

LAPORAN PENELITIAN HIBAH BERSAING



**PENGEMBANGAN BIOMATERIAL SELULOSA BAKTERI DARI
LIMBAH RUMAH TANGGA DENGAN PENAMBAHAN KITOSAN
DAN PEMLASTIS SEBAGAI MATERIAL PENUTUP LUKA**

Peneliti:

dr. Tutiek Rahayu, M. Kes.

Dr. Eli Rohaeti, M. Si.

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
OKTOBER, 2012**

**Dibiayai oleh
DIPA UNY sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Multitahun:
Hibah Bersaing
Nomor : 002/Subkontrak-Multitahun/UN34.21/2012 tanggal 1 April 2012**

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan biomaterial selulosa bakteri dalam medium limbah rumah tangga berupa air cucian beras, air rebusan singkong, air rebusan ubi jalar, serta air kelapa dengan penambahan kitosan dan bahan pemlastis berupa gliserol dan asam oleat menggunakan bakteri *acetobacter xylinum* sehingga polimer komposit yang dihasilkan dapat diaplikasikan sebagai material penutup luka sekaligus dapat menyembuhkan luka. Biomaterial selulosa bakteri disintesis oleh *acetobacter xylinum* dalam masing-masing medium limbah rumah tangga melalui fermentasi pada temperatur kamar dengan keasaman sebesar 4 sehingga diperoleh selulosa bakteri. Untuk memperoleh selulosa bakteri unggul dan cocok sebagai material penutup luka maka dilakukan penambahan kitosan ke dalam media kultur pembentukan selulosa sehingga diperoleh biomaterial selulosa kitosan bakteri dengan ketebalan tertentu. Untuk meningkatkan keelastisan selulosa kitosan bakteri yang dihasilkan maka ditambahkan pemlastis ke dalam media pembentukan biomaterial. Lapisan pelikel yang diperoleh dicuci dan dikeringkan sehingga diperoleh lapisan tipis. Lapisan tipis yang diperoleh siap diaplikasikan sebagai bahan penutup luka. Karakterisasi lapisan selulosa bakteri hasil pengembangan meliputi penentuan gugus fungsi menggunakan teknik IR (*Infra Red*), kristalinitas menggunakan teknik XRD (*X-Ray Diffraction*), sifat mekanik berupa *strength at break*, *elongation*, *modulus Young* melalui uji kekuatan tarik, pengamatan permukaan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*), serta uji biokompatibilitas menggunakan hewan uji. Hasil yang diperoleh pada proyek penelitian tahun pertama sebagai berikut. Jenis medium (limbah rumah tangga) yang digunakan pada proses preparasi selulosa bakteri berpengaruh terhadap keberhasilan pembentukan selulosa bakteri oleh *Acetobacter xylinum*. Semua jenis limbah rumah tangga pada konsentrasi tertentu dapat digunakan sebagai media untuk pertumbuhan *Acetobacter xylinum* dalam membentuk selulosa. Metode penambahan dan konsentrasi kitosan pada preparasi komposit selulosa - kitosan bakteri berpengaruh terhadap keberhasilan pembentukan biomaterial selulosa - kitosan bakteri. Metode perendaman memungkinkan penambahan kitosan dengan konsentrasi lebih tinggi dibandingkan metode perebusan. Keberhasilan pembentukan komposit selulosa-kitosan ditunjukkan oleh spektrum FTIR yang melebar pada daerah -3400 cm^{-1} dan tiga serapan pada $1639,35$; $1359,11$; $1545,89\text{ cm}^{-1}$ serta difraktogram XRD adanya struktur khas untuk selulosa dan kitosan. Penambahan kitosan dapat menurunkan kristalinitas dan sifat mekanik selulosa bakteri yang dihasilkan. Penambahan pemlastis sampai 3% dapat menurunkan perpanjangan saat putus material selulosa bakteri. Foto SEM menunjukkan adanya interaksi kitosan terhadap selulosa bakteri dengan cara membentuk lapisan.

Kata kunci: biokompatibilitas, kitosan, selulosa bakteri.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II STUDI PUSTAKA	4
BAB III METODE PENELITIAN	15
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
KESIMPULAN DAN SARAN	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	47
DRAFT ARTIKEL ILMIAH	
SINOPSIS PENELITIAN LANJUTAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1	
Sifat mekanik film <i>nata de coco</i> , <i>nata de cassava</i> , dan <i>nata de oryza</i>	13
Tabel 2	
<i>Modulus Young</i> film <i>nata de coco</i> , <i>nata de cassava</i> , dan <i>nata de oryza</i>	13
Tabel 3	
Hasil analisis sifat mekanik selulosa bakteri dari air kelapa tanpa dan dengan penambahan kitosan metode perendaman	26
Tabel 4	
Hasil analisis sifat mekanik selulosa bakteri dari air cucian beras, air rebusan singkong, dan air rebusan ubi jalar tanpa dan dengan penambahan kitosan metode perebusan	28
Tabel 5	
Interpretasi gugus fungsi spektrum FTIR selulosa bakteri	30
Tabel 6	
Interpretasi gugus fungsi spektrum FTIR selulosa bakteri	35
Tabel 7	
Hasil analisis sifat mekanik selulosa-kitosan dari air rebusan ubi jalar dan air rebusan singkong tanpa dan dengan penambahan gliserol 1,5%	36
Tabel 8	
Gugus fungsi selulosa bakteri dari ubi jalar	39
Tabel 9	
Hasil analisis kuantitatif spektrum FTIR selulosa bakteri dari ubi jalar	40
Tabel 10	
Sifat mekanik selulosa bakteri dari ubi dengan penambahan gliserol	42

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Reaksi peruraian sukrosa	6
Gambar 2 Fosforilasi glukosa	6
Gambar 3 Reaksi isomerisasi dari Glukosa-6-Fosfat	7
Gambar 4 Reaksi pemindahan fosfat baru	7
Gambar 5 Reaksi pembentukan selulosa	8
Gambar 6 Struktur kimia gliserol	10
Gambar 7 Struktur ikatan kimia film pati ubi kayu dengan gliserol	11
Gambar 8 Struktur kimia asam oleat	11
Gambar 9 Struktur ikatan kimia asam oleat dengan selulosa	12
Gambar 10 Metode penelitian	20
Gambar 11 Sistematika penelitian	21
Gambar 12 Reaksi pembentukan selulosa bakteri oleh bakteri <i>Acetobacter xylinum</i>	24
Gambar 13 Tahap-tahap pembentukan selulosa bakteri	25
Gambar 14 Interaksi antara selulosa dengan kitosan	25
Gambar 15 Spektrum FTIR: (a) selulosa bakteri dan (b) selulosa- kitosan bakteri 0,5% dari air kelapa	29
Gambar 16 Foto SEM penampang melintang: (a) selulosa bakteri dan (b) selulosa-kitosan bakteri 0,5% dari air kelapa	31
Gambar 17 Difraktogram XRD (a) selulosa bakteri dan (b) selulosa- kitosan bakteri 0,5% dari air kelapa	32
Gambar 18 Spektrum FTIR selulosa bakteri dengan penambahan 1, 2, dan 3 gram gliserol	38
Gambar 19 Ikatan hidrogen antara gliserol dengan selulosa bakteri	41

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1	47
Spektrum FTIR Selulosa – Kitosan dari Air Rebusan Ubi Jalar Tanpa dan Dengan Penambahan Pemlastis	
Lampiran 2	48
Spektrum FTIR Selulosa – Kitosan dari Air Rebusan Singkong Tanpa dan Dengan Penambahan Pemlastis	
Lampiran 3	49
Foto Selulosa Bakteri dan Selulosa – Kitosan dari Air Kelapa	
Lampiran 4	50
Perhitungan Modulus Young	
Lampiran 5	51
Perhitungan Kristalinitas	
Lampiran 6	52
Hasil Uji Sifat Mekanik Selulosa Bakteri dari Air Kelapa	
Lampiran 7	61
Difraktogram Selulosa Bakteri dari Air Kelapa	
Lampiran 8	62
Foto SEM Lembaran Kitosan	
Lampiran 9	63
Foto SEM Selulosa – Kitosan dari Air Kelapa	
Lampiran 10	64
Surat Perjanjian Pelaksanaan Kegiatan Penelitian Hibah Bersaing	
Lampiran 11	68
Berita Acara Seminar Instrumen dan Daftar Hadir Peserta	
Lampiran 12	71
Berita Acara Seminar Hasil dan Daftar Hadir Peserta	
Lampiran 13	74
Artikel yang Sudah Dipublikasikan	

BAB I PENDAHULUAN

Latar belakang dari penelitian yang dilakukan adalah adanya keterbatasan dan mahalnnya material penutup luka biologis yang dapat digunakan. Selama beberapa waktu telah digunakan penutup luka biologis yang berasal dari kulit babi atau kulit jenazah manusia, namun bahan tersebut mahal dan hanya dapat digunakan untuk waktu yang singkat. Namun, beberapa literatur mengungkapkan bahwa selulosa mikrobial menunjukkan kinerja cukup baik untuk dapat digunakan dalam penyembuhan luka, hidrofilitas yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai pembuluh darah buatan, bersifat non-allergenik, dan dapat disterilisasi tanpa mempengaruhi karakteristik material tersebut (Hoenich, 2006 dan Ciechanska, 2004). Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa limbah rumah tangga berupa air cucian beras, air rebusan singkong, air rebusan ubi jalar, air rebusan kulit pisang, dan limbah air kelapa masing-masing dapat dibuat nata melalui penambahan sukrosa, urea, dan asam asetat sebagai pemberi suasana. Nata yang dihasilkan ternyata merupakan polimer selulosa diperkuat oleh difraktogram XRD, spektrum IR, dan pengamatan permukaan dengan SEM (Heru Pratomo dan Eli Rohaeti, 2010). Mikroorganisme yang dapat menghasilkan selulosa tersebut adalah *acetobacter*. *Acetobacter* merupakan bakteri yang digunakan untuk menghasilkan cuka. Seringkali ditemukan membran yang menyerupai gel berupa film pada permukaan media kultur ketika proses produksi cuka berlangsung. Setelah diidentifikasi material ini dikenal sebagai selulosa bakteri (Philips and Williams, 2000).

Selulosa bakteri yang diperoleh ternyata dapat digunakan untuk merawat penderita gagal ginjal dan sebagai kulit pengganti sementara untuk merawat luka bakar. Selulosa juga dapat diimplantasikan ke dalam tubuh manusia dalam bentuk benang jahit yang digunakan dalam pembedahan (Hoenich, 2006). Selulosa bakteri memiliki struktur kimia sama seperti selulosa yang berasal dari tumbuhan, namun selulosa bakteri memiliki keunggulan antara lain kemurnian tinggi, derajat kristalinitas tinggi, kekuatan tarik tinggi, elastis, dan terbiodegradasi.

Pemanfaatan limbah rumah tangga sebagai media untuk pembentukan selulosa bakteri untuk keperluan medis khususnya sebagai material penutup luka belum banyak diteliti. Dengan demikian perlu dilakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah rumah tangga sebagai media dalam pembentukan selulosa bakteri. Untuk memperoleh material penutup luka lebih berkualitas maka akan dilakukan penambahan kitosan ke dalam media kultur pembentukan selulosa.

Kitosan dalam bentuk larutan dan gel, dapat digunakan sebagai bakteriostatik, fungistatik, dan bahan untuk pelapis. Serat kitosan telah digunakan sebagai benang jahit dalam pembedahan yang dapat diserap oleh tubuh manusia, sebagai perban penutup luka, dan sebagai carrier obat-obatan. Kitosan juga mempengaruhi proses pembekuan darah sehingga dapat digunakan sebagai haemostatik.

Adanya sifat-sifat unggul dari selulosa bakteri dan kitosan maka dapat dibuat suatu bahan komposit yang mengalami interaksi antara bagian molekul kitosan (unit glukosamin dan N-asetilglukosamin) dengan rantai selulosa yang dihasilkan. Untuk memperbaiki keelastisan dari material selulosa tersebut dapat dilakukan penambahan pemlastis pada saat pembentukan selulosa bakteri tanpa dan dengan modifikasi.

Berdasarkan latar belakang, maka **permasalahan dalam penelitian** ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jenis medium (limbah rumah tangga) terhadap keberhasilan pembentukan selulosa bakteri oleh *acetobacter xylinum*?
2. Bagaimana pengaruh penambahan kitosan terhadap keberhasilan pembentukan biomaterial selulosa kitosan bakteri?
3. Bagaimana pengaruh penambahan kitosan terhadap sifat-sifat material yang dihasilkan?
4. Bagaimana pengaruh penambahan pemlastis terhadap sifat-sifat material yang dihasilkan?

Tujuan khusus dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. mengetahui pengaruh jenis medium (limbah rumah tangga) terhadap keberhasilan pembentukan selulosa bakteri oleh *acetobacter xylinum*
2. mempelajari pengaruh penambahan kitosan terhadap keberhasilan pembentukan biomaterial selulosa kitosan bakteri
3. mengetahui pengaruh penambahan kitosan terhadap sifat-sifat material yang dihasilkan
4. mengetahui pengaruh penambahan pemlastis terhadap sifat-sifat material yang dihasilkan

Urgensi (keutamaan) dari penelitian yang dilakukan yaitu dapat memberikan kontribusi terhadap pembaharuan dan pengembangan ipteks, antara lain dapat memberikan informasi tentang cara pembuatan biomaterial selulosa bakteri berbasis limbah rumah tangga. Penelitian pembuatan biomaterial selulosa bakteri berbasis limbah masih jarang dilakukan, padahal limbah tersebut seringkali dihasilkan oleh

setiap rumah tangga. Selain itu, dengan pemanfaatan limbah rumah tangga dalam pembuatan biomaterial selulosa bakteri maka dapat mengatasi masalah pencemaran lingkungan.

Selain itu, dengan hasil penelitian ini maka terdapat perluasan cakupan penelitian, yaitu dapat dilakukan sintesis biomaterial selulosa bakteri dari limbah rumah tangga jenis lainnya baik untuk keperluan medis maupun untuk aplikasi bidang lainnya. Dengan dilakukannya penelitian ini, maka dapat meningkatkan nilai tambah kegunaan limbah rumah tangga di bidang medis dengan memanfaatkannya sebagai bahan dasar dalam pembuatan selulosa bakteri. Dengan demikian dapat mewujudkan harapan pemerintah dalam mengurangi ketergantungan pada bahan import serta lebih dapat menjaga kelestarian lingkungan.

Berdasarkan penelusuran paten, maka hasil penelitian ini layak untuk memperoleh hak paten. Kemungkinan hak patennya adalah pemilihan jenis limbah rumah tangga sebagai medium pertumbuhan *acetobacter xylinum* dalam mensintesis selulosa, penambahan kitosan untuk meningkatkan aplikasi selulosa bakteri di bidang medis khususnya sebagai material penutup luka, serta penambahan bahan pemlastis untuk memperbaiki sifat mekanik dari selulosa bakteri yang dihasilkan.

Dengan dilakukannya penelitian Hibah Bersaing ini maka Jurusan atau Program Studi Kimia UNY merasa terbantu terutama dalam meningkatkan percepatan kelulusan mahasiswa, karena dengan dilibatkannya mahasiswa dalam proyek Hibah Bersaing maka mahasiswa tidak perlu mencari tema penelitian tugas akhirnya serta dapat memperlancar mahasiswa dalam melaksanakan penelitian karena bahan-bahan kimia dan karakterisasi dibantu oleh Proyek Hibah Bersaing ini.

BAB II

STUDI PUSTAKA

State of the art dari penelitian untuk mendapatkan selulosa bakteri telah dilakukan oleh Aton Yulianto dkk (2000) dengan mensintesis selulosa bakteri melalui metode tradisional menggunakan *acetobacter xylinum* dalam media statis. Selanjutnya dianalisis morfologi dan sifat fisik selulosa bakteri yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gel selulosa bakteri memiliki jaringan tiga dimensi yang terbentuk melalui ikatan hidrogen interfibrilar, morfologi gel bagian atas, dalam, dan bawah berbeda dalam hal ukuran dan kerapatan dari mikrofibril. Lebar mikrofibril berkisar 20 – 500 nm dengan urutan bagian atas > bawah > dalam, sedangkan urutan kerapatan mikrofibril adalah bagian atas > dalam > bawah. Film selulosa bakteri yang sudah dikeringkan memiliki sifat mekanik cukup tinggi dengan nilai modulus Young 30 GPa. Bakri Rosidi dkk (2000) telah berhasil memproduksi selulosa bakteri dari limbah buah-buahan berupa kulit nanas, tomat, dan pisang. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa amonium hidrofosfat paling efektif dibandingkan dengan amonium sulfat dan urea digunakan sebagai sumber senyawa nitrogen dalam pembuatan selulosa bakteri. Priyo Waspodo dkk (2000) telah berhasil mempreparasi selulosa bakteri dengan starter *acetobacter xylinum* yang kering. Hasil penelitian menunjukkan bahwa starter *acetobacter xylinum* kering dapat dibuat dari dekstrin, pati jagung, atau pati jagung prigelatinisasi sebagai material pengikat yang dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada 40 dan 50 °C. Penggunaan starter kering dapat menghasilkan 57% b/v selulosa bakteri.

Kolodziejczyk (Czaja, W.K. et al., 2007) telah melakukan uji biokompatibilitas selulosa mikrobial (diameter 1 cm) ke kelinci dan secara periodik diamati setelah 1 dan 3 minggu. Implant tersebut tidak menyebabkan peradangan secara makroskopik dan pengamatan jaringan menunjukkan hanya sebagian kecil sel raksasa dan suatu lapisan tipis fibroblas pada antarmuka selulosa dan jaringan. Czaja et.al dan Kawecki et al. (Czaja, W.K. et al., 2007) mengungkapkan bahwa membran selulosa bakteri lebih unggul dibandingkan bahan penutup luka konvensional dalam hal kesesuaian dengan permukaan luka, dapat menjaga luka tetap dalam kondisi yang basah, dapat menurunkan rasa sakit, mempercepat re-epitelialisasi dan pembentukan jaringan, serta mengurangi pembentukan bekas luka. Fontana et al. dan Mayall et al. (Czaja, W.K. et al., 2007) telah berhasil memproduksi selulosa mikrobial yang diberi nama Biofill terbukti

berhasil menutupi luka dari kulit yang terbakar dan luka kronis. Backdahl et al. (Czaja, W.K. et al., 2007) mengungkapkan bahwa bagian antar muka (sisi atas) dari membran selulosa bakteri lebih rapat dan permukaannya lebih halus dibandingkan dengan sisi yang kontak dengan medium cairan (sisi bawah). Sisi antar muka selulosa bakteri dapat berfungsi sebagai lumen dari pembuluh darah yang digantikan oleh selulosa bakteri sebab sel-sel endotelial lebih siap berikatan dengan permukaan yang halus.

Selanjutnya Demse Pardosi (2008) berhasil membuat selulosa bakteri dalam medium air kelapa melalui penambahan sukrosa, kitosan, dan gliserol pada fermentasi selama 12 hari dihasilkan pelikel dengan ketebalan maksimal. Selulosa bakteri optimum yang dihasilkan memiliki kekuatan tarik sebesar 45,26 MPa dan perpanjangan saat putus sebesar 30%. Penelitian tersebut belum mengungkap aplikasi spesifik dari material selulosa bakteri yang dihasilkan.

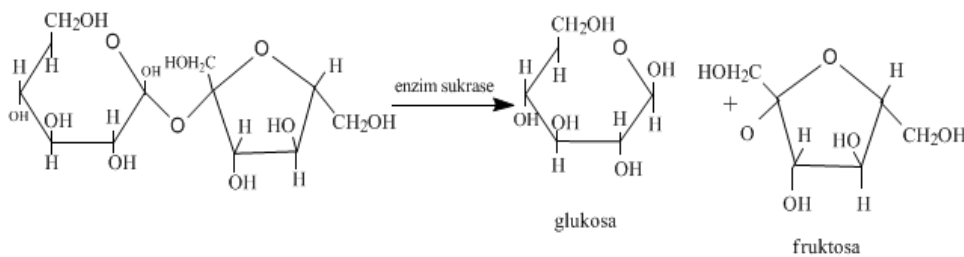
Kuan-Chen Cheng et al. (2009) telah berhasil mengembangkan selulosa bakteri yang ditumbuhkan dalam reaktor biofilm dari berbagai jenis plastik yang selanjutnya dianalisis dengan teknik XRD, FESEM (*Field Emmision Scanning Electron Microscopy*), TGA, dan DMA (*Dynamic Mechanical Analysis*). Selulosa bakteri yang dihasilkan memiliki kristalinitas 93% dengan ukuran kristal 5,2 nm, dan mampu mengikat air sebesar 95% serta memiliki kekuatan tarik dan modulus Young cukup tinggi.

Selulosa bakteri mengandung air sekitar 98% dengan tekstur agak kenyal, padat, kokoh, putih dan transparan seringkali disebut sebagai nata. Produk ini tergolong makanan berkalori rendah sehingga dapat digunakan untuk menolong penderita diabetes (Czaja, W.K. et al., 2007).

Kandungan utama nata adalah air dan serat sehingga baik untuk diet dan sering digunakan dalam pembuatan *dessert* atau sebagai tambahan substansi pada koktail, es krim dan sebagainya. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan nata di antaranya adalah bakteri, gula dan nitrogen, selain itu harus pula diperhatikan suhu dan pH serta jangan tergoyang agar pembentukan pelikel berlangsung baik.

