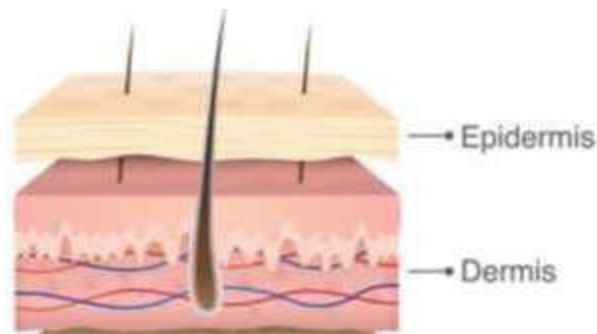


BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kulit

Kulit ialah organ paling besar di tubuh manusia dan mempunyai fungsi pelindung. Kulit bertindak selaku penghalang fisik untuk perlindungan terhadap agen infeksi, termoregulasi, sensasi, perlindungan dari radiasi ultraviolet (UV), dan untuk regenerasi dan penyembuhan luka (Ekasari, 2018). Luas kulit manusia rerata 2 m² dengan berat 10 kg apabila dengan lemaknya atau 4 kg apabila tanpa lemak (Tranggono, 2007).



Gambar 1. Struktur Kulit

Kulit dibagi menjadi dua lapisan utama, yakni :

1. Epidermis

Epidermis ialah lapisan kulit terluar. Epidermis mempunyai ketebalan berbeda pada tiap bagian tubuh. Bagian pada telapak kaki dan telapak tangan mempunyai tebal ukuran 1 mm sedangkan pada kelopak mata, pipi, dahi, serta perut mempunyai ketebalan 0,1 mm. Sel-sel epidermis disebut keratinosit. Epidermis dibagi menjadi 5 lapisan (Tranggono, 2007) yakni :

- a. Lapisan Tanduk (Stratum corneum) ialah lapisan yang paling atas.
- b. Lapisan Jernih (Stratum lucidum) disebut “lapisan barrier”.
- c. Lapisan Berbutir-butir (Stratum granulosum).
- d. Lapisan Malphigi (Stratum spinosum) yang selnya serupa berduri.
- e. Lapisan Basal (Stratum Germinativum) dimana hanya tersusun oleh satu lapis sel-sel basal.

2. Dermis

Fungsi utama dermis ialah untuk menopang epidermis. Dermis mencakup dua lapisan: dermis papiler yang lebih dangkal dan dermis retikuler yang lebih dalam. Jaringan papiler dermal lebih tipis dan mencakup jaringan ikat longgar yang mengandung kapiler, serat elastis, serat retikuler, dan beberapa kolagen. Dermis retikuler mencakup lapisan jaringan ikat padat yang lebih tebal dengan pembuluh darah yang lebih besar, serat elastis yang terjalin erat, dan kumpulan serat kolagen kasar yang tersusun berlapis-lapis sejajar dengan permukaan (Amirlak, 2015).

2.2 Antioksidan

2.2.1 Radikal Bebas

Radikal bebas adalah molekul atau atom yang mempunyai elektron tidak berpasangan, sehingga sangat reaktif dan diperlukan elektron dari molekul lain agar menjadi stabil (Halliwell, 2012). Jumlah radikal bebas di dalam tubuh yang sangat banyak bisa berpotensi mengganggu DNA tubuh dan menonaktifkan berbagai enzim (Sonja V. T. Lumowa, 2013).

Efek negatif dari radikal bebas dapat diredam dengan antioksidan. Antioksidan merupakan zat yang mampu menahan reaksi oksidasi dengan mendonorkan elektron ke radikal bebas. Antioksidan ini berfungsi sebagai sistem pertahanan terhadap radikal bebas. Tubuh manusia sesungguhnya mempunyai sistem antioksidan yang berupa enzim tetapi jumlahnya sering tidak cukup untuk menetralkan radikal bebas yang masuk ke dalam tubuh. Antioksidan dari luar diperlukan jika jumlah radikal bebas yang masuk melampaui batas. Pembentukan radikal bebas melalui tiga tahapan reaksi yaitu inisiasi, propagasi, dan terminasi (Adinugraha & Susilawati, 2014).

Radikal bebas dapat diperoleh di dalam tubuh (endogen) dan di luar tubuh manusia (eksogen). Radikal bebas endogen muncul dari produk sisa metabolisme yang dikonsumsi atau proses pembakaran, protein, karbohidrat, dan lemak. Sementara itu, radikal bebas eksogen dapat disebabkan oleh polusi udara, knalpot mobil, berbagai bahan kimia,

makanan yang dibakar (berkarbonasi), dan sinar UV matahari. Sinar ultraviolet hanya merupakan sebagian kecil dari spektrum matahari, tetapi sinar ini adalah yang paling berbahaya bagi kulit dan menyebabkan reaksi yang merugikan pada kulit manusia (Veneseha W et al., 2023).

