

**PENGARUH PENAMBAHAN *CROSSLINKER* TERHADAP
KARAKTERISTIK KOMPOSIT SELULOSA BAKTERI-
EKSTRAK RUMPUT LAUT (*Euheuma cottonii*)**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar
Sarjana Sains*



**Oleh:
YUDHA DWI SAPUTRA
17036064/2017**

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2021**

PERSETUJUAN SKRIPSI

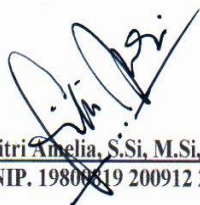
PENGARUH PENAMBAHAN *CROSSLINKER* TERHADAP KARAKTERISTIK KOMPOSIT SELULOSA BAKTERI- EKSTRAK RUMPUT LAUT (*Eucheuma cottonii*)

Nama : Yudha Dwi Saputra
NIM : 17036064
Program Studi : Kimia (NK)
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, September 2021

Mengetahui:

Ketua Jurusan



Fitri Amelia, S.Si, M.Si, Ph.D
NIP. 19800819 200912 2 002

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing



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

PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI

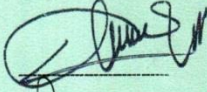
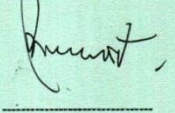
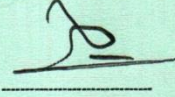
Nama : Yudha Dwi Saputra
NIM : 17036064
Program Studi : Kimia (NK)
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

PENGARUH PENAMBAHAN *CROSSLINKER* TERHADAP KARAKTERISTIK KOMPOSIT SELULOSA BAKTERI- EKSTRAK RUMPUT LAUT (*Eucheuma cottonii*)

Dinyatakan Lulus Setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Kimia Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, September 2021

Tim Penguji

	Nama	Tanda tangan
Ketua	: Ananda Putra, S.Si, M.Si, Ph.D	
Anggota	: Dr. Indang Dewata, M.Si	
Anggota	: Prof. Ali Amran, MA, M.Pd, Ph.D	

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

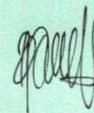
Nama : Yudha Dwi Saputra
NIM : 17036064
Tempat/Tanggal lahir : Lubuk Sikaping/24 Agustus 1998
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : **Pengaruh Penambahan *Crosslinker* Terhadap Karakteristik Komposit Selulosa Bakteri-Ekstrak Rumput Laut (*Eucheuma cottonii*)**

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, September 2021
Yang menyatakan



Yudha Dwi Saputra
NIM : 17036064

**PENGARUH PENAMBAHAN *CROSSLINKER* TERHADAP
KARAKTERISTIK KOMPOSIT SELULOSA BAKTERI-
EKSTRAK RUMPUT LAUT (*Eucheuma cottonii*)**

ABSTRAK

Selulosa bakteri banyak digunakan dalam berbagai bidang, salah satunya dalam bidang biomedis seperti membran pemisahan, penutup luka sintetis, dan substrat untuk rekayasa jaringan tulang rawan. Selulosa bakteri memiliki sifat mekanik yang rendah, sehingga dibentuk suatu komposit selulosa bakteri dengan ekstrak rumput laut (SB-ERL) untuk mendapatkan bahan baru yang lebih baik. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi *crosslinker* (tepung tapioka) pada sifat mekanik, struktur dan fisik dari KSB-ERL. Selulosa bakteri dihasilkan dari campuran air kelapa, urea dan gula, lalu difermentasi dengan *acetobacter xylinum* selama 15 hari. Selulosa bakteri yang dikompositkan dengan ekstrak rumput laut disebut komposit selulosa bakteri-ekstrak rumput laut (KSB-ERL). KSB-ERL akan dikarakterisasi dengan menguji kuat tarik, kuat tekan, kandungan air dan analisis struktur dengan FTIR. Hasil uji kuat tarik terbaik adalah KSB-ERL yang ditambahkan *crosslinker* 2% dengan nilai 50,10 MPa. Penambahan *Crosslinker* dapat mengurangi persentase kandungan air KSB-ERL, sedangkan hasil spektrum FTIR menunjukkan bahwa gugus fungsi yang terdapat pada selulosa hanya mengalami pergeseran. Penambahan *crosslinker* 2% menghasilkan kristanilitas yang tinggi dengan persentase 93,68% pada XRD.

Keywords — Selulosa Bakteri, Crosslinker, Komposit, Rumput Laut

**EFFECT OF ADDITIONAL *CROSSLINKER* ON THE COMPOSITE
CHARACTERISTICS OF BACTERIAL CELLULOSE-SEAWEED
EXTRACT (*Eucheuma cottonii*)**

ABSTRACT

Bacterial cellulose is widely used in various fields, one of which is in the biomedical field such as separation membranes, synthetic wound dressings, and substrates for cartilage tissue engineering. Bacterial cellulose has low mechanical properties, so a composite of bacterial cellulose with seaweed extract (BC-Se) was formed to obtain a new, better material. The purpose of this study was to determine the effect of variation *crosslinker* (tapioca flour) on the mechanical, structural and physical properties of BC-Se. Bacterial cellulose is produced from a mixture of coconut water, urea and sugar, then fermented with acetobacter xylinum for 15 days. Bacterial cellulose composited with seaweed extract is called bacterial cellulose-seaweed extract composite (BC-SeC). BC-SeC will be characterized by testing tensile strength, compressive strength, water content and structural analysis using FTIR. The best tensile strength test result was BC-SeC with added *crosslinker* 2% with a value of 50.10 MPa. The addition of *Crosslinker* can reduce the percentage of water content of BC-SeC, while the results of the FTIR spectrum show that the functional groups contained in cellulose only experience a shift. The addition of *crosslinker* 2% resulted in high crystallinity with a percentage of 93.68% on XRD.

