terjadi di jaringan mesofil daun. Jaringan mesofil merupakan jaringan yang memiliki sel-sel kloroplas yang banyak serta mengandung pigmen hijau atau klorofil. Menurut (Nurwahyuni, Elimasni, Rahayu, Sofyan, & Sinaga, 2016), klorofil terdiri dari klorofil a dan b. Berdasarkan struktur kimianya, kedua klorofil ini banyak ditemukan di tanaman hijau. Pigmen yang terdapat pada beberapa bakteri tertentu disebut bakterioklorofil, sedangkan pigmen yang ditemukan pada organisme fotosintetik disebut karotenoid (Nurwahyuni et al., 2016).

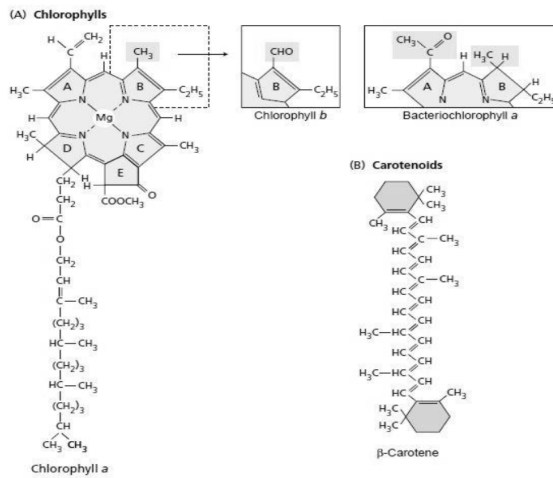
Tanaman klorofil atau jasad renik tertentu, misalnya, ganggang biru atau hijau dapat menggunakan cahaya matahari untuk menaikkan tingkat energi dari elektron-elektron yang dihasilkan dari oksidasi air dalam proses fotosintesis. Energi yang dihasilkan tersebut kemudian digunakan untuk keperluan biologis atau dapat digunakan dalam sintesa makromolekul dalam sel (Hayati et al., 2015).

Karbohidrat yang dihasilkan dari proses fotosintesis akan dirombak untuk menghasilkan energi, membentuk bagian tubuh seperti bunga, buah, dan biji, serta digunakan untuk menyusun zat-zat tertentu. Berikut ini adalah tabel penyimpanan fotosintesis dari berbagai jenis tumbuhan.

Tabel 1. Penyimpanan hasil fotosintesis dari berbagai tanaman

No	Tumbuhan	Jaringan penimbunan utama
1	Ketela rambat	Akar
2	Singkong	Akar
3	Kentang	Umbi kentang
4	Tebu	Batang
5	Gandum	Umbi
6	Entong-entongan	batang (menggantung pada batang)
7	Katibung	Umbi akar
8	Bengkoang	Umbi akar
9	Dahlia	Biji padi
10	Tanaman biji-bijian	Buah dan biji

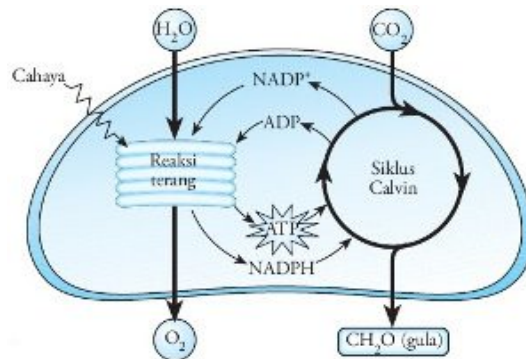
Sumber : (Utomo, 2008)



Gambar 1. Struktur kimia a, b, bakteriochlorophyll a dan karotenoid (Nurwahyuni et al., 2016)

Proses fotosintesis terbagi atas reaksi terang dan reaksi gelap. Reaksi terang terjadi di membran tikoid sedangkan reaksi gelap terjadi di stomata. Pada reaksi terang akan terjadi proses pemecahan molekul air dengan bantuan cahaya matahari menjadi H^+ dan O_2 , kemudian menghasilkan O_2 , NADPH dan

ATP yang selanjutnya di gunakan oleh reaksi gelap untuk membentuk karbohidrat dari CO₂.



Gambar 2. Proses reaksi fotosintesis yang terjadi pada tumbuhan

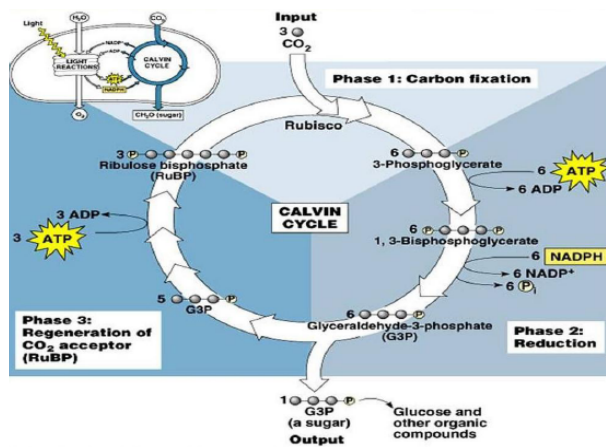
(Alim, 2017)

Reaksi Terang

Reaksi terang merupakan salah satu proses respirasi menggunakan cahaya matahari yang terjadi di dalam garana. Proses fotosintesis pada reaksi terang memanfaatkan cahaya matahari secara langsung. Cahaya matahari akan dikonversi terlebih dahulu menjadi molekul-molekul energi kimia yang terbentuk melalui aktivitas pigmen daun (klorofil). Reaksi terang klorofil-a akan dibentuk oleh cahaya matahari dengan tujuan membangkitkan elektron agar menjadi energi dengan tingkatan yang lebih tinggi. Selanjutnya dua pusat reaksi pada pigmen klorofil bekerja secara berantai mentransfer elektron. Elektron tersebut diperoleh dengan memecah H₂O sehingga terjadi pelepasan O₂. Kemudian, O₂ akan mengonversi energi menjadi bentuk ATP dan NADP (Utomo, 2008).

Reaksi gelap

Reaksi gelap merupakan proses respirasi yang tidak membutuhkan cahaya matahari. Reaksi gelap berlangsung di dalam stomata kloroplas ketika produk dari reaksi terang digunakan untuk membentuk ikatan kovalen C-C dari karbohidrat. Pada proses ini, CO_2 atmosfer ditangkap dan dimodifikasi oleh penambahan hidrogen menjadi bentuk karbohidrat. reaksi terang ini hanya akan terjadi dalam gelap apabila energi *carrier* dari proses terang tersedia (Utomo, 2008). Reaksi gelap dikenal juga dengan istilah siklus kelvin yang menggunakan CO_2 dan ATP untuk membentuk karbohidrat (Alim, 2017).

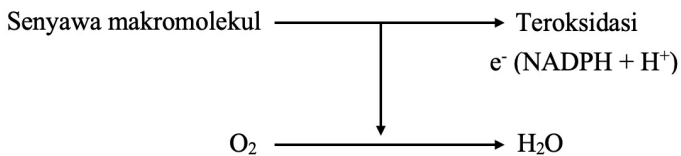


Gambar 3. Proses reaksi gelap atau siklus kelvin (Alim, 2017)

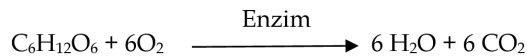
1.1.2 Proses Respirasi

Respirasi merupakan proses metabolisme yang memanfaatkan oksigen untuk memecah senyawa makromolekul seperti karbohidrat, protein, dan lemak yang akan menghasilkan CO_2 , H_2O , dan sejumlah besar elektron-elektron. Senyawa makromolekul dioksidasi dengan

membentuk NADH (*Nicotinamida Adenin Dinucleotida*) dan ion H⁺. Kemudian, melalui *flavoprotein* dan sistem *cytochrom* dihasilkan elektron yang akan mereduksi oksigen dan diperoleh H₂O. Selama reaksi tersebut berlangsung akan dihasilkan energi dalam bentuk ATP (*Adenosin Tri fosfat*) sebesar 38 mol ATP/mol glukosa. Berikut adalah gambaran pembentukan sistem respirasi pada senyawa makromolekul (Hayati et al., 2015).



Apabila senyawa makromolekul berupa glukosa, maka reaksinya adalah sebagai berikut:



Beberapa senyawa penting yang dapat digunakan dalam pengukuran proses respirasi yaitu glukosa, ATP, CO₂ dan O₂. Oleh karena itu, pengukuran proses respirasi dapat dilakukan dengan cara mengukur perubahan kandungan gula, jumlah ATP, jumlah CO₂ yang dihasilkan dan jumlah O₂ yang digunakan.

Perubahan kandungan gula

Keaktifan proses respirasi dapat diukur melalui perubahan kandungan gula dalam bahan pangan. Akan tetapi, proses glikolisis yang menghasilkan degradasi karbohidrat bersamaan dengan degradasi gula menyebabkan jumlah gula dalam bahan masih belum tetap.

Kandungan ATP

Kandungan ATP yang dihasilkan selama proses metabolisme secara teoritis dapat diukur menggunakan spektrofotometer.

Produksi CO₂ dan Penyerapan O₂

Pengukuran Jumlah produksi CO₂ dapat diketahui jika proses respirasi cukup besar. Proses respirasi pada tanaman dapat terjadi secara aerobik atau anaerobik. Respirasi secara aerobik merupakan proses respirasi menggunakan senyawa penerima elektron bukan oksigen, tetapi menggunakan senyawa yang terdapat di dalam bahan itu sendiri yang dikenal sebagai proses fermentasi. Oleh karena itu, pengukuran proses respirasi dengan mengukur jumlah CO₂ yang dihasilkan tidak dapat diketahui apakah proses respirasi itu bersifat aerobik atau anaerobik.

Pengukuran dengan menentukan jumlah oksigen dapat dilakukan dengan memanfaatkan alat yang memiliki tingkat kepekaan yang lebih tinggi seperti kromatografi. Pengukuran laju respirasi memerlukan sampel gas hasil respirasi yang dapat diperoleh dari jaringan dalam (internal) atau dari jaringan luar (eksternal)

Rumus yang dapat digunakan untuk mengukur proses respirasi adalah sebagai berikut:

$$RQ = \frac{\text{Volume CO}_2 \text{ yang diproduksi}}{\text{Volume O}_2 \text{ yang diserap}}$$

RQ = Respiratory quotient

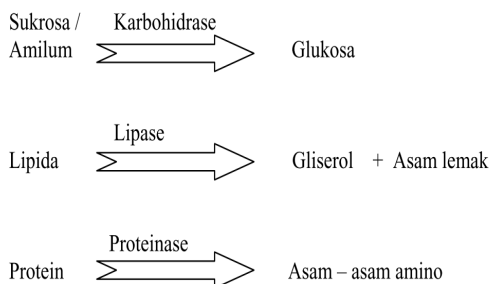
Berikut ini adalah laju respirasi pada berbagai hasil pertanian dengan berbagai suhu.

Tabel 2. Laju respirasi beberapa hasil pertanian berdasarkan suhu penyimpanannya.

Komoditas	Laju respirasi			
	0 °C	4-5 °C	10 °C	15-16 °C
Apel	3-6	5-11	14-20	18-31
Asparagus	27-80	55-136	90-304	160-327
Brokoli	19-21	32-37	75-87	161-186
Kubis	4-6	9-12	17-19	20-32
Wortel	10-20	13-26	20-42	26-54
Kembang kol	16-19	19-22	32-36	30-37
Jagung manis	30-51	43-83	104-120	151-175

Sumber : (Aguilar, 1997), (Hasbullah, 2007)

Proses respirasi pada dasarnya adalah proses perombakan glukosa. Akan tetapi, zat makanan yang bukan berupa glukosa seperti sukrosa atau amilum, lemak, dan protein perlu melalui proses degradasi untuk memperoleh energi kimia berupa ATP.



Gambar 4. Proses degradasi sukrosa, lemak dan protein (Suyitno, 2006)

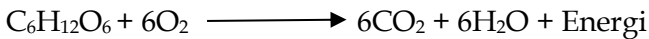
Proses respirasi berlangsung melalui beberapa tahapan seperti glikolisis, siklus krebs, dan transpor elektron.

1.1.3 Glikolisis

Glikolisis merupakan proses pemecahan glukosa menjadi beberapa molekul yang berlangsung di dalam sitosol yang terdapat di dalam sel yang menghasilkan (ATP).

Ringkasan reaksi glikolisis pada lintasan EMP (Embden-Meyerhof-Parnas)

$C_6H_{12}O_6 + 2ATP + 2NAD \longrightarrow 2 \text{ Piruvat} + 4 \text{ ATP} + 2NADH$
 Ringkasan reaksi dari glikolisis, siklus asam sitrat dan fosforilasi oksidatif adalah :

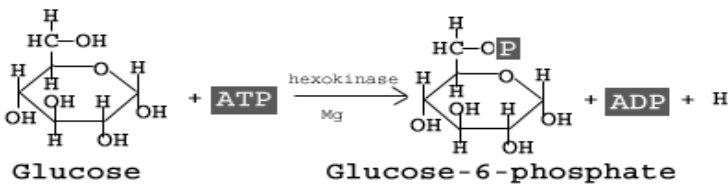


Menurut (Meiyanto, 2009), beberapa tahap pembentukan glikolisis yaitu:

Pembentukan 2 molekul gliseraldehid-3-fosfat dan membutuhkan 2 molekul ATP untuk setiap 1 molekul glukosa.

1. Pembentukan senyawa glukosa 6-fosfat dari glukosa

Glikolisis diawali dengan reaksi pembentukan senyawa glukosa 6-fosfat dari glukosa. Reaksi tersebut merupakan reaksi yang membutuhkan energi yang diambil dari pemutusan ikatan fosfat dari ATP. Reaksi ini dikatalisis oleh enzim heksokinase atau glukokinase.



P = phosphate group

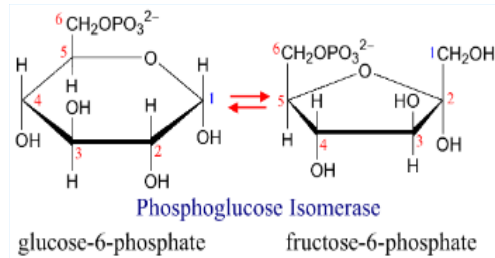


Gambar 5. Fosforilasi glukosa menjadi glukosa-6-fosfat (Karomah, 2015)

2. Isomerasi glukosa 6 -fosfat

Pada proses ini glukosa-6-fosfat menjadi fruktosa-6-fosfat oleh fosfoglukoisomerase yang selanjutnya terjadi Isomerasi

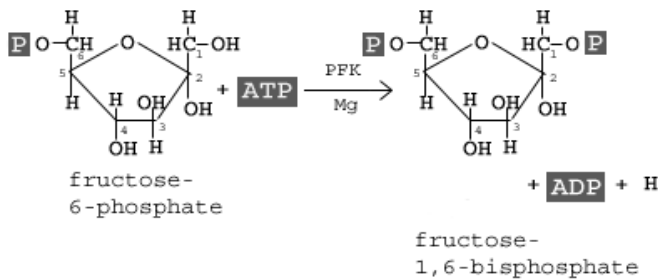
yang mengakibatkan glukosa heksosa menjadi fruktosa pentosa.



Gambar 6. Isomerisasi glucose-6-P (aldosa) menjadi fructose-6-P (ketose) (Meiyanto, 2009)

3. Fosforilasi

Reaksi fosforilasi fruktosa-6-fosfat menjadi fruktosa-1,6-bisfosfat oleh enzim fosfofruktokinase. Reaksi ini berjalan spontan dan merupakan *rate limiting step* pada proses glikolisis. Pada reaksi ini dibutuhkan 1 mol ATP dan di regulasi secara ketat. Fosfofruktokinase dapat dihambat oleh ATP. Reaksi fosforilasi fruktosa-6-fosfat menjadi fruktosa-1,6-bisfosfat oleh enzim fosfofruktokinase.

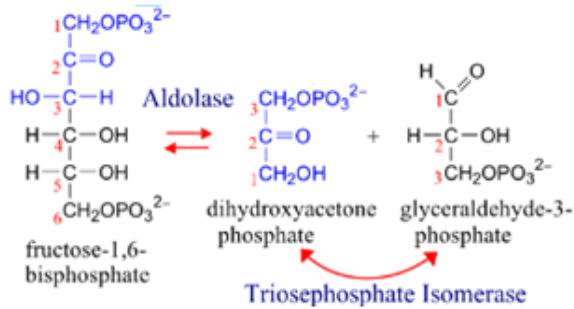


Gambar 7. Pembentukan fruktosa-1,6-bifosfat (Karomah, 2015)

4. Reaksi pemutusan menjadi 2 triosafosfat.

Reaksi ini dikatalisis oleh enzim aldolase dan terjadi pemutusan aldol yang merupakan kebalikan dari reaksi kondensasi aldol membentuk 2 molekul Isomerasi

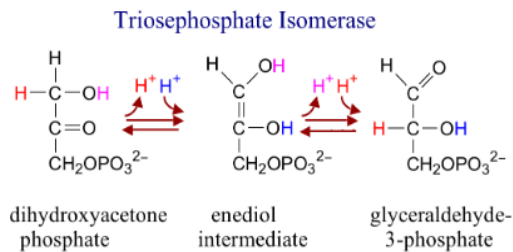
membentuk gliseraldehid 3-fosfat yang selanjutnya mengalami dihidroksiasetonfosfat. Reaksi isomerisasi ini dikatalisis oleh enzim triosefosfat isomerase.



Gambar 8. Reaksi pemutusan fruktosa-1,6-bifosfat menjadi 2 triosafosfat (Meiyanto, 2009)

5. Isomerasi triosafosfat

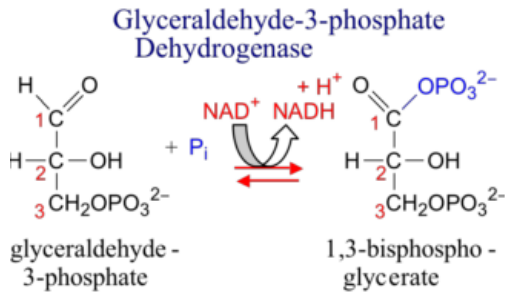
Hanya gliseraldehid-3-fosfat yang akan diteruskan dalam proses glikolisis sehingga dengan adanya reaksi isomerisasi ini memungkinkan proses glikolisis berjalan sempurna.



Gambar 9. Isomerasi triosafosfat (Meiyanto, 2009)

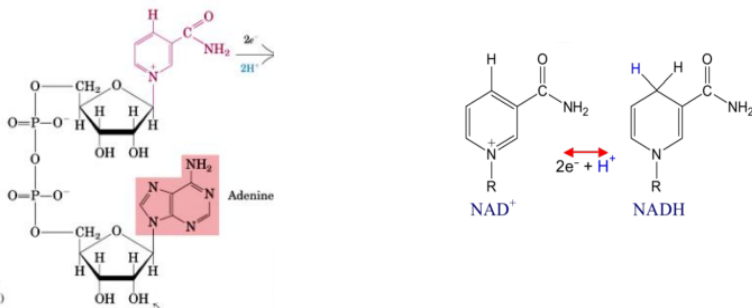
6. Oksidasi gliseraldehid-3-fosfat

Reaksi ini dikatalisis oleh enzim gliseraldehid-3-fosfat dehidrogenasi dengan NAD^+ sebagai koenzimnya.



Gambar 10. Oksidasi gliseraldehid-3-fosfat (Meiyanto, 2009)

Selanjutnya, pada reaksi oksidasi ini terjadi adisi gugus fosfat dan menghasilkan NADH hingga tahapan terbentuknya senyawa yang mengandung energi tinggi.

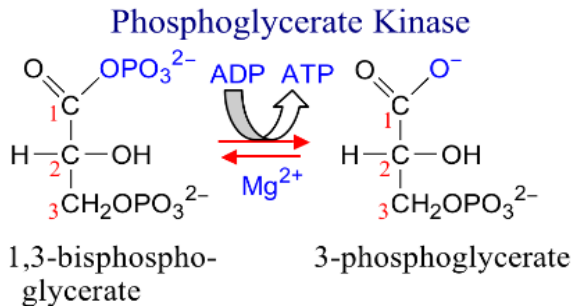


Gambar 11. Adisi gugus fosfat pada oksidasi gliseraldehid-3-fosfat (Meiyanto, 2009)

7. Transfer fosfat untuk membentuk ATP

Senyawa 1.3 bisfosfoglisarat merupakan senyawa berenergi tinggi. Gugus fosfat tersebut ditransfer untuk membentuk ATP yang dikatalisis oleh enzim fosfoglisarat kinase dengan ko-faktor Mg^{2+} . Enzim ini mirip dengan heksokinase yang

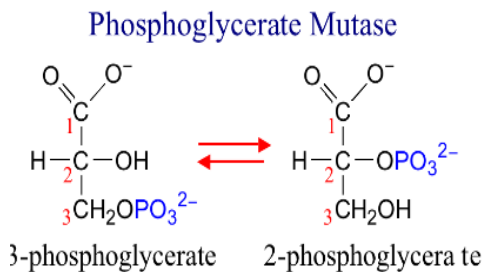
mengalami perubahan konformasi yang diinduksi oleh substrat selain itu. Reaksi ini bersifat reversible.



Gambar 12. Transfer fosfat untuk membentuk ATP (Meiyanto, 2009)

8. Perpindahan posisi gugus fosfat

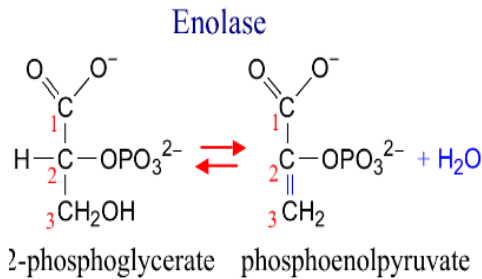
Terjadinya reaksi perpindahan gugus fosfat pada 3-fosfoglisarat yang berada pada posisi C-3 berpindah ke OH posisi C-2 yang dikatalisis oleh enzim fosfoglisarat mutase dari reaksi ini menghasilkan sekitar 2-fosfoglisarat.



Gambar 13. Reaksi perpindahan gugus fosfat pada 3-fosfoglisarat (Meiyanto, 2009)

9. Pembentukan senyawa berenergi tinggi kedua.

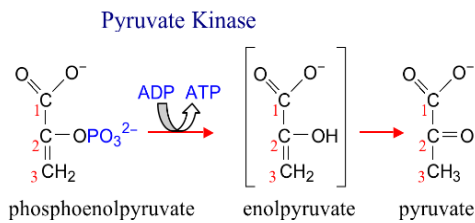
Pembentukan dilakukan dengan dehidrasi yang dikatalisis oleh enzim enolase yang memiliki ko-faktor Mg^{2+} . Reaksi ini dapat dihambat oleh fluorida.



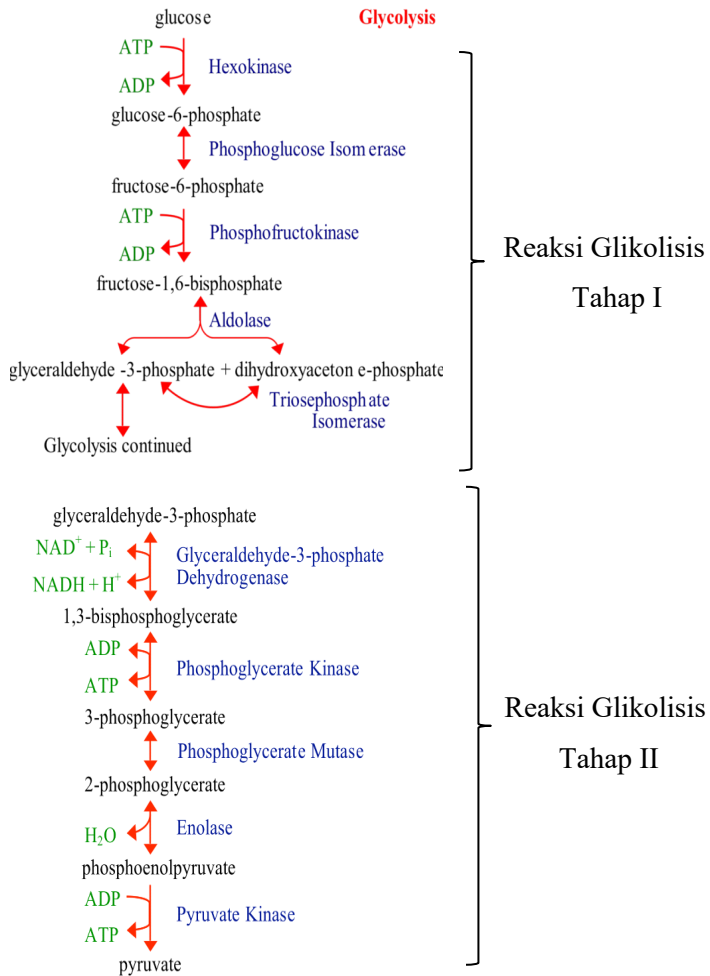
Gambar 14. Pembentukan fosfoenolpiruvat (Meiyanto, 2009)

10. Pembentukan ATP akhir

Reaksi ini berjalan spontan dan terjadi transfer gugus fosfat dari fosfoenolpiruvat ke ADP membentuk ATP. Pelepasan fosfat ion menyebabkan terjadinya ikatan enol yang tidak stabil sehingga akan terkonversi ke bentuk keto dan menjadi piruvat. Reaksi ini dikatalisis oleh enzim piruvat kinase. Enzim ini memerlukan Mg^+ sebagai ko-faktor. Piruvat merupakan hasil akhir glikolisis.



