

**PREPARASI DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT
SELULOSA BAKTERIAL-RUMPUT LAUT (*Eucheuma cottonii*)
UNTUK APLIKASI BIOMEDIS**

SKRIPSI

*Diajukan kepada Tim Penguji Skripsi Jurusan Kimia sebagai salah satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains*



FEBBI RAHMAYUNI

1201542 / 2012

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

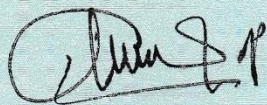
PREPARASI DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT
SELULOSA BAKTERIAL-RUMPUT LAUT (*Eucheuma cottonii*)
UNTUK APLIKASI BIOMEDIS

Nama : FEBBI RAHMAYUNI
NIM : 1201542
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2016

Disetujui oleh

Pembimbing I



Ananda Putra, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP.19720127 199702 1 002

Pembimbing II



Edi Nasra, S.Si., M.Si
NIP. 19810622 200312 1 001

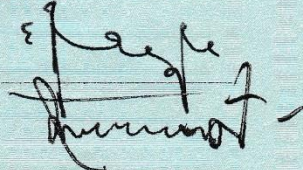
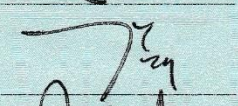
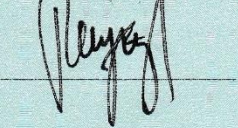
HALAMAN PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan didepan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Kimia Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Judul : Preparasi dan Karakterisasi Komposit Selulosa Bakterial-
Rumput Laut (*Eucheuma cottonii*) untuk Aplikasi
Biomedis
Nama : FEBBI RAHMAYUNI
NIM : 1201542
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2016

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Ananda Putra, S.Si., M.Si., Ph.D	
2. Sekretaris	: Edi Nasra, S.Si., M.Si	
3. Anggota	: Dr. Indang Dewata, M.Si	
4. Anggota	: Budhi Oktavia, M.Si., Ph.D	
5. Anggota	: Dr. Rahadian Z. M.Si	

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Febbi Rahmayuni
TM/NIM : 2012/I201542
Tempat/Tgl Lahir : Kepahiang/ 07 Februari 1995
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Alamat : Jl.M.Suib no.11, Kelurahan Sejangtung, Kepahiang,
Bengkulu
No. HP/Telp : 085310567784/ (0732) 391678
Judul Skripsi : Preparasi dan Karakterisasi Komposit Selulosa
Bakterial-Rumput Laut (*Eucheuma cottonii*) Untuk
Aplikasi Biomedis

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil karya saya dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis/skripsi ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada kepustakaan.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila telah ditandatangani **Asli** oleh tim pembimbing dan tim penguji.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Padang, Agustus 2016

Yang Membuat Pernyataan



Febbi Rahmayuni
1201542

ABSTRAK

Febbi Rahmayuni (1201542) : Preparasi Dan Karakterisasi Komposit Selulosa Bakterial - Rumput Laut (*Eucheuma Cottonii*) untuk Aplikasi Biomedis

Komposit selulosa bakterial – rumput laut (KSB-RL) dibuat dengan merendam selulosa bakterial (SB) didalam ekstrak rumput laut (RL) selama 1,2,3, dan 4 hari dengan dan tanpa menggunakan sinar UV. Telah diteliti efek waktu perendaman terhadap sifat fisik dan mekanik komposit, dari hasil penelitian didapatkan bahwa semakin lama waktu perendaman semakin menurun kandungan air, semakin tinggi nilai kuat tekan, kuat tarik dan elastisitas KSB-RL. Dari penelitian yang dilakukan, kandungan SB mencapai 99.156% sedangkan untuk KSB-RL TUV dan KSB-RL UV, kandungan air menurun hingga 98.585% dan 98.194%. Pada uji kuat tekan, nilai kuat tekan yang dihasilkan SB adalah 0.292 MPa, sedangkan pada KSB-RL nilai kuat tekan meningkat 2 kali hingga 9 kali lebih kuat dibandingkan SB. Nilai sifat fisik dan mekanik ini belum memenuhi standar untuk pembuatan tulang rawan. Analisa struktur KSB-RL diamati dengan menggunakan FTIR dan XRD. Hasil spektra FTIR tidak menunjukkan ada gugus fungsi baru hanya saja mengalami sedikit pergeseran vibrasi bilangan gelombang. Sementara itu difraktogram XRD menunjukkan adanya pengaruh sinar UV terhadap derajat kristalinitas komposit dimana KSB-RL UV memiliki derajat kristalinitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan KSB-RL TUV.

Kata kunci : selulosa bakterial, ekstrak rumput laut, komposit, sinar UV

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis aturkan kehadiran Allah swt yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan ini yang berjudul “**Preparasi dan Karakterisasi Komposit Selulosa Bakterial - Rumput Laut (*Eucheuma Cottonii*) untuk Aplikasi Biomedis**”.

Skripsi ini diajukan sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar sarjana sains di jurusan kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penelitian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, petunjuk, arahan dan masukan yang berharga dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ananda Putra, S.Si., M.Si., Ph.D selaku pembimbing I.
2. Bapak Edi Nasra, S.Si., M.Si selaku pembimbing II.
3. Bapak Dr. H. Mawardi, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang
4. Bapak Hary Sanjaya, M.Si selaku Ketua Prodi Kimia Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.
5. Bapak Dr. Indang Dewata, M.Si, Bapak Budhi Oktavia, S. Si., M.Si., Ph.D, dan Bapak Dr. Rahardian Z, M.Si selaku tim penguji skripsi Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.
6. Staf Akademik Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.

7. Staf Laboratorium Kimia dan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
8. Staf Laboratorium Terpadu Kopertis Wilayah X, Sumatera Barat
9. Staf Laboratorium Jaminan Kualitas dan Inovasi, PT Semen Padang, Indonesia.
10. Orang tua serta kakak adik penulis.
11. Teman-teman kimia khususnya tahun 2012 yang telah memberikan motivasi, masukan dan dorongan kepada penulis.

Untuk kesempurnaan skripsi dan penelitian yang telah penulis lakukan, maka dengan kerendahan hati penulis mengharapkan masukan dan saran yang membangun dari semua pihak. Atas masukan dan saran yang diberikan penulis haturkan terima kasih.