Keywords — Bacterial Cellulose, Crosslinker, Composite, Seaweed

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada saya. Shalawat dan salam tidak lupa kita kirimkan untuk nabi besar Muhammad SAW yang telah memberikan tauladan dalam setiap aktivitas yang kita jalani, sehingga saya dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Penambahan *Crosslinker* Terhadap Karakteristik Komposit Selulosa Bakteri-Ekstrak Rumput Laut (*Eucheuma cottonii*).“**

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi persyaratan guna memperoleh gelar sarjana sains pada jurusan kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih atas bimbingan, dorongan dan semangat kepada:

1. Bapak Ananda Putra, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai Pembimbing Penelitian sekaligus Pembimbing Akademik.
2. Ibuk Fitri Amelia, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai Ketua Jurusan Kimia,
3. Bapak Budhi Oktavia, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai Ketua Program Studi Kimia Jurusan Kimia FMIPA UNP.
4. Bapak Dr. Indang Dawata, M.Si selaku dosen pembahas
5. Bapak Prof. Ali Amran, MA., M.Pd., Ph.D selaku dosen pembahas
6. Orang tua penulis yang telah memberikan semangat kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
7. Teman teman kimia angkatan 2017 yang telah membantu pembuatan skripsi penelitian ini.

Semoga rahmat dan kasih sayang Allah SWT selalu tercurah pada kita semua serta usaha dan kerja kita bernilai ibadah di hadapan Allah SWT, Amin Ya Rabbal ‘Alamin. Saya menyadari bahwa skripsi ini masih belum lengkap dan sempurna. Oleh karena itu, saya mengharapkan masukan dan saran yang membangun dari semua pihak. Atas semua masukan dan saran yang diberikan saya ucapkan terima kasih.

Padang, Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah.....	3
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian	4
F. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Selulosa.....	6
B. Selulosa Bakterial (SB)	7
C. Bakteri <i>Acetobacter xylinum</i>	10
D. Tanaman Rumput Laut (<i>Eucheuma cottonii</i>)	12
E. Komposit	14
F. Crosslinker.....	14
G. Karakteristik Sifat Komposit Selulosa Bakteri-Ekstrak Rumput Laut...	16
BAB III METODE PENELITIAN.....	19
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
B. Objek Penelitian.....	19
C. Variabel Penelitian.....	19
D. Alat dan Bahan.....	19
E. Prosedur Penelitian	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
A. Preparasi Selulosa Bakterial (SB)	26
B. Pencucian dan Pemurnian SB	27
C. Preparasi Ekstrak Rumput Laut (ERL)	27
D. Preparasi KSB-ERL	28
E. Perendaman KSB-ERL dalam <i>Crosslinker</i>	28
F. Karakteristik Air KSB-ERL	29

BAB V PENUTUP.....	38
A. Kesimpulan	38
B. Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN.....	41

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	Halaman
1. Struktur selulosa (a) konformasi kursi, (b) model Haworth.....	7
2. Reaksi Pembentukan Selulosa	8
3. Bakteri <i>Acetobacter xylinum</i>	11
4. Rumput Laut (<i>Eucheuma cottonii</i>)	13
5. Ilustrasi pembuatan SB	26
6. (a) SB yang terbentuk dengan baik, (b) SB berjamur.....	27
7. (a) Rumput Laut, (b) perendaman rumput laut, (c) Ekstrak rumput laut.....	28
8. Grafik kandungan air dari Komposit dan KSB-ERL-C.....	30
9. (a) kuat tarik, (b) regangan sampel, dan (c) elastisitas sampel	32
10. Grafik uji Kualitatif Kuat Tekan SB, KSB-ERL, dan KSB-ERL-C	34
11. Spektrum FTIR dari Komposit dan KSB-ERL-C	35
12. Difraktogram dari sampel	36

DAFTAR TABEL

TABEL	Halaman
1. Standar SB menurut Nakayama	9
2. Standar Tulang Rawan	10
3. Komposisi Tepung Terigu dalam 100 g	15
4. Komposisi Kimia Tepung Tapioka	16
5. Komposisi Tepung Beras Ketan.....	16
6. Uji Kualitatif Kuat tekan SB, KSB-ERL dan KSB-ERL-C	33
7. Viibrasi bilangan gelombang pada masing-masing gugus fungsi.....	36
8. Persentase Kristalin SB, KSB-ERL, dan KSB-ERL-C	37

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	Halaman
1. Preparasi SB.....	41
2. Pencucian dan Pemurnian SB	42
3. Pembuatan Ekstrak RL	43
4. Preparasi KSB-ERL	44
5. Perendaman KSB-ERL dalam Cross-Linker	45
6. Penentuan <i>Water content</i> (Kandungan Air).....	46
7. Uji Kuat Tekan KSB-ERL	47
8. Uji Kuat Tarik KSB-ERL	48
9. Uji struktur.....	49
10. Perhitungan Pembuatan Larutan NaOH 2%	50
11. Data <i>Water Content</i>	51
12. Perhitungan <i>Water Content</i>	52
13. Data <i>Tensile Strenght</i> (Kuat Tarik), <i>Strain</i> , dan Elastisitas	54
14. Spektrum FTIR SB.....	55
15. Spektrum FTIR KSB-ERL	56
16. Spektrum FTIR KSB-ERL + <i>Crosslinker</i> 2%.....	57
17. Difraktogram XRD SB.....	58
18. Difraktogram XRD KSB-ERL	59
19. Difraktogram XRD KSB-ERL + <i>Crosslinker</i> 2%.....	60
20. Data dan Perhitungan Persentase Derajat Kristalinitas.....	61
21. Dokumentasi Penelitian.....	62

