

UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBUATAN BIOKOMPOSIT *EDIBLE FILM* DARI  
GELATIN / *BACTERIAL CELLULOSE MICROCRYSTAL*  
(BCMC) : VARIASI KONSENTRASI MATRIKS, *FILLER*, DAN  
WAKTU SONIKASI**

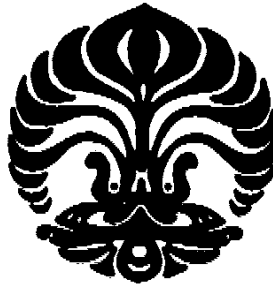
**SKRIPSI**

**MONDYA PURNA SEPTA NINGWULAN**

**0806460521**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA FAKULTAS  
TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA DEPOK**

**JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**SKRIPSI**

**PEMBUATAN BIOKOMPOSIT *EDIBLE FILM* DARI  
GELATIN / *BACTERIAL CELLULOSE MICROCRYSTAL*  
(BCMC) : VARIASI KONSENTRASI MATRIKS, *FILLER*, DAN  
WAKTU SONIKASI.**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**MONDYA PURNA SEPTA NINGWULAN**

**0806460521**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA FAKULTAS  
TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA DEPOK**

**JULI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Mondya Purna Septa Ningwulan

NPM : 0806460521

Tanda Tangan : 

Tanggal : 9 Juli 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Mondya Purna Septa Ningwulan  
NPM : 0806460521  
Program Studi : Teknologi Bioproses  
Judul Skripsi :

### **Pembuatan Biokomposit *Edible film* Dari Gelatin/*Bacterial Cellulose Microcrystal* (BCMC) : Variasi Konsentrasi Matriks, *Filler*, dan Waktu Sonikasi.**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknologi Bioproses, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

#### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Heri Hermansyah, S.T., M.Eng. (.....)

Penguji I : Dr. Muhammad Sahlan, S.Si., M.Eng (.....)

Penguji II : Rita Arbianti, ST., MT (.....)

Penguji III : Dr. Ir. Praswasti PDK Wulan, MT (.....)

Ditetapkan di : Depok, Jawa Barat, Indonesia

Tanggal : 9 Juli 2012

## KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah saya panjatkan kepada Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan buku skripsi ini. Penulisan buku skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknologi Bioproses pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Allah Subhanahu wa Ta'ala yang telah memberikan kelancaran serta kemudahan dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Ibu (Endang Sungkowati) dan Bapak (Sutrisno) serta seluruh keluarga saya yang selalu mendampingi, memberikan nasihat, dan membantu, baik secara moril maupun materiil.
- (3) Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA, selaku Ketua Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- (4) Dr. Heri Hermansyah, ST., M.Eng selaku pembimbing skripsi dan pembimbing akademis atas segala ide, kritik, serta sarannya kepada penulis.
- (5) Kak Alisa, kak Annisa, mba Eno, kak Lina, mba Frita, pak Dasep, om Dur, pak Saeful, pak Heru serta Semua karyawan di laboratorium Sentra Teknologi Polimer, Serpong, yang telah membantu seluruh kegiatan penelitian.
- (6) Mang Jajat, Mang Ijal, Mbak Fita, Mas Eko, Mas Sriyono, Mas Taufik dan Semua karyawan DTK yang selalu membantu penulis.
- (7) Glifanny Ramadhani, Ibnu Syafiq, Sara Mutiara, Elvina Fitrisia, Ariyani Raidah, Femmy Karima Y., Sari Pratiwi, Dara Dienayati, dan Mitha Kharistiananda, yang telah banyak memberi semangat dan dukungannya selama 4 tahun kuliah di Departemen Teknik Kimia.
- (8) Ayu, Tias, Desi C., Gina, Habib, Rendi, Dirga, Agas, Arief, Diana, Haryo, Ichwan, Fahrian, Illyin, Ivan, Tania, Nandy, Kanya, Inggit, Ima, Maria,

Fahrian, Ajo, Eldo, Gesti, Ciya, Prima, Merissa, David, Yongki, Khotib, Renly, serta Semua teman – teman yang telah memberi saran dan bantuan kepada saya selama penelitian.

- (9) Teman-teman Teknik Kimia dan Teknologi Bioproses UI angkatan 2008 atas suka dan duka selama ini.
- (10) Pihak-pihak lainnya yang mendukung dan membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 9 Juli 2012



Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mondya Purna Septa Ningwulan  
NPM : 0806460521  
Program Studi : Teknologi Bioproses  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Pembuatan Biokomposit *Edible film* Dari Gelatin / *Bacterial Cellulose Microcrystal (BCMC)* : Variasi Konsentrasi Matriks, *Filler*, dan Waktu Sonikasi.**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok, Jawa Barat, Indonesia  
Pada tanggal : 9 Juli 2012

Yang menyatakan



(Mondya Purna Septa Ningwulan)

## ABSTRAK

Nama : Mondya Purna Septa Ningwulan  
Program studi : Teknologi Bioproses  
Judul : Pembuatan Biokomposit *Edible film* dari Gelatin / *Bacterial Cellulose Microcrystal* (BCMC) : Variasi Konsentrasi Matriks, *Filler*, dan Waktu Sonikasi.

Dalam sektor makanan, kemasan merupakan hal yang penting untuk menjaga kualitas makanan. Beberapa macam polimer *biodegradable* telah dieksplorasi dalam hal perkembangan *edible film* untuk mengurangi pemakaian plastik konvensional yang dapat menyebabkan limbah. Beberapa diantaranya adalah pembuatan *edible film* berbahan dasar pati, lipid, atau polimer sintesis. Pada penelitian ini, biokomposit *edible film* dibuat dari gelatin dengan *filler* berupa *Bacterial Cellulose Microcrystal* (BCMC), yang merupakan hasil fermentasi bakteri *Acetobacter xylinum*. Penambahan BCMC terbukti dapat meningkatkan sifat fisik, mekanik, dan sifat termal dari material yang dihasilkan. Pendispersian BCMC dari hasil SEM terbukti meningkatkan hasil uji *tensile strength*, DSC, dan WVTR. Ketika konsentrasi BCMC divariasikan dari 1-4 wt% kekuatan tarik dan suhu transisi gelas ( $T_g$ ) meningkat dari 37,07 MPa menjadi 74,04 MPa dan 27,52<sup>0</sup>C menjadi 39,6<sup>0</sup>C; *Water Vapour Transmission Rate* (WVTR) menurun dari 37,77 gr.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> menjadi 19,73 gr.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>. Peningkatan hasil uji *tensile* dan DSC juga terjadi saat memvariasikan waktu sonikasi dari 3-6 menit yang meningkat dari 48,57 MPa menjadi 57,23 MPa dan 25,89<sup>0</sup>C menjadi 37,29<sup>0</sup>C. WVTR menurun dari 36,09 gr.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> menjadi 20,54 gr.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>. Variasi konsentrasi matriks juga mempengaruhi hasil uji *tensile strength*, DSC, dan WVTR, namun hasil uji terbaik pada penelitian ini terdapat pada gelatin biokomposit dengan variasi konsentrasi BCMC 4 wt%.

Kata kunci :  
*Edible film*, Gelatin, *Bacterial Cellulose Microcrystal* (BCMC), Biokomposit



## ABSTRACT

Name : Mondya Purna Septa Ningwulan  
Study Program : Bioprocess Technology  
Tittle : Preparation of *Edible film* Biocomposite from Gelatin/Bacterial Cellulose Microcrystal (BCMC) : Variation of Matrix Concentration, Sonication Time, and Filler Concentration

In the food sector, packaging is important for maintaining food quality. Several kinds of biodegradable polymers have been explored in terms of development of *edible films* to reduce the use of conventional plastics which can lead to waste. Some are the manufacture of *edible films* made from starch, lipid, or synthetic polymers. In this study, biocomposites *edible films* made from gelatin with filler of Bacterial Cellulose Microcrystal (BCMC), which is the result of bacterial fermentation of *Acetobacter xylinum*. The addition of BCMC proven to improve physical properties, mechanical, and thermal properties of the resulting material. BCMC distribution of SEM results proved to increase the tensile strength test results, DSC, and WVTR. When the concentration was varied from BCMC 1-4 wt% of tensile strength and glass transition temperature (T<sub>g</sub>) increased from 37.07 MPa to 74.04 MPa and 27.520 C to 39.60 C; Water Vapour Transmission Rate (WVTR) decreased from 37.77 gr.m-2.h-1 to 19.73 gr.m-2.h-1. Increase in tensile test and DSC results also occur when varying the sonication time from 3-6 minutes increased from 48.57 MPa to 57.23 MPa and 25.890 to 37.290 C. C. WVTR decreased from 36.09 gr.m-2.h-1 to 20.54 gr.m-2.h-1. Variation of matrix concentration also affect the test results of tensile strength, DSC, and WVTR, but the best test results in this study are the variations in the concentration of gelatin biocomposite with BCMC 4 wt%.

Key words :

*Edible film*, Gelatin, Bacterial Cellulose Microcrystal (BCMC), Biocomposite.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1.Latar Belakang .....	1
1.2.Rumusan Masalah .....	3
1.3.Tujuan Penelitian .....	4
1.4.Batasan Penelitian .....	4
1.5.Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II .....</b>	<b>6</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1. <i>Edible film</i> .....	6
2.1.1. Bahan – Bahan Pembuatan <i>Edible film</i> .....	8
2.1.2. Sifat Fisik dan Mekanik <i>Edible film</i> .....	9
2.1.3. Aplikasi <i>Edible film</i> pada Bahan Pangan .....	10
2.2. Komposit .....	11
2.2.1. Definisi Komposit .....	11
2.2.2. Komponen Komposit .....	12
2.2.2.1. Matriks .....	12
2.2.2.2. Penguat ( <i>Reinforcement</i> ) .....	12
2.2.3. Biokomposit .....	13
2.4. Gelatin.....	14
2.4.1. Struktur, Sifat Kimia dan Karakterisasi Gelatin Fasa Padat .....	16
2.4.2. Pengaruh Kondisi Pencetakan pada Karakterisasi Struktur Gelatin .....	16
2.4.3. Hubungan antara Konformasi Gelatin dengan Sifat Fisik – Mekanik ....	17
2.4.4. Pengaruh Air pada Struktur dan Sifat Mekanik Gelatin .....	18
2.5. Selulosa .....	18
2.6. <i>Bacterial Cellulose Microcrystal</i> (BCMC).....	19
2.7. Metode Hidrolisis Enzim Selulase untuk Menghasilkan BCMC.....	21
2.8. Karakterisasi Material .....	22
2.8.1. Karakterisasi SEM ( <i>Scanning Electron Microscope</i> ) .....	23
2.8.2. Karakterisasi PSA ( <i>Particle Size Analyzer</i> ) .....	24
2.8.3. Karakterisasi Kekuatan Tarik ( <i>Tensile strength</i> ) .....	25
2.8.4. Karakterisasi DSC ( <i>Differential Scanning Calorimeter</i> ) .....	28
2.8.5. Karakterisasi WVTR ( <i>Water Vapour Transmission Rate</i> ).....	30
2.9. <i>State of The Art</i> .....	32

<b>BAB III.....</b>	<b>35</b>
<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>35</b>
3.1. Alur Penelitian .....	35
3.2. Alat dan Bahan.....	36
3.2.1. Alat Percobaan .....	36
3.2.2. Bahan Kimia.....	37
3.3. Teknik Pengumpulan Data.....	37
3.3.1. Data Primer .....	37
3.3.2. Data Sekunder .....	40
<b>BAB 4 .....</b>	<b>41</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>41</b>
4.1. Hasil dan Pembahasan Preparasi <i>Filler</i> .....	41
4.2. Hasil dan Pembahasan Pembuatan Biokomposit .....	43
4.3. Hasil dan Pembahasan Uji Material Biokomposit .....	44
4.3.1. Hasil dan Pembahasan Morfologi Biokomposit .....	44
4.3.1.1. Analisis SEM .....	44
4.3.1.2. Analisis PSA .....	52
4.3.2. Hasil dan Pembahasan Sifat Mekanik.....	52
4.3.2.1. Uji Tensile strength.....	53
4.3.2.2. Uji Patahan .....	59
4.3.3. Hasil dan Pembahasan Sifat Termal Biokomposit.....	60
4.3.3.1. Uji DSC .....	61
4.3.4. Hasil dan Pembahasan Sifat Fisik Biokomposit .....	65
4.3.4.1. Uji WVTR.....	65
<b>BAB 5 .....</b>	<b>69</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>69</b>
5.1. Kesimpulan .....	69
5.2. Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA .....	71
LAMPIRAN.....	75

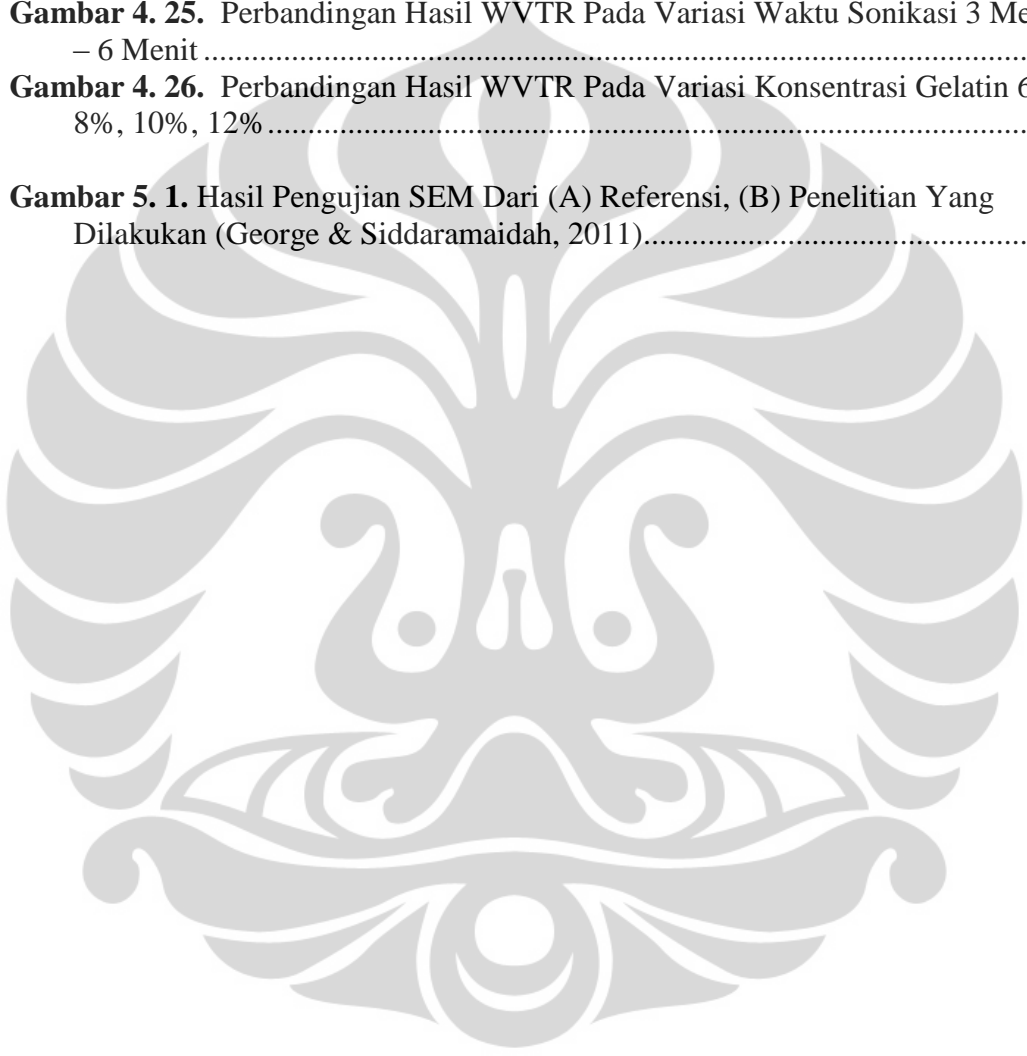
## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1.</b> Perbandingan Antara Material Konvensional (Komposit), Nanokomposit, Dan Biokomposit (Darder, 2008) .....	14
<b>Tabel 2. 2.</b> Pengaruh Struktur Gelatin Pada Sifat Mekaniknya Dalam Bentuk <i>Film</i> (Lai, 1997).....	17
<b>Tabel 2. 3.</b> Beberapa Terminologi Yang Digunakan Untuk Mendeskripsikan Nanopartikel Selulosa (Gilberto, Bras, & Dufresne, 2010). .....	20
<b>Tabel 2. 4.</b> <i>State Of The Art</i> Produksi <i>Edible film</i> Gelatin/BCMC .....	34
<b>Tabel 3. 1.</b> Tabel Variasi Konsentrasi BCMC.....	39
<b>Tabel 3. 2.</b> Tabel Variasi Waktu Sonikasi.....	39
<b>Tabel 3. 3.</b> Tabel Variasi Konsentrasi Gelatin .....	39
<b>Tabel 4. 1.</b> Hasil Ketebalan Biokomposit Dengan Variasi Konsentrasi BCMC 1% Hingga 4%.....	53
<b>Tabel 4. 2</b> Hasil Perhitungan Sifat Mekanik Gelatin Biokomposit Dengan Variasi Konsentrasi BCMC 1% Hingga 4%.....	53
<b>Tabel 4. 3.</b> Hasil Ketebalan Biokomposit Dengan Variasi Waktu Sonikasi 3 Menit – 6 Menit.....	55
<b>Tabel 4. 4</b> Hasil Perhitungan Sifat Mekanik Gelatin Biokomposit Dengan Variasi Waktu Sonikasi 3 Menit Hingga 6 Menit. ....	56
<b>Tabel 4. 5.</b> Hasil Ketebalan Biokomposit Dengan Variasi Konsentrasi Gelatin 6% Hingga 12%.....	57
<b>Tabel 4. 6.</b> Hasil Perhitungan Sifat Mekanik Gelatin Biokomposit Dengan Variasi Konsentrasi Gelatin 6% - 12% .....	58
<b>Tabel 4. 7.</b> Sifat Termal Gelatin Biokomposit Pada Variasi Konsentrasi BCMC 1% - 4% .....	61
<b>Tabel 4. 8.</b> Sifat Termal Gelatin Biokomposit Pada Variasi Waktu Sonikasi 3 Menit Hingga 6 Menit.....	62
<b>Tabel 4. 9.</b> Sifat Termal Gelatin Biokomposit Pada Variasi Konsentrasi Gelatin 6% - 12% .....	63
<b>Tabel 4. 10.</b> Hasil WVTR Biokomposit Dengan Variasi Konsentrasi BCMC 1%, 2%, 3%, 4% .....	65
<b>Tabel 4. 11.</b> Hasil WVTR Biokomposit Dengan Variasi Waktu Sonikasi 3 Menit – 6 Menit .....	66
<b>Tabel 4. 12.</b> Hasil WVTR Biokomposit Dengan Variasi Konsentrasi Gelatin 6%, 8%, 10%, 12%.....	67

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1. 1.</b> Aplikasi Nanoteknologi Dalam Makanan Dan Industri Makanan (Blasco & Pico, 2011).....	1
<b>Gambar 2. 1.</b> Pembagian Komposit Berdasarkan Penguatnya (Rao, 1980). .....	13
<b>Gambar 2. 2.</b> Ilustrasi Dari Komposit Berdasarkan Penguatnya (Rao, 1980)...	13
<b>Gambar 2. 3.</b> Struktur Kimia Gelatin (Lai, 1997) .....	15
<b>Gambar 2. 4.</b> Struktur Selulosa (Gilberto <i>Et Al.</i> , 2010) .....	19
<b>Gambar 2. 5.</b> Skema Representasi Dari A) Bakterial Selulosa, B) Hidrolisis Enzim Dari Selulosa, C) BCMC, D) BCMC Yang Terdapat Dalam Polimer Biokomposit (Himmel <i>Et Al.</i> , 2007) .....	22
<b>Gambar 2. 6.</b> Proses Sputtering Sampel Isolator .....	24
<b>Gambar 2. 7.</b> Alat Uji SEM .....	24
<b>Gambar 2. 8.</b> Bentuk Umum Kurva Tegangan-Regangan Bahan Polimer.....	26
<b>Gambar 2. 9.</b> Berbagai Bentuk Kurva Tegangan-Regangan Bahan Polimer .....	27
<b>Gambar 2. 10.</b> Termogram Tga .....	29
<b>Gambar 2. 11.</b> Ilustrasi Prosedur Pengujian WVTR Yang Mengacu Pada Astm E-96 M-05 .....	31
<b>Gambar 3. 1.</b> Diagram Alir Tahapan Penelitian .....	35
<b>Gambar 4. 1.</b> Hasil Akhir Pembuatan Mikrokristal Selulosa Bakteri. ....	41
<b>Gambar 4. 2.</b> Hasil SEM Pada Gelatin Biokomposit Yang Mengandung 2 % BCMC. ....	42
<b>Gambar 4. 3.</b> Hasil Pencetakan Biokomposit.....	43
<b>Gambar 4. 4.</b> Hasil Analisis SEM Pada Konsentrasi BCMC 1%.....	44
<b>Gambar 4. 5.</b> Hasil Analisis SEM Pada Konsentrasi BCMC 2%.....	45
<b>Gambar 4. 6.</b> Hasil Analisis SEM Pada Konsentrasi BCMC 3%.....	45
<b>Gambar 4. 7.</b> Hasil Analisis SEM Pada Konsentrasi BCMC 4%.....	46
<b>Gambar 4. 8.</b> Hasil Analisis SEM Pada Waktu Sonikasi 3 Menit.....	47
<b>Gambar 4. 9.</b> Hasil Analisis SEM Pada Waktu Sonikasi 4 Menit.....	47
<b>Gambar 4. 10.</b> Hasil Analisis SEM Pada Waktu Sonikasi 5 Menit.....	48
<b>Gambar 4. 11.</b> Hasil Analisis SEM Pada Waktu Sonikasi 6 Menit.....	49
<b>Gambar 4. 12.</b> Hasil Analisis SEM Pada Konsentrasi Gelatin 6%.....	49
<b>Gambar 4. 13.</b> Hasil Analisis SEM Pada Konsentrasi Gelatin 8%.....	50
<b>Gambar 4. 14.</b> Hasil Analisis SEM Pada Konsentrasi Gelatin 10%.....	51
<b>Gambar 4. 15.</b> Hasil Analisis SEM Pada Konsentrasi Gelatin 10%.....	51
<b>Gambar 4. 16.</b> Efek Penambahan BCMC Terhadap <i>Tensile Strenght</i> Dan Elongasi Gelatin Biokomposit Dengan Variasi Konsentrasi 1% Hingga 4% .....	54
<b>Gambar 4. 17.</b> Efek Waktu Sonikasi Terhadap <i>Tensile Strenght</i> Dan Elongasi Gelatin Biokomposit Dengan Variasi 3 Menit – 6 Menit .....	56
<b>Gambar 4. 18.</b> Efek Penambahan Gelatin Terhadap <i>Tensile Strenght</i> Dan Elongasi Pada Gelatin Biokomposit Dengan Variasi 6% - 12%.....	58

<b>Gambar 4. 19.</b> Hasil Patahan Menggunakan Analisis SEM Pada Gelatin Biokomposit Konsentrasi BCMC 4% .....	60
<b>Gambar 4. 20.</b> Hasil Patahan Menggunakan Analisis SEM Pada Gelatin Biokomposit Konsentrasi BCMC 6% .....	60
<b>Gambar 4. 21</b> Grafik Pengaruh Konsentrasi BCMC Pada $T_g$ Dan $T_m$ .....	61
<b>Gambar 4. 22.</b> Grafik Pengaruh Waktu Sonikasi Pada $T_g$ Dan $T_m$ .....	63
<b>Gambar 4. 23</b> Grafik Pengaruh Konsentrasi Gelatin Pada $T_g$ Dan $T_m$ .....	64
<b>Gambar 4. 24.</b> Perbandingan Hasil WVTR Pada Variasi Konsentrasi <i>Filler</i> BCMC 1%, 2%, 3%, 4% .....	65
<b>Gambar 4. 25.</b> Perbandingan Hasil WVTR Pada Variasi Waktu Sonikasi 3 Menit – 6 Menit .....	66
<b>Gambar 4. 26.</b> Perbandingan Hasil WVTR Pada Variasi Konsentrasi Gelatin 6%, 8%, 10%, 12% .....	67
<b>Gambar 5. 1.</b> Hasil Pengujian SEM Dari (A) Referensi, (B) Penelitian Yang Dilakukan (George & Siddaramaidah, 2011).....	69



## DAFTAR LAMPIRAN

1. Hasil Pengukuran DSC .....	75
2. Hasil Pengukuran Kekuatan Tarik.....	77
3. Hasil Pengujian PSA .....	89

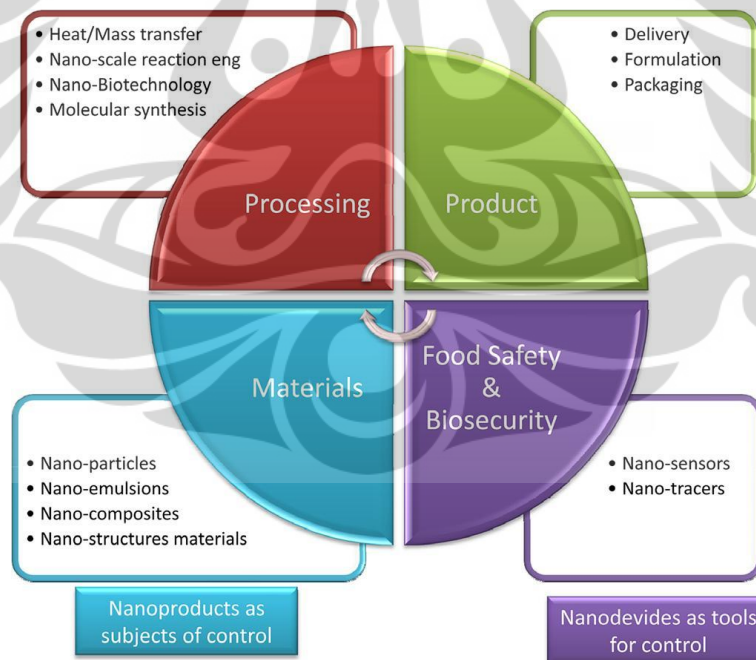


# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1.Latar Belakang

Nanomaterial merupakan teknologi baru yang sedang berkembang pada saat ini. Nanomaterial sudah diaplikasikan dalam beberapa sektor, antara lain komputer elektronik, komunikasi, produksi energi, farmasi, dan makanan (Sozer & Kokini, 2009). Dalam sektor makanan, nanomaterial dan nanoteknologi merupakan hal yang sudah lazim dipergunakan untuk menambah mutu dan kualitas dari makanan tersebut. Teknologi baru ini dapat diaplikasikan saat proses manufaktur, proses pembentukan DNA, membran, dan biomolekul dalam makanan, atau teknologi nanomaterial dapat diaplikasikan untuk kemasan makanan (Blasco & Pico, 2011). Bagan yang menjelaskan tentang aplikasi nanoteknologi dalam makanan dan industri makanan dapat dilihat dalam Gambar 1.1.



**Gambar 1. 1.** Aplikasi Nanoteknologi dalam Makanan dan Industri Makanan (Blasco & Pico, 2011).



Gambar 1.1 menjelaskan bahwa nanomaterial dan nanoteknologi dapat diaplikasikan ke beberapa bagian dalam sektor makanan dan industri makanan. Nanoteknologi dapat dipergunakan dalam *empat* bagian, yaitu proses pembuatan makanan, produk makanan, bahan material, serta *food safety* dan *biosecurity*. Nanomaterial dan nanoteknologi untuk sektor kemasan makanan merupakan hal yang bagus untuk dikembangkan. Kemasan makanan yang sedang dikembangkan saat ini memiliki kemampuan biodegradabilitas untuk pengganti kemasan makanan yang sebelumnya terbuat dari plastik konvensional.

Kemasan ini diantaranya merupakan *edible film*. Kemasan ini sudah cukup lama berkembang dalam teknologi kemasan makanan. Beberapa macam polimer *biodegradable* telah dieksplorasi dalam hal perkembangan *edible film* untuk mengurangi pemakaian plastik konvensional yang dapat menyebabkan limbah (Tharanathan, 2003). Lapisan kemasan makanan ini tidak hanya digunakan untuk melindungi bentuk fisik makanan, tetapi juga berfungsi sebagai penghalang rusaknya kualitas makanan yang diakibatkan oleh faktor kelembaban, oksigen, karbon dioksida, jamur, yang disebabkan oleh kontak antara produk dengan atmosfer (Marcuzzo, Sensidoni, Debeaufort, & Voilley, 2010).

Dalam pembuatan *edible film* bahan material yang biasa digunakan adalah lapisan berbasis protein dikarenakan nutrisi dan sifatnya yang lebih baik (Gennadios, 2005). Gelatin merupakan salah satu jenis protein yang biasa digunakan untuk pembuatan lapisan kemasan makanan karena kemampuannya untuk berubah menjadi bentuk *film* dan ramah lingkungan. Namun penggunaan gelatin saja tidak cukup karena lemahnya sifat fisik dan sensitivitas terhadap air. Beberapa teknik yang dilakukan untuk mengatasi masalah ini adalah dengan cara mengisinya dengan *filler* yang dapat memperkuat biopolimer dalam bentuk biokomposit (Dufresne, 2008). Dengan adanya *reinforcement*, maka akan menambah keuntungan antara lain meningkatkan kemampuan mekanik, termal, serta optik dibandingkan dengan biopolimer murni (Pettersen & Oksman, 2006).

Material yang sejauh ini digunakan antara lain adalah selulosa mikrokristal. Selulosa yang berasal dari bakteri memiliki kelebihan dibandingkan dengan selulosa dari tanaman, yaitu masih memiliki bentuk asli dan memiliki sifat

yang lebih baik (Chang *et al.*, 2011). Dalam pembahasan ini selulosa bakteri dapat dikonversi menjadi mikrokristal yang digunakan sebagai *filler* dari biokomposit *edible film*. Selulosa yang dihasilkan dari bakteri *Acetobacter xylinum* memiliki hasil yang lebih baik daripada selulosa yang berasal dari tanaman (Iguchi, Yamanaka, & Budhino, 2000). Metode yang digunakan untuk mengkonversi bakteri menjadi mikrokristal adalah dengan menggunakan hidrolisis enzim oleh enzim selulase (George, Ramana, & Siddaramiah, 2011). Mikrokristal yang sudah terbentuk akan menyatu dengan matriks biopolimer untuk membentuk biopolimer komposit.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan produk *edible film* berbahan dasar gelatin sebagai matriks biopolimer dan BCMC (*Bacterial cellulose microcrystal*) sebagai *filler* biokomposit (George & Siddaramiah, 2012). Kemasan makanan berbentuk *film* ini diharapkan memiliki sifat fisik yang lebih baik, sifat mekanik, dan meningkatkan stabilitas termal (Zao, Torley, & Halley, 2008).