Padang, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR SINGKATAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Rumusan Masalah	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Selulosa Bakterial (SB)	6
2.2 Bakteri <i>Acetobacter xylinum</i>	10
2.3 Aplikasi Selulosa Bakterial.....	12
2.4 Tulang Rawan	13
2.5 Komposit.....	14

2.6	Rumput Laut (<i>Eucheuma cottonii</i>).....	16
2.7	Karakteristik Sifat KSB-RL	18
2.7.1	Kuat Tekan (<i>Compressive strength</i>).....	18
2.7.2	Kuat Tarik (<i>Tensile strength</i>).....	19
2.7.3	FTIR (<i>Fourier Transform Infra-Red</i>).....	19
2.7.4	XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	20
BAB III METODE PENELITIAN		22
3.1	Waktu dan Tempat	22
3.2	Objek Penelitian	22
3.3	Variabel Penelitian	22
3.4	Alat dan Bahan.....	22
3.4.1	Alat	22
3.4.2	Bahan	23
3.5	Prosedur Penelitian.....	23
3.5.1	Preparasi SB.....	23
3.5.2	Pencucian dan Pemurnian SB	24
3.5.3	Preparasi Ekstrak RL.....	24
3.5.4	Preparasi KSB-RL	24
3.5.5	Karakterisasi KSB-RL	25
3.5.5.1	Karakterisasi Sifat Fisik KSB-RL	25
3.5.5.2	Karakterisasi Sifat Mekanik KSB-RL	26
3.5.5.3	Analisa Struktur KSB-RL	29

3.6	Desain Penelitian.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		32
4.1	Preparasi SB.....	32
4.2	Pencucian dan Pemurnian SB	33
4.3	Preparasi Ekstrak RL.....	34
4.4	Preparasi KSB-RL.....	35
4.5	Karakterisasi KSB-RL.....	37
4.5.1	Kandungan Air KSB-RL	37
4.5.2	Kuat Tekan KSB-RL	39
4.5.3	Kuat Tarik KSB-RL	41
4.5.4	Analisa Gugus Fungsi KSB-RL.....	45
4.5.5	Analisa Kristalinitas KSB-RL.....	47
BAB V PENUTUP		52
5.1	Kesimpulan	52
5.2	Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA		54
LAMPIRAN		58

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Hal
2.1 Struktur Kimia Selulosa	7
2.2 Jalur Pembentukan Selulosa dari Glukosa	8
2.3 Perbedaan struktur antara selulosa tumbuhan (a) dengan selulosa bakterial (b)	9
2.4 Bakteri <i>Acetobacter xylinum</i>	10
2.5 Rumput Laut (<i>Eucheuma cottonii</i>).....	17
2.6 Spektra FTIR Selulosa Bakterial	20
2.7 Difraktogram XRD Selulosa Bakterial	21
3.1 Ilustrasi Proses Kerja Alat <i>Compressive test</i> (a) sebelum dilakukan uji dan (b) setelah dilakukan uji.....	27
3.2 Ilustrasi Proses Uji Kuat Tarik	28
4.1 Ilustrasi Pertumbuhan SB	33
4.2 (a) SB yang terbentuk dengan baik dan (b) SB yang berjamur	33
4.3 Ilustrasi Pemurnian SB.....	34
4.4 Filtrat Ekstrak RL	35
4.5 (a) SB dan (b) KSB-RL	36
4.6 Pengaruh Waktu Perendaman terhadap Kandungan Air KSB-RL	37
4.7 Pengaruh Waktu Perendaman terhadap Kuat Tekan KSB-RL.....	40
4.8 Sampel Hasil Uji Kuat Tarik (a) KSB-RL TUV dan (b) KSB-RL UV	43

4.9 Pengaruh Waktu perendaman terhadap (a) Kuat Tarik, (b) Regangan dan (c)	
Elastisitas	43
4.10 Spektrum FTIR SB, RL, KSB-RL TUV dan KSB-RL UV pada Perendaman	
Hari ke-4.....	45
4.11 Difraktogram SB, KSB-RL TUV, dan KSB-RL UV	48
4.12 Perbandingan Pola XRD maing-masing tipe selulosa	49

DAFTAR TABEL

Tabel	Hal
2.1 Sifat-Sifat Mekanik Jaringan Tulang Rawan.....	13
2.2 Komposisi Kimia <i>Eucheuma cottonii</i>	18
4.1 Puncak bilangan gelombang pada masing-masing gugus fungsi.....	46
4.2 Derajat Kristalinitas SB, KSB-RL TUV dan KSB-RL UV.....	50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Hal
1. Preparasi SB	58
2. Pencucian dan Pemurnian SB.....	59
3. Preparasi Ekstrak RL	60
4. Pembuatan KSB-RL.....	61
5. Penentuan Kandungan Air dalam KSB-RL.....	62
6. Uji Kuat Tekan (<i>Compressive Strength</i>)	63
7. Uji Kuat Tarik (<i>Tensile strength</i>).....	64
8. Analisa Gugus Fungsi KSB-RL.....	65
9. Analisa Derajat Kristalinitas KSB-RL	66
10. Data Kandungan Air KSB-RL.....	67
11. Perhitungan Kandungan Air KSB-RL	68
12. Data Pengujian Kuat Tekan KSB-RL	70
13. Perhitungan Kuat Tekan KSB-RL	71
14. Data Kuat Tarik, Elongasi, Regangan dan Elastisitas KSB-RL	75
15. Perhitungan Elastisitas	76
16. Spektra FTIR KSB-RL.....	79
17. Difaktogram XRD KSB-RL	81
18. Data dan Perhitungan Penentuan Persentase Derajat Kristalinitas KSB-RL	82
19. Pembuatan SB.....	83

20. Pencucian dan Pemurnian SB	85
21. Pemotongan SB.....	86
22. Pembuatan Ekstrak RL.....	87
23. Preparasi KSB-RL.....	88
24. Pengukuran Kandungan Air SB	89
25. Perhitungan kandungan air KSB-RL	90
26. Uji Kuat Tekan.....	92
27. Uji Kuat Tarik.....	93
28. Karakterisasi menggunakan FTIR	95
29. Karakterisasi menggunakan XRD.....	96

DAFTAR SINGKATAN

<i>A.xylinum</i>	: <i>Acetobacter xylinum</i>
ATP	: Adenosin Triphosfat
DTA	: <i>Differential Thermal Analysis</i>
EDC	: N- (3-dimetilaminopropil)-N'-etilkarbodiimidahidroklorida
FTIR	: <i>Fourier Transform Infra Red</i>
KSB-RL	: Komposit Selulosa Bakterial – Rumput Laut
KSB-RL TUV	: Komposit Selulosa Bakterial – Rumput Laut Tanpa sinar Ultraviolet
KSB-RL UV	: Komposit Selulosa Bakterial – Rumput Laut + Sinar Ultraviolet
MPa	: Mega Pascal
pAAM	: Polyacrylamide N,N'-methylene bisacrylamide
RL	: Rumput Laut
RL _c	: <i>RL content</i>
SB	: Selulosa Bakterial
SEM	: Scanning Electron Microscopy
TUV	: Tanpa sinar Ultraviolet
TCA	: Tricarboxylic Acid
UDPG	: Uridin Diphosfat Glukosa
UTP	: Uridin Triphosfat
UV	: Ultraviolet
W _c	: <i>Water content</i>

W_d	: <i>weight dry</i>
W_w	: <i>weight wet</i>
XRD	: <i>X-Ray Diffraction</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Selulosa merupakan suatu polimer alam yang melimpah di bumi dan mudah mengalami biodegradasi. Selulosa dapat berasal dari berbagai sumber seperti tanaman kayu, dan non kayu. Selain dari tumbuh-tumbuhan, selulosa juga dapat dihasilkan dari sintesis mikroorganisme yang biasa disebut selulosa bakterial (SB).