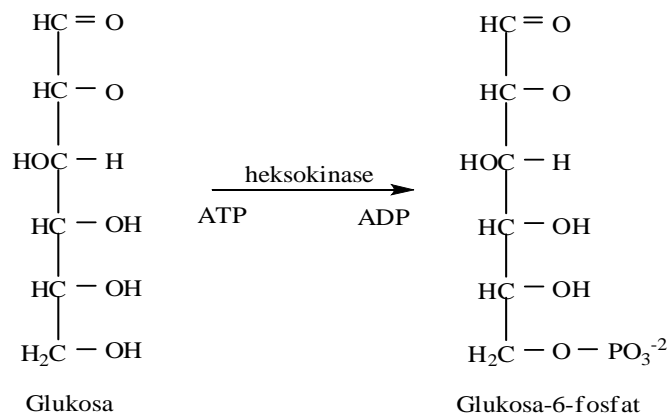
Bakteri *Acetobacter xylinum* adalah bakteri yang dapat mensintesis selulosa dari fruktosa. Ciri-ciri *acetobacter xylinum* yaitu berbentuk batang, tidak bergerak, gram negatif, mampu membentuk asam dari glukosa etil, propil alkohol dan glikol, mampu melakukan reaksi katalisis, tidak mereduksi nitrat, dapat mengoksidasi asam asetat menjadi CO₂ dan air. *Acetobacter xylinum* dapat menghasilkan lapisan selulosa yang tebal pada permukaan cairan media.

Pembuatan selulosa bakteri atau nata merupakan sintesis polisakarida oleh bakteri *Acetobacter xylinum* dari gula sederhana baik dalam bentuk sukrosa, glukosa dan maltosa. Sintesis selulosa ini, pada dasarnya sama dengan sintesa pati dari glukosa. Jadi sukrosa yang ada pada medium limbah rumah tangga seperti air rebusan singkong, air rebusan ubi jalar, air cucian beras, dan air kelapa oleh bakteri *Acetobacter xylinum* dikonversi ke dalam bentuk glukosa dan fruktosa dengan adanya enzim sukrase. Reaksi peruraian sukrosa dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan reaksi pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa sukrosa dikonversi dalam bentuk glukosa dan fruktosa. Glukosa dan fruktosa merupakan senyawa yang mudah digunakan oleh mikroorganisme (bakteri) karena mempunyai bentuk lebih sederhana dibandingkan dengan sukrosa.



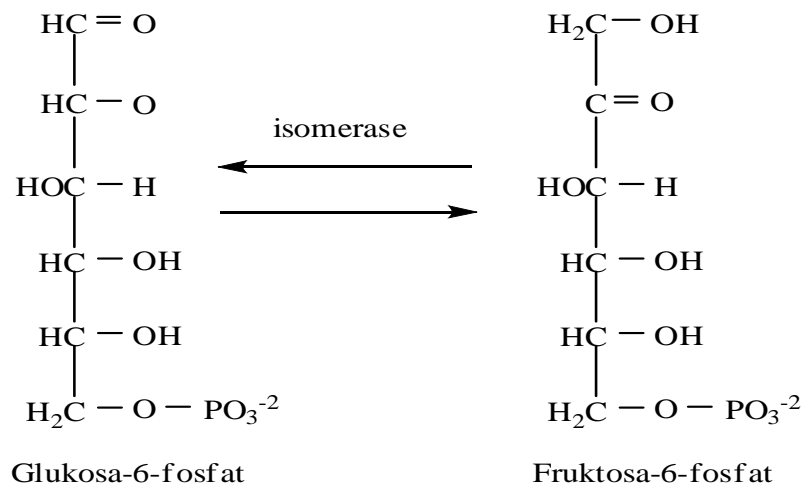
Gambar 1. Reaksi peruraian sukrosa

Menurut Carpenter (1972), sukrosa yang ada pada substrat pertama kali dirombak ke dalam bentuk lebih sederhana biasanya fruktosa atau glukosa dengan bantuan enzim atau proses hidrolisis. Glukosa yang terbentuk dari hasil hidrolisis sukrosa oleh enzim sukrase, dengan proses fosforilasi dimana glukosa dibentuk ke dalam bentuk glukosa-6-fosfat dengan bantuan enzim heksokinase. Terjadinya reaksi fosforilasi glukosa seperti pada Gambar 2.



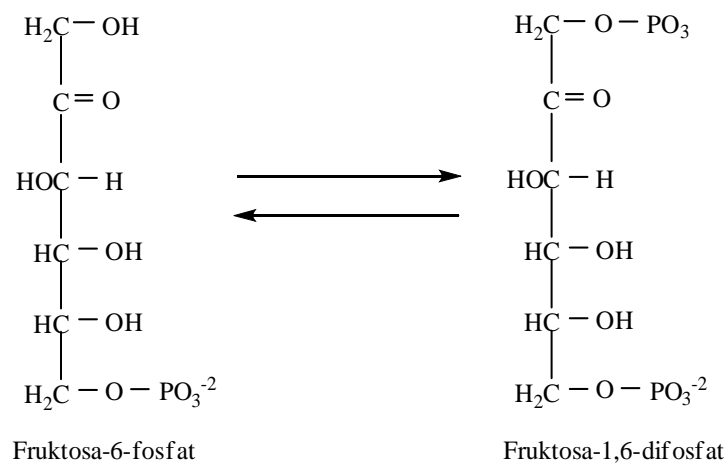
Gambar 2. Fosforilasi glukosa

Berdasarkan reaksi di atas, selanjutnya terjadi reaksi isomerisasi dari glukosa-6-fosfat yang menghasilkan fruktosa-6-fosfat, dengan bantuan enzim isomerase. Reaksi ini berjalan bolak-balik seperti terlihat pada Gambar 3.



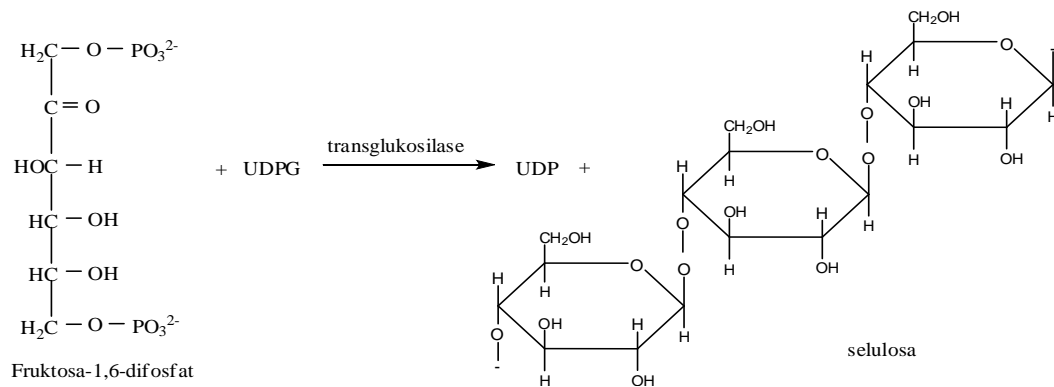
Gambar 3. Reaksi isomerisasi dari Glukosa-6-Fosfat

Pemindahan fosfat baru dari ATP ke fruktosa-6-fosfat pada atom C no 1, dengan bantuan enzim fosfoheksokinase, yang menghasilkan fruktosa 1,6-difosfat. Reaksi pemindahan fosfat baru dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Reaksi pemindahan fosfat baru

Adanya UDPG (Uridin Di Fosfat Glukosa) dan bantuan enzim transglukosilase akan membentuk selulosa. Reaksi pembentukan selulosa dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Reaksi pembentukan selulosa

Meskipun selulosa bakteri memiliki struktur kimia yang sama seperti selulosa yang berasal dari tumbuhan, namun selulosa bakteri tersusun oleh serat selulosa yang lebih baik. Setiap serat tunggal memiliki diameter 50 nm. Selulosa bakteri terdapat dalam bentuk kumpulan serat-serat tunggal dengan diameter sekitar 0,1 – 0,2 nm.

Selulosa bakteri memiliki karakteristik mirip dengan kulit manusia, sehingga dapat digunakan sebagai pengganti kulit untuk merawat luka bakar yang serius (Ciechanska, 2004). Polandia telah mengembangkan suatu bahan komposit selulosa bakteri yang telah diproduksi untuk keperluan medis. Modifikasi tersebut dilakukan dengan menambahkan polisakarida bioaktif seperti kitosan ke dalam media kultur pembentukan selulosa. Bahan komposit tersebut dapat digunakan untuk pengobatan luka yang sukar sembuh, luka bernanah, dan luka-luka yang memerlukan penggantian pembalut berulang kali (Ciechanska, 2004).

Kitosan merupakan senyawa turunan dari kitin yang memiliki struktur (1,4)-2-amino-2-deoksi- β -D-glukosa. Sumber kitosan yang sangat potensial adalah kerangka *Crustaceae* (Muzzarell, 1997). Kitosan telah diproduksi secara komersial melalui destilasi alkalin molekul kitin yang diperoleh dari *crustaceae* (Phillips and Williams, 2000).

Kitosan diperoleh melalui modifikasi kitin dengan cara penambahan basa pada kitin sehingga terjadi deasetilasi, gugus asetamida akan terhidrolisis menghasilkan asam amino bebas dan terbentuklah kitosan. Hidrolisis dapat dilakukan dengan penambahan NaOH 40%, apabila derajat deasetilasi di atas 60% atau di bawah 40% maka produk kitosan yang diperoleh tidak dapat larut dalam air (Muzzarelli dkk, 1986). Penambahan asam dilakukan untuk menghilangkan mineral sehingga kandungan abu dalam kitosan kurang dari 0,1%. Perlakuan tersebut juga memungkinkan penghilangan protein yang

terikat dalam matriks kitin-mineral. Selanjutnya kitin ditambah dengan larutan basa pekat yang panas.

Kitosan memiliki reaktifitas kimia yang baik karena memiliki sejumlah gugus hidroksil (-OH) dan gugus amina (-NH₂) pada rantainya. Kitosan merupakan polimer hidrofilik yang tersusun oleh unit glukosamin dan N-asetilglukosamin bersifat tidak beracun, biokompatibel, dan dapat didegradasi secara biologis (Hosokawa et al., 1990). Kebanyakan polisakarida yang terdapat di alam bersifat netral dan asam seperti selulosa, dekstran, peptin, asam alginat, agar, dan carragenan, sedangkan kitin dan kitosan merupakan contoh polisakarida yang bersifat basa. Selulosa merupakan homopolimer, sedangkan kitin dan kitosan merupakan heteropolimer (Kumar, 2000).

Kitin dan kitosan menunjukkan aktivitas antibakteri, antimetastatik, antiurikemik, antiosteoporotik dan imunoadjuvant, menunjukkan potensi umum dalam penyakit alleviasi, mencegah penyakit atau memberikan kontribusi terhadap kesehatan cukup baik (Muzzarelli, 1996). Kitosan bersifat antimikroba terhadap berbagai organisme target. Aktivitasnya sangat bervariasi tergantung pada jenis kitosan yang digunakan, organisme target, dan lingkungan ketika eksperimen dilakukan. Jamur dan kapang merupakan kelompok yang paling dipengaruhi, diikuti bakteri gram positif dan yang terakhir bakteri gram negatif (Rhoades dan Rastall, 1995).

Kitin dan kitosan tidak terdapat dalam jaringan tubuh manusia, tetapi asetilglukosamin dan kitobiosa ditemukan dalam glikoprotein dan glikosaminoglikan. Banyak dilakukan penelitian untuk mengaplikasikan kitosan dalam bidang media, seperti kulit buatan dan antikoagulan darah. Hal tersebut dikarenakan kitosan bersifat dapat didegradasi secara biologis, tidak beracun, nonimmunogenik, dan cocok secara biologis dengan jaringan tubuh hewan.

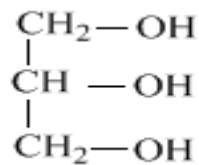
Salah-satu keunggulan dari kitosan adalah ketahanannya terhadap enzim hidrolitik tertentu. Sewaktu terjadinya degradasi kitosan secara enzimatik, mono dan oligosakarida yang bioaktif pada molekul kitosan terlepas, yang menstimulasi terjadinya angiogenesis dan regenerasi jaringan (Ciechanska, 2004).

Setiap tubuh makhluk hidup mempunyai fungsi proteksi diri secara biologis terhadap infeksi penyakit. Perkembangan sel dan aktivitas lysozom ekstraseluler meningkat dalam kultur in vitro sel otot polos vascular tikus karena adanya oligosakarida kitosan. Luka pada jaringan dapat ditutup atau dirawat dengan menggunakan membran, lembaran spons, kapas, bubuk halus, larutan serta balsam yang terbuat dari kitin, kitosan atau senyawa turunannya. Aktivitas kitinase meningkat pada

saat terjadinya luka, terjadi rangsangan terhadap pertumbuhan jaringan dan penyembuhan luka dipercepat karena terhambatnya infeksi oleh mikroba. Beberapa penutup luka seperti kulit buatan telah diproduksi dari kitin dan kitosan, dan telah dijual sebagai penyembuh luka pada manusia maupun hewan (Goosen, 1997).

Selulosa bakteri dan kitosan masing-masing memiliki gugus hidroksil sehingga bahan pemlastis yang memiliki gugus fungsi fleksibel seperti gugus $-OH$ dalam gliserol dan gugus $-COOH$ dalam asam oleat diharapkan dapat berinteraksi dengan selulosa bakteri dan kitosan menghasilkan suatu material dengan sifat mekanik lebih fleksibel.

Gliserol (1,2,3-propanantriol) memiliki struktur kimia seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Gliserol adalah senyawa netral dengan rasa manis dan tidak berwarna, berupa cairan kental dengan titik lebur $20^{\circ}C$ dan memiliki titik didih yang tinggi yaitu $290^{\circ}C$. Gliserol dapat larut secara sempurna di dalam air dan alkohol, tetapi tidak larut dalam minyak. Sebaliknya banyak zat mudah larut dalam gliserol dibandingkan dalam air dan alkohol, oleh karena itu gliserol merupakan suatu pelarut yang baik.



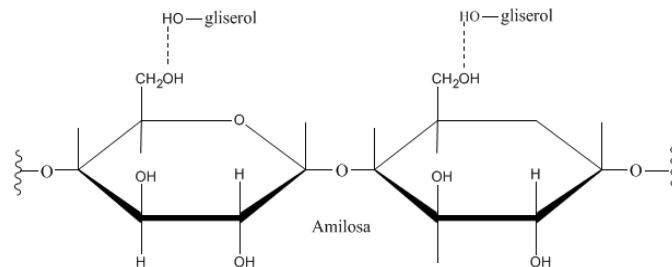
Gambar 6. Struktur kimia gliserol

Senyawa gliserol bermanfaat sebagai anti beku dan juga merupakan suatu senyawa yang higroskopis sehingga banyak digunakan untuk mencegah kekeringan pada tembakau, pembuatan parfum, tinta, kosmetik, makanan dan minuman lainnya (Austin, 1985).

Peran gliserol dalam pembuatan film selulosa bakteri yaitu sebagai pemlastis. Pemlastis didefinisikan sebagai bahan non volatil, bertitik didih tinggi yang ditambahkan pada material lain dapat merubah sifat fisik dari material tersebut. Dalam pembuatan film, pemlastis dipakai untuk memperbaiki profil film, menjaga keutuhan, dan menghindari lubang dan keretakan. Pemlastis dapat mengatur sifat mekanis film menjadi lebih bervariasi. Penambahan pemlastis dapat menghasilkan film lebih fleksibel, lebih kuat dan tidak mudah dipecah, namun juga mempengaruhi sifat barriernya.

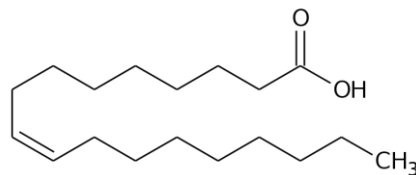
Yusmarlela (2009) mengungkapkan bahwa diperoleh permukaan film yang lebih halus dan sedikit gumpalan pada fotografi permukaan spesimen pati dengan gliserol

sebagai pemlastis yang diperbesar 200 kali. Hal ini disebabkan gliserol selain pemlastis juga membantu kelarutan pati (lebih *homogen*). Hal tersebut dimungkinkan gliserol yang dicampurkan telah berinteraksi dengan pati terutama terbentuknya ikatan hidrogen antara atom H dari OH gliserol dengan atom O dari OH selulosa. Struktur ikatan kimia film pati dengan gliserol dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Struktur ikatan kimia film pati ubi kayu dengan gliserol

Asam oleat merupakan asam lemak tidak jenuh yang banyak dikandung dalam minyak jagung. Rumus kimia asam oleat yaitu $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$. Asam oleat mempunyai struktur kimia seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



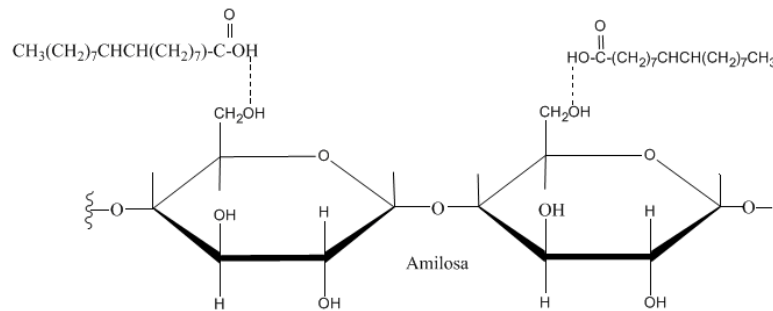
Gambar 8. Struktur kimia asam oleat

Asam oleat merupakan asam lemak tidak jenuh yang banyak terkandung dalam minyak zaitun. Asam ini tersusun dari 18 atom C dengan satu ikatan rangkap di antara atom C ke-9 dan ke-10. Selain dalam minyak zaitun (55-80%), asam lemak ini juga terkandung dalam minyak bunga matahari kultivar tertentu, minyak raps, serta minyak biji anggur. Asam lemak ini pada suhu ruang berupa cairan kental dengan warna kuning pucat atau kuning kecoklatan. Asam ini memiliki aroma yang khas, tidak larut dalam air, titik lebur $15,3^\circ\text{C}$ dan titik didih 360°C .

Asam oleat dapat dihasilkan dari fraksinasi asam lemak yang diperoleh dari proses pengubahan minyak menjadi asam lemak. Dalam hal ini proses yang digunakan adalah proses hidrolisis.

Penggunaan asam oleat sebagai pemlastis prinsipnya sama dengan pemlastis gliserol, yaitu adanya interaksi antara polimer dengan pemlastis yang dipengaruhi oleh afinitas kedua komponen. Interaksi asam oleat dengan selulosa dari nata adalah adanya

ikatan hidrogen antar atom H dari -COOH asam oleat dengan atom O dari OH selulosa. Struktur ikatan kimia asam oleat dengan selulosa dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Struktur ikatan kimia asam oleat dengan selulosa

Penelitian pendahuluan yang telah kami lakukan antara lain pada **penelitian Unggulan UNY tahun 2010** yaitu membuat nata (selulosa bakteri) dari limbah rumah tangga yang diberi nama *nata de coco*, *nata de cassava*, *nata de ipomea*, *nata de oryza*, dan *nata de banana* yang masing-masing dihasilkan dari air kelapa, air perasan parutan singkong, air perasan parutan ubi jalar, air cucian beras, dan kulit perasan setelah mengalami pemeraman atau fermentasi selama 2-3 hari yang akan diaplikasikan sebagai material bioplastik.

Berbagai *nata* yang dihasilkan sebagai bahan dasar bioplastik pada umumnya bertekstur kenyal, licin, dan transparan. Ketebalan nata yang baik digunakan sebagai bahan dasar bioplastik adalah nata dengan umur pemeraman 2-3 hari, selebihnya nata yang terbentuk akan terlalu tebal dan sulit dikeringkan untuk dijadikan bioplastik. (Heru Pratomo dan Eli Rohaeti, 2010)

Berdasarkan hasil penelitian, selain *nata de coco* dihasilkan warna nata lebih berwarna putih kekuningan. Nata yang dihasilkan pada umumnya juga tidak sebaik nata yang dibuat dari *nata de coco*. Walaupun bertekstur kenyal dan licin, namun kondisi pelikel selulosa yang dihasilkan tidak merata sehingga terdapat bagian yang tipis dan bagian lainnya tebal. Oleh sebab itu, diperlukan komposisi yang tepat pada proses pembuatan *nata*. Proses pembuatan *nata*, selain *nata de coco*, memerlukan komposisi yang berbeda untuk setiap jenis nata.

Nata yang dapat digunakan sebagai bahan dasar bioplastik adalah nata yang memiliki ketebalan yang merata di semua bagiannya serta tidak bergelambir. Untuk itu perlu diperhatikan beberapa hal yang dapat mempengaruhi kualitas nata sebagai bahan dasar bioplastik antara lain : Keasaman larutan atau pH, tempat pemeraman, dan bahan tambahan.

Film plastik *nata* dibuat dengan cara diangin-anginkan tanpa terkena sinar matahari langsung. Proses pengeringan membutuhkan waktu kurang lebih 24 jam. Bioplastik yang dihasilkan dari *nata* secara fisik berbentuk seperti plastik transparan hanya saja agak sedikit keruh.

Keberadaan selulosa yang menyusun film bioplastik *nata* berasal dari limbah rumah tangga diperkuat oleh difraktogram XRD. Berdasarkan difraktogram XRD film *nata*, menunjukkan adanya fase kristalin 1α dan 1β masing-masing pada 15° dan $22,5^\circ$. Sebagaimana diungkapkan oleh Barud et. al (2007) bahwa fase kristalin selulosa 1α dan 1β masing-masing pada bidang 1001α , 1101β , dan 0101β terjadi pada sudut 15° , bidang 1101α dan 2001β pada sudut $22,5^\circ$. Struktur selulosa yang menyusun film *nata* berbentuk benang-benang fibril seperti ditunjukkan oleh foto SEM.

