

**Pengaruh Penambahan *Crosslinker* Terhadap Karakteristik
Komposit Selulosa Bakterial-Ekstrak Lidah Buaya
(*Aloe vera L.*) untuk Aplikasi Biomedis**

SKRIPSI

*Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana
Sains*



**Oleh:
NANDA CIMPIA
15036026/2015**

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2019**

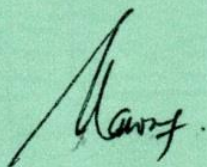
PERSETUJUAN SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN *CROSSLINKER* TERHADAP
KARAKTERISTIK KOMPOSIT SELULOSA BAKTERIAL-EKSTRAK
LIDAH BUAYA (*Aloe vera L.*) UNTUK APLIKASI BIOMEDIS**

Nama : Nanda Cimpia
NIM : 15036026
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

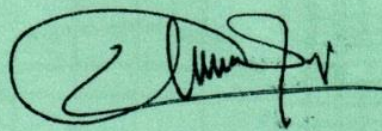
Padang, Juli 2019

Mengetahui :
Ketua Jurusan Kimia



Dr. Mawardi, M.Si.
NIP. 19611123 1989031002

Disetujui Oleh :
Pembimbing



Ananda Putra, M.Si., Ph.D.
NIP. 197201271997021002

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Nanda Cimpia
NIM : 15036026
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Pengaruh Penambahan *Crosslinker* Terhadap Karakteristik Komposit Selulosa Bakterial-Ekstrak Lidah Buaya (*Aloe vera L*) untuk Aplikasi Biomedis

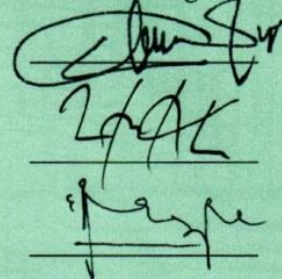
Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, Juli 2019

Tim Penguji

	Nama
1. Ketua	: Ananda Putra, M.Si., Ph.D.
2. Anggota	: Umar Kalmar Nizar, S.Si, M.Si, Ph.D
3. Anggota	: Edi Nasra, S.Si, M.Si

Tanda Tangan



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	: Nanda Cimpia
NIM/TM	: 15036026/2015
Tempat/tanggal Lahir	: Tanjung Bonai Aur /4 Januari 1997
Program Studi	: Kimia
Jurusan	: Kimia
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Alamat	: Tanjung Bonai Aur, Kab. Sijunjung
No. HP/Telepon	: 085376167930
Judul Skripsi	: Pengaruh Penambahan <i>Crosslinker</i> Terhadap Karakteristik Komposit Selulosa Bakterial-Ekstrak Lidah Buaya (<i>Aloe vera L</i>) untuk Aplikasi Biomedis

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana) baik di UNP maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis/skripsi ini murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat orang yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada daftar pustaka.
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 ketidabeneran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Padang, Juli 2019

Yang membuat pernyataan



Nanda Cimpia

NIM. 15036026

**PENGARUH PENAMBAHAN CROSSLINKER TERHADAP
KARAKTERISTIK KOMPOSIT SELULOSA BAKTERIAL-EKSTRAK
LIDAH BUAYA (*Aloe vera* L.) UNTUK APLIKASI BIOMEDIS**

ABSTRAK

Selulosa bakterial dapat diterapkan di berbagai bidang seperti bidang biomedis, membran pemisahan, pembuluh darah buatan, dan substrat untuk rekayasa jaringan tulang rawan. Selulosa bakterial masih memiliki sifat mekanik yang rendah, sehingga dibentuk komposit selulosa bakteri dengan ekstrak lidah buaya (SB-ELB) untuk mendapatkan bahan baru yang lebih baik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *crosslinker* (tepung terigu, tepung tapioka, dan tepung beras ketan) pada sifat mekanik, fisik, dan struktural dari KSB-ELB. Selulosa bakterial dihasilkan dari campuran air kelapa, gula dan urea. Kemudian difermentasi dengan *acetobacter xylinum* selama 14 hari. Selulosa bakterial dikompositkan dengan ekstrak lidah buaya dan disebut komposit selulosa bakterial- ekstrak lidah buaya (KSB-ELB). KSB-ELB akan dikarakterisasi dengan menguji kekuatan tarik, kandungan air, analisis struktural dengan FTIR, dan derat kristalinitas menggunakan XRD. Penambahan *Crosslinker* dapat mengurangi persentase kandungan air KSB-ELB. Hasil uji kuat tarik terbaik adalah BC-AvE yang menambahkan larutan tepung tapioka dengan nilai 68,13 MPa. Hasil spektrum FTIR menunjukkan bahwa gugus fungsi yang terdapat pada selulosa hanya mengalami pergeseran. sedangkan hasil analisis derajat kristalinitas menunjukkan bahwa persentase derajat kristalinitas KSB-ELB yang ditambah larutan tepung tapioka yaitu sebesar 87,26%

