

**OPTIMALISASI PRODUKSI BIOSUGAR DARI LIMBAH
PENGOLAHAN ALGA LAUT *Kappaphycus alvarezii* MELALUI
HIDROLISIS ENZIMATIK**

*OPTIMIZATION OF BIOSUGAR PRODUCTION FROM MARINE
ALGA TREATMENT WASTE THROUGH ENZYMATIC
HYDROLYSIS*

DARMILAN



**PROGRAM MAGISTER BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2023



**OPTIMALISASI PRODUKSI BIOSUGAR DARI LIMBAH
PENGOLAHAN ALGA LAUT *Kappaphycus alvarezii* MELALUI
HIDROLISIS ENZIMATIK**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar megister

Departemen Biologi

Disusun dan diajukan oleh

DARMILAN

H052211010

Kepada

**PROGRAM MAGISTER BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

MAKASSAR

2



TESIS**OPTIMALISASI PRODUKSI BIOSUGAR DARI LIMBAH PENGOLAHAN
ALGA LAUT MELALUI HIDROLISIS ENZIMATIK****DARMILAN**

NIM. H052211010

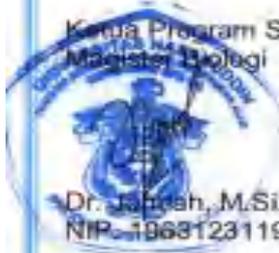
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Magister Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 23 November 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama

Dr. Sulfahri, M. Si.
NIP. 198901262014041001

Pembimbing Pendamping

Dr. Zaraswati Dwyana, M.Si.
NIP. 196512091990082001Kepala Program Studi
Magister BiologiDr. Jahidah, M.Si.
NIP. 196312311988102001Dekan Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan AlamDr. Eng. Amrullah, M.Si.
NIP. 197205151997021002

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN KELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul Optimalisasi Produksi Biosugar dari Pengolahan Limbah Alga Laut *Kappaphycus alvarezii* Melalui Hidrolisis Enzimatik adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Dr. Sulafahri, M.Si dan Dr. Zaraswati Dwyana, M.Si. Karya ilmiah ini belum diajukan dan sedang tidak diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan telah disebutkan dalam daftar pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Journal Biofuels, Taylor & Francis sebagai artikel dengan judul "Optimization of Biosugar Production from Algae *Kappaphycus alvarezii* Waste Processing through Enzymatic Hydrolysis".

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 10 Desember



Darmilan
H052211010



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis ini yang berjudul “Optimalisasi Produksi Biosugar dari Pengolahan Limbah Alga Laut *Kappaphycus alvarezii* Melalui Hidrolisis Enzimatik” sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Magister Sains (M.Si) di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

Proses penyelesaian tesis ini, merupakan suatu rangkaian perjuangan yang cukup panjang bagi penulis. Selama proses penelitian dan penyusunan tesis ini tidak sedikit kendala yang penulis hadapi, banyak hal serta kendala yang penulis harus lewati. Berkat usaha dan doa yang disertai motivasi, bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak akhirnya penelitian dan penyusunan tesis ini dapat diselesaikan oleh penulis. Oleh karena itu, penulis merasa sangat bersyukur dan mengucapkan banyak terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaian tesis ini.

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada keluarga besar terkhusus kepada kedua orang tua, Ayahanda Susun Pasau dan Ibunda Asnia dan Saudara Kandung Basman, Pabiaran, Bung Muis, Parestoti, Imbran, Mallorok dan Harianto atas dukungan yang telah diberikan kepada penulis baik moril dan materil serta selalu mendoakan.

Penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada Bapak Dr. Sulfahri, M.Si., sebagai dosen pembimbing pertama dan Ibu Dr. Zaraswati Dwyana, M.Si., sebagai pembimbing kedua yang telah sabar membimbing, membantu, serta mengarahkan penulis dengan memberikan kritik dan saran serta nasihat kepada penulis selama penulisan tesis ini. Penyelesaian tesis ini tidak terlepas dari peran dan batuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta jajarannya.
2. Dr. Eng. Amiruddin, M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin beserta staf pegawainya.
3. Dr. Juhriah, M.Si., selaku Ketua Program Studi Magister Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.



4. Prof. Dr. Ir, Slamet Santosa, M.Si., Dr. Rosana Agus, M.Si., dan Dr. A. Masniawati M.Si., selaku dosen penguji yang dengan sabar mengarahkan dan memberi kritik dan saran demi perbaikan tesis ini.
5. Dr. Zaraswati Dwyana, M.Si., selaku Penasihat Akademik (PA) yang senantiasa memberikan nasihat dan arahan kepada penulis.
6. Seluruh staf dosen yang telah memberikan ilmu dan memotivasi kepada penulis mulai dari awal perkuliahan hingga saat ini.
7. Pemerintah Kabupaten Luwu Utara yang telah memberikan beasiswa penelitian kepada penulis.
8. Teman-teman angkatan 2021 yang telah berjuang bersama dengan penulis selama perkuliahan hingga saat ini.
9. Kepada semua pihak yang tidak dapat penulis tuliskan namun telah membantu penulis selama proses perkuliahan hingga penyusunan tesis ini. Penulis tidak dapat membalas kebaikan bapak/ibu/saudara sekalian. Dengan penuh rasa hormat penulis mempersembahkan tesis ini dan semoga dapat bermanfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Penulis,

DARMILAN

NIM.H052211010



ABSTRAK

DARMILAN. **Optimalisasi Produksi Biosugar dari Pengolahan Limbah Alga *Kappaphycus alvarezii* Melalui Hidrolisis Enzimatik** (dibimbing oleh, Sulfahri dan Zaraswati Dwyana).

Kappaphycus alvarezii merupakan salah satu jenis alga merah (Rhodophyta) yang mengandung karbohidrat tinggi dan berpotensi menjadi bahan baku alternatif produksi biosugar. *Kappaphycus alvarezii* banyak dijumpai di Sulawesi Selatan, berdasarkan tingkat produksi dan ketersediaan pabrik pengolahan alga yang memadai. Industri pengolahan *Kappaphycus alvarezii* menghasilkan 65-70% sampah yang cenderung terbuang dan menjadi sampah organik dan padat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah enzim selulase, konsentrasi substrat, dan pH yang optimal untuk produksi biosugar. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2023 dengan menggunakan metode hidrolisis enzimatik yaitu enzim selulase (Novozimes, Denmark) dalam jumlah yang bervariasi (100 KNU, 200 KNU, 300 KNU, 400 KNU, 500 KNU) pada berbagai konsentrasi substrat (2.5%, 5%, 7.5% dan 10%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi alga dapat mempengaruhi kadar gula. Namun konsentrasi enzim tidak berpengaruh nyata terhadap kadar gula yang dihasilkan. Berdasarkan hal tersebut, kadar gula paling optimal yang dihasilkan adalah 0,46 g/g pada konsentrasi enzim 100 KNU/L dan konsentrasi alga 2,5%. pH yang dihasilkan berkisar antara 6,75 hingga 6,95.

Kata Kunci: Biosugar; *Kappaphycus alvarezii*; Hidrolisis Enzimatik



ABSTRACT

DARMILAN. **Optimizing Biosugar Production from Processing Algae Waste *Kappaphycus alvarezii* Through Enzymatic Hydrolysis** (supervised by, Sulfahri and Zaraswati Dwyana).