SB adalah salah satu bentuk dari selulosa ekstra selular yang diproduksi oleh bakteri dari genus *Acetobacter* seperti *Acetobacter xylinum* (*A.xylinum*) dan terdiri dari suatu jaringan serat hidrofilik yang sangat murni yang bertumpuk dalam struktur yang bertingkat-tingkat (Putra, Hagiwara, Kakugo, Furukawa, & Gong, 2009). SB memiliki beberapa sifat fisik unik antara lain memiliki kemurnian, kristalinitas, kekuatan mekanik, dan porositas tinggi dan mudah terurai. SB juga mempunyai daya serap air yang baik, tidak menimbulkan alergi dan tidak menimbulkan iritasi (Ciechanska, 2004).

Berdasarkan sifat unik inilah SB dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang medis yaitu pada bidang farmasi dan prostetik seperti lensa kontak, penutup luka sintesis, sistem pengiriman obat, hingga organ dan pergantian jaringan (Putra et al., 2009). Pemanfaatan SB dalam bidang biomedis sebagai pergantian jaringan salah satunya yaitu pengganti jaringan lunak di tubuh, contohnya yaitu penghubung tulang

dengan tulang (ligamen), penghubung otot dengan tulang (tendon) dan tulang rawan (*cartilage*) (Putra et al., 2009).

Salah satu kendala dalam pemanfaatan SB dalam bidang biomedis yaitu rendahnya sifat elastisitas dari SB. Walaupun SB memiliki kekuatan tarik yang tinggi sepanjang arah lapisan serat, tetapi nilai modulus tekannya rendah. Apabila SB diberi tekanan kecil seperti ditekan dengan menggunakan jari, air dengan mudah keluar dari dalam gel dan gel tidak dapat kembali ke bentuk semula (Nakayama et al., 2004).

Berdasarkan kekurangan dari SB tersebut maka perlu dilakukan suatu penelitian untuk meningkatkan sifat elastisitas dari SB. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk memperoleh SB dengan elastisitas yang tinggi yaitu dengan menggabungkan SB dengan bahan lain membentuk suatu material baru berupa komposit. Komposit merupakan penggabungan dari dua material atau lebih yang secara fisik dan secara mekanik dapat dipisahkan antara satu dengan yang lainnya. Material penyusun akan menentukan sifat akhir dari komposit (Sudarsono, 2012).

Pembuatan komposit dari SB ini telah banyak dilakukan oleh peneliti, seperti pada penelitian Putra et al.,(2009) yaitu menggabungkan SB dan Polyacrylamide N,N"-methylene bisacrylamide (pAAM) dengan metode *double network gel* yang dapat dijadikan ligamen. Selain itu Nakayama et al.,(2004) juga melakukan penelitian yaitu pembuatan komposit yang menggabungkan SB dan gelatin menggunakan metode *double network gel*. Kedua penelitian yang telah dilakukan ini menggunakan material sintetis dalam pembuatan komposit.

Pada penelitian yang telah dilakukan, peneliti melakukan modifikasi yaitu dengan menggabungkan SB dan bahan alam sebagai material penyusun komposit. Dalam hal ini SB berperan sebagai *matrix*, sementara bahan lain yang digunakan sebagai *filler* atau pengisi yang dapat berupa bahan alam. Salah satu bahan alam yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah rumput laut (*Eucheuma cottonii*).

Rumput laut jenis *Eucheuma cottonii* termasuk dalam golongan *Rhodophyceae* (alga merah) yang cukup potensial dan banyak ditemukan di perairan Indonesia. Rumput laut ini merupakan salah satu penghasil karagenan yang kadarnya dapat mencapai 61.59%. Karagenan merupakan suatu polisakarida rantai lurus yang tersusun dari sejumlah galaktosa dan anhidrogalaktsa (Hardoko, 2008). Karagenan ini dapat dimanfaatkan dalam berbagai kegunaan seperti sebagai penstabil, pengental, pembentuk gel, dan pengemulsi yang memiliki nilai jual tinggi. Dalam dunia industri dan perdagangan pun karagenan banyak digunakan yaitu sebagai bahan baku untuk industri makanan, farmasi, kosmetik, bioteknologi dan non pangan (Prasetyowati, Jasmine, & Agustiawan, 2008). Akan tetapi, gel RL akan mudah pecah apabila diberi tekanan dari luar.

Berdasarkan kekurangan dari SB dan RL, maka peneliti tertarik untuk melakukan penggabungan kedua material ini untuk membentuk suatu komposit yang memiliki sifat yang lebih baik dari sifat SB dan RL melalui perendaman serta pemberian sinar UV. KSB-RL yang terbentuk diharapkan dapat diaplikasikan dalam dunia medis dan pemberian sinar UV diharapkan dapat memperkuat ikatan KSB-RL.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah yaitu:

1. SB kurang elastis, karena apabila diberi tekanan dari luar, air didalam SB akan keluar.
2. Dalam bentuk gel, RL mudah pecah apabila diberi tekanan dari luar.
3. Penggabungan SB dengan ekstrak RL diharapkan dapat menghasilkan suatu material komposit yang elastis.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus, maka perlu dilakukan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Media kultur yang digunakan dalam sintesis SB adalah air kelapa difermentasi dengan menggunakan bakteri *A.xylinum*.
2. Bahan yang akan digabungkan dengan SB adalah ekstrak RL.
3. Variabel yang akan diteliti adalah pengaruh waktu perendaman SB didalam ekstrak RL selama 1,2,3 dan 4 hari tanpa dan dengan menggunakan sinar UV.
4. Karakterisasi KSB-RL dilakukan dengan pengujian sifat fisik (kandungan air), sifat mekanik (kuat tekan dan kuat tarik) dan struktur (gugus fungsi dan derajat kristalinitas).

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari uraian diatas, maka penulis merumuskan suatu masalah yaitu

1. Bagaimana pengaruh waktu perendaman terhadap karakteristik sifat fisik, sifat mekanik dan struktur dari KSB-RL.
2. Bagaimana pengaruh sinar UV terhadap karakteristik sifat fisik, sifat mekanik dan struktur dari KSB-RL.