Keywords — Selulosa Bakterial, *Crosslinker*, Komposit, Lidah Buaya

EFFECT OF CROSSLINKER ADDITION ON THE COMPOSITE CHARACTERISTICS OF BACTERIAL CELLULOSE -ALOE VERA EXTRACT

ABSTRACT

Bacterial cellulose can be applied in various fields such as the biomedical field, separation membranes, artificial blood vessels, and substrates for tissue engineered cartilage. Bacterial cellulose still has low mechanical properties, so that a composite of bacterial cellulose with aloe vera extract (BC-AvE) is formed to get a new better material. The purpose of this study was to determine the effect of crosslinkers (wheat flour, tapioca flour, and glutinous rice flour) on the mechanical, physical, and structural properties of BC-AvE composites. Bacterial cellulose is produced from a mixture of coconut water, sugar and urea. Then it ferments with acetobacter xylinum for 14 days. The bacterial cellulose formed in the composite with an aloe vera extract and it's called bacterial cellulose-aloe vera extract (BC-AvE). BC-AvE composites will be characterized by testing tensile strength, water content, and structural analysis with FTIR. Addition of crosslinkers can reduce the percentage of water content of BC-AvE. The best tensile strength test results were BC-AvE which added tapioca flour solution with a value of 68,13 MPa. The results of the FTIR spectrum show that the functional groups found in cellulose only experience a shift. whereas the results of the analysis of the degree of crystallinity showed that the percentage of the degree of crystallinity of BC-AvE added with tapioca flour solution was 87.26 %.

Keywords — Bakterial Cellulose, Crosslinker, Composite, Aloe vera

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 Bakterial-Ekstrak Lidah Buaya (*Aloe vera* Linn) untuk Aplikasi Biomedis “**

Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program Strata Satu pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, petunjuk, arahan, dan masukan yang berharga dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini saya mengucapkan erima kasih yang tulus kepada :

1. Bapak Ananda Putra, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai Pembimbing Penelitian sekaligus Pembimbing Akademik.
2. Bapak Dr. H. Mawardi, M.Si sebagai Ketua Jurusan Kimia, Bapak Edi Nasra, S.Si., M.Si sebagai Sekretaris Jurusan Kimia, Bapak Hary Sanjaya, S.Si., M.Si sebagai Ketua Program Studi Kimia Jurusan Kimia FMIPA UNP.
3. Seluruh Staf Pengajar dan tenaga Administrasi di Jurusan Kimia FMIPA UNP.
4. Pranata Labor Pendidikan (PLP) Kimia FMIPA, yang telah memberikan bantuan dan dorongan selama penelitian.
5. Seluruh Staf LLDIKTI Wilayah X yang telah memberikan bantuan dalam penelitian.
6. Kedua Orang Tua saya tercinta
7. Teman-teman kimia tahun 2015 dan teman-teman kost

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 hanturkan terima kasih.

Padang, Juli 2019

penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah.....	4
C. Batasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Selulosa	7
B. Selulosa Bakterial.....	8
C. Bakteri <i>Acetobacter xylinum</i>	11
D. Tanaman Lidah Buaya	13
E. Komposit	15
F. <i>Crosslinker</i>	16
G. Karakteristik Sifat Komposit KSB-ELB	18
1. <i>Water Content</i> (Kandungan Air).....	18
2. <i>Compressive Strength</i> (Kuat Tekan)	18
3. <i>Tensile Strength</i> (Kuat Tarik).....	19
4. <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR).....	19
5. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	20
BAB III METODELO PENELITIAN	21
A. Waktu dan tempat Penelitian	21
B. Objek penelitian	21
C. Variabel penelitian	21
D. Alat dan Bahan.....	21
E. Prosedur Penelitian.....	22
1. Preparasi SB.....	22
2. Pencucian dan Pemurnian SB	23
3. Pembuatan Ekstrak Lidah Buaya (ELB)	23
4. Preparasi KSB-ELB	23
5. Perendaman KSB-ELB dalam <i>Crosslinker</i>	23
6. Karakteristik KSB-ELB	24
7. Desain Penelitian.....	27