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Selulosa Bakterial (SB) adalah selulosa yang dihasilkan oleh bakteri homopolimer dari satuan β -D-1,4 glukosa melalui atom karbon pertama dan keempat yang saling berikatan. Ikatan yang terjadi adalah β -glikosidik (Ifadah et al., 2016). *Acetobacter xylinum* yaitu bakteri yang banyak dipakai untuk menghasilkan selulosa. Selulosa Bakterial ini memiliki beberapa sifat unik seperti kualitas penyerapan tinggi, permukaan yang luas, biokompatibilitas, kristalinitas dan mekanik yang tinggi (Putra et al., 2008), non-alergenik dan karakterisasinya bisa disterilisasi tanpa adanya perubahan (Rohaeti et al., 2016).

Karena sifat keunikannya ini, Selulosa Bakterial memiliki beberapa aplikasi inovatif seperti fuel cell, industri katalis, penyerapan minyak (Shao et al., 2017), kertas fungsional, industri makanan, biomaterial berstruktur nano (Revin et al., 2018), dan industri kosmetik (Chawla, Bajaj, Survase, & Singhal, 2009). Pengaplikasian SB juga ada dalam bidang medis seperti protetik dan farmasi, seperti penutup luka sintetik, pemisahan membran, dan seperti substrat untuk rekayasa jaringan tulang rawan (Baker et al., 2012). SB juga dapat memberikan perawatan luka bakar, dan dapat sebagai benang jahit dalam pembedahan yang diimplant ke dalam tubuh manusia (N. A. Hoenich et al., 2006).

Selulosa merupakan suatu biopolimer alam yang sangat banyak di dunia, bersifat hidrofilik, dan juga dapat diterapkan dalam lima modifikasi (Pandey et al., 2014). Tumbuhan, hewan dan bakteri merupakan sumber yang dapat

menghasilkan Selulosa. Sumber yang paling besar untuk memperoleh selulosa yaitu dari tumbuhan, tetapi yang dihasilkan kurang murni dibandingkan dengan selulosa yang diperoleh dari bakteri. Hal ini disebabkan karena tingginya jumlah lignin dan hemi-selulosa (Gayathry & Gopalaswamy, 2014).

Peneliti telah banyak membuat komposit dari Selulosa Bakterial, seperti penelitian yang telah diteliti oleh Putra et al., (2009) tentang membuat komposit dari SB dan Polycarylamide N,N"-methylene bisacrylamide (pAAM) dengan metode *duble network* gel yang dijadikan ligamen. Penelitian Barud et al., (2007) juga melakukan pembuatan komposit dari SB dan *sodium polyphosphate*.

Selulosa Bakterial dimanfaatkan dalam bidang biomedis banyak terkendala disebabkan rendahnya elastisitas pada Selulosa Bakterial (SB). Ketika SB ditekan air dalam selulosa tersebut mudah keluar dan SB tidak dapat kembali ke bentuk semula. Dikarenakan sifat modulus dalam SB rendah, tetapi Selulosa bakterial mempunyai kuat tarik tinggi sepanjang arah lapisan serat (Nakayama et al., 2004). Selulosa Bakterial dapat meningkatkan sifat elastisitas dengan menambahkan bahan atau campuran lain ke dalam SB. Selulosa Bakterial yang tercampur tersebut akan membentuk material baru yang disebut komposit. Gabungan dari dua atau lebih material yang berbeda bentuk disebut dengan komposit. Komposit memiliki material yang biasanya terdiri dari matriks dan penguat (*filler*) (Maryanti et al., 2011b).

Rumput Laut (RL) merupakan salah satu sumber karbohidrat, protein, mineral, dan serat dalam jumlah besar. Rumput laut biasanya digunakan sebagai makanan. Namun, seiring berkembangnya ilmu pengetahuan rumput laut dapat digunakan sebagai bahan baku industri farmasi dan kosmetik. Kandungan nutrisi

dalam rumput laut dipengaruhi oleh geografis dan variasi musim (Odom et al., 2002).

Pada percobaan yang telah dilakukan, peneliti memodifikasi dengan menggabungkan Selulosa Bakterial dengan rumput laut (*Eucheuma cottonii*). Karagenan yang dihasilkan oleh rumput laut memiliki kadar mencapai 61.59% (Hardoko, Saputra, & Anugrahati, 2013). Karagenan yang dihasilkan berguna untuk pengental, penstabil, pembentuk gel, dan pengemulsi. Gel RL memiliki kekurangan yaitu akan mudah pecah apabila diberi tekanan. Karena kekurangan tersebut Selulosa Bakterial dan Rumput laut digabungkan untuk membentuk suatu komposit yang baik.

Crosslinker adalah senyawa-senyawa yang dapat menarik gugus fungsional tertentu pada molekul lain dan ikatan silang. Senyawa yang mengandung $-OH$ atau $-NH_2$ biasanya banyak digunakan untuk *crosslinker* (Wong, Jameson, & Wong, 2012). Bahan yang digunakan pada *crosslinker* bisa dari alam maupun sintesis. Pada penelitian ini digunakan bahan alam, dikarenakan terjangkaunya harga bahan dan mudah ditemukan. Tepung tapioka dengan konsentrasi 1%, 2%, dan 3% *crosslinker* yang digunakan. Ketiga konsentrasi tepung ini diharapkan dapat meningkatkan sifat dari material karena mengandung pati dan protein.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah yaitu:

1. Komposit Selulosa Bakterial-Ekstrak Rumput Laut (KSB-ERL) belum memenuhi standar dalam aplikasi biomedis terutama untuk tulang rawan.