## 1.2. Rumusan Masalah

Pada kenyataannya sudah banyak limbah plastik yang dihasilkan di dunia. Walaupun sudah banyak solusi yang dibuat untuk mengatasi permasalahan ini, namun tetap saja jumlah limbah plastik selalu mengalami peningkatan tiap tahunnya. Dalam sektor makanan limbah plastik juga mempunyai andil yang cukup besar. Maka dari itu penggunaan *edible film*, yang berasal dari bahan yang mudah terdegradasi dapat membantu pengurangan limbah plastik dalam sektor makanan.

Pembuatan *edible film* ini menggunakan gelatin dan penambahan *filler* berupa *Bacterial Cellulose Microcrystal* (BCMC) yang didapatkan dari selulosa bakteri *Acetobacter xylinum*. Selulosa dengan bentuk mikrokristal yang diambil dari bakteri menggunakan metode hidrolisis enzim untuk mendapatkan *green material*, yaitu bentuk material yang ramah lingkungan karena menggunakan bahan alami dan tidak banyak perlakuan bahan kimia. Dari penelitian ini diharapkan mendapat hasil *edible film* yang berbahan dasar material ramah

lingkungan dengan fungsi sebagai pelindung makanan dari bakteri, udara luar, dan kemungkinan penurunan kualitas makanan.

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi waktu pendispersian *filler*, konsentrasi gelatin didalam larutan, dan konsentrasi BCMC untuk mendapatkan produk biokomposit.
2. Mengetahui karakteristik *edible film* dari variasi *Bacterial Cellulose Microcrystal* (BCMC) yang dikerjakan yaitu karakterisasi berupa struktur, morfologi, sifat termal dan sifat mekanik.

### 1.4. Batasan Penelitian

Batasan-batasan yang digunakan adalah :

1. Gelatin yang digunakan merupakan gelatin *food grade*.
2. Bahan yang digunakan untuk mendapatkan BCMC adalah *Acetobacter xylinum* (nata de coco) dengan menggunakan hidrolisis enzim selulase.
3. Enzim selulase yang digunakan adalah *Trichoderma ressei* 700 U/g.

### 1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam makalah skripsi ini adalah:

#### BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini terdiri atas latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan dari penelitian pembuatan *edible film* berbahan dasar gelatin/BCMC dari hidrolisis enzim selulase.

#### BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan berbagai informasi yang didapatkan dari berbagai pustaka mengenai teori yang menjadi dasar penelitian ini seperti teori-teori tentang *edible film*, komposit, biokomposit, gelatin, selulosa, BCMC, hidrolisis enzim selulase, karakterisasi material, dan *state of the art*.

### BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini terdiri atas mekanisme penelitian yang dimulai dengan kelayakan teknik pembuatan *edible film* yang terdiri atas studi literatur, preparasi *green filler* BCMC, dan preparasi biopolimer berupa gelatin. Tahap selanjutnya adalah pembuatan biokomposit berupa *edible film* dengan menggunakan ultrasonikasi agar *filler* terdispersi dengan baik. Tahap ketiga adalah karakterisasi berupa SEM, PSA, WVTR, uji mekanik, serta uji sifat termal. Bab ini juga dijelaskan alat dan bahan dalam penelitian.

### BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

### BAB V : KESIMPULAN

Bab ini berisi kesimpulan hasil percobaan pembuatan dan karakterisasi gelatin biokomposit serta analisis data hasil pengamatan.

### DAFTAR PUSTAKA

### LAMPIRAN

## BAB II TINJAUAN

### PUSTAKA

#### 2.1. *Edible film*

Dalam 20 tahun terakhir, bahan kemasan yang berasal dari polimer petrokimia atau yang lebih dikenal dengan plastik, merupakan bahan kemasan yang paling banyak digunakan. Hal ini disebabkan karena berbagai keunggulan plastik seperti fleksibel, mudah dibentuk, transparan, tidak mudah pecah dan harganya yang relatif murah. Namun ternyata, polimer plastik juga mempunyai berbagai kelemahan, yaitu sifatnya yang tidak tahan panas, mudah rusak dan yang paling penting adalah dapat menyebabkan kontaminasi melalui transmisi monomernya ke bahan yang dikemas. Kelemahan lain dari plastik adalah sifatnya yang tidak dapat dihancurkan secara alami (*non -biodegradable*), sehingga menyebabkan beban bagi lingkungan khususnya pada negara-negara yang tidak melakukan daur ulang (*recycling*). Sampah plastik bekas pakai tidak akan hancur meskipun telah ditimbun berpuluh-puluh tahun, akibatnya penumpukan sampah plastik dapat menyebabkan pencemaran dan kerusakan bagi lingkungan hidup. Seiring dengan kesadaran manusia akan masalah ini, maka dikembangkanlah jenis kemasan dari bahan organik, dan berasal dari bahan-bahan terbarukan (*renewable*) dan ekonomis.

Salah satu jenis kemasan yang bersifat ramah lingkungan adalah kemasan *edible (edible packaging)*. *Edible film packaging* merupakan teknologi kemasan makanan berupa *film* tipis yang digunakan untuk *coating* makanan atau sebagai lapisan yang berada diantara produk makanan untuk menghalangi transfer massa yang dapat menghilangkan kualitas makanan (Balasubramaniam, Chinnan, Malikar, & Phillips, 1997; Guilbert *et al.*, 1997). Pada dasarnya kemasan ini terbagi menjadi beberapa tipe bentuk dan aplikasi untuk makanan, yaitu *edible coating* dan *edible film*. *Edible coating* diaplikasikan secara langsung ke produk makanan dengan penambahan lapisan tipis yang berbentuk larutan atau dengan senyawa yang sudah dicetak. Kemasan makanan ini dapat difungsikan dalam makanan dengan cara mengolesi dengan kuas, penyemprotan, atau pencelupan.

Karena kemasan makanan ini memiliki kontak langsung dengan produk makanan, maka seharusnya tidak memiliki efek yang berbahaya terhadap makanan tersebut (Baldwin, Nisperos, Chen, & Hagenmaier, 1996). *Edible coating* banyak digunakan untuk pelapis produk daging beku, makanan semi basah (*intermediate moisture foods*), produk konfeksionari, ayam beku, produk hasil laut, sosis, buah-buahan dan obat-obatan terutama untuk pelapis kapsul (Krochta *et al.*, 1994).

*Edible film* adalah lapisan tipis yang dibuat dari bahan yang dapat dimakan, dibentuk di atas komponen makanan yang berfungsi sebagai penghambat transfer massa (misalnya kelembaban, oksigen, lemak dan zat terlarut) dan atau sebagai *carrier* bahan makanan atau aditif (Krochta, 1992). *Edible film* harus mempunyai sifat-sifat yang sama dengan *film* kemasan seperti plastik, yaitu harus memiliki sifat menahan air sehingga dapat mencegah kehilangan kelembaban produk, memiliki permeabilitas selektif terhadap gas tertentu, mengendalikan perpindahan padatan terlarut untuk mempertahankan warna, pigmen alami dan gizi, serta menjadi pembawa bahan aditif seperti pewarna, pengawet dan penambah aroma yang memperbaiki mutu bahan pangan. Penggunaan *edible film* untuk pengemasan produk-produk pangan seperti sosis, buah-buahan dan sayuran segar dapat memperlambat penurunan mutu, karena *edible film* dapat berfungsi sebagai penahan difusi gas oksigen, karbondioksida dan uap air serta komponen rasa, sehingga mampu menciptakan kondisi atmosfer internal yang sesuai dengan kebutuhan produk yang dikemas.

Keuntungan penggunaan *edible film* untuk kemasan bahan pangan adalah untuk memperpanjang umur simpan produk serta tidak mencemari lingkungan karena *edible film* ini dapat dimakan bersama produk yang dikemasnya. Selain *edible film* istilah lain untuk kemasan yang berasal dari bahan hasil pertanian adalah biopolimer, yaitu polimer dari hasil pertanian yang digunakan sebagai bahan baku *film* kemasan tanpa dicampur dengan polimer sintesis (plastik). Bahan polimer diperoleh secara murni dari hasil pertanian dalam bentuk tepung, pati atau isolat. Komponen polimer hasil pertanian adalah polipeptida (protein), polisakarida (karbohidrat) dan lipida. Ketiganya mempunyai sifat termoplastik, sehingga mempunyai potensi untuk dibentuk atau dicetak sebagai *film* kemasan.

Keunggulan polimer hasil pertanian adalah bahannya yang berasal dari sumber yang terbarukan (*renewable*) dan dapat dihancurkan secara alami (*biodegradable*).

Penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa difusi oksigen dapat dikurangi dengan menambahkan clay montmorillonite ke dalam pektin (Mangiacapra *et al.*, 2005). Kesimpulan yang sama juga didapatkan oleh Zheng, Li, Ma, dan Yhao (2002) untuk mendapatkan sifat fisik yang lebih baik dengan menambahkan montmorillonite ke dalam gelatin. *Edible coating* dan *film* dengan *filler* nanomaterial dapat berfungsi untuk mempertahankan rasa, tekstur, warna, dan untuk mengontrol pertumbuhan mikroba (Siragusa & Dickson, 1992).

### **2.1.1. Bahan – Bahan Pembuatan *Edible film***

Komponen penyusun *edible film* mempengaruhi secara langsung bentuk morfologi maupun karakteristik pengemas yang dihasilkan. Komponen utama penyusun *edible film* dikelompokkan menjadi tiga, yaitu hidrokoloid, lipida dan komposit.

#### **Hidrokoloid**

Hidrokoloid yang digunakan dalam pembuatan *edible film* berupa protein atau polisakarida. Bahan dasar protein dapat berasal dari jagung, kedelai, *wheat gluten*, kasein, kolagen, gelatin, *corn zein*, protein susu dan protein ikan. Polisakarida yang digunakan dalam pembuatan *edible film* adalah selulosa dan turunannya, pati dan turunannya, pektin, ekstrak ganggang laut (alginat, karagenan, agar), gum (gum arab dan gum karaya), xanthan, kitosan dan lain-lain. Beberapa polimer polisakarida yang banyak diteliti akhir-akhir ini adalah pati gandum (*wheat*), jagung (*corn starch*) dan kentang.

#### **Lemak**

Lemak yang umum digunakan dalam pembuatan *edible film* adalah lilin alami (*beeswax*, *carnauba wax*, *paraffin wax*), asil gliserol, asam lemak (asam oleat dan asam laurat) serta emulsifier.

#### **Komposit**

Komposit adalah bahan yang didasarkan pada campuran hidrokoloid dan lipida.

### 2.1.2. Sifat Fisik dan Mekanik *Edible film*

Secara umum parameter penting karakteristik mekanik yang diukur dan diamati dari sebuah *film* kemasan termasuk *edible film* adalah kuat tarik (*tensile strength*), kuat tusuk (*puncture strength*), persen pemanjangan (*elongation to break*) dan elastisitas (*elastic modulus/young modulus*). Parameter-parameter tersebut dapat menjelaskan bagaimana karakteristik mekanik dari bahan *film* yang berkaitan dengan struktur kimianya. Karakteristik mekanik menunjukkan indikasi integrasi *film* pada kondisi tekanan (*stress*) yang terjadi selama proses pembentukan *film* tersebut. Kuat tarik adalah gaya tarik maksimum yang dapat ditahan oleh sebuah *film*. Parameter ini menggambarkan gaya maksimum yang terjadi pada *film* selama pengukuran berlangsung.

*Film* dengan struktur yang kaku (*rigid*) akan menghasilkan *film* yang tahan terhadap kuat tusuk (Banerjee *et al.*, 1996). Proses pemanjangan merupakan perubahan panjang maksimum pada saat terjadi peregangan hingga sampel *film* terputus. Modulus elatis merupakan kebalikan dari persen pemanjangan, karena akan semakin menurun seiring meningkatnya jumlah pemlastis dalam *film*. Modulus elastisitas menurun berarti fleksibilitas *film* meningkat, Modulus elastisitas merupakan ukuran dasar dari kekakuan (*stiffness*) sebuah *film*. Nilai permeabilitas suatu jenis *film* perlu diketahui, karena dapat dipergunakan untuk memperkirakan daya simpan produk yang dikemas di dalamnya.

Nilai permeabilitas juga dapat dipergunakan untuk menentukan produk atau bahan pangan apa yang sesuai untuk kemasan tersebut. Nilai permeabilitas mencakup permeabilitas terhadap uap air dan permeabilitas terhadap gas. Sifat-sifat fisik yang digunakan sebagai parameter mutu *edible film* adalah ketebalan *film*, warna, dan suhu transisi gelas. *Edible film* yang terbuat dari hidrokoloid memiliki beberapa kelebihan, yaitu baik untuk melindungi produk terhadap oksigen maupun CO<sub>2</sub> dan lipid, serta memiliki sifat mekanik yang diinginkan, selain itu meningkatkan kesatuan struktural produk, sedangkan kekurangannya yaitu bungkus dari karbohidrat kurang bagus untuk mengatur migrasi uap air dan bungkus dari protein biasanya dipengaruhi oleh perubahan pH. Kelebihan *edible film* dari lipid adalah dapat melindungi produk konfeksionari yang tidak boleh menyerap air selama penyimpanannya, sedangkan kekurangannya adalah



penggunaannya dalam bentuk murni terbatas karena kurangnya integritas dan ketahanannya.

### 2.1.3. Aplikasi *Edible film* pada Bahan Pangan

Penggunaan *edible film* sebenarnya sudah lama dilakukan, terutama pada sosis, yang pada zaman dahulu menggunakan usus hewan. Selain itu pelapisan buah-buahan dan sayuran dengan lilin juga sudah dilakukan sejak tahun 1800-an. Aplikasi dari *edible film* untuk kemasan bahan pangan saat ini sudah semakin meningkat, seiring kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga lingkungan hidup. *Edible film* dan *biodegradable film* banyak digunakan untuk pengemasan produk buah - buahan segar yaitu untuk mengendalikan laju respirasi, akan tetapi produk-produk pangan lainnya juga sudah banyak menggunakan *edible coating*, seperti produk konfeksionari, daging dan ayam beku, sosis, produk hasil laut dan pangan semi basah. Aplikasi dari *edible film* atau *edible coating* dapat dikelompokkan menjadi :

#### A. Sebagai kemasan primer dari produk pangan

Contoh dari penggunaan *edible film* sebagai kemasan primer adalah pada permen, sayur-sayuran dan buah-buahan segar, sosis, daging dan produk hasil laut.

#### B. Sebagai *barrier*

Penggunaan *edible film* sebagai *barrier* dapat dilihat dari contoh-contoh berikut :

- *Gellan gum* yang direaksikan dengan garam mono atau bivalen yang membentuk *film*, diperdagangkan dengan nama dagang Kelcoge merupakan *barrier* yang baik untuk absorpsi minyak pada bahan pangan yang digoreng, sehingga menghasilkan bahan dengan kandungan minyak yang rendah. Di Jepang bahan ini digunakan untuk menggoreng tempura.
- *Edible coating* yang terbuat dari zein (protein jagung), dengan nama dagang Z'coat<sup>TM</sup> (Cozean) dari Zumbro Inc., Hayfield, MN terdiri dari zein, minyak sayuran, BHA, BHT dan etil alkohol, digunakan untuk produk-produk konfeksionari seperti permen dan coklat .

- *Fry Shiled* yang dipatenkan oleh Kerry Ingradientt, Beloit, WI dan Hercules, Wilmington, DE, terdiri dari pektin, remah-remahan roti dan kalsium, digunakan untuk mengurangi lemak pada saat penggorengan, seperti pada penggorengan *french fries*.
- *Film Zein* dapat bersifat sebagai *barrier* untuk uap air dan gas pada kacang – kacang atau buah-buahan. Diaplikasikan pada kismis untuk sereal sarapan siap santap (*ready to eat- breakfast cereal*)

### C. Sebagai pengikat (binding)

*Edible film* juga dapat diaplikasikan pada *snack* atau *crackers* yang diberi bumbu, yaitu sebagai pengikat atau adhesif dari bumbu yang diberikan agar dapat lebih melekat pada produk. Pelapisan ini berguna untuk mengurangi lemak pada bahan yang digoreng dengan penambahan bumbu-bumbu.

## 2.2. Komposit

### 2.2.1. Definisi Komposit

Komposit adalah perpaduan dari dua material atau lebih yang memiliki komponen penyusun yang berbeda sehingga menjadi suatu material baru yang memiliki potensi yang lebih baik dan unggul dari kedua bahan awalnya. Perpaduan material tersebut terjadi dalam skala makroskopis dan terjadi ikatan permukaan pada antara masing – masing material penyusunnya (Rao, 1980).. Pembuatan material komposit dilakukan dengan tujuan tertentu sehingga dapat ditentukan materi yang akan dicampurkan. Dalam hal ini contohnya adalah pembuatan komposit *edible film* dengan mencampurkan polimer gelatin (sebagai matriks) dan *Bacterial Cellulose Microcrystal* (sebagai *filler*).

Sifat dan karakteristik komposit ditentukan oleh material yang menjadi penyusun komposit, bentuk dan penyusunan struktural dari penyusun, serta interaksi antar penyusun (Rao, 1980). Material penyusun komposit yang akan digunakan harus sesuai dengan *rule of mixture* sehingga perbandingannya akan proporsional. Selain jenis materialnya, bentuk dan cara penyusunan materi komposit akan mempengaruhi sifat dan karakteristiknya dan interaksi antar

penyusunnya membuat sifat komposit meningkat dari komponen awal (Rao, 1980).

### **2.2.2. Komponen Komposit**

Material penyusun komposit menentukan sifat yang akan dihasilkan. Komponen penyusun komposit terbagi atas dua bagian besar, yaitu matriks dan penguat (Rao, 1980).

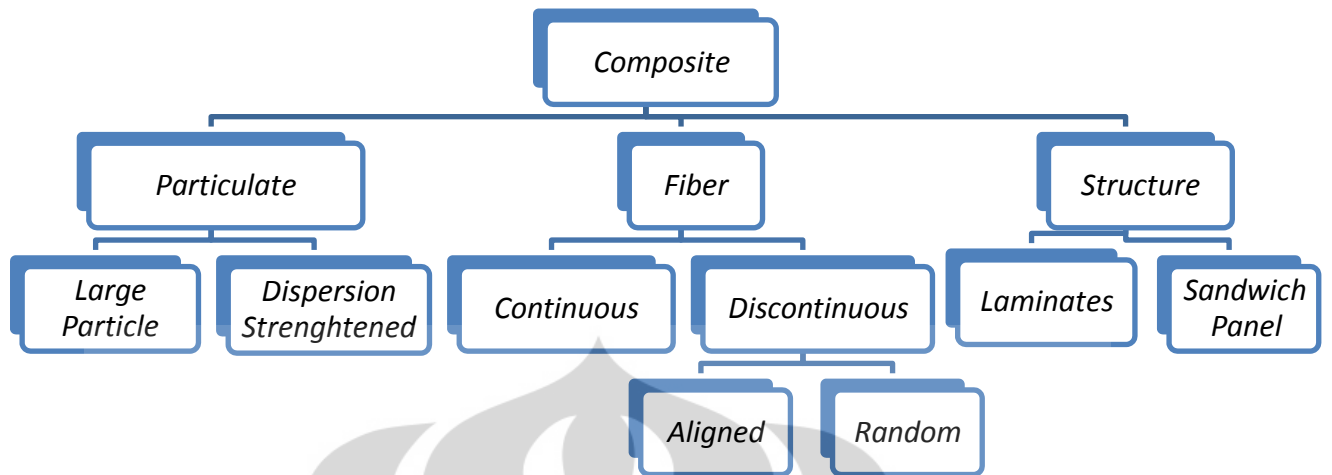
#### **2.2.2.1. Matriks**

Matriks merupakan salah satu komponen penyusun komposit yang bersifat perekat dan pelindung *filler* (pengisi) dari kerusakan internal. Matriks akan selalu menjaga *filler* atau bahan penguat tetap pada *tempat*nya, membantu distribusi beban, melindungi filamen di dalam struktur, mengendalikan sifat elektrik dan kimia dari komposit, serta membawa regangan interlaminer. Matriks merupakan penyusun utama dengan fraksi volume terbesar. Berdasarkan matriks, komposit dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Komposit Matriks Logam (menggunakan logam sebagai matriks)
2. Komposit Matriks Polimer (menggunakan polimer sebagai matriks)
3. Komposit Matriks Keramik (menggunakan keramik sebagai matriks)

#### **2.2.2.2. Penguat (*Reinforcement*)**

Penguat atau *reinforcement* merupakan sebuah pengisi (*filler*) dalam komposit. Komponen ini berguna untuk menguatkan dan bertindak sebagai kerangka dalam komposit. Penguat yang biasa digunakan adalah fiber maupun logam dengan fasa diskontinyu. Penguat yang digunakan tergantung pada sifat komposit yang akan dihasilkan. Sifat dari penguat atau pengisi inilah yang akan menentukan ciri khas dari komposit. Berdasarkan penguat, komposit dapat diklasifikasikan pada Gambar 2.1.

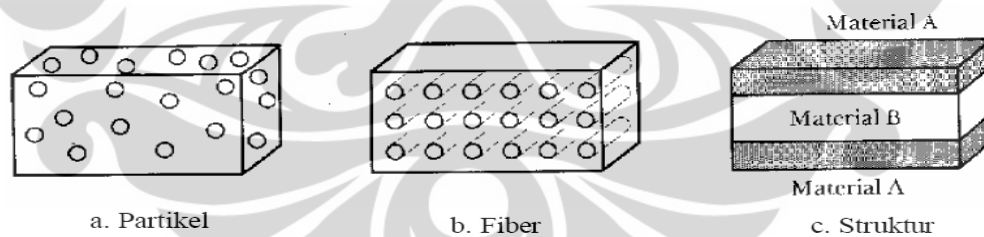


**Gambar 2. 1.** Pembagian Komposit Berdasarkan Penguatnya (Rao, 1980).

Berdasarkan Gambar 2.1. komposit berdasarkan jenis penguatnya dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. *Particulate Composite* (penguatnya berupa partikel)
2. *Fiber Composite* (penguatnya berupa serat)
3. *Structure Composite* (cara penggabungan material komposit)

Gambar 2.2 menunjukkan ilustrasi dari komposit berdasarkan penguatnya :



**Gambar 2. 2.** Ilustrasi dari Komposit Berdasarkan Penguatnya (Rao, 1980).

### 2.2.3. Biokomposit

Biokomposit adalah suatu material komposit yang merupakan gabungan dari polimer alami sebagai fase organik dan penguat/pengisi sebagai fase anorganiknya (Darder, 2008). Dalam pembuatan suatu biokomposit, penggunaan bahan pengisi berskala nano menunjukkan perbaikan pada sifat fisik dan mekanik

seperti *tensile strength*, *thermal stability* bila dibandingkan dengan material konvensional lainnya (Avella, 2009). Sifat biokomposit sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat yang dimiliki oleh bahan pengisinya. Karena itu, struktur dan sifat fungsional biokomposit dapat dibuat sesuai dengan keinginan dengan memilih bahan pengisinya. Sifat gelatin yang bersifat hidrofilik akan mampu menyerap air dengan jumlah yang cukup banyak. Namun ketika dicampur *filler* BCMC, maka ikatan hidrogen pada gelatin akan lebih mengikat *filler* daripada air. Berikut ini adalah Tabel 2.1 yang menunjukkan perbandingan antara material konvensional (komposit), nanokomposit, dan biokomposit :

**Tabel 2. 1.** Perbandingan Antara Material Konvensional (Komposit), Nanokomposit, dan Biokomposit (Darder, 2008)

	<b>Materi Konvensional</b>	<b>Nanokomposit</b>	<b>Biokomposit</b>
	<i>Fiber Reinforcement Plastic</i>	sistim multifasa sifat gabungan antara matriks polimer dengan fasa terdispersi berukuran nano	sistim multifasa sifat gabungan antara matriks polimer <i>degradabel</i> dengan fasa terdispersi berukuran nano ( <i>nanofiller</i> )
<b>Matriks</b>	keramik , natural rubber, ferrosconcrete, polimer derivatif minyak bumi	polimer derivatif minyak bumi	polimer alami (pati, selulosa, protein)
<b>Pengisi</b>	Mineral, serat, skala mikro 5- 50 $\mu$ m, >30%	Mineral, serat, metal oksida, <i>size nanometer</i>	Polimer degradabel, protein,mineral metal oksida
<b>Penggunaan</b>	Bangunan, FRP, peralatan rumah tangga	<i>Otomotif, packaging, cosmetic, aerospace, building, sport</i>	<i>Functional material : food packaging, medicine, electrical devices</i>
<b>Sifat</b>	Berat, kaku, sulit dibentuk	Ringan, dapat dibentuk non degradabel, karakteristik lebih baik dari pada material konvensional.	<i>Green composite, Degradabel, ringan, coMPatible .</i>

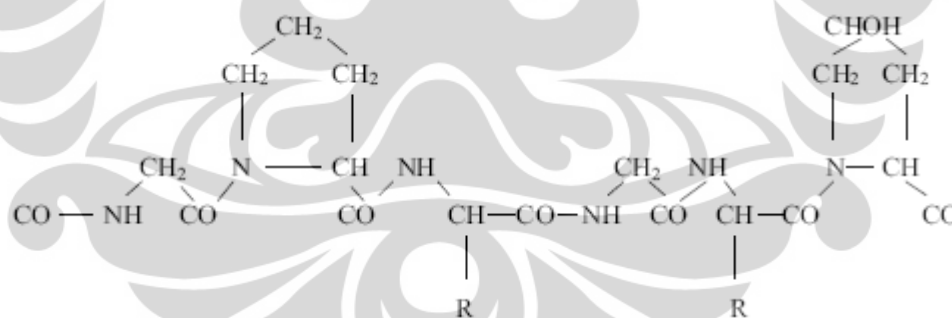
#### 2.4. Gelatin

Gelatin merupakan hasil denaturasi termal kolagen yang didapatkan dari kulit dan tulang hewan. Gelatin terdiri dari dua tipe, yaitu gelatin A dan gelatin B. Berdasarkan sifat bahan dasarnya pembuatan gelatin dapat dikategorikan dalam 2 prinsip dasar yaitu cara alkali dan asam.

Gelatin sangat penting dalam rangka diversifikasi bahan makanan, karena nilai gizinya yang tinggi yaitu terutama akan tingginya kadar protein khususnya asam amino dan rendahnya kadar lemak. Gelatin kering mengandung kira-kira 84 – 86 % protein, 8 – 12 % air dan 2 – 4 % mineral. Dari 10 asam amino esensial yang dibutuhkan tubuh, gelatin mengandung 9 asam amino esensial, satu asam amino esensial yang hampir tidak terkandung dalam gelatin yaitu triptofan.

Gelatin diketahui memiliki bentuk yang jernih fleksibel, kuat, dan tidak tembus terhadap oksigen. Gelatin yang berbentuk *film* biasa digunakan dalam bidang farmasi dan industri makanan termasuk mikroenkapsulasi dan lapisan untuk obat. Gelatin juga digunakan untuk preparasi biokomposit dengan layer silikat seperti MMT untuk menaikkan sifat fisik dan ketahanan terhadap air.

Gelatin memiliki sifat yang sangat hidrofilik. Gelatin dapat mengembang dan menyerap air 5 – 10 kali berat asalnya. Dalam suhu atau tekanan tertentu, gelatin menunjukkan tekanan yang *reversible*. Gelatin memiliki struktur protein yang unik yang dilengkapi dengan berbagai sifat fungsional. Dalam larutan, gelatin membentuk senyawa heliks (*triple*) dan bersifat amfoter. Gambar 2.3 adalah struktur molekul gelatin.



Gambar 2. 3. Struktur Kimia Gelatin (Lai, 1997)

Struktur gelatin terdiri atas rantai asam amino yang dihubungkan oleh ikatan peptida (Gambar 2.3). Rantai asam amino dominan yang terdapat dalam gelatin adalah glicin (26 – 34%), prolin (10 – 18%), dan hidroksiprolin (7 – 15%). Beberapa jenis asam amino lain terdapat pula dalam gelatin, misalnya adalah alanin (8 – 11%), arginin (8 – 9%), asam aspartat (6-7%) dan asam glutamat (10 – 12%). Meskipun demikian, gelatin bukan merupakan protein yang lengkap. Hal

ini dikarenakan gelatin tidak mengandung asam amino triptofan dan hanya sedikit mengandung asam amino isoleusin, treonin, metionin, sistein, dan sistin.

#### **2.4.1. Struktur, Sifat Kimia dan Karakterisasi Gelatin Fasa Padat**

Sifat gelatin yang memiliki ikatan rantai molekular yang kaku dan berat hampir sama dengan polimer sintetis. Pada kondisi tertentu (suhu, solven, pH) gelatin dapat memiliki bentuk dan karakteristik yang berbeda – beda. Selain itu, gelatin menunjukkan distribusi massa molekular yang lebih besar. Gelatin dapat membentuk struktur molekular yang sangat luas bahkan dari bentuk globular yang kecil dan tidak berbentuk menjadi struktur fibril yang terbentuk dengan baik.

Perbedaan struktur dari unit rantai gelatin menentukan sifat fisik gelatin tertentu. Kebanyakan polimer sintetis tidak menunjukkan sifat tertentu tersebut seperti halnya pada sifat biopolimer. Gelatin memiliki gugus fungsi asam dan basa pada saat yang bersamaan. Gelatin juga mempunyai kapasitas untuk membentuk struktur triple helix yang tidak terdapat pada polimer sintetis. Pembentukan struktur helix tergantung pada beberapa faktor antara lain adalah keberadaan ikatan kovalen silang, berat molekular gelatin, keberadaan iminoacid, dan konsentrasi gelatin dalam larutan. Gelatin juga memiliki interaksi yang spesifik dengan air yang berbeda dengan polimer sintetis hidrofilik yang lain. Hal tersebut akan menentukan sifat fisik dan mekanik gelatin.

#### **2.4.2. Pengaruh Kondisi Pencetakan pada Karakterisasi Struktur Gelatin**

Detail dari proses saat pencetakan mempengaruhi struktur polimer pada hasil terakhir. Proses pencetakan sangat berpengaruh oleh faktor suhu, kecepatan pengeringan, konsentrasi gelatin pada larutan awal, dan solven. Pada analisis XRD, spectroscopic, dan rotasi optik, gelatin dalam bentuk *film* telah menunjukkan bahwa pencetakan *film* pada suhu ruang atau lebih rendah, gelatin akan menunjukkan struktur helix seperti kolagen. Pada saat yang bersamaan jika gelatin dipanaskan pada suhu di atas 35°C pada air akan membentuk coil.

Kinetik pada proses pembentukan helix mengharuskan penyimpanan gel pada gelatin sebelum waktu proses pengeringan. Selama periode ini, derajat helisitas maksimal telah tercapai. Derajat helisitas juga dipengaruhi oleh kelembaban udara. Suhu pada pembentukan *film* juga dipengaruhi oleh konsentrasi gelatin pada larutan awal. Semakin dekat temperatur pengeringan menuju temperatur pelelehan gel, maka konsentrasi gelatin yang dibutuhkan untuk membentuk struktur heliks menjadi lebih tinggi. Selain itu penggunaan solven juga berpengaruh untuk pembentukan *film* pada gelatin.