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
A. Preparasi SB	28
B. Pencucian dan Pemurnian SB	29
C. Preparasi Ekstrak Lidah Buaya (ELB)	30
D. Preparasi KSB-ELB	30
E. Perendaman KSB-ELB dalam <i>Crosslinker</i>	31
F. Karakteristik KSB-ELB	31
BAB V PENUTUP	40
A. Kesimpulan	40
B. Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA	41

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Standar Selulosa Bakterial	10
2. Standar Tulang Rawan	11
3. Komposisi Kimia Tepung Terigu.....	17
4. Komposisi Kimia Tepung Tapioka	18
5. Komposisi Kimia Tepung Beras Ketan.....	18
6. Vibrasi Bilangan Gelombang.....	37
7. Persentase Kristalinitas	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur selulosa.....	8
2. Bakteri <i>Acetobacter xylinum</i>	12
3. Lidah Buaya (<i>Aloe vera</i> Linn).....	14
4. Ilustrasi Pembentukan SB	28
5. Selulosa Bakterial yang Dihasilkan	29
6. Proses Pembentukan ELB	30
7. Grafik Uji Kandungan Air	32
8. Grafik Uji Kuat Tekan, Regangan, dan Elastisitas	34
9. Spektrum FTIR.....	37
10. Difraktogram XRD.....	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Preparasi SB.....	45
2. Pencucian dan Pemurnian SB	46
3. Pembuatan Ekstrak LB.....	47
4. Preparasi KSB-ELB	48
5. Perendaman KSB-ELB dalam <i>Crosslinker</i>	49
6. Penentuan <i>Water Content</i> (Kandungan Air)	50
7. Uji Kuat Tekan KSB-ELB	51
8. Uji Kuat Tarik KSB-ELB.....	52
9. Data <i>Water Content</i>	53
10. Perhitungan <i>Water Content</i>	54
11. Data <i>Tensile Strenght, Strain</i> , dan Elastisitas	56
12. Perhitungan Elastisitas	57
13. Spektrum FTIR SB.....	58
14. Spektrum FTIR KSB-ELB.....	59
15. Spektrum FTIR KSB-ELB + T. Tapioka	60
16. Difraktogram XRD SB.....	61
17. Difraktogram XRD KSB-ELB.....	62
18. Difraktogram XRD KSB-ELB + T. Tapioka	63
19. Data dan Perhitungan Persentase Derajat Kristalinitas.....	64
20. Dokumentasi Penelitian	65

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Selulosa merupakan suatu biopolimer alam yang sangat banyak di dunia yang bersifat hidrofilik, biodegradabel dan dapat diterapkan dalam kimia modifikasi (Pandey, Mustafa Abeer, & Amin, 2014). Selulosa dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti tumbuhan, hewan dan bakteri (Yan et al., 2017). Tumbuhan merupakan sumber paling besar penghasil selulosa, tetapi selulosa tumbuhan memiliki sifat yang kurang murni dibandingkan dengan selulosa yang berasal dari bakteri karena tingginya jumlah lignin dan hemi-selulosa (Goh et al., 2012).

Selulosa Bakterial (SB) merupakan selulosa yang dihasilkan oleh bakteri berupa homopolimer yang terdiri dari satuan β -D-1,4 glukosa yang saling berikatan melalui atom karbon pertama dan ke empat. Ikatan yang terjadi adalah ikatan β -glikosidik (Ifadah et al., 2016). Bakteri yang banyak digunakan untuk menghasilkan selulosa yaitu *Acetobacter xylinum*. Selulosa Bakterial ini memiliki beberapa sifat unik seperti kualitas penyerapan tinggi, kristalinitas tinggi, permukaan yang luas, kekuatan mekanik yang tinggi, biokompatibilitas (Putra et al., 2008), non-alergenik dan dapat dengan aman disterilisasi tanpa menyebabkan perubahan karakteristiknya (Rohaeti, Lfx, & Rakhmawati, 2016).