2.2.2 Definisi

Antioksidan ialah suatu zat dimana bisa memberikan proteksi endogen dan oksidatif eksogen dengan cara menangkap radikal bebas. Molekul dimana bisa menghambat oksidasi molekul lain ialah antioksidan. Antioksidan ialah salah satu senyawa pendonor elektron, cara kerja dari senyawa ini yakni mendonorkan satu elektron pada senyawa yang sifatnya radikal sesampai bisa menghambat aktivitas radikal itu. Senyawa yang sifatnya radikal bebas bisa distabilkan oleh antioksidan dengan cara melengkapi kekurangan elektron pada senyawa yang sifatnya radikal bebas (Hani & Milanda, 2021).

2.2.3 Mekanisme Kerja Antioksidan

Untuk menjaga kesehatan kulit, antioksidan harus melindungi kulit. Antioksidan yang memadai merupakan benteng untuk mencegah efek berbahaya dari radikal bebas yang merusak kulit. Antioksidan bertindak dengan cara yang berbeda terhadap proses oksidatif. Antioksidan menambah atau menghilangkan elektron untuk menetralkan radikal bebas dan menstabilkan radikal bebas untuk menghambat proses oksidasi (Veneseha W et al., 2023).

Berdasarkan fungsi dan mekanisme pencegahan radikal bebas pada antioksidan dibagi menjadi tiga kelompok yaitu antioksidan primer, sekunder dan tersier. Antioksidan primer merupakan antioksidan yang bersifat sebagai pemutus reaksi berantai (*chain-breaking antioxidant*) dan mencegah pembentukan senyawa radikal baru. Prinsip kerjanya yaitu memutus rantai reaksi radikal dan mendonorkan atom hidrogen dengan cepat pada lipis yang bersifat radikal. Produk yang dihasilkan akan lebih stabil contohnya SOD (*superoksida dismutase*), katalase, protein pengikat

logam, GPx (*glutathione peroxidase*), asam askorbat, tokoferol dan antioksidan (Wulansari, 2018).

Antioksidan sekunder adalah antioksidan yang berperan sebagai penangkap oksigen, deaktivasi singlet oksigen, penyerap radiasi UV, pengikat ion-ion logam, dan pengurai hiperoksida menjadi senyawa non radikal. Prinsip kerjanya yaitu mengkelat logam yang bersifat pro-oksidan, menangkap radikal dan menghambat reaksi rantai yang menghasilkan radikal baru. Contohnya antara lain bilirubin, transferin, isoflavon, beta-caroten, albumin, vitamin C, dan vitamin E. Antioksidan tersier bekerja dengan cara menghambat penumpukan biomolekul dan memperbaiki kerusakan biomolekul akibat radikal bebas. Contohnya yaitu protein yang teroksidasi oleh enzim proteolitik dan perbaikan DNA dilakukan oleh enzim metionin reduktase (Wulansari, 2018).

2.2.4 Sumber Antioksidan

Antioksidan dapat dibedakan berdasarkan sumbernya yaitu antioksidan sintetis dan antioksidan alami. Antioksidan sintetis adalah antioksidan yang diperoleh melalui sintesis reaksi kimia. Antioksidan alami adalah antioksidan yang diperoleh dari hasil ekstraksi bahan alami. Antioksidan alami dapat membantu melawan serangan radikal bebas penyebab penuaan dini, mampu menghambat terjadinya penyakit, melindungi kerusakan tubuh akibat senyawa oksigen reaktif dan menghambat peroksidasi lipid. Contohnya seperti vitamin A, vitamin E, karotenoid, vitamin C, vitamin B2, Zn, fenol, flavonoid, dan lain lain (Sayuti & Yenrina, 2015).

2.2.5 Manfaat Antioksidan

Radikal bebas yang dihasilkan senyawa oksigen dan nitrogen merupakan salah satu penyebab penuaan akibat gangguan regulasi metabolisme pernafasan sel melibatkan pengurangan oksigen yang tidak lengkap di mitokondria dan produksi anion superoksida, radikal hidroksil. Antioksidan berfungsi untuk menghambat reaksi radikal bebas. Antioksidan mempunyai banyak manfaat untuk kesehatan kulit, diantaranya sebagai

antipenuaan, perlindungan dari ROS akibat stress oksidatif dan perlindungan dari sinar UV (Haerani, 2018).

2.2.6 Pengujian Antioksidan

Tujuan dari dilakukannya pengujian antioksidan yakni untuk mengetahui aktivitas antioksidan sesampai bisa mengevaluasi potensi antioksidan dalam meredam suatu radikal bebas. Prosedur antioksidan ini bisa dilakukan dengan menggunakan metode peredaman radikal bebas atau DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl). Keunggulan metode peredaman radikal bebas ialah bisa menganalisis data sampel dengan tingkat kepekaan dengan cepat dan mudah (Wulansari, 2018). Selain itu, metode ini sudah terbukti akurat, terpercaya, serta praktis (Irianti et al., 2017).