Kappaphycus alvarezii is a type of red algae (Rhodophyta) which contains high carbohydrates and has the potential to be an alternative raw material for biosugar production. *Kappaphycus alvarezii* is often found in South Sulawesi, based on production levels and the availability of adequate algae processing plants. The *Kappaphycus alvarezii* processing industry produces 65-70% of waste which tends to be wasted and becomes organic and solid waste. This research aims to determine the optimal amount of cellulase enzyme, substrate concentration and pH for biosugar production. This research was carried out in February 2023 using the enzymatic hydrolysis method, namely the cellulase enzyme (Novozimes, Denmark) in varying amounts (100 KNU, 200 KNU, 300 KNU, 400 KNU, 500 KNU) at various substrate concentrations (2.5%, 5% , 7.5% and 10%). The results showed that the concentration of algae can affect sugar levels. However, the enzyme concentration did not have a significant effect on the sugar content produced. Based on this, the optimal sugar content produced is 0.46 g/g at an enzyme concentration of 100 KNU/L and an algae concentration of 2.5%. The resulting pH ranges from 6.75 to 6.95.

Keywords: Biosugar; *Kappaphycus alvarezii*; Enzymatic Hydrolysis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGANTAR.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Kegunaan penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Kappaphycus alvarezii</i>	5
2.2 Selulosa	9
2.3 <i>Preatreatment</i>	11
2.3 Hidrolisis	13
2.5 Enzim Selulase	15
BAB III. METODE PENELITIAN	19
3.1 Rancangan Penelitian	19
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	19
3.2.1 Bahan	19
3.2.2 Prosedur Penelitian	20
3.2.3 Preatreatment dan Hidrolisis Enzimatik	20
3.2.4 Pengukuran Kadar Gula	20



3.5 Rancangan Penelitian	20
3.6 Analisis Data	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
4.1 Hasil	22
4.1.1 Hasil Proses Hidrolisis Enzimatik pada Alga Merah <i>Kappaphycus alvarezii</i>	22
4.1.2 Hasil Pengukuran pH	23
4.2 Pembahasan	24
4.2.1 Proses Hidrolisis pada Alga Merah <i>Kappaphycus alvarezii</i>	24
4.2.2 Pengukuran Ph pada Proses Hidrolisi enzimatik Limbah Alga Laut <i>Kappaphycus alvarezii</i>	26
BAB V. Kesimpulan dan Saran	28
5.1 Kesimpulan	28
5.2 Saran	28
DAFTAR PUSTAKA.....	23
LAMPIRAN	30
Skema Kerja	30



DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
Gambar. 1 <i>Kappaphycus alvarezii</i> . Keterangan: (A) Coklat (B) Merah (C) Hijau ..	7
Gambar. 2 Struktur Sellulosa	9
Gambar. 3 Rantai Molekul Lignin, Sellulosa, Hemisellulosa	10
Gambar. 4 Reaksi hidrolisis selulase menjadi glukosa	14
Gambar. 5 Jenis dan Aksi Enzim Selulase	18
Gambar 6 Kerangka Pikir	19
Gambar 7 Hasil Kadar Gula Limbah alga <i>Kappaphycus alvarezii</i> pada Konsentrasi Substrat dan Enzim Selulase	24
Gambar 8 Hasil Pengukuran pH pada proses hidrolisis enzimatik Limbah Alga Luat <i>Kappaphycus alvarezii</i>	26



DAFTAR TABLE

Nomorurut	Halaman
Table 1. Komposisi Kimia <i>Kappaphycus alvarezii</i>	6
Tabel 2. Rancangan Penelitian Hidrolisis Enzimatik	22
Tabel 3. Rerata Kadar Gula (%) pada Setiap Konsentrasi Substrat dan Enzim Selulase.....	24



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Halaman
Table 1. Komposisi Kimia <i>Kappaphycus alvarezii</i>	6
1. Skema Kerja	36
2. Hasil Penelitian	37
3. Dokumentasi Penelitian	38
4. Hasil Uji Anova pada Pengukuran Kadar Gula	45
5. Hasil Uji Anova pada Pengukuran pH	46



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Alga laut merupakan salah satu sumber devisa negara dan sumber penghasilan bagi masyarakat pesisir serta menjadi komoditi laut yang sangat populer dalam perdagangan dunia, karena merupakan salah satu organisme dengan proses pertumbuhan yang cepat dan dapat tumbuh pada berbagai kondisi di bumi (Sulfahri *et al.*, 2018 dan Rodriguez *et al.* 2016)) serta pemanfaatannya yang luas dalam kehidupan sehari-hari baik sebagai sumber pangan, obat-obatan dan bahan baku industri. Alga laut dibagi menjadi tiga berdasarkan senyawa kimia yang dikandungnya, diantaranya rumput laut penghasil agar (agarofit), penghasil alginat (alginofit) dan penghasil karagenin (karagenofit) maka ganggang merah (*Rhodophyceae*) seperti *Kappaphycua alvarezii* dikelompokkan sebagai rumput laut penghasil karagenin yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang industri (Fathmawati, 2014). Alga merupakan sumber daya biomassa terbarukan yang terdiri dari gula yang mengandung karbon polimer, yang dapat digunakan untuk membuat produk biokimia yang terurai secara hayati dan berkualitas tinggi terutama biosugar (Azizi *et al.*, 2017).

Biosugar adalah salah satu produk antara penting yang dapat diproduksi dari bahan baku dengan kandungan karbohidrat yang cukup tinggi (Reman *et al.*, 2018). Produksi biosugar dari alga dapat menjadi salah satu alternatif realistis untuk menggantikan fungsi tebu sebagai bahan dasar gula.

Berdasarkan data Sistem Pemantauan Pasar Kebutuhan Pokok (SP2KP), secara Nasional harga rata-rata gula pasir di pasar domestik pada bulan Januari 2022 masih relatif tinggi, yaitu sebesar Rp13.661-/kg. Tingkat harga pada bulan Januari 2022 mengalami kenaikan dibandingkan dengan Desember 2021 sebesar 4,94%. Menurut Direktur Barang Pokok dan Barang Penting Kementerian Perdagangan, kenaikan harga gula di Januari masih merupakan ingkatan konsumsi di akhir Desember (Nataru dan belum dimulainya iling). Konsumsi gula dalam rumah tangga dapat dilihat dari jumlah atau distribusi dari pabrik. Berdasarkan data NSC (2022), kebutuhan sumsi pada tahun 2021 mencapai 3,71 juta ton setahun, naik sekitar



14,7% dibandingkan tahun 2020. Dengan demikian, terdapat impor untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Rata-rata impor gula masuk ke Indonesia dari tahun 2016 hingga 2020 sebesar 4,75 juta ton dengan jumlah tertinggi sebesar 5,4 juta ton. Sedangkan perkembangan produksi gula dari tahun 2016 sampai 2021 menunjukkan cenderung stagnan. Produksi gula tidak meningkat signifikan karena tidak adanya penambahan areal secara meluruh serta produktivitas tanaman dalam periode terakhir. Berdasarkan data dari National Sugar Club (NSC, 2022), luas areal tebu selama periode 2016-2020 mengalami tren penurunan 1,14% per tahun dan pada tahun 2021, produktivitas dan rendemen tebu masing-masing mencapai 71,7 ton per Ha dan 7,24%. Berbagai bahan mentah dalam alternatif industri gula yaitu singkong, jagung dan sago yang mengandung kadar tinggi karbohidrat (Rahmawati *et al.*, 2017) dan Mahyati *et al.*, 2017). Namun ketersediaan bahan baku terbatas karena fungsi utamanya sebagai makanan pokok (Zaenab, 2020).