Gambar 15. Pembentukan ATP akhir (Meiyanto, 2009)



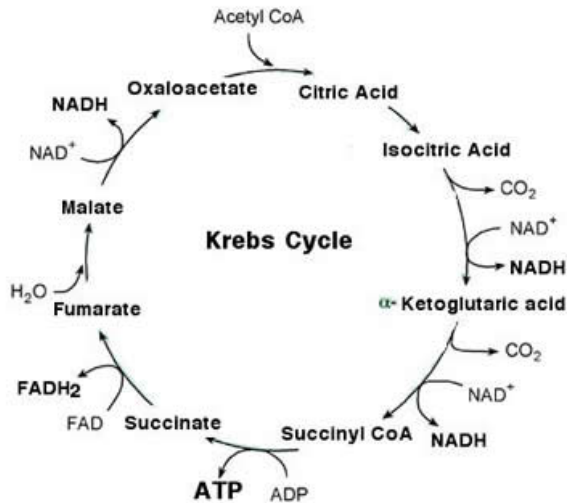
Gambar 16. Tahapan glikolisis (Meiyanto, 2009)

1.1.4 Daur Krebs

Daur Krebs terjadi di mitokondria yang merupakan pusat pembentukan sebagian besar ATP dan akan terjadi jika tersedia

oksigen siklus krebs juga dikenal dengan istilah siklus asam tri karboksilat (TCA). Proses yang terjadi di siklus krebs basa sitrat akan tereduksi pada saat proses siklus krebs berlangsung, sedangkan asam oksaloasetat akan teroksidasi. Degradasi oksidatif yang terjadi akan mereduksi koenzim NAD^+ dan FAD menjadi NADH dan FADH_2 . Dua molekul ko-A menghasilkan 4 ATP, 10 NADH , dan 2 FADH_2 dalam setiap 1 molekul glukosa (Simamora, 2007)

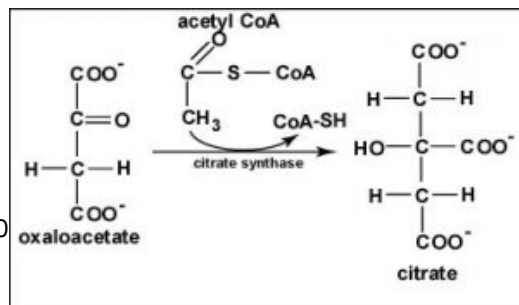
Berikut adalah gambar proses pembentukan siklus krebs



Gambar 17. Siklus krebs (Suyitno, 1972)

Tahapan-tahapan yang berlangsung yaitu :

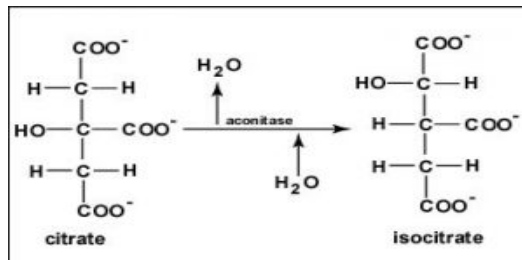
1. Terjadinya proses penggabungan antar molekul ko-A dengan oksaloasetat membentuk asam sitrat dengan bantuan enzim asam sitrat sintase.



Gambar 18. Pembentukan sitrat (Mulyadi, 2015)

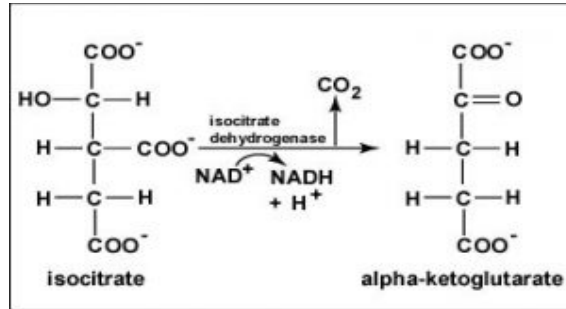
Setelah enzim sitrat sintase melepaskan satu ion H^+ dari molekul CH_3 gugus asetil dari asetil-KoA, molekul CH_2- pada gugus asetil tersebut akan bereaksi dengan asam oksaloasetat membentuk metabolit S-sitratil-KoA. Reaksi hidrolisis yang terjadi selanjutnya pada gugus koenzim-A akan mendorong reaksi hingga menghasilkan tiga jenis produk yaitu asam sitrat, CoA-SH dan H^+

2. Asam sitrat yang terbentuk diubah menjadi isositrat dengan memanfaatkan enzim aconitase.



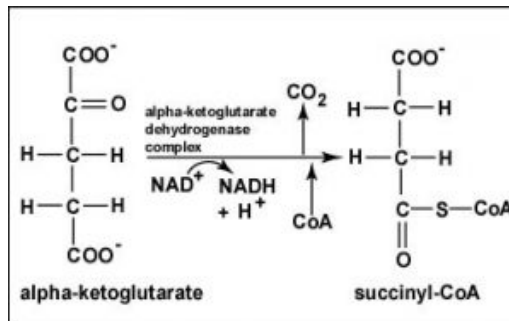
Gambar 19. Pembentukan isositrat (Mulyadi, 2015)

3. Proses perombakan isositrat yang telah terbentuk mengalami oksidasi menjadi oksalosusinat yang terikat enzim oleh enzim isositrat dehidrogenasi



Gambar 20. Pembentukan Oksalosusinat
(Mulyadi, 2015)

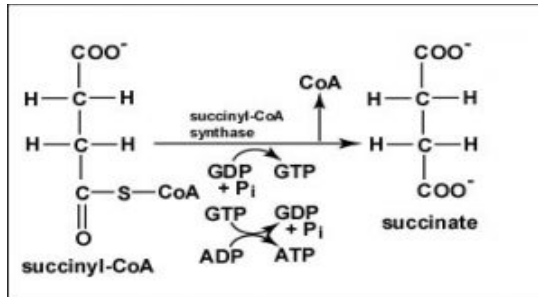
4. Berlangsung proses pengubahan a- ketoglutarat menjadi suksinil ko-A oleh enzim α -ketoglutarat dehidrogenasi kompleks dengan reaksi dekarboksilasi.



Gambar 21. a- ketoglutarat menjadi suksinil ko-A
(Mulyadi, 2015)

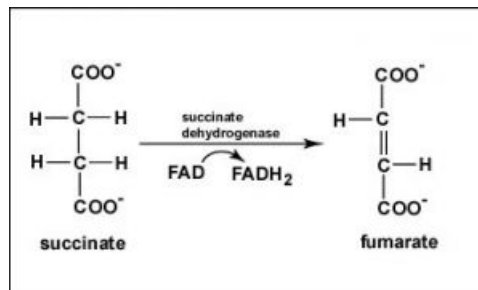
Kompleks dehidrogenase ketoglutarat- α menyerupai kompleks piruvat dehidrogenase yang menjadi enzim pada transformasi asam piruvat menjadi asetil Ko-A bersama dengan koenzim NAD⁺ akan mempercepat oksidasi dan membentuk koenzim baru yaitu suksinil Ko-A yang memiliki ikatan tioester antara koenzim-A dengan gugus suksinil.

5. Konversi suksinil Ko-A menjadi suksinat dengan reaksi fosforilasi substrat dengan penggantian gugus CoA pada suksinat dengan senyawa Pi yang selanjutnya di donorkan ke GDP untuk membentuk GTP. Sedangkan pada bakteri dan tumbuhan, gugus Pi akan mendonorkan ke ADP untuk menghasilkan ATP.



Gambar 22. suksinil-KoA menjadi suksinat
(Mulyadi, 2015)

6. Dehidrogenase suksinat menjadi fumarat dengan reaksi oksidasi

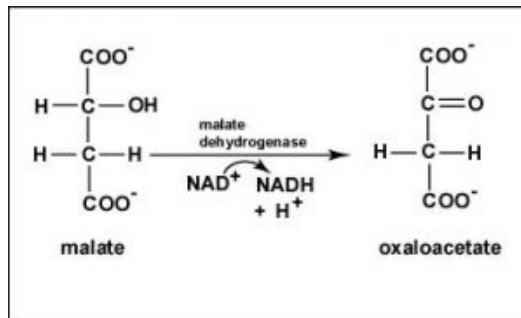


Gambar 23. Suksinat menjadi fumarat
(Mulyadi, 2015)

Koenzim FAD akan menarik dua atom hidrogen dari suksinat dan terjadi pada bagian depan matriks mitokondria dan rantai transpor elektron yang disebut suksinat dehidrogenase yang melintang pada permukaan

mitokondria bagian dalam atau yang dikenal dengan istilah kompleks II,

7. Pengubahan malat oleh enzim malat dehidrogenase membentuk oksaloasetat melalui reaksi oksidasi. Hasil akhir reaksi oksidasi akan mengubah gugus hidroksil menjadi karbonil dan menghasilkan senyawa asam oksaloasetat.



Gambar 24. Malat menjadi oksaloasetat (Mulyadi, 2015)

1.1.5 Transpor Elektron Respirasi

Transpor electron respirasi merupakan rangkaian reaksi redoks. Hasil dari reaksi glikolisis dan siklus krebs yaitu NADH dan FADH₂ akan berperan sebagai reduktor. Menurut (Simamora, 2007), NADH dan FADH₂ mengalami reaksi oksidasi membebaskan dua ion H⁺ yang ekuivalen dengan sepasang elektron. NADH dan FADH₂ bertindak sebagai donor proton bagi molekul protein yang terdapat dalam membran mitokondria. Molekul protein yang menerima elektron NADH dan FADH₂ bertindak sebagai oksidator yang mengoksidasi kedua molekul tersebut. Elektron akan terus berpindah melalui berbagai reaksi redoks yang dimulai dari NADH/Q, Suksimat/Q, QH₂/Sitokrom, dan Sitokrom C/O₂.

Hasil akhir dari rantai transpor elektron adalah molekul O₂. Molekul O₂ ini merupakan molekul yang bersifat paling elektronegatif dengan reaksi akhir H₂O dari O₂ dan H⁺, sehingga dikatakan sebagai rantai pernapasan. Sepanjang rantai transpor elektron menghasilkan sejumlah energi bebas seperti berikut:

Tabel 3. Potensial reduksi bebas pada reaksi redoks

Kompleks	E ⁰ reduktan (V)	E ⁰ Oksidan (V)	ΔE ⁰ reaksi (V)	ΔG ⁰ (Kj mol ⁻¹)
NADH/Q	- 0.32	+0.04	+0.36	-70
Suksinat/Q	+ 0.03	+0.04	+0.01	-2
QH ₂ /sitokrom _c	+0.04	+0.23	+0.19	-37
Sitokrom _c /O ₂	+0.23	+0.82	+0.59	-110

Sumber : (Simamora, 2007)

Tabel 4. Klasifikasi beberapa buah-buahan sesuai dengan proses respirasi.

Buah klimaterik	Buah non klimaterik
Apel (<i>Malus domestica</i>)	Lemon (<i>Citrus limon</i>)
Alvokat (<i>prunus armeniaca</i>)	Nanas (<i>Ananas comous</i>)
Pisang (<i>Musa sp.</i>)	Strawberry (<i>Fragaria sp.</i>)
Blueberry (<i>Vaccinium corymbosum</i>)	Anggur (<i>Vitis vinifera</i>)
Kiwi (<i>Actinidia deliciosa</i>)	Timun (<i>Cucumis sativus</i>)
Mangga (<i>Mangifera indica</i>)	Jeruk (<i>Citrus sinensis</i>)
Pepaya (<i>Carica papaya</i>)	
Pear (<i>Pyrus sp.</i>)	
Tomat (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	
Semangka (<i>Citrullus lanatus</i>)	

Sumber : (Ron, Mcglasson, Graham, & Joyce, 2004)

Proses Fermentasi

Senyawa organik yang banyak digunakan dalam proses fermentasi pada umumnya adalah glukosa. Melalui proses glikolisis gula tersebut dipecahkan menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana misalnya *aldehida*, alkohol atau asam. Dalam buah-buahan atau hasil pertanian lainnya, sistem fermentasi tersebut dapat berlangsung terutama bila persediaan oksigen berkurang, sehingga pola pembentukan energi berubah dari cara respirasi ke fermentasi. Bila buah-buahan melakukan proses fermentasi, maka energi yang diperoleh relatif lebih sedikit persatuan berat substrat yang tersedia. Untuk memenuhi kebutuhan energi, maka diperlukan substrat (glukosa) dalam jumlah yang banyak, sehingga dalam waktu yang singkat persediaan substrat akan habis dan akhirnya buah-buahan tersebut akan rusak dan busuk. Jumlah senyawa penerima elektron terakhir yang digunakan akan menentukan kapasitas untuk melakukan proses oksidasi.

1.1.6 Enzim-enzim yang berperan aktif pada proses respirasi

Karboksilase

Enzim ini dapat membantu perubahan asam organik secara bolak-balik. Perubahan asam piruvat menjadi aset aldehida dengan bantuan karboksilase piruvat. Perubahan asam oksalosuksinat menjadi asam α -ketoglutarat, berlangsung karena bantuan karboksilase dan ion-ion Mn^{2+} .

Hidrase

Enzim - enzim yang termasuk dalam hidrasi yaitu Enolase, fumarase, akonitase. Kelompok enzim hidrase

berfungsi menambahkan atau mengurangi air dari suatu senyawa tanpa menyebabkan terurainya senyawa yang terkait.

Dehidrogenase

Enzim ini berfungsi memindahkan hidrogen dari zat yang satu ke zat yang lain.

Oksidase

Salah satu jenis protein yang mengandung besi atau tembaga yang berfungsi mengikat penggabungan O_2 dengan suatu substrat yang pada saat bersamaan juga mereduksi O_2 sehingga terbentuk H_2O .

Peroksidase

Peroksidase adalah enzim yang berfungsi membantu mengoksidasi senyawa-senyawa fenolat dan menggunakan O_2 dari H_2O_2 .

Katalase

Merupakan enzim yang berfungsi dalam membantu pengubahan hidrogen peroksida menjadi H_2O dan O_2 . Enzim katalase terdapat pada sel-sel hewan maupun tumbuhan dan gugus prostetikanya berupa besi.

1.2 Buah dan Sayur

Buah dan sayur merupakan bahan pangan yang cukup penting untuk kesehatan karena mengandung beberapa zat gizi berupa vitamin dan mineral yang berfungsi sebagai komponen utama serta zat-zat seperti serat makanan, enzim dan fitonutrien. Selain itu, buah dan sayur merupakan sumber makanan alami yang dapat dikonsumsi secara langsung oleh

manusia dan dapat mencegah berbagai penyakit (Nurhayati, 2013).

Pertumbuhan ekonomi regional terkini dan perubahan pola makan masyarakat juga telah membuat produksi dan konsumsi buah dan sayuran semakin penting. Buah dan sayuran memiliki peran penting dalam peningkatan pendapatan pertanian, pengentasan kemiskinan, keamanan pangan, dan pertanian berkelanjutan di Asia, terutama di negara-negara berkembang. Akan tetapi, buah dan sayur termasuk bahan yang mudah mengalami kerusakan karena memiliki masa simpan yang cukup singkat. Buah dan sayur termasuk organisme hayati yang hidup dengan sistem pernafasan dan masih melakukan proses hidup meskipun telah dipanen atau yang dikenal dengan istilah respirasi. Respirasi adalah proses dimana tanaman menyerap oksigen dan mengeluarkan karbon dioksida (CO_2) berdasarkan tingkat respirasi dan produksi etilen. Laju respirasi berlangsung untuk memperoleh energi untuk aktivitas hidup tanaman. Dalam proses respirasi ini, bahan tanaman terutama kompleks karbohidrat dirombak menjadi bentuk karbohidrat yang paling sederhana (gula) selanjutnya dioksidasi untuk menghasilkan energi. Hasil sampingan dari respirasi ini adalah karbondioksida (CO_2), uap air (H_2O) dan panas (Utama & Nyoman, 2013).

Panas yang dihasilkan dari proses respirasi menyebabkan terjadinya peningkatan panas pada produk buah dan sayur, sehingga proses kemunduran seperti kehilangan air, pelayuan, dan pertumbuhan mikroorganisme akan semakin meningkat. Mikroorganisme pembusuk akan mendapatkan kondisi pertumbuhan yang ideal dan siap menginfeksi sayuran yang

sudah ada. Proses pelayuan pada hasil pertanian disebabkan oleh beberapa faktor seperti gesekan pada kondisi suhu dan kelembaban yang tidak sesuai, getaran, tekanan fisik selama proses transportasi berlangsung ke konsumen. Akhirnya, produk yang demikian disebar di pasar retail kepada konsumen sebagai produk *farm fresh* (Utama & Nyoman, 2013).

Sesuai dengan tingkat respirasi dan etilen buah dan sayur diketahui memiliki beberapa klasifikasi yaitu tingkat respirasi rendah, tingkat pernapasan sedang, tingkat pernapasan tinggi dan tingkat pernapasan sangat tinggi. Sedangkan, untuk tingkat produksi etilen diketahui yaitu produksi etilen rendah, produksi etilen sedang dan produksi etilen tinggi dan sangat tinggi.

Pola pematangan buah dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok yaitu; buah klimaterik (menunjukkan peningkatan karbon dioksida dan etilen pada tingkat produksi pematangan nya) dan buah non-klimaterik (yang tidak menunjukkan perubahan dalam produksi karbon dioksida dan etilen saat pematangan). Etilen pada tanaman merupakan produk alami metabolisme tanaman dan diproduksi oleh semua jaringan tanaman. Hal ini dianggap sebagai pematangan alami dan hormon pemasakan aktif bahkan pada saat buah masih kecil.

Umur simpan komoditi buah dan sayur juga dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu varietas, tingkat kematangan, laju pendinginan, suhu penyimpanan, kelembaban relatif (RH), sistem pengemasan, dll. Namun suhu penyimpanan dan RH memiliki interaksi yang mempengaruhi besarnya susut, sehingga diperlukan pengendalian suhu dan RH untuk menekan susut serta memperpanjang umur simpan. Buah tropika seperti terung gelatik dipanen pada suhu ambient (25-

35 °C), pada suhu ini laju respirasinya tinggi yang menyebabkan umur simpan pendek. Respirasi dan laju metabolik secara langsung berkaitan dengan suhu udara sekitar, semakin tinggi laju respirasi maka semakin cepat pula kerusakan komoditi terjadi (Basediya, Samuel, & Beera, 2013).

Kecepatan respirasi dari suatu produk hortikultura bervariasi yang disebabkan oleh faktor luar dan faktor dalam yang berinteraksi antar keduanya, kedua faktor ini diantaranya:

(1) faktor dalam

- Tingkat Perkembangan
- Susunan Kimiawi Jaringan,
- Besar-kecilnya Komoditas.,
- Pelapis Alami,
- Jenis Jaringan,

(2) Faktor Luar.

- Suhu

Suhu atau temperatur rendah akan membuat tumbuhan menjadi rentang. Semakin tinggi temperatur maka tingkat respirasi akan semakin tinggi dan setelah berlangsung lama maka tingkat respirasi akan menurun.

- Konsentrasi O₂ dan CO₂

Oksigen merupakan faktor utama pada proses respirasi aerob sedangkan karbon dioksida yang terus meningkat di udara akan menyebabkan terjadinya penutupan stomata sehingga pertukaran gas menjadi berkurang dan laju respirasi menurun.

- Zat Pengatur Pertumbuhan seperti etilen

Etilen merupakan salah satu zat pengatur pertumbuhan tanaman yang memegang peranan dalam memacu

perubahan penting selama proses pertumbuhan tanaman dan pematangan buah serta hasil pertanian lainnya.

- **Kerusakan Produk**

Kerusakan produk yang terjadi berupa memar pada lapisan meristem tumbuhan atau luka yang terus berkembang yang mengandung banyak substrat respirasi yang tersedia.

1.3 Penanganan Pasca Panen

Pentingnya penanganan atau pengolahan pasca panen buah dan sayur masih kurang diketahui oleh petani sehingga hasil panen yang melimpah yang dianggap memberikan keuntungan malah menghasilkan kerugian karena produk hasil pertanian cepat mengalami kerusakan atau pembusukan.

Menurut (Kartasapoetra, 1989) ada 4 (empat) gambaran kemerosotan mutu pasca panen yang dapat terjadi yaitu, Terjadinya peristiwa-peristiwa fisiologis, berkembangnya penyakit, berkembangnya hama gudang, kehilangan dan berbagai kerusakan fisik lainnya yang berkaitan dengan kegiatan pengambilan dan pengangkutan hasil pertanian.

Terjadinya peristiwa-peristiwa fisiologis

Pemanenan yang dilakukan oleh petani di beberapa daerah di Indonesia pada umumnya melakukan pemanenan hasil tanaman pada kondisi belum matang optimal, sehingga hasil-hasil pertanian yang telah dipanen masih mengalami proses perubahan fisiologis atau kerusakan-kerusakan fisiologis, seperti: buah menjadi keriput, buah yang tampak masak dan terlihat menarik. Akan tetapi, setelah diperam memiliki rasa yang kurang manis dan masih menunjukkan

buah belum matang. Kerusakan-kerusakan seperti ini akan menghasilkan limbah buah yang cukup tinggi, karena hasil tanaman yang demikian tidak dapat diterima di pasaran khususnya untuk ekspor. Untuk mengatasi peristiwa-peristiwa fisiologis ini maka perlu dilakukan pemanenan dengan mempertimbangkan derajat kematangan.

Berkembangnya penyakit

Pertumbuhan tanaman hingga menghasilkan produk tidak lepas dari pengaruh beberapa jenis jamur dan khamir seperti *Aspergillus sp*, dan *Fusarium sp* dan beberapa mikroba lainnya. Jamur-jamur dan mikroba tersebut tentunya akan tetap berkembang dengan baik pada hasil produksi tanaman pasca panen dan akan menimbulkan berbagai jenis penyakit yang menyebabkan hasil tanaman mengalami kerusakan pada hasil tanaman pasca panen terutama pada saat penyimpanan.

Berkembangnya hama gudang

Kerusakan-kerusakan yang terjadi disebabkan oleh hama-hama yang menyerang hasil pasca panen seperti telur, kepompong dan kotoran-kotoran lainnya. Hama gudang dapat menyerang setiap saat selama penyimpanan berlangsung yang tentunya dapat menurunkan kualitas dan nilai hasil tanaman.

Kehilangan dan berbagai kerusakan fisik

Pengambilan atau pemetikan hasil pertanian juga sangat berpengaruh terhadap kemerosotan mutu hasil tanaman. Kurangnya pengetahuan mengenai teknik pemetikan akan berdampak buruk setelah Pemanenan. Seperti, Pemanenan sebelum waktu yang tepat, menyebabkan menurunnya mutu produk, penyimpanan hasil produk yang rusak atau bahan

yang belum matang dengan produk yang berkualitas bagus maka akan mempengaruhi produk yang bermutu baik karena terkena infeksi. serta adanya kerusakan fisik seperti memar, pecah, hancur dan sebagainya. Sehingga setelah lepas panen akan tampak kerusakan dan ketika dijual di pasaran maka harganya akan menurun bahkan bahan tersebut bisa dibuang yang tentunya akan menghasilkan limbah buah ataupun sayur.

Proses Biologis Penyebab Perubahan Kandungan Hasil Tanaman

Proses perubahan biologis seperti perubahan fisiologis, enzimatis dan kimiawi yang berlangsung pada tanaman hasil pertanian baik itu sebelum pemanenan maupun beberapa saat setelah pemanenan akan berpengaruh pada hasil produksi karena akan menurunkan mutu dari hasil pertanian tersebut.

1.3.1 Proses fisiologis

Pasokan/suplai yang terdapat dalam tanah seperti air, udara serta unsur hara dan mineral-mineral yang diperlukan untuk sintesis masih di dimanfaatkan oleh produk hortikultura yang masih melekat di pohon. Akan tetapi, apabila produk tersebut sudah lepas dengan tanaman atau telah dipanen maka pasokan tersebut sudah tidak terjadi lagi atau tidak berlangsung. Kegiatan sintesis yang utama dalam organ yang masih melekat pada tanaman adalah pada aktivitas proses fotosintesis tetapi kalau sudah lepas proses fotosintesis ini sudah tidak terjadi lagi, tetapi proses metabolisme tetap berlangsung baik sintesis maupun perombakan.