Penentuan kategori dari kekuatan aktivitas antioksidan tampak pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Antioksidan

Tingkat Aktivitas Antioksidan	IC ₅₀
Sangat Kuat	< 50 µg/mL
Kuat	50 – 100 µg/mL
Sedang	101 – 150 µg/mL
Lemah	> 150 µg/mL

Sumber : (Wati et al., 2022)

2.3 Semangka

2.3.1 Klasifikasi Semangka

Semangka ialah tumbuhan dari Famili Cucurbitaceae (labu-labuan) yang sifatnya semusim. Semangka sudah dibudidayakan 4.000 tahun SM sesampai semangka sudah meluas ke semua penjuru dunia (Wijayanto et al. 2012). Semangka asalnya dari daerah kering tropis dan subtropics Afrika, selanjutnya berkembang dengan pesat ke bermacam negara contohnya Afrika Selatan, Tiongkok, Jepang serta Indonesia. Semangka sangat digemari di daerah asalnya sebab banyak mengandung air (Tim Mitra Agro Sejati, 2017).

Adapun klasifikasi semangka yakni (Tim Mitra Agro Sejati, 2017) :



Gambar 2. Buah Semangka

Kingdom : *Plantae*
 Divisi : *Magnoliophyta*
 Kelas : *Magnoliopsida*
 Ordo : *Cucurbitales*
 Famili : *Cucurbitaceae*
 Genus : *Citrullus*
 Spesies : *Citrullus lanatus*

Semangka ialah salah satu anggota suku timun lainnya, habitat tumbuhan ini merambat membentuk akar adventif dan jangkauan rambatannya bisa mencapai belasan meter. Semangka mempunyai daun dengan pola berlekuk-lekuk dan mempunyai tangkai pada daunnya. Daunnya termasuk salah satu daun menjari dengan ujung yang runcing. Selain itu, helaian daunnya kasar sebab daunnya sedikit berbulu dan bentuknya lebar. Panjang daun tumbuhan ini berkisar antara 3 - 25 cm dengan lebar sekitar 1,5 - 5 cm. selanjutnya, semangka mempunyai batang yang kecil namun panjang sampai 5 cm dan merambat sampai mencapai 3 – 5 cm. Semangka mempunyai bunga yang muncul pada ketiak tangkai daun dan mempunyai warna kuning yang cerah. Buah semangka mempunyai bentuk bulat/lonjong dengan warna kulit hijau. Bentuknya beragam ukuran dengan panjang 20 - 40 cm, diameter 15 - 20 cm. Untuk beratnya biasanya dimulai dari 4 kg – 20 kg (Tim Mitra Agro Sejati, 2017).

2.3.2 Kulit Putih Semangka

Semangka mempunyai kulit buah yang tebal berdaging dan licin. Biasanya kulit buah tidak dipergunakan dengan baik dan hanya menjadi limbah. Pada kulit buah ini terkandung banyak senyawa kimia dimana bisa dipakai selaku pakan ternak juga pupuk tumbuhan (W. Lubis et al., 2021). Kulit buah semangka disebut albedo, dalam satu buah semangka ada 30 – 40% albedo semangka. Albedo bisa disebut selaku bagian tengah (mesokarp) buah semangka yang letaknya diantara epidermis luar (eksokarp) dan epidermis dalam (endokarp). Albedo semangka mempunyai

rasa yang cukup hambar, mempunyai warna yang pucat, teksturnya yang agak keras dan mempunyai kandungan air yang sedikit (Trisilia 2022).



Gambar 3. Kulit Putih Semangka

Menurut Guoyao dkk. (2007), citrulline ada pada daging buah dan kulit/bubur semangka. Sekitar 60% citrulline ditemukan di kulit semangka dibandingkan di daging buahnya. Zat ini ditemukan pada semangka segala warna, dan paling melimpah pada semangka kuning. Ketika dikonsumsi dalam jumlah banyak, citrulline bereaksi dengan enzim dalam tubuh dan diubah menjadi arginin, asam amino non-esensial dimana mempunyai efek positif pada jantung dan sistem kekebalan tubuh. Sitrulin dipakai dalam sistem oksida nitrat pada manusia dan mempunyai fungsi antioksidan dan vasodilatasi potensial. Kandungan sitrulin berkisar antara 3,9 sampai 28,5 mg/g berat kering dan serupa dengan jenis berbiji dan tanpa biji (masing-masing 16,6 dan 20,3 mg/g berat kering). Semangka daging merah mempunyai sitrulin sedikit lebih rendah daripada semangka daging kuning atau oranye (masing-masing 7,4, 28,5 dan 14,2 mg/g berat kering (Yusuf et al., 2021).