Beberapa penelitian produksi biosugar juga berasal dari limbah pertanian karena mengandung bahan lignoselulosa (Maurya. *et al.*, 2015). Namun limbah pertanian cenderung mengandung lignin dalam jumlah tinggi dan juga membutuhkan hamparan lahan pertanian untuk budidayanya, selain itu limbah pertanian umumnya membutuhkan waktu yang lama sebelum dapat dipanen. (Sulfahri, *et al.*, 2017). Oleh karena itu produksi biosugar dapat menggunakan alternatif lain berupa alga. Hal ini disebabkan kandungan karbohidrat alga yang cukup tinggi (Sulfahri *et al.*, 2012).

Kandungan karbohidrat merupakan komposisi kimia yang paling tinggi pada beberapa jenis alga laut (Lumbessy *et al.* 2020). Dalam Leandro *et al.* (2020) menyampaikan bahwa kandungan karbohidrat pada alga laut dapat mewakili lebih dari 50% berat keringnya. Salah satu karbohidrat yang potensial terdapat pada alga *Kappaphycus alvarezii*.

Kappaphycus alvarezii menghasilkan karagenan yang banyak digunakan sebagai bahan baku dalam bidang farmasi, industri makanan, minuman, kosmetik dan lain-lain. karagenan terdiri atas polisakarida linier, galaktan sulfat yang larut dalam air dan berpotensi sebagai bahan baku produksi biosugar (Zaenab *et al.*, 2020). Menurut Linn *et al.*, (2000) *K.alvarezii* memiliki an karbohidrat yang paling tinggi serta mudah terdegradasi sehingga rupakan sebagai bahan baku dalam produksi biosugar.



Kappaphycus alvarezii merupakan salah jenis alga merah (Rhodophyta) yang banyak ditemukan di Sulawesi selatan hal tersebut didukung dengan adanya tingkat produksi yang tinggi dan ketersediaan pabrik untuk pengolahan alga yang memadai. (Botutihe, 2021). Industri pembuatan karagenan dari *Kappaphycus alvarezii*, menghasilkan 65-70% limbah yang cenderung terbuang dan menjadi sampah organik yang berbentuk padat (Wekridhany *et al*, 2012). Biomassa alga merupakan salah satu bahan baku yang berpotensi untuk mengatasi keterbatasan limbah pertanian (Botutihe, S.R., 2021). Penggunaan sampel limbah alga laut mempermudah proses pemisahan selulosa karena sampel yang digunakan sudah terpisah dari senyawa hidrokoloid (Alaydin S, 2020). Selulosa dengan tingkat kemurnian yang tinggi dapat menghasilkan selulosa asetat dengan kualitas yang baik (Bahmid *et al.*, 2013). Tingkat kemurnian selulosa ditunjukkan dengan tingginya nilai α -selulosa. Selulosa merupakan polimer alam yang paling melimpah, biokompatibel, dan ramah lingkungan karena mudah terdegradasi, tidak beracun, serta dapat diperbarui (Mulyadi, 2019).

Proses pengubahan karbohidrat dari alga *K.alvarezii* menjadi monosugar dengan beberapa metode, seperti hidrolisis asam, hidrolisis enzim dan metode fermentasi. (Zaenab *et al.*, 2020). Proses degradasi karbohidrat melalui enzimatik lebih efektif dimana dalam metode ini proses hidrolisis enzimatik tidak menyebabkan terjadinya proses degradasi gula hasil hidrolisis, (Taherzadeh dan Karimi, 2008). Dengan melibatkan enzim selulase yang dapat menghidrolisis ikatan β (1-4) glukosida dari selulosa menghasilkan selubiosa kemudian diubah menjadi monomer glukosa (Setyoko *et al.*, 2016). Berdasarkan uraian di atas maka telah dilakukan penelitian mengenai Optimalisasi Produksi Biosugar dari Limbah Pengolahan Alga Melalui Hidrolisis Enzimatik.

1.2. Rumusan Masalah

1.2.1 Berapa jumlah enzim Selulase yang optimal untuk produksi kadar gula total dari hidrolisis limbah pengolahan alga



apa konsentrasi substrat yang optimal untuk produksi kadar gula total i hidrolisis limbah pengolahan alga.

1.3 Tujuan Penelitian

- 1.3.1 Menentukan dan menganalisis jumlah enzim selulase yang optimal untuk produksi kadar gula total dari hidrolisis limbah pengolahan alga.
- 1.3.1 Menentukan dan menganalisis konsentrasi substrat yang optimal untuk produksi kadar gula total dari hidrolisis limbah pengolahan alga.

1.4 Kegunaan Penelitian

- 1.4.1. Salah satu alternatif dalam mencegah pencemaran lingkungan
- 1.4.2. Memberikan informasi kepada industri sebagai alternatif memproduksi biosugar dari limbah alga laut
- 1.4.3. Menjadi acuan bagi peneliti selanjutnya dalam pemanfaatan limbah alga laut.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Alga Laut *Kappaphycus alvarezii*

Organisme laut telah dikenal sebagai sumber daya alam yang berpotensi tinggi, berperan sebagai produsen utama dalam ekosistem perairan (Indriatmoko *et al.*, 2015). Alga laut merupakan salah satu sumber devisa negara dan sumber penghasilan bagi masyarakat pesisir serta menjadi komoditi laut yang sangat populer dalam perdagangan dunia, karena pemanfaatannya yang luas dalam kehidupan sehari-hari baik sebagai sumber pangan, obat-obatan dan bahan baku industri (Sulistijo *et al.*, 1996 dan Fathmawati, 2014).

Alga merupakan biomassa bergizi dan tersebar luas di zona litoral laut. Pada tahun 2008 tercatat bahwa penerapan budidaya alga di Indonesia telah berkembang pesat diperkirakan ada 20.000 rumah tangga di wilayah pesisir yang terlibat dalam budidaya alga (Larson *et al.*, 2021).

Alga dapat dibedakan menjadi tiga kelompok besar yaitu Rhodophyta (merah), Phaephyta (Coklat), dan Chlorophyta (Hijau) (Hung *et al.*, 2021). *Kappaphycus alvarezii* atau yang dikenal sebagai cottoni merupakan jenis alga yang tergolong dalam alga merah penghasil karaginan yang dibudidayakan diperairan Indonesia termasuk Sulawesi (Erwansyah *et al.*, 2021 dan Simatupang *et al.* 2021).

Kappaphycus alvarezii merupakan alga dengan nilai ekonomis yang tinggi karena dapat diolah menjadi produk makanan, kosmetik, obat-obatan serta memiliki peranan dalam perdagangan internasional sebagai penghasil karaganinan berjenis *Kappa*. Kadar karaginan dalam setiap spesies *Kappaphycus* berkisar 54-73% tergantung dari jenis dan lokasinya, di Indonesia berkisar 61,5-67,5%. *Kappaphycus* juga mengandung zat organik lain seperti lemak. Serabut kasar, abu dan air (Sagita *et al.*, 2019).