Selanjutnya hasil uji sifat mekanik berupa uji tarik menggunakan alat *Universal Testing Machine* model UCT-5T dengan metode uji ISO 527-2 yang dilakukan pada suhu 23°C dengan kelembaban ruang uji 50% ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Sifat mekanik film *nata de coco*, *nata de cassava*, dan *nata de oryza*

No	Sampel <i>nata</i>	<i>Tensile strength</i> (MPa)	<i>Break strength</i> (MPa)	<i>Break strain</i> (%)
1	<i>Nata de coco</i>	87,0	86,8	8,9
2	<i>Nata de cassava</i>	73,9	73,9	1,8
3	<i>Nata de oryza</i>	6,8	6,8	5,3

Nata de cassava memiliki modulus *Young* paling tinggi pada penelitian ini (Tabel 2). Dengan demikian film bioplastik dari *nata de cassava* menunjukkan kekakuan paling tinggi dibandingkan sampel film *nata* lainnya.

Tabel 2. *Modulus Young* film *nata de coco*, *nata de cassava*, dan *nata de oryza*

No	Sampel	<i>Modulus Young</i> (MPa)
1	<i>Nata de coco</i>	978
2	<i>Nata de cassava</i>	4106
3	<i>Nata de oryza</i>	128

Berdasarkan analisis sifat termal dengan alat *Differential Thermal Analysis* dan *Thermogravimetric Analysis* (DTA-TGA) menunjukkan bahwa film *nata de coco* menunjukkan puncak endoterm pada $323,66^\circ\text{C}$, sedangkan keempat film *nata* lainnya tidak menunjukkan puncak endoterm. Kesemua film *nata* menunjukkan puncak

eksoterm pada 59,1 – 65,47⁰C. Puncak eksoterm yang muncul merupakan temperatur kristalisasi, terjadi pada saat transisi dari satu fasa kristalin ke fasa kristalin lainnya. Kesemua film nata yang dihasilkan mengalami transisi dari fasa kristalin α ke β . Film *nata de oryza* menunjukkan temperatur kristalisasi terjadi pada temperatur lebih tinggi dibandingkan dengan film nata lainnya. Hal tersebut diperkuat oleh difraktogram XRD *nata de oryza* menunjukkan intensitas suatu daerah kristalin (sekitar 40⁰) sangat tajam.

Hasil analisis dengan teknik TGA menunjukkan bahwa *nata de cassava* merupakan film yang paling stabil secara termal dibandingkan dengan keempat film nata lainnya. Pada temperatur 400⁰C, massa film *nata de cassava* sebesar 80% atau mengalami pengurangan massa sebesar 20%.

Hasil uji biodegradasi menunjukkan bahwa semakin bertambahnya waktu biodegradasi, persen pengurangan massa film nata semakin meningkat pula. Film nata mengalami biodegradasi sempurna pada hari ke-20, film nata hancur dan tidak dapat diambil karena menyatu dengan medium malaka. Dengan demikian terbukti bahwa film bioplastik dari nata ternyata mudah mengalami biodegradasi.

Selanjutnya pada **penelitian pendahuluan kami dengan bantuan dana dari Bappeda tahun 2011** menunjukkan bahwa penambahan asam oleat 1,5% dan gliserol 2% dalam pembuatan bioplastik *nata de coco* menghasilkan bioplastik lebih elastis namun tidak mempengaruhi kualitas gugus fungsi dalam bioplastik yang dihasilkan. Penambahan pemlastis dengan komposisi asam oleat 1,5 % (v/v) serta gliserol 2% (v/v) akan meningkatkan nilai *tensile strength* dan nilai *strain* bioplastik dari air kelapa. Bioplastik mempunyai kualitas lebih baik dalam hal menahan beban dan lebih fleksibel daripada bioplastik dari *nata de coco* tanpa penambahan pemlastis. Penambahan pemlastis berupa asam oleat dan gliserol akan meningkatkan pengurangan massa dan laju pengurangan massa bioplastik pada saat proses biodegradasi. Adanya tambahan pemlastis tersebut, menyebabkan mikroorganisme pengurai dapat menghidrolisis atau menguraikan bahan bioplastik tersebut menjadi molekul lebih sederhana dan menjadi nutrisi bagi mikroorganisme.

BAB III METODE PENELITIAN

A. Subjek dan Objek Penelitian

1. Subjek Penelitian

Subjek penelitian ini adalah selulosa bakteri dari air kelapa, air cucian beras, air rebusan singkong, dan air rebusan ubi jalar.

2. Objek penelitian

Objek penelitian ini adalah sifat mekanik, gugus fungsi, kristalinitas, dan foto permukaan selulosa bakteri.

B. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi jenis media limbah rumah tangga dan kitosan yang ditambahkan.

2. Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah sifat mekanik selulosa bakteri meliputi kuat putus, perpanjangan saat putus, dan modulus *Young*.

C. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. SEM merk JEOL JSM-T300
2. XRD seri Multiflex, Rigaku
3. FTIR merk Shimadzu-8300
4. *Tensile Tester*
5. Bak Fermentasi
6. Timbangan analitik
7. Penyaring
8. Kompor
9. pH-meter
10. Termometer
11. Pengaduk
12. Alumunium foil
13. Alat-alat gelas, yaitu: gelas ukur, gelas kimia, pipet ukur, dan spatula.

Bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Air Kelapa

2. Air
3. Gula pasir/sukrosa
4. Urea
5. *Acetobacter xylinum*
6. Asam Asetat
7. Kitosan
8. Singkong
9. Ubi jalar
10. Beras
11. KBr

D. Prosedur Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dibagi atas dua tahap penelitian, yaitu tahun pertama dilakukan pada tahun pertama dan tahap kedua dilakukan pada tahun kedua proyek Hibah Bersaing. Adapun tahap penelitian pertama adalah sebagai berikut:

- a. Pengumpulan sampel berupa limbah rumah tangga yaitu air rebusan singkong, air rebusan ubi jalar, air kelapa, dan air cucian beras.
- b. Pembuatan selulosa bakteri dari air rebusan singkong dengan penambahan gula pasir, urea, asam cuka menggunakan bakteri *acetobacter xylinum*.
- c. Pembuatan selulosa bakteri dari air rebusan ubi jalar dengan penambahan gula pasir, urea, asam cuka menggunakan bakteri *acetobacter xylinum*.
- d. Pembuatan selulosa bakteri dari air kelapa dengan penambahan gula pasir, urea, asam cuka menggunakan bakteri *acetobacter xylinum*.
- e. Pembuatan selulosa bakteri dari air cucian beras dengan penambahan gula pasir, urea, asam cuka menggunakan bakteri *acetobacter xylinum*.
- f. Karakterisasi selulosa bakteri dari air rebusan singkong, air rebusan ubi jalar, air kelapa, dan air cucian beras dengan penambahan gula pasir, urea, asam cuka menggunakan bakteri *acetobacter xylinum* meliputi analisis kadar air, analisis gugus fungsi dengan FTIR, morfologi permukaan dengan SEM, dan sifat mekanik.
- g. Pembuatan selulosa kitosan bakteri dari air rebusan singkong dengan metode perebusan dan perendaman. Metode perebusan dilakukan dengan penambahan kitosan dilakukan secara bersamaan dengan penambahan gula pasir, urea, asam cuka. Metode perendaman dilakukan dengan cara merendam selulosa bakteri dalam larutan kitosan 0,5%.

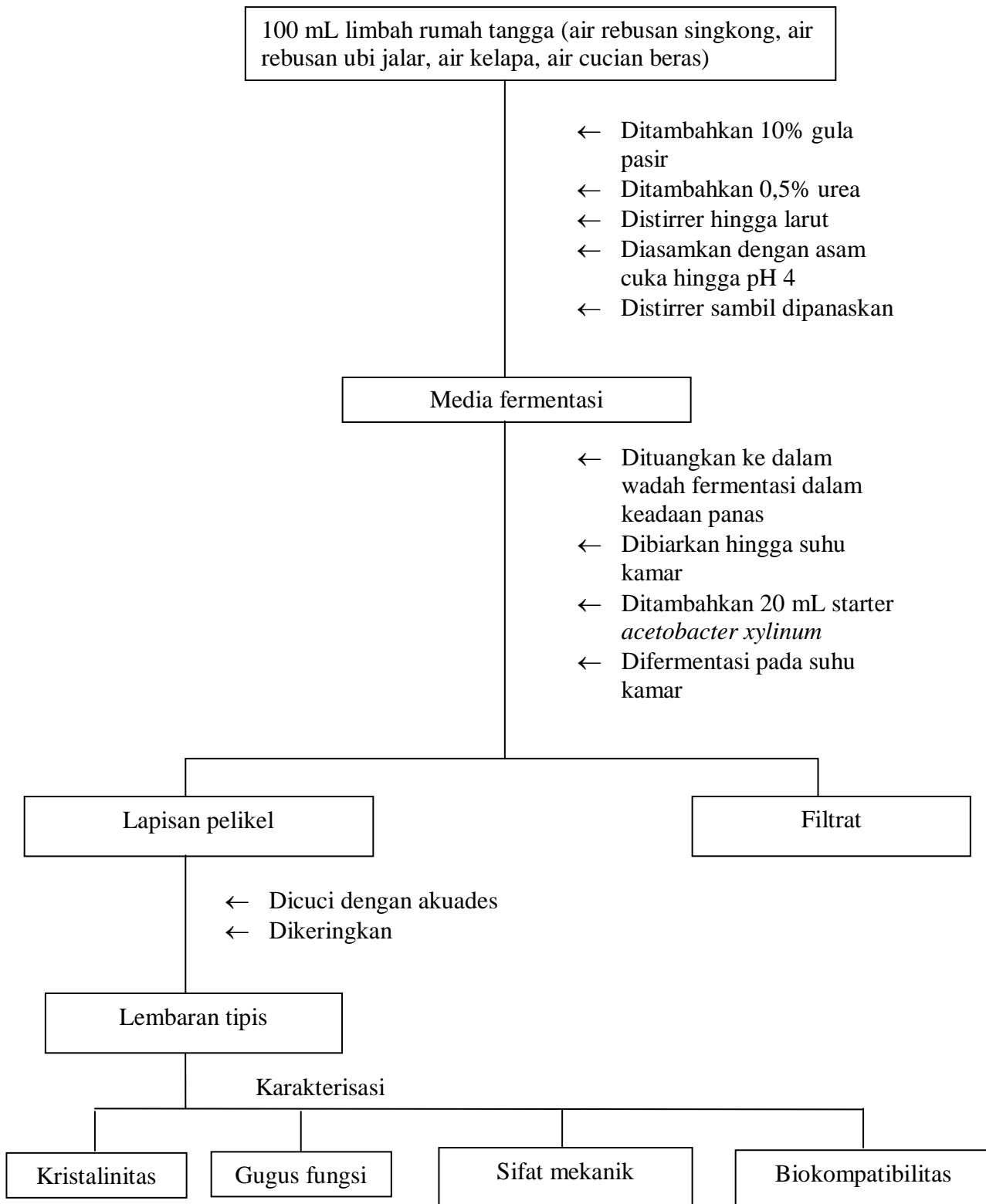
- h. Pembuatan selulosa kitosan bakteri dari air rebusan ubi jalar dengan metode perebusan dan perendaman. Metode perebusan dilakukan dengan penambahan kitosan dilakukan secara bersamaan dengan penambahan gula pasir, urea, asam cuka. Metode perendaman dilakukan dengan cara merendam selulosa bakteri dalam larutan kitosan 0,5%.
- i. Pembuatan selulosa kitosan bakteri dari air cucian beras dengan dengan metode perebusan dan perendaman. Metode perebusan dilakukan dengan penambahan kitosan dilakukan secara bersamaan dengan penambahan gula pasir, urea, asam cuka. Metode perendaman dilakukan dengan cara merendam selulosa bakteri dalam larutan kitosan 0,5%.
- j. Pembuatan selulosa kitosan bakteri dari limbah rumah tangga yaitu air rebusan singkong, air rebusan ubi jalar, air kelapa, dan air cucian beras dengan cara penambahan *pemlastis* berupa gliserol konsentrasi 1, 2, dan 3%.
- k. Karakterisasi sifat fisika dan kimia selulosa kitosan bakteri meliputi: penentuan gugus fungsi dengan IR, sifat mekanik berupa kuat putus, perpanjangan saat putus dan modulus *Young* dengan alat *Tensile Strength*, morfologi permukaan dengan alat SEM, dan kristalinitas dengan alat XRD.

Tahap penelitian yang akan dilakukan pada **tahun kedua** adalah sebagai berikut:

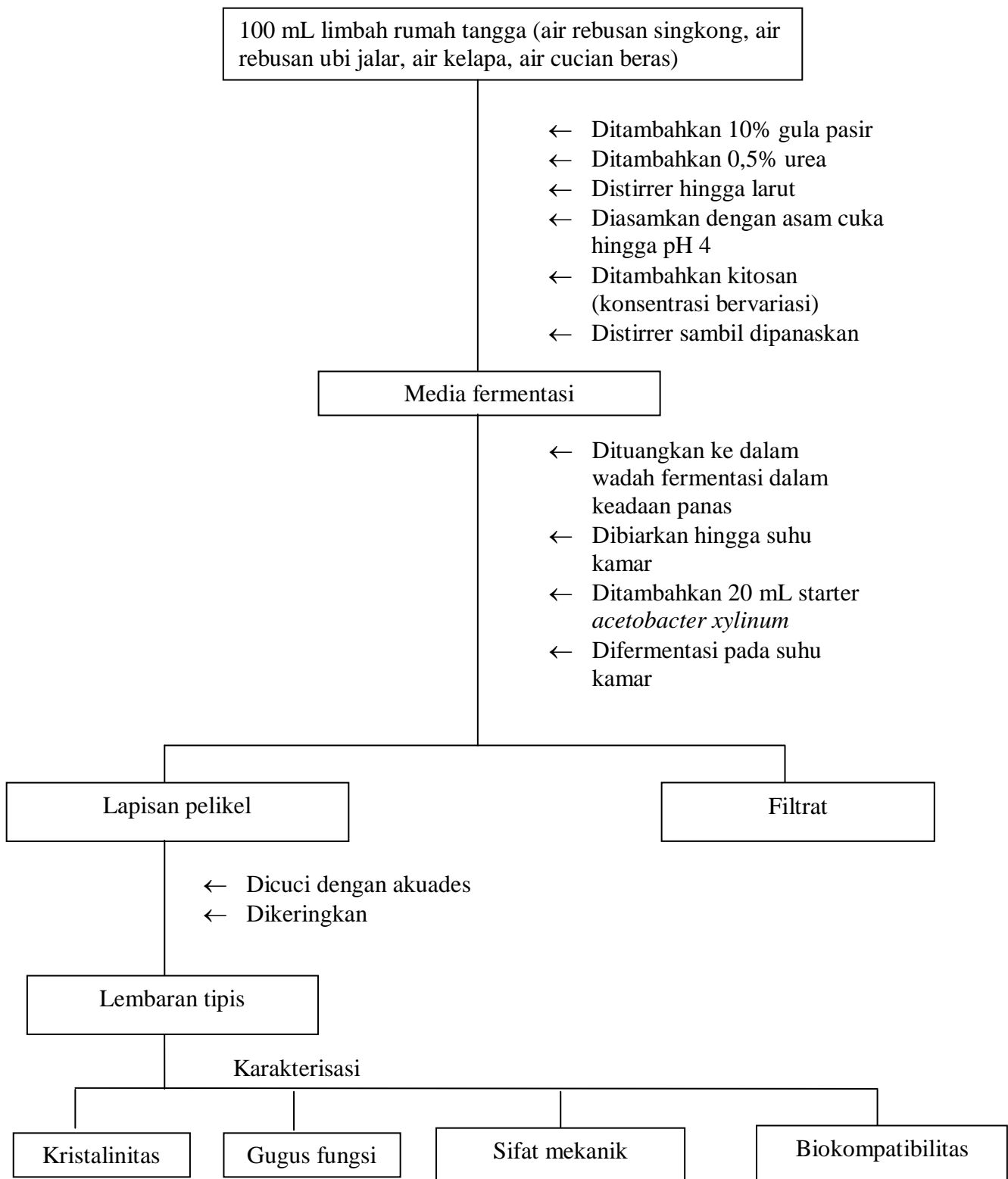
- a. Pembuatan selulosa kitosan bakteri dari nata yang berasal dari limbah rumah tangga dengan penambahan *pemlastis* gliserol yang konsentrasinya divariasikan sehingga dihasilkan material penutup luka yang berkualitas serta uji biokompatibilitasnya
- b. Pembuatan selulosa kitosan bakteri dari nata yang berasal dari limbah rumah tangga dengan penambahan *pemlastis* asam oleat yang konsentrasinya divariasikan sehingga dihasilkan material penutup luka yang berkualitas serta uji biokompatibilitasnya
- c. Pembuatan selulosa kitosan bakteri dari nata yang berasal dari limbah rumah tangga dengan penambahan *pemlastis* gliserol dan asam oleat yang konsentrasinya divariasikan sehingga dihasilkan material penutup luka yang berkualitas serta uji biokompatibilitasnya
- d. Karakterisasi selulosa kitosan bakteri yang sudah diberi *pemlastis* meliputi analisis gugus fungsi dengan FTIR, morfologi permukaan dengan SEM, dan sifat mekanik, serta uji biokompatibilitas meliputi uji regenerasi sel dan uji iritasi serta uji antibakteri.

Metode penelitian diperlihatkan pada Gambar 10. Bagan alir (Gambar 11) menunjukkan ruang lingkup komponen penelitian serta target luaran penelitian.

1. Sintesis Selulosa Bakteri



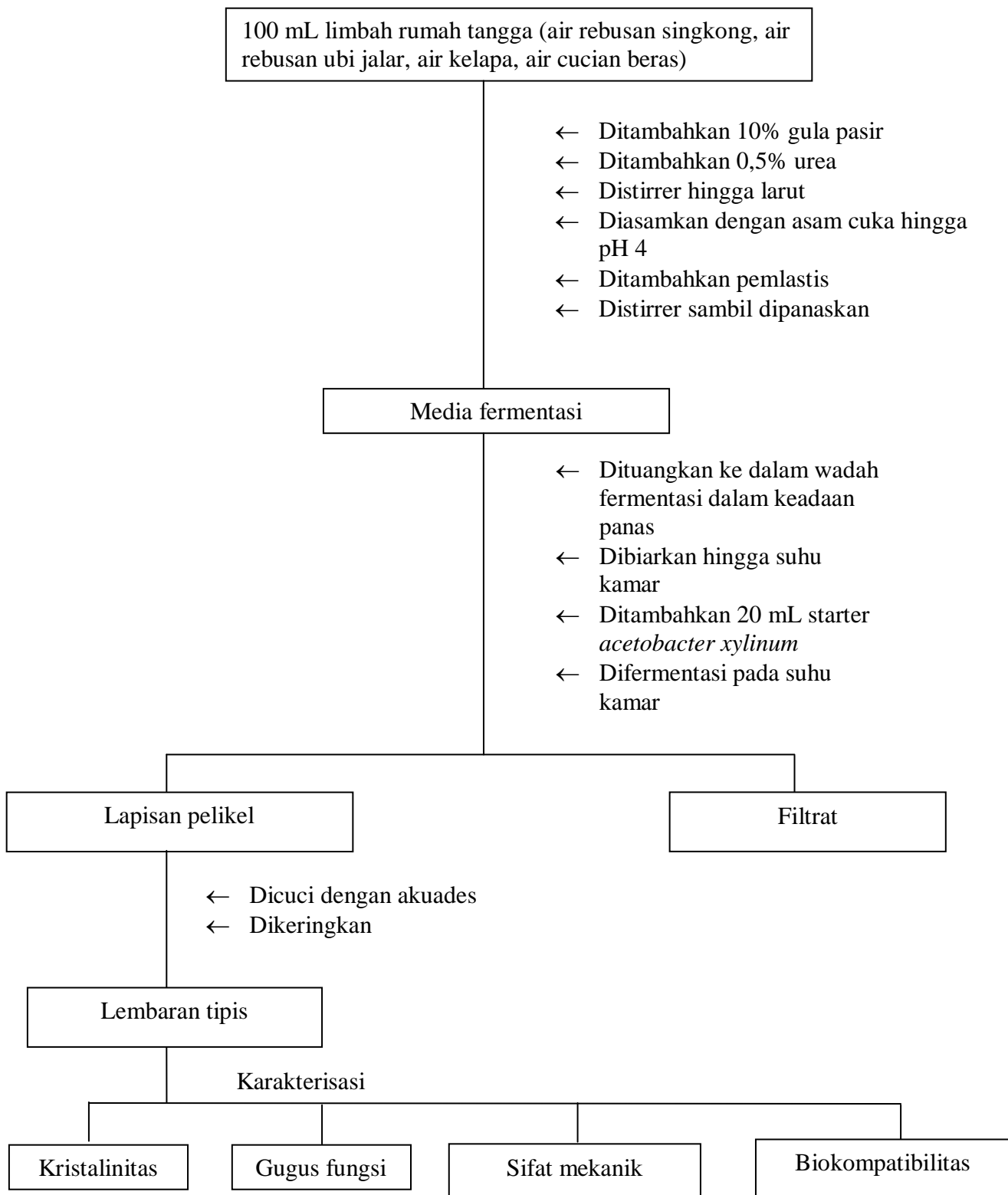
2. Sintesis Selulosa Kitosan Bakteri (Penambahan Kitosan dengan Metode Perebusan)