Proses metabolisme pada buah-buahan maupun sayur-sayuran yang telah lepas dari pohonnya pada dasarnya adalah transformasi metabolis pada bahan-bahan organik yang telah

ada atau telah dibentuk selama bagian tersebut masih dalam pohon yang bersumber dari aktivitas proses fotosintesis. Selain itu juga terjadi pengurangan kadar air dari dalam produk hortikultura tersebut baik karena proses pengeluaran lewat permukaan produk maupun oleh proses metabolisme oksidatif termasuk proses respirasi dari produk yang tetap terus berlangsung.

1.3.2 Proses enzimatis dan non enzimatis

Reaksi pencokelatan atau *browning* sering terjadi pada buah-buahan seperti pisang, peach, pear, salak, pala, apel bahkan pada langsung. Buah yang memar juga mengalami reaksi pencokelatan.

Pencokelatan yang terjadi pada bahan pangan tersebut disebabkan oleh adanya reaksi enzimatis khususnya buah-buahan yang mengandung substrak senyawa fenolik. Beberapa senyawa fenolik yang berperang sebagai substrak pada proses pencokelatan enzimatis pada buah dan sayur-sayuran. Aktivitas enzim *phenolase* dan *poliphenolase* yang terdapat pada buah dan sayur-sayuran menjadi faktor utama proses pencokelatan enzimatis.

Berbeda dengan buah dan sayur utuh yang memiliki sel-sel yang utuh tidak mengalami proses pencokelatan atau *browning* karena substrat yang terdiri atas senyawa-senyawa fenol terpisah dari enzim *phenolase* sehingga tidak terjadi reaksi *browning* tersebut. Namun reaksi *browning* enzimatis tetap akan terjadi pada buah utuh apabila buah ataupun sayur-sayuran terjatuh atau terpotong dan menyebabkan memar pada buah ataupun sayur sehingga menyebabkan sel pecah kemudian substrat dan enzim akan bertemu pada keadaan aerob (terdapat oksigen) (Koswara, 2009).

Substrat yang baik untuk proses pencokelatan yaitu senyawa fenolik dengan jenis *ortodihidroksi* atau *trihidroksi* yang saling berdekatan. Pada proses pencokelatan enzimatis memerlukan adanya enzim fenol oksidase dan oksigen yang saling terhubung dengan substrat tersebut. Dalam proses pencokelatan enzim-enzim yang dapat mengkatalisa oksidasi dikenal dengan berbagai nama yaitu fenol oksidase, *phenolase*

atau *poliphenolase polifenoloksidase* (PPO), masing-masing bekerja secara spesifik untuk substrat tertentu, (Hairunnisa, 2014). Enzim yang memiliki gugus Cu, sehingga dapat mengkatalis pengikatan molekul oksigen dalam posisi ortho membentuk gugus hidroksil pada cincin aromatik yang diikuti dengan proses oksidasi diphenol menjadi quinonen memerlukan PPO (EC.1.14.18.1) (Aziz & Al-sa, 2016).

Reaksi Millard yaitu reaksi yang terjadi antara gula pereduksi (melalui sisi keton dan aldehid yang reaktif) dengan asam-amino (melalui gugus amina) sehingga menyebabkan terbentuknya browning non enzimatik yang sering terjadi selama penyimpanan bahan pangan. Selain itu, Reaksi non enzimatik browning yang sering terjadi pada bahan pangan berupa karamelisasi dan oksidasi asam askorbat. Maka untuk mencegah terjadi reaksi browning yaitu dengan menambahkan senyawa-senyawa anti pencokelatan, antara lain senyawa-senyawa sulfite, asam-asam organik dan dengan blanching/blansir (Koswara, 2009).

1.3.3 Proses Kimiawi

Proses biologis juga akan mempengaruhi terjadinya perubahan-perubahan kimiawi pada tanaman pasca panen seperti perubahan karbohidrat, perubahan zat lemak, protein dan lainnya. Seperti yang dikemukakan oleh (Kartasapoetra, 1989).

(a) Perubahan Karbohidrat

Karbohidrat merupakan simpanan energi bagi tumbuh-tumbuhan. Sumber kalori utama bagi hampir seluruh penduduk dunia, khususnya pada negara berkembang adalah karbohidrat seperti beras, jagung, gandum, umbi-umbian, sagu, pisang dan kentang. Tetapi jumlah kalori

yang dapat dihasilkan oleh 1 gram hanya 4 Kal/gr bila dibandingkan dengan protein dan lemak. Karbohidrat merupakan sumber kalori yang murah. Karbohidrat memiliki peranan penting dalam menentukan karakteristik bahan makanan, seperti rasa, warna, tekstur, dan lain-lain.

(b) Perubahan Protein

Protein merupakan suatu polimer yang dibangun oleh asam amino. Pada semua organisme, setiap protein memiliki fungsi yang berbeda-beda. Semua protein yang terbentuk dibangun oleh asam-asam amino yang mempunyai struktur dasar yang sama tetapi berbeda fungsi. Protein yang terkandung dalam tanaman mengalami perubahan-perubahan sejak mengalami proses pra-klimaterik. Perubahan - perubahan yang terjadi berupa kenaikan kadar protein yang akan berlangsung hingga proses klimaterik dan penurunan kadar protein akan berlangsung secara bertahap setelah pemanenan.

(c) Perubahan Zat Lemak

Lemak adalah suatu senyawa yang heterogen, tetapi digolongkan bersama terutama karena kesamaan dan sifat kelarutannya. Lemak umumnya tidak larut dalam air tetapi larut dalam pelarut organik seperti etil eter, karbon tetraklorida, benzen dan petroleum eter. Lemak hampir terdapat dalam semua bahan pangan dengan kandungan yang berbeda - beda dan akan mengalami perubahan setelah hasil tanaman diambil atau telah dipanen. Seperti, kenaikan dari asam lemak yang tidak jenuh dan penurunan kadar dari asam lemak yang jenuh.

(d) Perubahan keasaman, asam klimaterik dan Vitamin C

Hasil tanaman hortikultura dipengaruhi oleh asam nitrat, asam malat, dan asam suksinat yang terdapat pada jaringan tanaman. Total asam pada tanaman akan terus meningkat hingga proses pemanenan dilakukan dan pada saat penyimpanan maka keasaman pada hasil tanaman akan mengalami penurunan dan beberapa hasil pertanian asam klimaterik atau *climateric acid* akan mengalami perubahan menjadi aseton yang tentunya akan meningkatkan nilai kadar vitamin c. Vitamin adalah zat organik yang diperlukan bagi tubuh dalam jumlah yang sedikit tetapi penting untuk melakukan fungsi metabolik dan harus didapat dari makanan.

(e) Perubahan fisik hasil tanaman

Perubahan fisik pada hasil tanaman memberikan patokan dalam proses pemanenan. Dimana pemanenan dapat dilakukan dengan melihat karakteristik fisik perubahan-perubahan dari tanaman seperti perubahan pada warna, tekstur, aroma dan rasa.

1.4 Teknologi Penanganan Buah dan Sayur Lepas Panen

Produk hortikultura segar dan bermutu dapat didefinisikan sebagai kumpulan dari karakteristik dan atribut yang memberikan nilai terhadap produk itu sendiri. Pengelolaan dan penanganan yang efektif selama periode pasca panen adalah cara yang efektif untuk mengurangi susut sebanyak mungkin selama periode antara panen dan konsumsi. Periode pascapanen dimulai dari produk dipanen sampai produk tersebut dikonsumsi, atau diproses lebih lanjut. Cara penanganan, dan perlakuan pascapanen sangat menentukan

mutu yang diterima konsumen serta masa simpan atau masa pasar. Namun demikian, periode pascapanen tidak bisa terlepas dari sistem produksi, bahkan sangat tergantung dari sistem produksi produk tersebut.

Penanganan pasca panen hasil hortikultura yang umumnya dikonsumsi segar dan mudah rusak (*perishable*), sehingga perlu dilakukan pengolahan untuk mempertahankan kondisi segarnya dan untuk mencegah perubahan-perubahan yang tidak dikehendaki selama penyimpanan, seperti pertumbuhan tunas, pertumbuhan akar, batang bengkok, buah keriput, polong alot, ubi berwarna hijau (*greening*), terlalu matang, dll, maka perlu dilakukan penanganan pasca panen (Mutirawati, 2007). Menurut (Samad, 2006) Secara spesifik penanganan pasca panen terhadap sayuran dan buah meliputi pencucian, perbaikan bentuk kulit permukaan (*curing*), sortasi, penghilangan warna hijau (*degreening*), pengemasan, dan pendinginan.

1.5 Penyimpanan Buah dan Sayur

Penanganan atau pengolahan pasca panen diharapkan dapat memenuhi keinginan para konsumen, baik bentuk, warna, rasa, kuantitas dan kualitasnya. Maka perlu dilakukan peningkatan pemahaman mengenai proses biologis yang masih tetap berlangsung pada tanaman pasca panen. Proses biologis yang dapat terjadi berupa proses fisiologis, enzimatis, dan kimiawi yang tentunya akan mempengaruhi sifat hasil tanaman, mempengaruhi kandungan zat pada tanaman yang tampak pada perubahan tekstur, warna, rasa dan bau pada tanaman.

Penyimpanan dingin banyak digunakan di industri pertanian dan makanan, seperti menyimpan buah dan sayuran di musim panas dan menjualnya di musim dingin. Suhu penyimpanan yang digunakan yaitu suhu yang ideal untuk buah dan sayuran segar seperti pendinginan mekanis. Namun, ruang penyimpanan dingin yang sering digunakan banyak mengonsumsi listrik (Wang, He, Li, Wennerstern, & Sun, 2017).

Penyimpanan buah dan sayuran umumnya menggunakan pendinginan mekanis yang memerlukan energi intensif dan mahal, melibatkan investasi modal awal yang cukup besar, dan membutuhkan persediaan yang tidak terputus listrik dan mudah dipasang. (Losses et al., 2006). Penyimpanan hasil pertanian diperlukan di daerah terpencil untuk mengurangi kerugian hasil hortikultura yang sangat mudah rusak. Akan tetapi tingginya biaya dan kebutuhan energi yang tinggi menghalangi penggunaan penyimpanan berpendingin di wilayah terpencil, sehingga diperlukan ruang pendingin berenergi rendah energi dan ramah lingkungan yang terbuat dari bahan yang tersedia secara lokal.

Salah satu jalan untuk menghambat kerusakan serta meningkatkan umur simpan komoditi adalah dengan menurunkan suhu udara di sekitar. Sangat disarankan untuk segera menurunkan suhu komoditi setelah dipanen, maksimal 4 jam setelah pemanenan. Efek pendinginan ini dapat menurunkan laju respirasi, memperlambat proses kehilangan air, menekan produksi etilen dan memperlambat pertumbuhan mikroba (Basediya et al., 2013).

Aspek lain yang berpengaruh dalam penyimpanan komoditi buah tropika adalah RH. Pada RH tinggi komoditi akan mempertahankan berat, penampilan fisik, mutu rasa dan

nutrisi, sehingga pelayuan, pelunakan dan *juiciness* dapat ditekan. Sedangkan RH rendah akan memicu transpirasi yang menyebabkan komoditi kehilangan air. RH tinggi harus dikombinasikan dengan suhu rendah, karena RH dan suhu yang tinggi akan memicu pertumbuhan cendawan dan bakteri (Basediya et al., 2013).

Penyimpanan dimaksud adalah penyimpanan pada kondisi suhu dingin dan penyimpanan pada kondisi atmosfer terkendali. Penyimpanan tersebut diperlukan terutama bagi komoditi hortikultura yang mudah mengalami kerusakan setelah memasuki periode pasca panen, karena cara penyimpanan tersebut dapat mengurangi laju respirasi dan metabolisme lainnya, mengurangi proses penuaan, mengurangi kehilangan air dan pelayuan, mengurangi kerusakan akibat aktivitas mikroba, dan mengurangi proses pertumbuhan yang tidak dikehendaki seperti pertunasan. Keuntungan dari pelibatan teknologi pascapanen seharusnya tidak hanya dilihat dari harga jual produk, namun juga dilihat dari tingkat penyusutan dan kemampuan akses pasar (Kitinoja & Kader, 2015).

Agar penyimpanan komoditi panen hortikultura dapat berjalan baik sesuai dengan yang diharapkan yaitu dapat memperpanjang masa kesegaran komoditi bersangkutan, maka dalam penyimpanan diperlukan pengetahuan terhadap beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keberhasilan penyimpanan tersebut. Menurut (H & Kilmanun, 2016) Faktor-faktor tersebut meliputi suhu, kelembaban udara, Komposisi atmosfer (udara), dan kualitas bahan yang disimpan.

a. Suhu

Suhu penyimpanan produk hasil pertanian perlu dipertahankan agar tidak terjadi kenaikan dan penurunan. Untuk memperoleh hasil penyimpanan yang baik, suhu ruang pendingin harus dijaga agar tetap konstan, tidak berfluktuasi. Hal ini dapat diatasi dengan penggunaan isolator ruangan dan tenaga mesin pendingin yang cukup.

Biasanya dalam penyimpanan dingin, suhu dipertahankan berkisar antara 1°C sampai dengan 2°C, akan tetapi, Penyimpanan yang mendekati titik beku diperlukan interval suhu yang lebih sempit. Suhu di bawah optimum akan menyebabkan pembekuan atau terjadinya *chilling injury*, sedangkan suhu di atas optimum akan menyebabkan umur simpan menjadi lebih singkat. Fluktuasi suhu yang luas dapat terjadi jika dalam penyimpanan mengalami proses kondensasi yang ditandai adanya air pada permukaan komoditi yang disimpan.

Lain halnya dengan komoditi yang mudah rusak, kelembaban relatif dalam penyimpanan dipertahankan pada kisaran 90 sampai 95%. Kelembaban di bawah kisaran tersebut akan menyebabkan kehilangan kelembaban komoditi yang tentunya dapat merugikan. Kelembaban yang mendekati 100% kemungkinan akan terjadi pertumbuhan mikroorganisme lebih cepat dan juga menyebabkan permukaan komoditi pecah-pecah. Komoditi hortikultura setelah panen yang diletakkan dalam udara terbuka akan mengalami keseimbangan kadar air bahan dengan kelembaban udara di sekitarnya. Kadar air dalam keadaan seimbang ini disebut kadar air keseimbangan atau *Equilibrium Moisture Content*.

b. Komposisi atmosfer

Pengendalian komposisi udara atau atmosfer tempat atau ruangan penyimpanan perlu diperhatikan pada tanaman hortikultura agar komoditi yang disimpan tidak menghasilkan maupun mengonsumsi gas yang berlebih. Gas yang tidak dikehendaki berada dalam konsentrasi yang tinggi dapat dibuang atau dikurangi dengan proses penyerapan menggunakan air atau kapur. Etilen dan senyawa volatile lainnya dapat dibuang dari ruang simpan dengan menggunakan KMnO_4 , katalisator oksidasi atau cahaya UV. Oksigen dapat dibuang dengan menggunakan proses pembakaran atau penyaringan molekuler.

c. Kualitas Bahan

Penyimpanan bertujuan untuk memperpanjang masa kesegaran pada sayuran, buah-buahan maupun tanaman lainnya. Hasil produksi tanaman yang akan disimpan harus terbebas dari luka atau lecet maupun kerusakan lainnya. Buah-buah yang telah memar dalam penyimpanannya akan mengalami susut bobot hingga empat kali lebih besar bila dibandingkan buah-buah yang utuh dan baik, komoditi-komoditi tersebut harus dalam kondisi tingkat kematangan optimal, jangan yang terlalu muda (*immature*) maupun tua (*over ripe*). Tiap jenis komoditas memiliki sifat atau karakteristik penyimpanan tersendiri. Sifat-sifatnya selama penyimpanan juga dapat dipengaruhi oleh varietas, iklim atau kondisi agronomi tempat tumbuh, cara budidaya maupun cara panen. Penyimpanan komoditi yang memiliki kondisi tidak baik tentunya penyimpanan juga tidak mungkin dapat memperbaiki kondisi komoditi yang telah rusak, bahkan upaya

penyimpanan justru dapat menambah kerugian dalam penanganan pasca panen.

1.6 Komposisi Kimia dan Nilai Gizi Buah dan Sayur

Buah dan sayur mengandung berbagai jenis komposisi kimia yang sangat banyak ditemukan di berbagai jenis buah dan sayur, diantaranya: air, karbohidrat, protein lemak, asam organik dan vitamin serta mineral.

a. Air

Beberapa produksi buah dan sayur mengandung air yang cukup banyak seperti buah timun, semangka, melon, selada dan labu yang mengandung sekitar 95 % air Selain itu, beberapa umbi-umbian, biji bijian, kentang dan jagung mengandung lebih sedikit air.

b. Karbohidrat

Setelah air, karbohidrat juga merupakan komponen atau unsur terbanyak yang terdapat pada buah dan sayur. Selain itu, terdapat gula-gula sederhana, polimer kompleks dan terdapat sekitar seratus unit gula-gula sederhana (Ron et al., 2004).

Beberapa jenis gula yang terdapat pada buah dan sayur yaitu sukrosa, glukosa, dan fruktosa. Jumlah gula yang terdapat pada setiap buah dan sayur memiliki kadar yang berbeda-beda sesuai dengan jenis buah-buahan dan sayur-sayuran tersebut.

Tabel 5. Kandungan gula pada beberapa jenis buah dan sayur

Jenis buah dan sayur	Jenis gula		
	Glukosa	Fruktosa	Sukrosa
Apel	3	6	2
Pisang	4	4	10
Ceri	6	4	0
Jeruk	2	2	4
Pear	2	7	1
Nanas	1	2	5
Tomat	1	1	0
Buah persik	1	1	1

Keterangan: 0 menunjukkan data kurang dari 0,1 g/100g.

Sumber : (Ron et al., 2004)

c. Protein

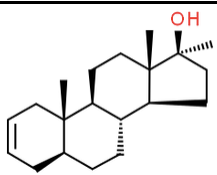
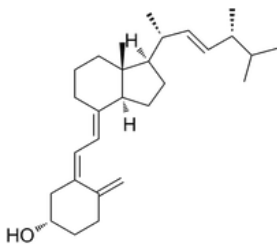
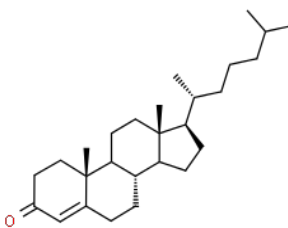
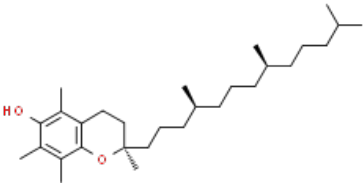
Protein merupakan makromolekul yang terdapat pada setiap makhluk hidup dan tersusun dari asam amino. Berdasarkan hasil analisis elementer, protein menghasilkan unsur-unsur berupa C, H, N, dan O serta unsur S. selain itu, protein juga sering menghasilkan unsur-unsur lain berupa P, Fe, Zi, dan Cu dan berfungsi sebagai katalisator, transmitor gerakan saraf dan pengendali bahan serta perkembangan, dalam proses biologis, protein berperan sebagai katalis enzimatik (Katili, 2009).

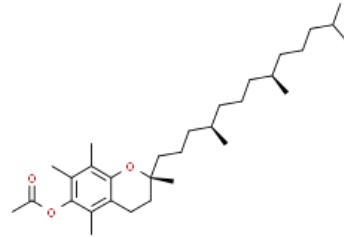
d. Vitamin

Merupakan nutrient organik yang dapat diperoleh dari berbagai makanan karena tidak dapat di sintesa oleh tubuh. Vitamin terdiri dari beberapa jenis yaitu vitamin yang dapat larut dalam air dan vitamin yang dapat larut pada lemak. Vitamin yang larut dalam lemak yaitu vitamin A, D, E dan K sedangkan vitamin yang larut dalam air yaitu vitamin B kompleks kecuali vitamin C.

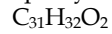
Vitamin cukup sensitif terhadap lingkungan seperti pH, oksigen, cahaya dan panas sehingga vitamin pada buah dan sayur perlu mendapat perhatian khusus (Pardede, 2014).

Tabel 6. vitamin, sumber dan struktur kimianya

Vitamin	Sumber	Gambar Struktur kimia
Vitamin A	Minyak ikan, ayam, sayuran hijau, minyak sawit, dll	 <p style="text-align: center;">$C_{20}H_{32}O$</p>
Vitamin D2	Jamur, sumber pangan nabati dan ditemukan dalam makanan yang diperkaya serta beberapa suplemen.	 <p style="text-align: center;">Vitamin D2 $C_{23}H_{44}O$</p>
Vitamin D3	Ikan laut (salmon, tuna, dan tongkol) khususnya daging ikan berlemak, minyak hati ikan jus buah dan sereal yang terfortifikasi Vit. D3, kuning telur, mentega	 <p style="text-align: center;">Vitamin D3 $C_{27}H_{44}O$</p>
Vitamin E	kacang-kacangan (almond/ mentega almond, hazelnut, dan kacang pinus) dan biji-bijian (biji bunga matahari), minyak sayur, dan gandum	 <p style="text-align: center;">α-tocopherol $C_{29}H_{50}O_2$</p>

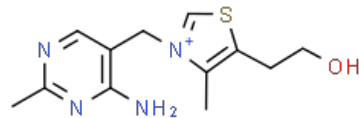
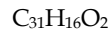
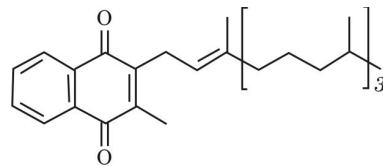


α -tocopheryl acetate

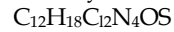


Vitamin K

Bayam, kangkung,
brokoli, kubis, selada,
kedelai, canola,
zaitun, dll

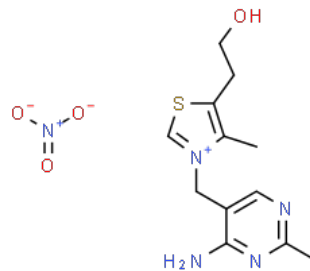


Thiamine Hydrochloride

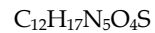


Vitamin B₁

Sereal, biji-bijian,
makanan fortifikasi

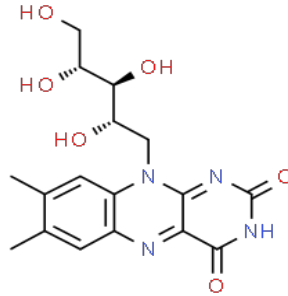


Thiamine mononitrate



Vitamin B2

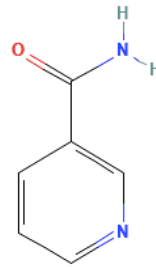
Daging segar, susu, dan kuning telur, wortel dan tomat



Riboflavin
 $C_{17}H_{20}N_4O_6$

Vitamin B3

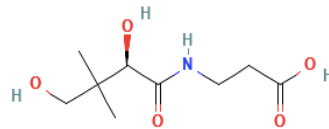
hati, ginjal, daging sapi, daging unggas, ikan, kopi instant, roti dll.



Nicotinamide
 $C_6H_5N_2O$

Vitamin B5

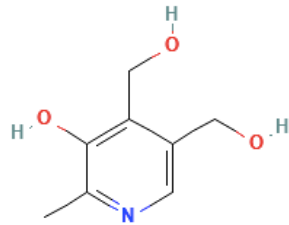
Telur, kacang, kedelai, jamur, brewer's yeast, dan sejumlah sayuran.



Pantothenic acid
 $C_9H_{17}NO_5$

Vitamin B₆

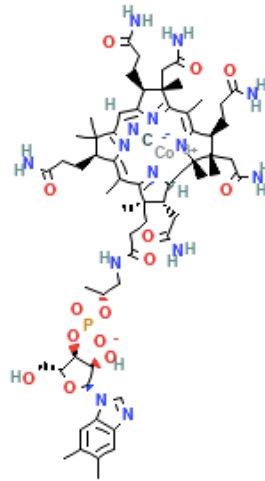
daging ayam, hati,
daging sapi, ikan
(herring, tuna,
salmon, trout), kacang
dan biji bijian
khususnya biji bunga
matahari



Piridoksina
 $C_8H_{11}NO_3$

Vitamin
B₁₂

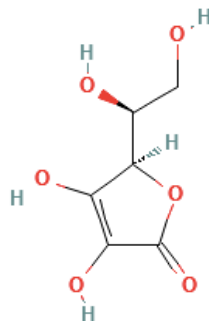
produk hewani
seperti daging,
unggas, ikan dan
produk susu.