Semangka Albedo juga kaya akan vitamin, mineral, enzim, dan klorofil. Vitamin yang ada pada kulit buah semangka antara lain vitamin A, vitamin B2, vitamin B6, vitamin E, dan vitamin C. Kulit semangka kaya akan vitamin E, vitamin C, dan protein, yang melembutkan kulit dan rambut serta menambah kilau pada rambut. Sedangkan betakaroten dan likopen yang ada pada kulit semangka bisa digunakan selaku antioksidan untuk mengencangkan kulit wajah dan menghindari kerutan pada wajah. Kandungan yang ada pada kulit putih semangka bisa dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan Kulit Putih Semangka

Kandungan Gizi	Jumlah
Vitamin A	75 µg
Riboflavin	0,03 mg
Thiamin	0,03 mg
Zat besi	0,5 mg
Niacin	0,6 mg
Fosfor	11 mg
Vitamin C	17,60 mg
Kalsium	31 mg
Lemak	0,1 g
Serat	0,6 g
Abu	0,7 g
Protein	1,6 g
Karbohidrat	3,2 g
Air	20,42 g
Pektin	27,6 g
Energi	18 kal

2.4 Fermentasi

Fermentasi adalah suatu proses terjadinya perubahan struktur kimia dari bahan-bahan organik dengan memanfaatkan aktivitas agen-agen biologis terutama enzim sebagai biokatalis. Dalam industri pangan, bakteri asam laktat telah digunakan untuk berbagai ragam fermentasi daging, sayuran, susu, roti, atau produk bakteri. Fermentasi dapat meningkatkan kandungan senyawa fenolik bioaktif sehingga terjadi peningkatan aktivitas antioksidan (Rahmadi, 2019).

Berdasarkan sumber mikroorganisme, proses fermentasi dibagi menjadi dua yaitu fermentasi spontan dan fermentasi tidak spontan. Fermentasi spontan adalah fermentasi bahan pangan dimana dalam pembuatannya tidak ditambahkan mikroorganisme yang berperan aktif dalam proses fermentasi berkembang biak secara spontan. Fermentasi tidak spontan adalah fermentasi yang terjadi dalam bahan pangan yang dalam

pembuatannya ditambahkan mikroorganisme dalam bentuk kultur pemula atau starter (Rahmadi, 2019).

Peranan BAL selama proses fermentasi sangat menentukan mutu produk fermentasi yang dihasilkan. Pada setiap proses fermentasi yang berjalan dengan baik, akan memperlihatkan pertumbuhan mikroba baik pada fermentasi spontan maupun pada fermentasi starter (Rahmadi, 2019).

Menurut Rahman (2002), ada empat hal pokok yang harus diperhatikan dalam proses fermentasi yaitu mikroba, medium fermentasi, fermentor dan kondisi lingkungan. Seleksi terhadap jenis dan sifat serta jumlah inokulum yang akan ditambahkan akan menentukan kualitas dan kuantitas hasil fermentasi. Proses fermentasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kadar gula, oksigen, pH medium, CO₂, nitrogen, mineral, faktor tumbuh, dan suhu.

2.4.1 Nata

Istilah nata asalnya dari kata Spanyol "nadar", yang bermakna "melayang". Nata ialah lapisan tipis atau polisakarida ekstraseluler yang diciptakan oleh bakteri *Acetobacter xylinum* yang terakumulasi dan mengapung pada permukaan cairan. Mayoritas biomassa tersuspensi mencakup selulosa, yang dihasilkan selama proses metabolisme dan oleh adanya gas CO₂, yang melekat dan tersuspensi dalam fibril film tipis. (Purwanto, 2013).

Senyawa contohnya heksosa fosfat dibutuhkan untuk pembentukan nata (polisakarida ekstraseluler). Heksosa fosfat dioksidasi melalui jalur pentosa fosfat menciptakan senyawa NADPH (senyawa penyimpan energi tereduksi) dan melepaskan CO₂. Gas CO₂ yang dilepaskan terhambat dan menempel pada mikrofibril selulosa sampai menyebabkan selulosa mengapung ke permukaan cairan. Fosfat anorganik ialah zat yang dibutuhkan untuk pemecahan sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa, sesampai harus ditambahkan ke dalam media kultur (Hamad et al., 2011).

Nata ialah bahan pangan yang kaya akan serat pangan dan sangat baik untuk tubuh, serta ialah salah satu produk SCP (*Single Cell, Protein*) yang

mempunyai potensi besar untuk dikembangkan. Pembuatan nata menciptakan nata berserat yang baik untuk tubuh, dan juga menghasilkan bakteri selulosa. Oleh sebab itu nata dijadikan makanan kesehatan untuk menunjang proses pencernaan manusia. (Anam, 2019).