Dari pernyataan sebelumnya, maka karakteristik struktur gelatin dapat di kontrol pada saat pembentukan struktur gelatin pada larutan. Maka dari itu gelatin dapat dibuat dengan karakterisasi yang berbeda – beda yang akan terlihat pada sifat fisik, kimia, dan mekaniknya

#### 2.4.3. Hubungan antara Konformasi Gelatin dengan Sifat Fisik – Mekanik

Sifat fisik dan mekanik pada rantai polimer yang kaku tergantung pada struktur molekulnya. Maka dari itu, gelatin dengan bentuk fibrilar akan memiliki sifat khusus yang lain, namun pada bentuk globular sifat tersebut akan hilang sebagian atau seluruhnya. Bentuk perbedaan molekul (*helix-coil*) akan mempengaruhi sifat fisik dan mekanik. Berikut ini adalah Tabel 2.2 yang menunjukkan pengaruh struktur gelatin pada sifat mekaniknya dalam bentuk *film*.

**Tabel 2. 2.** Pengaruh Struktur Gelatin pada Sifat Mekaniknya dalam Bentuk *Film* (Lai, 1997)

Suhu pencetakan (°C)	Fasa selama masa pengeringan	Konformasi makromolekul	Kekuatan tarik (kg mm <sup>-2</sup> )	Elongasi	Modulus Elastisitas (kg mm <sup>-2</sup> )
20	Gel	Helix	646	3,7	370
50 – 60	Larutan	Coil	350	1,7	600

Sifat mekanik pada *film* mengandung makromolekul dengan respon konformasi yang berbeda untuk berubah bergantung pada kelembabannya.



#### 2.4.4. Pengaruh Air pada Struktur dan Sifat Mekanik Gelatin

Kolagen dan gelatin memiliki respon yang kuat dengan air dan penjelasan tentang peristiwa tersebut harus signifikan. Telah diketahui bahwa isoterm pada penyerapan air oleh gelatin sangat jelas bersifat hidrofilik dan dibuktikan dengan kadar variasi interaksi yang tinggi dengan penyerapan air menggunakan analisis BET. Penyerapan air oleh gelatin bergantung pada beberapa faktor, yaitu pH dan ionisasi dari grup yang terpisah. Pada saat yang bersamaan, kapasitas penyerapan air pada gelatin tidak bergantung pada berat molekul, kecuali mungkin pada saat produk sangat terhidrolisis dimana jumlah karboksil dan amino menjadi bertambah dan juga kapasitas penyerapan gelatin menurun dengan kenaikan temperatur. Selain itu, semakin tinggi orde molekular gelatin maka kapasitas penyerapan uap air akan semakin cepat. Untuk tipe ikatan air dengan gelatin dibedakan menjadi 3 :

1. Air terikat dengan penyerapan energi pusat yang tinggi.

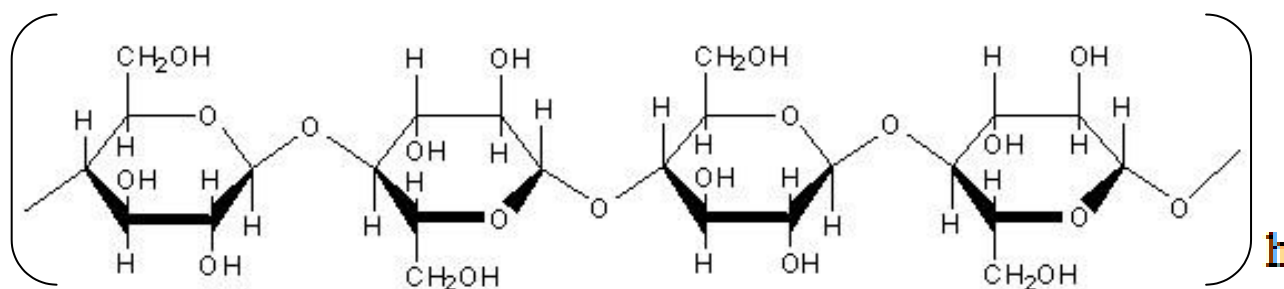
Air tersebut berada di dalam triple helix kolagen dan sangat stabil dengan ikatan hidrogen intramolekular. Jumlah air ini bergantung pada derajat helisitas makromolekul.

2. Air terserap oleh gugus polar makromolekular dari gelatin dan kolagen

3. Air terserap oleh protein pada lapisan polimolekul

#### 2.5. Selulosa

Selulosa  $(C_6H_{10}O_5)_n$  adalah polimer berantai panjang polisakarida karbohidrat, dari beta-glukosa. Selulosa merupakan senyawa organik yang terdapat pada dinding sel bersama lignin berperan dalam mengokohkan struktur tumbuhan. Selulosa pada kayu umumnya berkisar 40-50%, sedangkan pada kapas hampir mencapai 98%. Selulosa terdiri atas rantai panjang unit-unit glukosa yang terikat dengan ikatan 1-4 $\beta$ -glukosida. Gambar 2.4 merupakan struktur selulosa.



Gambar 2. 4. Struktur Selulosa (Gilberto *et al.*, 2010)

Selulosa merupakan senyawa yang tidak dipergunakan dalam biomassa di alam. Selulosa yang diekstrak dari serat alami menghasilkan beberapa macam *filler* berskala mikro, yang bernama selulosa mikrokristal dan selulosa mikrofibril. Studi belakangan ini menemukan bahwa jika selulosa dipergunakan sebagai *filler*, maka akan meningkatkan sifat fisik dan mekanik serta *barrier* bagi biokomposit (Gilberto, Bras, & Dufresne, 2010).

## 2.6. *Bacterial Cellulose Microcrystal (BCMC)*

Pada dasarnya terdapat dua kelompok *filler* yang terdapat dalam selulosa. Kelompok pertama terdiri dari selulosa mikrokristal dan kelompok kedua adalah selulosa mikrofibril (Dufresne, 2006; Lu, Askeland, & Drzal, 2008). Akan tetapi berbagai macam terminologi digunakan untuk mendeskripsikan selulosa mikropartikel ini. Berikut ini adalah tabel rangkuman yang menerangkan bahan mentah selulosa dan proses ekstraksinya (Tabel 2.3).

**Tabel 2. 3.** Beberapa Terminologi yang Digunakan untuk Mendeskripsikan Nanopartikel Selulosa (Gilberto, Bras, & Dufresne, 2010).

Acronyms	Name	Source	Process
CNW	Cellulose nanowhiskers	Ramie	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hydrolysis
		MCC	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hydrolysis
		MCC	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hydrolysis
		Grass fiber	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hydrolysis
		MCC	LiCl:DMAc
CNXL	Cellulose Nanocrystals	Cotton Whatman filter paper	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hydrolysis
		Bacterial cellulose	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hydrolysis
		Cotton (cotton wool)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hydrolysis
		MCC	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hydrolysis
		MCC	Sonication
CNW-HCl	Cellulose nanowhiskers	Cotton linters	HCl hydrolysis
Wh	Whiskers	Cellulose fibers	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hydrolysis
NF	Nanofibers	Wheat straw	HCl + Mechanical Treatment
NCC	Nanocrystalline cellulose	MCC	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hydrolysis
MFC	Microfibrillated Cellulose	Pulp Gaulin	Homogenizer
		Pulp Daicel	-
		Pulp Daicel	-
NFC	Nanofibrillated cellulose Cellulose nanofibrils	Sulfite pulp	Mechanical
MCC	Microcrystalline cellulose	Alpha-cellulose fibers	Hydrolysis
-	Cellulose Crystallites	Cotton Whatman filter paper	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hydrolysis
-	Nanocellulose	Sisal fibers	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hydrolysis
-	Cellulose Microcrystal	Cotton Whatman filter paper	HCl hydrolysis
-	Nanofibers	Soybean pods	Chemical treatment + high pressure defibrillator

Di dalam Tabel 2.3 disebutkan bahwa selulosa mikrokrystal dapat dihasilkan dengan menghidrolisis bakteri. *Filler* ini disebut juga sebagai *Bacterial Cellulose Microcrystal* (BCMC). BCMC didapatkan dari bakteri *Acetobacter xylinum* yang diketahui memiliki sifat yang jauh lebih baik dari pada selulosa yang berasal dari tanaman (Iguchi, Yamanaka, & Budhino, 2000). Bakteri selulosa biasa digunakan sebagai *scaffold* dalam teknik jaringan (Svensson *et al.*, 2005), diafragma akustik (Nishi *et al.*, 1990), membran pergantian ion (Choi *et al.*, 2004), alat elektronik (Nogi & Yano, 2008), dll.

Selain itu bakterial selulosa juga digunakan aplikasi sektor makanan, contohnya adalah dalam proses pembuatan sirup, sebagai *dessert* untuk *cocktail* ataupun *jelly* (Okiyama, Motoki, & Yamanaka, 1992; Vandamme, De Baets,

Vanbaelen, Joris, & De Wulf, 1998). BCMC memiliki tekstur yang lembut dan komponen serat yang tinggi sehingga cocok sebagai agen untuk menstabilkan dalam beberapa proses makanan. Bakterial selulosa memiliki keuntungan lain, yaitu dapat dengan mudah diproses menjadi mikrofibril, nanofibril, dan mikrokristal yang dapat digunakan sebagai *reinforcement* untuk *edible biocomposite film*.

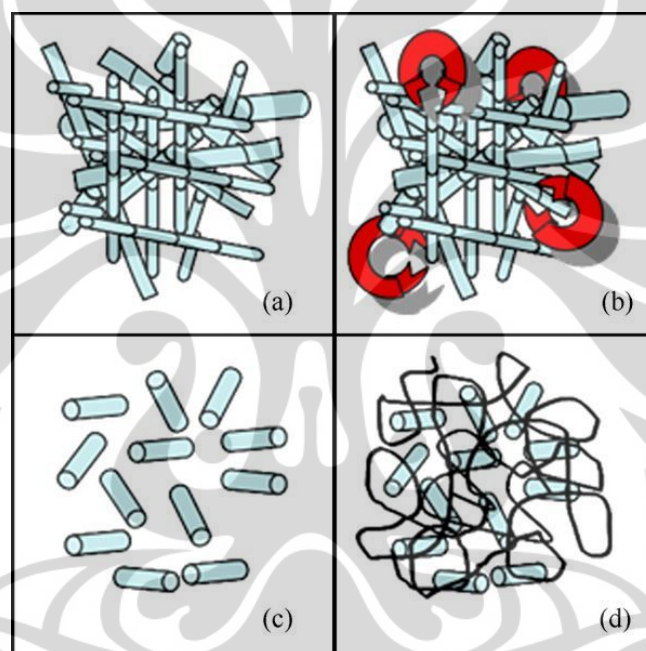
## 2.7. Metode Hidrolisis Enzim Selulase untuk Menghasilkan BCMC

Metode yang digunakan untuk menghasilkan mikrokristal dari bakterial selulosa adalah dengan cara hidrolisis asam (Araki, Waga, Kuga, & Okano, 1998; Hirai, Inui, Horii, & Tsuji, 2009). Namun metode ini memiliki beberapa kelemahan, diantaranya adalah rendahnya stabilitas termal pada BCMC yang dihasilkan dibandingkan dengan selulosa murni (Roman & Winter, 2004). Stabilitas termal merupakan hal yang penting untuk diperhatikan karena berhubungan dengan *reinforcement* pada pembentukan biokomposit.

Selulosa pada tanaman secara alami disintesis oleh multikomponen enzim, yaitu sintesis selulosa. Sebaliknya, enzim selulase yang merupakan bagian dari multikomponen enzim tersebut menghidrolisis polimer menjadi beberapa bagian selulosa dengan berat molekul yang lebih rendah, yaitu selobiosa dan glukosa, tergantung dari beberapa parameter (Tebeka *et al.*, 2009; Goyal *et al.*, 1991). Dalam tanaman dan bakterial selulosa, terdapat mikrofibril yang berbentuk benang pada bagian selulosa kristalin yang terhubung dengan bagian yang tidak berbentuk. Bagian yang tidak berbentuk inilah merupakan komponen dengan rantai panjang yang harus dipisahkan pada benang mikrofibril untuk mendapatkan selulosa mikrokristal dengan rantai yang lebih pendek. Penghilangan fragmen ini dilakukan dengan hidrolisis enzim yang bekerja dengan memotong mikrofibril untuk mendapatkan struktur mikrokristal.

Endoglukonase merupakan komponen enzim selulase yang bertugas menghidrolisis bagian yang tidak berbentuk tersebut pada rantai panjang selulosa dengan pemotongan secara acak supaya menjadi bagian selulosa yang lebih kecil (Ahola *et al.*, 2008). Bagian kristalin yang lebih pendek pada selulosa merupakan

bagian yang mudah terhidrolisis enzim (Himmel *et al.*, 2007). Fenomena variasi kerentanan pada bagian yang tidak berbentuk dan bagian kristalin pada selulosa saat hidrolisis enzim dipergunakan sebagai studi yang saat ini terus dikembangkan. Penelitian yang saat ini dikembangkan adalah cara memproduksi selulosa mikrokristal menggunakan enzim selulase yang prosesnya menggunakan parameter terkontrol, yaitu pH, suhu, dan waktu. Berikut ini adalah gambar yang menunjukkan skema representasi perubahan bakterial selulosa menjadi BCMC dengan hidrolisis enzim (Gambar 2.5).



**Gambar 2. 5.** Skema Representasi dari a) Bakterial Selulosa, b) Hidrolisis Enzim dari Selulosa, c) BCMC, d) BCMC yang Terdapat dalam Polimer Biokomposit (Himmel *et al.*, 2007)

## 2.8. Karakterisasi Material

Tahap karakterisasi bertujuan untuk mengetahui data-data spesifik material yang akan digunakan untuk menganalisis struktur gelatin biokomposit serta bahan-bahan yang digunakan seperti penggunaan matriks polimer dan *filler* yang berhasil diproduksi serta aktivitasnya pada material yang dihasilkan.

### 2.8.1. Karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscope*)

SEM merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi material. Beberapa hal yang dikarakterisasi yaitu permukaan material tersebut. Setelah material diamati dengan SEM ini maka akan diperoleh bagaimana bentuk permukaan material tersebut.

Pada SEM, permukaan material ditembaki dengan berkas elektron berenergi tinggi. Elektron berenergi tinggi ini memiliki panjang gelombang yang sangat pendek yang bersesuaian dengan panjang gelombang de Broglie. Proses ini mengakibatkan adanya elektron yang dipantulkan atau dihasilkannya elektron sekunder. Elektron yang dipantulkan diterima oleh detektor. Lalu hasil yang diterima diolah oleh program dalam komputer.

Ada beberapa syarat pada material yang dikarakterisasi dengan SEM ini. Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa detektor mendeteksi elektron yang dipantulkan atau elektron sekunder yang dihasilkan oleh material, maka sifat ini dimiliki oleh material yang berjenis logam. Jika material yang bersifat isolator dikarakterisasi dengan SEM, maka hasilnya tidak bagus dan mungkin akan hitam. Untuk mencegah terjadinya hal demikian dapat dilakukan dengan melapisi isolator tersebut dengan logam. Proses pelapisan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara, misalnya dengan proses evaporasi atau proses sputtering.

Pada proses evaporasi, logam dipanaskan lalu menguap. uap logam ini menempel di atas material isolator. Tebal lapisan diatur dengan mengatur waktu evaporasi. Sedangkan pada proses sputtering, logam ditembaki dengan ion gas. Hal ini menyebabkan atom-atom logam menjadi terlepas lalu menempel pada material isolator. Gambar 2.6 merupakan sampel material yang sedang mengalami sputtering.



**Gambar 2. 6.** Proses Sputtering Sampel Isolator

Pengkarakterisasian dengan SEM ini tidak boleh terlalu lama. Karena berkas elektron energi tinggi yang digunakan akan menyebabkan atom-atom material menjadi terlepas sehingga material akan menjadi rusak. Berikut adalah Gambar 2.7 merupakan alat analisis SEM yang terdapat di STP – Polimer Serpong.



**Gambar 2. 7.** Alat Uji SEM

### **2.8.2. Karakterisasi PSA (*Particle Size Analyzer*)**

Pengukuran distribusi partikel menggunakan Particle Size Analyzer (PSA), Delta<sup>TM</sup> Nano C, Beckman Coulter. PSA Delta<sup>TM</sup> Nano C dapat digunakan untuk menganalisa ukuran partikel dan pengukuran nilai zeta potensial dengan tingkat keakuratan yang tinggi, sensitivitas dan resolusi, tanpa memperhatikan konsentrasi sampel atau konduktivitasnya. Rentang pengukuran dari alat ini yaitu

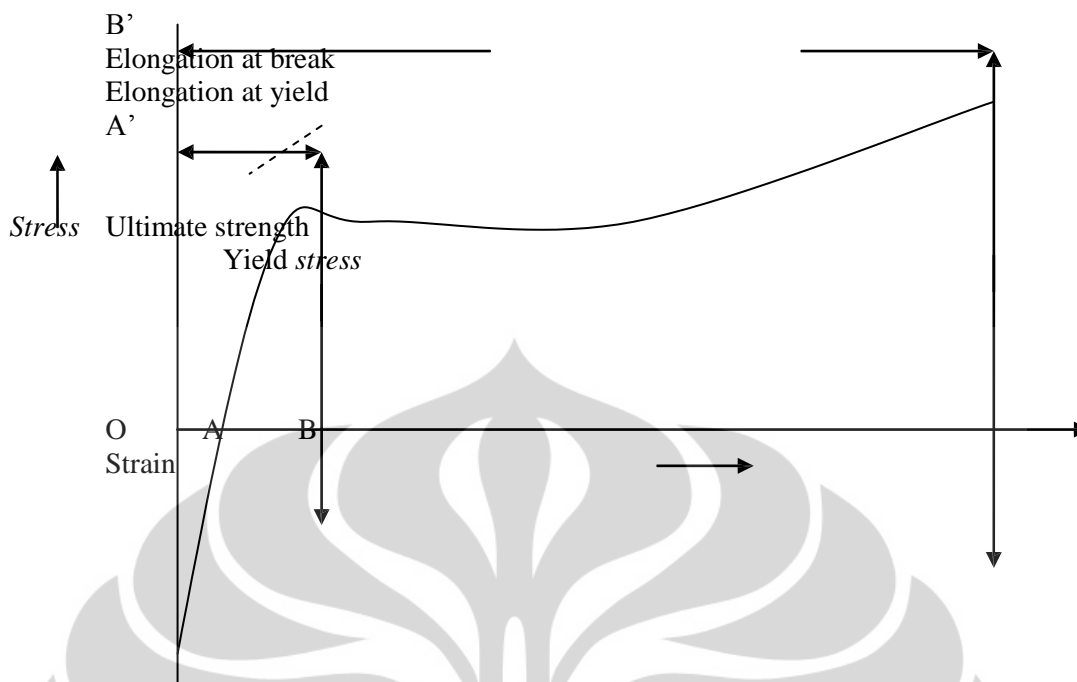
dari 0,6  $\mu\text{m}$  – 7 nm. PSA Delta<sup>TM</sup> Nano C menggunakan prinsip *Photon Correlation Spectroscopy* dan *Electrophoretic Light Scattering*. Untuk pengukuran distribusi partikel menggunakan prinsip *Photon Correlation Spectroscopy* yang merupakan teknik untuk menentukan koefisien difusi partikel kecil dalam larutan dengan mengukur intensitas penyebaran sinar dari partikel sebagai fungsi waktu. Proses yang terjadi selama pengukuran antara lain partikel terdifusi melewati sel sampel dikarenakan gerak Brown, kemudian sinar laser menyinari partikel. Penyebaran sinar partikel, menciptakan fluktuasi dalam intensitas penyebaran dan dikumpulkan pada sudut yang dipilih selanjutnya diukur dengan detektor sensitif. Laju difusi partikel ditentukan oleh ukuran partikel, informasi mengenai ukuran terdapat di dalam laju fluktuasi dari penyebaran sinarnya sehingga dari laju penyebaran sinar dapat ditentukan distribusi partikel dari populasi sampel yang diukur (Beckman Coulter, 2008).

### **2.8.3. Karakterisasi Kekuatan Tarik (*Tensile strength*)**

Pengujian sifat mekanik bahan polimer banyak digunakan untuk mendapatkan data mengenai kualitas bahan tersebut. Metoda yang digunakan adalah uji tarik. Dari uji tarik ini akan diperoleh kurva tegangan-regangan (*stress-strain*). Informasi yang diperoleh dari kurva ini untuk polimer adalah kekuatan tarik dan perpanjangan dari bahan.

Kekuatan tarik merupakan reaksi ikatan antara atom-atom atau antara ikatan-ikatan dalam polimer terhadap gaya luar atau tegangan. Melalui pengujian kekuatan tarik diperoleh kurva tegangan (*stress*) terhadap regangan (*strain*). Bentuk umum kurva tegangan-regangan ditunjukkan Gambar 2.8.





**Gambar 2. 8.** Bentuk Umum Kurva Tegangan-Regangan Bahan Polimer

Pada kurva tegangan-regangan terdapat daerah yang masing-masing menggambarkan proses fisik tertentu. Pada daerah O-A' bahan bersifat elastis dan perubahan yang terjadi bersifat reversibel. Jika beban bertambah sampai pada suatu nilai tertentu yang lebih kecil dari A' kemudian beban dilepas, maka kurva tegangan-regangan akan kembali ke keadaan semula. Deformasi elastis ini disebabkan terjadinya tekukan (*bending*) dan tarikan (*stretching*) pada ikatan kovalen sepanjang rantai polimer. Kemiringan kurva pada daerah O-A' dapat digunakan untuk menentukan modulus elastisitas suatu bahan polimer, seperti dinyatakan persamaan (2.1).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.1)$$

Keterangan :

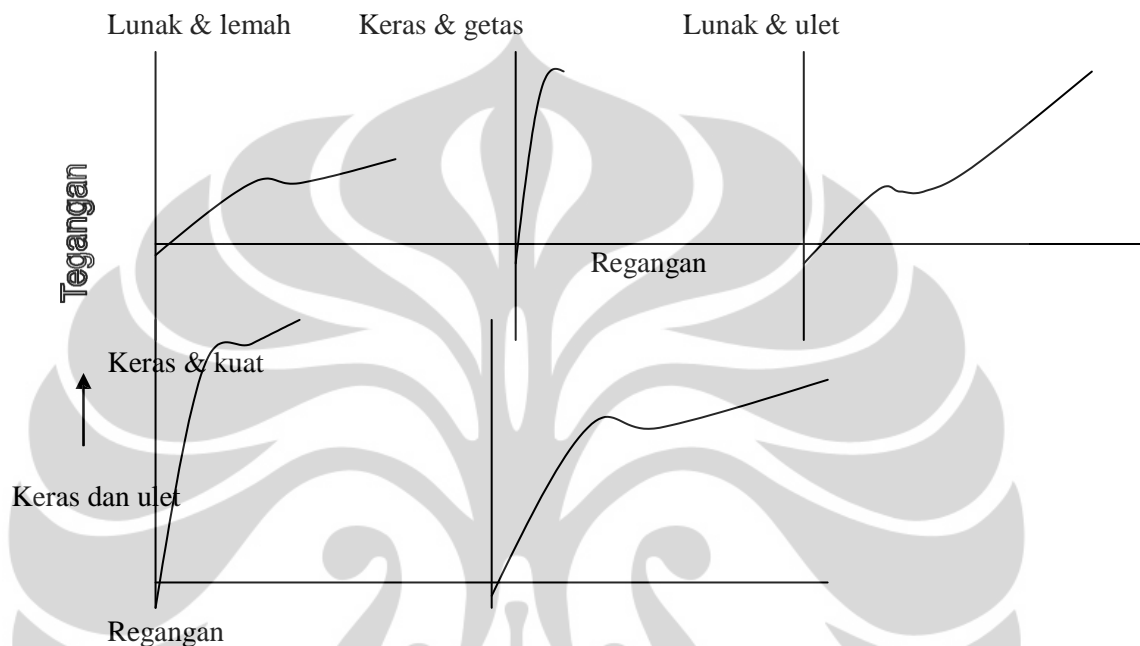
E : Modulus elastisitas

$\sigma$  : tegangan/ *stress* (Kgf/mm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  : regangan/ *strain* (%)

Selanjutnya pada titik A' (*yield point*) terjadi kenaikan defleksi tanpa adanya kenaikan beban. Untuk bahan polimer yang bersifat plastis, adanya yield point mudah diidentifikasi. Kemudian polimer akan mengalami deformasi yang bersifat permanen. Adanya deformasi disebabkan slip antar rantai membentuk

orientasi yang makin teratur saMPai pada titik B' yang disebut *ultimate stress*. Pada titik B' terjadi tegangan maksimum tanpa merusak yang disebut kekuatan tarik (*tensile strength*), akibatnya pada spesimen uji mengalami pengecilan penaMPang dan akhirnya spesimen patah. Berbagai bentuk kurva tegangan-regangan dari bahan polimer ditunjukkan pada Gambar 2.9.



**Gambar 2. 9.** Berbagai Bentuk Kurva Tegangan-Regangan Bahan Polimer

Kekuatan tarik menggambarkan kekuatan tegangan maksimum yang masih dialami bahan polimer/spesimen untuk menahan gaya yang diberikan tanpa menyebabkan kerusakan. Sedangkan perpanjangan adalah penambahan panjang yang dihasilkan oleh ukuran tertentu panjang spesimen akibat gaya yang diberikan. Besarnya kekuatan tarik bahan dapat ditentukan melalui persamaan (2.2), dan besarnya perpanjangan bahan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.3).

$$\tau = \frac{F_{maks}}{A} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$\tau$  : Kekuatan tarik bahan (Kgf/mm<sup>2</sup>)

$F_{maks}$  : Tegangan maksimum (Kgf)

$A$  : Luas penaMPang lintang (mm<sup>2</sup>)

$$\%E = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \quad (2.3)$$

Keterangan :

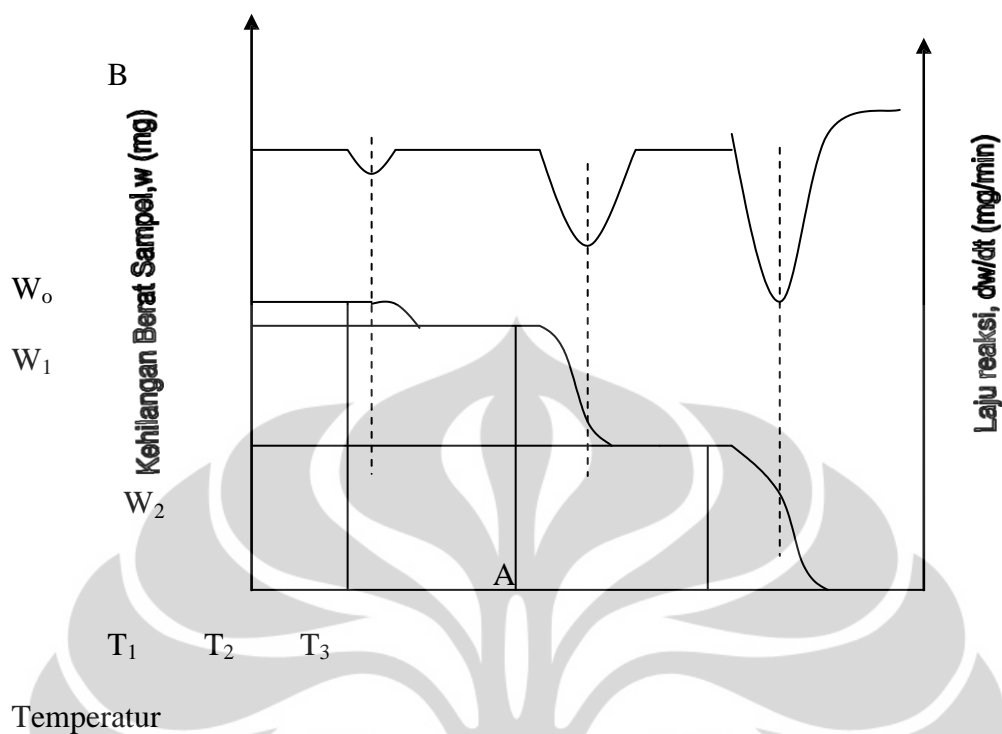
- % E : Perpanjangan elongasi  
 Lo : Panjang spesimen mula-mula  
 L : Panjang spesimen setelah diberikan beban hingga putus.

Kurva tarikan versus regangan dari gelatin dengan konsentrasi yang berbeda pada BCMC akan menunjukkan perubahan pada kekuatan dan modulus yang meningkat setelah penambahan mikrokristal. Mikrokristal berlaku sebagai penguat pada rantai polimer untuk menaikkan kekuatan tensile dan modulus. Dalam hal ini mungkin saja terdapat mikrokristal yang mengumpul ketika air berevaporasi. Fenomena ini merupakan contoh dari ikatan hidrogen yang sangat kuat yang diketahui untuk memaksimalkan perpindahan tekanan dan seluruh modulus biokomposit (Capadona *et al.*, 2007).

#### 2.8.4. Karakterisasi DSC (*Differential Scanning Calorimeter*)

Analisa termal didefinisikan sebagai pengukuran sifat-sifat fisika dan kimia bahan sebagai fungsi temperatur. Yang termasuk ke dalam metoda analisis termal adalah DTA (*Differential Thermal Analysis*), DSC (*Differential Scanning Colorimetry*) dan TGA (*Thermogravimetry*).

Dalam Termogravimetri (TGA), perubahan massa sampel diukur sebagai fungsi temperatur. Pengukuran atau perubahan massa sampel ini diukur secara kontinyu dengan kecepatan tetap. Hasil pengukuran dinyatakan sebagai kurva antara berat yang hilang terhadap temperatur yang disebut termogram. Kurva ini dapat memberikan informasi baik kualitatif maupun kuantitatif tentang sampel yang dianalisa. Termogram TGA memperlihatkan tahap-tahap dekomposisi yang terjadi akibat perlakuan termal, seperti ditunjukkan Gambar 2.10.



**Gambar 2. 10.** Termogram TGA

Pada Gambar 2.10 terlihat bahwa pada temperatur  $T_1$ , bahan mengalami kehilangan berat sebesar  $W_0 - W_1$ . Pada temperatur  $T_2$  dan  $T_3$ , sampel mengalami kehilangan berat sebesar  $W_1 - W_2$  dan  $W_2 - W_3$ . Persentase kehilangan berat ini berkaitan dengan perubahan kimia yang menyebabkan perubahan berat sampel. Dalam bidang polimer, analisis termogravimetri ini terutama dipakai untuk mempelajari degradasi termal, kestabilan termal, degradasi oksidatif, komposisi dan identifikasi polimer.

Dalam DTA, panas yang diserap atau dibebaskan dari suatu sistem atau sampel diamati dengan cara mengukur perbedaan temperatur antara sampel dengan senyawa pembanding sebagai fungsi temperatur. Perubahan panas yang dicatat dalam metoda ini adalah akibat kehilangan atau penyerapan panas karena adanya reaksi dalam sampel baik secara eksotermis maupun endotermis. Jika  $\Delta H$  positif (reaksi endotermis) maka temperatur sampel akan lebih rendah dari pembanding, sedangkan jika  $\Delta H$  negatif (reaksi eksotermis) maka temperatur sampel akan melebihi senyawa pembanding. Sementara dalam DSC, sampel dan pembanding merupakan subjek untuk mengubah temperatur, akan tetapi panas yang diberikan baik pada sampel maupun pembanding diperlukan untuk menjaga

agar keduanya (sampel dan pembanding) berada pada temperatur yang identik. Ini berarti dalam teknik DSC, panas yang diserap maupun dibebaskan bertujuan untuk membuat perbedaan temperatur antara sampel dan senyawa pembanding menjadi nol.