2. Penambahan *crosslinker* ke dalam KSB-ERL belum menghasilkan kualitas KSB-ERL yang memenuhi standar tulang rawan.

C. Batasan Masalah

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

1. Media kultur yang digunakan dalam sintesis SB adalah air kelapa, yang difermentasi menggunakan bakteri *Acetobacter xylinum*.
2. Variasi *crosslinker* yang akan digunakan yaitu tepung tapioka 1%, 2% dan 3%.
3. Bahan Organik yang digabungkan dengan SB yaitu ekstrak rumput laut.
4. *Crosslinker* dari tepung tapioka dengan variasi 1%, 2% dan 3%.
5. Karakteristik KSB-ERL meliputi sifat fisika (kandungan air), sifat mekanik(uji kuat tarik dan kuat tekan) dan struktur (analisa gugus fungsi dan derajat kristalinitas).

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan diatas, maka penulis merumuskan suatu masalah yaitu bagaimana pengaruh *crosslinker* terhadap sifat fisik, sifat mekanik, dan struktur dari KSB-ERL?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu untuk menentukan:

1. Pengaruh penambahan *crosslinker* terhadap sifat fisik (kandungan air) Komposit dan KSB-ERL-C.
2. Pengaruh terhadap sifat mekanik (kuat tarik dan kuat tekan) Komposit dan KSB-ERL-C.
3. Pengaruh terhadap struktur dari Komposit dan KSB-ERL-C.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

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

BAB II

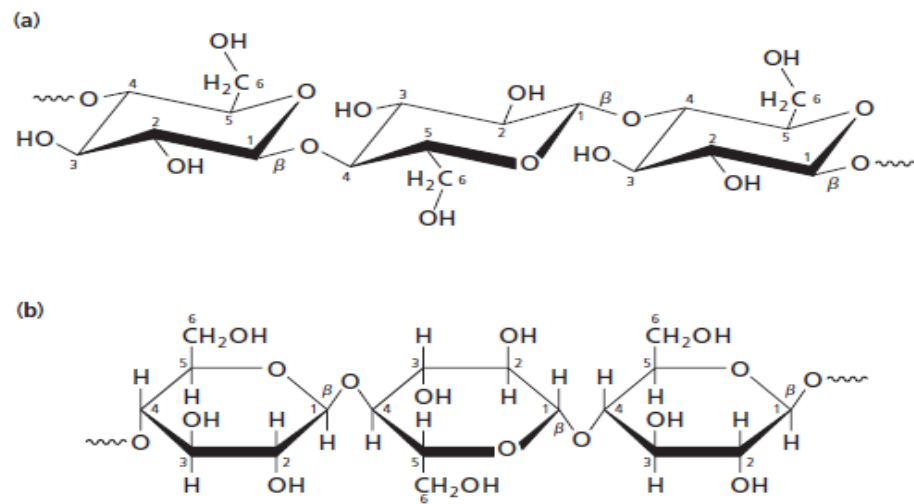
TINJAUAN PUSTAKA

A. Selulosa

Suatu biopolimer alam yang sangat banyak di dunia yang bersifat hidrofilik, biodegradabel dan kimia modifikasi adalah Selulosa (Pandey et al., 2014). Selulosa merupakan senyawa homopolisakarida yang tidak bercabang terdiri dari 10.000-15.000 unit glukosa yang dihubungkan oleh ikatan β -1,4-glikosida. Ikatan ini mempunyai kecendrungan kuat membentuk ikatan hidrogen intra dan intermolekul. Setiap residu glukosa membentuk pita yang saling berputar 180°C antara satu dengan yang lainnya. Selulosa berbentuk serat lurus, memanjang, sulit larut di dalam air, dan biasanya banyak ditemukan di tumbuhan bagian dinding sel (Lehninger, Nelson, Cox, & Cox, 2005).

Selulosa memiliki rumus empiris yaitu $(C_6H_{10}O_5)_n$ dengan n merupakan jumlah satuan glukosa yang berikatan dan derajat polimerisasi selulosa (Esa et al., 2014). Struktur dari selulosa dapat dilihat pada Gambar 1. Tumbuhan merupakan sumber paling besar penghasil selulosa, namun ada sumber alternatif lain seperti bakteri yang menghasilkan selulosa lebih murni dibandingkan selulosa tumbuhan.

Dalam bentuk fibril molekul selulosa terbentuk. Struktur kristal yang dibentuk oleh fibril-fibril dibungkus oleh lignin pada tumbuhan. Kumpulan fibril disebut dengan mikrofibril. Mikrofibril mengandung banyak ikatan hidrogen bersifat sangat kuat dan disebut bagian kristal, sedangkan bagian mikrofibril yang tidak mengandung ikatan hidrogen disebut bagian amorf (Judoamidjojo, Said, & Hartoto, 1989).



Gambar 1. Struktur selulosa (a) konformasi kursi, (b) model Haworth (Moran, 2012).