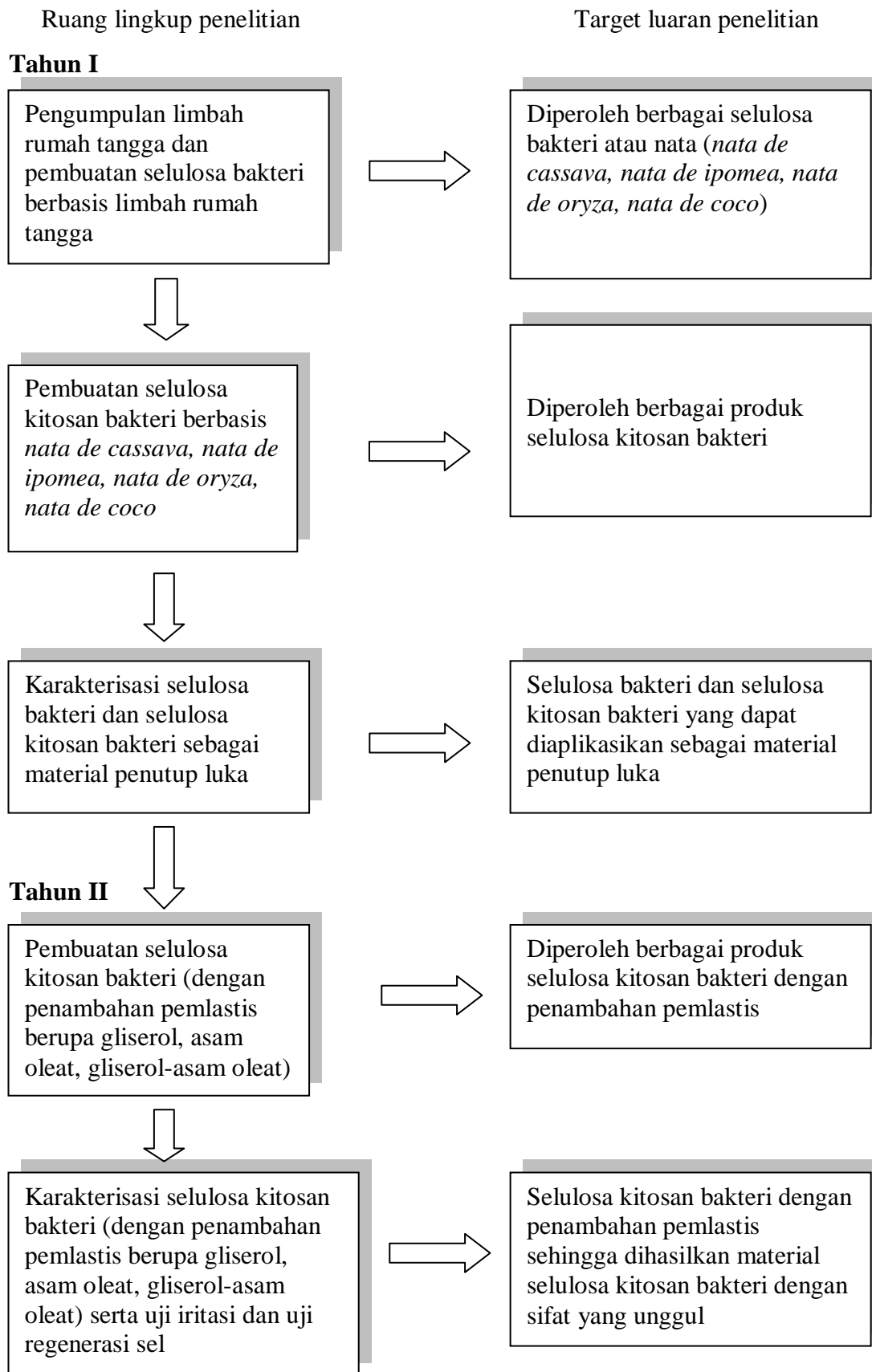
3. Sintesis Selulosa Kitosan (Penambahan Kitosan dengan Metode Perendaman)

Selulosa bakteri direndam dalam larutan kitosan konsentrasi 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; dan 3,0 %. Larutan kitosan dibuat dengan cara melarutkan kitosan dalam pelarut asam asetat 1%.

4. Sintesis Selulosa Kitosan Bakteri dengan Penambahan Pemlastis



Gambar 10. Metode penelitian



Gambar 11. Sistematika penelitian

E. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi analisis sifat mekanik dengan *tensile tester*, analisis gugus fungsi menggunakan FTIR, analisis kiralinitas menggunakan XRD, dan analisis foto permukaan menggunakan SEM.

1. Analisis Sifat Mekanik dengan *Tensile Tester*.

a. Kuat Putus (*Strength at Break*), sesuai dengan persamaan (1).

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

σ = kuat putus bahan polimer (MPa)

F = beban pada saat putus (N)

A = luas penampang (mm²)

b. Perpanjangan Saat Putus (*Elongation at Break*), sesuai dengan persamaan (2).

$$\epsilon = \frac{L_t - L_o}{L_o} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

ϵ = perpanjangan saat putus (%)

L_t = panjang pada saat putus (mm)

L_o = panjang mula-mula (mm)

c. Modulus *Young*, sesuai dengan persamaan (3).

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

E = modulus *Young* (MPa)

σ = kuat putus bahan (MPa)

ϵ = perpanjangan saat putus (%)

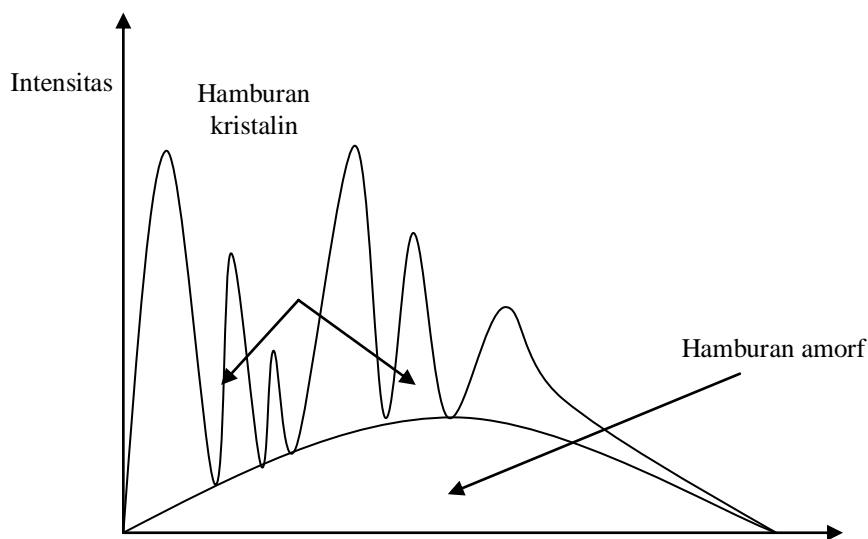
2. Analisis Gugus Fungsi dengan FTIR

Analisis FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi selulosa bakteri tanpa kitosan dan selulosa bakteri dengan penambahan kitosan dan pemlastis. Analisis data dilakukan dengan mengamati puncak-puncak yang muncul pada masing-masing spektrum FTIR tersebut.

3. Analisis Kristalinitas dengan XRD

Analisis XRD dilakukan untuk mengetahui kristalinitas selulosa bakteri dari air kelapa tanpa kitosan dan selulosa bakteri dari air kelapa dengan penambahan kitosan yang memiliki sifat mekanik optimum. Analisis data dilakukan dengan menghitung perbandingan luas daerah kristalin dengan luas daerah total (kristalin dan amorf) sesuai dengan persamaan (4). Gambar 8 menunjukkan contoh difraktogram.

$$X_c (\%) = \frac{\text{Massa daerah kristalin}}{\text{Massa daerah (kristalin + amorf)}} \times 100\% \dots (4)$$



Contoh Difraktogram XRD

4. Analisis Foto Permukaan dengan SEM

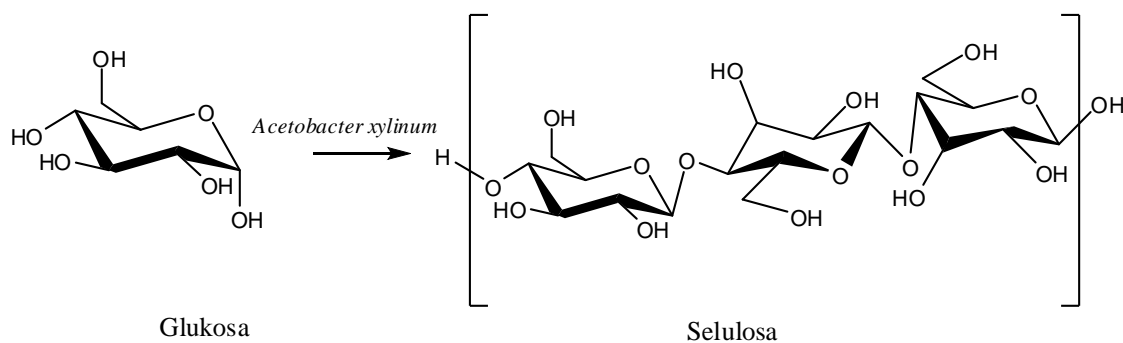
Analisis SEM dilakukan untuk mengetahui foto permukaan selulosa bakteri tanpa kitosan dan selulosa bakteri dengan penambahan kitosan. Analisis data dilakukan dengan mengamati foto permukaan selulosa bakteri hasil analisis SEM.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembuatan Selulosa Bakteri

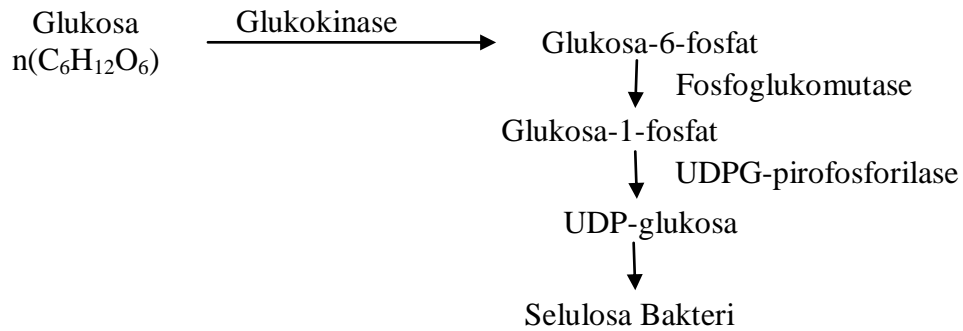
Pembuatan selulosa bakteri diawali dengan mencampurkan gula sebagai sumber karbon, urea sebagai sumber nitrogen, dan asam asetat sebagai pengatur pH ke dalam media limbah rumah tangga (air kelapa, air cucian beras, air rebusan ubi jalar, dan air rebusan singkong) kemudian media tersebut dipanaskan hingga mendidih selama 5 menit. Pemanasan ini merupakan proses sterilisasi yang berfungsi untuk menjaga agar media tersebut tidak terkontaminasi oleh bakteri lain yang tidak diinginkan. Setelah melalui proses pendinginan pada suhu kamar selama 7 jam, kemudian dilakukan penambahan starter (*Acetobacter xylinum*) pada media tersebut. Setelah 5 hari proses fermentasi, terbentuk lapisan berwarna putih di permukaan media yang merupakan selulosa bakteri.

Proses terbentuknya selulosa bakteri melibatkan rangkaian aktivitas bakteri *Acetobacter xylinum* dengan nutrisi yang terdapat dalam media, hal ini ditunjukkan oleh Gambar 12.



Gambar 12. Reaksi pembentukan selulosa bakteri oleh bakteri *Acetobacter xylinum*

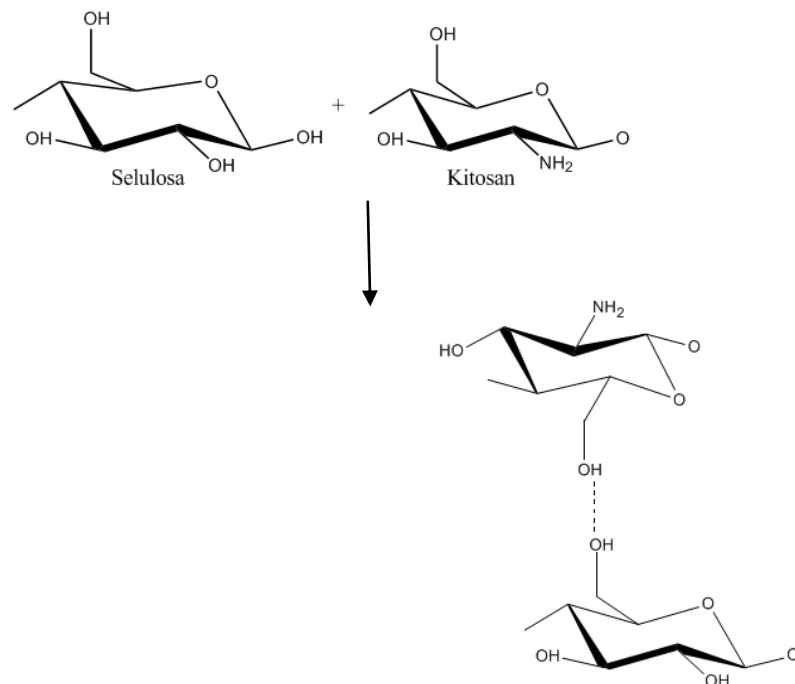
Menurut Ross Peter *et. al.* (1991), selama fermentasi terjadi proses fosforilasi glukosa menjadi glukosa-6-fosfat oleh enzim glukokinase. Isomerisasi glukosa-6-fosfat menjadi glukosa-1-fosfat oleh enzim fosfoglukomutase. Selanjutnya sintesis UDP-glukosa (UDPG) oleh enzim UDPG-pirofosforilase dan pembentukan selulosa oleh enzim selulosa sintase. Adapun langkah-langkah dari proses tersebut ditunjukkan oleh Gambar 13.



Gambar 13. Tahap-tahap pembentukan selulosa bakteri

B. Pembuatan Selulosa-Kitosan Bakteri

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, selulosa-kitosan bakteri menunjukkan kualitas lebih baik dan dapat dikarakterisasi lebih lanjut seandainya kitosan yang ditambahkan ke dalam selulosa bakteri dengan metode perendaman.. Setelah melalui proses pengeringan, selulosa bakteri direndam di dalam kitosan yang telah dilarutkan dalam 100 mL asam asetat 1%. Konsentrasi larutan kitosan yang digunakan adalah 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 dan 3,0% (m/v). Proses perendaman dilakukan selama 6 jam, kemudian selulosa-kitosan bakteri dikeringkan. Dalam proses pembuatan selulosa-kitosan bakteri kemungkinan terjadi interaksi berupa ikatan hidrogen antara gugus OH selulosa bakteri dengan gugus OH kitosan. Adapun mekanisme reaksi dari interaksi tersebut ditunjukkan oleh Gambar 14.



Gambar 14. Interaksi antara selulosa dengan kitosan

Preparasi selulosa-kitosan bakteri dari air cucian beras dilakukan dengan metode perebusan kitosan bersama media. Variasi konsentrasi kitosan yang dipilih pada preparasi selulosa-kitosan bakteri antara lain 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; dan 0,5%. Nata yang dihasilkan seluruhnya memiliki tekstur tebal, kenyal, dan licin kecuali nata dengan penambahan kitosan 0,5% hanya membentuk selaput dan tidak dapat dikarakterisasi lebih lanjut. Nata dengan penambahan kitosan memiliki sisa air keruh berwarna putih kekuningan, sedangkan nata tanpa penambahan kitosan tidak menghasilkan sisa air. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi kitosan mempengaruhi pembentukan selulosa sekaligus berinteraksi dengan selulosa yang telah terbentuk. Muenduen P. dan Nirun J. (2008), konsentrasi kitosan lebih dari 0,75% yang ditambahkan pada proses pembuatan akan menghalangi terbentuknya selulosa.

Konsentrasi kitosan lebih tinggi dapat ditambahkan ke dalam selulosa bakteri dengan cara perendaman (Jaehwan Kim et al., 2011). Cara perendaman tidak menghalangi terbentuknya selulosa bakteri karena proses sintesis glukosa menjadi rantai selulosa telah berakhir.

C. Analisis Sifat Mekanik

Analisis sifat mekanik yang dilakukan berupa kuat putus dan perpanjangan saat putus. Tabel 3 menunjukkan hasil analisis sifat mekanik berupa kuat putus, perpanjangan saat putus, dan modulus *Young* dari selulosa bakteri dan selulosa-kitosan bakteri. Dalam hal ini, perendaman selulosa bakteri dalam larutan kitosan 0,5% memberikan sifat mekanik paling optimum. Hal ini karena selulosa bakteri dengan penambahan kitosan 0,5% memiliki nilai perpanjangan saat putus paling besar dibandingkan perpanjangan saat putus selulosa bakteri dengan penambahan kitosan 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 dan 3,0% (m/v).

Tabel 3. Hasil analisis sifat mekanik selulosa bakteri dari air kelapa tanpa dan dengan penambahan kitosan metode perendaman

No	Jenis Selulosa Bakteri	Kuat Putus (σ) (MPa)	Perpanjangan saat putus (ϵ) (%)	Modulus <i>Young</i> (E) (MPa)
1	Selulosa Bakteri	16,0139	19,5957	81,7215
2	Selulosa-Kitosan 0,5%	17,0954	15,0091	113,9002
3	Selulosa-Kitosan 1,0%	4,3472	7,5425	57,6361
4	Selulosa-Kitosan 1,5%	9,0311	6,9410	130,1124
5	Selulosa-Kitosan 2,0%	6,3014	13,1927	47,7643
6	Selulosa-Kitosan 2,5%	13,6393	10,0251	136,0515
7	Selulosa-Kitosan 3,0%	5,5437	2,1915	252,9637

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa penambahan kitosan 0,5% dapat meningkatkan kuat putus dan menurunkan perpanjangan saat putus dari selulosa bakteri. Kuat putus yang meningkat (tidak signifikan) dan perpanjangan saat putus yang menurun pada konsentrasi larutan kitosan 0,5% dapat disebabkan oleh komposit selulosa - kitosan yang dihasilkan memiliki struktur lebih amorf sebagai akibat dari penambahan kitosan yang memiliki struktur amorf. Hal ini didukung dengan hasil analisis kristalinitas menggunakan XRD, selulosa bakteri tanpa penambahan kitosan bersifat lebih kristalin dibanding selulosa bakteri dengan penambahan kitosan 0,5%.

Penambahan kitosan pada selulosa bakteri mengakibatkan terjadinya ikatan hidrogen antara gugus OH selulosa bakteri dan gugus OH kitosan. Adanya ikatan hidrogen pada selulosa-kitosan bakteri mengakibatkan mobilitas molekuler selulosa-kitosan bakteri berkurang. Pengurangan mobilitas molekuler ini menyebabkan menurunnya perpanjangan saat putus dan meningkatkan kuat putus selulosa-kitosan bakteri.

Tingkat kekakuan selulosa bakteri dapat diketahui melalui penentuan modulus *Young*. Jika nilai modulus *Young* semakin tinggi, maka selulosa bakteri tersebut akan semakin kaku (Eli Rohaeti dan Tutiek Rahayu, 2012). Modulus *Young* dapat ditentukan melalui perbandingan antara nilai kuat putus terhadap perpanjangan saat putus. Berdasarkan Tabel 3, dapat diketahui bahwa nilai modulus *Young* untuk selulosa bakteri adalah sebesar 81,7215 MPa, sedangkan selulosa-kitosan bakteri 0,5% adalah sebesar 113,9002 MPa. Dengan demikian selulosa-kitosan bakteri 0,5% bersifat lebih kaku dibandingkan dengan selulosa-kitosan bakteri. Hal ini menandakan bahwa di dalam selulosa-kitosan bakteri 0,5% terjadi interaksi molekuler yang lebih besar dibanding interaksi molekuler pada selulosa bakteri tanpa penambahan kitosan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa selulosa-kitosan bakteri merupakan bahan yang keras dan kaku dengan perpanjangan saat putus rendah.

Tabel 4 menunjukkan hasil uji sifat mekanik selulosa-kitosan bakteri dari air cucian beras, air rebusan singkong, dan air rebusan ubi jalar tanpa dan dengan penambahan kitosan metode perebusan. Selulosa bakteri dengan penambahan kitosan menunjukkan kemampuan menahan beban dan perpanjangan saat putus beragam.