Table 1 Komposisi Kimia *Kappaphycus alvarezii* (Yunizal, 2014)

Zat Kimia	Jumlah
Karbohidrat	57.52
Protein	3.46
Lemak	0.93
Kadar air	14.96
Kadar abu	16.05
Serat kasar	7.08

Kappaphycus alvarezii dikenal dimasyarakat dengan sebutan *Eucheuma cottoni* berdasarkan keragenan yang dihasilkan termasuk kappa-keragenan maka secara taksonomi disebut sebagai *Kappaphycus alvarezii* (Doty 1985) dalam (Jusman, 2019). Jenis ini termasuk dalam keluarga Rhodophyceae, Thallophyta (alga merah) dan diklasifikasikan dalam garis keturunan Eukarotik (Maili *et al.*, 2015).

Adapun klasifikasi *Kappaphycus alvarezii* menurut Doty (1985) dalam Jusman (2019) yaitu:

Kingdom : Plantae

Divisio : Rhodophyta

Classis : Rhodophyceae

Ordo : Gigartinales

Familia : Solieriaceae

Genus : Eucheuma

Spesies : *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma cottoni*

Secara morfologi *K. alvarezii* tidak memperlihatkan adanya perbedaan antara akar, batang dan daun. Secara keseluruhan tanaman ini mempunyai morfologi yang mirip, walaupun sebenarnya berbeda-beda. Bentuk-bentuk sebenarnya hanyalah *thallus* alga ada bermacam-macam, antara lain bulat abung, pipih, gepeng, bulat seperti kantong, seperti rambut dan ya. *Thalli* ini ada yang tersusun *uniseluler* (satu sel) atau *multiseluler* sel). Percabangan *thallus* ada yang *dichotomous* (bercabang dua terus



menerus), *pectinate* (berderet searah pada satu sisi *thallus* utama), *Pinnate* (bercabang dua pada sepanjang *thallus* utama secara berselang seling). *Ferticillate* (cabangnya berpusat melingkari aksis atau sumbu utama) dan ada juga yang sederhana, tidak bercabang sifat substansi *thalli* juga beraneka ragam ada yang lunak seperti *gellatin* (*gelatinous*), keras diliputi atau mengandung zat kapur (*calcarepus*), lunak seperti tulang rawan (*cartilaginous*), dan berserabut (*spingous*) (Jusman, 2019). *K. alvarezii* atau alga merah merupakan kelompok alga yang memiliki berbagai bentuk dan variasi warna yang tidak selalu tetap, terkadang hijau, hijau kuning, abu-abu, atau merah. salah satu indikasi dari alga merah adalah terjadi perubahan warna dari warna aslinya menjadi ungu tau merah apabila apabila alga tersebut terkena panas atau sinar matahari secara langsung proses tersebut dikenal dengan istilah proses adaptasi kromatik yaitu penyesuaian antara proporsi pigmen dengan kualitas pencahayaan (Wibowo *et al.*, 2014 dan Anggadiredja *et al.*, 2008)



Gambar. 1 *Kappaphycus alvarezii*. Keterangan: (A) Coklat (B) Merah (C) Hijau
(Sumber: Rajamuddin 2016).

Pertumbuhan alga laut *K. alvaezii* dipengaruhi oleh dua faktor yaitu faktor eksternal dan faktor internal. Adapun faktor internal terhadap pertumbuhan alga laut yaitu jenis, galur, bagian *thallus* dan umur. Sedangkan faktor eksternal yang berpengaruh antara lain keadaan lingkungan fisik dan kimiawi perairan (Sogearto *et al.*, 1985 dalam Tuiyyo 2016). Habitat utama dari *K. alvarezii* yaitu

daerah rata-rata terumbu karang, dan memerlukan sinar matahari untuk fotosintesis. Oleh karena itu *K. alvarezii* tumbuh baik di daerah yang tenang air dan melekat pada substrat dasar yang berupa karang mati, lumpur dan cangkang moluska. Umumnya jenis ini berkumpul dalam satu



komunitas dan menyukai variasi suhu harian yang kecil (Destalino, 2013). kondisi perairan yang cocok untuk pertumbuhan *K. alvarezii* yaitu perairan yang terlindung dari terpaan angin dan gelombang yang besar, kedalaman perairan 7,65-9,72 m, salinitas 33-35 ppt, suhu air laut 28-30 °C, kecerahan 2,5-5,25 m, pH 6,5-7,0 dan kecepatan arus 22-48 cm/detik (Wenno *et al.*, 2012)

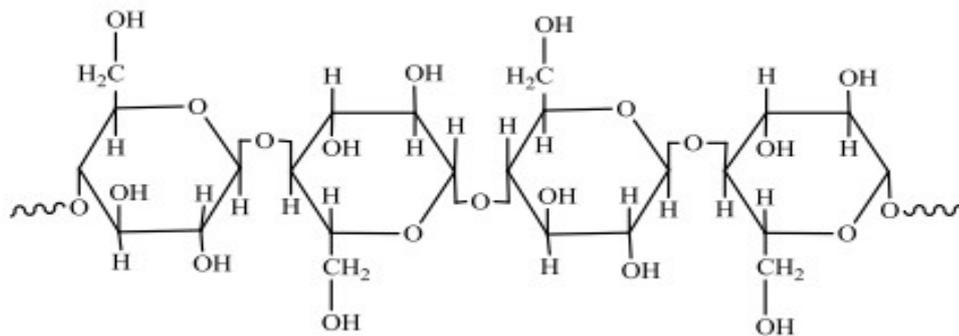
Produk turunan dari *Kappaphycus alvarezii* adalah karagenan yang merupakan polisakarida yang diekstraksi dari alga merah (Irawan. 2021). Karagenan merupakan nama yang diberikan untuk keluarga polisakarida linier yang berperan penting untuk pangan. Dalam bidang industry, tepung karagenan berfungsi sebagai stabilisator (pengatur keseimbangan), *thickener* (bahan pengental) pembentuk jel dan lain-lain. Karagenan di dalam *thallus K. alvarezii* terdapat pada dinding sel. Dinding sel alga merah terdiri atas dua lapisan, yaitu lapisan dalam dan lapisan luar. Lapisan dalam yang lebih keras banyak mengandung selulosa, sedangkan lapisan luar terdiri atas substansi pektik yang mengandung agar dan karagenan (Rajamuddin 2016). Umumnya kappa karagenan tersusun dari α (1,3)-D-Galaktosa-4-Sulfat dan β (1,4)-3,6- anhidro-D-galaktosa. Karagenan juga mengandung D-galaktosa-6-sulfat ester dan 3,6-anhidro-D-galaktosa-2-sulfat ester. Iota karagenan ditandai dengan adanya 4-sulfat ester pada setiap residu D-glukosa dan gugus 2-sulfat ester pada setiap gugus 3,6-anhidro-D-galaktosa. Lambda karagenan berbeda dengan kappa dan iota karagenan, karena memiliki residu disulfat β (1-4) D-galaktosa, sedangkan kappa dan iota karagenan selalu memiliki gugus 4-fosfat ester (Sagita *et al.*, 2019). Secara alami, dalam tubuh alga, jenis karagenan kappa dibentuk secara enzimatis dari prekursornya oleh enzim sulfohidrolase κ -Carrageenase. Karagenan adalah prekursor dari kappa-karagenan (Rajamuddin 2016).