Cyanocobalamin
 $C_{63}H_{88}CoN_{14}O_{14}$

Vitamin C

buah segar dan
sayuran, seperti jeruk,
dan mangga



Asam Askorbat
 $C_6H_8O_6$

Sumber : (Elisa, 2017)

e. Mineral

Mineral merupakan unsur inorganik yang tidak dapat diproduksi didalam tubuh manusia namun memiliki peranan yang sangat penting yaitu sebagai katalisator pada berbagai reaksi biokimia yang berlangsung di dalam tubuh. Oleh karena itu, mineral hanya bisa diperoleh melalui berbagai sumber makanan.

Berdasarkan fungsinya, mineral dibedakan menjadi dua kelompok yaitu mineral makro dan mineral mikro. Mineral makro terdiri dari Ca, P, K, Na, Cl, S, dan Mg dan cukup diperlukan dalam jumlah yang relatif besar sedangkan mineral mikro yaitu mineral yang diperlukan dalam jumlah kecil seperti Fe, Mo, Cu, Zn, Mn, Co, I, dan Se (Arifin, 2008).

Tabel 5. Nutrisi mineral esensial dan jumlahnya dalam tubuh hewan

Mineral mikro	g/kg	Mineral mikro	Mg/kg
Kalsium (Ca)	15	Besi (Fe)	20-80
Fosforus (P)	10	Seng (Zn)	10-50
Kalium (K)	2	Tembaga (Cu)	1-5
Natrium (Na)	1,60	Molibdenum (Mo)	1-4
Klorin (Cl)	1,10	Selenium, (Se)	1-2
Sulfur (S)	1,50	Iodin (I)	0,30-0,60
Magnesium (Mg)	0,40	Mangan (Mn)	0,20-0,60
		Kobalt (Co)	0,02-0,10

Sumber : (Arifin, 2008)

1.7 Kerusakan Buah dan Sayur

Buah dan sayur yang telah dipanen sangat rentan mengalami kerusakan, baik pada saat penyimpanana maupun pada saat transportasi. Beberapa jenis kerusakan yang umum terjadi diantaranya kerusakan mekanis, patologis, insekta dan fisiologis. Karakteristik kerusakan pada buah dan sayur yang dapat dijadikan sebagai parameter penyimpangan dapat

berupa konsistensi, tekstur, memar, berlendir, dan berbau busuk.

Kerusakan mekanis

Kerusakan mekanis pada buah dan sayur dapat terjadi akibat kesalahan penanganan pada saat pemanenan yang menyebabkan buah dan sayur mengalami benturan antar bahan. Selain itu, selama pengangkutan, buah dan sayur seringkali saling bertindihan sehingga sangat rentan terjadi kerusakan seperti memar dan hancur.

Kerusakan Patologis

Kerusakan patologis biasanya disebabkan oleh adanya mikroorganisme patogenik yang timbul dari kerusakan buah dan sayur sebelumnya, baik berupa luka atau memar. Kerusakan patologis akan mempengaruhi mutu dari hasil pertanian karena terjadinya pembusukan pada buah dan sayur.

Kerusakan insekta

Kerusakan pada buah dan sayur karena adanya serangan insekta sehingga meningkatkan laju etilena dan mempengaruhi penampakan visual buah dan sayur tersebut serta menyediakan akses atau tempat masuknya mikroba patogen.

Kerusakan fisiologis

Kerusakan fisiologis pada buah dan sayur sangat dipengaruhi oleh varietas, kematangan, cara pemanenan, kondisi iklim, ukuran dan sistem pengolahannya. Selain itu, kerusakan fisiologis juga dapat disebabkan oleh reaksi-reaksi metabolisme atau enzim-enzim yang terdapat di dalam buah dan sayur.

Beberapa tanda-tanda perubahan fisiologis pada buah dan sayur yaitu:

1. Terjadinya kelunakan pada komponen dan struktur dinding sel kulit buah.
Kekerasan buah merupakan salah satu faktor penentuan kualitas yang dapat diukur secara kualitatif oleh indera perasa ataupun secara kuantitatif menggunakan penetrometer. Penurunan tingkat kekerasan selama penyimpanan dapat terjadi karena kerusakan pada jaringan kulit yang menyebabkan tingginya tingkat transpirasi sehingga buah menjadi keriput dan membuat daging buah menjadi lunak (Syahfitri,2006).
2. Terjadinya perubahan warna pada kulit buah menyebabkan beberapa pigmen warna memberikan efek kerusakan pada pigmen warna yang lain (*masking effect*). Misalnya konsentrasi pigmen kuning (lutein) atau pigmen merah (karoten) pada buah jeruk akan meningkat seiring proses kematangan buah sehingga pigmen hijau akan menghilang akibat terjadinya degradasi pada struktur klorofil.
3. Terjadinya kenaikan kandungan gula dan penurunan kandungan pati. Misalnya pada buah apel yang akan menjadi lebih manis setelah masak.
4. Terjadinya penurunan konsentrasi asam dan tanin yang menyebabkan berkurangnya rasa masam dan sepet (pada sawo manila).
5. Terbentuknya komponen gas volatile sehingga membentuk aroma khas buah.



BAB II TEKNIK PENDINGINAN BUAH DAN SAYUR

2.1 Teknik Pendinginan

Pendinginan adalah proses pemindahan panas (energi) dari suatu bahan pangan ke medium pendingin sehingga suhu keduanya menjadi sama atau hampir sama. Teknik ini digunakan untuk mempertahankan dan meningkatkan daya simpan suatu produk hasil pertanian khususnya untuk buah dan sayur yang mudah mengalami kerusakan karena masih melakukan proses respirasi setelah pemanenan. Proses respirasi ini memerlukan suhu optimum agar proses metabolisme dapat berlangsung dengan sempurna. Pada suhu yang lebih tinggi atau lebih rendah dari suhu optimum akan menyebabkan metabolisme berjalan kurang sempurna bahkan berhenti sama sekali. Penyimpanan pada suhu rendah dapat memperpanjang masa hidup jaringan-jaringan dalam bahan pangan tersebut karena aktivitas respirasinya menurun sehingga menghambat aktivitas mikroorganisme.

Menurut (Jordan & Richard, 1964), dengan suhu pendinginan maka kesegaran, aroma, tekstur dan nilai gizi bahan pangan dapat dipertahankan. Jenis bahan pangan yang dapat disimpan pada suhu dingin antara lain buah, sayuran,

ikan segar, produk ikan, daging segar, produk daging, susu, dan roti.

2.2 Sejarah Pendinginan

Alat pendingin pertama yang digunakan manusia adalah gua-gua alam, terutama di daerah vulkanik dengan cuaca dingin dan kering. Pada kondisi tersebut, manusia mempelajari bahwa dengan menggali lubang di dalam tanah serta menyimpan makanan di dalam air, makanan tersebut dapat disimpan dalam jangka waktu yang cukup lama (Koswara, 2009). Selain memanfaatkan gua-gua alam, masyarakat juga memanfaatkan “es alam” yang diperoleh dari sungai dan danau yang membeku pada musim dingin atau yang sengaja dibekukan secara alamiah akibat radiasi termal dari permukaan air ke langit untuk proses pendinginan makanan.

Es alam pertama kali dimanfaatkan oleh masyarakat yang tinggal di daerah sub-tropik yang mulai menyadari bahwa bahan pangan yang mudah rusak ternyata dapat disimpan lebih lama dan lebih baik pada saat musim dingin dibandingkan pada saat musim panas. Menurut catatan IIR (*International Institute of Refrigeration*), hingga awal abad ke-20 penggunaan es alam masih lebih banyak dibandingkan “es buatan (Setiawan et al., 2017).

Abad ke-15, Leonardo de Vinci telah merancang suatu mesin pendingin evaporatif ukuran besar (Pita, 1981). Mesin ini mempunyai roda besar, yang diletakkan di luar istana dan digerakkan oleh air dengan katup-katup yang terbuka-tutup secara otomatis untuk menarik udara ke dalam drum di tengah roda. Udara yang telah dibersihkan di dalam roda dipaksa keluar melalui pipa kecil dan dialirkan ke dalam ruangan.

Sebagaimana dalam catatan seorang dokter Italia dan doktor Spanyol yang bernama Zimara pada tahun 1530 dan Blas Villafranca pada tahun 1550 bahwa perkembangan teknik pendinginan terjadi secara tidak sengaja, yaitu penggunaan larutan air garam berupa potasium nitrat untuk mendapatkan suhu yang lebih rendah dan menurut catatan Ibnu Abi Usaibia, seorang penulis Arab menyatakan bahwa penggunaan larutan air garam ini sudah dilakukan sekitar abad ke-4 di India. Fenomena pencampuran garam pada salju untuk mendapatkan suhu lebih rendah baru dapat dijelaskan oleh Battista Porta pada tahun 1589 dan Trancredo pada tahun 1607 (Setiawan et al., 2017).

Teknik pendinginan mulai berkembang secara ilmiah sejak abad ke-17, dimulai dari penelitian tentang pemantulan melalui efek panas dan dingin yang dilakukan oleh Robert Boyle (1627-1691) di Inggris dan Mikhail Lomonossov (1711-1765) di Rusia. Selanjutnya, penelitian mengenai termometri yang dimulai oleh Galileo dikembangkan kembali oleh Guillaume Amontons (1663-1705) di Perancis, Isaac Newton (1642-1727) di Inggris, Daniel Fahrenheit (1686-1736) orang Jerman yang bekerja di Inggris dan Belanda, René de Réaumur (1683-1757) di Perancis dan Anders Celsius (1701-1744) di Swedia. Tiga ilmuwan yang disebutkan terakhir merupakan penemu sistem skala pengukuran suhu, dan masing-masing namanya diabadikan pada sistem skala tersebut yaitu Fahrenheit, Reaumur dan Celsius. Setelah Anders Celsius menemukan termometer skala centesimal pada tahun 1742 di Swedia disepakati bahwa sistem skala yang digunakan pada Sistem Internasional adalah Celsius (Setiawan et al., 2017).

Pada awal abad ke-18, William Cullen (1710-1790) menemukan peristiwa penurunan suhu pada saat ethyl ether menguap. Pada tahun 1755 Cullen berhasil mendapatkan sedikit es dengan cara menguapkan air di labu uap. Murid dan penerus Cullen, yaitu seorang Scotland yang bernama Joseph Black (1728-1799) berhasil menjelaskan pengertian panas dan suhu, sehingga sering dianggap sebagai penemu kalorimetri. Bidang ini akhirnya dikembangkan dengan sangat baik oleh para ilmuwan Perancis, seperti Pierre Simon de Laplace (1749-1827), Pierre Dulong (1785-1838), Alexis Petit (1791-1820), Nicolas Clément-Desormes (1778-1841) dan Victor Regnault (1810-1878). Pada akhir abad ke 18, penyimpanan bahan pangan dalam refrigerator atau lemari pendingin mulai dikembangkan.

2.2.1 Sistem Pendinginan Evaporative

Sistem pendinginan dengan evaporative merupakan sistem pendinginan yang ramah lingkungan karena tidak menggunakan freon. Selain itu, sistem ini dapat digunakan dan diterapkan secara bersamaan untuk menurunkan suhu dan meningkatkan kelembaban seperti pada gudang penyimpanan dingin (Tambunan, Rismawan, & Isabella, 1994).

Teknik pendingin evaporative bekerja berdasarkan prinsip pendinginan adiabatik yaitu menghasilkan udara sejuk dengan menggunakan udara panas kering di atas bantalan berisi air. Air yang terdapat pada bantalan berpori ini kemudian menguap sehingga menghilangkan panas dari udara dan menambahkan kelembaban. Efisiensi pendingin evaporative tergantung pada kelembaban udara di sekitarnya. Udara yang sangat kering dapat menyerap banyak kelembapan sehingga terjadi pendinginan yang lebih besar. Dalam kasus ekstrem,

udara yang benar-benar jenuh dengan air tidak akan mengalami penguapan dan pendinginan.

Konsep evaporative cooling digunakan pada zaman kerajaan lama Mesir, sekitar 2500 SM. Terdapat lukisan dinding yang menggambarkan budak mengipasi botol air, dengan tujuan untuk meningkatkan aliran udara di sekitar guci berpori dan membantu proses penguapan dan pendinginan. Bahkan dari peradaban sekitar 3.000 SM, ditemukan banyak pot gerabah di lembah Indus yang digunakan untuk menyimpan dan mendinginkan air yang sama untuk sebuah sajian pada hari Ghara atau Matki yang digunakan di India dan Pakistan, sedangkan di Indonesia gerabah ini sering disebut sebagai kendi yang pada masa kuno berguna untuk menyimpan air minum agar menjadi lebih dingin (Setiawan et al., 2017).

Pendinginan evaporative terjadi akibat adanya penguapan air pada permukaan bebas dengan bantuan aliran udara (Stoecker, W & Johanes, 1987). Proses penguapan ini memerlukan panas laten yang diambil dari lingkungannya, sehingga lingkungan tersebut kehilangan panas sensibel dan sehingga terjadi penurunan suhu. Untuk analisa pendinginan evaporative dilakukan berdasarkan beda potensial enthalpy sebagai gaya penggerak (*driving force*). (Tambunan et al., 1994).

2.2.2 Pendinginan dan Respirasi

Kerusakan bahan makanan pada umumnya disebabkan karena proses kimiawi atau biokimia meskipun kerusakan itu dikerjakan oleh mikroorganisme. Kecepatan reaksi pada proses kerusakan sangat dipengaruhi oleh suhu. Salah satu petunjuk terjadinya kerusakan lepas panen ialah masih berlangsungnya respirasi setelah hasil tanaman dipanen. Proses metabolisme pascapanen yang umumnya merupakan proses respirasi,

kecepatannya ditunjukkan dengan banyaknya karbon dioksida yang dikeluarkan. Peranan suhu dalam proses metabolisme ditunjukkan karena setiap mikroorganisme mempunyai suhu optimum untuk kehidupannya.

Bakteri berdasarkan suhu optimum pertumbuhannya terdiri atas tiga golongan. Bakteri yang dapat tumbuh pada suhu tinggi (131°F) dinamakan golongan bakteri termofil, bakteri dengan suhu optimum pertumbuhan sedang (97°F) dinamakan bakteri mesofil, sedangkan bakteri dengan suhu optimum pertumbuhan rendah (50°F) digolongkan sebagai bakteri psikrofil. Suhu tinggi umumnya dapat merusak jaringan hidup, sedang suhu rendah dapat menghambat metabolisme. Oleh karena itu, perlakuan suhu rendah dapat digunakan untuk pengawetan jaringan hidup. Ketentuan umum biasanya menyatakan bahwa setiap penurunan 18 °F, kecepatan respirasi berkurang menjadi separuhnya. Atas dasar itu, bahan makanan sering disimpan pada suhu rendah seperti pada suhu 34 °F atau di bawahnya untuk memperpanjang daya simpan. Penyimpanan pada suhu rendah ini tidak saja dapat menghambat kecepatan respirasinya, melainkan juga menghambat kehidupan mikroorganisme, karena pada hakikatnya kecepatan pertumbuhan mikroorganisme juga merupakan proses metabolisme. Namun, penting untuk diketahui bahwa suhu rendah hanya mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme, tidak untuk mematikannya.

Tujuan penyimpanan bahan pangan pada suhu rendah adalah untuk mengawetkan bahan pangan tersebut agar mutu dan karakteristiknya dapat dipertahankan seperti keadaan awal (segar). Selama proses pendinginan, terjadi perubahan enthalpy yang berkaitan dengan kondisi udara luar, jumlah dan jenis

bahan pangan yang didinginkan. Faktor yang terkait dengan persyaratan produk yang didinginkan/dibekukan atau disimpan dalam keadaan dingin adalah suhu yang sesuai untuk penyimpanan produk serta laju pendinginan. Saat ini, berbagai sistem pendinginan telah dikembangkan agar dapat diperoleh efisiensi yang tinggi dalam pengaturan suhu dan kelembaban dalam ruang pendingin.

2.3 Penyimpanan Suhu Dingin

Beberapa hasil pertanian akan mengalami kerusakan setelah di panen sehingga perlu dilakukan beberapa tindakan untuk mencegah kerusakan fisiologis khususnya pada proses pendinginan. Penyimpanan suhu rendah hanya dapat mengawetkan atau menambah daya simpan dari hasil pertanian dan tidak dapat memperbaiki mutu bahan pangan. Oleh sebab itu, mutu bahan pangan yang didinginkan harus dalam keadaan paling baik (*prime condition*).

Sebelum menyimpan buah dan sayur pada penyimpanan dingin, perlu dilakukan sortasi atau pemilihan buah dan sayur sesuai dengan tingkat kematangan, kekerasan, kesegaran serta tingkat kematangan yang seragam sesuai dengan kebutuhan.

Berikut ini adalah langkah-langkah pemilihan buah dan sayur sebelum ke tahap penyimpanan pada suhu rendah.

1. Buah dan sayur harus bermutu baik dan tidak mengalami kerusakan seperti memar dan sebagainya.
2. Sebelum penyimpanan, buah dan sayur harus dicuci dan ditiriskan untuk menghindari pertumbuhan kapang dan pembusukan yang lebih cepat.

3. Buah dan sayur sebaiknya dibungkus dengan menggunakan plastik berpori agar siklus oksigen berlangsung dengan baik.
4. Penyesuaian suhu penyimpanan buah dan sayur harus berdasarkan jenis dan standar penyimpanan dingin masing-masing bahan pangan agar menghindari kerusakan dingin "*chilling injury*".

Penyimpanan buah dan sayur pada suhu serta kelembaban yang relatif tinggi menyebabkan terjadinya pertunasan dan pembusukan. Sebaliknya, penyimpanan pada suhu rendah (4,4°C) atau lebih rendah menyebabkan terjadinya akumulasi gula akibat proses metabolisme berlangsung cukup lambat.

2.4 Istilah-istilah Teknik pendinginan

1. Tekanan

Tekanan adalah gaya yang bekerja secara vertikal pada bidang datar luas 1 cm² oleh benda padat, cair atau gas.

2. Bahan Pendingin (*Refrigerant*).

Refrigerant adalah suatu zat yang mudah menguap serta mudah mengalami perubahan wujud dari gas menjadi cair atau sebaliknya. Bahan ini berfungsi sebagai penghantar panas dengan cara mengambil panas dari evaporator dan membuangnya di kondensor dalam sirkulasi pada saluran instalasi mesin pendingin.

3. Efek Pendinginan

Efek pendingin adalah kemampuan membawa kalor dari bahan pendingin atau jumlah kalor yang dapat diserap oleh 1 pound bahan pendingin pada saat tahapan awal evaporator.

4. Kapasitas Pendinginan

Untuk menyatakan efek pendinginan, banyaknya kalori panas yang di serap dalam satuan waktu dinyatakan dengan K Cal/Jam.

5. Frost

Frost adalah pendinginan udara yang dilakukan secara terus menerus yang menyebabkan volume uap air dalam udara menjadi kecil, dan sebagian uap air yang menyentuh permukaan suatu benda yang bersuhu rendah akan membentuk embun-es yang halus.

6. Dingin

Dingin adalah suhu rendah atau tidak ada panas yang diakibatkan dari pengambilan kalor.

7. Tekanan Maksimum

Tekanan maksimum adalah suatu benda atau gas yang mempunyai batas kemampuan untuk mengubah fase gas ke fase cair. Temperatur maksimum benda gas seperti freon, bila di beri tekanan dalam silinder tertutup di bawah suhu udara bebas, akan menjadi uap air jenuh dan akhirnya berubah menjadi cairan melalui fase pengembunan. Akan tetapi, apabila suhu naik hingga beberapa derajat, gas tersebut tidak mengembun lagi sekalipun di beri tekanan.

8. Temperatur/Suhu

Temperatur yang terdapat pada batas tersebut disebut temperatur maksimum dan tekanan pada gas yang terjadi pada batas tersebut dikatakan tekanan maksimum.

9. Derajat panas atau tingkat kedinginan.

Ukuran suhu dinyatakan dengan angka ini disebut seperti $^{\circ}\text{C}$ (derajat celcius), $^{\circ}\text{F}$ (Fahrenheit).

10. Kalor (Panas)

Kalor adalah suatu energi dengan satuan kalor joule (J) dan berupa energi yang dapat dipindahkan, tetapi tidak dapat dihilangkan dengan energi yang diterima oleh benda, sehingga suhu benda mengalami perubahan wujud.

a. Kalor Jenis

Kalor jenis suatu zat ialah jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 kilo zat sebesar 10K atau satu derajat Kelvin. Bilangan kalor jenis dinyatakan dengan satuan $K \text{ Cal/Kg } ^\circ\text{C}$.

b. Panas Bebas

Memanaskan atau mendinginkan suatu benda menyebabkan suhu dari benda tersebut mengalami perubahan. Panas yang mempengaruhi langsung suatu benda disebut panas bebas.

c. Kalor Laten

Panas yang diperlukan untuk mengubah wujud zat dari padat menjadi cair, dan cair menjadi gas atau sebaliknya tanpa mengubah suhunya disebut kalor laten (panas laten). Satuan Kalor Laten : Joule, Kalori, BTU.

d. Kalor Sensibel

Kalor sensibel adalah jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan atau menurunkan suhu suatu benda. Satuan dalam: Joule, Kalori, atau BTU.

e. Massa Jenis

Massa sebuah benda dinyatakan sebagai banyaknya zat atau materi yang terkandung dalam suatu benda dengan satuan Kg. Massa jenis suatu zat ialah massa zat tersebut dibagi volumenya pada suhu 0°C dengan satuan Kg/m^3 , Kg/l .



BAB III SISTEM ZERO ENERGY COOL CHAMBER (ZECC)

Teknik pengawetan yang paling bagus digunakan untuk buah dan sayur yaitu teknik pendinginan secara alami atau dengan menciptakan alat yang dapat menurunkan suhu secara alamiah, tanpa menggunakan listrik maupun freon. Dengan memanfaatkan pendinginan, maka hasil pertanian terutama buah dan sayur dapat dipertahankan hal ini dikarenakan suhu rendah dapat menghambat laju respirasi pasca pemanenan yang merupakan faktor terjadinya reaksi kimia dan biokimia. Terdapat dua cara yang dapat dilakukan untuk menghambat reaksi-reaksi tersebut yaitu melalui penurunan suhu dan aw (Praptiningsih, Yhulia, Maryanto, & Tamtarini, 1999).

3.1 Pengertian Zero Energy Cool Chamber (ZECC)

Penyimpanan dingin banyak digunakan di industri pertanian dan makanan, seperti menyimpan buah dan sayuran di musim panas dan menjualnya di musim dingin. Suhu penyimpanan yang digunakan yaitu suhu ideal untuk buah dan sayuran segar seperti pendinginan mekanis. Namun, ruang penyimpanan dingin yang sering digunakan banyak mengkonsumsi listrik (Wang et al., 2017), sehingga diperlukan

ruang pendingin berenergi rendah dan ramah lingkungan yang terbuat dari bahan yang tersedia seperti ZECC.

Kerugian yang terjadi pada tanaman hasil pertanian pascapanen di beberapa negara berkembang sangat bergantung pada area produksi, musim, penyimpanan yang memadai, pasokan energi, fasilitas transportasi dll. Selain itu, hasil pertanian seperti buah dan sayuran sangat sensitif terhadap suhu tinggi dan kelembaban yang relatif rendah sehingga menyebabkan petani telah kehilangan antara 30% hingga 40% dari produksi buah dan sayuran sebelum proses distribusi ke konsumen (P. Islam & Morimoto, 2015).

Berdasarkan kedua faktor ini, sebuah sistem penyimpanan *ecofriendly* disebut "*Zero energy cool chamber* (ZECC) telah dikembangkan (Morimoto, 2001). *Zero energy cool chamber* atau ZECC merupakan sistem penyimpanan *ecofriendly* atau ramah lingkungan yang digunakan untuk menyimpan buah dan sayuran tanpa energi listrik (Islam and Morimoto, 2015; Islam, Morimoto and Hatou, 2013).

Penyimpanan dingin lainnya yaitu *Coolgardie safe*. *Coolgardie safe* merupakan kulkas atau pendingin alami yang berasal dari kota *Coolgardie* di Australia yang tidak menggunakan listrik dan keberadaannya sudah diketahui sejak lama. Jenis pendingin ini merupakan alat yang paling sederhana untuk mendinginkan makanan dan minuman.

Coolgardie safe dibuat dengan memanfaatkan kawat, kayu atau bambu, karung goni serta ember atau alat penampung air lainnya, seperti:

1. Membuat rangka lemari dari kawat

2. Rangkaian lemari tersebut kemudian ditutupi karung goni yang menghubungkan ke ember berisi air sehingga dapat menyerap air.
3. Sebagian ujung karung dicelupkan kedalam air hingga karung goni tersebut benar-benar basah yang selanjutnya akan menyerap udara panas yang dikeluarkan sayuran dengan mendinginkan bahan dengan cara penguapan air atau konsep *evaporative cooling* sehingga sayuran mampu bertahan hingga satu minggu.
4. *Coolgardie safe* ditempatkan ditempat yang berangin dengan tujuan agar angin dapat membantu proses penguapan yang menyebabkan isi dari kulkas ini mengalami penurunan suhu dan menjadi dingin.