Kurva DSC biasanya menjadi satu dengan kurva DTA. Kedua kurva diplot sebagai fungsi temperatur dengan kecepatan tetap (konstan). Perbedaan kedua alat ini terletak pada ordinatnya. Pada pengukuran DTA, ordinat menunjukkan perbedaan temperatur sampel dengan pembanding,  $\Delta T$ , sedangkan pada DSC, ordinat menunjukkan perbedaan energi (kapasitas panas) antara sampel dengan pembanding,  $dQ/dt$ . Dalam DTA, panas yang diserap atau dibebaskan dari suatu sistem atau sampel diamati dengan cara mengukur perbedaan temperatur antara sampel dengan senyawa pembanding sebagai fungsi temperatur. Perubahan panas yang dicatat dalam metoda ini adalah akibat kehilangan atau penyerapan panas karena adanya reaksi dalam sampel baik eksotermis maupun endotermis. Jika  $\Delta H$  positif (reaksi endotermis) maka temperatur sampel akan lebih rendah dari pembanding, sedangkan jika  $\Delta H$  negatif (reaksi eksotermis) maka temperatur sampel akan melebihi senyawa pembanding. Dalam penelitian polimer, teknik ini digunakan untuk mengukur transisi gelas ( $T_g$ ), titik leleh ( $T_m$ ), dan temperatur dekomposisi ( $T_d$ ).

#### **2.8.5. Karakterisasi WVTR (*Water Vapour Transmission Rate*)**

Pengujian *water vapour transmission rate* dari bioplastik gelatin/BCMC mengacu pada ASTM E-96 M-05 dengan menggunakan metode *dessicant* dari material yang diuji. Langkah-langkah pengujian WVTR adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen uji berbentuk lingkaran dengan luas permukaan  $50 \text{ cm}^2$  sebanyak empat buah untuk tiap-tiap variasi dari film sampel.
2. Meletakkan spesimen di atas wadah berbentuk lingkaran yang berisi material *dessicant*  $\text{CaCl}_2$  dengan cara menutup wadah dengan spesimen hingga tertutup rapat dan dipastikan tidak ada udara dari luar yang masuk ke dalam wadah.
3. Menimbang spesimen dan wadah berisi *Dessicant*  $\text{CaCl}_2$  tersebut ( $m_1$ )

4. Memasukkan spesimen uji ke dalam desikator berisi uap air dan garam.
5. Mengeluarkan spesimen dari dalam desikator setiap satu jam sekali selama *empat* jam dan kemudian menimbang beratnya ( $m_2$ ).

Perhitungan WVTR dari spesimen dapat diperoleh melalui persamaan matematis 2.4.

$$WVTR = \left( \frac{G}{t} \right) A \quad (2.4)$$

dimana:

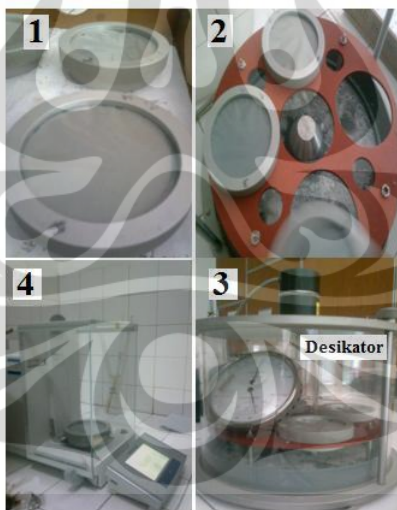
G = perubahan berat ( $m_2 - m_1$ ) (gr)

t = waktu terjadinya G (h)

A = area uji (luas spesimen) ( $m^2$ )

(G/t) = slope garis lurus (gr/h)

Gambar 2.11 merupakan ilustrasi perlakuan *empat* sampel selama pengujian WVTR.



**Gambar 2. 11.** Ilustrasi Prosedur Pengujian WVTR yang Mengacu pada ASTM E-96 M-05

Pada gambar 2.11 bagian 4 merupakan langkah penimbangan dari berat sampel biokomposit di dalam wadah yang berisi  $CaCl_2$ . Hasil penimbangan *keempat* sampel untuk tiap-tiap variasi setiap satu jam kemudian diolah datanya menggunakan persamaan 2.4.

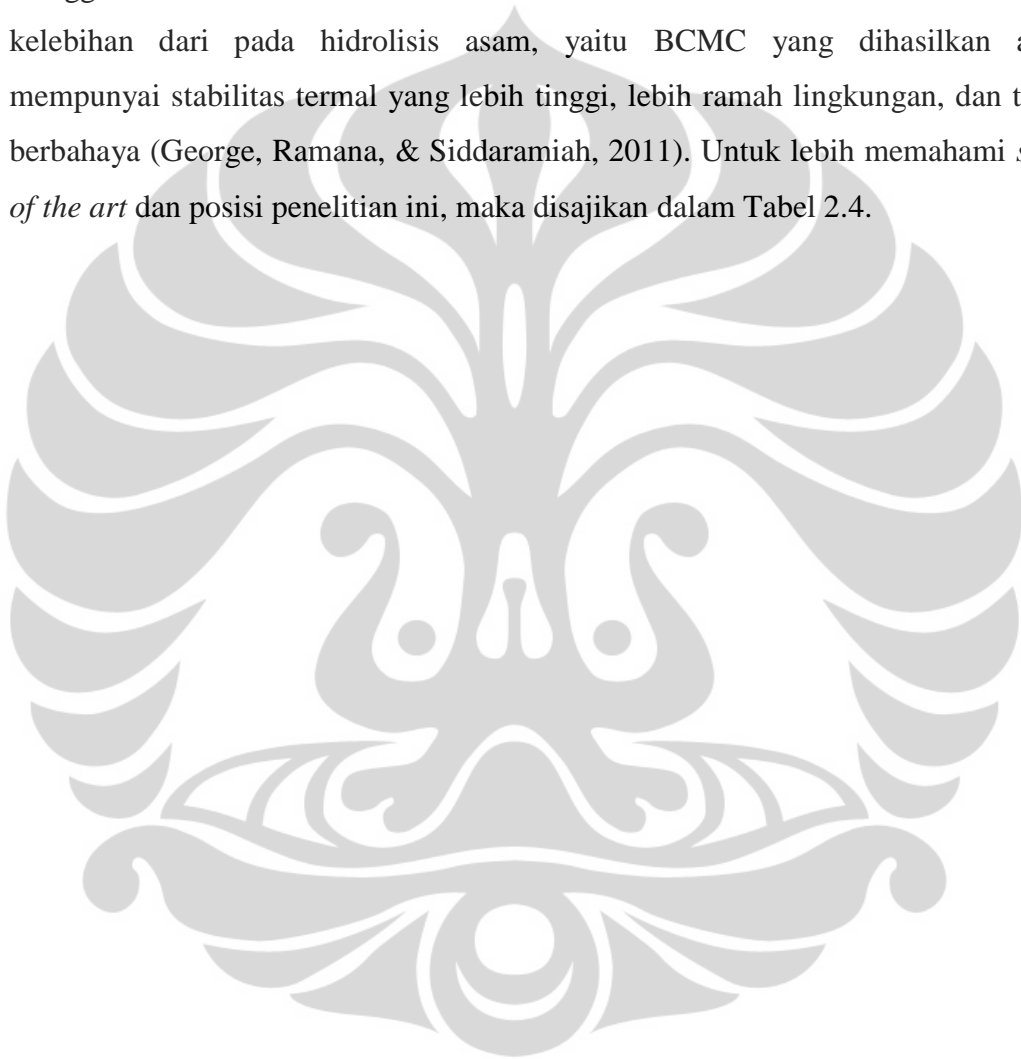
## 2.9. State of The Art

Sebelumnya telah dilakukan sejumlah penelitian pada bidang nanokomposit dan nanomaterial. Matriks dan *filler* yang digunakan juga bervariasi untuk mengeksplorasi mana yang lebih unggul untuk dijadikan biokomposit. Matriks yang digunakan berasal dari polimer alam maupun polimer alam sintetis. Polimer tersebut dapat berupa pati, protein, ataupun sintetis seperti PLA. *Filler* yang digunakan juga merupakan bahan alami, diantaranya adalah clay, fiber, kristalin, metal oksida, kitosan, whisker, dll (Gacitua, Ballerini, & Zhang, 2005). *Filler* dalam ukuran nano akan menambah keuntungan yaitu mempunyai luas area permukaan yang lebih besar, menaikkan sifat fisik dan mekanik dari material (Zhao, Torley, & Halley, 2008). Dengan ukuran nano, maka material *filler* dapat mengisi ruang kosong pada rongga – rongga matriks, sehingga akan memiliki sifat material bio-nanokomposit. Avella *et al.*, memperlihatkan kenaikan yang bagus pada modulus dan daya tarik pada pati-nanokomposit yang dihasilkan dari dispersi lapisan MMT yang menjadi *filler* pada pati kentang yang diplastisasi. Percobaan berikutnya menggunakan pati kentang dan nanofiller MMT pada konsentrasi MMT yang bervariasi. Percobaan ini menggunakan metode *melt – intercalation* (Huang & Yu, 2006).

Matriks lain yang dipergunakan antara lain adalah protein kedelai. *Filler* yang digunakan bervariasi yaitu nanowhisiker dan nanoclay (Lu *et al.*, 2004; Yu *et al.*, 2006). Selain itu matriks juga dapat berupa nanokomposit lain, yaitu pati kentang/*wheat straw nanofibre* (Alemdar & Sain, 2008), PLA/nanowhisiker (Pettersen, Kvien, & Oksman, 2007), PLA/nanoclay (Delcourt *et al.*, 2005), *Pea starch/metal oxide* (Ma, 2008; Li, 2010), dll. Pada dasarnya Semua percobaan ini memiliki persamaan dalam hal kenaikan sifat fisik dan mekanik serta stabilitas termal yang dikarenakan penambahan nanofiller ke dalam material biopolimer. Percobaan lain dilakukan oleh George & Siddaramiah (2011). Matriks lain yang dapat digunakan adalah gelatin yang merupakan biopolimer berbentuk gelatin. Sementara itu *filler* yang digunakan berasal dari kelompok serat yang berupa selulosa mikrokristal. Mikrokristal ini dikonversi dari bakterial selulosa dengan hidrolisis asam untuk mendapatkan selulosa mikrokristal (BCMC) yang diinginkan (George & Siddaramiah, 2011). Hasil dari penelitian ini adalah kenaikan sifat

fisik dan mekanik dari material, serta suhu transisi gelas ( $T_g$ ) dan mengurangi kelembaban pada gelatin.

Penelitian kali ini akan menggunakan *filler* BCMC yang berasal dari hidrolisis asam bakteri *Acetobacter xylinum* (George & Siddaramiah, 2012). Perbedaannya adalah terdapat pada metode konversi BCMC yaitu dengan menggunakan hidrolisis enzim selulase. Hidrolisis enzim memiliki beberapa kelebihan dari pada hidrolisis asam, yaitu BCMC yang dihasilkan akan mempunyai stabilitas termal yang lebih tinggi, lebih ramah lingkungan, dan tidak berbahaya (George, Ramana, & Siddaramiah, 2011). Untuk lebih memahami *state of the art* dan posisi penelitian ini, maka disajikan dalam Tabel 2.4.





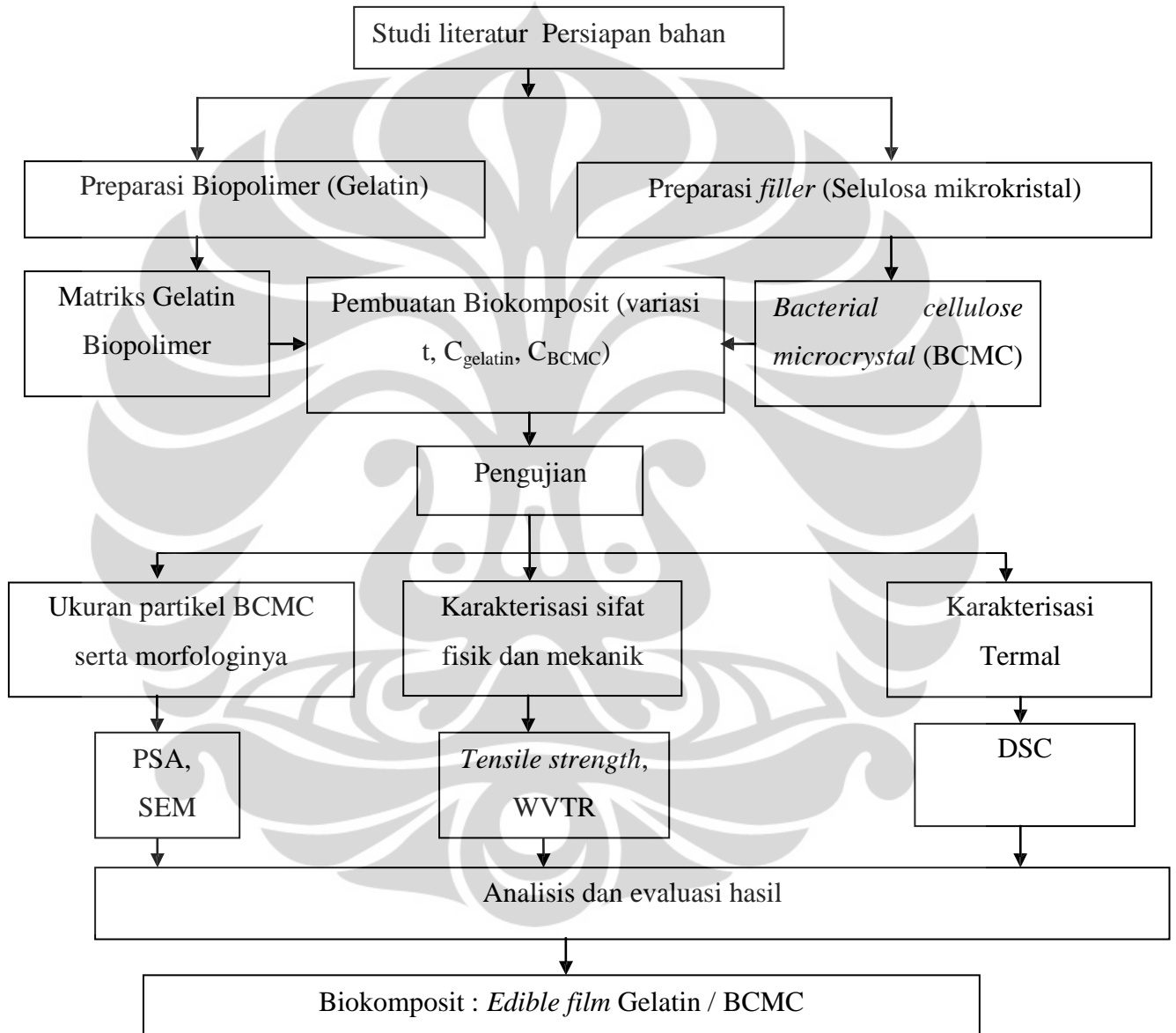
Tabel 2. 4. *State Of The Art* Produksi Edible film Gelatin/BCMC

Matriks	PLA						George & Siddaramiah, 2012			
	Protein	Gelatin					Percobaan yang dilakukan			
	Pati	Pati Jagung						Jimenez et al., 2012		Girones et al., 2012
		Pati kentang							Chang et al., 2012	
		Pati kacang polong	Ma et al., 2009							
		Pati ubi kayu	Nuryetti, 2011				Darni, Utami, & Asriah, 2009		Mbey et al., 2012	
		Pati umbi garut	Ardiansyah, 2011							
		Pati ubi jalar	Zulfa, 2011	Marbun, Erfan, Nugroho 2012						
		ZnO	ZnO-Selulosa	ZnO-Kitosan	ZnO-Clay	Selulosa	BCNC (Bacterial Cellulose MicroCrystal)	HPMC (Hydoxy Propyl Methyl Cellulose)	Clay	Sisal & Rami
	Pengisi/Penguat									

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Alur Penelitian

Rancangan utama yang dalam riset ini dapat dilihat dalam Gambar 3.1 berikut:



**Gambar 3. 1.** Diagram Alir Tahapan Penelitian

Diagram alir pada Gambar 3.1 menjelaskan aliran proses penelitian yang akhirnya akan mendapatkan produk *Edible film* Gelatin/BCMC. Penelitian diawali dengan preparasi selulosa mikrokristal untuk mendapatkan BCMC dengan cara

teknik hidrolisis enzim. Selulosa didapatkan dari selulosa bakteri yang memiliki sifat yang lebih baik dibandingkan dari selulosa pada sumber lain. Bakteri yang digunakan untuk sumber selulosa adalah bakteri *Acetobacter xylinum*. Bakteri ini merupakan bakteri untuk pembuatan makanan berserat yang dikenal dengan nata de coco. Produk ini merupakan hasil fermentasi bakteri *Acetobacter xylinum* di dalam media air kelapa dan bahan tambahan lainnya. Sebelumnya nata de coco yang berbentuk kubus di bilas dengan air untuk menghilangkan sirupnya, lalu diblender hingga halus dan berbentuk pasta.

Setelah diblender, nata de coco di campurkan ke dalam larutan NaOH. Nata yang sudah dipanaskan kemudian dipisahkan dari larutan NaOH dan bilas lagi dengan menggunakan air distilasi hingga pHnya netral. Setelah itu dilakukan hidrolisis enzim untuk memisahkan selulosa mikrokristal. Buffer asetat dan pasta selulosa kemudian dicampur dengan enzim selulase, lalu diinkubasi untuk mendapatkan hasil selulosa mikrokristal yang maksimal. Hasil selulosa yang sudah diinkubasi kemudian di sentrifugasi dan diambil endapannya.

Setelah itu adalah preparasi biopolimer yang akan menjadi matriks, yaitu gelatin yang dilarutkan ke dalam air distilasi. Setelah *filler* dan matriks siap digunakan, lalu pembuatan biokomposit dimulai dengan pengadukan ultrasonik dengan tujuan agar *filler* terdispersi dengan baik ke dalam matriks. Beberapa pengujian dilakukan untuk melihat morfologi BCMC yang terbentuk, karakterisasi *edible film*, uji WVTR, dan pengujian peningkatan sifat fisik, mekanik, dan termal.

## 3.2. Alat dan Bahan

### 3.2.1. Alat Percobaan

- Gelas beaker 50 ml, 100 ml, 250 ml, 500 ml, dan 1000 ml
- Tabung reaksi
- Gelas ukur
- Pipet
- Labu erlenmeyer

- Spatula besi
- Neraca digital
- Wadah cawan petri
- *Stopwatch*
- *Blender* laboratorium
- pH meter
- Kertas penyaring
- Inkubator
- *Sentrifuge*
- Pengaduk ultrasonik
- Cawan petri polipropilen

### **3.2.2. Bahan Kimia**

- Nata de coco (fermentasi bakteri *Acetobacter xylinum*)
- NaOH 0,2 M
- Air distilasi
- Enzim selulase (*Trichoderma reesei* 700 U/g)
- Sodium asetat
- Asam asetat
- Gelatin *food grade*

## **3.3. Teknik Pengumpulan Data**

### **3.3.1. Data Primer**

Data primer merupakan data penelitian yang didapatkan dari pembuatan biokomposit *edible film* berbahan dasar gelatin/BCMC. BCMC dari hasil hidrolisis enzim yang didapatkan divariasikan menjadi 1 % hingga 5 % wt untuk melihat berapa konsentrasi yang paling optimal. Selain itu dilakukan juga variasi waktu proses sonikasi dan konsentrasi larutan gelatin. Data – data yang didapatkan tersebut kemudian dikarakterisasi dan dilakukan pengujian untuk ditarik kesimpulan dari penelitian tersebut. Berikut ini adalah teknik pembuatan *edible packaging food* berbahan dasar gelatin/BCMC:

### **Pra Eksperimen**

1. Melakukan studi literatur
2. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan untuk eksperimen.

### **Eksperimen**

Preparasi nanofiller *Bacterial Cellulose Microcrystal* (BCMC) dari *Acetobacter xylinum* :

1. Selulosa bakteri didapatkan dari nata de coco yang diblender hingga halus dan membentuk pasta.
2. Pemurnian selulosa dilakukan dengan mendidihkan pasta *nata de coco* yang telah diblender pada larutan NaOH 0,2 M selama 2 jam.
3. Setelah itu, nata yang sudah dididihkan selanjutnya dibilas dengan air distilasi secara berulang - ulang hingga air yang terbuang sudah mencapai pH netral.
4. Pasta selulosa (berupa nata) yang sudah mencapai pH netral kemudian dikurangi airnya dengan menggunakan kertas saring untuk selanjutnya menuju proses hidrolisis enzim.
5. Pasta selulosa seberat 25 gr (berat basah) disuspensikan pada buffer asetat 250 ml (0,1 M, pH 5) sambil ditambahkan 1 ml selulase dan diaduk secara perlahan. Suspensi ini dijaga pada suhu 50<sup>0</sup>C selama 12 jam di dalam inkubator.
6. Setelah itu campuran disentrifugasi pada 10.000 rpm (pada suhu 7 – 10<sup>0</sup>C selama 20 menit) untuk menghilangkan reaksi enzimatik dan untuk mendapatkan bagian selulosa.
7. Selulosa yang disedimentasi dibilas dengan air distilasi untuk menghilangkan sisa enzim pada selulosa.
8. Setelah itu didapatkan BCMC yang nantinya akan divariasikan untuk pembuatan biokomposit.

### **Preparasi matriks biopolimer gelatin**

1. Gelatin *food grade* 10 gr di larutkan pada 100 ml air distilasi pada suhu 65<sup>0</sup>C selama 4 jam.
2. Larutan gelatin dibuat sebanyak jumlah variasi BCMC yang telah disediakan.

### 3. Pembuatan Biokomposit :

- BCMC divariasi (1% - 5% wt) lalu dilarutkan pada 50 ml air distilasi.
- Masing – masing BCMC di ultrasonikasi selama 5 menit untuk pendispersian partikel.
- Setelah itu masukkan larutan gelatin ke masing – masing variasi dan dilakukan pengadukan dan ultrasonikasi selama 30 menit
- Setelah itu biokomposit dikeringkan pada suhu 37<sup>0</sup>C selama 48 jam dan setelahnya akan dilakukan karakterisasi.
- Penelitian ini dilakukan beberapa variasi, berikut adalah Tabel variasi yang dilakukan :

**Tabel 3. 1.** Tabel Variasi Konsentrasi BCMC

Massa gelatin/100 ml	Waktu sonikasi (t)	Suhu pemanasan gelatin (T)	Massa BCMC/100 ml
10 gr	5 menit	65 <sup>0</sup> C	<b>1 gr</b>
10 gr	5 menit	65 <sup>0</sup> C	<b>2 gr</b>
10 gr	5 menit	65 <sup>0</sup> C	<b>3 gr</b>
10 gr	5 menit	65 <sup>0</sup> C	<b>4 gr</b>

**Tabel 3. 2.** Tabel Variasi Waktu Sonikasi

Massa gelatin/100 ml	Waktu sonikasi (t)	Suhu pemanasan gelatin (T)	Massa BCMC/100 ml
10 gr	<b>3 menit</b>	65 <sup>0</sup> C	4 gr
10 gr	<b>4 menit</b>	65 <sup>0</sup> C	4 gr
10 gr	<b>5 menit</b>	65 <sup>0</sup> C	4 gr
10 gr	<b>6 menit</b>	65 <sup>0</sup> C	4 gr

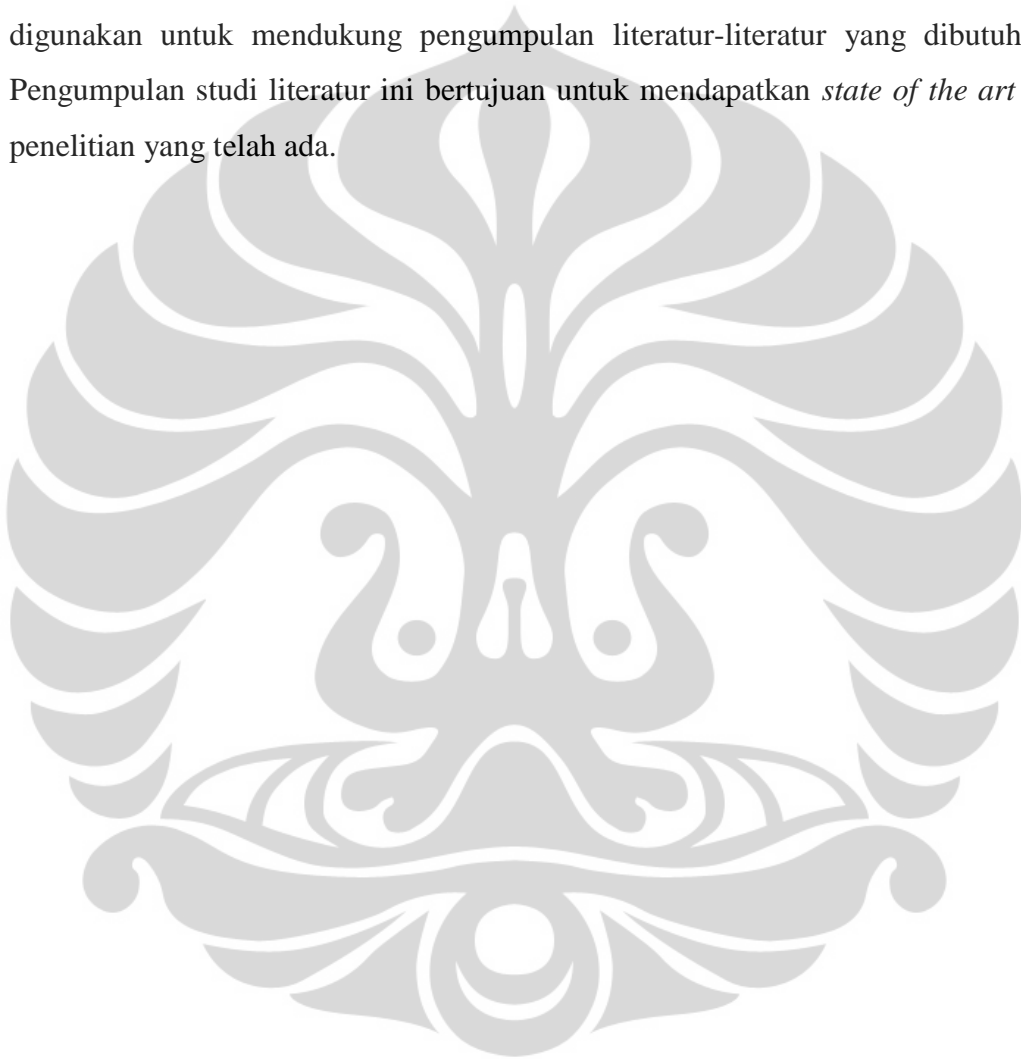
**Tabel 3. 3.** Tabel Variasi Konsentrasi Gelatin

Massa gelatin/100 ml	Waktu sonikasi (t)	Suhu pemanasan gelatin (T)	Massa BCMC/100 ml
<b>6 gr</b>	6 menit	65 <sup>0</sup> C	4 gr
<b>8 gr</b>	6 menit	65 <sup>0</sup> C	4 gr
<b>10 gr</b>	6 menit	65 <sup>0</sup> C	4 gr
<b>12 gr</b>	6 menit	65 <sup>0</sup> C	4 gr

Seluruh variasi dilakukan dengan cara yang sama untuk pembentukan biokomposit.

### 3.3.2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari studi literatur. Studi literatur dilakukan dengan menelaah literatur-literatur yang terdapat di jurnal (nasional dan internasional), buku, internet dan lain-lain. Fasilitas perpustakaan di Universitas Indonesia, Fakultas Teknik dan Departemen Teknik Kimia serta akses jurnal online seperti Science Direct, John Willey, Web of Science dan lain-lain akan digunakan untuk mendukung pengumpulan literatur-literatur yang dibutuhkan. Pengumpulan studi literatur ini bertujuan untuk mendapatkan *state of the art* dari penelitian yang telah ada.



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil dan Pembahasan Preparasi *Filler*

Preparasi *filler* merupakan tahap awal dari proses pembuatan *edible film*. *Filler* berasal dari selulosa bakteri yang berbentuk mikrokristal atau disebut juga dengan *Bacterial Cellulose Microcrystal* (BCMC). Selulosa bakteri didapatkan dari produk makanan nata de coco yang memiliki komponen selulosa dengan konsentrasi yang tinggi. Nata yang mengandung selulosa bakteri *Acetobacter xylinum* kemudian dihidrolisis dengan menggunakan enzim selulase untuk mendapatkan mikrokristal yang terkandung dalam mikrofibril selulosa bakteri. Setelah itu mikrokristal yang sudah terbentuk dipisahkan dari selulosa bakteri dengan sentrifugasi. Selain itu tujuan sentrifugasi adalah untuk menghilangkan sisa reaksi enzimatik.

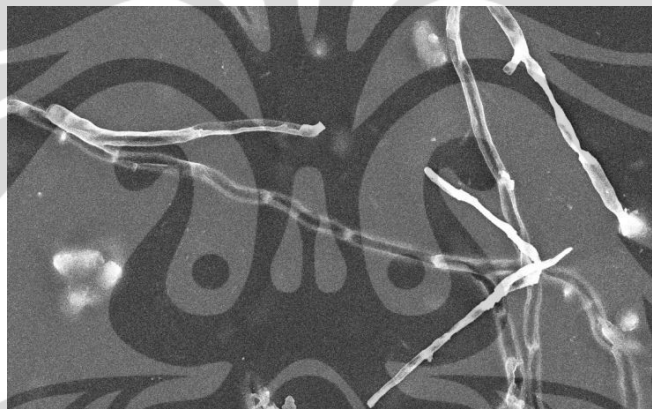
Nata de coco merupakan produk makanan yang terbentuk dari hasil fermentasi bakteri *Acetobacter xylinum* di dalam medium pertumbuhan bakteri yang sebagian besar adalah air kelapa. Bakteri *Acetobacter xylinum* melakukan proses metabolisme karbon yang mengubah sumber karbohidrat menjadi selulosa. Selulosa bakteri yang dihasilkan selanjutnya diubah menjadi mikrokristal selulosa melalui hidrolisis enzim. Gambar 4.1 menunjukkan hasil mikrokristal selulosa bakteri yang dihasilkan.