Berdasarkan sifat unik ini, SB memiliki beberapa aplikasi inovatif seperti penyerapan minyak, fuel cell, industri katalis (Shao et al., 2017), industri makanan, kertas fungsional, biomaterial berstruktur nano (Revin, Liyaskina, Nazarkina, Bogatyreva, & Shchankin, 2018), dan industri kosmetik (Chawla,

Bajaj, Survase, & Singhal, 2009). Selulosa Bakterial juga dapat diaplikasikan dalam bidang medis seperti farmasi dan prostetik contohnya penutup luka sintesis, pemisahan membran, pembuluh darah buatan, dan substrat untuk rekayasa jaringan tulang rawan (Putra et al., 2008). Selain itu, Selulosa Bakterial dapat memberikan perawatan pada penderita penyakit ginjal, sebagai substitusi sementara dalam perawatan luka bakar, dan dapat diimplant ke dalam tubuh manusia sebagai benang jahit dalam pembedahan (Hoenich, 2006).

Pemanfaatan SB dalam bidang biomedis terkendala oleh rendahnya sifat elastisitas SB. Ketika SB ditekan menggunakan jari, maka air didalamnya dengan mudah keluar dan SB tidak dapat kembali lagi ke bentuk semula. Hal ini disebabkan oleh rendahnya sifat modulus tekan dari SB, meskipun SB memiliki kekuatan tarik yang tinggi sepanjang arah lapisan serat (Nakayama et al., 2004). Sifat elastisitas dari SB ini dapat ditingkatkan dengan menambahkan bahan lain ke dalam SB dan akan membentuk material baru yang disebut komposit. Komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih material yang berbeda bentuk, komposisi kimia dan tidak saling melarutkan antara materialnya sehingga membentuk material baru yang lebih baik. Material penyusun komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur yaitu matriks dan penguat (*filler*) (Maryanti, Sonief, & Wahyudi, 2011).

Pembuatan komposit dari SB telah banyak dilakukan oleh peneliti, seperti penelitian yang dilakukan oleh Putra et al., (2009) yaitu membuat komposit dari SB dan Polyacrylamide N,N'-methylene bisacrylamide (pAAM) menggunakan metode *duble network gel* yang dapat dijadikan ligamen. Barud et al., (2007) juga melakukan penelitian pembuatan komposit dari SB dan *sodium polyphosphate*.

Selain menggunakan material sintetis, pembuatan komposit juga dapat dengan menggunakan material alami seperti yang dilakukan oleh Hayati, (2016) yaitu pembuatan komposit dari SB dan Ekstrak Lidah Buaya (ELB) sehingga diperoleh material baru yang dapat digunakan dalam aplikasi biomedis salah satunya sebagai alternatif pengganti tulang rawan. Ekstrak Lidah Buaya berfungsi sebagai *filler* (pengisi) pada SB, sehingga sifat mekanik SB meningkat.

Lidah Buaya (LB) merupakan tanaman monokotiledon dan bagian dari keluarga *Asphodelaceae*. Lidah Buaya biasanya digunakan sebagai penyembuhan luka, dan untuk perawatan kulit. Namun, seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, pemanfaatan LB berkembang sebagai bahan baku industri farmasi dan kosmetik, serta sebagai bahan makanan dan minuman kesehatan (Singh & Sood, 2009). Lidah Buaya dapat tumbuh diberbagai tempat seperti daerah dataran rendah dan daerah pegunungan. Daya adaptasi LB sangat tinggi sehingga tempat tumbuhnya menyebar keseluruh dunia (Wijaya, Latifah, & Pratjojo, 2013).

Ekstrak Lidah Buaya (ELB) di peroleh dari gel lidah buaya yang sudah dipisahkan dengan kulitnya. Gel ini berbentuk transparan dan licin, serta banyak mengandung nutrisi penting termasuk monosakarida, polisakarida, vitamin (B1, B2, B6, dan C), beberapa zat anorganik, enzim (asam dan alkali fosfatase, amilase, laktat dehidrogenase, dan lipase), dan senyawa organik (aloin, barbaloin, dan emodoin). Selain itu, ELB juga memiliki sifat antioksidan, antibakteri, antivirus, antijamur, efek imunomodulasi (Orendu Attah, Watson Jacks, Jacob, Eduitem, & John, 2016), dan juga dapat digunakan dalam pengobatan luka bakar (López Angulo & do Amaral Sobral, 2016).