3.2 Sejarah Singkat ZECC

Konsep penggunaan air untuk pendinginan dengan prinsip evaporasi sudah mulai populer pada ratusan tahun yang lalu. Pendinginan melalui proses evaporasi adalah fenomena fisika dimana evaporasi cairan tersebar ke udara kemudian mendinginkan benda atau cairan yang bersentuhan dengannya. Menurut catatan sejarah, sistem pendinginan untuk bahan pangan ditemukan pertama kalinya di Mesir. Hal ini tergambar pada lukisan dinding, dimana terlihat guci yang berisi air di angin-anginkan secara manual sehingga terjadi proses evaporasi yang dilanjutkan proses pendinginan (P. Islam & Morimoto, 2015). Sejak saat itu pendinginan berdasarkan prinsip evaporasi berkembang terus. Salah satu contohnya, sebuah pendingin ditemukan di Iran beberapa ratusan tahun yang lalu. Kemudian pada tahun 1800 an, pabrik tekstil di

Inggris mulai menggunakan sistem pendingin evaporative untuk mendinginkan mesinnya.

Sebelum tahun 2000 tepatnya pada tahun pada tahun 1985, Roy and Khardi membangun sebuah sistem pendingin sederhana dengan kapasitas 100 kg yang di dukung oleh *the Indian Agricultural Research Institute*. Lantai dari penyimpanan dingin terbuat dari satu lapisan batu bata (Roy & Khardis, 1885). Kemudian dindingnya juga terbuat dari batu bata yang diberi ruang kosong sekitar 76.2 mm. Ruang kosong tersebut kemudian diisi dengan pasir. Sebuah atap yang terbuat dari daun digunakan untuk melindungi penyimpanan dingin dari sinar matahari. Setelah itu dinding, lantai dan pasir dialiri dengan air. Sesekali penyimpanan dingin ini dibasahi sempurna, dengan teknik ini pendingin akan mampu mempertahankan RH 90% dan suhu 10-15°C. Hasil penelitian lain di India juga menunjukkan hasil yang memuaskan untuk penggunaan ZECC pada buah mangga. Mangga yang sudah masak dapat diperpanjang masa simpannya 3-4 hari dibandingkan mangga yang disimpan pada suhu ruang. Sedangkan mangga yang mengkal ketika disimpan pada ZECC dapat disimpan selama 9 hari (P. Islam & Morimoto, 2015).

Pada tahun 2003, sebuah penelitian dilakukan berkaitan dengan kuantitas air yang digunakan pada ZECC (Ganesan, 2004). Pada penelitian ini, terung disimpan pada ZECC pada suhu ruang dengan 3 perlakuan jumlah air digunakan kedalam pasir ZECC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kehilangan berat meningkat pada suhu ruang dan menurun pada setiap penambahan air 100 liter per harinya. Sehingga mereka menyimpulkan bahwa masa simpan terung bertambah 9 hari dengan penambahan air 100 liter perhari. Narayana et al juga

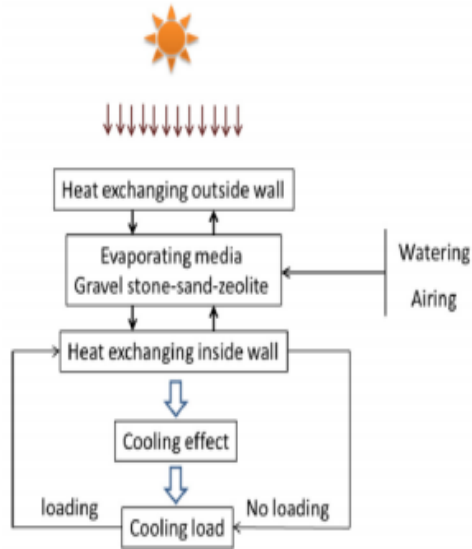
mempelajari kualitas pisang yang dikemas dengan *low-density polyethylene* pada berbagai kondisi penyimpanan berbeda yaitu: suhu ruang, *zero energy cool chamber* dan 13.5°C suhu rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan terbaik adalah pada suhu rendah dan yang terburuk adalah pada suhu ruang. Hasil lainnya menunjukkan tidak ada perbedaan secara signifikan untuk total asam pisang untuk ketiga perlakuan (Ck, M, & Sathiamoorthy, 2002). Studi lain yang bertujuan untuk melihat perubahan total asam buah jeruk yang disimpan pada ZECC dan suhu ruang telah diteliti oleh (Prabha, Sharma, & Verma, 2006). Sampel di kemas pada plastik *polymeric film* dengan berbagai macam ventilasi, yaitu 0.00%, 0.50% dan 1.00%. Sedangkan sisa sampel dijadikan sebagai perlakuan kontrol. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa ZECC efektif untuk mempertahankan total asam selama penyimpanan jeruk (Prabha et al., 2006). Kombinasi antara ZECC, kemasan dan pelilinan juga telah diteliti oleh Dhumal and Karale (Dhumal and Karale 2008) . Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa ZECC efektif dalam memperpanjang masa simpan buah *aonla* hingga 24 hari tanpa adanya kerusakan fisik maupun kimia. Kerusakan cepat terjadi pada sampel tanpa perlakuan (kontrol) dibandingkan dengan buah yang di beri perlakuan kimia dan kemasan. Penelitian lain pada buah *aonla* telah dilakukan oleh Singh dkk. Singh et al. meneliti tentang ZECC dikombinasi dengan beberapa *treatment* kimiawi, misalnya CaCl_2 , mustard dan K_2SO_4 (Singh & Lata, 2010). Buah *aonla* diberi perlakuan dengan 1.5% CaCl_2 dan disimpan pada ZECC. Hasil penelitian menunjukkan kerusakan buah dapat dikurangi 16.5%, laju respirasi sebesar 83 mg $\text{CO}_2/\text{kg}/\text{jam}$) dan buah dapat disimpan lebih lama selama 11 hari. Lain halnya

dengan buah yang tidak diberi perlakuan kimiawi hanya bertahan 9 hari saja. Laju respirasi tertinggi terjadi pada perlakuan kontrol sebesar 88.1 mg CO₂/kg/jam pada hari penyimpanan hari ke 13. Olehnya itu dapat disimpulkan bahwa kombinasi penambahan 1.5% CaCl₂ dan ZECC merupakan kombinasi terbaik dalam mempertahankan kualitas buah.

3.3 Prinsip kerja ZECC

Prinsip kerja ZECC adalah sebagai berikut: ketika sebuah permukaan yang kering pada dinding luar sebuah alat penukar panas berinteraksi dengan udara, permukaan dalam yang basah menyerap panas dari sisi yang kering dan selanjutnya mentransfer panas tersebut pada medium penguapan. Akibatnya, molekul air yang ada pada medium penguapan melepaskan panas tersebut ke lingkungan melalui penguapan sehingga dapat mendinginkan sisi yang kering dari *storage chamber*. Jika buah dan sayuran disimpan pada *storage chamber* tersebut maka temperatur dalam *storage chamber* akan meningkat karena proses respirasi buah dan sayuran tersebut. Dengan meningkatkan frekuensi dari pemberian air, maka sangat memungkinkan untuk menurunkan temperatur *storage chamber* tersebut. Metode ini memiliki keuntungan yaitu menjaga temperatur yang lebih rendah tanpa penambahan kelembaban pada udara.

Diagram skematik *passive evaporative zero energy storage* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 25. Diagram schematic *passive evaporative zero energy storage*
(P. Islam & Morimoto, 2014)

Pengamatan eksperimental menunjukkan bahwa pada saat beroperasi, aliran udara panas yang dikeluarkan oleh bahan di dalam ruang penyimpanan ZECC mengalir secara terkontrol ke udara luar, aliran udara yang keluar memiliki keseimbangan yang sama dengan laju alir panas yang berada di area yang kontak langsung dengan dinding luar pendingin, media evaporasi dan dinding dalam dari pendingin evaporasi pasif. Akibatnya suhu udara kering di dalam ruang penyimpanan menjadi basah karena suhu udara yang bekerja di bagian dinding ruang yang basah pada penyimpanan meningkat dibandingkan suhu udara yang bekerja pada

dinding kering luar penyimpanan. Sehingga suhu produk yang disimpan menjadi kering dan jenuh.

3.3.1 Kesetimbangan Kalor dan Massa pada Medium Evaporasi

Massa yang berpindah melalui medium evaporasi pada volume $PAPT$ untuk setiap rentang waktu dt adalah

$$M_a = (\rho_a V_a + \rho_a V_a W_o) P_A P_s dt$$

Dimana

- P_a : massa jenis udara
- V_a : kecepatan aliran udara
- W_o : rasio kelembaban udara
- P_A : luas permukaan efektif medium evaporasi
- P_s : porositas medium evaporasi

Enthalphy udara yang mengalir melewati medium evaporasi dalam rantang waktu dt adalah

$$h_a = \frac{(\rho_a V_a + \rho_a V_a W_o C_v) T_o P_A P_s P_T}{V_A}$$

Dimana:

- T_o : temperatur udara luar dan
- C_v : kapasitas kalor uap air

Perubahan *enthalphy* udara yang melewati sisi ketebalan medium evaporasi akibat porositas dalam rentang waktu dt adalah

$$h_c = (\rho_a V_a + \rho_a V_a W_o C_v) \left[\frac{dT}{dP_T} \right] \left[\frac{P_A P_s P_T}{V_A} \right]$$

Dimana:

dT adalah perubahan temperatur udara yang melewati sisi ketebalan medium evaporasi dan dP_T adalah porositas medium evaporasi.

Perubahan *enthalphy* Q udara perunit ketebalan medium evaporasi disebabkan oleh perpindahan panas konveksi dari

udara ke medium evaporasi, yang dibutuhkan untuk proses evaporasi air pada medium evaporasi, yaitu:

$$Q = \frac{h^1 [T_0 - T_s] P_A P_S P_T}{V_A}$$

Dimana T_s adalah temperatur udara yang mengalir melewati medium evaporasi.

Perubahan *enthalphy* Q pada kalor *sensible* adalah sama dengan perubahan *enthalphyhc*, sehingga

$$\frac{dP_T}{dT} = \frac{h^1 (T_0 - T_s)}{(\rho_a V_a + \rho_a V_a W_o C_v)}$$

Selanjutnya, massa air yang dipindahkan perunit ketebalan dari medium evaporasi ke udara karena disebabkan oleh perbedaan tekanan partial uap antara aliran udara bebas dengan lapisan batas medium evaporasi. Laju aliran massa, M_T pada proses evaporasi tersebut adalah

$$M_T = \frac{h_p \rho_a V_a M_w (P_{vs} - P_{va}) P_A P_S P_T}{R_0 T_{abs} V_A}$$

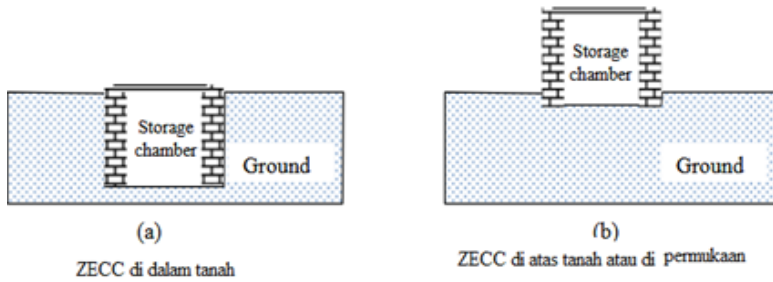
Dimana h_p adalah koefisien perpindahan massa, M_w adalah berat molekul air, P_{vs} adalah tekanan uap jenuh pada temperatur *wet-bulb*, P_{va} adalah tekanan parsial uap air pada aliran udara tidak jenuh, R_0 adalah konstanta gas universal dan T_{abs} adalah temperatur absolute yang dihitung sebagai temperatur rerata antara temperatur *wet-bulb* dan temperatur *dry-bulb*.

3.3.2 Kalor yang Dibutuhkan pada Proses Evaporasi Air Di dalam Medium Evaporasi

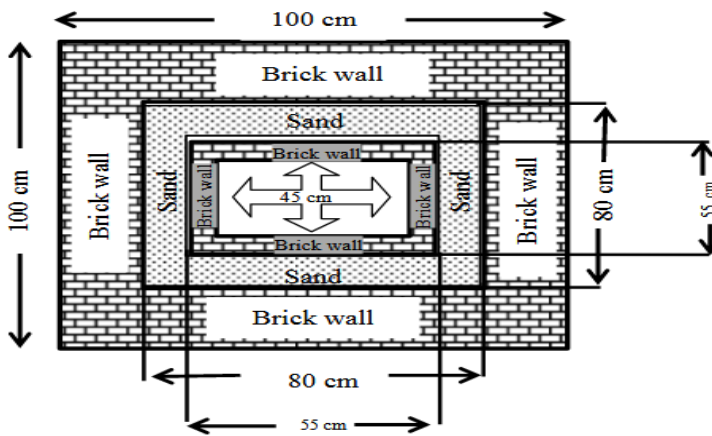
Kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan air dari medium evaporasi dalam rentang waktu dt adalah :

$$Q_w = M_T h_{fg}$$

Dimana h_{fg} adalah kalor penguapan.



Gambar 26. Jenis-jenis ZECC



Gambar 27. Kenampakan ZECC

3.4 Proses Pembuatan ZECC

ZECC menggunakan beberapa material atau alat-alat yang mudah ditemukan seperti paku, palu, skop, tali, meteran, rak buah dan beberapa alat lainnya sedangkan bahan-bahan yang digunakan seperti semen, batu-bata, dan air serta buah-buahan atau sayuran.

1. Pembuatan lubang dengan kedalaman 5 cm sebagai fondasi tempat ZECC.



Gambar 28. Lubang tempat ZECC

2. Penyusunan batu-bata dengan luas dan lebar 100 cm X 100 cm dan luas dinding bagian dalam sekitar 80 cm x 80 cm.



Gambar 29. Penataan batu bata sebagai dinding ZECC

Batu merah disusun dalam lubang dengan menggunakan semen dimana luas dan lebar dinding luar sebesar 100 cm X 100 cm sedangkan dinding bagian dalam menggunakan batu bata yang diletakkan secara vertikal dengan luas sekitar 80 cm X 80 cm.



Gambar 30. Penampakan dinding ZECC bagian dalam dan luar

3. Penambahan pasir.



Gambar 31. Penambahan pasir

Penambahan pasir dilakukan untuk menutupi semua ruas antara dinding dalam dan dinding bagian luar.

4. Pembuatan tempat ZECC berbahan daun nipah, untuk melindungi paparan cahaya matahari secara langsung.



Gambar 32. ZECC dengan atap daun nipah

Penggunaan daun nipah sebagai atap dimaksudkan untuk melindungi ZECC dari paparan sinar matahari secara langsung. Pengisian air sebanyak 20 liter per hari



Gambar 33. Penambahan air pada ZECC

Penambahan air dilakukan setiap hari dan digunakan untuk meningkatkan kelembaban (RH) dan menurunkan suhu di sekitar ruang penyimpanan.

5. Penambahan *styrofoam* sebagai bagian penutup ZECC



Gambar 34. Penutup ZECC

Penutup ZECC berbahan dasar *Styrofoam* yang dipotong sesuai dengan ukuran ZECC yang berfungsi untuk melindungi buah dari serangga dan mempertahankan kelembaban dan suhu dalam ruang penyimpanan.

6. Preparasi buah yang akan disimpan pada ZECC



Gambar 35. Preparasi buah dan sayur

Buah dan sayur yang akan disimpan dalam ZECC disortasi untuk mengurangi kontaminsi dari lingkungan yang dapat menyebabkan kerusakan pada buah dan sayur.



Gambar 36. Penyimpanan buah pada ZECC

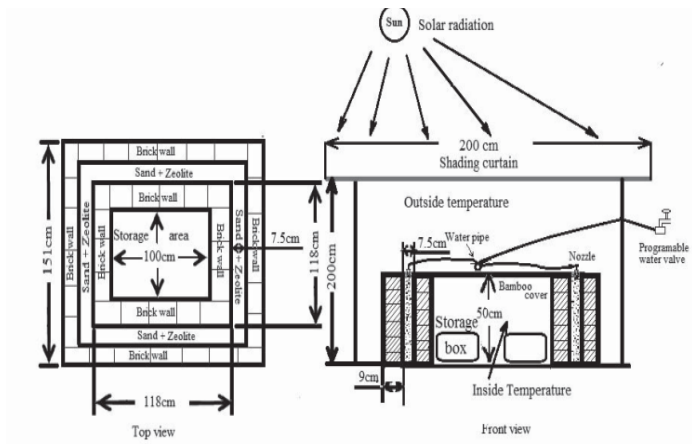
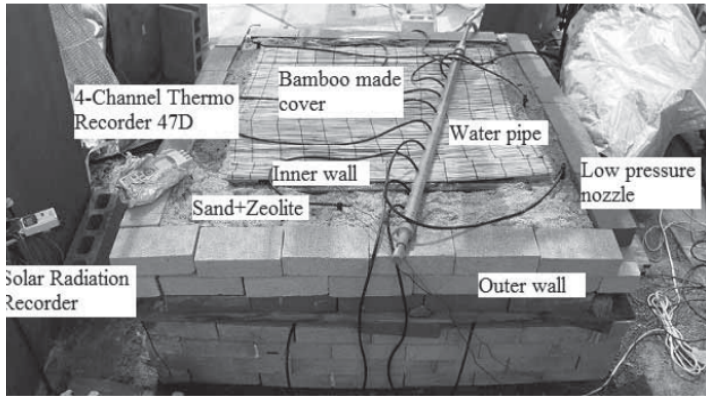
7. ZECC sebagai penyimpanan buah dengan suhu dingin tanpa menggunakan listrik



Gambar 37. ZECC sebagai penyimpanan dingin tanpa menggunakan energi listrik

3.5 Komponen penyusun ZECC

ZECC merupakan alat penyimpanan dingin yang terbuat dari beberapa material seperti batu bata, pasir dan beberapa material lainnya. Bahan-bahan tersebut dimanfaatkan untuk mendinginkan ruang di dalam ZECC.

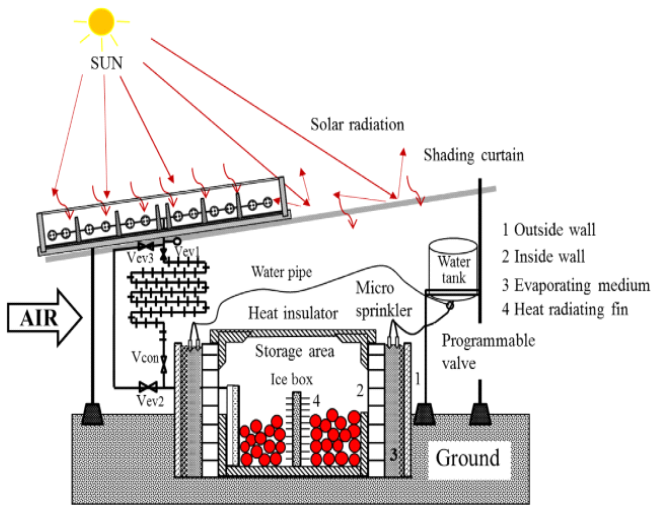


Gambar 38. Pictorial (atas) dan penampang lintang (bawah) dari ZECC (Morimoto, 2001)

Penyimpanan dengan menggunakan ZECC dapat mempertahankan kelembaban yakni kelembaban relatif tinggi dibandingkan dengan suhu di luar. Suhu di dalam ZECC dapat dikurangi melalui proses mekanisme pendinginan evaporative dan menggunakan atap nipa untuk melindungi ZECC terhadap paparan langsung radiasi matahari. Kondisi kelembaban pada dinding di ZECC dan kondisi tanah juga membantu untuk mempertahankan kelembaban relatif lebih tinggi. Percobaan

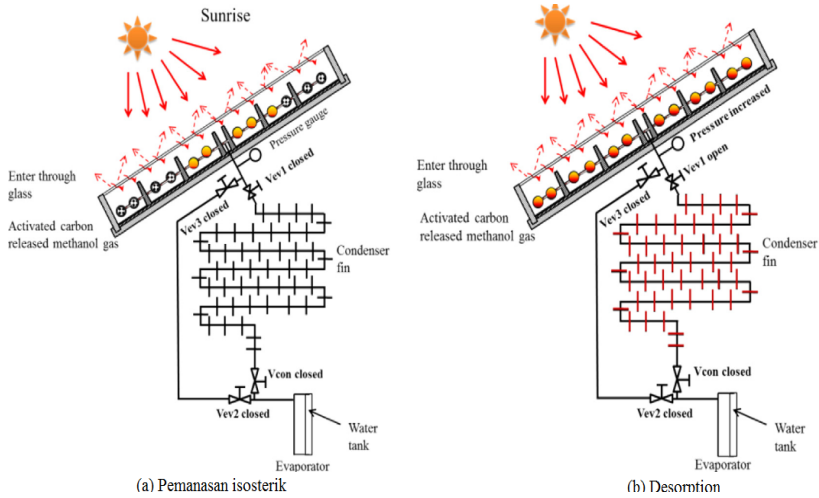
yang telah dilakukan, memberikan informasi bahwa saat menyiram, tirai shading dalam suhu ZECC berkurang dari 27,8 °C menjadi 13,8 °C, dan kelembaban berkerut dari 65,9% menjadi 91,7%. Tetapi di bawah tidak ada air dan tidak ada kondisi shading.

Berikut ini adalah contoh ZECC yang menggunakan dua sistem pendingin.



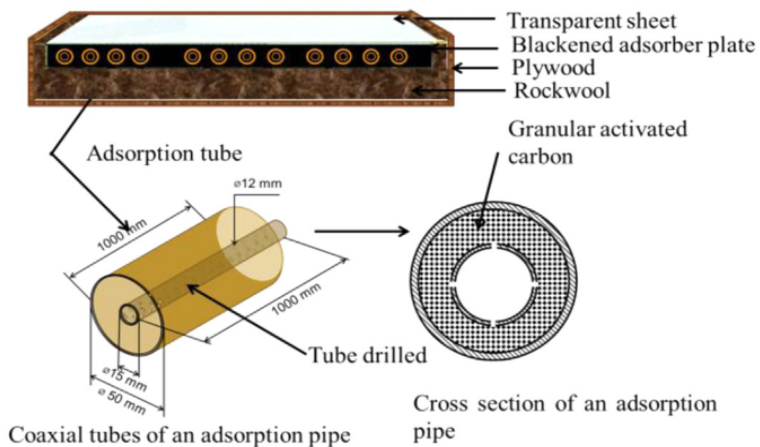
Gambar 39. ZECC dengan dua sistem pendingin yang ramah lingkungan (P. Islam & Morimoto, 2014)

Terdapat dua sistem pendingin yaitu kulkas adsorpsi yang digerakkan oleh matahari yang menguap metanol dan menyerap metanol pada karbon aktif dan pendinginan evaporatif dari dinding.



Gambar 40. Pendinginan isosteric adsorben
(P. Islam & Morimoto, 2014)

Pada proses ini terjadi pindah panas dari karbon aktif dan metanol dalam kondensor kemudian hilang karena adanya udara dingin dari luar dan keseimbangan energi.



Gambar 41. Kolektor surya dengan model flat datar
(P. Islam & Morimoto, 2014)





BAB IV APLIKASI ZECC PADA BEBERAPA BUAH DAN SAYUR

Kualitas buah-buahan dan sayuran pasca panen sangat dipengaruhi oleh hilangnya kelembaban, pembusukan dan kerusakan fisiologis. Kerusakan tersebut terkait dengan suhu penyimpanan, kelembaban relatif, sirkulasi udara, kerusakan mekanis dan pasca panen yang tidak tepat (FAO / WHO, 2003). Beberapa hasil komoditi yang telah diaplikasikan pada ZECC yaitu terung, tomat dan beberapa buah lainnya.

4.1 Terung (*Solanum melongena*, L.)



Gambar 42. Terung
(*Growing Eggplant Successfully in Cooler Climates - Garden Mentors, 2012*)

Terung atau telur tanaman (*Solanum melongena*), salah satu tanaman sayuran dari keluarga Solanaceae, ditanam secara komersial di bawah kondisi iklim kering dan semi-kering. Preferensi konsumen sangat bervariasi berdasarkan warna, ukuran dan bentuk (Ganesan, 2004).

Terung merupakan jenis tanaman sayur-sayuran berbentuk buah dan memiliki kandungan gizi yang cukup lengkap. Tanaman terung yang dalam bahasa Inggris disebut *eggplant* merupakan tanaman daerah tropis yang berasal dari benua Asia, terutama Indonesia, India dan Myanmar (Mashudi, 2007).