1.5 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan

1. Pengaruh waktu perendaman terhadap karakteristik sifat fisik, sifat mekanik dan struktur dari KSB-RL.
2. Pengaruh sinar UV terhadap karakteristik sifat fisik, sifat mekanik dan struktur dari KSB-RL.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi kepada pembaca bahwa KSB-RL dapat dijadikan sebagai material baru untuk aplikasi biomedis terutama sebagai pengganti tulang rawan.
2. Menambah wawasan pembaca tentang karakteristik KSB-RL.
3. Dapat dijadikan sebagai sumber ide dan referensi untuk penelitian selanjutnya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

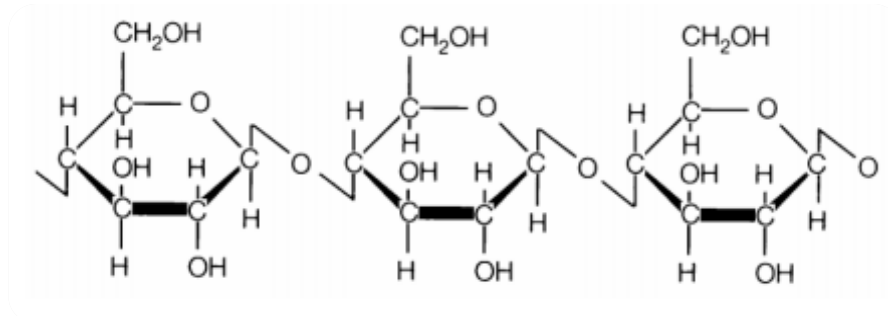
2.1 Selulosa Bakterial (SB)

Selulosa adalah suatu material yang terjadi secara alamiah yang terdapat dalam kayu, kapas, dan tanaman lainnya. Pada tahun 1885, selulosa pertama kali diisolasi dari kayu oleh Charles F. Cross dan Edward Bevan di Jodrell Laboratory of Royal Botanic Gardens, Kew, London. Pada tahun 1898, tiga ahli kimia berkebangsaan Inggris yaitu Charles Frederick Cross, Edward John Bevan, dan Clayton Beadle menemukan suatu proses untuk menghasilkan film selulosa dari bubur. Dan pada tahun 1913, Dr Jacques Brandenberger mengembangkan film tipis selulosa transparan sebagai produk komersial (Hoenich, 2006).

Selulosa merupakan polimer dari β -glukosa dengan ikatan β -1,4 glikosida antara unit-unit glukosa. Selulosa merupakan makromolekul biologis yang sangat berlimpah tetapi bersifat hidrofilik, *biodegradable* dan selulosa merupakan material penyusun jaringan tumbuhan dalam bentuk campuran polimer homolog dan biasanya terdapat bersama-sama dengan polisakarida lainnya serta lignin dalam jumlah yang bervariasi (Pandey, Abeer, Cairul, & Amin, 2014).

Analisis selulosa menggunakan sinar-X menunjukkan bahwa, selulosa terdiri dari rantai linear dari unit selebiosa yang oksigen cincinnya berselang-seling dengan posisi ke depan dan kebelakang. Molekul linear ini mengandung rata-rata sekitar 5000 unit glukosa, beragregasi menghasilkan fibril yang terikat

bersama oleh ikatan hidrogen pada gugus OH (Silitonga, 2011), struktur selulosa dapat dilihat pada Gambar 2.1

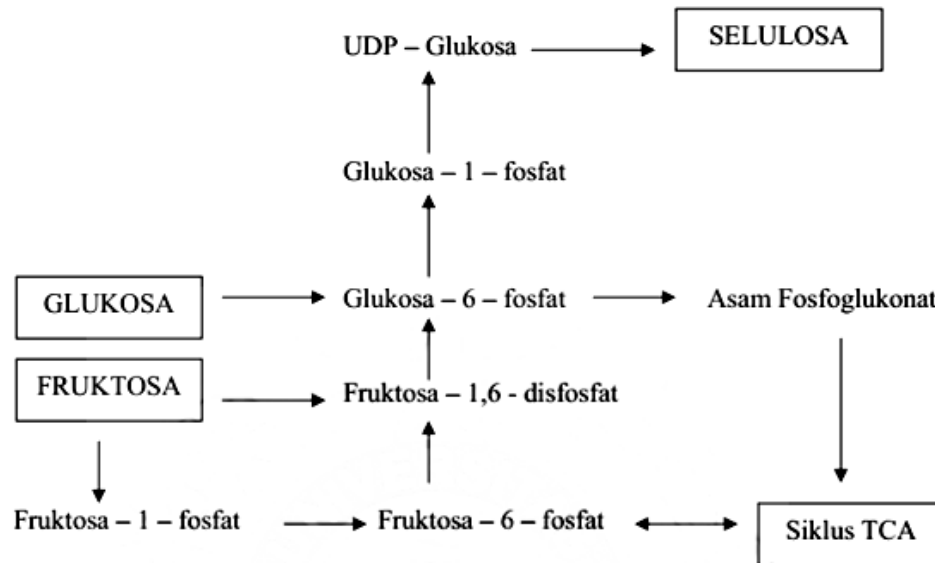


Gambar 2.1 Struktur Kimia Selulosa (Casarica, Campeanu, Moscovici, Ghiorghita, & Manea, 2013)

SB merupakan selulosa yang dihasilkan oleh bakteri seperti *Acetobacter xylinum*. Polisakarida bakteri yang dibentuk oleh enzim-enzim *Acetobacter xylinum* berasal dari suatu prekursor yang berikatan β -1,4 glikosida yang tersusun dari komponen gula yaitu glukosa manosa, ribose dan rhamnosa. Prekursor dalam pembentukan SB *Acetobacter xylinum* adalah UDPG (Uridin Diphosfat Glukosa).