Komposit Selulosa Bakterial-Ekstrak Lidah Buaya (SB-ELB) yang dihasilkan oleh Hayati belum memenuhi standar dari tulang rawan, dimana kekuatan tekan dan kekuatan tariknya masih rendah. Berdasarkan kekurangan dari komposit SB-ELB ini, maka peneliti tertarik untuk melanjutkan penelitian tersebut dengan melakukan penambahan *crosslinker* pada komposit SB-ELB dengan sinar UV dan tanpa sinar UV.

Crosslinker merupakan senyawa-senyawa 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 $-NH_2$ (Wong & M. Jameson, 2012). *Crosslinker* bisa dari bahan alam dan bahan sintetis. 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 diharapkan dapat meningkatkan sifat dari material.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Komposit Selulosa Bakterial-Ekstrak Lidah Buaya (KSB-ELB) belum memenuhi standar dalam aplikasi biomedis terutama untuk tulang rawan.
2. Penambahan *crosslinker* ke dalam KSB-ELB diharapkan dapat menghasilkan kualitas KSB-ELB 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 terigu, tepung tapioka, dan tepung beras ketan.
3. Variabel bebas yang akan diteliti adalah pengaruh penambahan *crosslinker* ke dalam KSB-ELB terhadap karakteristik KSB-ELB.
4. Variabel terikatnya adalah pengujian sifat fisik, sifat mekanik (kuat tarik dan kuat tekan), dan struktur (gugus fungsi dan derajat kristalisasi) dari KSB-ELB.

D. Rumusan Masalah

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

E. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu untuk menentukan pengaruh penambahan *crosslinker* terhadap sifat fisik, sifat mekanik, dan struktur dari KSB-ELB.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi kepada pembaca bahwa KSB-ELB dapat dijadikan sebagai material baru untuk aplikasi biomedis, terutama sebagai pengganti tulang rawan.

2. Menambah wawasan pembaca tentang karakteristik KSB-ELB.
3. Dapat dijadikan sebagai sumber ide dan referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

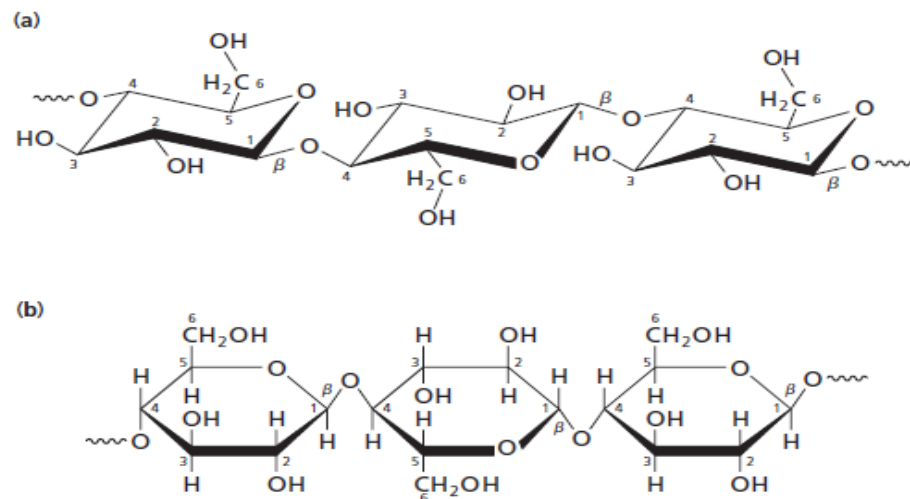
TINJAUAN PUSTAKA

A. Selulosa

Selulosa merupakan suatu biopolimer alam yang sangat banyak di dunia yang bersifat hidrofilik, biodegradabel dan kimia modifikasi (Pandey et al., 2014). Selulosa adalah senyawa homopolisakarida yang tidak bercabang terdiri dari 10.000-15.000 unit glukosa yang dihubungkan oleh ikatan β -1,4-glikosida. Ikatan β -1,4-glikosida mempunyai kecenderungan 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 atau tidak larut di dalam air, dan biasanya banyak ditemukan pada dinding sel tumbuhan (Lehninger, 2013).

Molekul selulosa tersusun dalam bentuk fibril. Pada tumbuhan, fibril-fibril membentuk struktur kristal yang dibungkus oleh lignin. Kumpulan fibril disebut dengan mikrofibril. Mikrofibril yang mengandung banyak ikatan hidrogen bersifat sangat kuat dan disebut bagian kristal, sedangkan bagian mikrofibril yang tidak mengandung ikatan hidrogen disebut bagian amorf (Judoamidjojo, 1989).