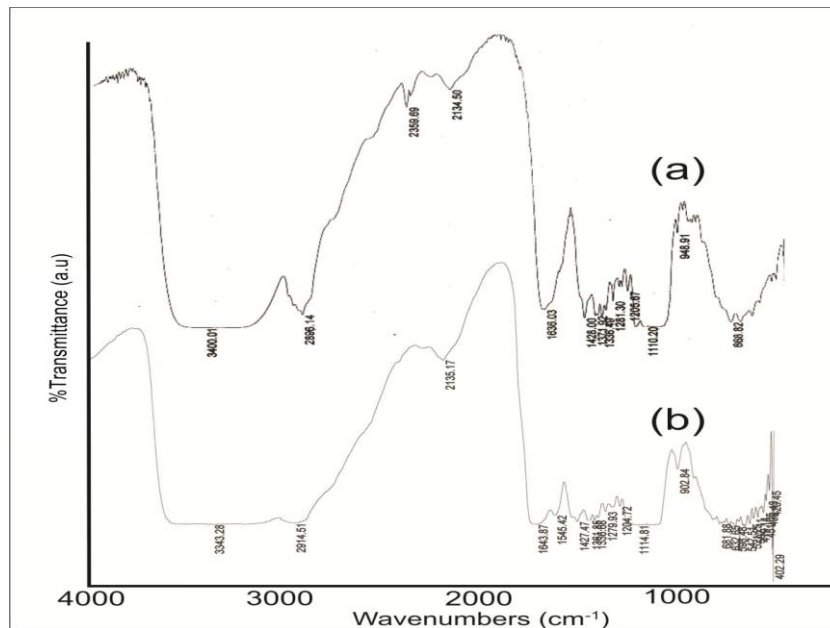
Tabel 4. Hasil analisis sifat mekanik selulosa bakteri dari air cucian beras, air rebusan singkong, dan air rebusan ubi jalar tanpa dan dengan penambahan kitosan metode perebusan

No	Jenis selulosa bakteri	Kuat Putus (σ) (MPa)	Perpanjangan saat putus (ϵ) (%)	Modulus Young (E) (MPa)
1	Selulosa bakteri air cucian beras	16,7832	4,2234	3,9739
2	Selulosa-Kitosan 0,1%	21,7118	7,3150	2,9681
3	Selulosa-Kitosan 0,2%	29,0802	4,4961	6,4679
4	Selulosa-Kitosan 0,3%	47,4993	2,9385	16,1645
5	Selulosa-Kitosan 0,4%	7,3728	2,6440	2,7885
6	Selulosa bakteri air rebusan ubi jalar	1,6029	26,2558	0,2626
7	Selulosa-Kitosan 0,5%	0,8980	25,5614	0,2556
8	Selulosa-Kitosan 1%	1,8744	21,9491	0,2195
9	Selulosa bakteri dari air rebusan singkong	2,7355	42,3777	0,4238
10	Selulosa-Kitosan 0,5%	1,7357	15,4549	0,1546
11	Selulosa-Kitosan 1%	1,4002	9,6479	0,0965

Selulosa-kitosan 0,1% dari air cucian beras menunjukkan perpanjangan saat putus paling tinggi, yaitu 7,3150%. Kuat putus tertinggi dimiliki oleh selulosa-kitosan 0,3%. Selulosa-kitosan 0,3% tersebut dapat menahan beban sebesar 47,4993 MPa. Selulosa bakteri dari air rebusan ubi dan air rebusan singkong menunjukkan perpanjangan saat putus lebih tinggi dibandingkan dengan selulosa bakteri dengan penambahan kitosan. Penambahan kitosan dapat menurunkan perpanjangan saat putus selulosa kitosan bakteri. Dengan demikian penambahan kitosan dapat mempengaruhi sifat mekanik selulosa bakteri. Selulosa-kitosan bakteri dengan perpanjangan saat putus tertinggi dapat dipilih dan diharapkan dapat diaplikasikan dalam bidang medis.

D. Analisis Gugus Fungsi Selulosa-Kitosan Bakteri

Analisis gugus fungsi digunakan untuk mengetahui perbedaan gugus fungsi antara selulosa bakteri dengan selulosa-kitosan bakteri 0,5%. Analisis gugus fungsi ini dilakukan menggunakan spektrofotometer FTIR. Hasil spektrum FTIR kemudian dianalisis secara kualitatif untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam masing-masing selulosa-kitosan bakteri. Gambar 15 menunjukkan spektrum FTIR dari (a) selulosa bakteri dan (b) selulosa-kitosan bakteri 0,5%, sedangkan Tabel 5 menunjukkan hasil interpretasi gugus fungsi spektrum FTIR.



Gambar 15. Spektrum FTIR:

(a) selulosa bakteri dan (b) selulosa-kitosan bakteri 0,5% dari air kelapa

Berdasarkan Gambar 15 dan Tabel 5 dapat diketahui bahwa dalam selulosa bakteri terdapat vibrasi pada bilangan gelombang $3400,01 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya regang O-H alkohol, vibrasi pada bilangan gelombang $1636,01 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya cincin siklis lingkaran enam dari monomer glukosa, vibrasi pada bilangan gelombang $1110,20 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya C-O-C β -1,4-glikosidik, dan vibrasi pada bilangan gelombang $948,91 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya cincin piranosa. Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Eli Rohaeti dan Tutiek Rahayu, dalam penelitian tersebut selulosa bakteri menunjukkan serapan OH ikatan hidrogen pada $3450\text{-}3400 \text{ cm}^{-1}$, serapan cincin aromatik piran pada $1640\text{-}1504 \text{ cm}^{-1}$, dan serapan C-O (ikatan β -glikosidik) pada sekitar 1000 cm^{-1} . Di sisi lain, yaitu pada selulosa-kitosan bakteri 0,5% terdapat vibrasi pada bilangan gelombang $3343,28 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya kombinasi regang N-H amina dan regang O-H alkohol, vibrasi pada bilangan gelombang $1643,87 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya cincin siklis lingkaran enam dari monomer glukosa, vibrasi pada bilangan gelombang $1545,42 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya ikatan N-H amina, vibrasi pada bilangan gelombang $1114,81 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya C-O-C β -1,4-glikosidik, dan vibrasi pada bilangan gelombang $902,84 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya cincin piranosa.

Dengan demikian, terdapat interaksi antara kitosan dengan selulosa bakteri pada selulosa-kitosan bakteri 0,5%. Hal ini dibuktikan dengan adanya puncak pada bilangan gelombang $3343,28 \text{ cm}^{-1}$ dari selulosa-kitosan bakteri 0,5% yang memiliki luas puncak

lebih lebar dibanding luas puncak pada panjang gelombang 3400,01 cm^{-1} dari selulosa bakteri. Perbedaan luas puncak tersebut merupakan akibat dari adanya kombinasi puncak serapan regang N-H amina dan regang O-H alkohol pada bilangan gelombang 3343,28 cm^{-1} sehingga luas puncaknya menjadi lebih lebar dibanding luas puncak pada panjang gelombang 3400,01 cm^{-1} yang menunjukkan serapan regang O-H alkohol saja. Selain itu, bukti adanya interaksi antara kitosan dengan selulosa bakteri pada selulosa-kitosan bakteri 0,5% juga diperkuat dengan adanya puncak serapan N-H amina pada panjang gelombang 1545,42 cm^{-1} .

Tabel 5. Interpretasi gugus fungsi spektrum FTIR selulosa bakteri

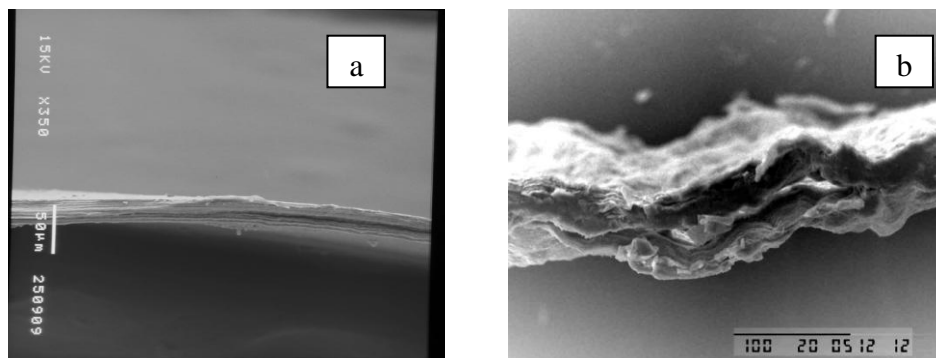
No	Jenis Vibrasi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})
Selulosa Bakteri dari air kelapa		
1	Regang O-H	3400,01
2	Cincin siklis lingkaran 6	1636,03
3	β -1,4-glikosidik	1110,20
4	Cincin piranosa	948,91
Selulosa-Kitosan Bakteri 0,5% dari air kelapa		
1	Kombinasi regang N-H amina dan O-H alkohol	3343,28
2	Cincin siklis dengan 6 anggota	1643,87
3	β -1,4-glikosidik	1114,81
4	Cincin piranosa	902,84
5	Ikatan N-H amina	1545,42
Selulosa-Kitosan Bakteri 0,1% dari air cucian beras		
1	Kombinasi regang N-H amina dan O-H alkohol	3226,45
2	C-H alifatik	2895,51
3	Cincin siklis dengan 6 anggota	1639,35
4	β -1,4-glikosidik	1048,59
5	Ikatan N-H amina	1359,11; 1545,89

Begitu pula dengan analisis gugus fungsi dari spektrum FTIR selulosa-kitosan bakteri 0,5% dari air rebusan ubi dan selulosa-kitosan bakteri 0,5% dari air rebusan singkong (Lampiran 1) menunjukkan adanya interaksi kitosan dengan selulosa bakteri

pada daerah 3393, 1649, 1427, dan 1544 cm^{-1} . Muenduen P. dan Nirun J. (2008) mengungkapkan bahwa serapan gugus amida dari selulosa bakteri dan kitosan akan terlihat pada 1375, 1560, dan 1650 cm^{-1} . Hal tersebut menandakan adanya kitosan dalam struktur selulosa bakteri. Hal sama juga dikemukakan oleh Jaehwan Kim et al. (2011), Tiga serapan pada daerah 1647, 1575, dan 1375 cm^{-1} menunjukkan adanya molekul kitosan dalam selulosa bakteri melalui metode perendaman.

Perbedaan kitosan dan selulosa terdapat pada atom karbon nomor 2 dalam struktur Haworth. Atom C tersebut mengikat $-\text{NH}_2$ pada kitosan dan mengikat $-\text{OH}$ pada selulosa. Salah satu cirri adanya amina seharusnya ada serapan di daerah 3500 – 3100 cm^{-1} dengan 2 puncak untuk amina primer. Serapan amina tidak dapat muncul pada daerah tersebut karena tertutup oleh serapan melebar $-\text{OH}$. Menurut Wu et al. (2004), interaksi antara selulosa dan kitosan mengakibatkan ikatan hidrogen intermolekuler dari selulosa rusak dan membentuk ikatan hidrogen antara selulosa dan kitosan.

E. Analisis Penampang Melintang Selulosa-Kitosan Bakteri



Gambar 16. Foto SEM penampang melintang:
(a) selulosa bakteri dan (b) selulosa-kitosan bakteri 0,5% dari air kelapa

Gambar 16 menunjukkan foto SEM penampang melintang (a) selulosa bakteri dan (b) selulosa-kitosan bakteri 0,5%, dengan perbesaran 350 kali. Berdasarkan Gambar 16 (a) diperoleh informasi bahwa selulosa bakteri terdiri dari benang-benang fibril sehingga dapat membentuk lapisan rapat, sedangkan Gambar 16 (b), menunjukkan bahwa struktur selulosa-kitosan bakteri 0,5% terdiri dari lapisan-lapisan yang tidak begitu rapat dengan ketebalan lebih besar dibandingkan dengan selulosa bakteri.

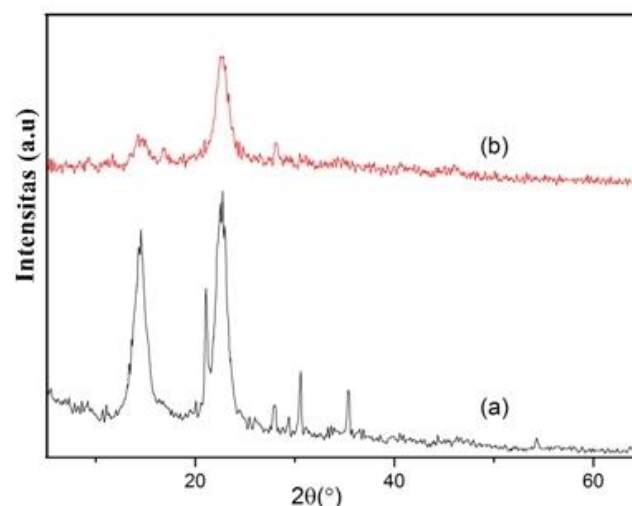
Lapisan selulosa bakteri dari air kelapa memiliki ketebalan sebesar 12,5 μm dan selulosa-kitosan bakteri 0,5% memiliki ketebalan sebesar 76,2 μm , sehingga dapat diketahui bahwa selulosa-kitosan bakteri 0,5% lebih tebal dibandingkan dengan lapisan

selulosa bakteri dari air kelapa. Hal ini terjadi karena interaksi antara kitosan dengan selulosa bakteri sehingga kitosan dapat melapisi permukaan atas dan bawah selulosa bakteri. Bahkan selama proses perendaman larutan kitosan dapat berdifusi melalui rongga-rongga yang terdapat dalam selulosa bakteri dan menghasilkan lapisan di bagian tengah selulosa bakteri.

Kitosan yang melapisi selulosa bakteri dari air cucian beras dengan metode perebusan sangat tipis dengan ketebalan sekitar 11,944 μm . Lapisan selulosa bakteri dari air cucian beras memiliki ketebalan sebesar 104,167 μm dan selulosa-kitosan bakteri 0,1% memiliki ketebalan sebesar 31,944 μm , sehingga dapat diketahui bahwa selulosa-kitosan bakteri 0,1% lebih tipis dibandingkan dengan lapisan selulosa bakteri dari air cucian beras.

Hasil ini diperkuat dengan hasil analisis gugus fungsi selulosa-kitosan bakteri. Spektrum FTIR selulosa-kitosan bakteri menunjukkan puncak serapan karakteristik yang menunjukkan adanya kombinasi regang N-H amina dan regang O-H alkohol, ikatan N-H amina, ikatan C-O-C β -1,4-glikosidik, dan cincin piranosa. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa interaksi berupa ikatan hidrogen ini terjadi pada gugus OH kitosan dan gugus OH selulosa bakteri.

F. Analisis Kristalinitas Selulosa-Kitosan Bakteri



Gambar 17. Difraktogram XRD
(a) selulosa bakteri dan (b) selulosa-kitosan bakteri 0,5% dari air kelapa

Gambar 17 menunjukkan difraktogram (a) selulosa bakteri dan (b) selulosa-kitosan bakteri 0,5% dari air kelapa. Menurut Darmansyah (2010), selulosa bakteri

merupakan suatu material yang memiliki struktur semikristalin, dengan puncak-puncak dominan muncul pada daerah sudut 2θ antara $20^{\circ} - 40^{\circ}$ dari data XRD. Keberadaan selulosa diperkuat oleh difraktogram XRD, menunjukkan adanya fase kristalin 1α dan 1β masing-masing pada 15° dan $22,5^{\circ}$. Sebagaimana diungkapkan oleh Barud et. al (2007) bahwa fase kristalin selulosa 1α dan 1β masing-masing pada bidang 1001α , 1101β , dan 0101β terjadi pada sudut 15° , bidang 1101α dan 2001β pada sudut $22,5^{\circ}$.

Berdasarkan Gambar 17 (a) dan (b), dapat diketahui bahwa puncak di daerah sudut $2\theta = 15^{\circ}$ dan pada daerah antara $20^{\circ} - 40^{\circ}$ pada selulosa bakteri memiliki intensitas lebih tajam dibandingkan dengan intensitas puncak selulosa-kitosan bakteri 0,5%. Kesamaan antara kedua difraktogram tersebut ditemui pada puncak $2\theta = 22^{\circ}$ dengan intensitas tajam pada kedua difraktogram tersebut. Puncak tersebut merupakan karakter khas suatu selulosa. Puncak $2\theta = 14,343^{\circ}$ pada difraktogram selulosa-kitosan menunjukkan intensitas lebih lemah daripada difraktogram selulosa. Susana et al. (2009) mengungkapkan bahwa puncak tajam dari kitosan muncul di daerah 2θ antara $12 - 19^{\circ}$. Dengan demikian berdasarkan Gambar 17 (b) dapat diketahui adanya struktur khas untuk selulosa dan kitosan.

Perbedaan intensitas pada selulosa bakteri dan selulosa-kitosan bakteri 0,5% menunjukkan bahwa selulosa bakteri bersifat lebih kristalin dibandingkan selulosa-kitosan bakteri 0,5%, sehingga menyebabkan terjadinya perbedaan sifat mekanik dari kedua sampel tersebut. Jika dibandingkan dengan selulosa bakteri, selulosa-kitosan bakteri 0,5% merupakan bahan dengan perpanjangan saat putus rendah. Hal tersebut diperkuat dengan perbandingan tingkat kristalinitas dari selulosa bakteri dan selulosa-kitosan bakteri. Selulosa bakteri dari air kelapa memiliki tingkat kristalinitas lebih tinggi, yaitu sebesar 30,43% dibanding tingkat kristalinitas selulosa-kitosan bakteri 0,5%, yaitu sebesar 15,38%. Begitu pula untuk selulosa bakteri dari air cucian beras menunjukkan perubahan kristalinitas setelah penambahan kitosan dengan metode perebusan. Derajat kristalinitas selulosa bakteri tanpa penambahan kitosan adalah 38%, sedangkan selulosa bakteri dari air cucian beras dengan penambahan kitosan 0,1% memiliki kristalinitas sebesar 35%.

Berdasarkan penelitian ini, dapat diketahui bahwa penambahan kitosan dapat menurunkan tingkat kristalinitas selulosa bakteri. Selain itu, selulosa-kitosan bakteri 0,5% memiliki perpanjangan saat putus lebih rendah dibanding selulosa bakteri. Hal ini tentu menjadi kelemahan tersendiri jika selulosa-kitosan bakteri diaplikasikan di dunia

medis. Namun selulosa - kitosan bakteri memiliki biokompatibilitas yang lebih baik dari selulosa bakteri sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan Kim Jaehwan, et al. pada tahun 2010.

G. Pembuatan Selulosa-Kitosan dengan Penambahan Pelmastis dan Karakterisasinya

Berdasarkan penelitian sebelumnya bahwa penambahan kitosan pada preparasi selulosa bakteri menunjukkan *processability* lebih baik apabila dilakukan dengan metode perendaman selulosa bakteri dalam larutan kitosan, maka pada studi penambahan pelmastis pada selulosa-kitosan juga dilakukan penambahan pelmastis dengan metode perebusan dan penambahan kitosan dengan metode perendaman.

Lampiran 2 menunjukkan spektrum FTIR selulosa-kitosan bakteri dari air cucian singkong dan air rebusan ubi jalar dengan penambahan pelmastis gliserol 1,5%. Selulosa-kitosan bakteri tanpa dan dengan penambahan pelmastis menunjukkan spektrum hampir sama. Hal tersebut berarti penambahan pelmastis tidak mempengaruhi gugus fungsi dari selulosa-kitosan. Tabel 6 menunjukkan interpretasi gugus fungsi spektrum FTIR untuk selulosa-kitosan tanpa dan dengan penambahan gliserol.

Selanjutnya hasil analisis sifat mekanik yang dilakukan berupa kuat putus dan perpanjangan saat putus ditunjukkan pada Tabel 7. Analisis mekanik dilakukan terhadap selulosa bakteri yang direndam dalam larutan kitosan dengan konsentrasi divariasikan yaitu 0,5; 1,0; dan 1,5% tanpa dan dengan penambahan gliserol konsentrasi 1,5% pada saat perebusan bersama media limbah rumah tangga dan bahan lainnya. Selulosa bakteri dengan penambahan kitosan 0,5% metode perendaman memiliki nilai perpanjangan saat putus paling besar dibandingkan perpanjangan saat putus selulosa bakteri dengan penambahan kitosan 1,0 dan 1,5% (m/v). Selulosa (dari air rebusan ubi jalar) – kitosan 0,5% tanpa penambahan gliserol sebanyak 1,5% menunjukkan perpanjangan saat putus paling tinggi, yaitu 32,6221%. Penambahan pelmastis sebanyak 1,5% menghasilkan selulosa bakteri dengan nilai perpanjangan saat putus lebih rendah. Dengan demikian penambahan pelmastis gliserol tidak menghasilkan nilai perpanjangan saat putus semakin meningkat dan beberapa menunjukkan modulus *Young* meningkat pula.

Tabel 6. Interpretasi gugus fungsi spektrum FTIR selulosa bakteri

No	Jenis Vibrasi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)
Selulosa - kitosan 0,5% (dari air rebusan ubi jalar)		
1	Kombinasi regang N-H amina dan O-H alkohol	3525,80
2	C-H alifatik	2913,89
3	Cincin siklis lingkaran 6	1647,17
4	Ikatan N-H amina	1557,93; 1426,86
5	β -1,4-glikosidik	1151,59
Selulosa - kitosan 0,5% - gliserol 1,5% (dari air rebusan ubi jalar)		
1	Kombinasi regang N-H amina dan O-H alkohol	3250,88
2	C-H alifatik	2897,75
3	Cincin siklis lingkaran 6	1640,43
4	Ikatan N-H amina	1552,13; 1427,86
5	β -1,4-glikosidik	1155,64
Selulosa - kitosan 0,5% (dari air rebusan singkong)		
1	Kombinasi regang N-H amina dan O-H alkohol	3586,48
2	C-H alifatik	2975,68
3	Cincin siklis lingkaran 6	1697,13
Selulosa - kitosan 0,5% - gliserol 1,5% (dari air rebusan singkong)		
1	Kombinasi regang N-H amina dan O-H alkohol	3622,79
2	C-H alifatik	2918,85
3	C = O	1700,42

Penambahan pemlastis menghasilkan selulosa dengan sifat mekanik lebih kaku. Hal tersebut dapat disebabkan konsentrasi pemlastis yang ditambahkan terlalu tinggi sehingga memungkinkan terjadi interaksi berupa ikatan hidrogen antara –OH gliserol dengan –OH selulosa ataupun dengan –NH kitosan.