Terung dapat tumbuh dengan baik pada ketinggian hingga 1.200 meter di atas permukaan laut. Dari kawasan tersebut pada abad ke-5 terung disebarkan ke Cina dan selanjutnya disebarluaskan ke Arabia, Afrika Tengah, Afrika Timur, Afrika Barat, Amerika Selatan, dan daerah tropis lainnya.

Menurut (Rukmana, 2006), klasifikasi tanaman terung adalah sebagai berikut:

Divisio	: Spermathophyta
Sub-divisio	: Angiospermae
Kelas	: Dycotyledonae
Ordo	: Tubiflorae
Famili	: Solanaceae
Genus	: Solanum
Spesies	: <i>Solanum melongena</i> L

Tanaman terung banyak mengandung gizi yang cukup tinggi dan komposisi yang lengkap seperti kalium dan vitamin A yang berguna bagi tubuh. Komposisi kimia terung per 100 gram yaitu air 92,70 gram; abu (mineral) 0,60 gram; besi 0,60 mg;

karbohidrat 5,70 gram; lemak 0,20 gram; serat 0,80 gram; kalori 24,00 kal; fosfor 27,00 mg; kalium 223,00 mg; kalsium 30,00 mg; protein 1,10 gram; natrium 4,00 mg; vitamin B3 0,60 mg; vitamin B2 0,05 mg; vitamin B1 10,00 mg; vitamin A 130,00 SI; dan vitamin C 5,00 mg (Direktorat Gizi) (Budiman, 2008). Selain mengandung vitamin dan mineral, terung ungu juga mengandung fitonutrien yang penting. Fitonutrien ini memiliki efek antioksidan. Fitonutrien yang terdapat pada terung ungu termasuk komponen asam fenol antara lain kafein dan asam klorogenik yang terdapat pada buah, sedangkan yang termasuk flavonoid adalah nasunin. Maka dari itu, komoditas terung sangat potensial untuk dikembangkan secara intensif dalam skala agribisnis sekaligus menyumbang cukup besar terhadap keanekaragaman pangan bergizi bagi penduduk (Rukmana, 2006).

4.1.1 Morfologi Tanaman Terung

Terung ungu memiliki bentuk yang beragam yaitu lonjong, silindris, bulat atau oval. Dalam satu tangkai umumnya terdapat satu buah terung, tetapi ada juga yang memiliki lebih dari satu buah. Letak buah terung tergantung dari tangkai buah. Biji terung banyak dan tersebar di dalam daging buah dan menghasilkan biji yang ukurannya kecil-kecil berbentuk pipih dan berwarna cokelat muda. Biji ini merupakan alat reproduksi atau perbanyak tanaman secara generatif (Rahma, 1994).

Bunga terung ungu sering disebut sebagai bunga banci, karena memiliki dua kelamin. Daun kelopak melekat pada dasar buah, berwarna hijau atau keunguan. Dalam satu bunga terdapat alat kelamin jantan (benang sari) dan alat kelamin betina (putik). Bunga terung berwarna biru dan berbentuk

bintang, berwarna cerah sampai gelap. Penyerbukan bunga terung dapat berlangsung secara silang maupun menyerbuk sendiri (Rahma, 1994)

Batang tanaman terung dibedakan menjadi dua macam, yaitu batang utama (batang primer) dan percabangan (cabang sekunder). Batang utama merupakan penyangga berdirinya tanaman, sedangkan percabangan merupakan bagian tanaman yang mengeluarkan bunga. Bentuk percabangan tanaman terung yaitu *dikotomi*. Batang utama bentuknya persegi (angularis), sewaktu muda berwarna ungu kehijauan, setelah dewasa menjadi ungu kehitaman. Daun muda berwarna hijau tua, sedangkan yang telah tua berwarna ungu kemerahan untuk bunga terung sendiri merupakan bunga berkelamin dua karena dalam satu bunga terdapat alat kelamin jantan (benang sari) dan alat kelamin betina (putik). Bunga ini juga dinamakan bunga sempurna atau bunga lengkap, karena perhiasan bunganya terdiri dari kelopak bunga, mahkota bunga (*corolla*) dan tangkai bunga. Pada saat bunga mekar, bunga mempunyai diameter rata-rata 2-3 centimeter dan letaknya menggantung. Mahkota bunga berwarna ungu cerah, jumlahnya 5-8 buah, tersusun rapi membentuk bangun bintang. Bunga terung berbentuk seperti bintang berwarna biru atau lembayung cerah sampai warna yang lebih gelap. Bunga terung tidak mekar secara serempak dan penyerbukan bunga dapat berlangsung secara silang ataupun menyerbuk sendiri (Imdad & Nawangsih, 1999)

Penggunaan benih dari varietas tanaman terung yang berbeda yang digunakan oleh petani sehingga menghasilkan berbagai keragaman tanaman dan tipe buah yang berbeda. Berikut ini adalah macam-macam varietas terung dari beberapa perusahaan yang telah dikembangkan dan dibedakan

berdasarkan bentuk, ukuran, dan warna buah yang bervariasi (D S Hastuti, 2007) :

Tabel 7. Varietas terung dan karakteristiknya

No	Varietas	Asal perusahaan	Bentuk buah	Berat buah (gr)	Warna kulit buah
1	Mustang	East-West Seed Indonesia	BP	-	Ungu
2	Pingtung Long	Know You Seed Taiwan	BP	110	Ungu
3	Extra Long		BP	110	Ungu
4	Bride		BP	90	UM
5	Farmers Long		BP	100	UKM
6	Black Coral	Hungnong, Seed korea	BP	-	UKM
7	Black King	Takii Seed Jepang	BL	550	Hitam
8	Black Enorma		BL	650	Hitam
9	Black Bumper		SBL	550	Hitam
10	Shoya Long		BP	250	Hitam
11	Money Maker no.2		BL	100	Hitam
12	Black Dragon		BP	80	Hitam
13	millionaire		BP	200	Hitam
14	Black Shine		SBP	220	Hitam
15	Vista	Sakata Seed Jepang	BL		UKH
16	No. 29		BP		UKH
17	Early Bird		BP		UKH
18	Short Tom		SBP		Hitam
19	Long Tom		BP		Hitam
20	Kurume Long		BL		Hitam
21	Dusky	Petoseed USA	BL		UKH
22	Black Bell		BL		UKH
23	Blacknite		BL		Hitam
24	Easter Egg		BL		PKK
25	Epic		BL		UKH
26	Ichiban Ps		BP		UKH

Keterangan : BP (Bulat Panjang), BL (Bulat), SBP (Semi Bulat Panjang), UM (Ungu Muda), UKM (Ungu Kemerah-merahan), UKH (Ungu Kehitam-hitaman), PKK (Putih Kekuning-kuningan) Samadi (2001) dalam (Dwi sri hastuti, 2007)

Terung termasuk kelompok buah non klimaterik, dimana setelah dipanen buah masih melakukan aktivitas metabolisme seperti respirasi, transpirasi dan produksi etilen, hanya saja proses respirasinya berlangsung lambat. Aktivitas tersebut mempercepat terjadinya penuaan, kelayuan dan juga pembusukan. Sebagai buah non klimaterik, kenaikan pola respirasi terung dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan waktu simpan. Untuk menghambat laju respirasi yang terjadi setelah terung dipanen, beberapa penanganan pascapanen perlu dilakukan. Hal ini bertujuan untuk memperpanjang umur simpan terung, sehingga terung masih tetap segar sampai di tangan konsumen.

Terung yang disimpan sebelum sampai di tangan konsumen telah mengalami beberapa penurunan kualitas fisik seperti luka pada buah, beberapa bagian buah sudah lembek/layu, pencoklatan (*browning*). Oleh karena itu, untuk memperlambat kerusakan ini maka dilakukanlah *precooling* dan penyimpanan dingin pada terung. Pendinginan awal (*precooling*) pada buah-buahan dan sayuran dapat memperpanjang kesegarannya. Buah setelah dipanen segera disimpan di tempat yang dingin atau sejuk, tidak terkena sinar matahari, agar panas yang terbawa dari kebun dapat segera didinginkan dan mengurangi penguapan,

Sehingga kesegaran buah dapat bertahan lebih lama. Setelah *precooling*, penyimpanan pada suhu rendah dilakukan guna memperpanjang masa hidup jaringan-jaringan dalam bahan pangan karena aktivitas respirasi menurun dan menghambat aktivitas mikroorganisme. Penyimpanan dingin tidak membunuh mikroba, tetapi hanya menghambat

aktivitasnya, oleh karena itu setiap bahan pangan yang akan didinginkan harus dibersihkan lebih dahulu (AVRDC, 2011).

Terung termasuk buah non klimaterik dimana setelah buah dipanen masih melakukan aktivitas metabolisme seperti respirasi, transpirasi dan produksi etilen, hanya saja proses respirasinya berlangsung lambat. Aktivitas tersebut akan mempercepat terjadinya penuaan, pelayuan dan juga pembusukan sehingga perlu dilakukan proses penanganan yang lebih baik seperti penyimpanan dengan suhu dingin.

Akan tetapi, penyimpanan suhu dingin yang dilakukan perlu di lakukan pengaturan temperatur atau penyimpanan dengan suhu rendah atau penyimpanan optimal agar jangan terlalu rendah yang dapat mengakibatkan *chilling injury*. Kerusakan dingin atau kerusakan *chilling injury* bisa menyebabkan terung tidak layak untuk dikonsumsi dan dipasarkan karena tidak laku di pasaran.

Terung yang siap dipanen memiliki beberapa karakteristik dan ukuran sekitar 15-20 cm, kulit cemerlang mengkilap, dan buah terung terlihat padat berisi, berbentuk oval, dan warna merata pada permukaan kulit yang halus. Selain itu, terung dapat dikonsumsi pada saat hampir atau telah matang.

Beberapa jenis terung yang cukup dikenal di Indonesia menurut (D S Hastuti, 2007), yaitu :

1. Terung Telunjuk

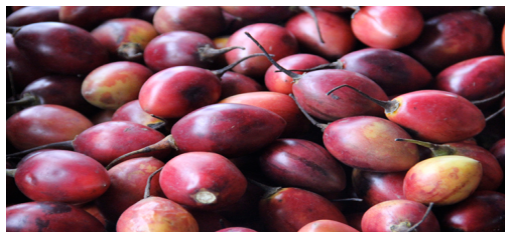


Gambar 43. Terung Telunjuk

Berbentuk bulat panjang berwarna hijau keseluruhan atau bercak putih, diameter lebih kurang 1-1,5 cm panjang kurang lebih 10-15 cm. Terung jenis ini sangat sulit dijumpai di beberapa pasar tradisional.

2. Terung Belanda

Terung belanda (*Solanum betaceum* Cav.) atau yang dikenal dengan sebutan tamarillo merupakan tanaman perdu jenis terung-terungan yang tergolong ke dalam famili *Solanaceae*. Tanaman ini berasal dari daerah Peru dan mulai dikembangkan di Indonesia seperti di daerah Bali, Jawa Barat dan Tanah Karo Sumatera Utara.



Gambar 44. Terung Belanda

3. Terung Kopek Ungu Biasa (Terung Kopek Putih)

Buah berukuran besar dan berbentuk bulat agak memanjang seperti buah advokat atau pear dengan bagian ujung buah bulat tumpul. Buah muda memiliki warna yang bervariasi, ungu muda, kuning atau hijau keputih-putihan sedangkan warna buah tua ungu keputihan. Buah tua biasanya dijadikan bahan sayur sedangkan buah muda biasanya dimanfaatkan untuk asinan dan manisan.



Gambar 45. Terung kopek ungu biasa

4. Terung Kopek Ungu

Buah berbentuk bulat-panjang dan ujungnya meruncing warna buah yang masih muda adalah ungu muda, warna buah ungu tua dimanfaatkan sebagai sayuran, asinan dan manisan.



Gambar 46. Terung kopek ungu



Gambar 47. Terung Belanda

5. Terung Kopek Ungu Biasa (Terung Kopek Putih)

Buah berukuran besar dan berbentuk bulat agak memanjang seperti buah advokat atau pear dengan bagian ujung buah bulat tumpul. Buah muda memiliki warna yang bervariasi, ungu muda, kuning atau hijau keputih-putihan sedangkan warna buah tua ungu keputihan. buah tua biasanya dijadikan bahan sayur sedangkan buah muda biasanya dimanfaatkan untuk asinan dan manisan.



Gambar 48. Terung kopek ungu biasa

6. Terung Kopek Ungu

Buah berbentuk bulat-panjang dan ujungnya meruncing warna buah yang masih muda adalah ungu muda, warna buah ungu tua dimanfaatkan sebagai sayuran, asinan dan manisan.



Gambar 49. Terung kopek ungu

7. Terung Gelatik (Terung Lalap)

Buah masak berbentuk bulat kecil, warna kulit buahnya ungu atau putih keunguan, cita rasanya renyah dan manis dan memiliki umur simpan buah terpendek dan daging buah renyah.



Gambar 50. Terung lala

Terung merupakan tanaman yang cukup bergizi, rendah kalori, lemak, dan merupakan makanan yang kadar tepung sangat sedikit sehingga sering digunakan sebagai sayuran serta memberikan nutrisi tambahan seperti kalium, Mg, asam folat, vitamin B6 dan A.

4.1.2 Pengemasan dan Penyimpanan Buah Terung pasca panen

Untuk mempertahankan tingkat kesegaran terung, beberapa cara yang dapat dilakukan yaitu dengan menyimpan pada suhu dingin atau dengan mengontrol atmosfer penyimpanan terung atau dengan menggunakan beberapa bahan pengemas seperti LDPE, mean, control, shrink-wrap dan kemasan HDPE.

Beberapa efek pengemasan pada kualitas terung pada penyimpanan 8-9 °C berdasarkan penelitian

Tabel 8. Komposisi gizi terung

Komponen	Kadar
Kadar kelembaban	92 %
Karbohidrat	4,0 %
Protein	1,4 %
lemak	0,3 %
serat	1,3 %

Asam oksalat	18 mg
Kalsium	18 mg
Magnesium	16 mg
Phosphor	47 mg
Besi	0,9 mg
sodium	3,0 mg
Tembaga	0,17 mg
Potasium	2,0 mg
Sulfur	44 mg
Chlorine	52 mg
Vitamin A	124 IU
Vitamin B	
Thiamin	0,4 mg
Riboflavin	0,11 mg
B- carotene	0,74 µg
Vitamin c	12 mg
Energi	24 kcal

Sumber : (Salunkhe & Kadam, 1998)

4.1.3 Hasil penyimpanan terung pada ZECC



Gambar 51. Penyimpanan Terung
(Ganesan, 2004)

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Ganesan, (2004) menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan dari dua percobaan, yaitu buah yang disimpan pada suhu ruang dan buah yang disimpan pada suhu dingin atau pada penyimpanan

ZECC. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan yakni. Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Ganesan, 2004) ini menunjukkan bahwa terung dapat mengalami perpanjangan masa simpan jika disimpan pada suhu dingin. Hal ini disebabkan karena kadar air optimum dalam pasir terus meningkatkan kelembaban relatif (RH) dan mengurangi suhu penyimpanan dingin dibandingkan dengan suhu luar ruangan.

4.2 Tomat

Tomat (*Lycopersicon esculentum mill*) merupakan komoditas sayuran yang mempunyai nilai ekonomi tinggi dan merupakan jenis tanaman hortikultura yang sangat banyak dimanfaatkan. Tanaman tomat berasal dari Amerika, yaitu daerah Andean yang merupakan bagian dari negara Bolivia, Cili, Kolombia, Ekuador, dan Peru. Semula di negara asalnya, tanaman tomat hanya dikenal sebagai tanaman gulma. Namun, seiring dengan perkembangan waktu, tomat mulai ditanam, baik di lapangan maupun di pekarangan rumah, sebagai tanaman yang dibudidayakan maupun tanaman yang dikonsumsi (Purwati & Khairunisa, 2007).



Gambar 52. Tomat

Kandungan gizi buah tomat dalam 100 g meliputi protein 1 g, lemak 0,3 g, karbohidrat 4,2 g, kalsium 5 mg, zat besi 0,5 mg, fosfor 27 mg, vitamin A (karoten) 1500 SI, vitamin B (thiamin) 60 mg dan vitamin C 40 mg (Pudjiatmoko, 2008). Karena kandungan gizi yang lengkap pada buah tomat, menjadikan buah tomat banyak digemari disetiap kalangan.



Gambar 53. Tanaman tomat

Taksonomi tanaman tomat diklasifikasikan sebagai berikut (Jones, 2008) :

Kingdom : *Plantae*
Subkingdom : *Tracheobionia*
Divisi : *Magnoliophyta*
Kelas : *Magnoliopsida*
Subkelas : *Asteridae*
Ordo : *Solanales*
Famili : *Solaneceae*
Genus : *Solanum* 10
Spesies : *Lycopersicon esculentum*

Buah tomat kaya akan vitamin C, antioksidan, vitamin E dan *lycopene*. Selain itu, buah tomat mengandung serat makanan alami yang sangat baik bagi pencernaan manusia. Kandungan buah tomat matang dalam 180 gram mengandung vitamin C 34,38 mg yang memenuhi 57,3% vitamin C dalam sehari. Kandungan serat mencapai 1,98 gram dan protein 1,53 gram.

Kadar *lycopene* yang terkandung dalam tomat segar berkisar antara 3,1 - 7,7 mg/100 gram (Tonucci, L. et al., 1995).

Kemampuan senyawa likopen setara dengan 100 kali kemampuan vitamin E untuk menangkal radikal bebas. Senyawa likopen pada buah tomat dapat diekstraksi untuk menghasilkan produk kesehatan (Kuswandi, Jayus, Larasati, Abdullah, & Heng, 2012). Selain itu, buah tomat juga mengandung solanin, saponin, asam folat, asam malat, asam sitrat, bioflavonoid termasuk lycopene, α serta β - karoten, protein, lemak, vitamin, mineral dan histamin (Canene-Adams, Campbell, Zaripheh, Jeffery, & Erdman, 2005). Beberapa penelitian menyebutkan bahwa tomat dapat dimanfaatkan sebagai obat diare, serangan empedu, gangguan pencernaan serta memulihkan fungsi liver (Fuhrman, Elis, & Aviram, 1997). Beberapa penelitian *in vitro* telah menemukan bahwa likopen memiliki aktivitas antioksidan yang kuat. Menurut Levy et al., (1995) likopen memiliki kemampuan untuk mengurangi kejadian kanker endometrium, kanker payudara, dan kanker paru-paru pada orang yang melakukan aktivitas dengan intensitas lebih tinggi dibandingkan dengan α dan β -karoten. Likopen memiliki kemampuan untuk menghambat pembentukan peroksida hidrogen dan nitrogen melalui penggunaan senyawa radikal bebas (Bohm F, Tinkler JH, 1995).

4.2.1 Morfologi Tomat

Tanaman tomat beraroma kuat, tinggi 30-90 cm, dan habitat seperti tanaman herba yang hidup tegak atau bersandar pada tanaman lain. Batang yang berbentuk bulat, kasar, trakhoma, rapuh, dan sedikit percabangan. Daun majemuk memiliki trakhoma pada helai dan tangkai daun, menyirip gasal, berselang-seling, dan memiliki trakhoma pada helai dan

tangkai daun. Bunga di tanaman tomat dua kelamin (hermaprodit), kelopak berwarna hijau dan berjumlah 5 buah, dan mahkota berjumlah 5 buah berwarna kuning. Alat kelamin buah tomat terdiri atas benang sari dan putik. Buah tomat merupakan buah tunggal yang juga terdiri dari buah buni, yang memiliki daging lunak sedikit keras, berwarna merah saat matang, dan memiliki kulit tipis yang banyak mengandung air.

4.2.2 Kandungan Gizi dan Manfaat

Tomat mengandung vitamin dan mineral yang diperlukan untuk pertumbuhan dan kesehatan. Buah tomat memiliki zat pembangun jaringan tubuh manusia dan zat yang dapat meningkatkan energy untuk bergerak dan berpikir, yaitu karbohidrat, protein, lemak, dan kalori (Cahyono, 2008). Sebagai sumber vitamin, buah tomat baik untuk mencegah dan mengobati berbagai macam penyakit, seperti exophthalmia pada mata karena kekurangan vitamin A, sariawan karena kekurangan vitamin C, bibir merah dan radang lidah karena kekurangan vitamin D.

Buah tomat sebagai sumber nutrisi penting untuk perkembangan tulang dan gigi (zat kapur dan fosfor). Tomat mengandung zat besi (Fe), yang diperlukan untuk produksi sel darah dan hemoglobin. (Cahyono, 2008). Tomat juga mengandung serat yang membantu mempercepat proses pencernaan di perut. Tomat juga mengandung potasium, yang bermanfaat untuk menurunkan gejala tekanan darah tinggi. Tomat mengandung belerang, yang dapat membantu menghindari peradangan hati dan radang usus buntu. Tomat mengandung klorin, yang dapat merangsang fungsi hati dan

membuatnya lebih aktif dalam membersihkan zat yang tidak dibutuhkan dari tubuh (Cahyono, 2008).

Tomat kaya akan likopen, kelompok karotenoid yang mencakup beta-karoten dan bertanggung jawab atas warna merahnya. Likopen dapat melindungi tubuh dari penyakit seperti kanker prostat, serta bentuk lain dari kanker dan penyakit jantung koroner. Kemampuan likopen untuk menyerap oksigen tunggal adalah dua kali lipat dari beta-karoten dan sepuluh kali lipat dari alfa-tokoferol (Sunarmani, 2008).

Beberapa penelitian telah menunjukkan manfaat *lycopene* bagi kesehatan. Likopen bermanfaat bagi kesehatan wanita dalam pengobatan kanker payudara dan osteoporosis. Hubungan antara beberapa karotenoid, terutama jenis likopen, dan kanker serviks telah diselidiki. Hanya likopen yang terbukti memiliki sifat protektif (Sunarmani, 2008).

4.2.3 Komposisi Buah Tomat

Buah tomat memiliki jumlah zat terlarut dalam air bervariasi dari 4,5-7% dengan fruktosa dan glukosa sebagai zat yang paling dominan. Kandungan nutrisi buah tomat dapat dilihat pada tabel 10:

Tabel 9. Kandungan Nutrisi Buah Tomat

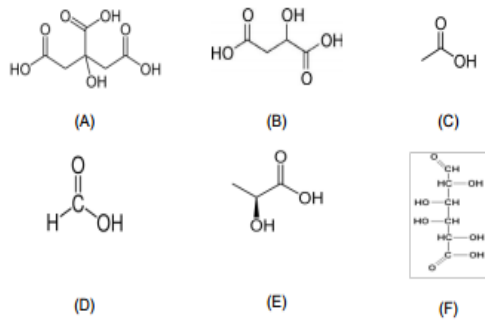
Kandungan	Kadar	Satuan
Air	93,5	(%)
Kalori	22	kkl
Protein	1,1	g
Berat	0,2	g
Karbohidrat	4,7	g
Total	0,5	g
Serat	0,5	g
Kadar abu	0,5	g

Kalsium	13	mg
Fosfor	27	mg
Zat besi	0,5	mg
Sodium	3	mg
Potasium	244	mg
Vitamin A	900	I.U
Thiamin	0,06	mg
Riboflavin	0,04	mg
Niacin	0,7	mg
Asam Askorbat	23	mg

Sumber : (Gould, 1992)

Asam sitrat adalah asam organik yang paling umum dalam tomat. Asam malat merupakan asam organik yang memberikan kontribusi paling besar terhadap rasa tomat, selain asam sitrat. Gambar 41 menggambarkan struktur kimia asam organik yang berasal dari tomat. Asam asetat, format, trans-asonitik, laktat, galakturonat, dan -okso juga ditemukan.

Keasaman buah tumbuh hingga mencapai nilai maksimum dan kemudian menurun seiring buah matang dari hijau tua menjadi merah. Keasaman buah tomat sangat penting untuk rasa dan pengolahan karena butir, bakteri termofilik, dan pembusukan anaerobik tidak dapat tumbuh pada tingkat pH di bawah 4,3. Spora mikroorganisme sulit dihancurkan ketika pH lebih dari 5 (Salunkhe, 1974).



Gambar 54. Struktur molekul asam-asam organik pada buah tomat. Asamsitrat; (B) Asam malat; (C) Asam asetat; (D) Asam format; (E) Asam laktat; (F) Asam galaktonat.

4.2.4 Cara Penentuan Kualitas Tomat

a. Warna

Fase pematangan tomat umumnya ditentukan oleh perubahan warna dari hijau menjadi merah. Pergeseran warna dari hijau ke merah pada tomat menunjukkan tingkat kematangan dan sensoris pada buah. Ketika tomat matang, rona hijau memudar karena klorofil dipecah dan karotenoid diproduksi dalam bentuk likopen, beta-karoten, dan xantofil tertentu. Karotenoid merupakan sumber aroma yang secara langsung menambah kesan sensoris tomat, selain sebagai indikator pematangan.