Rumus empiris selulosa yaitu $(C_6H_{10}O_5)_n$ dengan n adalah jumlah satuan glukosa yang berikatan dan derajat polimerisasi selulosa (Esa, Tasirin, & Rahman, 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.



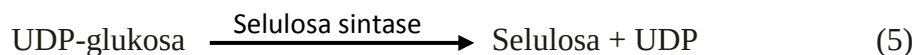
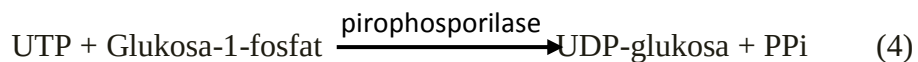
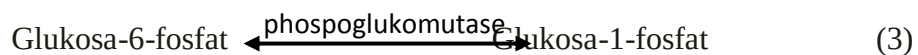
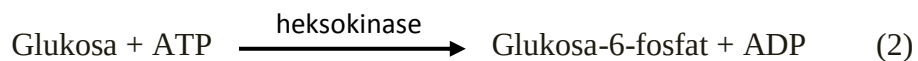
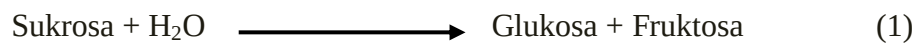
Gambar 1. Struktur selulosa (a) konformasi kursi, (b) model Haworth (Moran, 2012).

Dalam penelitian yang telah dilakukan oleh Suryanto, (2017) yaitu dimana selulosa yang berasal dari bakteri (selulosa bakterial) memiliki tingkat kemurnian yang lebih tinggi dan proses pemurnian yang lebih mudah. Selulosa Bakterial juga memiliki kerapatan 300-900 kg/m³, kuat 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) merupakan 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. Kemurnian SB ini disebabkan karena SB tidak mengandung lignin, pektin, dan hemiselulosa (Pandey et al., 2014).

Selulosa Bakterial dihasilkan oleh *A. xylinum* melalui proses fermentasi. Bakteri *A. xylinum* akan memecah gula (sukrosa) menjadi glukosa dan fruktosa. Kemudian glukosa diubah menjadi glukosa-6-posfat. Perubahan ini terjadi karena glukosa tidak aktif 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 diubah menjadi UDP-Glukosa dengan bantuan UTP. Dengan bantuan enzim *glukosil transferase*, maka UDP-Glukosa dipolimerisasi menjadi selulosa. Reaksi dibawah adalah reaksi pembentukan selulosa (Pardosi, 2008).



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 (Qin et al., 2015). Struktur dasar SB terdiri dari rantai β -1,4 glukosa dengan rumus molekul $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$. Rantai glukosa terikat bersama oleh ikatan hidrogen intra dan inter (Esa et al., 2014).

Struktur kimia SB sama dengan selulosa yang berasal dari tumbuhan, tetapi SB memiliki serat yang lebih baik dibandingkan dengan selulosa yang

berasal dari tumbuhan. Setiap serat tunggal dari SB mempunyai diameter 50 nm. Panjang serat tidak dapat ditentukan karena kumpulan serat-serat tunggal selulosa saling melilit satu sama lain membentuk struktur jaringan.

Selulosa Bakterial 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 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar SB

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 memberikan perawatan pada penderita penyakit ginjal, sebagai substitusi sementara dalam perawatan luka bakar, dan dapat diimplant ke dalam tubuh manusia sebagai benang jahit dalam pembedahan (Hoenich, 2006).

Pemanfaat SB dalam bidang biomedis terkendala oleh rendahnya sifat elastisitas dari SB. 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) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Standar Tulang Rawan(Doulabi, Mequanint, & Mohammadi, 2014)

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

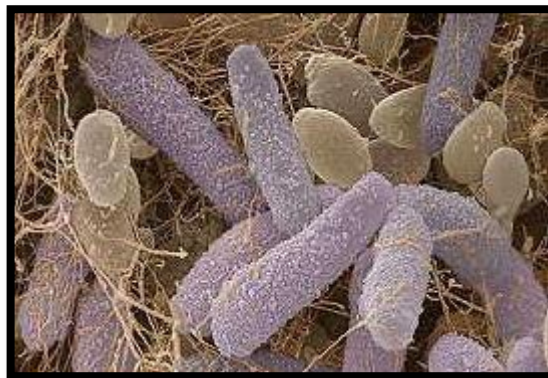
C. Bakteri *Acetobacter xylinum*

Bakteri *Acetobacter xylinum* merupakan bakteri gram negatif yang berbentuk elips atau tongkat melengkung. *Acetobacter xylinum* merupakan bakteri aerobik, yang memerlukan oksigen untuk respirasi dalam metabolisme dan mengeluarkan selulosa bakterial berupa pelikel pada permukaan kultur cair (Hameed et al., 2012).