Berawal dari glukosa sebagai sumber makanan oleh bakteri *Acetobacter xylinum* diubah menjadi glukosa-6-posfat. Perubahan ini terjadi karena glukosa tidak aktif sehingga diaktifkan oleh ATP menjadi glukosa-6-posfat. Kemudian glukosa-6-posfat diubah menjadi bentuk yang lebih stabil yaitu glukosa-1-posfat. Untuk membentuk polisakarida dibutuhkan energi yang lebih tinggi, oleh karena itu, glukosa-1-posfat diubah menjadi UDP-Glukosa dengan bantuan UTP. Dengan adanya enzim yang dapat mempolimerisasikan glukosa menjadi selulosa yang diproduksi oleh bakteri *Acetobacter xylinum* yaitu sintetase selulosa, maka UDP-Glukosa tersebut dapat

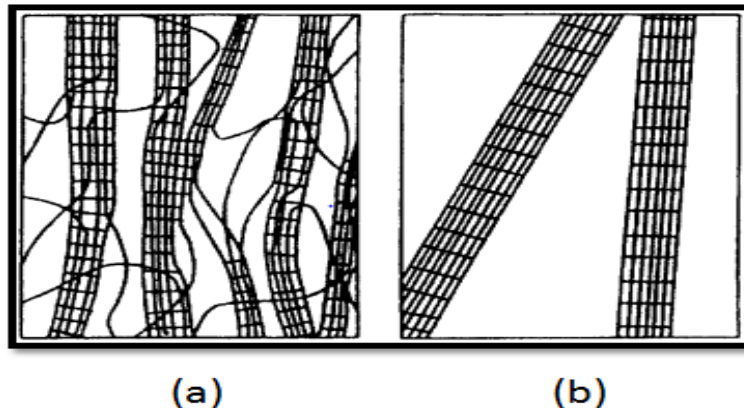
dipolimerisasi menjadi selulosa (Pardosi, 2008). Jalur pembentukan selulosa dari glukosa dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Jalur Pembentukan Selulosa dari Glukosa (Pardosi, 2008)

Selulosa bakteri mempunyai struktur kimia yang sama seperti selulosa yang berasal dari tumbuhan, tetapi selulosa yang dihasilkan bakteri memiliki serat selulosa yang lebih baik dibandingkan dengan selulosa yang berasal dari tumbuhan. Setiap serat tunggal dari selulosa bakteri mempunyai diameter 50 nm dan bakterial selulosa terdapat dalam bentuk kumpulan serat-serat tunggal berdiameter sekitar 2-4 nm. Panjang serat tidak dapat ditentukan, hal ini dikarenakan kumpulan serat-serat tunggal selulosa saling melilit satu sama lain membentuk struktur jaringan. Dan sebagai pembandingnya diameter dari selulosa bentuk kristalin adalah 10-30 nm

(Philips & William, 2009). Perbedaan struktur dari selulosa tumbuhan dan SB dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Perbedaan struktur antara selulosa tumbuhan (a) dengan selulosa bakterial (b) (Bielecki, Krystynowicz, & Marianna, 1989)

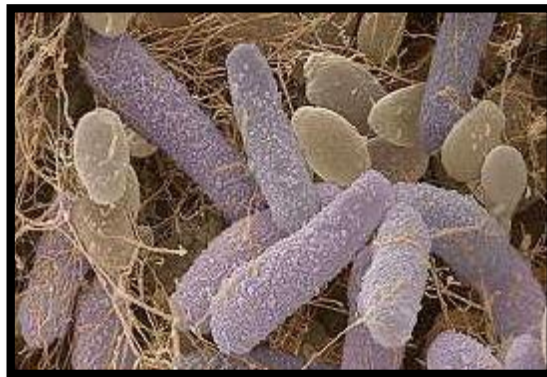
Rangkaian struktur bakterial selulosa dibangun oleh mikrofibril berdiameter sekitar 2-4 nm dan selanjutnya membangun serat dengan ukuran sekitaar 100 nm, membentuk suatu *bundles* dan akhirnya terbentuk seperti pita. Benang-benang halus yang berupa serat-serat yang dibentuk oleh bakteri, mempunyai diameter yang lebih kecil dibandingkan serat selulosa tumbuhan dan serat ini terikat oleh mikrofibril-mikrofibril yang mempunyai diameter 2-4 nm (Cavka et al., 2013).

Selulosa Bakterial ini memiliki sifat-sifat mekanik yang tinggi seperti modulus dan kekuatan tarik, memiliki kapasitas air yang tinggi, memiliki daya cetak yang tinggi, kristalinitas tinggi, dan juga biokompatibilitas tinggi. Oleh karena sifat-sifat unik ini, SB dapat diaplikasikan sebagai bahan fungsional baru yang terbuat dari bahan-bahan alami di berbagai medis, farmasi, dan aplikasi palsu seperti kulit buatan untuk menyembuhkan luka, pemisahan membran, perancah budaya untuk sel

mamalia, pembuluh darah buatan dan substrat untuk teknik jaringan tulang rawan (Putra et al., 2008).

2.2 Bakteri *Acetobacter xylinum*

Bakteri *Acetobacter xylinum* merupakan bakteri gram negatif yang berbentuk elips atau tongkat melengkung, dapat dilihat pada Gambar 2.4. *Acetobacter xylinum* merupakan bakteri aerobik, yang memerlukan oksigen untuk respirasi dalam metabolisme dan mengeluarkan selulosa bakteri berupa pelikel pada permukaan kultur cair (Hameed, Al-Jailawi, & Jasim, 2012).



Gambar 2.4 Bakteri *Acetobacter xylinum* (Nainggolan, 2009)

Klasifikasi *Acetobacter xylinum* sebagai berikut :

Domain	: Bacteria
Phylum	: Protobacteria
Kelas	: Alphaprotobacteria
Ordo	: Rhodospirillales
Famili	: Acetobacteraceae

Genus : *Acetobacter*

Spesies : *Acetobacter xylinum*

Bakteri *A. xylinum* mampu mengoksidasi glukosa menjadi rantai atau polimer panjang yang disebut dengan polisakarida atau selulosa berupa serat putih yang terbentuk secara bertahap selama proses fermentasi. Serat-serat putih ini biasa disebut dengan nata yang merupakan hasil metabolit sekunder bakteri *A. xylinum*. Pada proses metabolit primer, bakteri ini menghasilkan asam asetat, air, dan energi yang digunakan kembali dalam siklus metabolisme bakteri *A. xylinum* mampu mengoksidasi glukosa menjadi rantai atau polimer panjang yang disebut dengan polisakarida atau selulosa berupa serat putih yang terbentuk secara bertahap selama proses fermentasi. Serat-serat putih ini biasa disebut dengan *nata* yang merupakan hasil metabolit sekunder bakteri *A. xylinum*.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan *A. xylinum* adalah nutrisi, sumber karbon, sumber nitrogen, serta tingkat keasaman media, temperatur, dan udara (oksigen). Senyawa karbon yang dibutuhkan dalam fermentasi nata berasal dari monosakarida dan disakarida. Sumber dari karbon ini yang paling banyak digunakan adalah gula. Sumber nitrogen bisa berasal dari bahan organik seperti ZA atau urea. Meskipun bakteri *A. xylinum* dapat tumbuh pada pH 3,5 – 7,5 tetapi akan tumbuh optimal bila pH-nya 4. Sedangkan suhu ideal bagi pertumbuhan bakteri *A. xylinum* pada suhu 28 – 30°C. Bakteri ini sangat memerlukan oksigen, sehingga dalam fermentasi tidak perlu ditutup rapat namun hanya ditutup dengan menggunakan kertas

berpori (koran) untuk mencegah kotoran masuk ke dalam media yang dapat mengakibatkan kontaminasi (Darmansyah, 2010).