Tabel 7. Hasil analisis sifat mekanik selulosa-kitosan dari air rebusan ubi jalar dan air rebusan singkong tanpa dan dengan penambahan gliserol 1,5%

No	Jenis Selulosa	Kuat Putus (σ) (MPa)	Perpanjangan saat putus (ϵ) (%)	Modulus Young (E) (MPa)
1	Selulosa dari air rebusan ubi jalar	20,6188	27,6909	74,4606
2	Selulosa-Kitosan 0,5%	9,6789	32,6221	29,6698
3	Selulosa-Kitosan 1,0%	11,7915	24,9801	47,2036
4	Selulosa-Kitosan 1,5%	6,6132	23,5182	28,1195
5	Selulosa-Gli-Kit 0,5%	4,9116	16,6290	29,5364
6	Selulosa-Gli-Kit 1,0%	7,4081	27,0523	27,3844
7	Selulosa-Gli-Kit 1,5%	12,7303	16,7052	76,2056
8	Selulosa dari air rebusan singkong	3,8462	10,8789	35,3547
9	Selulosa-Kitosan 0,5%	11,5234	14,9830	76,9098
10	Selulosa-Kitosan 1,0%	13,5137	8,4059	160,7645
11	Selulosa-Kitosan 1,5%	14,5634	13,4703	108,1149
12	Selulosa-Gli-Kit 0,5%	8,7826	3,6895	238,0431
13	Selulosa-Gli-Kit 1,0%	9,9507	6,2218	159,9328
14	Selulosa-Gli-Kit 1,5%	10,7657	4,6962	229,2428

Sampel 1 - 7 dari air rebusan ubi jalar

Sampel 8 – 14 dari air rebusan singkong

H. Hasil Preparasi Selulosa Bakteri dari Ubi Jalar dengan Penambahan Pemlastis Gliserol

Berdasarkan proses preparasi selulosa dari ubi jalar, diketahui bahwa terdapat hal-hal yang penting diperhatikan agar dapat menghasilkan massa yang sempurna, kokoh, kenyal, tebal, putih dan tembus pandang (transparan). Hal-hal tersebut adalah komposisi bahan dan pemerataan bahan, pH medium, serta suhu inkubasi, dan waktu fermentasi. Komposisi bahan harus sesuai, terutama glukosa karena berfungsi sebagai bahan terbentuknya polimer selulosa yang dibentuk oleh *Acetobacter xylinum*. Apabila glukosa yang ditambahkan terlalu sedikit, maka bakteri akan sulit hidup serta berkembang biak sehingga selulosa tidak dapat terbentuk. Pencampuran bahan harus merata terutama agar bahan pemlastis dapat terdispersi pada molekul polimer secara merata. Bakteri *Acetobacter xylinum* tumbuh baik dalam media yang memiliki pH 3-4. Jika pH lebih dari empat atau kurang dari tiga, proses fermentasi tidak bisa berjalan sempurna. Oleh karena itu penambahan asam cuka 25% dalam preparasi selulosa penting diperhatikan. Suhu optimum untuk pertumbuhan *Acetobacter xylinum* adalah

26-27°C. Suhu yang dingin atau terlalu panas dapat menyebabkan fermentasi tidak dapat berlangsung karena bakteri tidak dapat bertahan hidup.

Proses pembentukan selulosa bakteri *nata de ipomoea* dapat dijelaskan bahwa sel *Acetobacter xylinum* mengambil glukosa dari larutan glukosa dan air ubi jalar kemudian digabungkan dengan asam lemak membentuk *precursor* (penciri nata). Pada membran sel *precursor* ini selanjutnya dikeluarkan dalam bentuk ekskresi dan bersama-sama dengan enzim mempolimerasikan glukosa menjadi selulosa di luar sel. Selulosa yang terbentuk di luar sel diduga berasal dari pelepasan lendir *Acetobacter xylinum* yang merupakan hasil sekresi proses metabolisme gula yang ditambahkan pada air ubi jalar dan berfungsi sebagai bahan perangsang aktivitas bakteri *Acetobacter xylinum* akan membentuk nata pada permukaan medium tempat hidupnya. Bakteri itu sendiri terperangkap di dalam massa fibril yang dibuatnya.

Film selulosa bakteri dibuat dari air rebusan ubi jalar. Pembuatan film dilakukan dengan mengeringkan *nata de ipomoea* di bawah sinar matahari selama beberapa hari. Pada proses pengeringan tersebut, molekul air yang terikat pada lapisan nata akan menguap, sehingga tersisa lapisan selaput nata. Selaput tersebut merupakan film selulosa bakteri.

Hasil pengamatan pada film selulosa bakteri *nata de ipomoea* menunjukkan data kualitatif yang hampir sama. Selulosa bakteri dengan penambahan 1 % gliserol menghasilkan lembaran yang luwes namun paling kaku bila dibandingkan dengan dua selulosa bakteri lainnya. Lembaran produk dengan penambahan gliserol tersebut juga tipis namun paling tebal bila dibandingkan dengan dua selulosa bakteri lainnya. Pada film selulosa bakteri *nata de ipomoea* dengan penambahan 2 % gliserol menghasilkan lembaran yang lebih luwes, dan lebih tipis dibandingkan selulosa bakteri pertama, sedangkan film selulosa bakteri *nata de ipomoea* penambahan 3 % gliserol, menghasilkan film yang paling luwes dan paling tipis dibandingkan dengan selulosa bakteri pertama dan kedua. Hal tersebut menunjukkan bahwa gliserol sebagai bahan pemlastis telah memberikan pengaruh kelenturan pada film selulosa bakteri yang dihasilkan. Semakin banyak gliserol yang ditambahkan, semakin lentur film selulosa bakteri yang dihasilkan.

Warna dari ketiga lembaran selulosa bakteri *nata de ipomoea* cenderung sama yakni jernih-kekuningan, namun intensitas warna kuning pada ketiga selulosa bakteri berbeda. Lembaran selulosa bakteri *nata de ipomoea* penambahan 1 % gliserol memiliki intensitas warna kuning paling tinggi dibandingkan selulosa bakteri penambahan 2 %

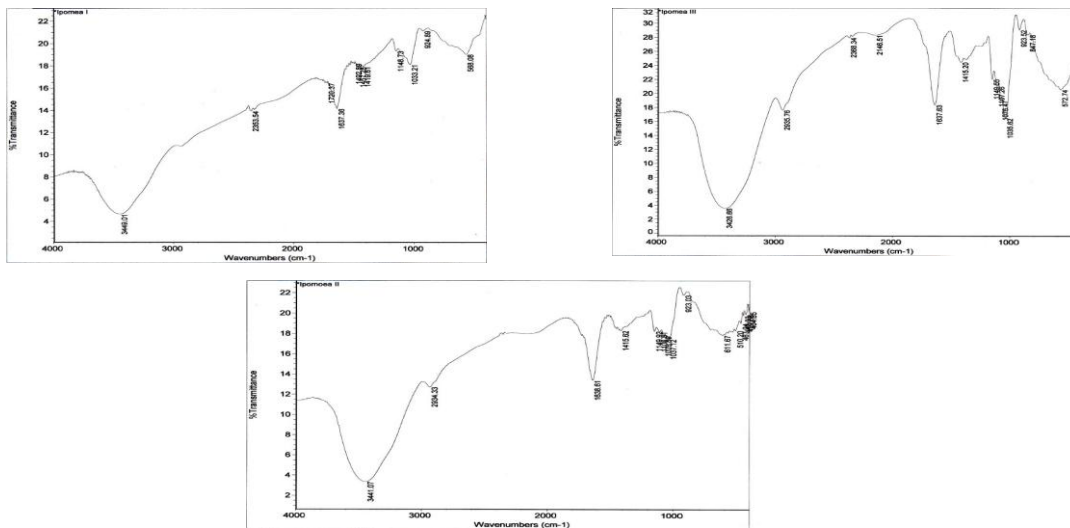
gliserol dan 3 % gliserol. Pada selulosa bakteri *nata de ipomoea* penambahan 3 % gliserol memiliki intensitas warna kuning yang paling rendah dibandingkan lainnya.

Ketiga lembaran selulosa bakteri *nata de ipomoea* yang dihasilkan transparan, berbeda dengan sebelumnya ketika masih berupa nata ada yang transparan dan ada yang tidak. Film selulosa bakteri *nata de ipomoea* tidak memiliki kadar air yang tinggi seperti pada *nata de ipomoea*, sehingga hal tersebut memberikan sifat transparan pada film selulosa bakteri yang dihasilkan. Sifat transparan dari ketiga film selulosa bakteri *nata de ipomoea* berbeda. Urutan sifat transparan film selulosa bakteri *nata de ipomoea* dari paling transparan ke kurang transparan adalah, *nata de ipomoea* penambahan 3 % gliserol > 2 % gliserol > 1 % gliserol.

Tekstur dari ketiga film selulosa bakteri *nata de ipomoea* memiliki permukaan yang lembab dan tidak bisa kering disebabkan selulosa bakteri tersebut memiliki sifat higroskopis.

Karakterisasi Film Selulosa bakteri

Spektrum FT-IR film selulosa bakteri dari ubi jalar yang dihasilkan ditunjukkan oleh Gambar 18. Berdasarkan analisis korelasi gugus fungsional dengan frekuensi pada spektra FT-IR, diketahui informasi gugus fungsional atau jenis ikatan yang terdapat dalam matriks film *selulosa bakteri nata de ipomoea* yaitu ditunjukkan pada Tabel 8. Data absorbansi yang didapatkan ditunjukkan pada Tabel 9.



Gambar 18. Spektrum FTIR selulosa bakteri dengan penambahan 1, 2, 3 % gliserol

Berdasarkan Gambar 18 terlihat bahwa penambahan gliserol dengan konsentrasi bervariasi tidak mempengaruhi jenis gugus fungsi yang dihasilkan. Gugus O-H pada sampel dengan penambahan 1 ; 2 ; 3 % gliserol menunjukkan puncak lebar dan kuat

pada posisi masing-masing 3449,01; 3441,07; 3426,66 cm^{-1} , dengan demikian dapat dipastikan matriks ketiga sampel film selulosa bakteri dari ubi jalar memiliki gugus –OH berikatan hidrogen.

Tabel 8 Gugus fungsi selulosa bakteri dari ubi jalar

Sampel selulosa bakteri	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsi
Penambahan 1 gram	3449,01	O-H ikatan hidrogen
	1637,36	Cincin aromatik
	1033,21	C-O
Penambahan 2 gram	3441,07	O-H ikatan hidrogen
	1638,61	Cincin aromatik
	1037,12	C-O
Penambahan 3 gram	3426,66	O-H ikatan hidrogen
	1637,63	Cincin aromatik
	1035,62	C-O

Ikatan hidrogen pada matriks film *selulosa bakteri nata de ipomoea* berasal dari interaksi antarmolekul selulosa itu sendiri dan interaksi molekul selulosa dengan gliserol. Ikatan hidrogen merupakan gaya tarik dipol-dipol yang khusus di antara atom hidrogen pada suatu ikatan polar, salah satunya pada O-H. Atom O sangat elektronegatif dan atom H memiliki muatan parsial positif. Sisi positif akan saling tarik menarik dengan atom O yang elektronegatif. Ukuran atom H sangat kecil, maka jaraknya akan sangat dekat dengan atom O. Akibatnya akan terjadi gaya tarik-menarik yang sangat kuat yakni ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen lebih kuat dari gaya Van der Waals. Semakin banyak ikatan hidrogen yang dimiliki, maka struktur yang dibentuk antarmolekul akan semakin kuat.

Banyaknya ikatan hidrogen pada masing-masing sampel dapat dibandingkan dengan membandingkan nilai absorbansi O-H tiap sampel. Hasil analisis penentuan absorbansi berdasarkan intensitas sinar masuk (I_0) dan sinar keluar (I) menghasilkan informasi, bahwa absorbansi ikatan hidrogen O-H film selulosa bakteri nata de ipomoea penambahan 1 gram; 2 gram; 3 gram gliserol berturut-turut adalah 0,312; 0,576; 0,719.

Tabel 9 Hasil analisis kuantitatif spektrum FTIR selulosa bakteri dari ubi jalar

Gugus Fungsi	Sampel selulosa bakteri dengan penambahan gliserol			
	Nilai	1 gram	2 gram	3 gram
O-H Ikatan hidrogen	I _o	9,75	17,75	21,00
	I	4,5	14,00	18,25
	A	0,335	0,576	0,719
Cincin aromatik	I _o	12,25	19,75	21,75
	I	3,25	13,50	17,50
	A	0,103	0,165	0,208
C-O	I _o	21,00	21,50	30,00
	I	18,00	17,00	16,25
	A	0,066	0,101	0,266

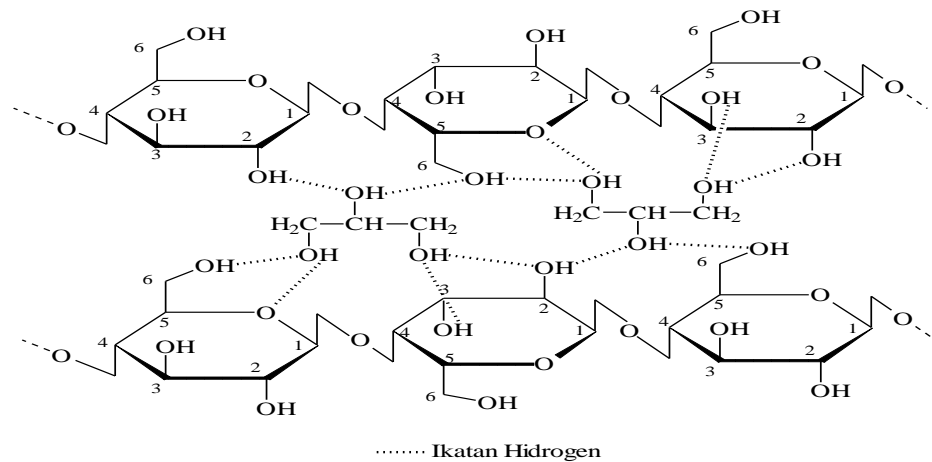
Berdasarkan informasi tersebut dapat diperkirakan urutan kuat ikatan dalam matriks film selulosa bakteri *nata de ipomoea* yakni penambahan 3 % gliserol > 2 % gliserol > 1 % gliserol. Hal tersebut dapat dijelaskan bahwa semakin banyak gliserol yang ditambahkan, interaksi ikatan hidrogen antara molekul selulosa dengan gliserol juga semakin banyak. Interaksi ikatan hidrogen yang terdapat dalam matriks film selulosa bakteri ditunjukkan oleh Gambar 19.

Posisi ikatan tunggal C-O pada film selulosa bakteri *nata de ipomoea* penambahan 1 gram; 2 gram; 3 gram gliserol berturut-turut adalah 1033,31; 1037,12; 1035,62 cm⁻¹. Ikatan tunggal C-O pada molekul selulosa bakteri terdapat pada atom C₁, C₄, dan C₅. Ikatan tunggal C-O yang terletak pada atom C₅ berada pada struktur cincin selulosa. Ikatan tunggal C-O atom C₄ terdiri dari dua macam, yakni ikatan C-O dalam cincin selulosa dan ikatan C-O yang menghubungkan antarmolekul selulosa atau membentuk rantai selulosa, sehingga menyerupai suatu jembatan oksida yang berhubungan dengan atom C₄ suatu selulosa dengan atom C₁ selulosa lain pada posisi β dan disebut sebagai ikatan β-1,4-glikosida. Ikatan tunggal C-O pada atom C₁ hanya ada satu yakni menghubungkan antarmolekul selulosa. (Gambar 19)

Nilai absorbansi ikatan tunggal C-O film selulosa bakteri dari rebusan ubi jalar penambahan 1; 2; dan 3 % gliserol berturut-turut adalah 0,066; 0,101; 0,266 maka dapat diperkirakan kekuatan matriks selulosa bakteri penambahan 3 % gliserol > 2 % gliserol > 1 % gliserol.

Data nilai uji tarik menunjukkan sifat kuat tarik tertinggi dimiliki film *selulosa bakteri* penambahan 1 gram gliserol dengan kuat tarik rata-rata sebesar 13,9674 MPa (Tabel 10). Film *nata de ipomoea* penambahan 2 gram gliserol memiliki kuat tarik rata-rata 10,4774 MPa, sedangkan kuat tarik rata-rata terendah yakni 9,9356 MPa dimiliki film *nata de ipomoea* penambahan 3 gram gliserol. Meningkatnya jumlah gliserol yang ditambahkan, ternyata menurunkan sifat mekanik film selulosa bakteri.

Penurunan kuat tarik tersebut juga dapat dijelaskan, bahwa pada penambahan 1 gram pemlastis gliserol terjadi dispersi dan interaksi pemlastis dengan struktur cincin selulosa melalui ikatan hidrogen, tanpa interaksi pemlastis dengan rantai selulosa (ikatan glikosida). Peristiwa tersebut mengakibatkan cincin selulosa tidak banyak bergerak karena terdapat sedikit halangan sterik, sehingga ikatan rantai menjadi kuat. Interaksi molekul selulosa dengan gliserol ditunjukkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Ikatan hidrogen antara gliserol dengan selulosa bakteri

Penambahan 2 dan 3 gram pemlastis gliserol mengakibatkan pemlastis terdispersi dan berinteraksi pula dengan rantai selulosa, halangan sterik meningkat sehingga ikatan rantai menurun dan mengakibatkan kuat ikatan antarmolekul selulosa mudah terputus, akibatnya matriks akan mudah patah.

Hasil penentuan nilai kemuluran (Tabel 10) memberikan informasi bahwa rata-rata kemuluran tertinggi adalah 38,1249% yang dimiliki sampel selulosa bakteri penambahan 1 gram gliserol, diikuti dengan selulosa bakteri penambahan 2

gram gliserol dengan kemuluran 32,8655%, dan kemuluran paling rendah 30,3971% dimiliki oleh selulosa bakteri penambahan 3 gram gliserol. Pola penurunan kemuluran sama dengan penurunan kuat tarik, semakin banyak gliserol yang ditambahkan menunjukkan sifat kemuluran yang semakin rendah.

Tabel 10. Sifat mekanik selulosa bakteri dari ubi jalar dengan penambahan gliserol

No	Sampel dengan penambahan	Kuat tarik (MPa)	Kemuluran (%)
1	1 % gliserol	13,9479	38,1249
2	2 % gliserol	10,4774	32,8655
3	3 % gliserol	9,9356	30,3971

Kemuluran suatu film selulosa bakteri tergantung pada keberadaan gugus atau ikatan luwes, yakni yang mengandung atom oksigen. Semakin banyak atom luwes yang terdapat pada matriks, maka akan meningkatkan sifat kemulurannya. Berdasarkan hasil uji FT-IR telah diketahui bahwa terdapat atom oksigen pada film selulosa bakteri dari air rebusan ubi jalar berupa ikatan O-H dan ikatan tunggal C-O (ikatan glikosida). Kadar ikatan-ikatan tersebut semakin meningkat seiring dengan meningkatnya penambahan pemlastis gliserol, dan seharusnya diiringi pula dengan peningkatan kemuluran. Hasil uji mekanik tidak menunjukkan demikian, akan tetapi sebaliknya bahwa kemuluran menurun pada peningkatan penambahan pemlastis gliserol. Peristiwa tersebut dapat dijelaskan bahwa pada penambahan 1 % gliserol terjadi dispersi dan interaksi gliserol dengan cincin selulosa berupa ikatan hidrogen, dan ikatan tunggal C-O (ikatan glikosida) tidak mengalami interaksi dengan gliserol. Kondisi demikian membuat cincin selulosa sulit bergerak dan ikatan glikosida berada dalam keadaan kuat, apabila dikenakan beban tarikan maka ikatan glikosida akan lebih kuat menjaga rantai selulosa agar tidak putus, sehingga menghasilkan nilai kemuluran yang tinggi.

Pada penambahan 2 dan 3 % gliserol, dispersi dan interaksi pemlastis gliserol tidak hanya terjadi pada cincin selulosa namun juga terjadi dengan rantai ikatan glikosida. Halangan sterik yang terjadi semakin tinggi. Keadaan demikian membuat ikatan glikosida yang menghubungkan antarmolekul selulosa (rantai selulosa) melemah, sebab pada rantai selulosa terjadi pula ikatan hidrogen, apabila

dikenakan beban tarikan maka ikatan glikosida tidak dapat menjaga kuat rantai selulosa dan menghasilkan nilai kemuluran yang rendah.

Dengan demikian selulosa bakteri dengan penambahan pemlastis gliserol memiliki sifat mekanik paling baik pada penambahan 1 % gliserol yakni kuat tarik 13,947 MPa dan kemuluran 38,1249%. Jumlah interaksi yang banyak antarmolekul penyusun belum tentu memberikan sifat mekanik yang paling baik sebab terdapat kondisi optimum dimana interaksi molekul dapat memberikan sifat mekanik paling baik. Penelitian ini memberikan hasil kemuluran yang lebih baik dibandingkan film pati ubi kayu dengan gliserol dan serbuk kayu dengan hasil nilai kemuluran 30% penelitian sebelumnya.

Hasil analisis spektrum FT-IR film selulosa bakteri menunjukkan bahwa pada tiap sampel film selulosa bakteri terdapat O-H ikatan hidrogen, dan C-O ikatan tunggal (ikatan β -1,4-glikosida). Absorbansi infra merah tiap jenis ikatan dalam tiap sampel meningkat seiring meningkatnya penambahan gliserol. Hasil uji mekanik menunjukkan terjadi penurunan nilai kuat tarik dan nilai kemuluran pada setiap sampel, seiring dengan meningkatnya penambahan gliserol. Sifat mekanik paling baik dihasilkan pada film selulosa bakteri penambahan 1 gram gliserol dengan kuat tarik sebesar 13,9479 MPa dan kemuluran 38,1249%. Sifat mekanik dipengaruhi oleh keberadaan jenis ikatan dan jumlah interaksi komponen penyusun pada selulosa bakteri tersebut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. jenis medium (limbah rumah tangga) yang digunakan pada proses preparasi selulosa bakteri berpengaruh terhadap keberhasilan pembentukan selulosa bakteri oleh *Acetobacter xylinum*. Semua jenis limbah rumah tangga dapat digunakan sebagai media untuk pertumbuhan *Acetobacter xylinum* dalam membentuk selulosa.
2. metode penambahan dan konsentrasi kitosan pada preparasi selulosa bakteri berpengaruh terhadap keberhasilan pembentukan biomaterial selulosa kitosan bakteri. Metode perendaman memungkinkan penambahan kitosan dengan konsentrasi lebih tinggi dibandingkan metode perebusan.
3. penambahan kitosan berpengaruh terhadap sifat-sifat material selulosa bakteri yang dihasilkan. Penambahan kitosan dapat menurunkan kristalinitas dan sifat mekanik selulosa bakteri yang dihasilkan.
4. penambahan pemlastis dapat menurunkan perpanjangan saat putus material selulosa bakteri yang dihasilkan.