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 metabolismenya. Gambar bakteri *A. xylinum* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. 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 pada 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. Sumber karbon yang paling banyak digunakan biasanya berasal dari gula (sukrosa). Sumber nitrogen 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, bakteri *A. xylinum* sangat membutuhkan oksigen yang banyak, sehingga 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. Komponen-komponen non-selulosa ini dapat menghalangi terjadinya ikatan hidrogen antar rantai molekul selulosa (Lindu, 2010).

Pembentukan selulosa oleh bakteri *A. xylinum* ini berawal dari pemecahan sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa. Glukosa dari gula dan air kelapa digabungkan dengan asam lemak membentuk precursor. Kemudian precursor dieksresi dan diubah dengan bantuan enzim untuk mempolimerisasikan glukosa menjadi selulosa (Pardosi, 2008).

D. Tanaman Lidah Buaya (*Aloe vera* Linn)

Lidah Buaya (LB) masuk pertama sekali ke Indonesia sekitar abad ke- 17. Tanaman ini dibawa oleh petani keturunan Cina dan merupakan salah satu tanaman penyembuh tertua yang dikenal manusia. Lidah Buaya dapat tumbuh diberbagai tempat seperti daerah dataran rendah dan daerah pegunungan. Daya adaptasinya sangat tinggi sehingga tempat tumbuhnya menyebar keseluruh dunia.

Tanah yang dikehendaki oleh tanaman lidah buaya adalah tanah yang subur, gembur dengan pH yang rendah dan kaya akan bahan organik (Wijaya et al., 2013).

Tanaman ini merupakan sebuah monokotiledon dan bagian dari keluarga *Asphodelaceae*. Lidah Buaya biasanya digunakan sebagai penyembuhan luka dan untuk perawatan kulit. Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, pemanfaatan LB berkembang sebagai bahan baku industri farmasi dan kosmetik, serta sebagai bahan makan dan minuman kesehatan (Singh & Sood, 2009).

Klasifikasi Ilmiah Lidah Buaya atau *Aloe vera* Linn

Kingdom : *Plantae*
Divisio : *Spermathophyta*
Sub divisio : *Angiospermae*
Class : *Monocotyledonae*
Ordo : *Liliales*
Family : *Liliaceae*
Genus : *Aloe*
Species : *Aloe vera* Linn



Gambar 3. Lidah Buaya (*Aloe vera* Linn)

Lidah buaya mengandung zat-zat aktif seperti saponin yang dapat merusak DNA dan RNA bakteri, tanin sebagai antibakteri, dan flavonoid dapat menghambat proses pembentukan dinding sel bakteri (Suryati & Bahar, 2017). Lidah Buaya dapat digunakan untuk pembersih darah, obat wasir, mempercepat penyembuhan luka, dan penurunan panas. Lidah Buaya juga mengandung sekitar 75 jenis zat yang bermanfaat dan lebih dari 200 senyawa lain yang menjadikan LB baik untuk digunakan dalam pengobatan.

Daun Lidah Buaya berisi daging tebal berbentuk gel yang mengandung getah bening dan lekat. Bagian luar LB berupa kulit tebal berklorofil. Gel atau daging lidah buaya juga mengandung lebih dari 98-99% air dan lebih dari 60% polisakarida. Gel lidah buaya tidak hanya bisa melembabkan kulit, tetapi juga mengandung immunomodulator (dapat meningkatkan fungsi sistem imun manusia), anti radang, anti alergi, luka dan pengobatan luka bakar (López Angulo & do Amaral Sobral, 2016).

Menurut Orendu Attah, (2016) gel lidah buaya diperoleh dengan cara mengiris terbuka daun lidah buaya yang berdaging dan akan didapatkan gel yang transparan. Gel ini juga mengandung nutrisi penting termasuk vitamin B1, B2, B6 dan C, beberapa zat anorganik, zat organik dan enzim. Gel LB juga mengandung mineral berupa kalsium (Ca), natrium (Na), kalium (K), besi (Fe), zinc (Zn), magnesium (Mg), dan kromium (Cr). Beberapa unsur vitamin dan mineral tersebut dapat berfungsi sebagai pembentuk antioksidan.