2.2. Selulosa

Kandungan karbohidrat alga *K. alvarezii* diperoleh sekitar 55,58% yang didominasi oleh pati dan selulosa yaitu 35,85% dan 12,21%. Karbohidrat disebut juga polisakarida yang merupakan kombinasi monosakarida yang dihubungkan an glikosida, misalnya polisakarida adalah selulosa, glikogen dan pati *et al.*, 2020). Organisme alga menjadi salah satu sumber alternatif Selulosa merupakan komponen utama penyusun dinding sel tumbuhan



dari pohon tingkat tinggi hingga organisme primitif, seperti alga, flagelata dan bakteri (Fangel dan Wegener 1989). Selulosa merupakan komponen karbohidrat rantai lurus dengan glukosa sebagai monomer penyusunnya dimana antar monomernya dihubungkan oleh ikatan hydrogen (Fitriasari *et al.*, 2019). Selulosa merupakan polimer alami yang banyak terdapat di alam, selulosa adalah polimer rantai lurus yang terdiri dari ratusan hingga puluhan ribu ikatan glikosida Umumnya hemiselulosa mengisi ruang dalam dinding sel dan lebih mudah larut dalam air β -(1,4) unit d-glukosa, yang menyebabkan molekul-molekul selulosa membentuk rantai yang saling bersisian, kokoh dan lurus. Selulosa tidak larut dalam pelarut-pelarut umum karena memiliki ikatan hydrogen yang kuat, baik intramolekul maupun antar molekul (Souhoka dan latupeirissa, 2018). Menurut Chen (2014) selulosa mengandung karbon (44,44%), hydrogen (6,17%) dan oksigen (49,39%).13-Umumnya, kandungan selulosa berkisar 40-50% dari berat kering bahan berlignoselulosa.

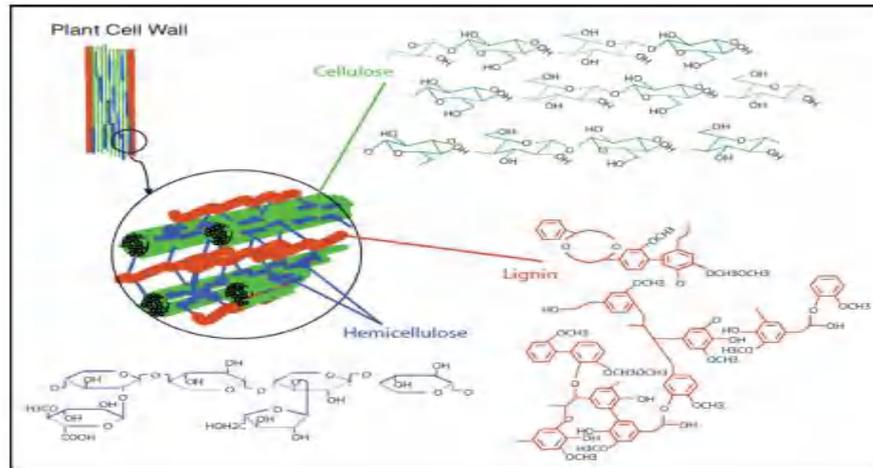


Gambar. 2 Struktur Sellulosa (Mulyadi, 2019)

Selulosa merupakan komponen murni dari bahan berlignoselulosa, sediaan selulosa di alam adalah dalam dimensi nano. Istilah nano didefinisikan sebagai sediaan material yang memiliki dimensi dalam ukuran nanometer, yaitu dengan kisaran dibawah 100 nm. Selulosa dalam komponen lignoselulosa tersedia dalam bentuk agrgat molekul (makromolekul) untaian gabungan rantai polisakarida dengan lebar 3-1- nm (Fratzl dan weinkamer, 2007), sedangkan Panjang rantai agregat selulosa murni dapat mencapai ukuran mikrometer, ahapan isolai, ukuran selulosa murni yang dihasilkan menjadi sangat , tergantung dari sumber bahan baku, metode isolasi yang digunakan, penanganan sampai proses karakterisasi seperti analisis di bawah p electron dan analisis ukuran partikel (Fatriasari *et al.*, 2019).



Setiap sumber selulosa memiliki variasi terutama kadar selulosa dan kemurnian selulosa (Fitriasari *et al.*, 2019). Komponen penyusun alga selain selulosa juga terdapat lignin dan hemiselulosa dan bahan-bahan ekstraktif lainnya.



Gambar. 3 Rantai Molekul Lignin, Sellulosa, Hemisellulosa (Bhatia, 2008).

Hemiselulosa mengisi ruang dalam dinding sel dan lebih mudah larut dalam air. (Tamaheang *et al.*, 2017). Hemiselulosa merupakan polisakarida yang mempunyai berat molekul lebih kecil dari pada selulosa, molekulnya lebih mudah menyerap air, bersifat plastis, dan mempunyai permukaan kontak antar molekul yang lebih luas dari pada selulosa. Adapun rantai utama dari hemiselulosa terdiri atas satu jenis monomer (heteropolymer), seperti glucomannan, dengan rantai molekul yang lebih pendek (Fengel dan Wegener, 1984). Sedangkan lignin merupakan salah satu zat komponen penyusun tumbuhan. Lignin adalah zat organik polimer yang banyak dan penting pada tumbuhan. Dimana lignin tersusun atas jaringan polimer fenolik yang berfungsi merekatkan lignin dan hemiselulosa. Lignin melindungi selulosa sehingga selulosa sulit untuk dihidrolisis menjadi glukosa (Cheng 2002). Selulosa dalam alga terikat kuat sehingga perlu dimurnikan dengan menggunakan NaOH. Rusaknya senyawa lignin oleh NaOH untuk meningkatkan kadar selulosa yang dapat dilihat melalui percampuran visual terhadap perubahan warna dan struktur yang lebih lunak. Hal ini menunjukkan bahwa komponen lignin dan hemiselulosa yang terikat dengan selulosa pada masing-masing residu berkurang. Proses ekstraksi selulosa akan mengakibatkan perubahan warna dari abu-abu menjadi hijau muda kecoklatan



sesuai dengan penelitian Habibah *et al.*, (2017). Perubahan tersebut disebabkan oleh senyawa lignin lepas dari selulosa membentuk senyawa natrium fenolat yang bersifat larut dalam aquades (Alaydin *et al.*, 2020). Umumnya selulosa merupakan produk antara (*Inter mediat product*) yang dapat dikonversi menjadi berbagai produk akhir, seperti pulp, kertas dan glukosa.

2.3 Pretreatment

Pretreatment (Pengolahan awal) yang didefinisikan sebagai penghilangan unsur pada limbah yang berukuran besar yang dapat menyebabkan gangguan operasional atau pemeliharaan. Salah satu contoh dalam proses ini yaitu penyaringan (*Screening*). Proses penyaringan biasa menggunakan kisi-kisi penyaring (*bar screen*) yang terdiri dari bar paralel yang berjarak 40 mm-80 mm tergantung ukuran padatan limbah tersebut (Indrayani, 2018). Metode *pretreatment* berdasarkan prinsip teknologinya dapat digolongkan menjadi perlakuan fisika, perlakuan kimia, perlakuan fisika-kimia, dan perlakuan biologis (Hidayat, 2013).