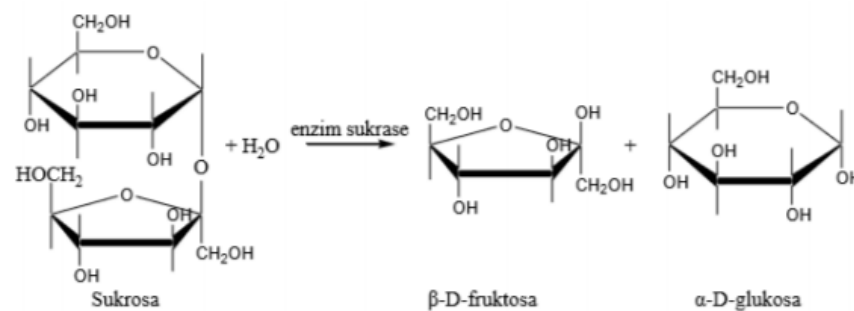
Tabel 3. Syarat Mutu Nata

No.	Parameter Uji	Satuan	Persyaratan
1	Keadaan	-	
	Bau	-	Normal
	Rasa	-	Normal
	Warna	-	Normal
	Tekstur	-	Normal
2	Bahan Asing	-	Tidak boleh ada
3	Bobot tuntas	%	Min. 50
4	Sakarosa	%	Min. 15
5	Serat makanan	%	Maks. 4,5
6	Bahan Tambahan Pangan		
	Pemanis buatan		
	Sakarin		Tidak boleh
	Siklamat		Tidak boleh
	Pewarna tambahan		
	Pengawet (Na Benzoat)		Sesuai SNI 01-0222-1995
7	Cemaran logam		
	Timbal (Pb)	Mg/Kg	Maks. 2
	Tembaga (Cu)	Mg/Kg	Maks. 2
	Seng (Zn)	Mg/Kg	Maks. 5
	Timah (Sa)	Mg/Kg	Maks. 40,0/259,0
8	Cemaran Asam (As)	Mg/Kg	Maks. 0,1
9	Cemaran mikroba		
	Angka Lempeng Total	Koloni/g	Maks. 2,0 x 1
	Coliform	APM/g	< 3
	Kapang	Koloni/g	Maks. 50
	Khamir	Koloni/g	Maks. 50

Sumber : SNI 01-4317-1996

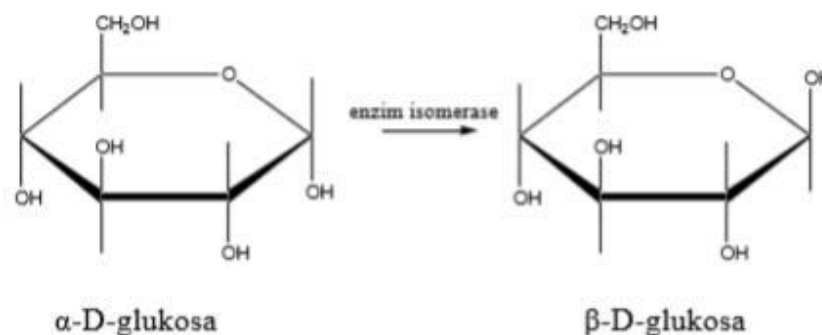
2.4.2 Mekanisme Pembentukan Nata

Gas CO₂ yang dihasilkan selama proses fermentasi menyebabkan pengapungan nata dan terdorong ke permukaan media. Suhu inkubasi nata yang optimal yaitu 28-30°C (Mey Rizal et al., 2013). Mekanisme pembentukan selulosa oleh bakteri *Acetobacter xylinum* merupakan suatu rangkaian proses biokimia yang terdiri dari empat tahap reaksi. Tahap pertama adalah hidrolisis kandungan utama gula yaitu sukrosa yang menghasilkan fruktosa dan glukosa. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



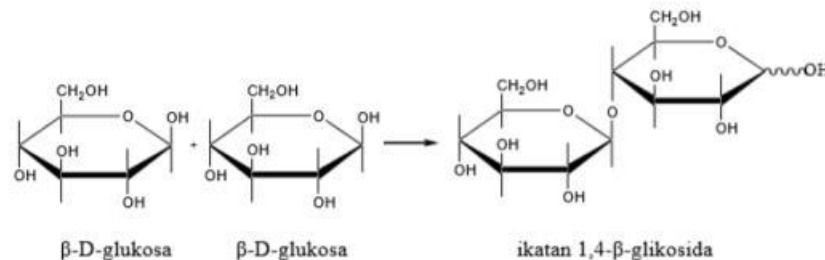
Gambar 4. Reaksi hidrolisis sukrosa

Sukrosa dihidrolisis dengan menggunakan enzim sukrase atau enzim invertase, yaitu suatu jenis protein yang berperan sebagai katalis dalam pengubahan sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa. Tahap kedua adalah reaksi perubahan intramolekular α -D-glukosa menjadi β -D-glukosa dengan menggunakan enzim isomerase yang terdapat pada bakteri *Acetobacter xylinum*. Proses pengubahan ini disebabkan glukosa yang berperan dalam pembentukan selulosa adalah glukosa dalam bentuk β .