Hal-hal yang perlu disarankan untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian dengan melakukan penambahan zat aditif berupa pemlastis konsentrasi lebih rendah dari 1,5% sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik khususnya perpanjangan saat putus selulosa-kitosan bakteri.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan melakukan penambahan pemlastis campuran (2 jenis pemlastis) konsentrasi rendah yang dapat meningkatkan sifat mekanik khususnya perpanjangan saat putus selulosa-kitosan bakteri.
3. Perlu dilakukan uji biokompatibilitas berupa uji regenerasi sel dan uji iritasi serta antibakteri untuk mengetahui pengaruh penambahan kitosan terhadap biokompatibilitas.

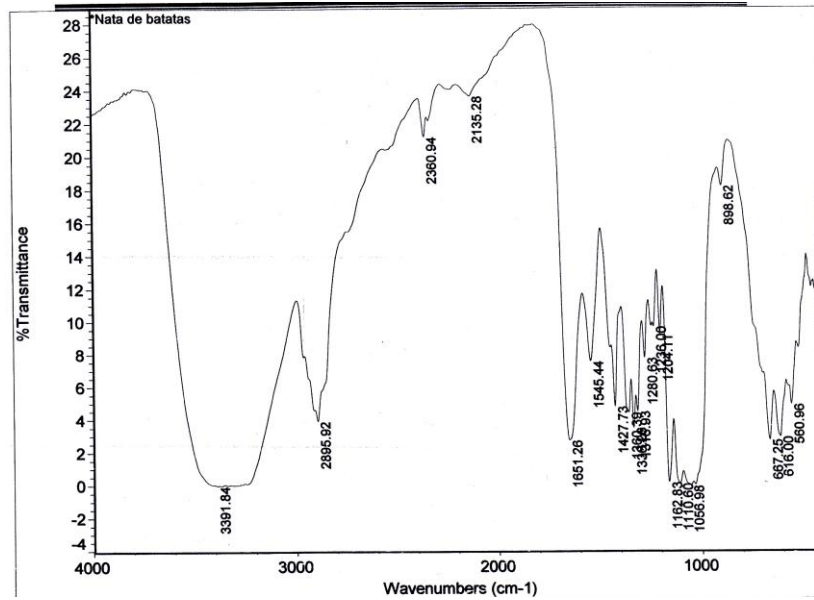
DAFTAR PUSTAKA

- Aton Yulianto, M. Kudo, T. Masuko. 2000. The Morphology and Physical Properties of Selulosa bakteri Gel. *Proceeding The Second International Workshop on Green Polymers*. Indonesia:Indonesian Polymer Association.
- Austin, 1985. *Shreve's Chemical Process Industries*. Tokyo:Mc Graw-Hill Book Co
- Averous, Luc. 2004. Biodegradable Multiphase Systems Based on Plasticized Starch : A Review. *Journal of Macromolecular Science*, United Kingdom.
- Bakri Rosidi, Arief Budhiono, Suryati, Andoyo Sugiharto, and M. Iguchi.. 2000. Production of Selulosa bakteri from Fruit Waste Materials. *Proceeding The Second International Workshop on Green Polymers*. Indonesia:Indonesian Polymer Association.
- Barud, H.S., C. A. Ribeiro, Marisa S. Crespi, M. A. U. Martines, J. Dexpert-Ghy, R. F. C. Marques, Y. Messadde1 and S. J. L. Ribeiro. 2007. Thermal Characterization of Selulosa bakteri-Phosphate Composite Membrane. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **Vol 87 (3)**, 815-818.
- Bhat, S.G. 1990. *Oleic Acid a Value Added Product from Palm Oil*. The Conference Chemistry Technology. PORIM. Kuala Lumpur.
- Carpenter, L.P. 1972. *Microbiology. Third Edition*. W.B. Sauders Company. Philadelphia-London-Toronto.
- Ciechanska, D. 2004. *Multifungsional Selulosa bakteri/Chitosan Composite Materials for Medical Applications*. Fibres & Textiles in Eastern Europe.
- Czaja, W.K., D.J. Young, M. Kaweck, and R. M. Brown. 2007. Reviews:The Future Prospects of Microbial Cellulose in Biomedical Applications. *Biomacromolecules*, **Volume 8**, No. 1., 1 – 12.
- Darmansyah. 2010. Evaluasi Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Material Komposit Serat/Resin Berbahan Dasar Serat *Nata de Coco* dengan Penambahan Nanofilter. *Tesis*. Depok: Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Demse Pardosi. 2008. Pembuatan Material Selulosa Bakteri Dalam Medium Air Kelapa Melalui Penambahan Sukrosa, Kitosan dan Gliserol Menggunakan *Acetobacter Xylinum*. *Tesis*. Medan:Sekolah Pasca Sarjana Universitas Sumatra Utara.
- Dutta Kumar Pradip, Dutta Joydeep, and Tripathi S.V. (2004). Chitin and Chitosan; Chemistry, Properties and Applications. *Journal of Scientific and Industrial Reserch*. Vol 63. 20-31
- Goosen, M.F.A. 1997. *Applications of Chitin and Chitosan*. Lansaster: Technomic Publishing Co. Inc.
- Heru Pratomo dan Eli Rohaeti. 2010. Pembuatan Bioplastik dari Limbah Rumah Tangga sebagai Bahan *Edible Film* Ramah Lingkungan. Laporan Penelitian. Yogyakarta:UNY
- Hoenich, N. 2006. *Cellulose for Medical Applications*. Bioresources.

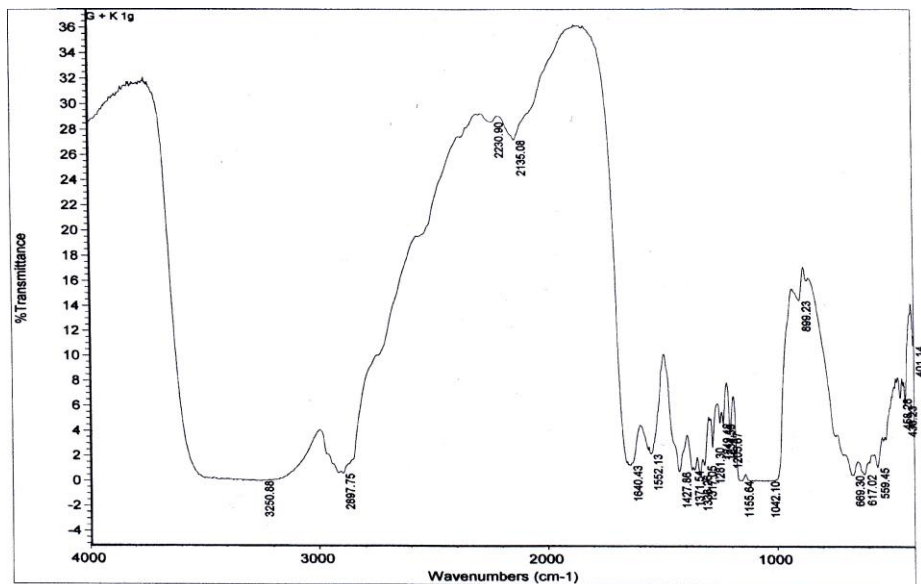
- Hosokawa, J., M. Nishiyama, K. Yoshihara, and T. Kubo. 1990. *Biodegradable Film Derived from Chitosan and Homogenized Cellulose*. Ind. Eng. Chem. Res.
- Jin, Xiaoxiao, Jiangtao Wang, Jie Bai. 2009. Synthesis and Antimicrobial Activity of the Schiff Base from Chitosan and Citral. *Carbohydrate Research*.(344). 825-829
- Kim Jaehwan, Cai Zhijiang, Lee Sook Hyun, Choi Seong Gwang, Lee Haeng Don, and Jo Chulhee. 2010. Preparation and characterization of a Bacterial cellulose/ Chitosan composite for potential biomedical application. *J Polym Res* 18:739 – 744
- Kuan-Chen Cheng , J.M. Catchmark, A. Demirci. 2009. Enhanced Production of Selulosa bakteri by Using a Biofilm Reactor and its Material Properties. *Journal of Biological Engineering*, **Volume 3**, No.12.
- Kumar, M. N. V. R. 2000. *Review of Chitin and Chitosan Application*. Reactive Functional Polymers.
- Lisbeth Tampubolon. 2008. Pembuatan Material Selulosa-Kitosan Bakteri dalam Medium Air Kelapa dengan Penambahan Pati dan Kitosan Menggunakan *Acetobacter xylinum*. *Tesis*. USU
- Muenduen P. dan Nirun J. 2008. Byosynthesis and Characterization of Bacterial Cellulose-Chitosan Film. *Journal Carbohydrate Polymer*, 428-488.
- Muzzarelli, R.A.A., C. Jeuniawe, G. W. Gooday. 1986. *Chitin and Nature Technology*. New York: Plenum Press. Inc.
- Muzzarelli, R.A.A., C. 1996. *Chitosan Based Dietary Foods:Carbohydrate Polymers*. New York: Plenum Press. Inc.
- Philips, G.O. and P.A. Williams. 2000. *Handbook of Hydrocolloids*. Cambridge Woodhead Publishing Ltd.
- Priyo Waspo, Arief Budhiono, Suryati, dan Nathalia Sujono. 2000. *Proceeding The Second International Workshop on Green Polymers*. Indonesia:Indonesian Polymer Association.
- Rhoades, J. And B. Rastall. 1995. Chitosan as an Antimicrobial Agent.Ingredients and Additives. *Food Tech. International*.
- Susana C. M. 2009. Novel Transparent Nanocomposite Films based on Chitosan and Bacterial Cellulose. *Green Chem*, 2023-2029.
- Yusmarlela. 2009. Studi Pemanfaatan Plastisiser Gliserol dalam Film Pati Ubi dengan Pengisi Serbuk Batang Ubi Kayu. *Tesis*. Medan:Sekolah Pasca Sarjana Universitas Sumatra Utara.

Lampiran 1

Spektrum FTIR Selulosa – Kitosan dari Air Rebusan Ubi Jalar Tanpa dan Dengan Penambahan Pemlastis



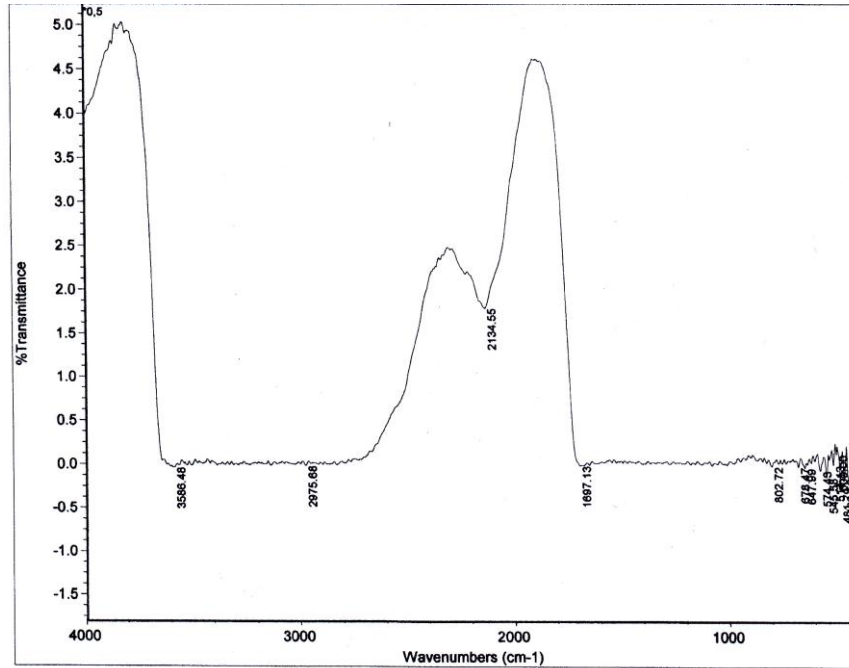
Spektrum FTIR selulosa – kitosan 0,5% dari air rebusan ubi jalar



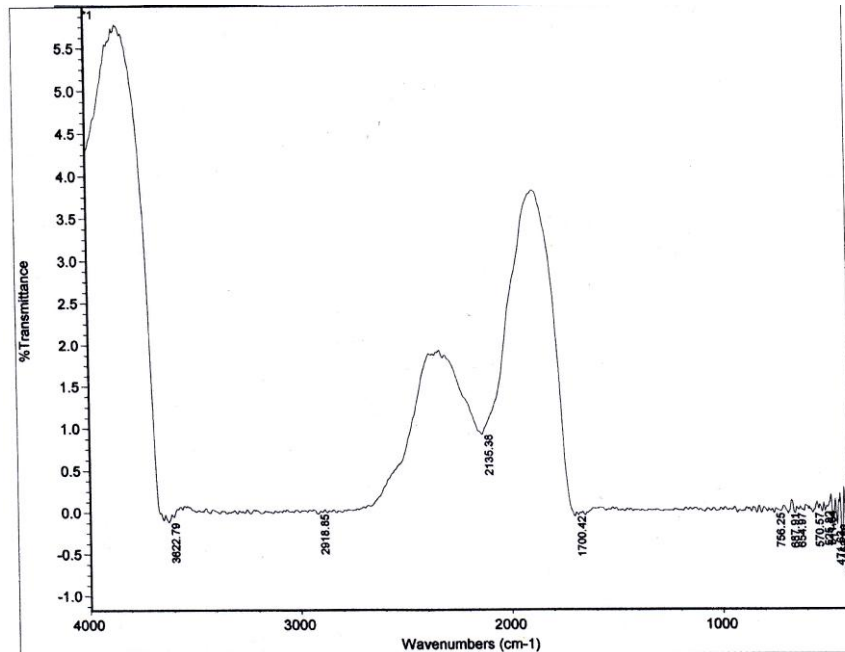
Spektrum FTIR selulosa – kitosan 0,5% - gliserol 1,5% dari air rebusan ubi jalar

Lampiran 2

Spektrum FTIR Selulosa – Kitosan dari Air Rebusan Singkong Tanpa dan Dengan Penambahan Pemlastis



Spektrum FTIR selulosa – kitosan 0,5% dari air rebusan singkong



Spektrum FTIR selulosa – kitosan 0,5% - gliserol 1,5% dari air rebusan singkong

Lampiran 3

Foto Selulosa Bakteri dan Selulosa – Kitosan dari Air Kelapa



Selulosa Bakteri



Selulosa-Kitosan Bakteri 0,5%



Selulosa-Kitosan Bakteri 1,0%



Selulosa-Kitosan Bakteri 1,5%



Selulosa-Kitosan Bakteri 2,0%



Selulosa-Kitosan Bakteri 2,5%



Selulosa-Kitosan Bakteri 3,0%

Lampiran 4

Perhitungan Modulus Young

Modulus *Young* dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Keterangan:

E = modulus *Young* (MPa)

σ = kuat putus bahan (MPa)

ϵ = perpanjangan saat putus (%)

1. Modulus *Young* Selulosa Bakteri dari Air Kelapa

$$E = \frac{16,0139}{0,195957} = 81,7215 \text{ MPa}$$

2. Modulus *Young* Selulosa-Kitosan Bakteri 0,5%

$$E = \frac{17,0954}{0,150091} = 113,9002 \text{ MPa}$$

3. Modulus *Young* Selulosa-Kitosan Bakteri 1,0%

$$E = \frac{4,3472}{0,075425} = 57,6361 \text{ MPa}$$

4. Modulus *Young* Selulosa-Kitosan Bakteri 1,5%

$$E = \frac{9,0311}{0,069410} = 130,1124 \text{ MPa}$$

5. Modulus *Young* Selulosa-Kitosan Bakteri 2,0%

$$E = \frac{6,3014}{0,131927} = 47,7643 \text{ MPa}$$

6. Modulus *Young* Selulosa-Kitosan Bakteri 2,5%

$$E = \frac{13,6393}{0,100251} = 136,0515 \text{ MPa}$$

7. Modulus *Young* Selulosa-Kitosan Bakteri 3,0%

$$E = \frac{5,5437}{0,021915} = 252,9637 \text{ MPa}$$

Lampiran 5

Perhitungan Kristalinitas

Nilai kristalinitas dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$X_c (\%) = \frac{\text{Massa daerah kristalin}}{\text{Massa daerah (kristalin+amorf)}} \times 100\%$$

1. Nilai Kristalinitas Selulosa Bakteri dari Air Kelapa

$$X_c = \frac{0,07 \text{ gram}}{0,23 \text{ gram}} \times 100\% = 30,43\%$$

2. Nilai Kristalinitas Selulosa-Kitosan Bakteri 0,5%

$$X_c = \frac{0,02 \text{ gram}}{0,13 \text{ gram}} \times 100\% = 15,38\%$$

Lampiran 6

Hasil Uji Sifat Mekanik Selulosa Bakteri dari Air Kelapa

07.05.2012

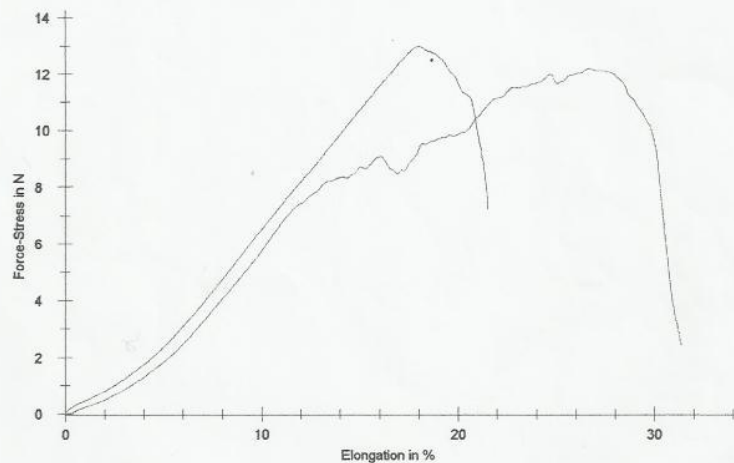
Parameter table:

Heading :
Company name :
Customer : 14/PS/05/12
Test speed: 50 mm/min
Tester : rachmat
Test standard : tensile strength
Material : Kitosan 0, gram

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	Lc mm	FMax N	Tensile Strength N	Strain at Fmax. %
1	0.17	5	50	12.1981	12.1981	26.6582
2	0.17	5	50	12.9771	12.9771	17.9922

Series graphics:



Statistics:

Series n = 2	a0 mm	b0 mm	Lc mm	FMax N	Tensile Strength N	Strain at Fmax. %
\bar{x}	0.17	5	50	12.5876	12.5876	22.3252
s	0.000	0.000	0.000	0.5508	0.5508	6.1278
v	0.00	0.00	0.00	4.38	4.38	27.45

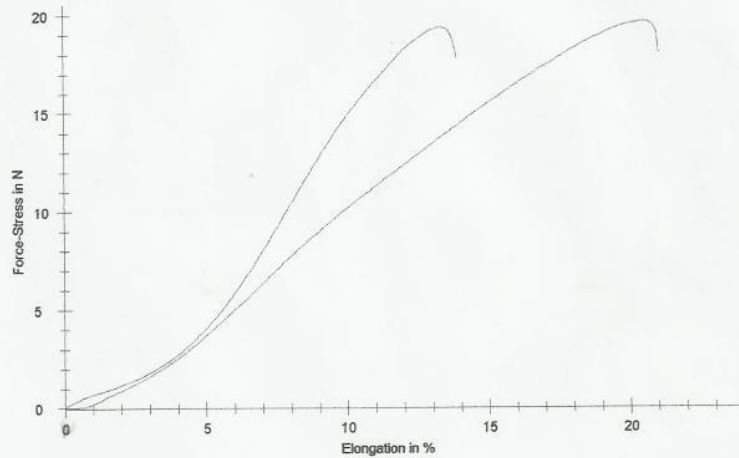
Page 1/1

Parameter table:

Heading :	Tester :	rachmat
Company name :	Test standard :	tensile strength
Customer :	Material :	Kitosan 0, gram
Test speed: 50 mm/min		

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	Lc mm	FMax N	Tensile Strength N	Strain at Fmax. %
1	0.12	5	50	19.5593	19.5593	20.4309
2	0.18	5	50	19.3213	19.3213	13.3015

Series graphics:**Statistics:**

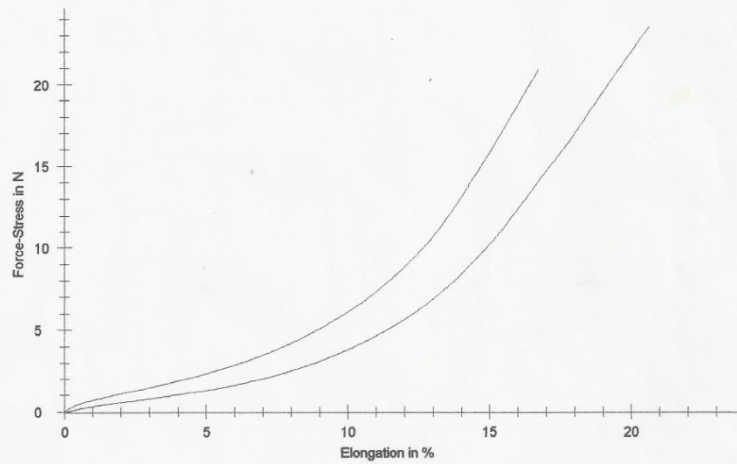
Series n = 2	a0 mm	b0 mm	Lc mm	FMax N	Tensile Strength N	Strain at Fmax. %
\bar{x}	0.15	5	50	19.4403	19.4403	16.8662
s	0.04243	0.000	0.000	0.1682	0.1682	5.0413
v	28.28	0.00	0.00	0.87	0.87	29.89

Parameter table:

Heading :
 Company name :
 Customer : 14/PS/05/12
 Test speed: 50 mm/min
 Tester : rachmat
 Test standard : tensile strength
 Material : Kitosan 0,5 gram