2.3.1 Pretreatment Kimia

Pretreatment secara kimiawi mempunyai tujuan utama untuk meningkatkan biodegradasi selulosa dengan menghilangkan lignin dan atau hemiselulosa. *Pretreatment* ini juga bertujuan menurunkan tingkat polimerisasi dan kristalinitas komponen selulosa. Terdapat beberapa jenis *Pretreatment* kimia yang umum digunakan seperti *Pretreatment* asam, jenis *Pretreatment* ini menggunakan larutan asam sebagai katalisnya. Asam memiliki pengaruh yang kuat pada selulosa dan lignin dibandingkan pada struktur kristalin selulosa. Tujuan utama metode ini adalah melarutkan sebagian hemiselulosa agar enzim selulase dapat menjangkau struktur selulosa. Metode ini dibagi menjadi dua yaitu perlakuan dengan asam pekat dan perlakuan dengan asam encer. Perlakuan dengan asam pekat kurang cocok pada produksi bioetanol karena dapat meningkatkan pembentukan senyawa inhibitor, menyebabkan korosi pada dan sulit memulihkan asam yang digunakan (Tomas *et al.*, 2011). *ment* basa, pemakaian metode ini menyebabkan perubahan struktur dengan cara mendegradasi ester dan rantai samping glikosidiknya.



Penggunaan basa juga menyebabkan deksrilisasi persial selulosa, solvasi persial hemiselulosa dan mengakibatkan selulosa membesar (Menon, *et al.*, 2012). NaOH, KOH, Ca(OH)₂ dan NH₄OH merupakan larutan basa yang terbukti efektif endegradasi biomassa lignoselulosa (Kumar *et al.*, 2009). Metode ini lebih efektif dalam selubilisasi lignin, sebaliknya kurang dalam mendegradasi selulosa dan hemiselulosa (Tomas, *et al.*, 2011). *Preatretmen* oksidatif merupakan *Preatretmen* kimia yang menggunakan senyawa oksidasi seperti hidrogen peroksida (H₂O₂) atau asam parasetat yang dilarutkan dalam air. Kekurangan dalam menggunakan metode ini yaitu penggunaan oksidan yang tidak selektif dan tingkat pembentukan senyawa inhibitor yang tinggi karena lignin yang teroksidasi atau terbentuknya senyawa aromatik (Hendriks *et al.*, 2009). *Preatretment* organosolv merupakan *preatretment* yang menggunakan pelarut organik seperti etanol, metanol, etiln glikol, gliserol dll. Untuk mengekstrak lignin dan meningkatkan aksesibilitas selulase. Kekurangan pada metode ini adalah diperlukannya roses penghilangan pelarut menggunakan evaporator atau kondensasi, serta harga pelarut yang relatif mahal tingginya zat inhibitor. *Preatretment* ozonolysis yang dilakukan pada kondisi atmosfer, suhu ruangan, dan tekanan yang normal, metode ini menghasilkan senyawa hasil degradasi hemiselulosa dan selulosa yang sangat sedikit (Tomas *et al.*, 2011).

2.3.2 Pretreatment Biologi

Pretreatment secara biologis menggunakan mikroorganisme pendegradasi kayu dan zat penyusunnya seperti lignin, hemiselulosa, dan selulosa. Kelompok utama mikroorganisme tersebut adalah jamur pembusuk putih dan coklat serta jamur oembusuk lunak. Mikroorganisme diketahui mampu merubah komposisi kimia dan struktur biomassa lignoselulosa (Tomas *et al.*, 2011). Secara umum, kelompok cendawan pembusuk coklat, dan pembusuk lunak mendegradasi selulosa dan sedikit memodifikasi lignin. Kelebihan dalam *preatretment* yaitu biaya yang relatif rendah, pemakaian energi yang rendah, tidak menggunakan bahan kimia, dampak terhadap lingkungan sedikit, dan tidak dihasilkan zat inhibitor. Sedangkan kekurangan dalam metode ini yaitu masih rendahnya laju hidrolisis yang dihasilkan, sebagian besar mikroorganisme lignolitik sumsi tidak hanya lignin tetapi juga selulosa dan hemiselulosa, a juga memerlukan waktu yang relatif lama dan pertumbuhan isme perlu terus dikontrol (Menon *et al.*, 2012).



2.3.3 Pretreatment Fisika

Pretreatment secara mekanik atau fisika bertujuan dalam mengurangi ukuran partikel bahan baku. Pengukuran bahan baku menjadi bagian-bagian kecil merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk meningkatkan aksesibilitas enzim ke bahan lignoselulosa. Keunggulan utama dalam menggunakan metode ini yaitu ramah lingkungan karena tidak menggunakan bahan-bahan kimia dan tidak menghasilkan residu berbahaya (Hidayat, 2013). Terdapat beberapa jenis *pretreatment* fisika yang umumnya digunakan seperti, *milling* (penggilingan), proses penggilingan digunakan untuk mengurangi ukuran partikel, mengubah ultrastruktur serta tingkat kristalinitas lignoselulosa. Berbagai perubahan tersebut membuat efektifitas enzim selulase pada bahan lignoselulosa meningkat. Proses penggilingan dan pengurangan ukuran partikel ini dilakukan sebelum tahap hidrolisis enzimatik atau tahap *pretreatment* lainnya (Taherzadeh, *et al.*, 2008). *Pretreatment* iridasi merupakan *pretreatment* fisika yang menggunakan sinar gamma, sinar elektron dan gelombang mikro dapat meningkatkan hasil hidrolisis enzimatik dari lignoselulosa. Selanjutnya *pretreatment* gelombang ultrasonik merupakan hal baru dalam teknologi pengolahan biomassa. Sebelumnya gelombang ultrasonik telah dimanfaatkan untuk meningkatkan kemampuan mengekstrak hemiselulosa, selulosa dan lignin pada kertas daur ulang (Yunus *et al.*, 2010).

2.4. Hidrolisis

Dinding penyusun sel alga seperti selulosa dapat diubah menjadi monosakarida melalui metode hidrolisis, Hidrolisis merupakan proses pemecahan gula kompleks menjadi gula sederhana (Faudi *et al.*, 2015) atau pemecahan polisakarida dalam biomassa lignoselulosa, yaitu selulosa dan hemiselulosa menjadi monomer gula penyusunnya. Konversi polimer karbohidrat dalam bahan baku lignoselulosa dapat difermentasi menjadi gula (Zhu *et al.*,



mana selulosa diubah menjadi selobiosa atau sukrosa dan selanjutnya gula-gula sederhana seperti glukosa. Sementara itu hasil hidrolisis ini itu hasil hidrolisis komponen hemiselulosa adalah campuran gula-gula sederhana seperti glukosa, galaktosa, xylosa, dan arabinosa (Schacht *et al.*,

2008). Secara teoritis reaksi hidrolisis selulase menjadi glukosa adalah sebagai berikut:



Gambar. 4 Reaksi hidrolisis selulase menjadi glukosa. (Surya, 2011)

Proses hidrolisis dapat dilakukan secara kimia, fisika, dan biologi. Proses hidrolisis secara fisika yaitu dengan proses pemanasan atau perebusan. Secara kimia yaitu dengan menambahkan larutan asam dan basa. Sedangkan proses hidrolisis secara biologi yaitu dengan penggunaan enzim (Sulfahri *et al.*, 2016). hidrolisis selulosa dapat dilakukan dengan menggunakan larutan asam, larutan basa secara enzimatik, maupun termal, masing-masing dengan kelebihan dan kekurangannya. (Pejo *et al.*, 2008) dalam (Faudi 2018)

Hidrolisis secara asam dapat dilakukan dengan penambahan asam, seperti asam sulfat dan asam klorida. Pada proses dapat mengubah polisakarida (pati, selulosa) menjadi gula. Asam bersifat katalisator yang membantu dalam proses pemecahan karbohidrat menjadi gula, (Girisuta, 2007). Namun kekurangan dalam menggunakan metode ini adalah kurang ramah lingkungan serta adanya zat asam yang digunakan terhadap kesehatan manusia. Hidrolisis asam pekat juga membutuhkan biaya investasi dan pemeliharaan yang tinggi (Tahezadeh dan Karimi, 2007).