E. Komposit

Komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih material yang berbeda bentuk, komposisi kimia dan tidak saling melarutkan antara materialnya sehingga

membentuk material baru. Material penyusun komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur yaitu matriks dan penguat (*filler*) (Maryanti et al., 2011). Matriks merupakan bahan utama pembentuk komposit, dimana komposisi matriks lebih banyak daripada komposisi yang lain. Matriks dapat berupa logam, bahan keramik, atau bahan-bahan polimer. Penguat (*filler*) merupakan komponen yang dimasukkan ke dalam matriks dan akan menyebabkan perubahan pada sifat matriks.

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 matriks dan *filler* 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 ikatan 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 $-NH_2$ (Wong & Jameson, 2012). *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 dan 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 Bakterial-Ekstrak Lidah Buaya (KSB-ELB)

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 (Islami, 2015). Kandungan air dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$\%Kandungan\ Air = \frac{BeratBasah - BeratKering}{Beratbasah} \times 100\%$$

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 maksimum yang dapat ditahan oleh material selama pengukuran berlangsung. Kuat tekan sampel dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{\text{Gaya Tekan}}{\text{Luas Penampang Benda}}$$

3. *Tensile Strength* (Kuat Tarik)

Kuat Tarik (*Tensile Strength*) merupakan suatu sifat mekanis untuk mengukur kekuatan SB-ELB 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.

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 (Jahuddin 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 digunakan untuk mengkarakteristik 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-ELB dapat menurunkan persentase kandungan air dari KSB-ELB dari 98 % menjadi 97 %.
2. *Crosslinker* yang dapat meningkatkan sifat mekanik KSB-ELB yaitu tepung tapioka dan tepung beras ketan.
3. Penambahan *crosslinker* ini tidak merubah struktur dari KSB-ELB, tetapi hanya mempengaruhi letak gugus fungsi yang terdapat pada KSB-ELB.

B. Saran

Penelitian ini diperlukan kajian lebih lanjut mengenai :

1. Karakterisasi morfologi menggunakan SEM untuk menentukan bentuk permukaan dari KSB-ELB dan KSB-ELB yang ditambah *crosslinker*.
2. Penambahan konsentrasi tepung tapioka dan penambahan waktu perendaman KSB-ELB dalam tepung tapioka.

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.
- 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>
- Doulabi, A. H., Mequanint, K., & Mohammadi, H. (2014). Blends and nanocomposite biomaterials for articular cartilage tissue engineering. *Materials*, 7(7), 5327–5355. <https://doi.org/10.3390/ma7075327>
- 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., and Gopalaswamy, G. 2011. Production and Characterisation of Microbial Cellulosic Fibre from *Acetobacter xylinum*. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, Vol.39:93-96.
- Goh, W. N., Rosma, A., Kaur, B., Fazilah, A., Karim, A. A., & Bhat, R. (2012). Microstructure and physical properties of microbial cellulose produced during fermentation of black tea broth (kombucha). II. *International Food Research Journal*, 19(1), 153–158.
- Hameed, N. D., Al-Jailawi, M. H., & Jasim, H. M. (2012). Enhancement and Optimization of Cellulose Production by *Glyconacetobacter xylinum* N2. *Scientific Journal of King Faisal Iniversity (Basic and Applied Sciences)*, 13(2), 17-89.
- Hayati, FannyZahratul. 2016. *Preparasi dan Karakterisasi Komposit Selulosa Bakteri-Ekstrak Lidah Buaya untuk Aplikasi Biomedis*. Padang: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
- 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>
- Ifadah, R. A., Kusnadi, J., Wijayanti, S. D., Teknologi, J., Pertanian, H., Universitas, F. T. P., & Malang, B. (2016). STRAIN IMPROVEMENT *Acetobacter xylinum* MENGGUNAKAN ETHYL METHANE SULFONATE (EMS) SEBAGAI UPAYA PENINGKATAN PRODUKSI SELULOSA BAKTERI Strain Improvement *Acetobacter xylinum* by Ethyl Methane Sulfonate (EMS) to Enhance Bacterial Cellulose Production, 4(1), 273–282.
- Islami, Fadillah. 2015. *Pembuatan dan Karakteristik Selulosa bakteri dari Ekstrak*