Komposisi pigmen yang terdapat pada genetik tomat sangat berperan penting pada tingkat warna. Selain pigmen, temperatur dari lingkungan juga sangat berperan penting pada pembentukan warna pada tomat.

b. Tekstur

Kualitas buah dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk tekstur. Tomat memiliki tekstur halus yang membantu melepaskan aroma dan rasa. Tekstur lunak pada tomat menjadi salah satu karakteristik yang dianggap normal oleh konsumen pada saat dipasarkan. Akibatnya, diperlukan penanganan yang hati-hati karena sangat rawan mengalami kerusakan. Tingkat kematangan selama panen sangat bervariasi, yang dapat menyebabkan kematangan yang tidak normal dan mempengaruhi tekstur tomat.

Tekstur memiliki fungsi membantu menentukan tingkat kekerasan dari kulit tomat, kekerasan daging dan tingkat material gelatin yang terdapat pada tomat. Kombinasi enzim seperti pektinase, glikosidase, dan glukonase memungkinkan tomat menjadi lunak.

4.2.5 Pematangan Tomat

Kandungan buah tomat berubah saat matang. Sampai mendekati pematangan, akan terjadi peningkatan total padatan dan gula, serta pergeseran komposisi, khususnya fruktosa. Tomat hijau masih akan diterima, meskipun faktanya tomat hijau lambat matang dan rentan terhadap kerusakan fisik dan pembusukan. Oleh sebab itu, perlu dilakukan identifikasi dan pengurangan pemanenan buah yang diambil secara tidak sengaja dengan membedakan buah hijau yang telah dewasa dan untuk mengurangi pembusukan buah. Teknik menyimpan buah di lemari es setelah panen atau memanfaatkan pendekatan lingkungan yang dimodifikasi akan menyebabkan buah tidak matang secara alami.

4.2.6 Jenis-jenis tomat

Jenis buah tomat banyak dipengaruhi oleh bentuk buah serta aplikasinya, selain itu juga diklasifikasikan berdasarkan bentuk ukuran tanamannya. (Fauziah, sumartini, & Asgar, 2010).

Berikut adalah jenis-jenis buah tomat berdasarkan bentuk dan ukurannya.

a. Tomat Plum



Gambar 55. Tomat Pulm

Tomat plum mirip buah plum dan memiliki bentuk oval serta merah ruby. Bentuk bulat lonjong, daging buah mengandung banyak air dan memiliki permukaan kulit yang tipis.

b. Tomat Beef



Gambar 56. Tomat Beef

Tomat beef memiliki bentuk paling besar, paling banyak dagingnya, dan merupakan jenis tomat beef yang paling padat karena memiliki ruang yang lebih banyak daripada yang lain. Tomat beef digunakan sebagai bahan pelengkap dalam sandwich, hamburger, dan berbagai hidangan lainnya karena ukurannya yang besar.

c. Tomat Ceri



Gambar 57. Tomat ceri

Tomat ceri berbentuk lonjong, kecil, dan dari jenis tak tentu, berwarna hijau pucat saat muda dan menjadi merah tua saat dewasa. Mayoritas tomat ceri ditanam di tanaman merambat. Tomat ceri dapat ditambahkan ke salad atau dimakan langsung dari kebun.

d. Tomat hijau

Tomat ini berwarna hijau, dan karena memiliki kadar air yang rendah, teksturnya sedikit kasar. Tersedia selama musim panas dan gugur. Tomat hijau adalah tomat yang dipetik sebelum benar-benar matang dan dimanfaatkan sebagai bahan tumis karena kesegarannya.

Antioksidan, vitamin A, C, dan K, serta zat besi, fosfor, dan mineral lainnya, semuanya dapat ditemukan dalam tomat hijau. Tomat hijau juga mengandung vitamin B kompleks serta Tomaintine, molekul alkaloid dengan sifat melawan kanker.



Gambar 58. Tomat Hijau

e. Tomat Pir



Gambar 59. Tomat Pir

Tomat pir memiliki bentuk yang hampir identik dengan buah pir dan memiliki ukuran yang sama. Tomat pir tidak sebesar buah pir. Tomat pir adalah tomat yang menghasilkan buah yang homogen, tahan retak dengan rasa manis dan asam. Memiliki berbagai warna, termasuk merah, oranye, dan kuning, dan memiliki rasa manis. Tomat pir bisa dimakan mentah atau ditambahkan ke salad sebagai elemen pelengkap.

F. Tomat Anggur



Gambar 60. Tomat Anggur

Tomat anggur adalah varietas tomat terkecil, menyerupai buah anggur. Tomat anggur berbentuk lebih bulat dan lebih kecil, memiliki bentuk buah yang berbeda dari tomat ceri, yang bentuknya lebih lonjong. Tomat anggur bisa dimakan mentah karena rasanya yang manis, meski sulit dijumpai di Indonesia.

Menurut (Trisnawati & Setiawan, 2013), tanaman tomat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu penggolongan varietas

tomat yang tidak resmi dan penggolongan varietas tomat yang resmi. Penggolongan varietas tomat yang tidak resmi dilihat berdasarkan bentuk, tandan, ketebalan daging, dan kandungan airnya. Bentuk buah tomat bervariasi ada yang bulat, seperti apel, bulat pipih serta berbentuk seperti bola lampu. Berikut jenis-jenis buah tomat:

1. Tomat Ceri

Bentuk buahnya kecil-kecil sebesar kelereng. Buahnya merah dan rasanya cukup manis. Sekarang sering ditanam secara hidroponik.

2. Tomat Biasa

Bentuk buahnya bulat pipih dan mempunyai alur-alur yang jelas di dekat tangkainya serta lebih lunak dan lebih sesuai ditanam di daratan rendah.

3. Tomat Apel

Bentuk buahnya bulat, kokoh dan agak keras seperti buah apel atau pir.

4. Tomat Kentang

Bentuk buahnya bulat besar-besar dan agak padat.

5. Tomat Keriting

Varietas ini disebut tomat keriting karena daunnya keriting seperti terserang penyakit atau virus. Tomat keriting sering juga disebut tomat gondol atau tipe roma. Tomat keriting berbentuk agak lonjong, keras dan memiliki kulit yang tebal sehingga tahan dalam pengangkutan jarak jauh.

Sedangkan penggolongan varietas secara resmi yang telah banyak ditanam oleh petani adalah sebagai berikut:

1. Varietas Intan

Varietas ini adalah kultivar Taiwan determinis dengan buah kecil berbentuk apel berukuran sedang (rata-rata 45 gram per buah) yang berwarna putih kehijauan saat belum matang dan merah saat matang. Tanaman ini tumbuh subur di lingkungan dataran rendah atau sedang dan tahan terhadap penyakit busuk daun.

2. Varietas Ratna

Varietas ratna adalah kultivar yang dibesarkan di Filipina. Buahnya berbentuk apel dengan permukaan halus atau sedikit bergelombang, dan berwarna putih kehijauan saat muda dan oranye hingga merah saat tua. Buah berukuran sedang (40 gram). Tanaman ini tumbuh subur di dataran rendah hingga sedang, tahan terhadap penyakit layu bakteri, dan rentan terhadap penyakit busuk daun. Potensi produksi berkisar antara 5 hingga 20 ton per hektar.

3. Varietas Berlian

Varietas ini merupakan introduksi Taiwan. Buahnya bulat, berwarna hijau muda saat muda, kemudian merah tua hingga oranye saat matang sepenuhnya. Buah berukuran sedang (43 gram). Tanaman tumbuh subur di dataran tinggi atau beriklim sedang. Potensi hasil 11–23 ton per hektar.

4. Varietas Mutiara

Varietas mutiara adalah hasil persilangan, dan buahnya berbentuk lonjong dengan permukaan halus. Tingginya sedang hingga agak tinggi. Buah muda berwarna putih kehijauan, tetapi buah dewasa berukuran besar dan berwarna merah tua (72 gram). Tanaman ini tahan terhadap penyakit layu bakteri dan penyakit busuk daun serta tumbuh subur baik di dataran rendah maupun di pegunungan. Hasil maksimal per hektar adalah 40 ton.

5. Varietas Money Maker

Varietas ini merupakan introduksi dari Belanda. Tanamannya agak tinggi (110 cm), bersifat *indeterminate* dan berumur sedang. Ketika masih muda, buahnya berwarna putih sederhana, tetapi ketika sudah matang warnanya menjadi merah jingga. Ukuran sedang (masing-masing 50 gram) dengan bentuk bulat halus. Potensi hasil perpokon adalah 1 kg, dengan hasil hektar 27 ton. Tanaman tahan terhadap parasit *nemaphode* dan toleran terhadap penyakit layu bakteri.

6. Varietas Precious F₁ Hybrya (TW - 375)

Varietas ini berasal dari Taiwan. Kedalaman tanaman berkisar dari sederhana hingga dalam (101 hari panen pertama, 124 hari panen terakhir). Buahnya berbentuk lonjong dan agak persegi, dengan buah muda berwarna putih kehijauan dengan punggung hijau dan buah tua berwarna merah. Buahnya memiliki kadar air yang lebih rendah. Hasil panen sekitar 3 kg. Hasil varietas ini dapat ditingkatkan hingga 5 kg per tanaman dengan teknik penanaman yang lebih intensif.

7. Varietas Farmers 209 F₁ Hybryd (TW - 369)

Varietas tomat ini masih TW-375, dengan sifat yang hampir sama, hasil yang baik, dan tahan terhadap infeksi *Fusarium* dan *Verticilium*. Varietas ini berbeda dengan varietas TW-375 karena bentuknya yang lebih lonjong dan beratnya lebih ringan antara 75 - 80 gram. Jenis tomat ini lebih cocok digunakan di bidang pangan.

8. Varietas Sugar pearl F₁ Hybryd (TW-373)

Varietas ini menawarkan manfaat yang hampir sama dengan TW-375 dan TW 369. Jenis tomat ini tahan terhadap penyakit Fusarium dan menghasilkan banyak buah. Selain itu, satu tanaman dapat menampung hingga 200 tomat. Namun, ukuran buahnya jauh lebih kecil dari tomat lainnya (kira-kira 20 gram/buah).

4.2.7 Penyimpanan dan pengemasan tomat

Setelah pemanenan buah tomat disimpan dan dikemas sebelum sampai ke konsumen. Berdasarkan hasil penelitian Fauziah et al., (2010), diketahui bahwa bentuk kemasan yang berbeda mempengaruhi jumlah vitamin C dalam tomat. *Polypropylene* (PP), *Low Density Polyethylene* (LDPE), dan Plastik Wrap adalah beberapa plastik yang paling umum digunakan dalam kemasan tomat.

a. *Polypropilen* (PP)

PP merupakan plastik yang mempunyai sifat tahan terhadap minyak/lemak berwarna jernih atau transparan dan tahan terhadap temperatur tinggi, alkali dan beberapa asam.

b. Plastik *Low Density Polyetilen* (LDPE)

LDPE merupakan plastik yang memiliki densitas atau ukuran kepadatan molekul plastik yang cukup tinggi yaitu sekitar 941-964 kg/m³.

c. Plastik Wrap

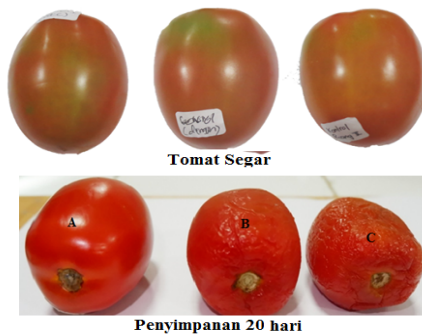
Karena dapat menunda dan menghambat proses respirasi dan transpirasi pada buah, plastic wrap dapat digunakan untuk mengemas barang-barang hortikultura seperti buah dan sayuran.

Sebelum penyimpanan, buah tomat direndam dengan air pada suhu 60°C selama tiga menit untuk mengurangi persentase pembusukan. Buah tomat yang disimpan pada ZECC akan mengalami perpanjangan masa simpan 15 hingga 28 hari dibandingkan buah tomat yang disimpan pada suhu ruang yaitu 4 hingga 7 hari

Tomat yang disimpan di luar ZECC menunjukkan penurunan fisiologis berat dari 5,4% setelah tujuh hari, sedangkan tomat disimpan di dalam ZECC menunjukkan 5,35% setelah 16 hari. Berikut adalah gambar visualisasi perbandingan penyimpanan buah tomat



Gambar 61. Visualisasi tomat (a) setelah 16 hari penyimpanan didalam ZECC (b) setelah 7 hari penyimpanan pada suhu ruang (P. Islam & Morimoto, 2015)



Gambar 62. Visualisasi tomat berdasarkan berbagai jenis penyimpanan (A)Penyimpanan dalam ZECC,(B) Penyimpanan suhu dingin, (C) Penyimpanan suhu ruang (Kamelia, 2018)

Dari gambar di atas menunjukkan bahwa penyimpanan tomat pada ZECC memiliki kenampakan warna yang lebih cerah, dan tidak terlihat keriput. Sedangkan tomat yang disimpan pada suhu dingin menunjukkan adanya perubahan warna.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Kamelia, 2018) penyimpanan buah tomat pada ZECC lebih bagus dibandingkan dengan penyimpanan menggunakan suhu ruang dan suhu dingin. Hal ini dapat dilihat dari beberapa parameter seperti.

pH dan Total Asam

Buah tomat yang disimpan dalam ZECC memiliki nilai pH yang lebih stabil dengan pH 4 karena pada umumnya buah tomat merupakan buah yang masam.

Kadar Air

Kadar air adalah salah satu komposisi pada buah dan sayur yang paling banyak ditemui, seperti halnya pada buah tomat. Umumnya buah-buahan dan sayur-sayur mengandung sekitar 80% hingga 90 % kandungan air. Salah satu penyebab proses terjadinya pembusukan atau kerusakan pada buah dan sayur disebabkan karena kandungan air yang tinggi. Kandungan air atau kadar air tomat yang disimpan pada ZECC mengalami penurunan yang kemudian mengalami peningkatan kembali.

Warna

Warna merupakan salah satu indikator penentu kualitas buah dan sayur yang dapat dilihat secara langsung menggunakan panca indra. Semakin bagus visual dari buah dan sayur maka mutu buah dan sayur juga semakin bagus. Tomat yang disimpan pada ZECC memiliki warna yang lebih cerah

dan tidak terlihat kerutan dibandingkan dengan tomat yang disimpan pada suhu ruang dan suhu dingin yang menunjukkan warna tomat lebih gelap dan kenampakan tomat berkerut.

Perbedaan kualitas buah berdasarkan penyimpanan dingin, suhu ruang dan ZECC dipengaruhi oleh RH. Penyimpanan yang menggunakan ZECC berada pada kondisi yang baik dimana kelembaban relatif lebih stabil pada ZECC dibandingkan dengan penyimpanan di suhu ruang dan suhu dingin yang terus meningkat, sehingga proses penuaan dan pembusukan lebih cepat terjadi.

Berikut ini adalah gambar perubahan warna buah tomat selama penyimpanan berlangsung.



Gambar 63. Penyimpanan menggunakan ZECC dari hari ke-0 hingga hari ke- 20



Gambar 64. Penyimpanan tomat menggunakan penyimpanan suhu dingin dari hari ke-0 hingga hari ke -20



Gambar 65. Penyimpanan tomat menggunakan penyimpanan suhu ruang dari hari ke-0 hingga hari ke-20

4.3 Mangga

Buah mangga merupakan buah yang berdaging tebal dan memiliki bentuk yang bervariasi seperti bulat telur, lonjong dan panjang dengan berat buah \pm dari 50 g hingga 2 kg, warna buah hijau, hijau gelap, hijau kekuningan seperti matang, berwarna merah anggur, jingga, serta memiliki rasa mulai dari kecut hingga manis dan tekstur daging berserat dan halus sesuai dengan varietas dari buah mangga tersebut. Buah mangga yang telah matang dan siap dipanen memiliki beberapa karakteristik yaitu pangkal buah yang membengkak dan berwarna agak kekuningan.



Gambar 66. Buah mangga

Buah mangga terdiri dari beberapa spesies seperti : *Mangifera altissima*, *Mangifera persiciformis*, *Mangifera caesia*, *Mangifera camptosperma*, *Mangifera casturi* , *Mangifera decandra*,

Mangifera foetida, Mangifera indica, Mangifera griffithii, Mangifera laurina, Mangifera kemanga, Mangifera macrocarpa, Mangifera longipes, Mangifera odorata, Mangifera mekongensis, Mangifera quadrifida (Shah et al., 2010). Buah mangga merupakan tanaman yang dapat tumbuh di daerah tropis dan subtropis. Berikut adalah tabel jenis jenis dan karakteristik fisik buah mangga:

Tabel 10. Jenis-jenis buah mangga

Jenis mangga	Berat satuan	
	buah rata-rata (gram)	Bentuk khas
1. Arumanis	450	Lonjong
2. Manalagi	560	Lonjong
3. Golek	512	Panjang
4. Gedong	300	Bulat
5. Madu-anggur	320	Lonjong
6. Durih	325	Lonjong
7. Wedus	330	Lonjong
8. Sophia	600	panjang

Sumber : (Kartasapoetra, 1989)

Selain bentuk dan ukuran buah mangga yang berbeda beda, mangga juga mengandung banyak air dan karbohidrat yang tersusun dari gula sederhana seperti sukrosa, glukosa, dan fruktosa, mengandung protein, mineral, macam-macam asam dan tanin yang juga dapat mempengaruhi rasa dan karakteristik buah, zat warna, vitamin C dan beberapa zat gizi lainnya . Kandungan gizi pada buah mangga ditunjukkan pada tabel 12.

Tabel 12. Kandungan gizi pada buah mangga segar per 100 g,

Kandungan	Kadar nutrisi	Persentase RDA
Energy	70 Kcal	3,5%
Carbohydrates	17 g	13%
Protein	0,5 g	1%

Total Fat	0,27 g	1%
Cholesterol	0 mg	0%
Dietary Fiber	1,80 g	4,50%
Vitamin		
Folates	14 µg	3,50%
Niacin	0,584 mg	3,50%
Pantothenic acid	0,160 mg	1%
Pyridoxine (vit B-6)	0,134 mg	10%
Riboflavin	0,057 mg	4%
Thiamin	0,058 mg	5%
Vitamin C	27,7 mg	46%
Vitamin A	765 IU	25,50%
Vitamin E	1,12 mg	7,50%
Vitamin K	4,2 µg	3,50%
Elektrolit		
Sodium	2 mg	0%
Potassium	156 mg	3%
Minerals		
Calcium	10 mg	1%
Copper	0,110 mg	12%
Iron	0,13 mg	1,50%
Magnesium	9 mg	2%
Manganese	0,027 mg	1%
Zinc	0,04 mg	0%
Phyto-nutrients		
Carotene-β	445 µg	—
Carotene-α	17 µg	—
Crypto-xanthin-β	11 µg	—
Lutein-zeaxanthin	0 µg	—
Lycopene	0 µg	—

Sumber : USDA National Nutrient data base

4.3.1 Proses Pematangan Buah Mangga

Proses pematangan buah terjadi karena adanya reaksi biokimia yang diproduksi oleh gas etilena yang dapat meningkatkan proses respirasi sehingga buah yang telah

dipanen tetap mengalami proses pematangan meskipun telah dipanen.

Pola respirasi buah mangga yang diklasifikasikan oleh Krishnamurthy and Subramanyam dalam (Salunkhe & Kadam, 1995) yaitu :

a. Fase pre-klimaterik

Fase yang ditandai dengan pelepasan gas CO₂ secara perlahan pada hari ke tiga setelah pemanenan

b. Peningkatan klimaterik

Fase yang ditandai dengan peningkatan respirasi yang berlangsung hingga hari ke 6 dengan lonjakan produksi CO₂ yang tinggi.

c. Puncak klimaterik

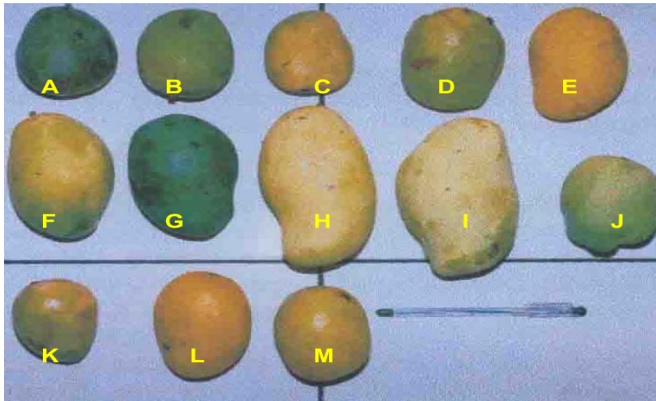
Fase yang terjadi antara hari ke enam hingga hari ke sepuluh yang ditandai dengan pelunakan buah.

d. Fase post klimaterik

Fase yang berlangsung dari hari ke 10 hingga hari ke 14 dengan penurunan produksi CO₂ dan diikuti oleh proses senescence.

4.3.3 Jenis-jenis buah mangga

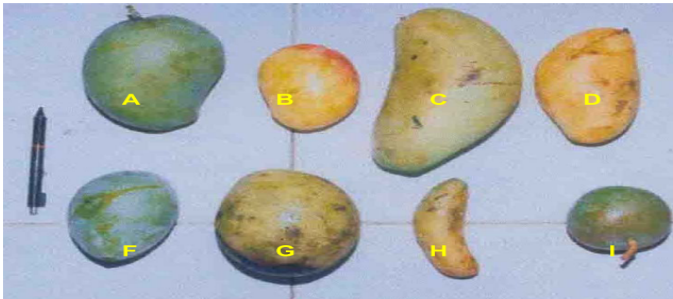
Berikut ini adalah beberapa jenis buah mangga yang tersebar di Indonesia.



Gambar 67. Jenis- jenis buah mangga
(Sumiastri et al., 2006)

Keterangan :

- A : Mangga madu,
- B : Mangga kelem,
- C : Mangga santog magetan,
- D : Mangga kopyor,
- E : Mangga podang,
- F : Mangga santog caruban,
- G : Mangga gadung,
- H : Mangga golek nganjuk,
- I : Mangga santog gunung,
- J : Mangga Cempuro,
- K : Mangga Dodonilo,
- L : Mangga Podang Gunung,
- M : Mangga Kopyor caruban



Gambar 68. Jenis- jenis buah mangga
(Sumiastri et al., 2006)

Keterangan :

- A : Mangga gadung,
- B : Mangga Podang,
- C : Mangga sawahan,
- D : Mangga golek,
- E : Mangga golek banyakan,
- F : Mangga manalagi,
- G : Mangga pakel,
- H : Mangga pelem lanang,
- I : Mangga Apel

Tabel 11. Jenis dan kultivar mangga beserta sifatnya

No.	Kultivar	sifat
1	Pakel	Bentuk buah bulat telur; Kulit buah berwarna kuning bila masak; Daging buah kuning muda bila masak; Rasa kurang manis; Seratnya banyak
2	Kalem	Bentuk buah bulat; Kulit buah berwarna hijau muda bila masak; Daging buah kuning muda bila masak; Rasa manis; Seratnya sedikit
3	Madu	Bentuk buah bulat; Kulit buah berwarna hijau tua bila masak;

		Daging buah kuning kemerahan bila masak; Rasa manis; Seratnya sedikit; Setiap pohon buahnya tidak lebat;
4	Kopyor	Bentuk buah bulat telur; Kulit buah berwarna hijau kekuningan bila masak; Daging buah kuning terang bila masak; Rasa manis; Seratnya banyak; Kadar airnya banyak.
5	Santong	Bentuk buah lonjong; Kulit buah berwarna kuning cerah bila masak; Daging buah kuning bila masak; Rasa manis; Seratnya sedikit; Tekstur daging buah padat; Kadar air sedikit.
6	Gadung	Bentuk buah lonjong; Kulit buah berwarna hijau tua bila masak; Daging buah kuning bila masak; Rasa manis; Seratnya sedikit; Tekstur daging buah padat dan pulen; Kadar air sedikit
7	Golek	Bentuk buah lonjong, besar dan panjang; Kulit buah berwarna kuning bila masak; Daging buah kuning kemerahan bila masak; Rasa manis; Seratnya sedikit; Tekstur daging buah padat dan pulen; Kadar air sedikit
8	Santong gunung	Bentuk buah lonjong, ukuran besar mendekati Golek; Kulit buah berwarna kuning cerah

		<p>bila masak; Daging buah kuning bila masak; Rasa manis; Seratnya sedikit; Tekstur daging buah padat; Kadar air sedikit</p> <p>Bentuk buah bulat telur, ukuran kecil; Kulit buah berwarna hijau kekuningan bila masak; Daging buah kuning bila masak; Rasa manis; Seratnya sedikit; Tekstur daging buah lembek; Kadar air banyak</p>
9	Dodonilo	
10	Podang gunung	<p>Bentuk buah bulat telur, ukuran lebih besar dari pada podang sawahan; Kulit buah berwarna kuning kemerahan bila masak; Daging buah kuning kemerahan bila masak; Rasa manis; Seratnya sedang; Tekstur daging buah agak lembek; Kadar air sedang</p> <p>Bentuk buah bulat telur; Kulit buah berwarna hijau kekuningan bila masak; Daging buah kuning kemerahan bila masak; Rasa manis; Seratnya sedang; Tekstur daging buah agak lembek; Kadar air sedang</p>
11	Podang	<p>Bentuk buah tidak beraturan; Kulit buah berwarna hijau kekuningan bila masak; Daging buah kuning bila masak; Rasa kurang manis; Seratnya banyak; Tekstur daging buah agak lembek; Kadar air sedang</p>
12	Cempuro	

13	Podang sawahan	Bentuk buah bulat telur; Kulit buah berwarna kuning kemerahan bila masak; Daging sawahan buah kuning kemerahan bila masak; Rasa manis; Seratnya sedang; Tekstur daging buah agak lembek; Kadar air sedang
14	Manalagi	Bentuk buah bulat telur; Kulit buah berwarna hijau keabu-abuan bila masak; Daging buah putih kotor bila masak; Rasa manis sekali; Seratnya sedikit; Tekstur daging buah padat; Kadar air sedikit
15	Apel	Bentuk buah bulat seperti apel; Kulit buah berwarna hijau kemerahan bila masak; Daging buah putih kekuningan bila masak; Rasa agak masam; Seratnya sedikit; Tekstur daging buah padat; Kadar air sedikit
16	Palem lanang	Bentuk buah lonjong dan panjang; Kulit buah berwarna hijau kekuningan bila masak; lanang Daging buah kuning dan tipis bila masak; Rasa manis; Seratnya sedikit; Tekstur daging buah padat; Kadar air sedikit

Sumber : (Sumiastri et al., 2006)

4.3.2 Penanganan Buah Mangga

Pemanenan buah mangga dapat dilakukan pada saat buah telah dewasa atau berada pada matang optimal yang ditandai dengan perubahan permukaan kulit buah mangga yang mengkilap, berwarna hijau terang, kekuning-kuningan dan buah terlihat padat berisi. Proses pemanenan dilakukan dengan kehati-hatian untuk menghindari kerusakan-kerusakan yang berdampak

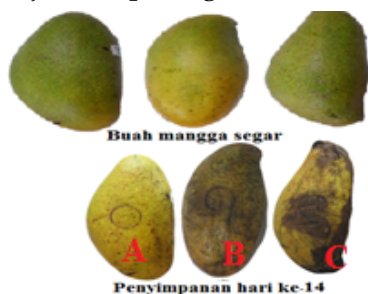
4.3.3 Penyimpanan Buah Mangga

Sebelum penyimpanan buah mangga di sortir terlebih dahulu kemudian dibersihkan pada ruang terkendali (temperatur antar 8-10 °C dan kelembaban antar 85-90 %). Pengontrolan ruang pencucian dilakukan untuk menghambat kegiatan enzim serta menghambat pertumbuhan mikroorganisme penyebab kerusakan, sehingga pada keadaan temperatur dan kelembaban seperti ini membuat buah bisa tetap dalam keadaan yang segar.