2.3 Aplikasi Selulosa Bakterial

Selulosa murni dapat digunakan dalam olahan makanan. SB diaplikasikan dalam berbagai bidang yaitu dalam industri makanan *nata de coco* di Filipina. Produk selulosa bakteri yang dibuat dari *Acetobacter xylinum* merupakan makanan ringan yang populer di Filipina dan negara-negara lain dan banyak digunakan dalam pengolahan makanan karena teksturnya yang lembut dan kandungan serat yang tinggi. Metode yang menggunakan SB sebagai komponen serat makanan dimana selulosa bakteri diperkenalkan kedalam daftar minuman diet di Jepang.

Menurut Fifield, (2012) SB memiliki banyak kemungkinan-kemungkinan untuk dapat diaplikasikan dalam berbagai hal, sebagai contoh saat ini SB telah dijadikan sebagai suatu kertas berkualitas tinggi, pengobatan luka dan juga sebagai makanan penutup (*Dessert Food*), selain itu material komposit dari SB juga dapat diaplikasikan pada bidang transportasi sebagai kendaraan yang ringan (*Light Weight Vehicle*). Aplikasi lainnya yang mungkin dari SB yaitu dalam pembangunan infrastruktur di bidang energi yaitu pada energi terbarukan (*Renewable Energy*) yaitu energi angin, energi hidrokinetik, dan berbagai infrastruktur lainnya, serta yang paling penting, SB dapat dimanfaatkan dalam bidang kesehatan sebagai material untuk alat biomedis seperti pertumbuhan tulang, dan pengiriman obat (*Drug delivery*) disamping masih

banyaknya berbagai kemungkinan-kemungkinan aplikasi yang dapat dilakukan dengan SB.

2.4 Tulang Rawan

Tulang rawan merupakan jaringan penyambung yang memiliki bahan intersel yang relatif keras, tetapi jaringan ini kurang resisten terhadap tekanan dibandingkan jaringan tulang keras. Tulang rawan ini berfungsi sebagai penyokong jaringan lunak. Permukaan tulang rawan yang halus dapat memudahkan pergeseran permukaan pada persendian (Harjana, 2012). Sifat mekanik dari jaringan tulang rawan dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat-Sifat Mekanik Jaringan Tulang Rawan (Doulabi, Mequanint, & Mohammadi, 2014)

Sifat-Sifat Mekanik	Tulang Rawan
Modulus Tarik (10% ϵ)	5-25 MPa
Kesetimbangan Modulus Relaksasi	6.5-45 MPa
Elongasi	80%
Tegangan Tarik	15-35 MPa
Kesetimbangan Agregasi Modulus Tekan	0.1-2.0 MPa
Permeabilitas Hidrolik	$0.5-5.0 \times 10^{-15} \text{ m}^4 \text{ N}^{-1} \text{ s}^{-1}$
Kesetimbangan Modulus Young Tekanan	0.4-0.8 MPa
Kekuatan Tekan	14-59 MPa
Kesetimbangan Modulus Geser	0.05-0.25 MPa

2.5 Komposit

Komposit merupakan gabungan dua fasa atau sistem multifasa, yaitu gabungan antara bahan *matrix* dengan *Reinforcement* dan bahan *Interface*. Umumnya komposisi bahan *matrix* lebih banyak dari pada komposisi dua bahan lainnya. *Matrix* dalam suatu komposit dapat berupa bahan keramik/gelas, logam maupun bahan-bahan Polimer. Komposit dibuat untuk memperbaiki sifat-sifat mekanis, termal, kimia dan biologi yang tidak dapat dipenuhi salah satu komponen tanpa dipadukan dengan bahan lain (Jalal, 2005).

Komposit adalah bahan struktural yang terdiri dari dua atau lebih konstituen gabungan yang dikombinasikan pada tingkat makroskopik dan tidak larut satu sama lain. Salah satu konstituen itu bersifat memperkuat fase yang disebut *matrix*. Peranan *matrix* dalam komposit yang memberikan bentuk ke bagian komposit, melindungi, mentransfer beban dan memberikan ketangguhan/kekuatan pada material. Sebagai perbandingan antara komposit dan logam, bahan komposit memiliki beberapa keuntungan yaitu ringan, tinggi kekakuan dan kekuatan tertentu.

Pada umumnya komposit yang dibuat manusia dapat dibagi dalam tiga kelompok utama :

a. Komposit Matriks Polimer (*Polymer Matrix Composites*)

Komposit Matriks Polimer (*Polymer Matrix Composites*) ini merupakan komposit yang sering digunakan sebagai polimer penguatan serat (*Fibre Reinforced Polymers or Plastics*) bahan ini menggunakan suatu polimer berdasar resin sebagai matriknya, dan suatu jenis serat seperti kaca, karbon dan aramid (Kevlar) sebagai penguatannya.

b. Komposit Matriks Logam (*Metal Matrix Composites*)

Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composites*) ditemukan berkembang pada industri otomotif, bahan ini menggunakan suatu logam seperti aluminium sebagai matrik dan penguatnya dengan serat silicon seperti karbida.

c. Komposit Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composites*)

Komposit Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composites*) digunakan pada lingkungan bertemperatur sangat tinggi, bahan ini menggunakan keramik sebagai matrik dan diperkuat dengan serat pendek, atau serabut-serabut (*whiskers*) dimana terbuat dari *silicon carbide* atau *boron nitride* (Sugiarto, 2013).

Menurut Campbell (2010) suatu material komposit dapat didefinisikan sebagai suatu gabungan dari dua atau lebih material yang menghasilkan sifat-sifat yang lebih baik dibandingkan jika komponen material yang sama digunakan secara terpisah (tanpa penggabungan). Berbeda dengan campuran logam, pada komposit masing-masing material penyusunnya tetap mempertahankan sifat-sifat kimia, fisika dan mekanisnya. Ada dua unsur penyusun dari suatu material komposit yaitu Matriks dan Penguat (*Reinforcement*). Keuntungan utama dari material komposit adalah kekuatan dan kekakuannya yang tinggi dengan densitas yang rendah, sehingga jika diaplikasikan pada suatu benda maka benda dengan bahan dasar material komposit akan memiliki berat yang jauh lebih ringan jika dibandingkan dengan material konvensional. Saat ini material komposit telah digunakan dalam berbagai aspek kehidupan manusia, seperti pada bidang konstruksi, transportasi, energi, dan lain-lain.