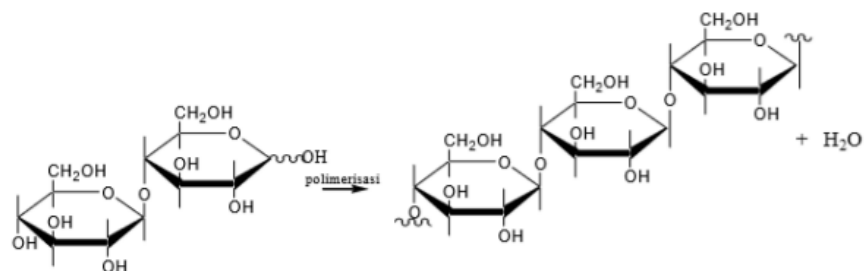
Gambar 5. Reaksi perubahan α -D-glukosa menjadi β -D-glukosa

Tahap ketiga adalah reaksi intermolekul glukosa melalui ikatan 1,4 β -glikosida.



Gambar 6. Reaksi pembentukan ikatan 1,4 β -glikosida

Tahap keempat yang merupakan tahap terakhir adalah reaksi polimerisasi. Reaksi polimerisasi ini merupakan reaksi pembentukan selulosa bakteri *Acetobacter xylinum*, dengan unit ulangnya adalah selobiosa. Jenis polimerisasinya adalah polimerisasi kondensasi, dengan mengeliminasi air.



Gambar 7. Reaksi pembentukan selulosa bakteri *Acetobacter xylinum*

(Wulandari et al., 2017)

2.4.3 Faktor yang Mempengaruhi Keberhasilan Nata

1. Temperatur Ruang Inkubasi

Temperatur ruang inkubasi harus diperhatikan karena berkaitan dengan pertumbuhan bakteri *Acetobacter xylinum* dapat tumbuh dan berkembang secara optimal. Pada umumnya suhu fermentasi pembuatan nata adalah pada suhu kamar (28°C). Suhu yang terlalu rendah akan menghasilkan nata yang kurang memuaskan, begitupun sebaliknya jika suhu yang terlalu tinggi maka hasilnya diperoleh juga akan kurang baik. Mengatasi masalah ini maka alat yang paling baik

untuk digunakan adalah inkubator karena dapat mempertahankan suhu dengan baik selama fermentasi berlangsung dalam ruang inkubasi (Januar, 2010).

2. Kualitas Starter

Starter yang kurang baik akan menghasilkan nata yang kurang baik pula. Jadi sebaiknya digunakan starter yang berkualitas baik untuk mendapatkan hasil yang baik pula. Starter berkualitas baik adalah starter yang tidak terkontaminasi dengan nata yang tidak terlalu tebal dan berada pada lapisan atas permukaan media fermentasi (Januar, 2010).

3. Waktu Fermentasi

Waktu fermentasi yang digunakan dalam pembuatan nata umumnya adalah 2-4 minggu. Minggu ke-4 merupakan waktu yang paling optimal produksi nata, yang berarti lebih dari 4 minggu produksi nata akan menurun (Effendi, 2009)

4. Ketersediaan Oksigen

Ketersediaan oksigen terlarut dalam media kultur merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi produksi dan kualitas selulosa. Oksigen terlarut dalam media dapat bervariasi dengan mengubah kecepatan agitasi. Kurangnya oksigen selama proses fermentasi akan mengurangi produksi selulosa (Januar, 2010).

5. pH Fermentasi

Derajat keasaman yang dibutuhkan bakteri *Acetobacter xylinum* dalam nata yaitu bakteri tersebut dapat tumbuh pada suhu optimum 28-31°C dan pH 3,5-7,5, namun bakteri ini sangat cocok tumbuh pada suasana asam. Pada kedua posisi pH optimum, aktifitas enzim seringkali menurun dengan tajam. Suatu perubahan kecil pada pH dapat menimbulkan perbedaan besar pada kecepatan reaksi enzimatik yang amat penting bagi organisme. Penurunan pH dapat terjadi akibat fermentasi karbohidrat menjadi asam sehingga cenderung terjadi penurunan pH optimum (Sutanto & Suarsini, 2016).

6. Nutrisi

A. Sumber Karbon

Senyawa sumber Karbon yang dapat digunakan dalam fermentasi nata adalah senyawa karbohidrat yang tergolong monosakarida dan disakarida. Pembentukan nata dapat terjadi pada media yang mengandung senyawa senyawa glukosa, sukrosa, dan laktosa. Sementara, yang paling banyak digunakan berdasarkan pada pertimbangan ekonomis, adalah sukrosa atau gula pasir. Di samping murah, sukrosa juga mudah ditemukan di tempat-tempat terpencil sekalipun. Sukrosa mempunyai kelebihan apabila dibanding dengan gula sederhana lain, yakni selain sebagai sumber energi dan bahan pembentuk nata, gula ini juga dapat berfungsi sebagai bahan induser yang berperan dalam pembentukan enzim ekstraseluler polimerase yang bekerja menyusun benang-benang nata, sehingga pembentukan dapat maksimal. Penambahan sukrosa harus mengacu pada jumlah yang dibutuhkan. Penambahan yang berlebihan, di samping tidak ekonomis dan mempengaruhi tekstur nata, juga dapat menyebabkan terciptanya limbah baru berupa sisa dari sukrosa tersebut. Namun sebaliknya, penambahan yang terlalu sedikit, menyebabkan bibit nata menjadi tumbuh tidak normal dan nata tidak dapat dihasilkan secara maksimal (Sutanto & Suarsini, 2016)