**Gambar 4. 1** Hasil Akhir Pembuatan Mikrokristal Selulosa Bakteri.



Enzim selulase memiliki kemampuan untuk menghidrolisis selulosa menjadi bagian – bagian yang lebih kecil dan sebaliknya, seperti oligosakarida, selobiosa atau glukosa. Fibril selulosa memiliki dua bentuk bagian, yaitu amorf (tidak beraturan) dan kristal (teratur). Proses hidrolisis enzim diawali dengan pemecahan bagian yang amorf pada mikrofibril selulosa. Bagian yang berbentuk kristal mampu bertahan dari reaksi enzimatik dari pada bentuk amorf karena memiliki ikatan hidrogen yang jauh lebih banyak. Kemampuan enzim selulase untuk menseleksi bagian mana yang dihidrolisis dapat dimanfaatkan untuk preparasi pembentukan BCMC. Proses enzimatik ini merupakan proses yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan menggunakan proses konvensional, yaitu hidrolisis asam. Untuk melihat morfologi dari mikrokristal yang terbentuk digunakan analisis SEM (*Scanning Electron Microscope*). Gambar 4.2 menunjukkan hasil SEM pada gelatin biokomposit yang mengandung 2 % BCMC.



**Gambar 4. 2** Hasil SEM Pada Gelatin Biokomposit yang Mengandung 2 % BCMC.

Proses degradasi enzimatik selulosa bergantung pada beberapa faktor, antara lain adalah konsentrasi enzim, area permukaan substrat selulosa, temperatur reaksi, dan durasi dari aktivitas enzim. Pada referensi sebelumnya kondisi proses hidrolisis enzim yaitu pada suhu 50<sup>0</sup>C selama 12 jam dengan menggunakan buffer asetat pH 5 0,1 M. Konsentrasi enzim selulase T. reesei yaitu sebesar 0,004 % (v/v) dalam buffer asetat. Kondisi tersebut merupakan kondisi optimal untuk menghasilkan selulosa mikrokristal.

Gambar 4.2 merupakan bentuk selulosa mikrokristal yang dihidrolisis dengan kondisi optimal. Dapat dilihat bahwa pada Gambar 4.2 terbentuk serat – serat mikrofibril yang terbentuk setelah hidrolisis enzimatik. Selulosa mikrofibril

yang lebih besar didisintegrasi secara mekanik agar substrat selulosa memiliki luas permukaan yang lebih besar. Hal ini dilakukan sebelum hidrolisis enzim. Reaksi hidrolisis di pengaruhi oleh waktu reaksi agar enzim tidak menghidrolisis bagian fibril selulosa selain bentuk amorf. Selulosa bakteri memiliki struktur kristal yang kuat dan kecepatan reaksi akan menurun jika konsentrasi enzim semakin rendah. Dengan adanya ikatan hidrogen yang ada diantara fiber selulosa bakteri mengakibatkan menurunnya kecepatan reaksi hidrolisis enzim.

Selama proses berlangsung, enzim secara perlahan melakukan penetrasi ke dalam lapisan dalam jaringan selulosa dan menghidrolisis bagian rantai selulosa yang berupa amorf. Proses hidrolisis ini juga memungkinkan untuk membuat bagian yang kristal menjadi lemah. Pada referensi sebelumnya waktu yang optimal untuk mendapatkan hasil BCMC yang sesuai adalah inkubasi selama 12 jam.

#### 4.2. Hasil dan Pembahasan Pembuatan Biokomposit

Pembuatan biokomposit diawali dengan preparasi biopolimer yang berupa gelatin. Gelatin dilarutkan dalam air distilasi dan selanjutnya didihkan selama 4 jam. Gelatin harus sesekali diaduk agar tidak terjadi pengkristalan pada bagian atasnya sehingga tetap berbentuk cairan. Setelah itu BCMC didispersikan dalam air distilasi dengan menggunakan sonikator *probe* selama 5 menit. Gelatin yang sudah cair kemudian dicampur dengan BCMC yang sudah terdispersi dalam air dan diaduk secara perlahan agar tidak ada gelembung. Selanjutnya disonikasi lagi menggunakan sonikator *bath* untuk memaksimalkan pendispersian BCMC di dalam matriks berupa gelatin. Gambar 4.3 adalah beberapa hasil dari gelatin biokomposit yang sudah dicetak.



**Gambar 4.3** Hasil Pencetakan Biokomposit

Pembentukan biokomposit di pengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain waktu sonikasi, konsentrasi *filler* (BCMC), dan konsentrasi matriks (gelatin). Variasi dibuat berdasarkan faktor tersebut untuk mendapatkan kondisi proses yang optimal.

### 4.3. Hasil dan Pembahasan Uji Material Biokomposit

#### 4.3.1. Hasil dan Pembahasan Morfologi Biokomposit

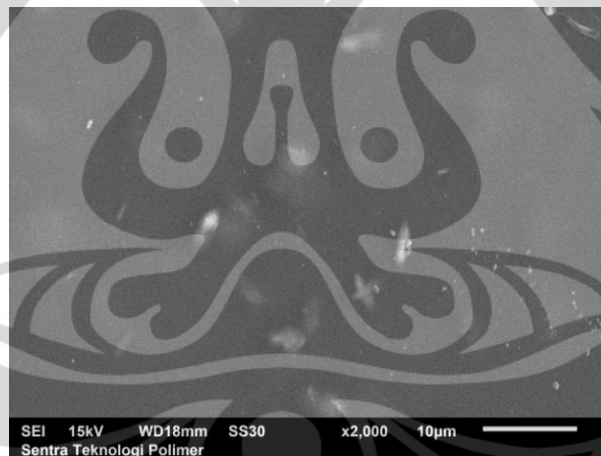
Analisis SEM digunakan untuk melihat morfologi dari gelatin biokomposit.

##### 4.3.1.1. Analisis SEM

##### A. Variasi Konsentrasi BCMC (1%, 2%, 3%, 4%)

##### Konsentrasi BCMC 1%

Berikut adalah Gambar 4.4 hasil Gambar analisis SEM untuk konsentrasi BCMC 1%.

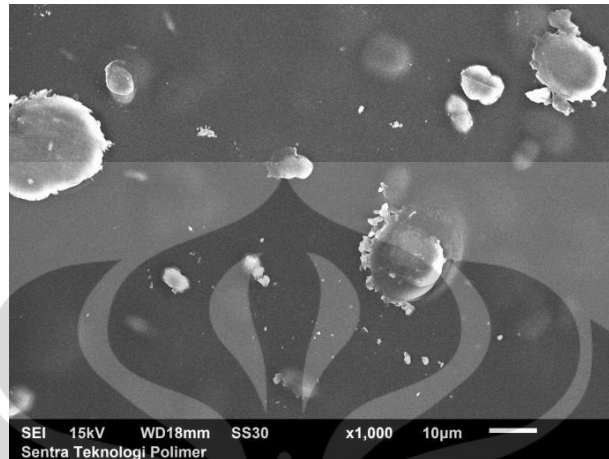


Gambar 4. 4. Hasil Analisis SEM pada Konsentrasi BCMC 1%.

Pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa BCMC yang terdapat dalam matriks gelatin tidak terlalu banyak. Hal tersebut dikarenakan konsentrasi BCMC yang hanya sebesar 1%. Bintik – bintik putih yang terdapat dalam gambar menunjukkan persebaran BCMC ke dalam gelatin. Dalam gambar, selain bintik putih, terdapat juga bentuk batang yang lebih besar. Hal tersebut merupakan BCMC yang teraglomerasi dikarenakan proses pengadukan dan pemanasan yang kurang optimal.

### **Konsentrasi BCMC 2%**

Berikut adalah Gambar 4.5 yang merupakan hasil analisis SEM untuk konsentrasi BCMC 2%.

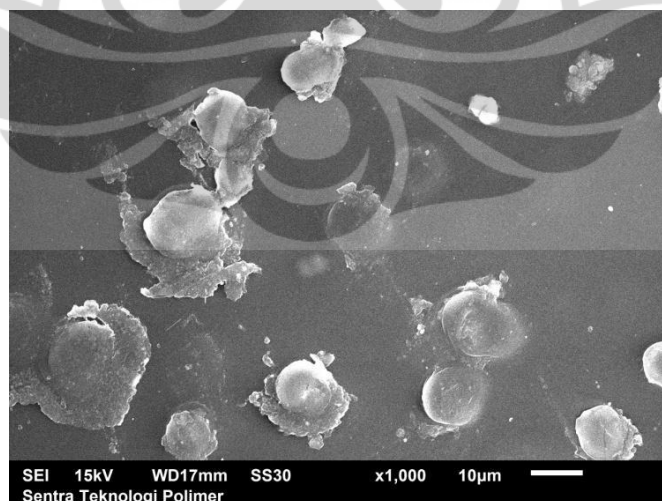


**Gambar 4. 5.** Hasil Analisis SEM pada Konsentrasi BCMC 2%.

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa jumlah BCMC yang ada di dalam gelatin semakin meningkat dikarenakan semakin tingginya konsentrasi BCMC. Namun beberapa BCMC yang terlihat mengalami penggumpalan yang cukup signifikan, dikarenakan proses pengadukan dan pemanasan yang kurang optimal.

### **Konsentrasi BCMC 3%**

Berikut adalah Gambar 4.6 yang merupakan hasil analisis SEM untuk konsentrasi BCMC 3%.



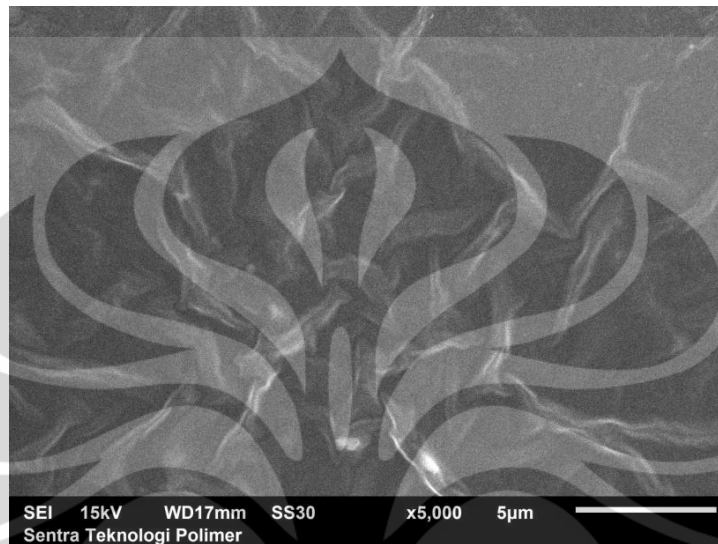
**Gambar 4. 6.** Hasil Analisis SEM pada Konsentrasi BCMC 3%.

Pada Gambar 4.6 pendispersian BCMC semakin meningkat. Partikel BCMC semakin berukuran kecil dan hanya sebagian dari *filler* yang teraglomerasi. Hal ini

menunjukkan peningkatan proses pengadukan dan pemanasan. Kenaikkan jumlah konsentrasi BCMC akan mempengaruhi sifat mekanik pada biokomposit.

### **Konsentrasi BCMC 4%**

Berikut adalah Gambar 4.7 yang merupakan hasil analisis SEM untuk konsentrasi BCMC 4%.



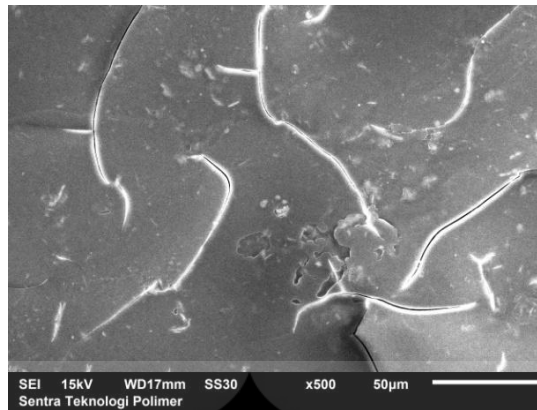
**Gambar 4. 7.** Hasil Analisis SEM pada Konsentrasi BCMC 4%.

Pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa tingkat kerapatan *filler* BCMC semakin meningkat. Ada beberapa bagian BCMC yang berbentuk batang (*rod shape*) dan ada juga yang teraglomerasi. Kemungkinan akan terjadi kenaikan sifat mekanik pada biokomposit yang mengandung konsentrasi *filler* BCMC yang semakin tinggi.

## **B. Variasi Waktu Sonikasi (3 menit, 4 menit, 5 menit, 6 menit)**

### **Waktu Sonikasi 3 Menit**

Berikut adalah Gambar 4.8 yang merupakan hasil analisis SEM untuk waktu sonikasi selama 3 menit.

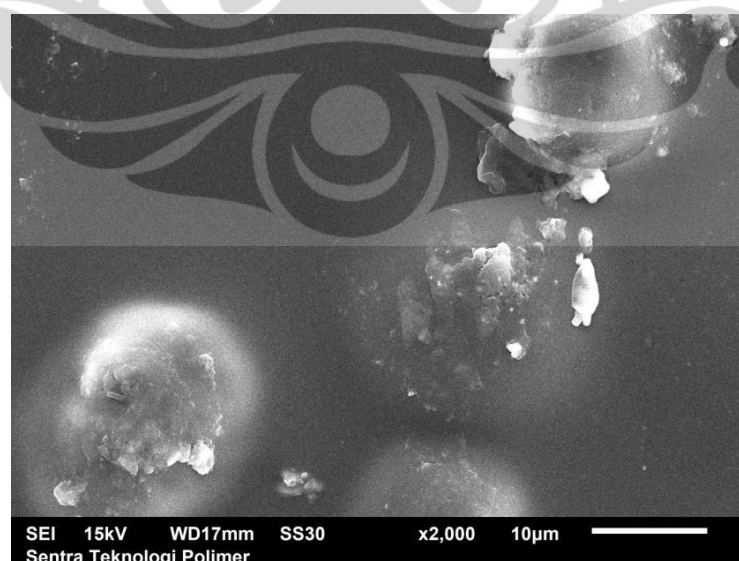


**Gambar 4. 8.** Hasil Analisis SEM pada Waktu Sonikasi 3 Menit

Pada Gambar 4.8 hasil analisis SEM yang terlihat adalah terdapat retakan pada biokomposit. Hal ini menunjukkan bahwa sifat mekanik yang dimiliki pada variasi ini mengalami penurunan. Pecahnya struktur biokomposit diidentifikasi sebagai bahan yang tidak memiliki BCMC yang terdispersi dengan baik. Dilihat dari Gambar di atas, bahwa banyak sekali BCMC yang menggumpal diakibatkan kurangnya waktu sonikasi. Pada saat sonikasi juga terjadi pemanasan, oleh karena itu kurangnya proses pemanasan dapat dipastikan karena waktu sonikasi yang terlalu sedikit.

#### **Waktu Sonikasi 4 Menit**

Berikut adalah Gambar 4.9 yang merupakan hasil analisis SEM untuk waktu sonikasi selama 4 menit.

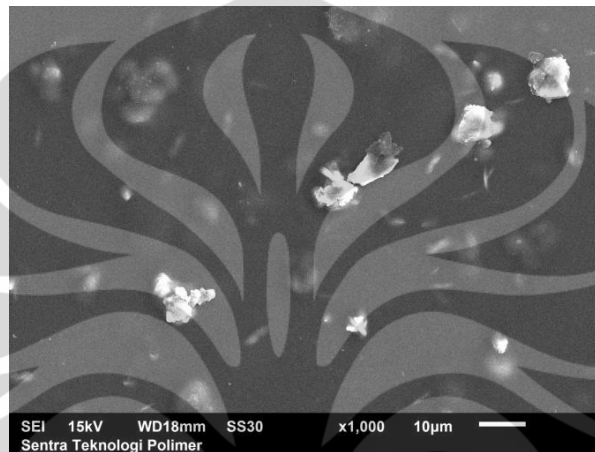


**Gambar 4. 9.** Hasil Analisis SEM pada Waktu Sonikasi 4 Menit

Pada Gambar 4.9 bahwa waktu 4 menit sonikasi masih belum cukup untuk mendispersikan BCMC ke dalam matriks gelatin. Dapat dilihat bahwa terjadi penggumpalan. Namun struktur biokomposit dan sifat mekaniknya menjadi lebih kuat dibandingkan dengan waktu sonikasi selama 3 menit.

### **Waktu Sonikasi 5 Menit**

Berikut adalah Gambar 4.10 yang merupakan hasil analisis SEM untuk waktu sonikasi selama 5 menit.

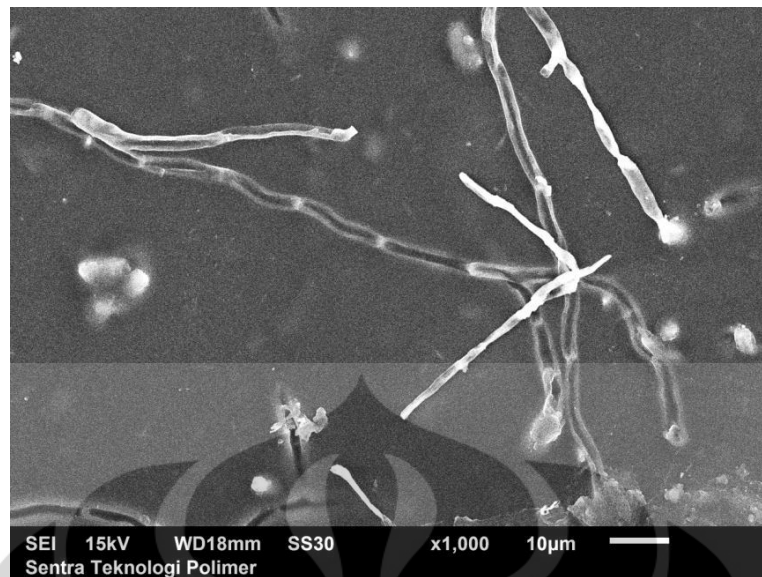


**Gambar 4. 10.** Hasil Analisis SEM pada Waktu Sonikasi 5 Menit

Pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa aglomerasi pada BCMC semakin berkurang. Dan bentuk batang serta bulat yang tertutup oleh warna abu – abu menunjukkan bahwa BCMC berhasil berikatan dengan gelatin dan menjadi komposit yang memiliki sifat fisik, mekanik ataupun termal yang lebih baik.

### **Waktu Sonikasi 6 Menit**

Berikut adalah Gambar 4.11 yang merupakan hasil analisis SEM untuk waktu sonikasi selama 6 menit.



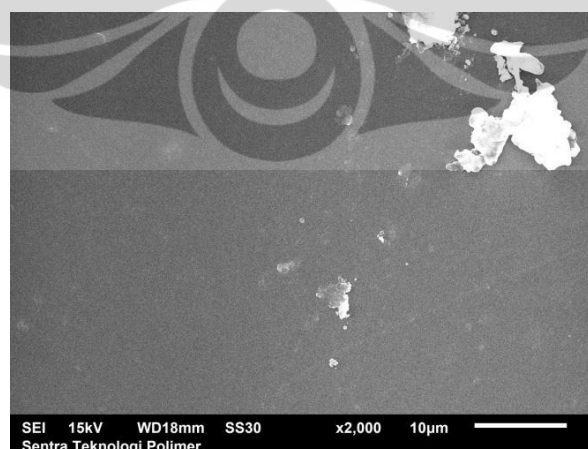
**Gambar 4. 11.** Hasil Analisis SEM pada Waktu Sonikasi 6 Menit

Pada variasi waktu sonikasi selama 6 menit, terlihat bentuk BCMC yang panjang dan berhubungan dengan batang lainnya seperti serat. Menurut referensi sebelumnya, bentuk seperti inilah yang diinginkan untuk bentuk visual dari *filler* BCMC di dalam matriks biokomposit.

### **C. Variasi Konsentrasi Gelatin (6%, 8%, 10%, 12%)**

#### **Konsentrasi Gelatin 6%**

Berikut adalah Gambar 4.12 yang merupakan hasil analisis SEM untuk konsentrasi gelatin 6%.



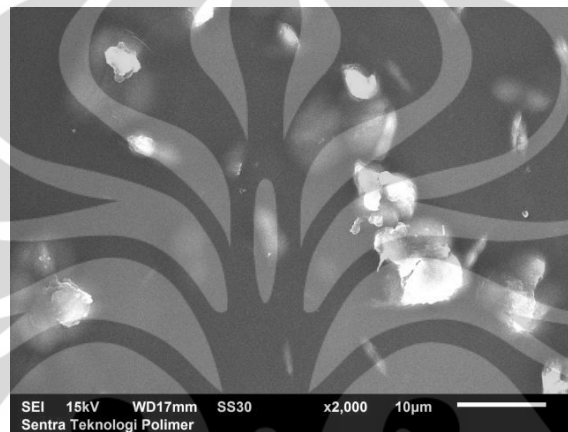
**Gambar 4. 12.** Hasil Analisis SEM pada Konsentrasi Gelatin 6%.



Pada Gambar 4.12 ditunjukkan bahwa warna putih pada analisis SEM terlihat jelas. Hal tersebut dikarenakan kurangnya konsentrasi matriks gelatin yang dilarutkan dalam air, sehingga kurang mengikat BCMC. Hal ini mungkin akan berdampak pada sifat mekanik dan termalnya.

### **Konsentrasi Gelatin 8%**

Berikut adalah Gambar 4.13 yang merupakan hasil analisis SEM untuk konsentrasi gelatin 8%.

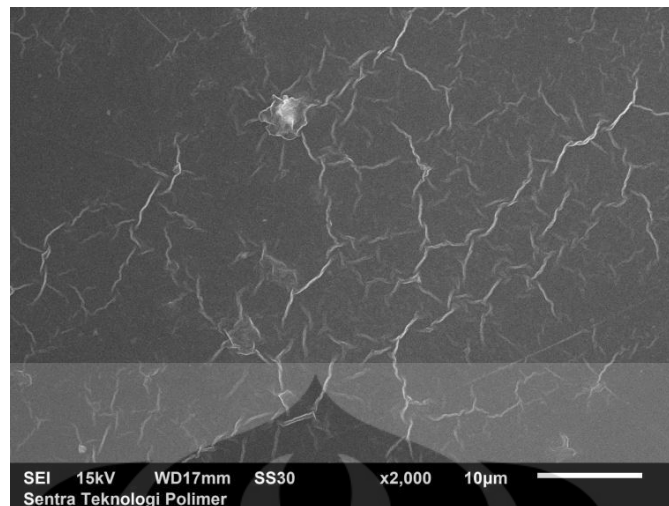


**Gambar 4. 13.** Hasil Analisis SEM pada Konsentrasi Gelatin 8%.

Pada Gambar 4.13 warna putih semakin terlihat pudar dikarenakan konsentrasi gelatin matriks yang semakin meningkat. BCMC juga dapat terdispersi dengan baik dan membentuk batang seperti yang terdapat pada referensi sebelumnya. Namun masih ada yang menguMPal.

### **Konsentrasi Gelatin 10%**

Berikut adalah Gambar 4.14 yang merupakan hasil analisis SEM untuk konsentrasi gelatin 10%.

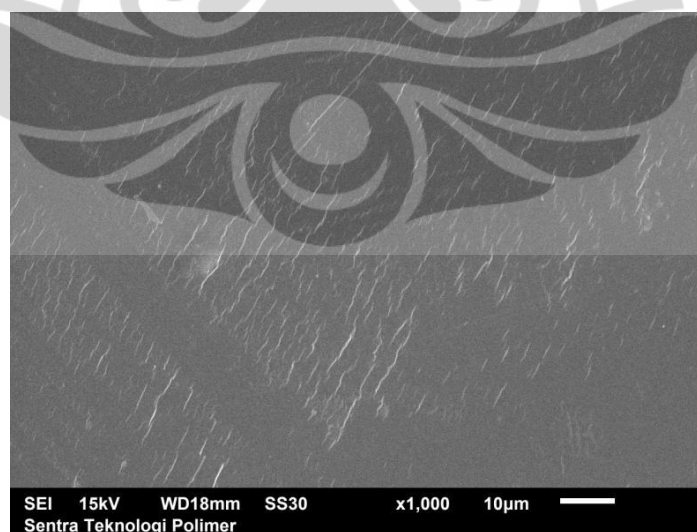


**Gambar 4. 14.** Hasil Analisis SEM pada Konsentrasi Gelatin 10%.

Pada Gambar 4.14 hasil analisis SEM menunjukkan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi gelatin, maka proses pengikatan BCMC dan matriks gelatin akan menjadi maksimal. Dapat dilihat bahwa permukaan biokomposit homogen namun ada sedikit kerutan pada plastik yang terjadi saat proses pencetakan.

#### **Konsentrasi Gelatin 12%**

Berikut adalah Gambar 4.15 yang merupakan hasil analisis SEM untuk konsentrasi gelatin 12%.



**Gambar 4. 15.** Hasil Analisis SEM pada Konsentrasi Gelatin 10%.

Pada Gambar 4.15 hasil analisis SEM menunjukkan adanya *filler* BCMC yang muncul keluar berbentuk serat. Hal ini akan mempengaruhi pada sifat fisik, mekanik, serta kelembaban dan termal.

#### 4.3.1.2. Analisis PSA

Pengukuran distribusi partikel nano dengan menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) dan dilakukan running pengukuran sebanyak dua kali. Pengukuran dilakukan pada larutan produk akhir yaitu larutan dengan selulosa bakteri. Pada pengujian distribusi partikel ini diharapkan hasil partikel yang terbentuk berukuran nano. Namun dari hasil pengukuran tersebut, didapatkan diameter partikel yang fluktuatif yaitu pada 5,978  $\mu\text{m}$  dan 6,246  $\mu\text{m}$ . Apabila di rata-rata ukuran partikel yang didapatkan yaitu 6,112  $\mu\text{m}$ . Besar nilai diameter dengan perbedaan yang cukup jauh dari setiap proses pengukuran menandakan bahwa larutan dengan selulosa bakteri ternyata belum sepenuhnya homogen. Dan pada hasil percobaan ini hanya mencapai 6.112 nm atau 6,112  $\mu\text{m}$ . Hal ini mungkin disebabkan pada saat akan dilakukan pengujian PSA, larutan selulosa bakteri terlalu lama didiamkan setelah dilakukakan sonikasi sehingga molekul – molekul selulosa bakteri saling berikatan kembali. Sonikasi selain memiliki fungsi untuk mendispersikan *filler* ke dalam matriks, juga berfungsi untuk membuat ukuran partikel menjadi lebih kecil hingga ukuran nano.

#### 4.3.2. Hasil dan Pembahasan Sifat Mekanik

Analisis uji tarik digunakan untuk mengkarakterisasi kekuatan mekanik dari gelatin biokomposit. Sifat mekanik dari *film* biokomposit dievaluasi menggunakan *Universal Testing Machine* (SPT – Serpong) dengan panjang ukuran sebesar 25 mm dan kecepatan *crosshead* sebesar 100 mm/menit. Sampel dipotong dalam bentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 5 inci dan lebar 1 inci. Sampel kemudian di *conditioning* pada ruangan dengan suhu yang telah diatur, yaitu sebesar 25<sup>0</sup>C dan selanjutnya baru dilakukan pengujian mekanik. Selain itu dilakukan pengujian untuk mengetahui ketebalan *film* yang dibuat dengan menggunakan jangka sorong digital. Ketebalan *film* yang diuji ini diperlukan untuk menghitung sifat kuat tarik sampel.

### 4.3.2.1. Uji Tensile strength

#### A. Variasi Konsentrasi BCMC

Berikut merupakan hasil sifat mekanik dari pengolahan data sampel biokomposit dengan variasi konsentrasi BCMC 1% hingga 4%. Ketebalan *film* biokomposit yang diukur menggunakan jangka sorong digital dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4. 1.** Hasil Ketebalan Biokomposit dengan Variasi Konsentrasi BCMC 1% Hingga 4%

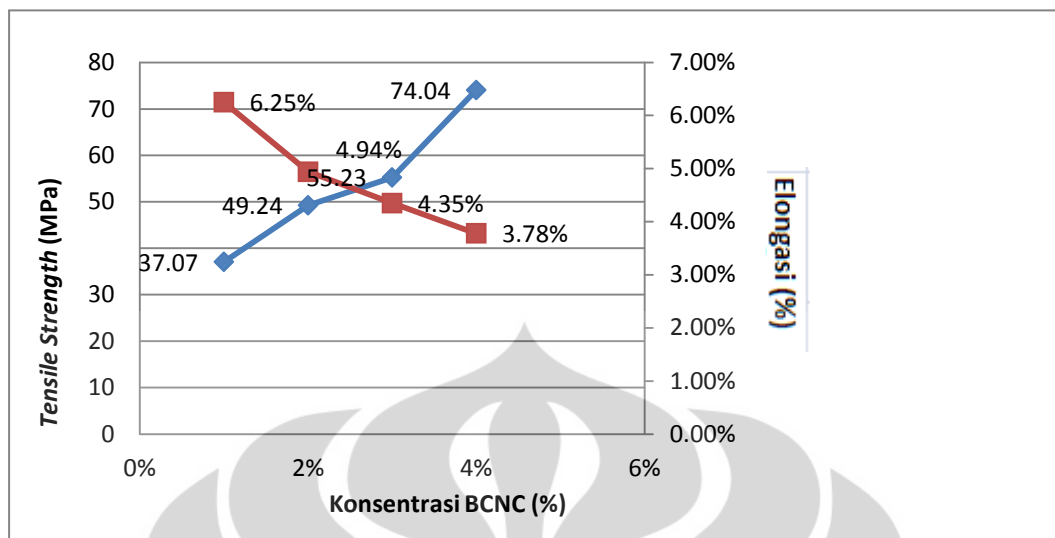
Sampel Ke-	Konsentrasi BCMC 1% hingga 4%			
	1% wt	2% wt	3% wt	4% wt
	Ketebalan (mm)	Ketebalan (mm)	Ketebalan (mm)	Ketebalan (mm)
1	0,31	0,29	0,32	0,29
2	0,28	0,29	0,23	0,3
3	0,26	0,3	0,34	0,26
4	0,31	0,3	0,29	0,27
5	0,27	0,3	0,3	0,3

Hasil perhitungan sifat mekanik berupa kuat tarik dan elongasi gelatin biokomposit dapat dilihat pada Tabel 4.2

**Tabel 4. 2** Hasil Perhitungan Sifat Mekanik Gelatin Biokomposit dengan Variasi Konsentrasi BCMC 1% Hingga 4%

Sampel ke-	1% wt BCMC		2% wt BCMC		3% wt BCMC		4% wt BCMC	
	Elongasi	<i>Tensile Strenght</i> (MPa)	Elongasi	<i>Tensile Strenght</i> (MPa)	Elongasi	<i>Tensile Strenght</i> (MPa)	Elongasi	<i>Tensile Strenght</i> (MPa)
1	7,25%	42,89	5,64%	42,56	3,98%	53,39	2,56%	69,89
2	6,87%	31,42	6,76%	45,65	4,24%	52,74	4,65%	75,87
3	7,01%	35,57	5,74%	56,78	4,63%	62,67	3,64%	78,98
4	3,21%	40,82	5,12%	53,34	5,23%	45,76	2,89%	68,46
5	6,89%	34,67	6,54%	47,89	3,66%	61,61	5,17%	76,98
Rata-Rata	6,25%	37,07	4,94%	49,24	4,35%	55,23	3,78%	74,04

Perhitungan sifat mekanik tersebut dilakukan pada 5 spesimen yang berbeda. Rata-rata dari hasil mekanik kuat tarik dan derajat elongasi diplot terhadap variasi konsentrasi BCMC seperti terlihat pada Gambar 4.16.