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	Lc mm	FMax N	Tensile Strength N	Strain at Fmax. %
1	0.25	5	50	20.8934	20.8934	16.7398
2	0.19	5	50	23.4640	23.4640	20.6434

Series graphics:**Statistics:**

Series n = 2	a0 mm	b0 mm	Lc mm	FMax N	Tensile Strength N	Strain at Fmax. %
\bar{x}	0.22	5	50	22.1787	22.1787	18.6916
s	0.04243	0.000	0.000	1.8177	1.8177	2.7603
v	19.28	0.00	0.00	8.20	8.20	14.77

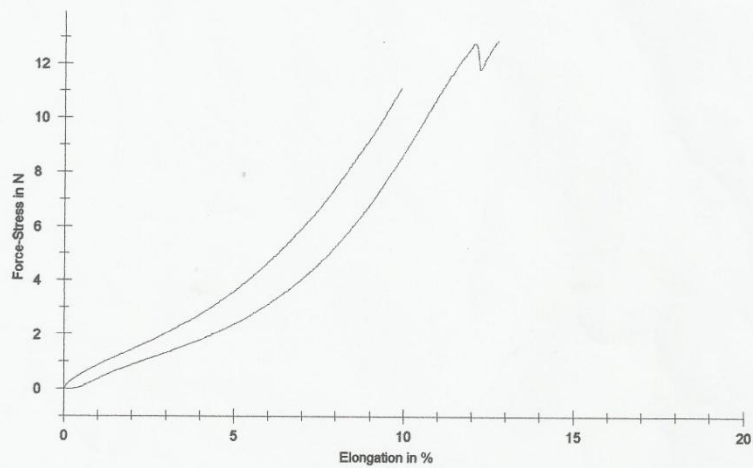
Parameter table:

Heading :
 Company name :
 Customer : kitosan 0,5
 Test speed: 10 mm/min

Tester : rachmat
 Test standard : tensile strength
 Material :

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	Lc mm	FMax N	Tensile Strength N	Strain at Fmax. %
1	0.18	5	50	12.9081	12.9081	12.7437
2	0.16	5	50	11.1160	11.1160	9.9098

Series graphics:**Statistics:**

Series n = 2	a0 mm	b0 mm	Lc mm	FMax N	Tensile Strength N	Strain at Fmax. %
x	0.17	5	50	12.0121	12.0121	11.3267
s	0.01414	0.000	0.000	1.2672	1.2672	2.0038
v	8.32	0.00	0.00	10.55	10.55	17.69

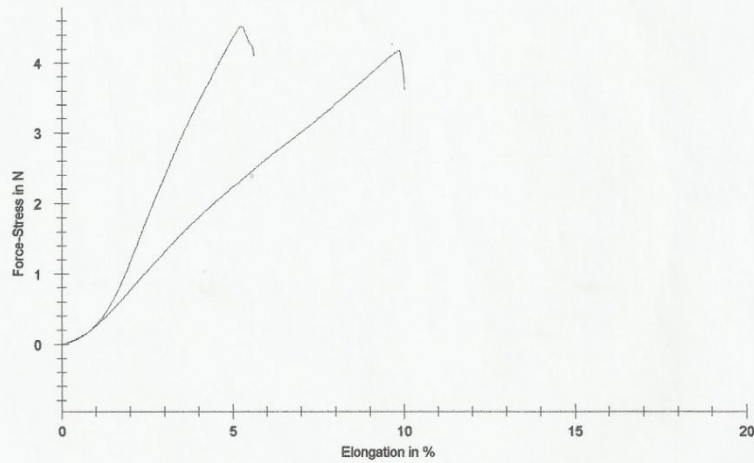
Parameter table:

Heading :
 Company name :
 Customer : 14/PS/05/12
 Test speed: 50 mm/min

Tester : rachmat
 Test standard : tensile strength
 Material : Kitosan 1 gram

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	Lc mm	FMax N	Tensile Strength N	Strain at Fmax. %
1	0.16	5	50	4.5172	4.5172	5.2263
2	0.14	5	50	4.1772	4.1772	9.8586

Series graphics:**Statistics:**

Series n = 2	a0 mm	b0 mm	Lc mm	FMax N	Tensile Strength N	Strain at Fmax. %
\bar{x}	0.15	5	50	4.3472	4.3472	7.5425
s	0.01414	0.000	0.000	0.2405	0.2405	3.2755
v	9.43	0.00	0.00	5.53	5.53	43.43

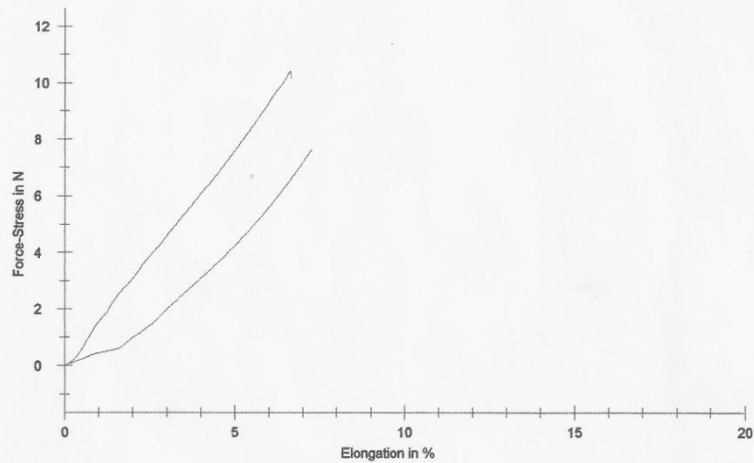
Parameter table:

Heading :
 Company name :
 Customer : 14/PS/05/12
 Test speed: 50 mm/min

Tester : rachmat
 Test standard : tensile strength
 Material : Kitosan 1,5 gram

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	Lc mm	FMax N	Tensile Strength N	Strain at Fmax. %
1	0.14	5	50	7.6390	7.6390	7.2572
2	0.16	5	50	10.4232	10.4232	6.6247

Series graphics:**Statistics:**

Series n = 2	a0 mm	b0 mm	Lc mm	FMax N	Tensile Strength N	Strain at Fmax. %
\bar{x}	0.15	5	50	9.0311	9.0311	6.9410
s	0.01414	0.000	0.000	1.9687	1.9687	0.4473
v	9.43	0.00	0.00	21.80	21.80	6.44

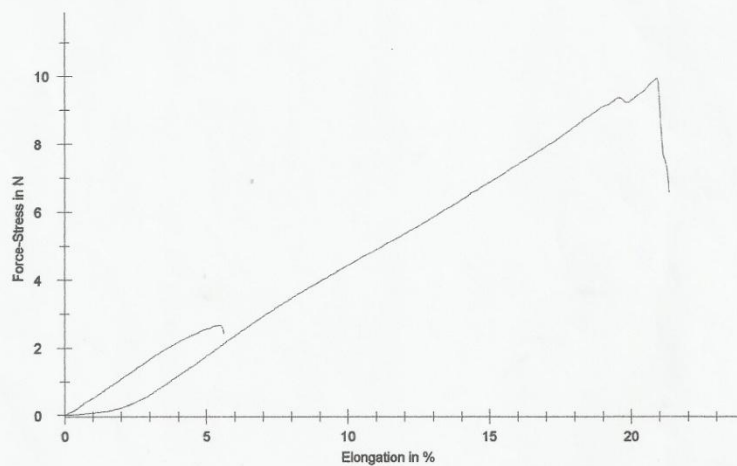
Parameter table:

Heading :
 Company name :
 Customer : 14/PS/05/12
 Test speed: 50 mm/min

Tester : rachmat
 Test standard : tensile strength
 Material : Kitosan 2 gram

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	Lc mm	FMax N	Tensile Strength N	Strain at Fmax. %
4	0.14	5	50	9.9433	9.9433	20.8922
5	0.16	5	50	2.6594	2.6594	5.4932

Series graphics:**Statistics:**

Series n = 2	a0 mm	b0 mm	Lc mm	FMax N	Tensile Strength N	Strain at Fmax. %
\bar{x}	0.15	5	50	6.3014	6.3014	13.1927
s	0.01414	0.000	0.000	5.1505	5.1505	10.8887
v	9.43	0.00	0.00	81.74	81.74	82.54

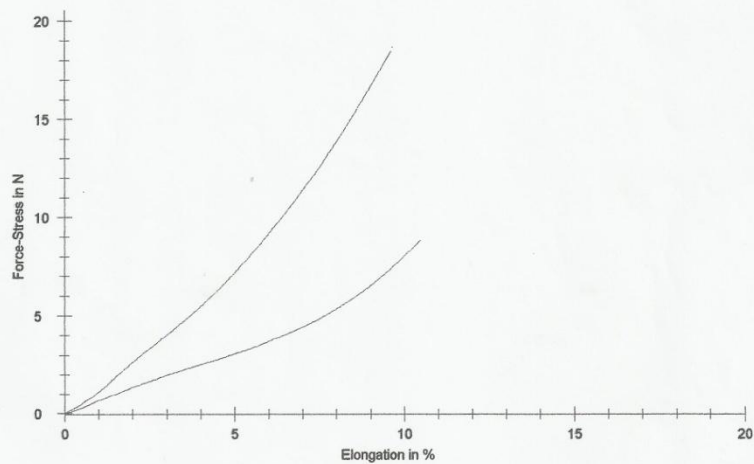
Parameter table:

Heading :
 Company name :
 Customer : 14/PS/05/12
 Test speed: 50 mm/min

Tester : rachmat
 Test standard : tensile strength
 Material : Kitosan 2,5 gram

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	Lc mm	FMax N	Tensile Strength N	Strain at Fmax. %
1	0.13	5	50	8.8067	8.8067	10.4581
2	0.13	5	50	18.4719	18.4719	9.5922

Series graphics:**Statistics:**

Series n = 2	a0 mm	b0 mm	Lc mm	FMax N	Tensile Strength N	Strain at Fmax. %
\bar{x}	0.13	5	50	13.6393	13.6393	10.0251
s	0.000	0.000	0.000	6.8343	6.8343	0.6123
v	0.00	0.00	0.00	50.11	50.11	6.11

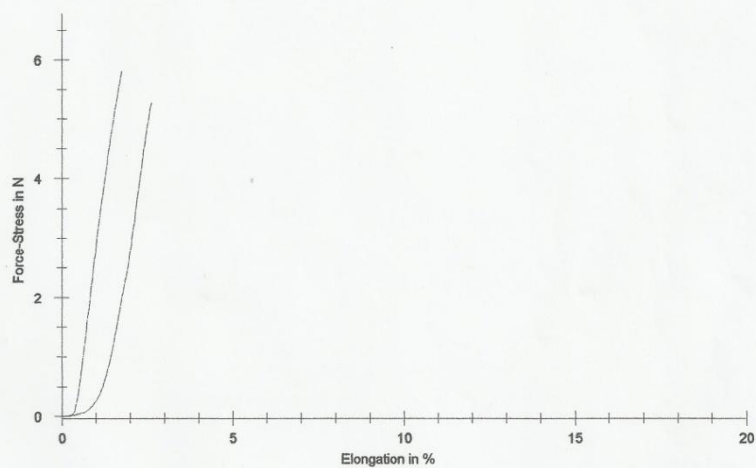
Parameter table:

Heading :
 Company name :
 Customer : 14/PS/05/12
 Test speed: 50 mm/min

Tester : rachmat
 Test standard : tensile strength
 Material : Kitosan 3 gram

Results:

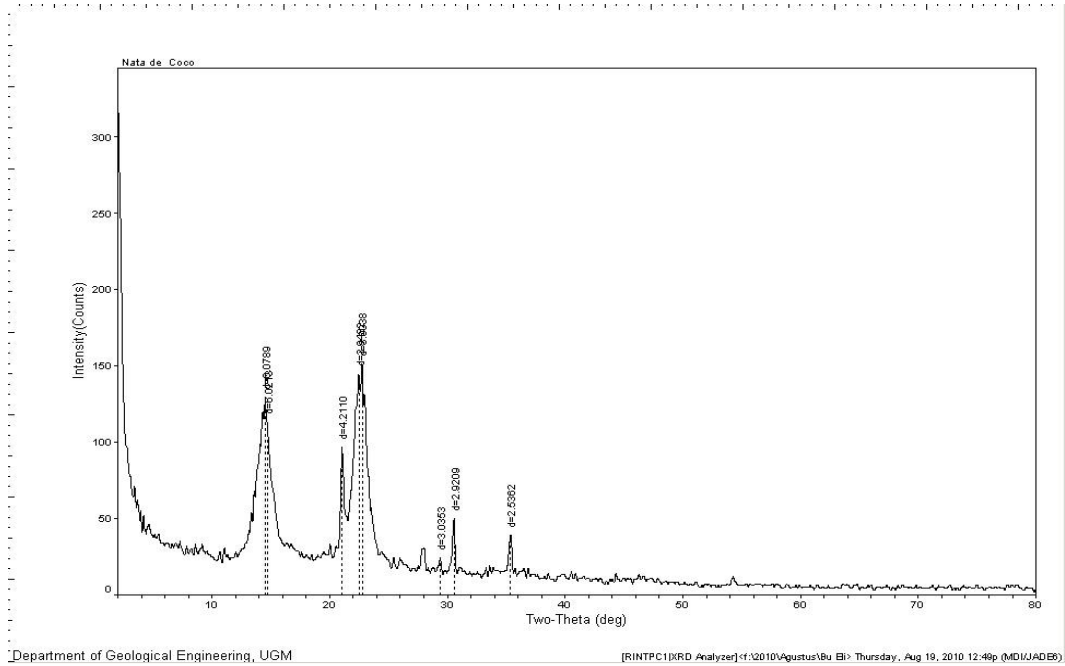
Nr	a0 mm	b0 mm	Lc mm	FMax N	Tensile Strength N	Strain at Fmax. %
1	0.08	5	50	5.8072	5.8072	1.7586
2	0.08	5	50	5.2803	5.2803	2.6245

Series graphics:**Statistics:**

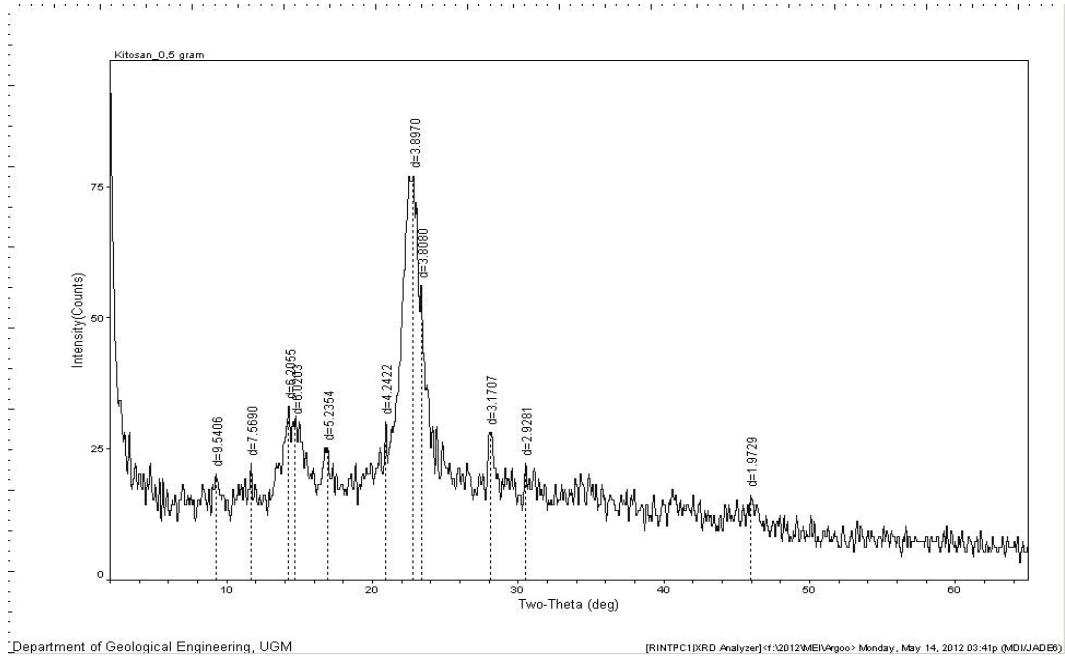
Series n = 2	a0 mm	b0 mm	Lc mm	FMax N	Tensile Strength N	Strain at Fmax. %
\bar{x}	0.08	5	50	5.5437	5.5437	2.1915
s	0.000	0.000	0.000	0.3725	0.3725	0.6123
v	0.00	0.00	0.00	6.72	6.72	27.94

Lampiran 7

Difraktogram Selulosa Bakteri dari Air kelapa



Difraktogram Selulosa Bakteri dari Air kelapa



Difraktogram XRD Selulosa – Kitosan 0,5% dari Air Kelapa

Lampiran 8

Foto SEM Lembaran Kitosan

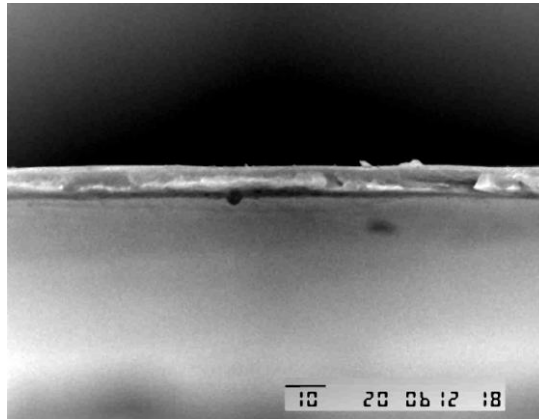


Foto SEM Lembaran Kitosan Perbesaran 1000x

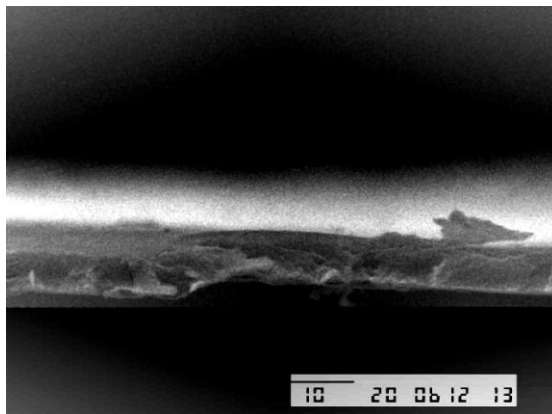


Foto SEM Lembaran Kitosan Perbesaran 1500x

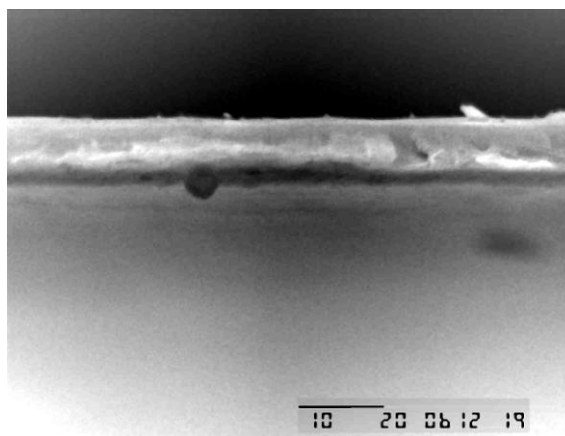


Foto SEM Lembaran Kitosan Perbesaran 2000x

Lampiran 9

Foto SEM Selulosa-Kitosan Bakteri dari Air Kelapa

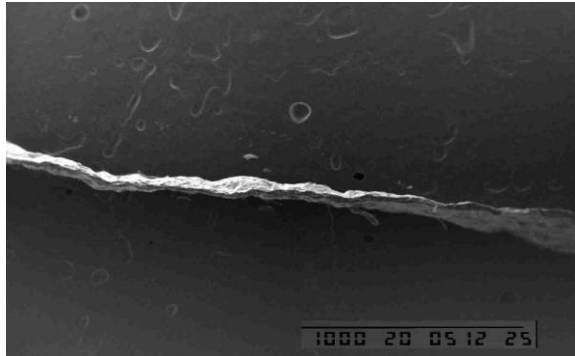


Foto SEM Selulosa-Kitosan Bakteri Perbesaran 50x

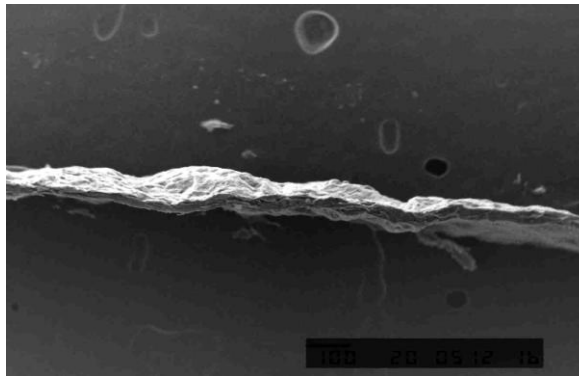


Foto SEM Selulosa-Kitosan Bakteri Perbesaran 100x

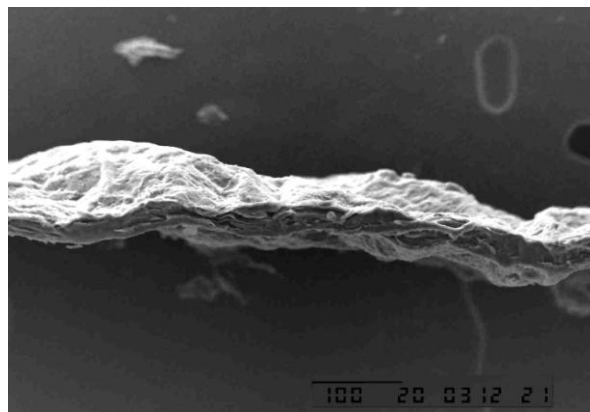


Foto SEM Selulosa-Kitosan Bakteri Perbesaran 200x