2.6 Rumput Laut (*Eucheuma cottonii*)

RL adalah organisme berklorofil, tubuhnya merupakan talus (uniselular atau multiselular), alat reproduksi pada umumnya berupa sel tunggal dan ada beberapa alga yang alat reproduksinya tersusun dari banyak sel. Alga memiliki beberapa divisi, antara lain *Cyanophyta*, *Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Pyrrophyta*, *Phaeophyta* dan *Rhodophyta*.

Salah satu divisi yang akan dibahas adalah *Rhodophyta*. *Rhodophyta* atau yang biasa disebut alga merah yang merupakan alga multiseluler dan memiliki ukuran yang besar. Adanya pigmen fikoeritrin menyebabkan alga berwarna merah. Alga merah hidup menempel pada alga lain, pada bebatuan dan ada yang hidupnya bebas mengapung dipermukaan air. Alga merah biasa ditemukan di laut dalam.

Salah satu spesies dari divisi *Rhodophyta*, yaitu *Eucheuma cottonii*. Menurut Doty (1986), *Eucheuma cottonii* merupakan salah satu jenis alga merah (*Rhodophyceae*) dan berubah nama menjadi *Kappaphycus alvarezii* karena karaginan yang dihasilkan termasuk fraksi kappa-karaginan. Maka jenis ini secara taksonomi disebut *Kappaphycus alvarezii* (Doty, 1986). Pada umumnya nama daerah yang lebih dikenal dan biasa digunakan dalam dunia perdagangan nasional maupun internasional adalah *cottonii*. Klasifikasi *Eucheuma cottonii* menurut Doty (1986) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisio	: Rhodophyta
Clasis	: Rhodophyceae

Ordo : Gigartinales
Familia : Solieracea
Genus : *Eucheuma*
Species : *Eucheuma cottonii* - *Kappaphycus alvarezii*



Gambar 2.5 Rumpit Laut (*Eucheuma cottonii*) (Khasanah, 2013)

Eucheuma merupakan jenis rumput laut yang banyak dicari. Ini disebabkan karena industri makanan, kosmetika, dan farmasi memerlukan karagenan yang terkandung dalam *Eucheuma* untuk dijadikan sebagai bahan campuran. Karagenan sangat penting peranannya sebagai penstabil, bahan pengentalan, pembentuk gel, pengemulsi dan lain-lain. Sifat ini banyak dimanfaatkan dalam industri makanan, obat-obatan, kosmetik, tekstil, cat, pasta gigi dan industri lainnya. Karagenan juga berfungsi sebagai penstabil, pensuspensi, pengikat, *protective* (pelindung), *film former* (mengikat suatu bahan), *syneresis inhibitor* (mencegah terjadinya pelepasan air), dan *flocculating agent* (mengikat bahan-bahan) (Fathmawati, Dini., 2014). Komposisi kimia *Eucheuma cottonii* dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia *Eucheuma cottonii*
 Team Rumput Laut BPPT dan Pusat Pengembangan
 Teknologi Pangan IPB (Soegiarto dan Sulistijo, 1985)

Komponen	Kandungan (% berat kering)
Kadar Air (%)	13,90
Protein (%)	2,67
Karbohidrat (%)	0,27
Lemak (%)	5,70
Serat Kasar (%)	0,90
Abu (%)	17,09
Mineral Ca (ppm)	29,92
Mineral Fe (ppm)	0,12
Mineral Pb (ppm)	0,04
Thiamin (mg/100g)	0,14
Riboflavin (mg/100g)	2,70
Vitamin C (mg/100g)	12,00
Karaginan (%)	61,52

2.7 Karakteristik Sifat KSB-RL

2.7.1 Kuat Tekan (*Compressive strength*)

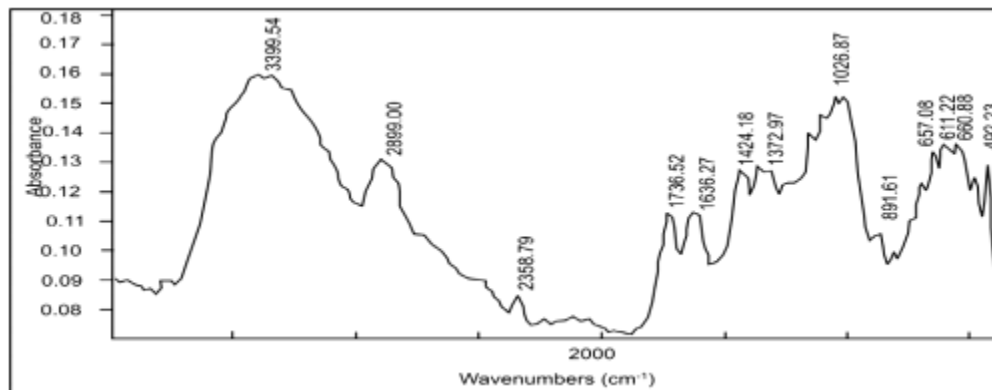
Pengukuran kuat tekan atau *compressive strength* merupakan pengukuran kapasitas suatu material atau struktur untuk tahan terhadap beban atau tekanan yang cenderung merubah bentuk atau ukurannya. Hal ini dapat diukur dengan memplot tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk material pada mesin uji. Beberapa material akan menjadi hancur atau pecah pada batasan kuat tekannya sehingga nilai yang diberikan saat terjadinya perubahan bentuk pada material tersebut dianggap sebagai batasan tekanan yang dapat diterimanya. Pengukuran kuat tekan ini merupakan suatu parameter yang penting dalam mendesain atau membuat sebuah struktur material (Urbanik, Lee, & Johnson, 2006).

2.7.2 Kuat Tarik (*Tensile strength*)

Kuat Tarik (*Tensile Strength*) merupakan suatu sifat mekanis untuk mengukur kekuatan KSB-RL yang dihasilkan. Kuat tarik adalah gaya tarik maksimum yang dapat ditahan oleh SB selama pengukuran berlangsung sampai terputus. Semakin tinggi kekuatan tariknya, maka semakin bagus kualitas dari SB yang dihasilkan. Kekuatan SB sangat dipengaruhi oleh kandungan selulosa pada penambahan konsentrasi gula ke dalam media cair untuk pembuatan *nata*. Meningkatnya kandungan selulosa membuat *nata* semakin elastic (Iskandar, Zaki, Mulyati, Fathanah, & Sari, 2010).