**Gambar 4. 16.** Efek Penambahan BCMC Terhadap *Tensile Strength* dan *Elongasi* Gelatin Biokomposit dengan Variasi Konsentrasi 1% hingga 4%

Pada plot Gambar 4.16 menunjukkan bahwa matriks gelatin yang diperkuat dengan *filler* BCMC pada variasi konsentrasi *filler* yang berbeda – beda (1% - 4%) akan meningkatkan kuantitas kekuatan tarik (*tensile strength*). Pada Tabel 4.2 dapat dilihat hasil uji tensile pada variasi konsentrasi BCMC 1% adalah 37,07 MPa dan pada variasi konsentrasi BCMC 2% adalah 49,24 MPa. Sedangkan pada konsentrasi 3% dan 4% kekuatan tarik menjadi 55,23 MPa dan 74,04MPa. Kekuatan tarik pada variasi konsentrasi 4% menjadi dua kali lipatnya dibandingkan dengan pada konsentrasi 1%.

Penambahan *filler* BCMC pada matriks gelatin menambah kekuatan mekanik pada gelatin biokomposit. Material yang ukuran partikelnya mikro memiliki sifat yaitu memperluas area permukaan pada matriks yang berisikan mikrofiller. Dengan area permukaan yang semakin luas, maka efisiensi perpindahan gaya tekan akan semakin meningkat. Selain itu faktor lain yang menyebabkan peningkatan kekuatan tarik adalah adanya ikatan hidrogen yang kuat dikarenakan sifat gelatin yang hidrofilik. Gelatin merupakan salah satu contoh biopolimer berupa protein yang bersifat hidrofilik dan mempunyai polaritas yang tinggi. Selulosa mikrokristal (BCMC) yang mengisi rangka matriks gelatin akan mengalami ikatan hidrogen yang kuat dengan gelatin sehingga akan menambah kekuatan tarik pada gelatin biokomposit.

Namun pada Gambar 4.16 menunjukkan bahwa kecenderungan yang berbanding terbalik antara derajat elongasi gelatin biokomposit terhadap kenaikan konsentrasi BCMC dan kekuatan tarik. Seperti yang didefinisikan, bahwa derajat elongasi merupakan persentase kemuluran suatu bahan pada saat dilakukan uji tarik. Semakin besar gaya tarik yang diberikan untuk memutuskan suatu bahan, maka semakin kecil panjang kemuluran suatu bahan. Hal ini menunjukkan bahwa Semakin besar gaya tarik maka kekakuan suatu bahan akan meningkat dengan kata lain semakin tidak elastis. Gaya yang diberikan pada suatu bahan dibagi dengan luas bahan merupakan cara untuk menentukan besar tensile atau kekuatan tarik. Selain itu elongasi identik dengan tingkat kemuluran suatu bahan. Menurut pernyataan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik berbanding terbalik dengan tingkat kemuluran, maka dari itu jumlah kekuatan tarik akan Semakin meningkat ketika persentase derajat elongasi mengalami penurunan. Pada variasi konsentrasi 1% hingga 4%, derajat elongasi konstan mengalami penurunan seiring dengan kenaikan kekuatan tarik (*tensile strength*).

## B. Variasi Waktu Sonikasi

Berikut merupakan hasil sifat mekanik dari pengolahan data sampel biokomposit dengan variasi waktu sonikasi mulai dari 3 menit hingga 6 menit. Ketebalan *film* biokomposit yang diukur menggunakan jangka sorong digital dapat dilihat pada Tabel 4.3.

**Tabel 4. 3.** Hasil Ketebalan Biokomposit dengan Variasi Waktu Sonikasi 3 Menit – 6 Menit

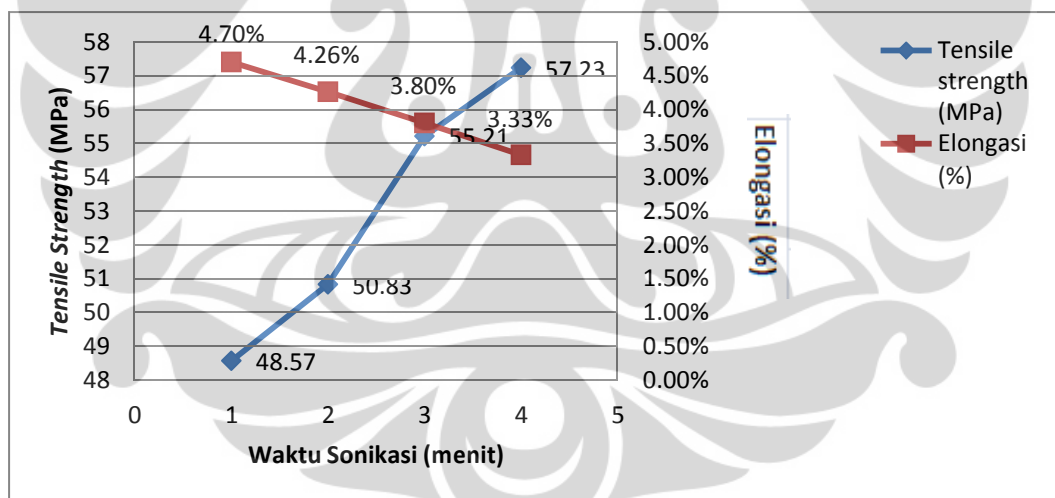
Sampel Ke-	Waktu Sonikasi 3 menit – 6 menit			
	3 menit	4 menit	5 menit	6 menit
	Ketebalan (mm)	Ketebalan (mm)	Ketebalan (mm)	Ketebalan (mm)
1	0,27	0,28	0,32	0,29
2	0,33	0,39	0,23	0,33
3	0,32	0,29	0,3	0,33
4	0,24	0,37	0,27	0,29
5	0,23	0,33	0,31	0,3

Hasil perhitungan sifat mekanik berupa kuat tarik dan elongasi gelatin biokomposit dapat dilihat pada Tabel 4.4.

**Tabel 4. 4** Hasil Perhitungan Sifat Mekanik Gelatin Biokomposit dengan Variasi Waktu Sonikasi 3 Menit Hingga 6 Menit.

Sampel ke-	3 menit (sonikasi)		4 menit (sonikasi)		5 menit (sonikasi)		6 menit (sonikasi)	
	Elongasi	<i>Tensile Strenght</i> (MPa)	Elongasi	<i>Tensile Strenght</i> (MPa)	Elongasi	<i>Tensile Strenght</i> (MPa)	Elongasi	<i>Tensile Strenght</i> (MPa)
1	3,85%	44,72	4,11%	51,9	3,76%	60,78	2,98%	59,89
2	5,04%	52,8	4,71%	53,2	3,56%	56,98	3,21%	67,98
3	7,12%	51,66	5,06%	44,74	4,21%	58,34	4,89%	55,98
4	3,75%	45,42	3,83%	60,65	4,03%	59,34	2,67%	56,56
5	3,75%	48,26	3,57%	43,67	3,45%	45,6	2,90%	45,76
Rata-Rata	4,70%	48,57	4,26%	50,83	3,80%	55,21	3,33%	57,23

Perhitungan sifat mekanik tersebut dilakukan pada 5 spesimen yang berbeda. Rata-rata dari hasil mekanik kuat tarik dan derajat elongasi diplot terhadap variasi waktu sonikasi seperti terlihat pada Gambar 4.17.



**Gambar 4. 17.** Efek Waktu Sonikasi Terhadap *Tensile Strenght* dan Elongasi Gelatin Biokomposit Dengan Variasi 3 Menit – 6 Menit

Gambar 4.17 menunjukkan adanya pengaruh kekuatan tarik dan derajat elongasi terhadap lamanya waktu sonikasi yang dilakukan. Variasinya antara lain adalah waktu sonikasi selama 3 menit, 4 menit, 5 menit, 6 menit. Grafik di atas menunjukkan bahwa semakin lama waktu sonikasi maka kekuatan tariknya akan semakin besar. Oleh sebab itu derajat elongasi semakin menurun dikarenakan

kekuatan tarik yang secara konstan terus meningkat. Dapat dilihat perbedaan yang cukup signifikan pada menit ke-4 dan menit ke-5 pada waktu sonikasi, yaitu sebesar 50,83 MPa dan 55,21 MPa.

Waktu sonikasi atau pengadukan dengan gelombang ultrasonik sangat berpengaruh pada kekuatan mekanik dari gelatin biokomposit. Mikromaterial selalu mempunyai kecenderungan untuk teraglomerasi atau menggumpal dikarenakan adanya ikatan van der Waals dimana masing – masing molekulnya saling berikatan. Salah satu cara untuk mencegah peristiwa aglomerasi adalah dengan pengadukan dengan kecepatan yang tinggi, yaitu kecepatan gelombang ultrasonik. Metode ini dapat memisahkan ikatan van der Waals diantara molekul mikro. Semakin lama waktu pengadukan maka molekul akan terpisah dan dapat terdispersi dengan baik di dalam matriks atau pelarut yang digunakan.

### C. Variasi Konsentrasi Gelatin

Berikut merupakan hasil sifat mekanik dari pengolahan data sampel biokomposit dengan variasi konsentrasi gelatin 6%, 8%, 10% dan 12 %. Ketebalan *film* biokomposit yang diukur menggunakan jangka sorong digital dapat dilihat pada Tabel 4.5.

**Tabel 4. 5.** Hasil Ketebalan Biokomposit dengan Variasi Konsentrasi Gelatin 6% Hingga 12%

Sampel Ke-	Konsentrasi Gelatin 6% hingga 12%			
	6% wt	8% wt	10% wt	12% wt
	Ketebalan (mm)	Ketebalan (mm)	Ketebalan (mm)	Ketebalan (mm)
1	0,20	0,34	0,43	0,45
2	0,25	0,35	0,42	0,48
3	0,29	0,31	0,39	0,42
4	0,32	0,31	0,40	0,45
5	0,27	0,3	0,39	0,39

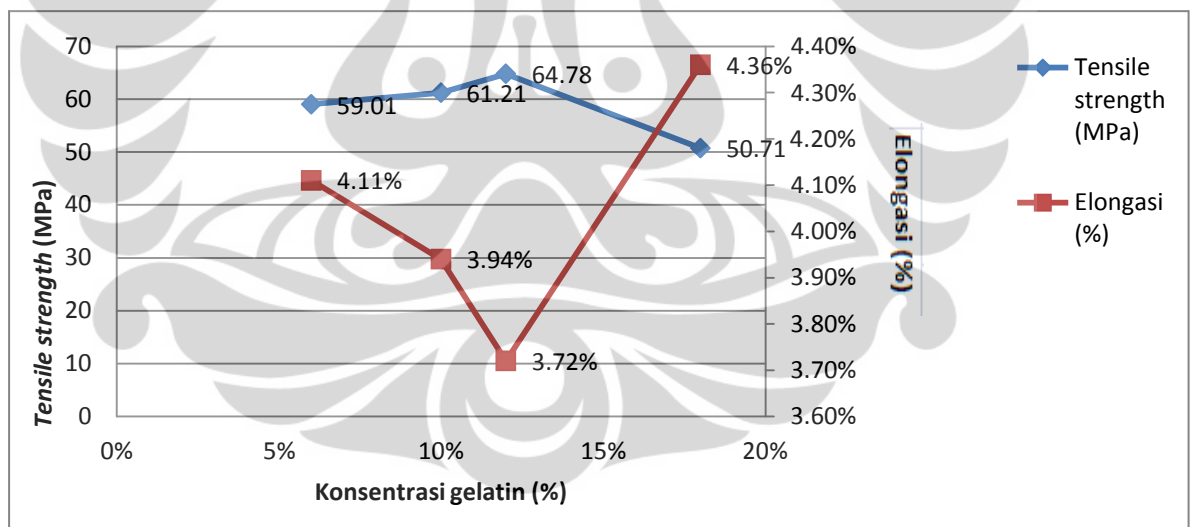
Hasil perhitungan sifat mekanik berupa kuat tarik dan elongasi gelatin biokomposit dapat dilihat pada Tabel 4.6.



**Tabel 4. 6.** Hasil Perhitungan Sifat Mekanik Gelatin Biokomposit dengan Variasi Konsentrasi Gelatin 6% - 12%

Sampel ke-	6% wt		8% wt		10% wt		12% wt	
	Elongasi	<i>Tensile Strenght</i> (MPa)	Elongasi	<i>Tensile Strenght</i> (MPa)	Elongasi	<i>Tensile Strenght</i> (MPa)	Elongasi	<i>Tensile Strenght</i> (MPa)
1	4,13%	67,98	3,45%	55,67	4,52%	64,78	4,76%	54,85
2	3,42%	45,51	3,90%	65,89	3,21%	62,45	4,96%	61,46
3	4,53%	54,67	3,24%	56,54	3,11%	50,89	3,71%	50,51
4	4,11%	57,89	4,12%	67,98	3,98%	69,87	4,29%	44,84
5	4,35%	68,98	5,01%	59,98	3,78%	75,89	4,08%	41,87
Rata-Rata	4,11%	59,01	3,94%	61,21	3,72%	64,78	4,36%	50,71

Perhitungan sifat mekanik tersebut dilakukan pada 5 spesimen yang berbeda. Rata-rata dari hasil mekanik kuat tarik dan derajat elongasi diplot terhadap variasi konsentrasi gelatin seperti terlihat pada Gambar 4.18.



**Gambar 4. 18.** Efek Penambahan Gelatin Terhadap *Tensile Strenght* dan Elongasi Pada Gelatin Biokomposit dengan Variasi 6% - 12%

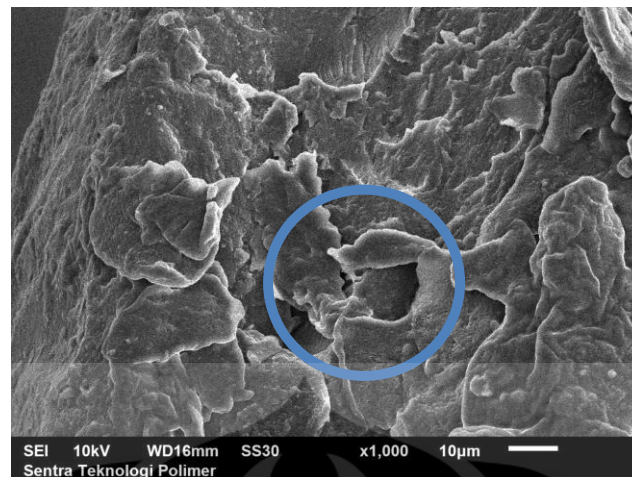
Pada Gambar 4.18 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan yang signifikan pada konsentrasi gelatin saat 12%. Pada variasi konsentrasi 6%, 8%, dan 10% kekuatan tarik terus meningkat. Namun pada konsentrasi 12% kekuatan tarik

menurun dan derajat elongasinya menjadi bertambah. Penambahan konsentrasi gelatin akan menambah jumlah rangka komposit yang digunakan untuk *tempat terisinya filler*. Pada konsentrasi 6%, kekuatan tarik tidak terlalu besar dikarenakan kurangnya ruang untuk BCMC untuk mengisi rangka – rangka matriks. Hal ini memungkinkan terjadinya aglomerasi, sehingga menyebabkan pengumpulan *filler* di beberapa titik pada matriks gelatin. Selain itu karena konsentrasi gelatin yang lebih sedikit dari variasi lainnya, menyebabkan berkurangnya hasil proses gelatinisasi sehingga membuat biokomposit menjadi lebih lemah.

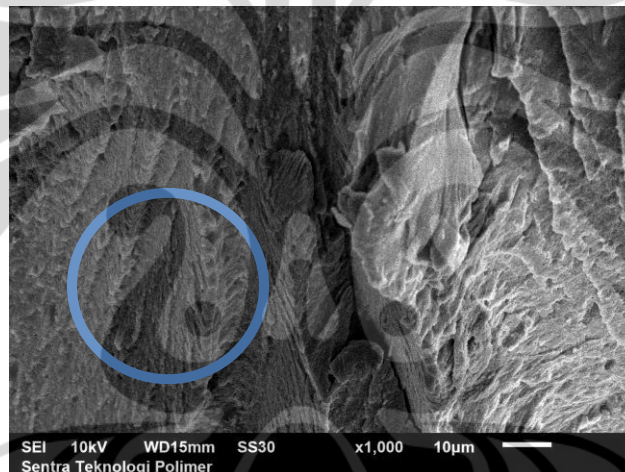
Berbeda dengan variasi 8% dan 10% konsentrasi gelatin. Pada variasi ini merupakan biokomposit dengan jumlah formulasi yang tepat sehingga seluruh *filler* dapat *menempati* sebagian besar rangka matriks dan terdispersi dengan cukup baik untuk memperbaiki sifat fisik dari gelatin biokomposit.

#### 4.3.2.2. Uji Patahan

Dalam penelitian ini dilakukan uji kekuatan tarik untuk mengetahui pengaruh penambahan *filler* BCMC dan variasinya terhadap gelatin. Ketika dilakukan uji terdapat sampel yang tidak kuat menahan gaya tarik yang diberikan oleh alat uji, sehingga sampel patah. Uji patahan ini dilakukan untuk melihat bagaimana kondisi permukaan sampel yang patah tersebut dan untuk membuktikan faktor penyebab sampel tersebut mengalami kerusakan (patah). Pengujian dilakukan dengan mengambil dua sampel yaitu biokomposit pada variasi konsentrasi BCMC 1% dan variasi konsentrasi BCMC 4%. Sampel dengan konsentrasi 1% memiliki kekuatan tarik yang lebih kecil dari pada 4%. Hal ini dikarenakan jumlah konsentrasi *filler* yang lebih sedikit sehingga membuat rongga matriks menjadi lebih banyak. Semakin banyak rongga, maka biokomposit akan semakin mudah terlepas ikatan antara matriks dan *fillernya*. Hal ini dibuktikan dengan uji SEM untuk melihat permukaan sampel yang patah. Gambar 4.19 merupakan sampel dengan konsentrasi 1% dan gambar 4.20 merupakan sampel dengan konsentrasi 4%



**Gambar 4. 19.** Hasil Patahan Menggunakan Analisis SEM pada Gelatin Biokomposit Konsentrasi BCMC 1%



**Gambar 4. 20.** Hasil Patahan Menggunakan Analisis SEM pada Gelatin Biokomposit Konsentrasi BCMC 4%

Pada gambar 4.19 dan gambar 4.20 terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Gambar 4.20 memiliki jumlah rongga yang lebih sedikit dan lebih rapat dibandingkan dengan permukaan patah pada gambar 4.19. Perbedaan ini ditunjukkan pada lingkaran biru. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah konsentrasi *filler* berpengaruh pada kekuatan fisik biokomposit.

#### 4.3.3. Hasil dan Pembahasan Sifat Termal Biokomposit

Analisis DSC (*Differential Scanning Calorimeter*) digunakan untuk menentukan suhu transisi gelas ( $T_g$ ) dan menentukan suhu helix koil ( $T_m$ ) dari

gelatin biokomposit *film*. Sampel dipreparasi dengan memotongnya menjadi beberapa bagian kecil sehingga mencapai berat kurang lebih 5 mg. setelah itu sampel diletakkan di pin alumunium, lalu sampel dimasukkan ke dalam alat uji DSC. Pertama – tama suhu pada u setelah alat dibuat menjadi  $25^{\circ}\text{C}$ , setelah itu dibuat menjadi  $-30^{\circ}\text{C}$ . Dan saat itulah proses penentuan suhu transisi gelas ( $T_g$ ) dan suhu helix koil ( $T_m$ ) mulai dilakukan hingga mencapai  $200^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.3.3.1. Uji DSC

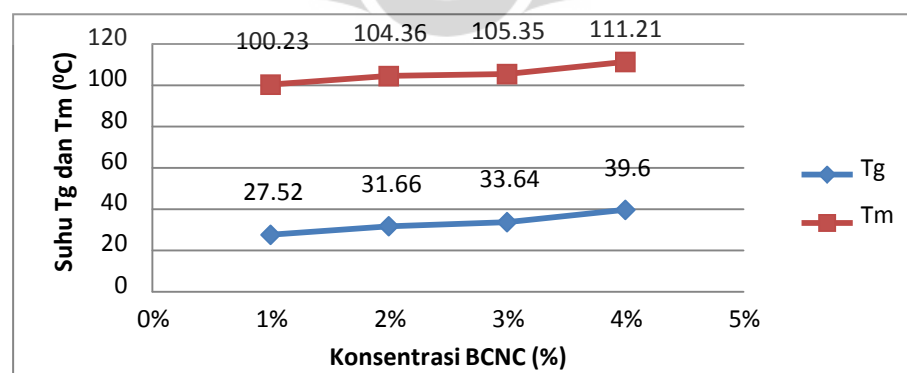
##### A. Variasi Konsentrasi BCMC

Setelah dilakukan pengujian, Tabel 4.7 adalah hasil dari suhu transisi gelas ( $T_g$ ) dan suhu helix koil ( $T_m$ ) dari gelatin biokomposit *film* pada variasi konsentrasi BCMC.

**Tabel 4. 7.** Sifat termal gelatin biokomposit pada variasi konsentrasi BCMC 1% - 4%

Konsentrasi BCMC	Suhu Transisi Gelas ( $T_g$ )	Suhu Helix Koil ( $T_m$ )
1%	$27,52^{\circ}\text{C}$	$100,23^{\circ}\text{C}$
2%	$31,66^{\circ}\text{C}$	$104,36^{\circ}\text{C}$
3%	$33,64^{\circ}\text{C}$	$105,35^{\circ}\text{C}$
4%	$39,60^{\circ}\text{C}$	$111,21^{\circ}\text{C}$

Dalam Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa kenaikan konsentrasi BCMC berbanding lurus dengan kenaikan suhu transisi gelas ( $T_g$ ) dan suhu helix koil ( $T_m$ ) dari gelatin biokomposit *film*. Untuk melihat pengaruh konsentrasi BCMC terhadap kenaikan suhu transisi gelas ( $T_g$ ) dan suhu helix koil ( $T_m$ ) dari gelatin biokomposit *film*, maka diplot grafik sebagai berikut.



**Gambar 4. 21** Grafik Pengaruh Konsentrasi BCMC pada  $T_g$  dan  $T_m$

Pada Gambar 4.21 dapat dilihat bahwa kenaikan  $T_g$  dan  $T_m$  berbanding lurus dengan kenaikan konsentrasi BCMC. Dengan adanya kenaikan konsentrasi BCMC, grafik suhu transisi gelas akan semakin melebar menuju suhu yang lebih tinggi. Suhu transisi gelas menandakan bahwa rantai ikatan polimer pada biokomposit mulai bergerak akibat dari pengaruh suhu. Suhu transisi gelas dari polimer biokomposit dipengaruhi dari besarnya interaksi antara nanopartikel dan rantai polimer. Karena gelatin dan BCMC sama – sama bersifat hidrofilik, maka sangat memungkinkan terjadi ikatan yang kuat antara matriks polimer dan *filler* penguatnya.

Pembentukan ikatan hidrogen yang kuat antara selulosa mikrokristal dan gelatin dapat menghambat pergerakan rantai ikatan polimer yang terdapat dalam biokomposit yang diakibatkan oleh kenaikan suhu. Hal tersebut membuat suhu gelas transisi meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi BCMC. Suhu helix koil ( $T_m$ ) merupakan suhu dimana polimer gelatin biokomposit mulai terdegradasi. Penambahan BCMC juga mempengaruhi sifat termal polimer gelatin sehingga membutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk denaturasi.

## B. Variasi Waktu Sonikasi

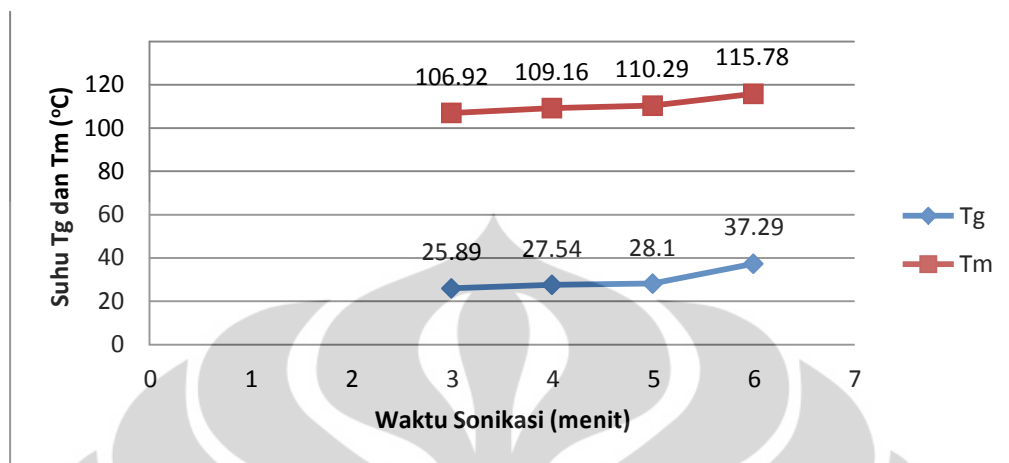
Setelah dilakukan pengujian, Tabel 4.8 adalah hasil dari suhu transisi gelas ( $T_g$ ) dan suhu helix koil ( $T_m$ ) dari gelatin biokomposit *film* pada variasi waktu sonikasi.

**Tabel 4. 8.** Sifat Termal Gelatin biokomposit pada Variasi Waktu Sonikasi 3 menit hingga 6 menit

Waktu Sonikasi	Suhu Transisi Gelas ( $T_g$ )	Suhu Helix Koil ( $T_m$ )
3 menit	25,89 <sup>0</sup> C	106,92 <sup>0</sup> C
4 menit	27,54 <sup>0</sup> C	109,16 <sup>0</sup> C
5 menit	28,10 <sup>0</sup> C	110,29 <sup>0</sup> C
6 menit	37,29 <sup>0</sup> C	115,78 <sup>0</sup> C

Dalam Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa kenaikan waktu sonikasi berbanding lurus dengan kenaikan suhu transisi gelas ( $T_g$ ) dan suhu helix koil ( $T_m$ ) dari gelatin biokomposit *film*. Untuk melihat pengaruh konsentrasi waktu sonikasi terhadap

kenaikan suhu transisi gelas ( $T_g$ ) dan suhu helix koil ( $T_m$ ) dari gelatin biokomposit *film*, maka diplot grafik sebagai berikut.



**Gambar 4. 22.** Grafik Pengaruh Waktu Sonikasi pada  $T_g$  dan  $T_m$

Pada Gambar 4.22 dapat terlihat bahwa semakin lama waktu sonikasi, maka suhu transisi gelas ( $T_g$ ) dan suhu helix koil ( $T_m$ ) dari gelatin biokomposit *film* juga semakin meningkat. Waktu pengadukan sonikasi mempengaruhi pendispersian nanokomposit di dalam matriks polimer gelatin. Semakin lama BCMC di sonikasi maka akan semakin kecil kemungkinan *filler* BCMC untuk teraglomerasi atau penggumpalan yang membuat sifat termal semakin menurun akibat ikatan antara polimer dan BCMC tidak tercampur dengan baik yaitu hanya sebagian titik saja yang berikatan dengan *filler* BCMC.

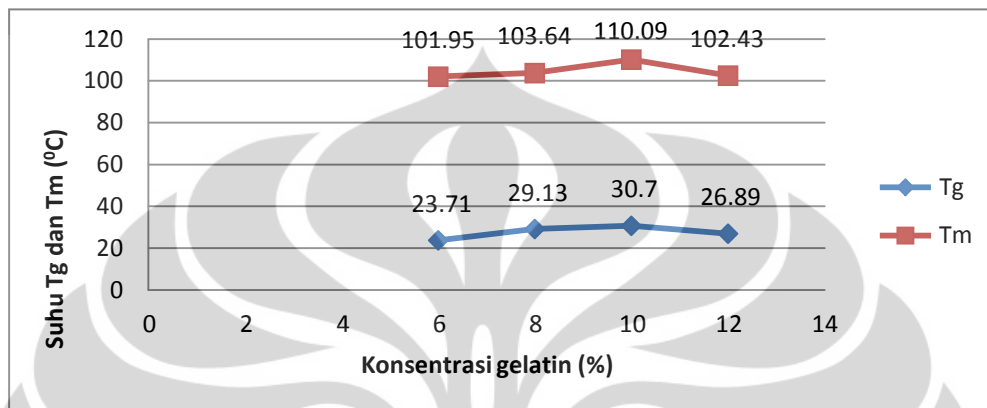
### C. Variasi Konsentrasi Gelatin

Setelah dilakukan pengujian, berikut ini adalah hasil dari suhu transisi gelas ( $T_g$ ) dan suhu helix koil ( $T_m$ ) dari gelatin biokomposit *film* pada variasi konsentrasi gelatin.

**Tabel 4. 9.** Sifat Termal Gelatin biokomposit pada Variasi Konsentrasi Gelatin 6% - 12%

Waktu Sonikasi	Suhu Transisi Gelas ( $T_g$ )	Suhu Helix Koil ( $T_m$ )
6%	23,71 <sup>0</sup> C	101,95 <sup>0</sup> C
8%	29,13 <sup>0</sup> C	103,64 <sup>0</sup> C
10%	30,70 <sup>0</sup> C	110,09 <sup>0</sup> C
12%	26,89 <sup>0</sup> C	102,43 <sup>0</sup> C

Dalam Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa kenaikan waktu sonikasi berbanding lurus dengan kenaikan suhu transisi gelas ( $T_g$ ) dan suhu helix koil ( $T_m$ ) dari gelatin biokomposit *film*. Untuk melihat pengaruh konsentrasi waktu sonikasi terhadap kenaikan suhu transisi gelas ( $T_g$ ) dan suhu helix koil ( $T_m$ ) dari gelatin biokomposit *film*, maka diplot grafik sebagai berikut.



**Gambar 4. 23** Grafik Pengaruh Konsentrasi Gelatin pada  $T_g$  dan  $T_m$

Pada Gambar 4.23 dapat terlihat bahwa konsentrasi gelatin mempengaruhi suhu transisi gelas ( $T_g$ ) dan suhu helix koil ( $T_m$ ) dari gelatin biokomposit *film*. Dapat dilihat pada konsentrasi 6% hingga 10% suhu transisi gelas ( $T_g$ ) dan suhu helix koil ( $T_m$ ) dari gelatin biokomposit mengalami peningkatan. Lalu terjadi penurunan pada konsentrasi 12%. Kenaikan konsentrasi gelatin menandakan penambahan rangka matriks yang harus dipenuhi oleh *filler* BCMC. Semakin besar konsentrasi gelatin maka rangka matriksnya akan semakin banyak. Pada variasi gelatin, konsentrasi *filler* BCMC memiliki kuantitas yang sama sehingga dapat dilihat pengaruh konsentrasi gelatin terhadap sifat termal gelatin biokomposit.