Penyimpanan buah mangga di tentukan berdasarkan tingkat kematangan buah. Kondisi lingkungan optimal untuk penyimpanan mangga yaitu dengan mengondisikan penyimpanan tanpa kehilangan cita rasa, tekstur, dan kadar air. Jangka waktu penyimpanan juga tergantung dengan aktivitas respirasi, ketahanan terhadap kehilangan air dan kontaminasi mikroorganisme perusak. Kondisi lingkungan penyimpanan yang diinginkan dapat diperoleh dengan cara pengendalian suhu, kelembaban, sirkulasi udara atau komposisi atmosfernya (Nurmayanti, 2008).

Buah mangga yang di simpan pada ZECC dapat bertahan hingga 11 hari lebih lama di dibandingkan dengan buah mangga

yang disimpan pada suhu ruang yakni hanya 8 hari penyimpanan. Berdasarkan hasil penelitian ditemukan bahwa secara umum, perubahan parameter kualitas mangga bergantung pada penyimpanan pasca panen. Penyimpanan buah mangga di ZECC lebih baik dibandingkan buah mangga yang disimpan di suhu ruang dan kulkas dalam hal total keasaman, vitamin C, kerusakan fisiologis dan kadar air. Semua analisis sensoris menunjukkan bahwa sampel yang disimpan pada ZECC lebih unggul dari pada mangga yang disimpan pada suhu ruang selama penyimpanan. Perbedaan karakteristik buah mangga yang disimpan pada ZECC, suhu dingin dan suhu ruang ditunjukkan pada gambar 63.



Gambar 69. ZECC (A), Suhu Dingin (B), dan Suhu Ruang (C)
Hari ke- 14

Beberapa karakteristik buah mangga setelah penyimpanan menggunakan penyimpanan dingin ZECC yaitu:

Vitamin c

Kandungan vitamin C pada buah mangga berbeda-beda berdasarkan metode penyimpanan yang digunakan yang paling cepat mencapai titik tertinggi kadar vitamin C ialah suhu ruang yaitu pada hari ke-1 sedangkan buah yang disimpan pada metode ZECC mencapai titik maksimum pada hari ke-4

dan pada metode penyimpanan menggunakan suhu dingin dengan titik maksimum kadar vitamin C terjadi pada hari ke-7.

pH atau derajat keasaman

Penyimpanan buah mangga dengan menggunakan ZECC, suhu dingin dan suhu ruang mengalami variasi peningkatan dan penurunan pH atau derajat ke asaman tergantung tingkat kematangan buah yang disimpan. Selama penyimpanan buah mangga akan mengalami peningkatan nilai pH karena adanya pengaruh faktor lama penyimpanan, reaksi enzimatik, dan perubahan mikrobiologis. Selain itu, buah mangga selama proses pematangan mengalami peningkatan gula sederhana dan mengalami penurunan keasaman.

Kadar air

Umumnya buah mangga selama proses penyimpanan mengalami penurunan kadar air. Kadar air yang menurun pada buah mangga selama penyimpanan disebabkan oleh proses transpirasi yang terjadi pada buah selama proses penyimpanan, selain itu, selama penyimpanan buah mangga mengalami plasmolisis, hal ini mengakibatkan berat pada buah selama penyimpanan akan menurun.

Total asam

Terjadinya penurunan total asam pada buah mangga dikarenakan terjadinya perubahan kimia pada buah mangga selama penyimpanan hal ini ditunjukkan semakin berkurangnya rasa asam akibat hilangnya asam organik pada buah, dan semakin timbulnya rasa manis yang menunjukkan semakin meningkatnya gula pada buah.

Total Padatan Terlarut

Total padatan terlarut merupakan padatan terlarut pada buah yang dinyatakan dengan satuan % Brix. Total padatan terlarut memiliki kaitan yang cukup besar dengan kandungan karbohidrat yang terdapat pada buah dan sayur dimana, semakin tinggi kadar gula pada buah dan sayur maka total padatan terlarut juga semakin tinggi.

Buah mangga yang disimpan pada ZECC mengalami peningkatan total padatan terlarut selama penyimpanan berlangsung dan akan mengalami penurunan total padatan terlarut setelah penyimpanan 10 hari.

Berat

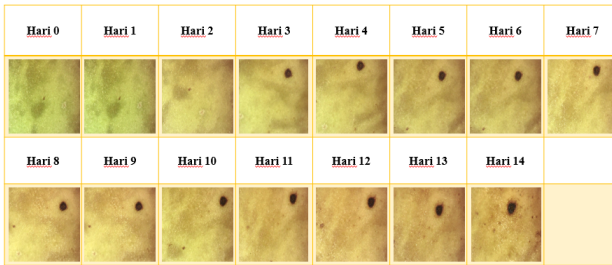
Berat merupakan salah satu karakteristik yang menjadi acuan atau indikator dalam menentukan mutu buah ataupun sayuran, seperti halnya buah mangga. Buah mangga mengalami penurunan berat selama penyimpanan berlangsung pada ruang ZECC, begitu pun dengan penyimpanan suhu ruang dan penyimpanan suhu dingin. Penurunan berat buah mangga selama penyimpanan disebabkan karena adanya proses respirasi dan transpirasi pada buah, proses respirasi dan transpirasi pada buah tetap berlangsung meskipun buah telah dipanen, khususnya pada buah klimaterik. Buah setelah dipanen masih melakukan proses penguraian bahan kompleks yang ada dalam sel seperti pati, gula, dan asam organik menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti CO_2 dan H_2O serta buah mengalami proses transpirasi yaitu proses penguapan H_2O dari jaringan akibat pengaruh panas dari lingkungan penyimpanan.

Warna

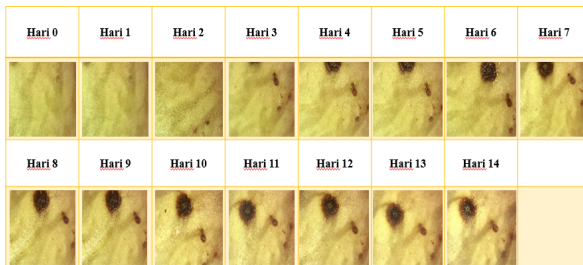
Warna merupakan salah satu karakteristik yang dapat menentukan tingkat atau kualitas suatu buah yang dapat dilihat

secara visual, penyimpanan menggunakan ZECC memberikan hasil yang terbaik yang ditunjukkan dengan sedikitnya bercak hitam yang terbentuk.

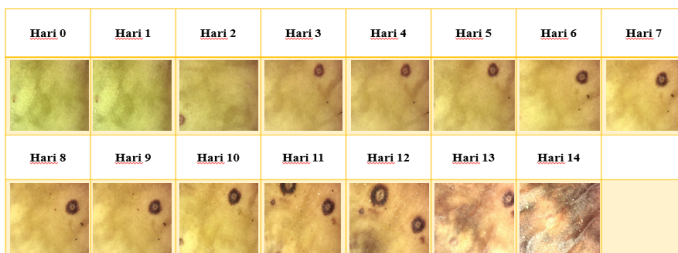
Berikut ini adalah hasil pengamatan visualisasi warna buah mangga dengan penyimpanan suhu dingin, suhu ruang dan ZECC dari penyimpanan hari ke-0 hingga hari ke-14 yang dilakukan oleh (Kamelia, 2018)



Gambar 70. Penyimpanan buah mangga pada ZECC



Gambar 71. Penyimpanan buah mangga pada suhu dingin



Gambar 72. Penyimpanan buah mangga pada suhu ruang

REFERENSI

- Aguilar, G. A. G. (1997). The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. *United States Department of Agriculture*, (66), 481-484.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1127-0>
- Alim, T. (2017). Fotosintesis. Retrieved May 7, 2018, from <http://www.biologi-sel.com/2013/01/fotosintesis.html>
- Arifin, Z. (2008). Beberapa unsur mineral esensial mikro dalam sistem biologi dan metode analisisnya. *Jurnal Litbang Pertanian*, 27(3), 99-105.
<https://doi.org/10.1126/SCI.1190719>
- AVRDC. (2011). Eggplant. *Agriculture, Forestry and Fisheries*, 1-2.
- Aziz, G. M., & Al-sa, A. J. R. (2016). Extraction conditions of polyphenol oxidase from banana peel Abstract : Introduction : Materials and Methods ;, 13(3).
- Basediya, A., Samuel, D. V. K., & Beera, V. (2013). Evaporative cooling system for storage of fruits and vegetables - a review, 50(June), 429-442.
<https://doi.org/10.1007/s13197-011-0311-6>
- Bohm F, Tinkler JH, T. T. (1995). Carotenoids Protects Against Cell Membrane Damage by The Nitrogen Dioxide Radical. *Nature Med*, 1, 98-99.
- Budiman. (2008). *Metodologi Penelitian Kesehatan*. Jakarta: Kedokteran EGC.
- Cahyono. (2008). *Usaha Tani dan Penanganan Pascapanen*. Yogyakarta: Kanisius.

- Canene-Adams, K., Campbell, J. K., Zaripheh, S., Jeffery, E. H., & Erdman, J. W. (2005). Symposium : Relative Bioactivity of Functional Foods and Related Dietary Supplements The Tomato As a Functional Food 1 , 2. *The Journal of Nutrition*, (10), 1226–1230.
- Ck, N., M, M., & Sathiamoorthy. (2002). Effect of packaging and storage on shelf-life and quality of banana cv. Karpuravalli. *Sathiamoorthy*, 59(2), 113. [https://doi.org/National Research Centre for Banana, Trichy 620 102](https://doi.org/NationalResearchCentreforBanana,Trichy620102)
- D S Hastuti, L. (2007). Terung Tinjauan langsung kebeberapa pasar di kota bogor. *USU Repository*.
- Di Mascio P, Kaiser S, S. H. (1989). Lycopene as The Most Efficient Biological Carotenoid Singlet Oxygen Quencher". *Archives of Biochemistry and Biophysics*.
- Dwi sri hastuti, L. (2007). Tinjauan langsung kebeberapa pasar di kota bogor.
- Elisa. (2017). Vitamin 1 -. Retrieved April 5, 2018, from elisa.ugm.ac.id/user/archive/.../8sq82bhflvmoa3dm0t7s7d04m
- Erwanto. (2010). *Analisis Pemasaran Buah Mangga Arumanis (Mangifera indica L .) di kabupaten Magetan .* Sebelas maret.
- FAO / WHO. (2003). *Diet, nutrisi dan pencegahan penyakit kronis. Bersama laporan FAO /WHO. Laporan Teknis Series.*
- Fauziah, D., sumartini, & Asgar, A. (2010). Kemasan Serta Lama Penyimpanan Terhadap Karakteristik. *Teknologi Pangan Fakultas Teknik Universitas Pasundan Bandung*, 11(30), 1–42.
- Fuhrman, B., Elis, A., & Aviram, M. (1997). Hypocholesterolemic effect of lycopene and β -carotene is related to suppression of cholesterol synthesis and augmentation of LDL receptor activity in macrophages.

- Biochemical and Biophysical Research Communications*, 233(3), 658–662. <https://doi.org/10.1006/bbrc.1997.6520>
- Ganesan. (2004). Short Communication Studies on the application of different levels of water on Zero energy cool chamber with reference to the shelf-life of brinjal, 107–111.
- Giovannucci, E. (1999). Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of the epidemiologic literature. *Journal of the National Cancer Institute*, 91(4), 317–331. <https://doi.org/10.1093/jnci/91.4.317>
- Gould, W. A. (1992). Composition of Tomatoes. *Tomato Production, Processing and Technology*, 433–450. <https://doi.org/10.1533/9781845696146.3.433>
- Growing Eggplant Successfully in Cooler Climates – Garden Mentors*. (2012). Retrieved from <http://gardenmentors.com/garden-help/grow-your-own-food/growing-eggplant-successfully-in-cooler-climates/>
- H, J. D., & Kilmanun, J. C. (2016). Penanganan Pasca Panen Penyimpanan untuk Komoditas Hortikultura, (45), 1015–1026.
- Hairunnisa, N. (2014). Jurnal Penanganan Pasca Panen.
- Hambali, Suryani, A., & Widianingsih, N. (2004). *Membuat Aneka Olahan Mangga*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Hayati, R., Syamsuddin, & Halimursyadah. (2015). Teknologi Pasca Panen. In *buku ajar*. Aceh: Universitas Syiah Kulala.
- Imdad, & Nawangsih. (1999). *Menyimpan Bahan Pangan*. Jakarta: swadaya.
- Islam, M. P., Morimoto, T., & Hatou, K. (2013). Dynamic optimization of inside temperature of Zero Energy Cool Chamber for storing fruits and vegetables using neural

- networks and genetic algorithms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 95, 98–107.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.04.008>
- Islam, P., & Morimoto, T. (2014). A new zero energy cool chamber with a solar-driven adsorption refrigerator. *Renewable Energy*, 72, 367–376.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.07.038>
- Islam, P., & Morimoto, T. (2015). Progress and development in brick wall cooler storage system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 277–303.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.019>
- Jones, J. . (2008). *Tomato Plant Culture in the Field, Green House, and Home Garden*. Taylor and Francis Group, 400.
- Jordan, & Richard. (1964). *Refrigeration and Air Conditioning*. Prentice-Hall. new Jersey.
- Kamelia, A. (2018). *Mutu Buah Mangga (Mangifera indica L.) dan Tomat (Lycopersicum esculentum Mill.) yang disimpan pada ZECC (Zero Energy Cool Chamber)*. Universitas Hasanuddin.
- Karomah, L. (2015). Proses Glikolisis Secara Singkat dan Penjelajarannya - Mikrobio.Net. Retrieved May 7, 2018, from <https://mikrobio.net/fisiologi-mikrob/proses-glikolisis.html>
- Kartasapoetra. (1989). *Teknologi Penanganan Pasca Panen*. Jakarta: BINA AKSARA.
- Katili, A. S. (2009). Struktur Dan Fungsi Protein Kolagen. *Jurnal Pelangi Ilmu*, 2(5), 19–29.
- Kitinoja, L., & Kader, A. (2015). *Small - Scale Postharvest Handling Practices: A Manual for Horticultural Crops* (5, (8).
- Koswara, S. (2009). Pengolahan pangan dengan suhu rendah.

- Kuswandi, B., Jayus, Larasati, T. S., Abdullah, A., & Heng, L. Y. (2012). Real-Time Monitoring of Shrimp Spoilage Using On-Package Sticker Sensor Based on Natural Dye of Curcumin. *Food Analytical Methods*, 5(4), 881-889. <https://doi.org/10.1007/s12161-011-9326-x>
- Levy, E. B., Feldman B, G. Y., A, M., M, D., & Y, S. (1995). Lycopene is A More Potent Inhibitor of Human Cancer Cell Proliferation Than Either A-Carotene or Beta-Carotene. *Nutrition Cancer*, 24, 257-266.
- Losses, P., Safety, F., Management, P., Products, H., Republic, I., & Nations, U. (2006). *Postharvest Management of Fruit and Vegetables in the Asia-Pacific*.
- Mashudi. (2007). *Budidaya Terung*. Jakarta: Azka Press.
- Meiyanto, E. (2009). VIII. Glikolisis, 63-72. Retrieved from <http://edymei.blog.ugm.ac.id/files/2009/03/viii-glikolisis.pdf>
- Morimoto, M. P. I. T. (2001). *Optimization of Watering for Minimizing the Inside Temperature of Zero Energy Cool Chamber for Storing Fruits and Vegetables. IFAC Proceedings Volumes* (Vol. 46). IFAC. <https://doi.org/10.3182/20130327-3-JP-3017.00007>
- Mulyadi, T. (2015). 8 Tahapan Proses Siklus Krebs (asam sitrat) | Budisma. Retrieved May 3, 2018, from <http://budisma.net/2016/06/8-tahapan-proses-siklus-krebs-asam-sitrat.html>
- Mutirawati. (2007). penanganan pasca panen hasil pertanian. Disampaikan pada: Workshop Pemandu Lapangan I (PL-1) Sekolah Lapangan Pengolahan Dan Pemasaran Hasil Pertanian (SL-PPHP). Dep. Pertanian, 2007.
- Nurhayati. (2013). Alternative fruit and vegetables consumption

- for 1-3 year old Indonesian children, 74-77.
- Nurmayanti, neng erlita. (2008). Pengaruh Pra Pendinginan dan Suhu Penyimpanan Terhadap Mutu Buah Mangga Cengkir Indramayu. Institut Pertanian Bogor.
- Nurwahyuni, I., Elimasni, Rahayu, S., Sofyan, Z., & Sinaga, R. (2016). Fisiologi Tumbuhan. *Universitas Sumatra Utara*.
- Pardede, E. (2014). Tinjauan Komposisi Kimia Buah dan Sayur: Peranan Sebagai Nutrisi dan Kaitannya dengan Teknologi Pengawetan dan Pengolahan. *Journal VISI*, 21(3), 10-16.
- Pita. (1981). *Air Conditioning Principles and System: An Energy Approach*. (J. W. & S. Inc, Ed.). New York.
- Prabha, A., Sharma, H. R., & Verma, R. (2006). Changes In Ascorbic Acid Content Of Lemon Fruits Stored In Zero Energy Cool Chamber And Under Ambient, 25(1), 73-75.
- Praptiningsih, Yhulia, Maryanto, & Tamtarini. (1999). *Buku Ajar Teknologi Pengolahan Pangan*. Jember: Universitas Jember.
- Pudjiatmoko. (2008). Indonesia Swasembada Beras.
- Purwati, & Khairunisa. (2007). *Budidaya Tomat Dataran Rendah dengan Varietas Unggul serta Tahan Hama dan Penyakit*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Rahma, R. (1994). *Bertanam Terung*. Yogyakarta: Kanisius.
- Ron, W., Mcglasson, B., Graham, D., & Joyce, D. (2004). *Postharvest An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit, Vegetable And Ornamentals*.
- Roy, S., & Khardis, D. (1885). Zero energy cool chamber. *Indian Agricultural Research*, 43(Institute, New Delhi, India), 23-30.
- Rukmana. (2006). *Bertanam Terung*. Yogyakarta: Kanisius.
- Salunkhe. (1974). Quality and nutritional composition of tomato fruit as influenced by certain biochemical and physiological changes. *Plant Foods, Human Nutr*, 85-113.

- Salunkhe, & Kadam. (1995). *fruit science and technoliguy*. New York: taylor and Francis group.
- Salunkhe, & Kadam. (1998). *Vegetable Science and Technology*. New York: taylor and Francis group.
- Samad, M. Y. (2006). Pengaruh Penanganan Pasca Panen Terhadap Mutu Komoditas Hortikultura. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 8, 31–36.
- Setiawan, A., Sulaiman, A., Mesin, J. T., Teknik, F., Lhokseumawe, U. M., & Utara, A. (2017). Dengan material es dan garam pada dinding cold box, 15, 9–21.
- Shah, K., Patel, M., Patel, R., & Parmar, P. (2010). Mangifera Indica (Mango). *Pharmacognosy Reviews*, 4(7), 42. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.65325>
- Simamora, A. (2007). Bioenergitika adenosin trifosfat. *Meditek*, 15(39).
- Singh, S., & Lata, K. (2010). Effect of zero energy cool chamber and post-harvest treatments on shelf-life of fruits under semi-arid environment of Western, 47(August), 446–449. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0074-5>
- Stoecker, W, S., & Johanes, J. (1987). refrigeration and air condition ing. *McGraw-Hill Book, Co Singapore*.
- Sumiastri, N., Rijadi, J., & Dody, P. (2006). The species and cultivars of mango in Madiun and its surroundings; the development and its problems. *Biodiversitas, Journal of Biological Diversity*, 7(1), 39–43. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d070111>
- Sunarmani. (2008). Potensi likopen dalam tomat untuk kesehatan. In *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian* (pp. 50–58).
- Suyitno. (1972). Topik : fotosintesis 1, (3), 1–12.

- Suyitno. (2006). Respirasi pada Tumbuhan. [https://doi.org/pembinaan Tim Olimpiade Biologi SMAN Kalasan](https://doi.org/pembinaan_Tim_Olimpiade_Biologi_SMAN_Kalasan)
- Tambunan, A., Rismawan, H., & Isabella, S. (1994). Penerapan Sistem Pendinginan Evaporatif untuk Penanganan Pasca Panen Hasil Pertanian.
- Tonucci, L., M., Holden, J., G.R. Beecher, F., Khacik, C. S., Davis, & Mulokozi, G. (1995). carotenoid content of thermally processed tomato based food product". *J. Agric, Food Chem*, 43, 579–586.
- Trisnawati, Y., & Setiawan. (2013). *Tomat Pembudidayaan secara Komersial*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Utama, M., & Nyoman, A. (2013). Pasca Panen Tanaman Tropika: Buah dan sayur (Post Harvest of Tropical Plant Products : Fruit and Vegetable).
- Utomo, B. (2008). Fotosintesis pada Tumbuhan. *Vegetalika*, 1 no. 3.
- Wang, C., He, Z., Li, H., Wennerstern, R., & Sun, Q. (2017). Evaluation on performance of a phase change material based cold storage house. *Energy Procedia*, 105, 3947–3952. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.820>

BIODATA



Andi Dirpan menyelesaikan program strata satu (S-1) dan Strata dua (S-2) pada Universitas Hasanuddin pada tahun 2004 dan 2010. Selanjutnya program Doktorat diselesaikan dalam rentang tahun 2012-2015 pada Ehime University, Jepang untuk spesialisasi Teknologi Pasca Panen. Mulai tahun 2006 aktif melakukan penelitian dengan bantuan pendanaan dari DIKTI dan internal UNHAS. Saat ini penulis mengasuh mata kuliah pada tingkat strata 1 dan 2. Beberapa mata kuliah yang diasuh adalah Teknologi Pengemasan dan Penyimpanan, Aplikasi Teknologi Pengemasan, Fisiologi dan Teknologi pasca panen serta mata kuliah metodologi penelitian pada jenjang S1 dan S2 di Universitas Hasanuddin.