2.7.3 FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*)

FTIR merupakan sebuah kesatuan dari spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan proses *fourier transform*. Karakterisasi FTIR dilakukan untuk menentukan jenis ikatan yang terdapat pada sampel. Spektroskopi Inframerah didasari oleh vibrasi dari atom pada molekul dimana setiap atom memiliki frekuensi vibrasi yang berbeda bergantung pada jenis ikatannya. Jika sinar Inframerah dipancarkan ke sampel, maka setiap ikatan hanya akan mengabsorpsi energi yang bersesuaian dengan frekuensi vibrasi ikatan tersebut. Setiap ikatan dalam molekul umumnya memiliki karakteristik sendiri sehingga spektroskopi FTIR dapat digunakan untuk mendeteksi gugus yang spesifik pada SB yang dihasilkan (Jahuddin et al., 2014). Spektra FTIR dari selulosa bakterial dapat dilihat pada Gambar 2.6

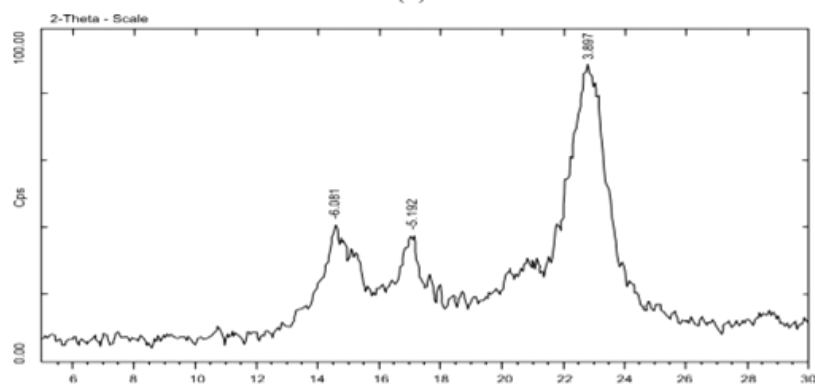


Gambar 2.6 Spektra FTIR Selulosa Bakterial (Goh et al., 2012)

2.7.4 XRD (X-Ray Diffraction)

Analisa menggunakan radiasi inframerah telah menjadi salah satu alat analisa kimia yang sangat penting dalam menganalisa dan mengidentifikasi polimer. Selain itu analisa menggunakan radiasi inframerah juga sangat penting dalam pemantauan degradasi polimer (Schnabel, 2004).

Metode difraksi sinar X dapat digunakan untuk mengetahui struktur dari lapisan tipis yang terbentuk. Sampel diletakan pada sampel holder difraktometer sinar X. Proses difraksi sinar X dimulai dengan menyelakan difraktometer 18 sehingga diperoleh hasil difraksi berupa difraktogram yang menyatakan hubungan antara sudut difraksi dengan intensitas sinar X yang dipantulkan. Untuk difraktometer sinar X, sinar X terpancar dari tabung sinar X. Sinar X ditangkap oleh detektor sintilator dan diubah menjadi sinyal listrik . Sinyal listrik tersebut, setelah dieliminasi komponen *noise*-nya, dihitung sebagai analisa tinggi. Difraktogram XRD dari selulosa bacterial dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Difraktogram XRD Selulosa Bakterial (Goh et al., 2012)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Waktu perendaman dapat mempengaruhi karakteristik KSB-RL yaitu
 - a. Adanya ekstrak RL yang masuk dapat menurunkan kandungan air KSB-RL dari kandungan air SB
 - b. Ekstrak RL mengalami proses penyerapan absorpsi fisika karena tidak membentuk senyawa baru.
 - c. Masuknya ekstrak RL kedalam SB, dapat meningkatkan sifat mekanik dari KSB-RL
 - d. Sifat mekanik yang dihasilkan belum memenuhi standar tulang rawan.
2. Sinar UV mempengaruhi sifat fisik dan sifat mekanik, tetapi tidak merubah struktur dari KSB-RL.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan masih terdapat beberapa kekurangan, maka dari itu perlu dilakukan :

1. Penelitian ini memerlukan kajian lebih lanjut mengenai karakterisasi morfologi permukaan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk menentukan permukaan KSB-RL yang dihasilkan serta untuk mengetahui posisi RL didalam KSB-RL.

2. Penelitian ini memerlukan perlakuan lebih lanjut untuk mendapatkan sifat mekanik yang sesuai dengan standar tulang rawan yaitu dengan penambahan *crosslinker* (EDC) dan waktu perendaman.
3. Penelitian ini memerlukan kajian lebih lanjut mengenai titik degradasi dari KSB-RL menggunakan *Differential Thermal Analysis* (DTA).

DAFTAR PUSTAKA

- Bielecki, S., Krystynowicz, A., & Marianna. (1989). Bacterial Cellulose. *Cellulose*, i, 37–46. <http://doi.org/10.1155/2011/175362>
- Campbell, F. C. (2010). *Structural Composite Materials. Journal of Manufacturing Processes for Advanced Composites*.
- Casarica, A., Campeanu, G., Moscovici, M., Ghiorghita, A., & Manea, V. (2013). Improvement of Bacterial Cellulose Production By *Aceobacter Xylinum* Dsmz-2004 on Poor Quality Horticultural Substrates Using the Taguchi Method for Media Optimization. Part I. *Cellulose Chemistry and Technology*, 47(1-2), 61–68.
- Cavka, A., Guo, X., Tang, S.-J., Winstrand, S., Jönsson, L. J., & Hong, F. (2013). Production of bacterial cellulose and enzyme from waste fiber sludge. *Biotechnology for Biofuels*, 6(1), 25. <http://doi.org/10.1186/1754-6834-6-25>
- Ciechanska, D. (2004). Multifunctional Bacterial Cellulose / Chitosan Composite Materials for Medical Applications. *Fibers & Textile in Eastern Europe*, 12(4), 69–72.
- Darmansyah. (2010). *reinforcement (penguat) dan matriks . Reinforcement (penguat) . Reinforcement berfungsi sebagai penguat atau kerangka dari suatu komposit . Biasanya reinforcement ini berupa fiber atau logam , yang memiliki fase diskontinyu . Berikut ini adalah bebera.*
- Doty, M. . (1986). *iotechnological and Economic Approaches to Industrial Development Based on Marine Algae in Indonesia. Workshop on Marine Algae Biotechnology*.
- Doulabi, A. H., Mequanint, K., & Mohammadi, H. (2014). Blends and nanocomposite biomaterials for articular cartilage tissue engineering. *Materials*, 7(7), 5327–5355. <http://doi.org/10.3390/ma7075327>
- Fathmawati, Dini., M. R. P. A. dan A. R. (2014). Studi Kinetika Pembentukan Karaginan dari Rumput Laut. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(1), 1–6.
- Fifield, L. S. (2012). Bacterial Cellulose Composites Opportunities and Challenges. In *Pacific Northwest National Library* (pp. 1–10).