Pada konsentrasi 6%, matriks gelatin memiliki rangka yang sedikit yang dapat diisi oleh *filler* BCMC. *Filler* BCMC yang mengisi ruang rangka matriks semakin banyak dan penuh sehingga memungkinkan untuk terjadi aglomerasi atau penggumpalan dikarenakan konsentrasi *filler* BCMC semakin banyak dibandingkan dengan konsentrasi gelatin 8% dengan kuantitas konsentrasi *filler* BCMC yang sama. Maka dari itu pada konsentrasi 6%, suhu transisi gelas ( $T_g$ ) dan suhu helix koil ( $T_m$ ) dari gelatin biokomposit lebih rendah dari konsentrasi 8% dan 10%. Pada konsentrasi gelatin 8% dan 10% sifat termal Semakin membaik dikarenakan

komposisi yang tepat untuk jumlah *filler* BCMC yang diperlukan untuk mengalami aglomerasi untuk mengisi polimer gelatin. Hal tersebut juga memperbaiki sifat termal pada komposit.

#### 4.3.4. Hasil dan Pembahasan Sifat Fisik Biokomposit

##### 4.3.4.1. Uji WVTR

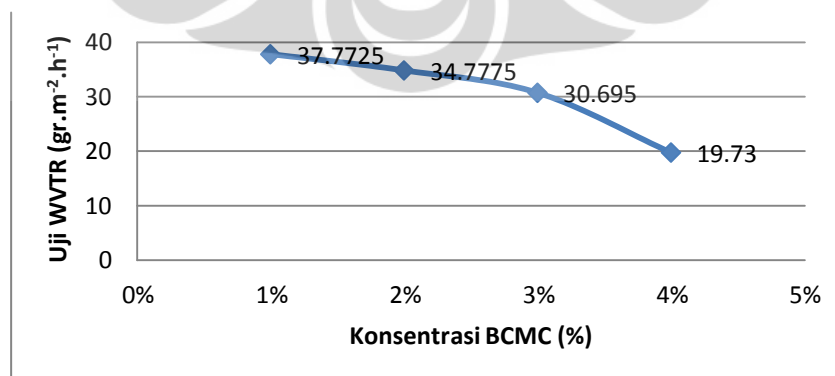
###### A. Variasi Konsentrasi BCMC

Setelah dilakukan pengujian, berikut ini adalah hasil dari pengukuran uji WVTR dari gelatin biokomposit *film* pada variasi konsentrasi BCMC. Tabel 4.10 merupakan hasil WVTR untuk tiap variasi konsentrasi *filler* BCMC.

**Tabel 4. 10.** Hasil WVTR Biokomposit dengan Variasi Konsentrasi BCMC 1%, 2%, 3%, 4%

sampel	WVTR ( $\text{gr.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ )			
	1%	2%	3%	4%
1	38,68	35,53	30,89	19,25
2	35,54	35,46	31,09	20,12
3	38,98	35,78	31,02	19,87
4	37,89	32,34	29,78	19,68
<b>rata-rata</b>	<b>37,77</b>	<b>34,78</b>	<b>30,69</b>	<b>19,73</b>

Dalam Tabel 4.10 dapat dilihat bahwa kenaikan konsentrasi BCMC berbanding lurus dengan penurunan nilai WVTR dari gelatin biokomposit *film*. Untuk melihat pengaruh konsentrasi BCMC terhadap penurunan nilai WVTR dari gelatin biokomposit *film*, maka diplot grafik sebagai berikut.



**Gambar 4. 24.** Perbandingan Hasil WVTR pada Variasi Konsentrasi *Filler* BCMC 1%, 2%, 3%, 4%



Pada grafik 4.24 dapat dilihat bahwa penurunan WVTR berbanding lurus dengan kenaikan konsentrasi BCMC. Keberadaan *filler* mempengaruhi sifat matriks gelatin yang sangat hidrofilik. Kemampuan gelatin untuk menyerap air berkurang, dikarenakan kemampuan gelatin untuk mengikat *filler* BCMC lebih kuat dari pada kemampuan untuk mengikat air, sehingga semakin banyak konsentrasi *filler*, maka nilai WVTR akan semakin menurun.

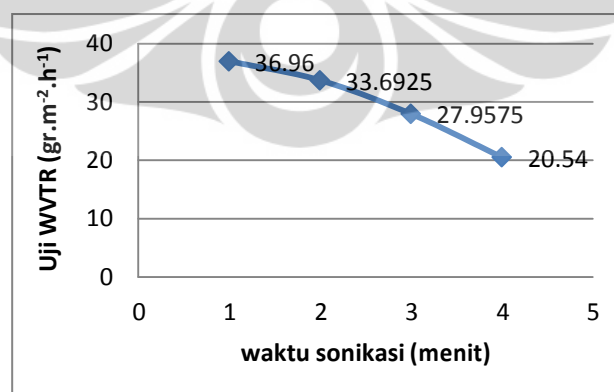
## B. Variasi Waktu Sonikasi

Setelah dilakukan pengujian, berikut ini adalah hasil dari pengukuran uji WVTR dari gelatin biokomposit *film* pada variasi waktu sonikasi. Tabel 4.11 merupakan hasil WVTR untuk tiap variasi waktu sonikasi.

**Tabel 4. 11.** Hasil WVTR Biokomposit dengan Variasi Waktu Sonikasi 3 Menit – 6 Menit

sampel	WVTR ( $\text{gr.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ )			
	3 menit	4 menit	5 menit	6 menit
1	39,08	33,45	27,89	20,89
2	35,89	35,64	31,2	21,01
3	36,78	33,12	23,67	19,68
4	36,09	32,56	29,07	20,08
<b>rata-rata</b>	<b>36,96</b>	<b>33,69</b>	<b>27,96</b>	<b>20,54</b>

Dalam Tabel 4.11 dapat dilihat bahwa kenaikan waktu sonikasi berbanding lurus dengan penurunan nilai WVTR dari gelatin biokomposit *film*. Untuk melihat pengaruh waktu sonikasi terhadap penurunan nilai WVTR dari gelatin biokomposit *film*, maka diplot grafik sebagai berikut.



**Gambar 4. 25.** Perbandingan Hasil WVTR pada Variasi Waktu Sonikasi 3 Menit – 6 Menit

Pada Gambar 4.25 dapat dilihat bahwa penurunan WVTR berbanding lurus dengan peningkatan waktu sonikasi. Hal ini dikarenakan semakin lama dilakukan

sonikasi maka *filler* akan semakin terdispersi ke dalam matriks. Jika penyebaran *filler* ke dalam matriks meningkat, maka fungsi *filler* untuk menjadi penguat pada matriks menjadi lebih efektif.

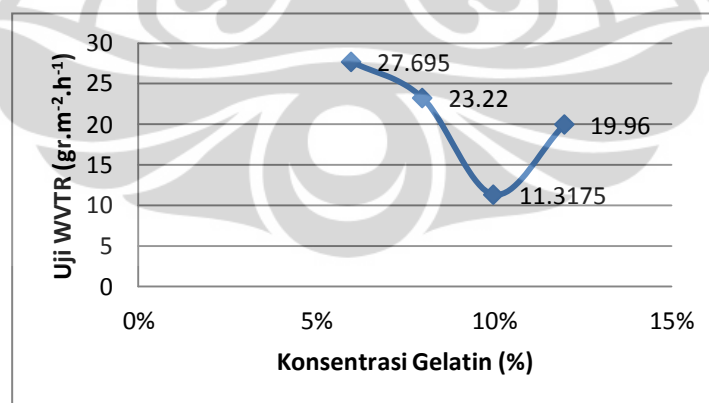
### C. Variasi Konsentrasi Gelatin

Setelah dilakukan pengujian, berikut ini adalah hasil dari pengukuran uji WVTR dari gelatin biokomposit *film* pada variasi konsentrasi gelatin. Tabel 4.12 merupakan hasil WVTR untuk tiap variasi konsentrasi gelatin.

**Tabel 4. 12.** Hasil WVTR Biokomposit dengan Variasi Konsentrasi Gelatin 6%, 8%, 10%, 12%

sampel	WVTR ( $\text{gr.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ )			
	6%	8%	10%	12%
1	25,78	23,33	11,34	20,34
2	29,09	23,56	13,45	20,65
3	30,23	24,56	10,45	19,87
4	25,68	21,43	10,03	18,98
<b>rata-rata</b>	<b>27,69</b>	<b>23,22</b>	<b>11,32</b>	<b>19,96</b>

Dalam Tabel 4.12 dapat dilihat bahwa kenaikan konsentrasi gelatin berbanding lurus dengan penurunan nilai WVTR dari gelatin biokomposit *film*. Untuk melihat pengaruh konsentrasi gelatin terhadap penurunan nilai WVTR dari gelatin biokomposit *film*, maka diplot grafik sebagai berikut.



**Gambar 4. 26.** Perbandingan Hasil WVTR pada Variasi Konsentrasi Gelatin 6%, 8%, 10%, 12%

Pada Gambar 4.26 dapat dilihat bahwa penurunan WVTR berbanding lurus dengan kenaikan gelatin matriks. Namun pada konsentrasi 12%, hasil uji WVTR mengalami penurunan dikarenakan konsentrasi matriks yang sedikit berlebih

dibandingkan pada konsentrasi 10% gelatin. Semakin tinggi konsentrasi matriks, maka rongga matriks akan semakin bertambah. Dalam penelitian ini konsentrasi matriks dengan nilai yang paling baik adalah pada konsentrasi 10%. Hal ini juga ditunjukkan pada hasil pengujian termal (DSC) dan mekanik (*tensile strength*).



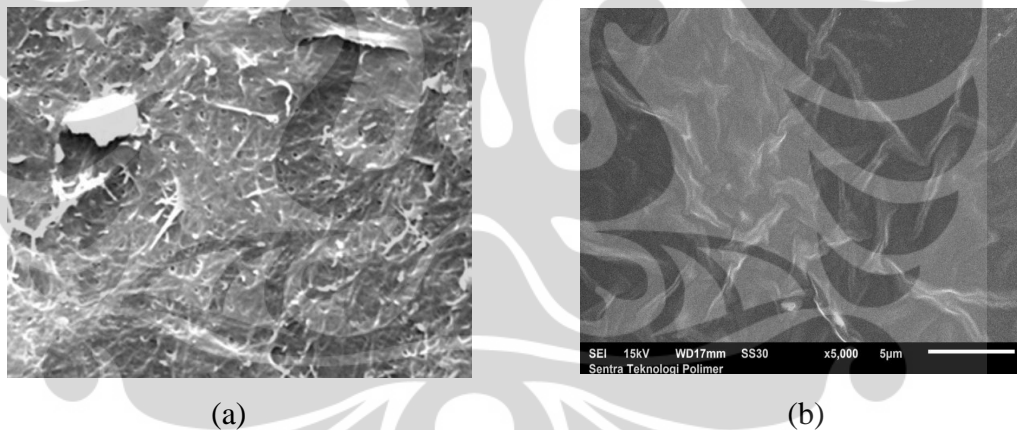
## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Pada penelitian berhasil didapatkan *filler Bacterial Cellulose Microcrystal* (BCMC) menggunakan metode hidrolisis enzim. Pengujian dengan PSA (*Particle Size Analysis*) menunjukkan bahwa rata – rata ukuran partikelnya mencapai 6,112  $\mu\text{m}$ . Terbentuknya BCMC juga didukung pada hasil pengujian dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Partikel *filler* yang terbentuk memiliki jenis *rod shape* (batangan) yang saling berhubungan dengan partikel lainnya sehingga membentuk jaringan seperti serat – serat mikrofibril. Gambar 5.1 menunjukkan perbandingan hasil SEM penelitian ini dengan hasil yang tertera di referensi.



**Gambar 5. 1.** Hasil Pengujian SEM dari (a) Referensi, (b) Penelitian yang Dilakukan (George & Siddaramaidah, 2011)

2. Pada penelitian ditunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi filler dan waktu sonikasi yang semakin lama, maka sifat fisik, sifat mekanik, dan sifat termal juga akan meningkat. Begitu juga dengan penambahan konsentrasi matriks, maka sifat fisik, sifat mekanik, dan sifat termal juga akan meningkat. Namun jumlah konsentrasi matriks dibatasi pada saat jumlah tertentu karena pada saat itu terjadi penurunan sifat fisik, mekanik, dan termal pada biokomposit.

3. Dari hasil karakterisasi diperoleh kesimpulan sebagai berikut :
  - a. Dari pengujian sifat mekanik, penambahan konsentrasi BCMC dengan variasi 1-4% akan meningkatkan hasil uji tarik dari 37,07 MPa menjadi 74,04 MPa; suhu transisi gelas ( $T_g$ ) meningkat dari dan 27,52<sup>0</sup>C menjadi 39,6<sup>0</sup>C; *Water Vapour Transmission Rate* (WVTR) menurun dari 37,77 gr.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> menjadi 19,73 gr.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>.
  - b. Peningkatan hasil uji *tensile* dan DSC juga terjadi saat memvariasikan waktu sonikasi dari 3-6 menit yang meningkat dari 48,57 MPa menjadi 57,23 MPa dan 25,89<sup>0</sup>C menjadi 37,29<sup>0</sup>C. WVTR menurun dari 36,09 gr.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> menjadi 20,54 gr.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>. Variasi konsentrasi matriks juga mempengaruhi hasil uji *tensile strength*, DSC, dan WVTR, namun hasil uji terbaik pada penelitian ini terdapat pada gelatin biokomposit dengan variasi konsentrasi BCMC 4 wt%.

## 5.2. Saran

Saran untuk penelitian ini adalah :

1. Untuk penelitian ini sebaiknya ditambahkan lagi literturnya mengenai cara – cara pembentukan partikel nanomaterial dan bagaimana perlakuan yang tepat setelah nanomaterial terbentuk.
2. Mencari metode pendispersian yang lebih baik agar tidak terjadi aglomerasi.
3. Penambahan pemlastis dapat dijadikan alternatif untuk memodifikasi penelitian ini agar sifat fisiknya dapat lebih baik lagi.

## DAFTAR PUSTAKA

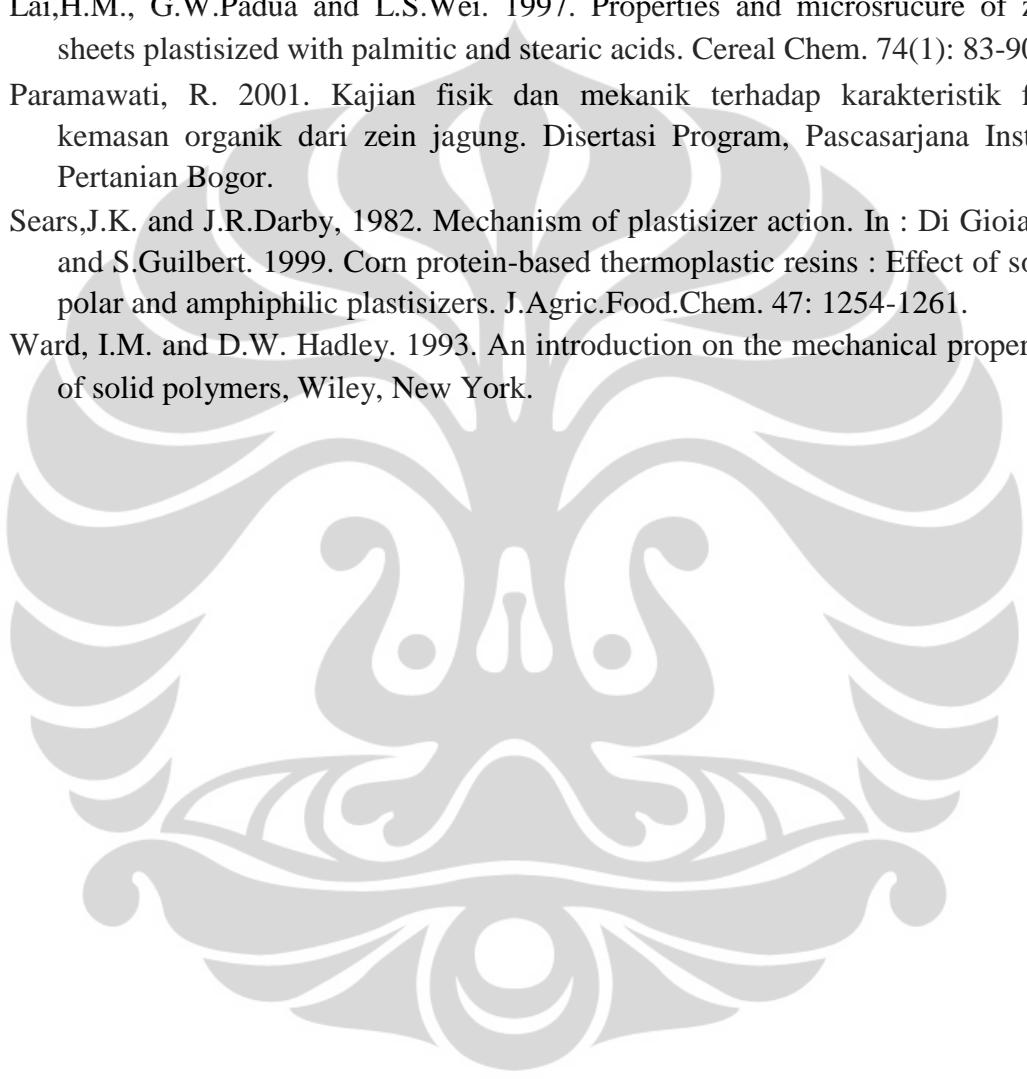
- Tharanathan, R. N. (2003). *Biodegradable films and composite coating: Past, present and future*. Trends in Food Science and Technology, 54, 343–351.
- Nesli Sozer and Jozef L. Kokini. (2009). Nanotechnology and its application in the food sector. Trends in Food in Biotechnology, 27, 2.
- Cristina Blasco and Yolanda Pico. (2011). Determining nanomaterial in food. Trends in Analytical Chemistry, 30, 1.
- Eva Marcuzzo, Alessandro Sensidoni, Frederic Debeaufort, and Andree Voilley. (2010). Encapsulation of aroma compounds in bioporous emulsion based *edible films* to control flavour release. Carbohydrate Polymer. 80, 984 – 988.
- Jung H. Han and Gennadios Arristipos. (2005). *Edible films and coating : a review*. Innovations and Food Packaging. 239 – 262.
- Alain Dufresne. (2008). Cellulose based composites and nanocomposites. Monomer, Polymer, and Composites from Renewable Resources. 401 – 418.
- L. Petterson and K. Oksman. (2006). Biopolymer based nanocomposites : comparing layer silicates and microcrystalline cellulose as *nanoreinforcement*. Composite Science and Technology. 66, 2187 – 2196.
- Shih Ta Chang, Li-Chen Chen, Shih-Bin Ling, and Hui-Huang Chen. (2011). Nanobiomaterials application : morphology and physical properties of bacterial cellulose/gelatin composites via crosslinking. Food Hydrocolloids. 1, 137 – 144.
- Iguchi, M., Yamanaka, S. and Budhino, A. (2000). Review bacterial cellulose—a master piece of nature’s art. Journal of Material Science, 35, 261–270,
- Johnsy George, K. V. Ramana, A.S. Bawa, Siddaramaiah. (2011). *Bacterial cellulose nanocrystal* exhibiting high thermal stability and their polymer nanocomposites. International Journal of Biological Macromolecules. 48, 50 – 57.
- Johnsy George and Siddaramaiah. (2012). High performance *edible nanocomposites film* containing *bacterial cellulose nanocrystals*. Carbohydrate Polymers. 87, 2031 – 2037.
- Ruixiang Zhao, Peter Torley, Peter J. Halley. (2008). Emerging *biodegradable material* : starch and protein based bio nanocomposites. Journal of Material Science. 9, 3058 – 3071.
- Balasubramaniam, V. M., Chinnan, M. S., Mallikarjunan, P., and Philips, R. D. (1997). The effect of *edible film* on oil uptake and moisture retention of deep-fat fried poultry product. Journal of Food Process Engineering, 20(1), 17e29.
- Guilbert, S., Cuq, B., & Gontard, N. (1997). Recent innovations in *edible and/or biodegradable packaging materials*. Food Additives and Contaminants, 14(6), 741e751.

- Baldwin, E. A., Nisperos, M. O., Chen, X., & Hagenmaier, R. D. (1996). Improving storage life of cut apples and potato with *edible* coating. *Postharvest Biology and Technology*, 9(2), 151e163.
- Mangiacapra, P., Gorrasi, G., Sorrentino, A., & Vittoria, V. (2005). *Biodegradable* nanocomposites obtained by ball milling of pectin and montmorillonites. *Carbohydrate Polymers*, 64(4), 516e523.
- Zheng, J. P., Li, P., Ma, Y. L., & Yao, K. D. (2002). Gelatine/montmorillonite hybrid nanocomposite. I. Preparation and properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 86, 1189e1194.
- Siragusa, G. R., & Dickson, J. S. (1992). Inhibition of *Listeria monocytogenes* on beef tissue by application of organic acids immobilized in a calcium alginate gel. *Journal of Food Science*, 57, 293e298.
- Giberto Siquera, Julien Bras, and Alaine Dufresne. (2010). Cellulosic bionanocomposites : a review of preparation, properties, and applications. *Polymers*. 2, 728 – 765.
- Svensson, A., Nicklasson, E., Harrah, T., Panilaitis, B., Kaplan, D. L., Brittberg, M., *et al.* (2005). Bacterial cellulose as a potential scaffold for tissue engineering of cartilage. *Biomaterials*, 26, 419–431.
- Nishi, Y., Uryu, M., Yamanaka, S., Watanabe, K., Kitamura, N., Iguchi, M., *et al.* (1990). The structure and mechanical properties of sheets prepared from bacterial cellulose. 2. Improvement of the mechanical-properties of sheets and their applicability to diaphragms of electro acoustic transducers. *Journal of Material Science*, 25, 2997–3001.
- Nogi, M. & Yano, H. (2008). Transparent nanocomposites based on cellulose produced by bacteria offer potential innovation in the electronics device industry. *Advanced Materials*, 20, 1849–1852.
- Choi, Y. J., Ahn, Y., Kang, M. S., Jun, H. K., Kim, I. S. & Moon, S. H. (2004). Preparation and characterisation of acrylic acid treated bacterial cellulose cation exchange membrane. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 79, 79–84.
- Okiyama, A., Motoki, M. & Yamanaka, S. (1992). Bacterial cellulose II. Processing of the gelatinous cellulose for food materials. *Food Hydrocolloids*, 6, 479–487.
- Vandamme, E. J., De Baets, S., Vanbaelen, A., Joris, K. & De Wulf, P. (1998). Improved production of bacterial cellulose and its application potential. *Polymer Degradation and Stability*, 59, 93–99.
- Araki, J., Wada, M., Kuga, S. & Okano, T. (1998). Flow properties of microcrystalline cellulose suspension prepared by acid treatment of native cellulose. *Colloids and Surfaces A*, 142, 75–82.
- Hirai, A., Inui, O., Horii, F. & Tsuji, M. (2009). Phase separation behavior in aqueous suspensions of *bacterial cellulose nanocrystals* prepared by sulfuric acid treatment. *Langmuir*, 25, 497–502.

- M. Roman, W.T. Winter, *Biomacromolecules* 5 (2004) 1671–1677.
- I.R.M. Tebeka, A.G.L. Silva, D.F.S. Petri, *Langmuir* 25 (2009) 1582–1587.
- A. Goyal, B. Ghosh, D. Eveleigh, *Bioresource Technol.* 36 (1991) 37–50,
- S. Ahola, X. Turon, M. Osterberg, J. Laine, O.J. Rojas, *Langmuir* 24 (2008) 11592–11599.
- M. Himmel, S. Ding, D. Johnson, W. Andey, M. Nimlos, J. Brady, T. Foust, *Science* 315 (2007) 804–807.
- Gacitua W. and Zhang J. (2005). *A preliminary study of mechanical, thermal and morphological properties for a bionanocomposite*. WMEL, Washington State University, Pullman WA, USA.
- Zhao, Ruixiang , Peter Torley , and Peter J. Halley. (2008). *Emerging biodegradable materials: starch- and protein-based*. *J Mater Sci.* 43:3058–71.
- Huang, Mingfu, Yu, Jiugao, Ma, and Xiaofei. (2006). *High mechanical performance MMT-urea and formamide-plasticized thermoplastic cornstarch biodegradable nanocomposites*. *Carbohydrate Polymers.* 63 (3), 393-99.
- Yu L, Dean K *et al.* (2006). *Prog Polym Sci.* 31(6):576
- Huang M. F. and Yu J.G. *et al.* (2004). *Polymer* 45. (20):7017
- Ma X., Chang P.R., Yu J.G. (2008). *Preparation and properties of glycerol plasticized-pea starch/zinc oxide starch bionanocomposite*. *Carbohydrate Polymers.* 75, 472-78.
- Alemdar, Ayse, Sain, and Mohini. (2008). *Biocomposites from wheat straw nanofibers: Morphology, thermal and mechanical properties*. *Composites Science and Technology.* 68 (2), 557-65.
- Petersson, L. & Oksman, K. (2006). *Biopolymer based nanocomposites: CoMParing layered silicates and microcrystalline cellulose as nanoreinforcement*. *Composite Science and Technology*, 66, 2187–2196.
- Rusli, R., Shanmuganathan, K., Rowan, S. J., Weder, C. & Eichhorn, S. J. (2011). *Stress transfer in cellulose nanowhisker composites—influence of whisker aspect ratio and surface charge*. *Biomacromolecules*, 12, 1363–1369.
- Capadona, J. R., Van Den Berg, O., Capadona, L. A., Schroeter, M., Rowan, S. J., Tyler, D. J., *et al.* (2007). *A versatile approach for the processing of polymer nanocomposites with self assembled nanofiber templates*. *Nature Nanotechnology*, 2, 765–769.
- Banerjee, R., H.Chen and J.Wu, 1996. Milk protein-based *edible film* mechanical strength changes due to ultrasound process. *J.Food Sci.* 61(4) : 824-828.
- Druchta. M. and D.J.Catherine. 1997. An up date on *edible films*. *Lifeline Spring* 15
- (2) : 1-3. <http://www.csaceliacs.org/library/ediblefilms.php>
- Ferry, J.D. 1980, Concentrated solutions, plasticized polymers, and gels. In *Viscoelastic Properties of Polymers*, 3<sup>rd</sup> ed, Wiley, New York, pp.486-598.
- Guilbert, S. 2001. A survey on protein based materials for food, agricultural and biotechnological uses. In *Active biopolymer films and coating for food and biotechnological uses*. Park, H.J., R.F. Testin, M.S. Chinnan and J.W. Park (Ed). *Materials of Pre-Congress Short Course of IUFOST*, Korea University-Seoul, Korea.

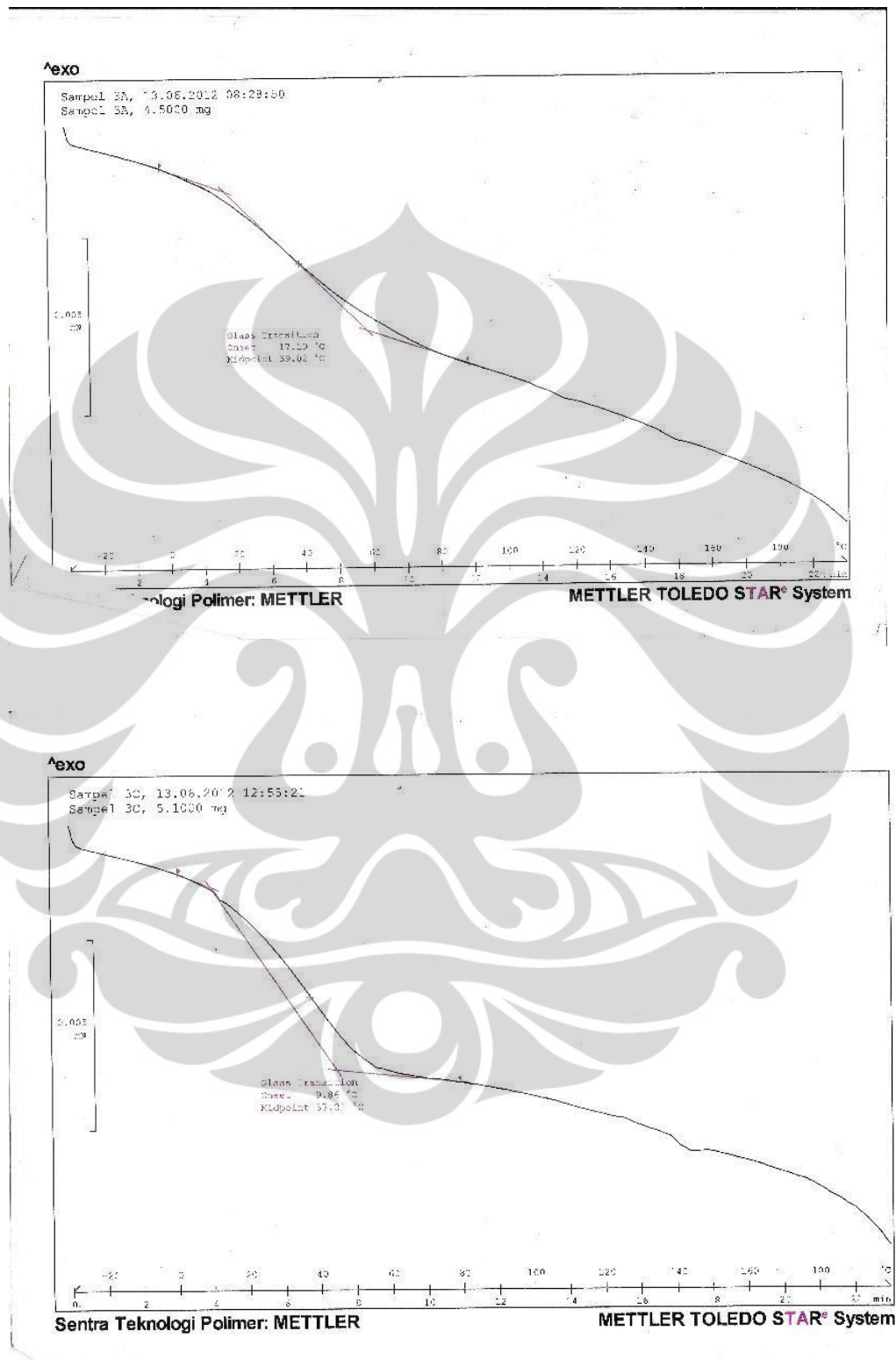


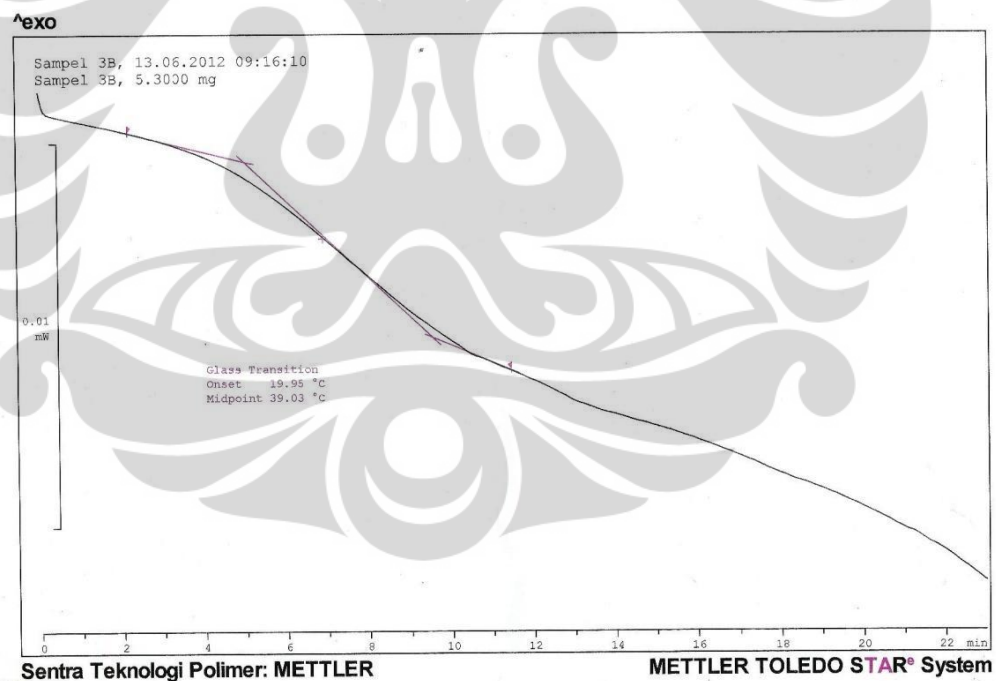
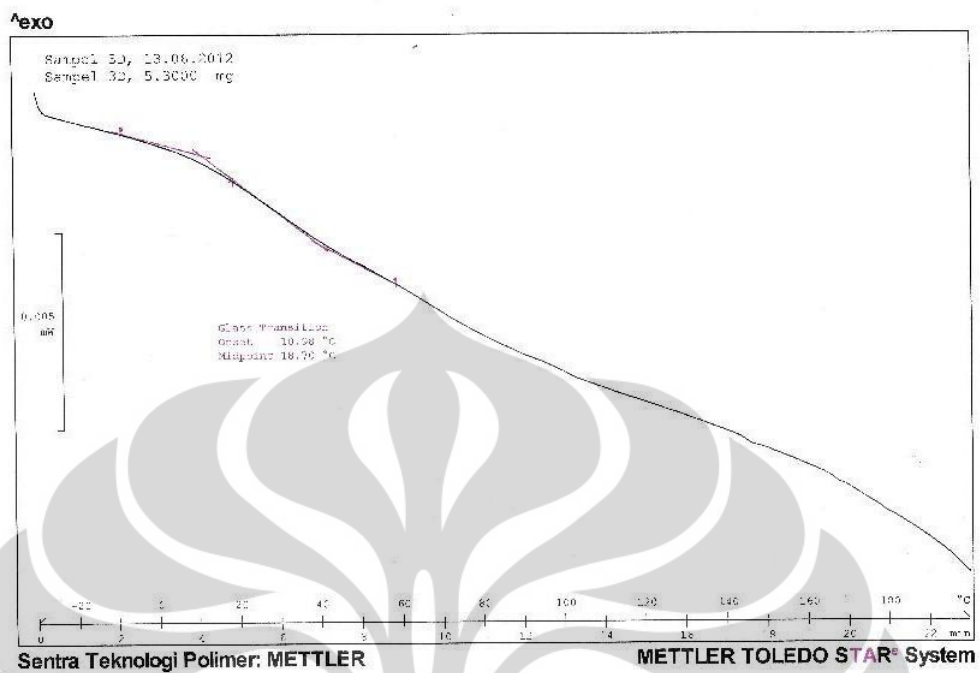
- Kinzel, B., 1992. Protein-rich *edible* coatings for foods. *Agricultural research*. May 1992 : 20-21
- Krochta, J.M. 1992. Control of mass transfer in food with *edible* coatings and film. In : Singh, R.P. and M.A. Wirakartakusumah (Eds) : *Advances in Food Engineering*. CRC Press : Boca Raton, F.L. pp. 517-538.
- Krochta, J.M., Baldwin, E.A. dan M.O. Nisperos-Carriedo. 1994. *Edible* coatings and film to improve food quality. Echnomic Publ.Co., Inc., USA.
- Lai, H.M., G.W. Padua and L.S. Wei. 1997. Properties and microstructure of zein sheets plasticized with palmitic and stearic acids. *Cereal Chem.* 74(1): 83-90,
- Paramawati, R. 2001. Kajian fisik dan mekanik terhadap karakteristik film kemasan organik dari zein jagung. Disertasi Program, Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Sears, J.K. and J.R. Darby, 1982. Mechanism of plasticizer action. In : Di Gioia, L. and S. Guilbert. 1999. Corn protein-based thermoplastic resins : Effect of some polar and amphiphilic plasticizers. *J. Agric. Food. Chem.* 47: 1254-1261.
- Ward, I.M. and D.W. Hadley. 1993. *An introduction on the mechanical properties of solid polymers*, Wiley, New York.