B. Sumber Nitrogen

Sumber Nitrogen bisa digunakan dari senyawa organik maupun anorganik. Bahan yang baik bagi pertumbuhan *Acetobacter xylinum* dan pembentukan nata adalah ekstrak yeast dan kasein. Namun, amonium sulfat dan amonium fosfat (di pasar dikenal dengan ZA) merupakan bahan yang lebih cocok digunakan dari sudut pandang ekonomi dan kualitas nata yang dihasilkan. Banyak sumber N lain yang dapat digunakan dan murah seperti urea. Tetapi, secara teknis urea kurang menguntungkan dibanding

ZA. Kelebihan penggunaan ZA adalah dapat menghambat pertumbuhan bakteri *Acetobacter aceti* yang merupakan pesaing *Acetobacter xylinum* (Sutanto & Suarsini, 2016).

2.5 *Acetobacter xylinum*

2.5.1 Bakteri Asam Laktat

BAL (Bakteri Asam Laktat) merupakan kelompok bakteri yang memproduksi asam laktat sebagai produk metabolik. BAL adalah bakteri gram positif berbentuk kokus, batang tidak berspora dan bersifat mikroaerofilik. Organisme ini bersifat heterotropik dan umumnya membutuhkan nutrisi yang kompleks selama pertumbuhan dan perkembangannya. BAL biasa digunakan sebagai probiotik karena bersifat nonpatogenik dan nontoksigenik. BAL biasanya memproduksi bakteriosin yang merupakan peptida dengan sifat sebagai antibakteri. Selain kemampuannya dalam menghambat bakteri patogen, bakteriosin tidak membahayakan flora normal usus karena mudah dicerna enzim-enzim pencernaan (Finanda et al., 2021).

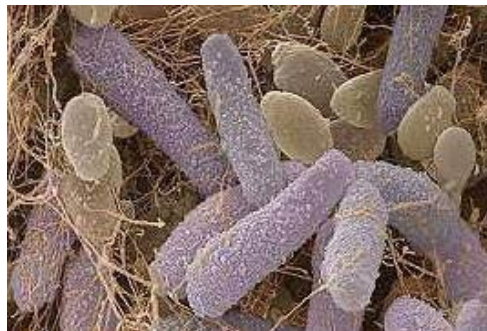
Fermentasi asam laktat dapat terjadi sebagai akibat aktivitas BAL yang dibedakan menjadi dua kelompok yaitu homofermentatif dan heterofermentatif. Proses fermentasi bersifat homofermentatif jika hanya menghasilkan satu jenis komponen saja misalnya asam laktat dengan produksi yang dihasilkan dari glukosa melalui jalur Embden-Meyerhof. Sedangkan untuk proses fermentasi bersifat heterofermentatif bila menghasilkan campuran berbagai senyawa atau komponen lainnya, misalnya asetat, etanol, karbodioksida, dan asam laktat. Produksi asam laktat untuk heterofermentatif dihasilkan dari glukosa melalui alur *pentose-phosphate* (Ferdaus et al., 2008).

Acetobacter xylinum merupakan salah satu BAL dalam golongan homofermentatif yang sangat membutuhkan oksigen (bakteri aerob). *Acetobacter xylinum* termasuk dalam famili *Acetobacteriaceae* dan bisa mengubah karbohidrat menjadi asam asetat. *Acetobacter xylinum* sendiri ialah bakteri unik yang berbeda dengan bakteri asam asetat lainnya sebab

bisa mensintesis dan menghasilkan fibril selulosa yang muncul dari pori-pori membran sel (Hamad et al., 2011).

2.5.2 Klasifikasi *Acetobacter Xylinum*

Sutarminingsih (2004), menyebutkan bahwa bakteri *Acetobacter xylinum* dapat diklasifikasikan dalam golongan :



Divisio : *Protophyta*
 Kelas : *Schizornycetes*
 Ordo : *Pseudomonnales*
 Famili : *Paseudomonas*
 Genus : *Acetobacter*
 Spesies : *Acetobacter xylinum*

Gambar 8. *Acetobacter xylinum*

1. Sifat Morfologi

Acetobacter xylinum merupakan bakteri berbentuk batang pendek, yang mempunyai panjang 2 mikron dan lebar 0,6 mikron, dengan permukaan dinding yang berlendir. Bakteri ini bisa membentuk rantai pendek dengan satuan 6-8 sel. Bersifat nonmotil dan menunjukkan gram negatif. Bakteri ini tidak membentuk endospora maupun pigmen (Sutanto & Suarsini, 2016).