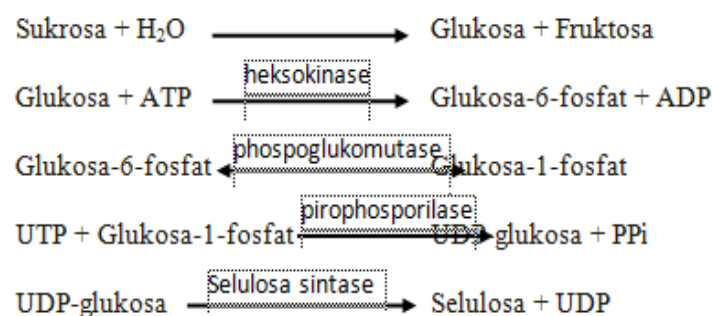
Penelitian yang telah dilakukan oleh Suryanto, (2017) yaitu dimana bakteri yang membentuk selulosa (selulosa bakterial) mempunyai tingkat kemurnian yang lebih baik dan proses pemurnian yang lebih mudah. Selulosa Bakterial juga memiliki kerapatan 300-900 kg/m³, daya tarik yang tinggi, elastis, dan struktur jaringannya terdiri dari nanofibril dengan diameter 3-8 nm (Rohaeti et al., 2016)

B. Selulosa Bakterial (SB)

Selulosa Bakterial (SB) yaitu selulosa yang dihasilkan oleh bakteri yang membentuk homopolimer molekul β-D-1,4 glukosa dengan ikatan β-glikosidik (Ifadah et al., 2016). Bakteri yang banyak digunakan untuk menghasilkan selulosa yaitu *Acetobacter xylinum*. Selulosa Bakterial yang disintesis oleh *Acetobacter xylinum* merupakan biopolimer yang menjanjikan karena tingkat polimerisasinya yang tinggi dan juga murni. SB tidak mengandung lignin, pektin, dan hemiselulosa menyebabkan SB ini murni (Pandey et al., 2014).

Selulosa Bakterial dihasilkan oleh *A. xylinum* melalui proses fermentasi. Bakteri ini akan mengubah gula (sukrosa) menjadi fruktosa dan glukosa.

Kemudian dipecah glukosa menjadi glukosa-6-posfat. Hal ini terjadi karena tidak aktifnya glukosa sehingga diaktifkan oleh ATP menjadi glukosa-6-posfat. Glukosa-6-posfat diubah menjadi glukosa-1-posfat yang memiliki struktur yang lebih stabil. Kemudian dibutuhkan energi yang lebih tinggi untuk membentuk polisakarida, sehingga glukosa-1-posfat dengan bantuan UTP diubah menjadi UDP-Glukosa. Dengan bantuan enzim *glukosil transferase*, maka UDP-Glukosa dipolimerisasi menjadi selulosa. Gambar reaksi dibawah adalah reaksi pembentukan (Pardosi, 2008).



Gambar 2. Reaksi Pembentukan Selulosa

Selulosa Bakterial memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan selulosa tanaman. Karakteristik tersebut yaitu (1) kemurnian tinggi (> 98%), (2) sifat mekanik kuat, (3) kristalinitas tinggi (>60%), (4) derajat polimerisasi tinggi (~10.000), (5) kekuatan tarik yang tinggi, dan (6) memiliki mikrofibril yang tipis dari selulosa tanaman (Lu et al., 2012).

Struktur kimia SB lebih baik dari selulosa yang berasal dari tumbuhan. Setiap serat tunggal dari SB mempunyai diameter 50 nm, dikarenakan serat-serat tunggal selulosa saling melilit satu sama lain dan jaringan membentuk struktur panjang serat tidak dapat ditentukan.

SB memiliki mikromorfologi dengan struktur 3 dimensi dan memiliki sifat yang unik seperti kualitas penyerapan yang tinggi, kemurnian tinggi, kristalinitas tinggi, permukaan yang luas, kapasitas air yang tinggi, kekuatan mekanik yang tinggi dan biokompatibilitas (Putra et al., 2008). Sifat SB yang unik ini membuat SB digunakan dalam beberapa aplikasi seperti fuel cells, industri katalis (Shao et al., 2017), industri makanan, kertas fungsional, biomaterial berstruktur nano, biokomposit (Revin et al., 2018), dan industri kosmetik (Chawla et al., 2009). Standar SB bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar SB menurut Nakayama

Standar	Mpa
<i>Tensile Strength</i>	2,9
<i>Compressive Strength</i>	0,007
<i>Water Content</i>	90 %
Elastisitas	0,4-0,9

(Nakayama et al., 2004)

Selulosa Bakterial juga diaplikasikan di bidang medis, farmasi, dan aplikasi palsu seperti kulit buatan untuk menyembuhkan luka, pemisahan membran, pembuluh darah buatan, dan pengganti jaringan lunak dalam tubuh salah satunya tulang rawan (Putra et al., 2008). Selain itu, SB juga dapat digunakan dalam perawatan pada penderita penyakit ginjal, sebagai pengganti sementara dalam perawatan luka bakar, dan juga diimplant ke dalam tubuh manusia sebagai benang jahit dalam pembedahan (N. Hoenich, 2006).