## LAMPIRAN

## 1. Hasil Pengukuran DSC







MESSPHYSIK Laborgeräteges.m.b.H.

## Test Certificate

### Plastics Tensile Test

Order No.....WBS1WP1.2  
 Teststandard.....ASTM D882  
 Tester.....abd

Material.....BCNC 2C  
 Tested on.....2012-06-13  
 Kondisi Uji.....22.7C , RH 61%

Testing machine.....AGS-G  
 Pretension.....0.01 N  
 Gripped length.....75 mm  
 Test speed 1.....0 % -> 50 mm/min

Directory.....WBS1WP1.2  
 Parameterset.....ASTM D 882

#### Legend

#No.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 \*M.....Tensile strength

"B.....Strain at Break  
 Fmax.....Maximum load  
 Comment.....Comment

Test No	#No	a mm	b mm	*M MPa	"B %	Fmax N	Comment
59	BCNC 2C - 1	0.260	9.940	51.62	3.719	133.4	
60	BCNC 2C - 2	0.370	9.190	44.53	4.044	151.4	
61	BCNC 2C - 3	0.370	9.190	57.09	4.463	194.1	
62	BCNC 2C - 4	0.210	10.01	64.05	4.046	134.6	
64	BCNC 2C - 5	0.280	11.17	42.46	5.118	132.8	
Mean:		0.298	9.900	51.95	4.278	149.3	
Minimum:		0.210	9.190	42.46	3.719	132.8	
Maximum:		0.370	11.17	64.05	5.118	194.1	
Std.dev.:		0.070	0.812	8.917	0.539	26.23	
W(0.95) %:		29.37	10.18	21.31	15.63	21.82	
Values:		5	5	5	5	5	

MESSPHYSIK Laborgeräteges.m.b.H.

## Test Certificate

### Plastics Tensile Test

Order No.....WBS1WP1.2  
 Teststandard.....ASTM D882  
 Tester.....abd

Material.....BCNC 1A  
 Tested on.....2012-06-13  
 Kondisi Uji.....22.7C, RH 61%

Testing machine.....AGS-G  
 Pretension.....0.01 N  
 Gripped length.....75 mm  
 Test speed 1.....0% → 50 mm/min

Directory.....WBS1WP1.2  
 Parameterset.....ASTM D 882

#### Legend

BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 \*M.....Tensile strength

\*B.....Strain at Break  
 Fmax.....Maximum load  
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	*M MPa	*B %	Fmax N	Comment
40	BCNC 1A - 1	0.250	9.900	60.12	4.897	148.8	
41	BCNC 1A - 2	0.280	9.370	55.23	4.222	144.9	
42	BCNC 1A - 3	0.260	9.270	54.41	4.471	131.1	
43	BCNC 1A - 4	0.310	9.350	42.69	4.693	123.8	
44	BCNC 1A - 5	0.210	8.610	53.98	4.168	97.60	
Mean:		0.262	9.300	53.29	4.490	129.2	
Minimum:		0.210	8.610	42.69	4.168	97.60	
Maximum:		0.310	9.900	60.12	4.897	148.8	
Std.dev.:		0.037	0.459	6.413	0.309	20.38	
W(0.95) %:		17.54	6.133	14.94	8.552	10.58	
Values:		5	5	5	5	5	

MESSPHYSIK Laborgeräteges.m.b.H.

## Test Certificate

## Plastics Tensile Test

Order No.....WBS1WP1.2  
 Teststandard.....ASTM D882  
 Tester.....abd

Material.....BCNC 1B  
 Tested on.....2012-06-13  
 Kondisi Uji.....22.7C , RH 61%

Testing machine.....AGS-G  
 Pretension.....0.01 N  
 Gripped length.....75 mm  
 Test speed 1.....0 % -> 50 mm/min

Directory.....WBS1WP1.2  
 Parameterset.....ASTM D 882

## Legend

BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 "M".....Tensile strength

"B".....Strain at Break  
 Fmax.....Maximum load  
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	"M" MPa	"B" %	Fmax N	Comment
46	BCNC 1B - 1	0.290	9.990	37.11	3.279	107.5	
47	BCNC 1B - 2	0.220	8.210	41.58	3.841	75.10	
49	BCNC 1B - 3	0.320	9.860	37.73	3.236	119.1	
50	BCNC 1B - 4	0.240	9.750	33.60	2.586	78.63	
51	BCNC 1B - 5	0.310	10.26	38.95	3.172	123.9	
Mean:		0.276	9.614	37.79	3.223	100.8	
Minimum:		0.220	8.210	33.60	2.586	75.10	
Maximum:		0.320	10.26	41.58	3.841	123.9	
Std.dev.:		0.044	0.808	2.904	0.445	22.72	
W(0.95) %:		19.75	10.43	9.539	17.16	27.97	
Values:		5	5	5	5	5	

MESSPHYSIK Laborgerätes m.b.H.

## Test Certificate

### Plastics Tensile Test

Order No.....WBS1WP1.2  
 Teststandard.....ASIM D882  
 Tester.....abd

Material.....Nano Komposit BCNC 4C  
 Tested on.....2012-06-11  
 Kondisi Uji.....23.2oC , RH 60%

Testing machine.....AGS-G  
 Pretension.....0.01 N  
 Gripped length.....100 mm  
 Test speed 1.....0 % → 50 mm/min

Directory.....WBS1WP1.2  
 Parameterset.....ASIM D 882

#### Legend

BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 T.....Tensile strength

"B.....Strain at Break  
 Fmax.....Maximum load  
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	T MPa	"B %	Fmax N	Comment
1	BCNC 1C -1	0.290	9.200	53.39	3.980	142.4	
2	BCNC 1C -1	0.290	9.200	52.74	4.243	140.7	
3	BCNC 1C -2	0.300	10.91	62.67	4.630	205.1	
4	BCNC 1C -3	0.300	9.160	45.76	5.231	125.8	
33	BCNC 1C -5	0.300	10.99	61.61	3.656	203.1	
Mean:		0.296	9.892	55.23	4.348	163.4	
Minimum:		0.290	9.160	45.76	3.656	125.8	
Maximum:		0.300	10.99	62.67	5.231	205.1	
Std.dev.:		5.48E-3	0.966	6.988	0.609	37.70	
W(0.95) %:		2.297	12.13	15.71	17.39	28.64	
Values:		5	5	5	5	5	



MESSPHYSIK Laborgeräteges.m.b.H.

## Test Certificate

### Plastics Tensile Test

Order No.....WBS1WP1.2  
 Teststandard.....ASTM D882  
 Tester.....abd

Material.....Nano Komposit BCNC 2A  
 Tested on.....2012-06-11  
 Kondisi Uji.....23.2oC, RH 60%

Testing machine.....AGS-G  
 Pretension.....0.01 N  
 Gripped length.....100 mm  
 Test speed 1.....0 % -> 50 mm/min

Directory.....WBS1WP1.2  
 Parameterset.....ASTM D 882

#### Legend

BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 \*M.....Tensile strength

\*B.....Strain at Break  
 Fmax.....Maximum load  
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	*M MPa	*B %	Fmax N	Comment
7	BCNC 2A - 1	0.270	8.920	44.72	3.850	107.7	
8	BCNC 2A - 2	0.330	5.900	52.80	5.037	102.8	
9	BCNC 2A - 3	0.320	11.63	51.66	7.122	192.3	
10	BCNC 2A - 4	0.240	10.83	45.42	3.748	118.1	
12	BCNC 2A - 5	0.230	10.33	48.26	3.747	114.7	
Mean:		0.278	9.522	48.57	4.701	127.1	
Minimum:		0.230	5.900	44.72	3.747	102.8	
Maximum:		0.330	11.63	52.80	7.122	192.3	
Std.dev.:		0.045	2.252	3.615	1.459	36.92	
W(0.95) %:		20.32	29.36	9.240	38.54	36.06	
Values:		5	5	5	5	5	

MESSPHYSIK Laborgeräteges.m.b.H.

## Test Certificate

### Plastics Tensile Test

Order No.....WBS1WP1.2  
 Teststandard.....ASTM D682  
 Tester.....abd

Material.....BCNC 1D  
 Tested on.....2012-06-13  
 Kondisi Uji.....22.7C, RH 61%

Testing machine.....AGS-G  
 Pretension.....0.01 N  
 Gripped length.....75 mm  
 Test speed 1.....0 % -> 50 mm/min

Directory.....WBS1WP1.2  
 Parameterset.....ASTM D 682

#### Legend

BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 "M.....Tensile strength

"B.....Strain at Break  
 Fmax.....Maximum load  
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	"M MPa	"B %	Fmax N	Comment
52	BCNC 1D - 1	0.410	10.43	58.99	5.212	252.3	
53	BCNC 1D - 2	0.420	10.21	52.79	5.393	226.4	
54	BCNC 1D - 3	0.290	8.600	47.49	4.193	118.4	
56	BCNC 1D - 4	0.340	8.850	52.63	3.879	158.4	
57	BCNC 1D - 5	0.300	9.820	49.71	4.263	146.4	
Mean:		0.352	9.582	52.32	4.588	180.4	
Minimum:		0.290	8.600	47.49	3.879	118.4	
Maximum:		0.420	10.43	58.99	5.393	252.3	
Std.dev.:		0.061	0.817	4.329	0.671	56.50	
W(0.95) %:		21.37	10.59	10.27	18.16	38.89	
Values:		5	5	5	5	5	

MESSPHYSIK Laborgeräteges.m.b.H.

## Test Certificate

### Plastics Tensile Test

Order No.....WBS1WP1.2  
 Teststandard.....ASTM D882  
 Tester.....abd

Material.....BCNC 3B  
 Tested on.....2012-06-13  
 Kondisi Uji.....22.7C, RH 61%

Testing machine.....AGS-G  
 Pretension.....0.01 N  
 Gripped length.....75 mm  
 Test speed 1.....0 % → 50 mm/min

Directory.....WBS1WP1.2  
 Parameterset.....ASTM D 882

#### Legend

BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 \*M.....Tensile strength

\*B.....Strain at Break  
 Fmax.....Maximum load  
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	*M MPa	*B %	Fmax N	Comment
78	BCNC 3B - 1	0.290	9.630	49.09	4.465	137.1	
79	BCNC 3B - 2	0.290	9.040	58.11	4.685	152.4	
80	BCNC 3B - 3	0.290	9.600	49.05	4.503	131.9	
81	BCNC 3B - 4	0.300	9.650	61.74	5.271	178.8	
82	BCNC 3B - 5	0.300	9.540	68.61	5.296	196.4	
Mean:		0.292	9.492	57.32	4.844	159.3	
Minimum:		0.280	9.040	49.05	4.465	131.9	
Maximum:		0.300	9.650	68.61	5.296	196.4	
Std.dev.:		8.37E-3	0.256	8.422	0.410	27.60	
W(0.95) %:		3.557	3.349	18.24	10.50	21.51	
Values:		5	5	5	5	5	

MESSPHYSIK Laborgeräteges.m.b.H.

## Test Certificate

### Plastics Tensile Test

Order No.....WBS1WP1.2  
 Teststandard.....ASTM D882  
 Tester.....abd

Material.....Nano Komposit BCNC 3D  
 Tested on.....2012-06-11  
 Kondisi Uji.....23.2oC , RH 60%

Testing machine.....AGS-G  
 Pretension.....0.01 N  
 Gripped length.....100 mm  
 Test speed 1.....0 % → 50 mm/min

Directory.....WBS1WP1.2  
 Parameterset.....ASTM D 882

#### Legend

BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 T<sub>M</sub>.....Tensile strength

T<sub>B</sub>.....Strain at Break  
 F<sub>max</sub>.....Maximum load  
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	T <sub>M</sub> MPa	T <sub>B</sub> %	F <sub>max</sub> N	Comment
20	BCNC 3D - 1	0.450	10.25	54.85	4.761	253.0	
21	BCNC 3D - 2	0.480	9.030	61.46	4.957	266.4	
24	BCNC 3D - 3	0.420	9.240	50.51	3.709	196.0	
25	BCNC 3D - 4	0.450	9.620	<b>44.84</b>	4.294	194.1	
26	BCNC 3D - 5	0.390	9.660	41.87	4.084	157.8	
Mean:		0.438	9.560	50.71	4.361	213.5	
Minimum:		0.390	9.030	41.87	3.709	157.8	
Maximum:		0.480	10.25	61.46	4.957	266.4	
Std.dev.:		0.034	0.467	7.832	0.505	45.12	
W(0.95) %:		9.695	6.067	19.17	14.39	26.24	
Values:		5	5	5	5	5	

MESSPHYSIK Laborgeräteges.m.b.H.

## Test Certificate

## Plastics Tensile Test

Order No.....WBS1WP1.2  
 Teststandard.....ASTM D882  
 Tester.....abd

Material.....BCNC 1B  
 Tested on.....2012-06-13  
 Kondisi Uji.....22.7C , RH 61%

Testing machine.....AGS-G  
 Pretension.....0.01 N  
 Gripped length.....75 mm  
 Test speed 1.....0 % -> 50 mm/min

Directory.....WBS1WP1.2  
 Parameterset.....ASTM D 882

## Legend

BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 "M".....Tensile strength

"B".....Strain at Break  
 Fmax.....Maximum load  
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	"M" MPa	"B" %	Fmax N	Comment
46	BCNC 1B - 1	0.290	9.990	37.11	3.279	107.5	
47	BCNC 1B - 2	0.220	8.210	41.58	3.841	75.10	
49	BCNC 1B - 3	0.320	9.860	37.73	3.236	119.1	
50	BCNC 1B - 4	0.240	9.750	33.60	2.586	78.63	
51	BCNC 1B - 5	0.310	10.26	38.95	3.172	123.9	
Mean:		0.276	9.614	37.79	3.223	100.8	
Minimum:		0.220	8.210	33.60	2.586	75.10	
Maximum:		0.320	10.26	41.58	3.841	123.9	
Std.dev.:		0.044	0.808	2.904	0.445	22.72	
W(0.95) %:		19.75	10.43	9.539	17.16	27.97	
Values:		5	5	5	5	5	

MESSPHYSIK Laborgeräteges.m.b.H.

## Test Certificate

### Plastics Tensile Test

Order No.....WBS1WP1.2  
 Teststandard.....ASTM D882  
 Tester.....abd

Material.....BCNC 1A  
 Tested on.....2012-06-13  
 Kondisi Uji.....22.7C, RH 61%

Testing machine.....AGS-G  
 Pretension.....0.01 N  
 Gripped length.....75 mm  
 Test speed 1.....0% → 50 mm/min

Directory.....WBS1WP1.2  
 Parameterset.....ASTM D 882

#### Legend

BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 "M".....Tensile strength

"B".....Strain at Break  
 Fmax.....Maximum load  
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	"M" MPa	"B" %	Fmax N	Comment
40	BCNC 1A - 1	0.250	9.900	60.12	4.897	148.8	
41	BCNC 1A - 2	0.280	9.370	55.23	4.222	144.9	
42	BCNC 1A - 3	0.260	9.270	54.41	4.471	131.1	
43	BCNC 1A - 4	0.310	9.350	42.69	4.693	123.6	
44	BCNC 1A - 5	0.210	8.610	53.98	4.168	97.60	
Mean:		0.262	9.300	53.29	4.490	129.2	
Minimum:		0.210	8.610	42.69	4.168	97.60	
Maximum:		0.310	9.900	60.12	4.897	148.8	
Std.dev.:		0.037	0.459	6.413	0.309	20.38	
W(0.95) %:		17.54	6.133	14.94	8.552	19.58	
Values:		5	5	5	5	5	

MESSPHYSIK Laborgerätes.m.b.H.

## Test Certificate

### Plastics Tensile Test

Order No.....WBS1WP1.2  
 Teststandard.....ASTM D882  
 Tester.....abd

Material.....BCNC 4D  
 Tested on.....2012-06-13  
 Kondisi Uji.....22.7C , RH 61%

Testing machine.....AGS-G  
 Pretension.....0.01 N  
 Gripped length.....75 mm  
 Test speed 1.....0 % → 50 mm/min

Directory.....WBS1WP1.2  
 Parameterset.....ASTM D 882

#### Legend

BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 \*M.....Tensile strength

\*B.....Strain at Break  
 Fmax.....Maximum load  
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	*M MPa	*B %	Fmax N	Comment
85	BCNC 4D - 1	0.400	9.810	32.34	4.526	126.9	
86	BCNC 4D - 2	0.320	9.840	31.74	3.877	99.95	
87	BCNC 4D - 3	0.190	9.840	42.59	4.748	79.63	
88	BCNC 4D - 4	0.300	9.710	26.53	3.124	77.28	
90	BCNC 4D - 5	0.180	9.820	30.83	3.316	54.50	
Mean:		0.278	9.804	32.81	3.918	87.65	
Minimum:		0.180	9.710	26.53	3.124	54.50	
Maximum:		0.400	9.840	42.59	4.748	126.9	
Std.dev.:		0.093	0.054	5.924	0.716	27.22	
W(0.95) %:		41.46	0.625	22.42	22.70	38.55	
Values:		5	5	5	5	5	

### 3. Hasil Pengujian PSA

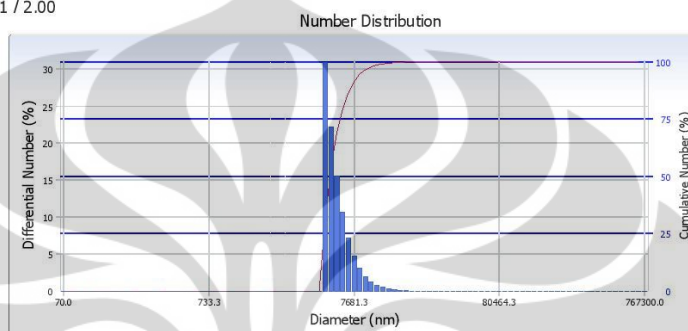
#### Running 1



**Delsa™ Nano**  
Common

Number Distribution		S/N :	
User : Common	Group : selulosa	Repetition : 3/3	
Date : 6/26/2012	File Name : selulosa_20120626_135215		
Time : 13:52:15	Sample Information : selulosa		
SOP Name : Nanotech			Security : No Security

Version 2.31 / 2.00



#### Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	5,978.1	1,653.4
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	5,978.1	1,653.4

#### Cumulants Results

Diameter (d)	: 12053.4	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)	: 3.126	
Diffusion Const. (D)	: 4.081e-010	(cm <sup>2</sup> /sec)
<b>Measurement Condition</b>		
Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: WATER	
Refractive Index	: 1.3328	
Viscosity	: 0.8878	(cP)
Scattering Intensity	: 2609	(cps)

Residual : 1.742e-002 (O.K)

#### Number Distribution Table

d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
70.0	0.0	0.0	733.3	0.0	0.0	7681.3	4.8	91.4	80464.3	0.0	100.0
76.9	0.0	0.0	805.5	0.0	0.0	8438.0	3.1	94.5	88391.4	0.0	100.0
84.5	0.0	0.0	884.9	0.0	0.0	9269.3	2.0	96.6	97099.5	0.0	100.0
92.8	0.0	0.0	972.0	0.0	0.0	10182.5	1.3	97.9	106665.4	0.0	100.0
101.9	0.0	0.0	1067.8	0.0	0.0	11185.7	0.8	98.7	117173.8	0.0	100.0
112.0	0.0	0.0	1173.0	0.0	0.0	12287.6	0.5	99.2	128717.4	0.0	100.0
123.0	0.0	0.0	1288.6	0.0	0.0	13498.2	0.3	99.5	141398.2	0.0	100.0
135.1	0.0	0.0	1415.5	0.0	0.0	14828.0	0.2	99.7	155328.3	0.0	100.0
148.4	0.0	0.0	1555.0	0.0	0.0	16288.8	0.1	99.8	170630.8	0.0	100.0
163.1	0.0	0.0	1708.2	0.0	0.0	17893.5	0.1	99.9	187440.8	0.0	100.0
179.1	0.0	0.0	1876.4	0.0	0.0	19656.3	0.0	99.9	205906.9	0.0	100.0
196.8	0.0	0.0	2061.3	0.0	0.0	21592.8	0.0	100.0	226192.2	0.0	100.0
216.2	0.0	0.0	2264.4	0.0	0.0	23720.1	0.0	100.0	248475.9	0.0	100.0
237.5	0.0	0.0	2487.4	0.0	0.0	26056.9	0.0	100.0	272955.0	0.0	100.0
260.9	0.0	0.0	2732.5	0.0	0.0	28623.9	0.0	100.0	299845.7	0.0	100.0
286.5	0.0	0.0	3001.7	0.0	0.0	31443.9	0.0	100.0	329385.5	0.0	100.0
314.8	0.0	0.0	3297.4	0.0	0.0	34541.6	0.0	100.0	361835.6	0.0	100.0
345.8	0.0	0.0	3622.3	0.0	0.0	37944.6	0.0	100.0	397482.5	0.0	100.0
379.9	0.0	0.0	3979.1	0.0	0.0	41682.7	0.0	100.0	436641.3	0.0	100.0
417.3	0.0	0.0	4371.1	0.0	0.0	45789.2	0.0	100.0	479657.8	0.0	100.0
458.4	0.0	0.0	4801.8	30.9	30.9	50300.2	0.0	100.0	526912.1	0.0	100.0
503.5	0.0	0.0	5274.8	22.2	53.2	55255.6	0.0	100.0	578821.9	0.0	100.0
553.2	0.0	0.0	5794.5	15.6	68.8	60699.2	0.0	100.0	635845.6	0.0	100.0
607.6	0.0	0.0	6365.3	10.7	79.4	66679.1	0.0	100.0	698487.2	0.0	100.0
667.5	0.0	0.0	6992.4	7.2	86.6	73248.2	0.0	100.0	767300.0	0.0	100.0
D (10%) : 4506 (nm)		D (50%) : 5204.7 (nm)		D (90%) : 7469.4 (nm)							



Running 2



**Delsa™ Nano**  
Common

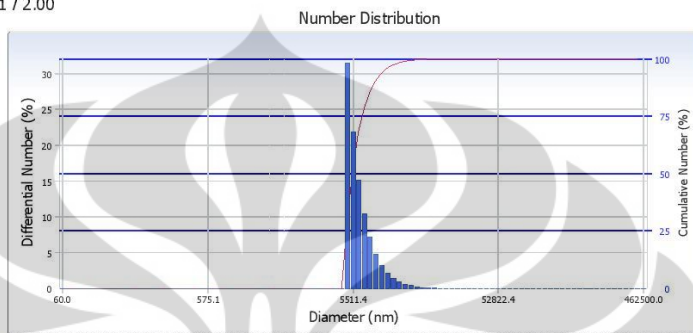
Number Distribution S/N :

---

User : Common Group : selulosa Repetition : 2/3  
 Date : 6/26/2012 File Name : selulosa\_20120626\_135215  
 Time : 13:52:15 Sample Information : selulosa  
 SOP Name : Nanotech Security : No Security

---

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	398.8	89.0
2	6,249.1	1,739.9
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	6,246.4	1,744.1
Residual :	1.858e-002	(0.K)

Cumulants Results

Diameter (d) : 8329.6 (nm)  
 Polydispersity Index (P.I.) : 2.379  
 Diffusion Const. (D) : 5.921e-010 (cm<sup>2</sup>/sec)

Measurement Condition  
 Temperature : 25.1 (°C)  
 Diluent Name : WATER  
 Refractive Index : 1.3328  
 Viscosity : 0.8858 (cP)  
 Scattering Intensity : 9656 (cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
60.0	0.0	0.0	575.1	0.0	0.0	5511.4	21.8	53.2	52822.4	0.0	100.0
65.7	0.0	0.0	629.5	0.0	0.0	6032.9	15.1	68.3	57820.3	0.0	100.0
71.9	0.0	0.0	689.0	0.0	0.0	6603.7	10.4	78.8	63291.1	0.0	100.0
78.7	0.0	0.0	754.2	0.0	0.0	7228.5	7.1	85.9	69279.5	0.0	100.0
86.1	0.0	0.0	825.6	0.0	0.0	7912.5	4.8	90.7	75834.6	0.0	100.0
94.3	0.0	0.0	903.7	0.0	0.0	8661.1	3.2	93.9	83009.8	0.0	100.0
103.2	0.0	0.0	989.2	0.0	0.0	9480.6	2.1	96.1	90864.0	0.0	100.0
113.0	0.0	0.0	1082.8	0.0	0.0	10377.6	1.4	97.5	99461.2	0.0	100.0
123.7	0.0	0.0	1185.2	0.0	0.0	11359.5	0.9	98.4	108872.0	0.0	100.0
135.4	0.0	0.0	1297.4	0.0	0.0	12434.3	0.6	99.0	119173.1	0.0	100.0
148.2	0.0	0.0	1420.1	0.0	0.0	13610.8	0.4	99.4	130448.9	0.0	100.0
162.2	0.0	0.0	1554.5	0.0	0.0	14898.7	0.2	99.6	142791.6	0.0	100.0
177.5	0.0	0.0	1701.6	0.0	0.0	16308.3	0.2	99.8	156302.2	0.0	100.0
194.3	0.0	0.0	1862.6	0.0	0.0	17851.4	0.1	99.9	171091.0	0.0	100.0
212.7	0.0	0.0	2038.8	0.0	0.0	19540.4	0.1	99.9	187279.2	0.0	100.0
232.9	0.0	0.0	2231.7	0.0	0.0	21389.3	0.0	99.9	204999.0	0.0	100.0
254.9	0.0	0.0	2442.9	0.0	0.0	23413.1	0.0	100.0	224395.4	0.0	100.0
279.0	0.0	0.0	2674.0	0.0	0.0	25628.3	0.0	100.0	245627.0	0.0	100.0
305.4	0.0	0.0	2927.0	0.0	0.0	28053.2	0.0	100.0	268867.5	0.0	100.0
334.3	0.0	0.0	3204.0	0.0	0.0	30707.5	0.0	100.0	294307.0	0.0	100.0
365.9	0.0	0.0	3507.1	0.0	0.0	33613.0	0.0	100.0	322153.5	0.0	100.0
400.6	0.0	0.0	3839.0	0.0	0.0	36793.4	0.0	100.0	352634.7	0.0	100.0
438.5	0.0	0.0	4202.2	0.0	0.0	40274.6	0.0	100.0	386000.0	0.0	100.0
479.9	0.0	0.0	4599.8	0.0	0.0	44085.3	0.0	100.0	422522.2	0.0	100.0
525.3	0.0	0.0	5035.0	31.4	31.4	48256.5	0.0	100.0	462500.0	0.0	100.0
D (10%) : 4733.6 (nm)			D (50%) : 5437.9 (nm)			D (90%) : 7808.7 (nm)					