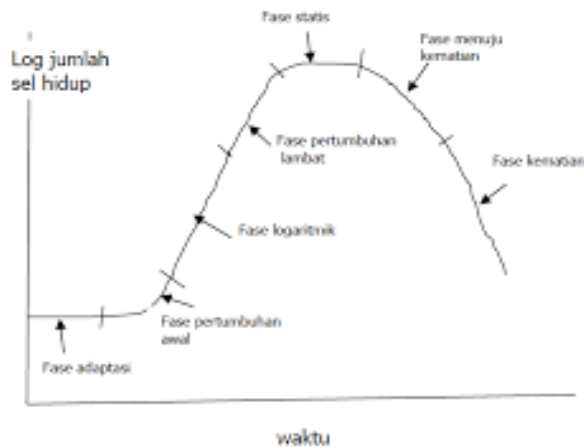
2. Sifat Fisiologis

Bakteri ini dapat membentuk asam dari glukosa, etil alkohol dan propil alkohol, tidak membentuk indol dan mempunyai kemampuan mengoksidasi asam asetat menjadi CO₂ dan H₂O. Sifat yang paling menonjol dari bakteri ini adalah memiliki kemampuan untuk mempolimerisasi glukosa hingga menjadi selulosa (Sutanto & Suarsini, 2016)

2.5.3 Pertumbuhan Sel

Pertumbuhan sel bakteri didefinisikan sebagai pertumbuhan secara teratur semua komponen di dalam sel hidup. Umur sel ditentukan segera

setelah proses pembelahan sel selesai, sedangkan umur kultur ditentukan dari lamanya inkubasi. Dalam satu waktu generasi, bakteri akan melewati beberapa fase pertumbuhan yaitu sebagai berikut (Sutanto & Suarsini, 2016) :



Gambar 9. Kurva Pertumbuhan Bakteri

1. Fase Adaptasi

Bakteri *Acetobacter xylinum* tidak akan langsung tumbuh dan berkembang saat dipindahkan ke media baru. Bakteri akan menyesuaikan diri dengan substrat dan kondisi lingkungan barunya atau disebut dengan fase adaptasi. Meskipun tidak mengalami perbanyakan sel, pada fase ini terjadi aktivitas metabolisme dan pembesaran sel. Lama fase ini ditentukan oleh medium dan lingkungan pertumbuhan serta jumlah inokulum. Fase adaptasi bagi *Acetobacter xylinum* dicapai antara 0-24 jam atau 1 hari sejak inokulasi. Makin cepat fase ini dilalui, makin efisien proses pembentukan nata yang terjadi.

2. Fase Pertumbuhan Awal

Pada fase ini, sel mulai membelah dengan kecepatan rendah. Fase ini menandai diawalinya fase pertumbuhan eksponensial.

3. Fase Pertumbuhan Eksponensial

Fase ini disebut juga sebagai fase pertumbuhan logaritmik, yang ditandai dengan pertumbuhan yang sangat cepat. Untuk bakteri *Acetobacter xylinum* fase ini dicapai dalam waktu antara 1-5 hari

tergantunng pada kondisi lingkungan. Bakteri *Acetobacter xylinum* mengeluarkan enzim ekstraseluler polimerase sebanyak-banyaknya untuk menyusun polimer glukosa menjadi selulosa. Fase ini sangat menentukan tingkat kecepatan suatu strain *Acetobacter xylinum* dalam membentuk nata.

4. Fase Pertumbuhan Lambat

Pada fase ini, terjadi pertumbuhan yang di perlambat karena ketersediaan nutrisi telah berkurang, terdapatnya metabolik yang bersifat toksik yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri dan umur sel telah tua. Pada fase ini, pertumbuhan tidak lagi stabil tetapi jumlah sel yang tumbuh masih lebih banyak diproduksi pada fase ini.

5. Fase Pertumbuhan Tetap

Pada fase ini, jumlah sel yang tumbuh relatif sama dengan jumlah sel yang mati. Penyebabnya adalah di dalam media terjadi kekurangan nutrisi, pengaruh metabolit toksit lebih besar dan umur sel semakin tua. Namun, pada fase ini sel akan lebih tahan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim jika dibandingkan dengan ketahanannya pada fase yang lain. Matrik nata lebih banyak diproduksi pada fase ini.

6. Fase Menuju Kematian

Pada fase ini, bakteri mulai mengalami kematian karena nutrisi telah habis dan sel kehilangan banyak energi cadangannya.

7. Fase Kematian

Pada fase ini, sel dengan cepat mengalami kematian dan hampir merupakan kebalikan dari fase logaritmik. Sel mengalami lisis dan melepaskan komponen yang terdapat di dalamnya. Kecepatan kematian dipengaruhi oleh nutrisi, lingkungan dan jenis bakteri. Untuk *Acetobacter xylinum*, fase ini dicapai setelah hari kedelapan hingga kelima belas. Pada fase ini, *Acetobacter xylinum* tidak baik apabila digunakan sebagai bibit nata.