Pemanfaat SB dalam bidang biomedis terkendala oleh sifat elastisitas dari SB yang rendah, untuk menjadikan SB sebagai alternatif pengganti tulang rawan, dilakukan penggabungan SB dengan bahan alam lain sehingga dapat meningkatkan karakteristik dari SB. Penggabungan material ini disebut dengan

biokomposit. Standar tulang rawan menurut Doulabi (2014) bisa dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Standar Tulang Rawan

Sifat Mekanik	Tulang Rawan
<i>Tensile Modulus (at 10% ϵ)</i>	5-25 Mpa
<i>Equilibrium Relaxation Modulus</i>	6,5-45 Mpa
<i>Elongation to Break</i>	80%
<i>Ultimate Tensile Stress</i>	15-35 Mpa
<i>Equilibrium Compressive Aggregate Modulus</i>	0,1-2,0 Mpa
<i>Hydraulic Permeability</i>	$0,5-5,0 \times 10^{-15} \text{ m}^4 \text{ N}^{-1} \text{ S}^{-1}$
<i>Compressive Strength</i>	14-59 Mpa

(Doulabi, Mequanint, & Mohammadi, 2014)

C. Bakteri *Acetobacter xylinum*

Bakteri *A. xylinum* yaitu bakteri gram negatif yang berbentuk elips atau tongkat melengkung. *Acetobacter xylinum* merupakan bakteri aerobik, yang respirasi dalam metabolismenya memerlukan oksigen dan mengeluarkan selulosa bakterial berupa pelikel pada permukaan kultur cair (D H Bergey; William B Whitman; M Goodfellow; Peter Kämpfer; Hans-Jürgen Busse, 2012).

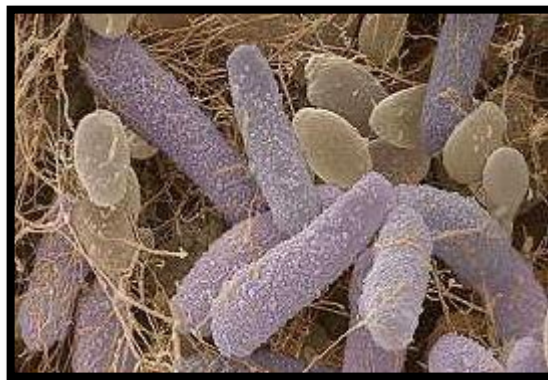
Klasifikasi *Acetobacter xylinum* sebagai berikut :

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

Genus : *Acetobacter*

Spesies : *Acetobacter xylinum*

Bakteri ini dapat mengoksidasi glukosa menjadi rantai atau polimer panjang yang disebut dengan polisakarida atau selulosa berupa serat putih yang terbentuk selama proses fermentasi. Serat-serat putih ini biasa disebut dengan nata yang merupakan hasil metabolit sekunde. Pada proses metabolit primer, bakteri ini menghasilkan CH_3COOH , H_2O , dan energi yang digunakan kembali dalam siklus metabolismenya. Gambar bakteri *A. xylinum* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Bakteri *Acetobacter xylinum* (Nainggolan, 2009)

Bakteri *A. xylinum* banyak digunakan dalam bidang industri. Bakteri ini terdapat pada gula tebu, cuka, buah dan bunga. Bakteri ini tumbuh maksimal di suhu 30°C dan rentang pH 4,0-5,4. Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri ini yaitu sumber karbon, sumber nutrisi, sumber nitrogen, tingkat keasaman media kultur, temperatur, dan udara (oksigen). Oksigen dibutuhkan karena bakteri bersifat aerob. Gula (sukrosa) biasanya sumber karbon yang paling banyak. Sumber nitogen biasanya bisa berasal dari bahan organik seperti urea.

Bakteri ini tetap akan tumbuh pada pH 3,5-7,5 namun akan lebih optimal tumbuhnya jika pada pH 4. Pada saat fermentasi, oksigen yang banyak sangat dibutuhkan oleh bakteri *A. xylinum*, sehingga proses fermentasi tidak perlu ditutup rapat tetapi hanya perlu ditutup dengan kertas berpori (contoh: kertas koran). Kesterilisasi dalam pembuatan selulosa ini harus dijaga agar tidak terjadi kerusakan karena terkontaminasi oleh bakteri lain. Selulosa yang telah dihasilkan dimurnikan dengan NaOH 2% agar komponen-komponen non-selulosa dan sisa bakteri menghilang, yang dapat menghambat terjadinya ikatan hidrogen antar rantai molekul selulosa diakibatkan komponen-komponen tersebut (Lindu, 2010).

Pembentukan selulosa oleh bakteri *A. xylinum* ini berawal dari pemecahan sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa. Prekursor dibantu dengan penggabungan glukosa dari gula dan air kelapa. Prekursor dieksresi dan diubah dengan bantuan enzim untuk mempolimerisasikan glukosa menjadi selulosa (Pardosi, 2008).

D. Tanaman Rumput Laut (*Eucheuma cottonii*)

Rumput laut (RL) yaitu ganggang yang hidup di laut dan termasuk ke dalam divisi *thallophyta*. Tanaman ini merupakan batang yang dikenal dengan sebutan *thallus*. Sifat substansi thallus juga banyak, ada seperti gelatin, lunak bagaikan tulang rawan, berserabut dan sebagainya.

Eucheuma cottonii adalah spesies RL yang dibudidayakan di perairan Indonesia. Manfaat pikokoloid yang besar seperti karagenan dan agar, juga teknik budidayanya yang tergolong mudah dan murah. *Eucheuma cottonii* yaitu rumput laut merah yang kaya pigmen, seperti pigmen fotosintesis dan pigmen aksesoris, seperti klorofil a, α -karoten, β -karoten, neozantin, fikobilin, dan zeaxanthin.

Penggunaan rumput laut semakin banyak seiring berkembangnya ilmu pengetahuan. RL dianggap sebagai sumber senyawa bioaktif, dikarenakan dapat menghasilkan berbagai metabolit sekunder dari aktivitas biologi. RL juga merupakan tanaman kaya polisakarida seperti fucans, alginat, dan laminarians yang memiliki nilai obat dan juga serat makanan. Penelitian tentang rumput laut telah meningkat selama tiga dekade terakhir untuk mencari sumber obat-obatan yang efektif berasal dari alam.