Hidrolisis termal dilakukan dengan menggunakan *hot compressed* (HCW) sebagai media cair untuk proses hidrolis, pada proses ini menggunakan tekanan dan temperatur yang tinggi untuk memisahkan komponennya, menghidrolisis hemiselulosa dan mengubah sifat-sifat selulosa dan lignin. Hidrolisis ini ramah lingkungan dan tidak memerlukan proses pemurnian, namun kemungkinan reaksi dekomposisi gula menjadi produk seperti 5-hydroxymethyl furfural dan asam levulinate, selain itu dibutuhkan energi yang besar untuk mencapai temperatur reaksi (di atas 100°C) (Schacht *et al.*, 2008).

Hidrolisis enzimatik merupakan proses penguraian suatu polimer yang kompleks menjadi monomer penyusunnya dengan menggunakan enzim. enzim



Kemampuan mengaktifkan senyawa lain secara spesifik dan dapat atkan kecepatan reaksi sehingga proses hidrolisis akan lebih cepat ykan dengan hidrolisis lainnya. (Prez *et al.*, 2002). Proses hidrolisis

menggunakan enzim lebih bekerja secara spesifik sehingga tidak menghasilkan produk yang tidak diharapkan. Serta dapat meningkatkan kecepatan reaksi sehingga proses hidrolisis akan lebih cepat (Faudi 2015 dan Perez, 2022).

Adapun keuntungan dalam menggunakan hidrolisis enzim dibandingkan hidrolisis asam, yaitu tidak terjadi degradasi gula hasil hidrolisis, kondisi proses yang lebih lunak (pH sekitar 4,70-4,80 dan suhu 45-50°C), tidak terjadi reaksi samping, lebih ramah lingkungan, tidak terdapat bahan-bahan yang bersifat korosif (Cheng & Timilisina, 2011). Umumnya proses hidrolisis secara enzimatik menggunakan enzim selulase yang dapat memecah selulosa menjadi monomer-monomernya (Faudi 2015). Dalam (Yunasfi 2008) mengemukakan perombakan selulosa secara enzimatik menghasilkan hasil akhir berupa molekul-molekul glukosa. Glukosa yang dihasilkan dengan serangkaian reaksi enzimatik yang dilakukan oleh sejumlah selulase dan enzim-enzim lainnya. Glukosa yang dihasilkan melalui proses hidrolisis merupakan hasil kerja sinergis sekelompok enzim selulolitik. Sistem enzim selulolitik terdiri dari tiga kelompok utama yaitu endoglukanase, eksoglukanase, dan β -glukosidase (Howard *et al.*, 2003). Enzim endoglukanase menghidrolisis secara acak pada bagian amorf serat selulosa sehingga menghasilkan oligosakarida dengan panjang berbeda-beda dan terbentuknya ujung ranta baru selulosa (Howard *et al.*, 2003) enzim eksoglukanase bekerja terhadap ujung-ujung rantai polisakarida dan menghasilkan selobiosa yang merupakan disakarida. Selanjutnya enzim β -glukosidase memecah selobiosa menjadi 2 molekul glukosa yang merupakan produk utama hidrolisis selulosa (Lynd, *et al.*, 2002).

2.5 Enzim Selulase

Enzim merupakan senyawa protein yang mampu meningkatkan kecepatan suatu reaksi. Enzim membantu dalam mengubah substrat menjadi produk dimana enzim sendiri tidak mengalami perubahan (Adhiyanto, 2006). Enzim merupakan polimer biologis yang mengkatalisis reaksi kimia yang esensial untuk nutrient sehingga mampu menyediakan energi dan *chemical blocks*. Penyatuan dari *chemical building blocks* ini menjadi protein, membran, sel dan jaringan serta energi yang dapat digunakan untuk sel dan kontraksi otot (Wahyuni 2017).



Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kinerja enzim yaitu (Hames *et al.*, 2005). Suhu dimana aktivitas enzim dapat dipengaruhi oleh enzim dengan dua cara yaitu, yaitu suhu yang semakin tinggi dapat meningkatkan energi termal molekul substrat. Suhu yang semakin tinggi dapat menghasilkan energi yang melebihi aktivasi dan meningkatkan tingkat reaksi. Serta adanya perubahan struktur protein yang menyusun enzim diakibatkan oleh suhu yang semakin tinggi, hal tersebut dapat memutus reaksi nonkovalen yang menopang struktur tiga dimensi enzim (Hames, *et al.*, 2005). Selanjutnya temperature, kecepatan reaksi yang dikatalis oleh enzim, dalam batas temperatur tertentu, akan meningkat bila temperature dalam reaksi tersebut dinaikkan. Dalam sistem biologis, setiap kenaikan temperatur 10°C, maka kecepatan reaksi akan meningkat dua kali, jika temperature diturunkan 10°C, maka kecepatan reaksi akan turun setengahnya. Pada umumnya temperatur optimum suatu enzim bergantung pada temperatur sel di mana enzim tersebut terdapat. (Puspiningrum, dkk., 2016). pH, Sifat katalis enzim juga dipengaruhi oleh pH, lingkungan sekitar tempat ia bekerja. Perubahan pH akan mempengaruhi kondisi ion-ion enzim selain kondisi ion-ion substrat. Pada umumnya aktivitas enzim akan optimum pada kisaran pH 5,0-9,0. (Puspiningrum, dkk., 2016) Konsentrasi enzim atau substrat. produk yang dihasilkan dari reaksi antara substrat dan enzim juga dipengaruhi oleh konsentrasi enzim maupun substrat. Kecepatan reaksi berbanding lurus dengan jumlah konsentrasi enzim maupun substrat. Kondisi seperti ini tidak akan terjadi terus. Pada suatu saat kecepatan reaksi akan berjalan konstan walaupun konsentrasi substrat maupun enzim ditingkatkan (Puspiningrum, dkk., 2016)

Enzim selulase merupakan enzim ekstraseluler dimana enzim ini menghidrolisis polimer dilingkungan dengan melepas sel ke lingkungan (Masmufatun, 2011). Enzim selulase umumnya diproduksi oleh mikroba contohnya fungi, bakteri, dan protozoa selain itu juga diproduksi oleh hewan dan tanaman (Morana *et al.*, 2011). Waktu yang dibutuhkan dalam produksi enzim selulase dari kelompok bakteri lebih pendek karena bakteri memiliki tingkat pertumbuhan lebih cepat dibandingkan fungi (Alam *et al.* 2004). Selulase