Klasifikasi ilmiah Rumput Laut atau *Eucheuma cottonii* menurut Anggadireja (2011)

Kingdom : *Plantae*
Divisio : *Rhodophyta*
Kelas : *Rhodophyceae*
Ordo : *Gigartinales*
Famili : *Solieriaceae*
Genus : *Eucheuma*
Spesies : *Eucheuma cottonii*



Gambar 4. Rumput Laut (*Eucheuma cottonii*)

E. Komposit

Komposit yaitu suatu material gabungan dari dua atau lebih yang berbeda bentuk, struktur kimia dan tidak saling melarutkan antara materialnya sehingga membentuk material baru. Umumnya ada dua penyusun komposit yaitu matriks dan penguat (*filler*) (Maryanti et al., 2011a). Penguat (*filler*) merupakan komponen yang dimasukkan ke dalam matriks dan akan menyebabkan perubahan pada sifat matriks. Bahan utama pembentuk komposit yaitu matriks, dimana komposisi matriks lebih banyak digunakan daripada komposisi yang lain. Matriks dapat berupa logam, bahan keramik, atau bahan-bahan polimer.

Bentuk konstituen yang biasa digunakan dalam bahan komposit yaitu berupa matriks, *filler*, serat, partikel, lapisan, dan serpihan. Matriks merupakan konstituen utama yang memberi bentuk pada komposit. Komposit dibuat untuk memperbaiki sifat mekanis, termal, kimia, dan biologi dari suatu material yang tidak digabungkan dengan material lain. Ikatan antara *filler* dan matriks akan mempengaruhi sifat komposit. Apabila kekuatannya tidak kuat, maka *filler* tidak bersifat penguat tetapi hanya sebagai pengotor. Sehingga komposit tidak akan terbentuk. Komposit dipengaruhi oleh jenis *filler* dan arahnya menyebar dalam matriks (Jalal, 2005).

F. Crosslinker

Crosslinking merupakan metode yang digunakan untuk mengganbungkan dua atau lebih molekul. *Crosslink* adalah suatu yang menghubungkan satu rantai polimer dengan rantai polimer lainnya, sehingga terbentuk rantai yang panjang dengan ikatan kovalen. Ketika rantai polimer terikat bersama oleh *crosslink*, maka rantai polimer akan kehilangan kemampuan untuk bergerak secara individual.

Namun, rantai polimer baru akan bergerak bersama sehingga memiliki kekuatan yang lebih besar (Maitra & Kumar Shukla, 2014).

Crosslinker merupakan molekul yang mengandung dua gugus aktif atau lebih yang mampu menarik gugus fungsional tertentu pada molekul lain dan membentuk ikatan silang. Ikatan silang ini dapat berupa ikatan kovalen atau ikatan ion. *Crosslinker* yang biasa digunakan yaitu suatu senyawa yang banyak mengandung gugus $-OH$ atau $-NH_2$. *Crosslinker* bisa dari bahan alam dan bahan sintetis. Bahan sintetis contohnya EDC dan glutaraldehid. Pada penelitian ini *crosslinker* yang akan digunakan yaitu dari bahan alam, karena tidak membutuhkan biaya yang mahal dan juga mudah didapatkan. *Crosslinker* yang digunakan yaitu tepung terigu, tepung tapioka, dan tepung beras ketan. Ketiga tepung ini mengandung pati dan protein yang memiliki gugus aktif sehingga dapat mengikat material.

Tepung terigu diperoleh dari biji gandum yang digiling. Komposisi tepung terigu dapat dilihat pada tabel 3. Tepung tapioka merupakan tepung yang berasal dari umbi ketela pohon. Komposisi kimia tepung tapioka dapat dilihat pada tabel 4. Sedangkan tepung beras ketan berasal dari beras ketan itu sendiri. Komposisinya dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 3. Komposisi Tepung Terigu dalam 100 g (Keran et al., 2009)

Komposisi	Jumlah
Kalori	365 kal
Protein	8,9 g
Lemak	1,3 g
Karbohidrat	77 g
Air	12 mg

Tabel 4. Komposisi Kimia Tepung Tapioka (Reputra, 2009)

Komposisi	Jumlah
Serat (%)	0.5
Air (%)	15
Karbohidrat (%)	85
Protein (%)	0.5-0.7
Lemak (%)	0.2
Energi (kalori/100 gram)	307

Tabel 5. Komposisi Tepung Beras Ketan (Satuhu & Sunarmani, 2004)

Komposisi	Jumlah
Kalori	362 kal
Protein	6,7 g
Lemak	0,7 g
Karbohidrat	79,4 g
Air	10 mg

G. Karakteristik Sifat Komposit Selulosa Bakteri-Ekstrak Rumput Laut

1. *Water Content* (Kandungan Air)

Penentuan kandungan air bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kandungan air yang terdapat pada suatu sampel. Kandungan air adalah perbandingan jumlah total air yang terdapat pada sampel dengan berat sampel yang kering. Kuatnya ikatan komposit dan pori yang kecil menyebabkan jumlah air didalamnya menjadi rendah (Maulani & Hakiki, 2018). Kandungan air dapat ditentukan melalui persamaan 1 berikut:

$$\% \text{Kandungan Air} = \frac{\text{BeratBasah} - \text{BeratKering}}{\text{Beratbasah}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

2. *Compressive Strength* (Kuat Tekan)