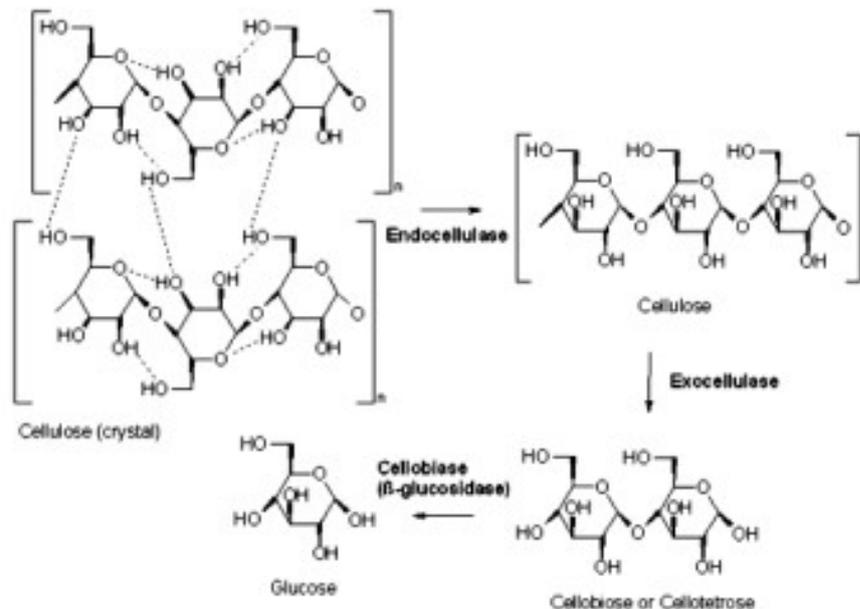
an nama trivial enzim yang mempunyai nama sistematik -1,4-glukosida lulosa, seledekstrin, selobiosa serta turunan selulosa lainnya (Sekarsari, elulase merupakan enzim yang komplek yang terdiri atas beberapa



enzim yang bekerja secara bertahap atau secara bersama-sama dalam menguraikan selulosa menjadi glukosa (Norkrans, 1967).

Terdapat empat kelompok enzim utama sebagai komponen penyusun selulase (Yunasfi, 2008). yaitu diantaranya;

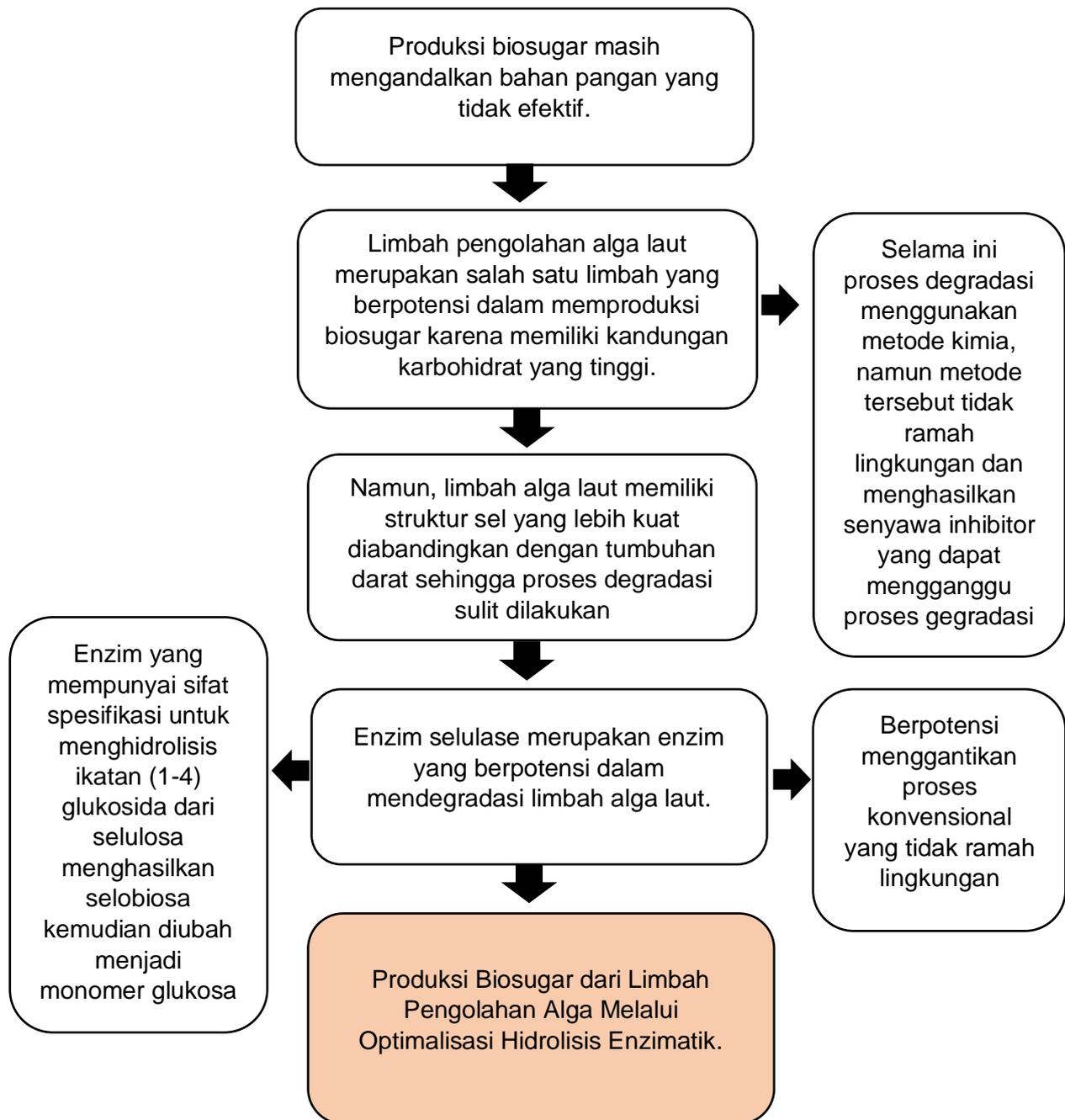
1. Endo- β -1,4-glukanase menghidrolisis ikatan β -1,4-glukosida secara acak. Enzim ini tidak menyerang selobiosa tetapi menghidrolisis selodekstrin, selulosa yang telah dilonggarkan oleh asam fosfat dan selulosa yang telah disubstitusi seperti CMC dan HES (Hidroksi Etil Selulosa).
2. β -1,4-D-glukan Selobiohidrolase (EC.3.2.1.91), menyerang ujung rantai selulosa non produksi dan menghasilkan selobiosa. Enzim ini dapat menyerang selodekstrin tetapi tidak menyerang selulosa yang telah disubstitusi serta dapat menghidrolisis selobiosa.
3. β -1,4-D-glukan glukohidrolase (EC.3.2.1.74), menyerang ujung rantai selulosa produksi dan menghasilkan glukosa. Enzim ini menyerang selulosa yang telah dilonggarkan dengan asam fosfat, selo-oligosakarida dan CMC.
4. β -1,4-D-glukosida (EC.3.2.1.2.21), menghidrolisis selobiosa dan selo-oligosakasida rantai pendek serta menghasilkan glukosa. Enzim ini tidak menyerang selulosa atau selodekstrin.



Gambar. 5 Jenis dan Aksi Enzim Selulase (Pikukuh, 2011)



2.5 Kerangka Pikir



Gambar. 6 Kerangka Pikir