Kuat tekan merupakan kemampuan suatu material untuk menerima beban atau gaya tekan persatuan luas. Semakin tinggi kekuatan sampel yang diinginkan,

maka semakin tinggi pula mutu sampel yang dihasilkan. Uji kuat tekan adalah pengukuran gaya tekan yang dapat ditahan oleh material selama pengukuran berlangsung. Kuat tekan sampel dapat ditentukan melalui persamaan 2 berikut:

$$\textbf{Kuat Tekan} = \frac{\textbf{Gaya Tekan}}{\textbf{Luas Penampang Benda}} \dots\dots\dots (2)$$

3. *Tensile Strength* (Kuat Tarik)

Kuat Tarik (*Tensile Strength*) yaitu suatu sifat mekanis untuk mengukur kekuatan SB-ERL yang dihasilkan. Kuat tarik adalah gaya tarik maksimum yang dapat ditahan oleh SB selama proses pengukuran berlangsung sampai terputus. Semakin tinggi kekuatan tariknya, maka semakin bagus kualitas dari SB yang dihasilkan.

4. *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR)

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 atau disebut dengan gugus fungsi (Golkar et al., 2014).

5. *X-Ray Diffraction* (XRD)

Analisa menggunakan radiasi inframerah telah menjadi salah satu alat analisa kimia yang sangat penting dalam menganalisa dan mengidentifikasi

senyawa polimer. XRD merupakan alat yang dipakai untuk mengkararakteristik struktur kristal dan ukuran kristal dari suatu polimer. Prinsip kerja XRD yaitu menggunakan difraksi sinar X yang dihamburkan oleh sudut logam tertentu memiliki panjang gelombang tertentu, sehingga terjadi pantulan elastis yang dapat dideteksi (Rohaeti et al., 2016).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Penambahan crosslinker pada KSB-ERL dapat menurunkan persentase kandungan air dari KSB-ERL dari 99% menjadi 98,65%.
2. *Crosslinker* yang dapat meningkatkan sifat mekanik KSB-ERL yaitu larutan *crosslinker* 2%.
3. Penambahan *crosslinker* ini tidak merubah struktur dari KSB-ERL, tetapi hanya mempengaruhi letak gugus fungsi yang terdapat pada KSB-ERL-C.

B. Saran

Penelitian ini diperlukan lebih lanjut mengenai :

1. Pemurniaan rumput laut yang akan digunakan dalam penelitian untuk pembuatan ekstrak RL.
2. Penambahan konsentrasi amilum dalam perendaman KSB-ERL.
3. Membatasi penggunaan FTIR dan XRD jika tidak adanya gugus fungsi baru pada KSB-ERL dan KSB-ERL-C.

DAFTAR PUSTAKA

- Barud, H. H., Ribeiro, C. A., Crespi, M. S., Martines, M. A. U., Dexpert-Ghys, J., Marques, R. F. C., Messaddeq, Y., & Ribeiro, S. J. L. 2007. Thermal Characterization of Bacterial Cellulose-Phosphate Composite Membranes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol.. 87(3), 815-818.
- Baker, J. S., Grace, F., Kilgore, L., Smith, D. J., Norris, S. R., Gardner, A. W., Ringseis, R., Eder, K., Shephard, R. J., Kokkinos, P., Lee, R. E., Ho, A., Markovic, G., MacIntosh, B. R., Nollet, F., Barakat, R., Silva, M. N., Teixeira, P. J., Hassmén, P., ... Haverkamp, H. C. (2012). Progenitor Cells. In *Encyclopedia of Exercise Medicine in Health and Disease*. https://doi.org/10.1007/978-3-540-29807-6_4472
- Chawla, P. R., Bajaj, I. B., Survase, S. A., & Singhal, R. S. (2009). Microbial cellulose: Fermentative production and applications. *Food Technology and Biotechnology*, 47(2), 107–124. <https://doi.org/10.1117/12.536212>
- Cimpia, N., Putra, A., Hamka Air Tawar Padang, J., & Tel, I. (2019). Effect of Crosslinker Addition on the Composite Characteristics of Bacterial Cellulose-Aloe vera Extract. *International Journal of Scientific Research and Engineering Development*, 2(4), 267–272. www.ijrsred.com
- D H Bergey; William B Whitman; M Goodfellow; Peter Kämpfer; Hans-Jürgen Busse. (2012). Bergey's Manual of Systematic Bacteriology: Vol. 5, the actinobacteria. *New York : Springer*, ©2012.
- Doulabi, A. H., Mequanint, K., & Mohammadi, H. (2014). Blends and nanocomposite biomaterials for articular cartilage tissue engineering. *Materials*, 7(7), 5327-5355.
- Esa, F., Tasirin, S. M., & Rahman, N. A. (2014). Overview of Bacterial Cellulose Production and Application. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.017>
- Gayathry, G., & Gopalaswamy, G. (2014). Production and characterisation of microbial cellulosic fibre from *Acetobacter xylinum*.
- Golkar, Z., Bagasra, O., & Gene Pace, D. (2014). Bacteriophage therapy: A potential solution for the antibiotic resistance crisis. In *Journal of Infection in Developing Countries*. <https://doi.org/10.3855/jidc.3573>
- Hardoko, H., Saputra, T. I., & Anugrahati, N. A. (2013). Karakteristik kwetiau yang ditambah tepung tapioka dan rumput laut *Gracilaria gigas harvey*. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 18(2), 1-11.
- Hoenich, N. (2006). Cellulose for medical applications: past, present and future. *BioResources*, 1(2), 270–280. <https://doi.org/10.15376/biores.1.2.270-280>