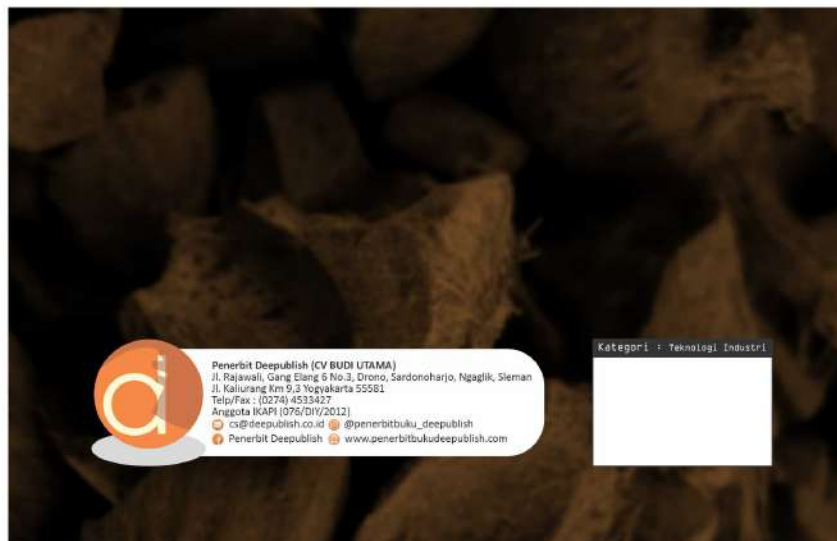


Mata kuliah Teknologi Hilir membekali mahasiswa dengan pengetahuan mengenai produk hilir sawit yang berupa material terbarukan berbahan baku limbah sawit, pengenalan proses pembuatannya, serta analisis dan uji produknya. Mata kuliah ini berguna untuk membekali mahasiswa dalam memahami sifat-sifat material, baik sifat kimia, fisis, maupun mekanis material dan aplikasinya di industri hilir perkebunan, khususnya pada produk bioplastic dari sawit. Oleh karena itu, dibutuhkan pengetahuan dasar di bidang fisika dan kimia karena merupakan pengembangan dari kedua bidang keilmuan tersebut. Buku ini disusun untuk mendampingi mahasiswa dalam belajar di dalam maupun di luar kelas sehingga memudahkan dalam memahami ilmu teknologi material, terutama material polimer yang nantinya berguna dalam *design* dan penciptaan produk-produk baru dari hasil samping dan limbah perkebunan sawit sehingga nantinya dapat memajukan industri hilir di Indonesia dengan keanekaragaman produknya.

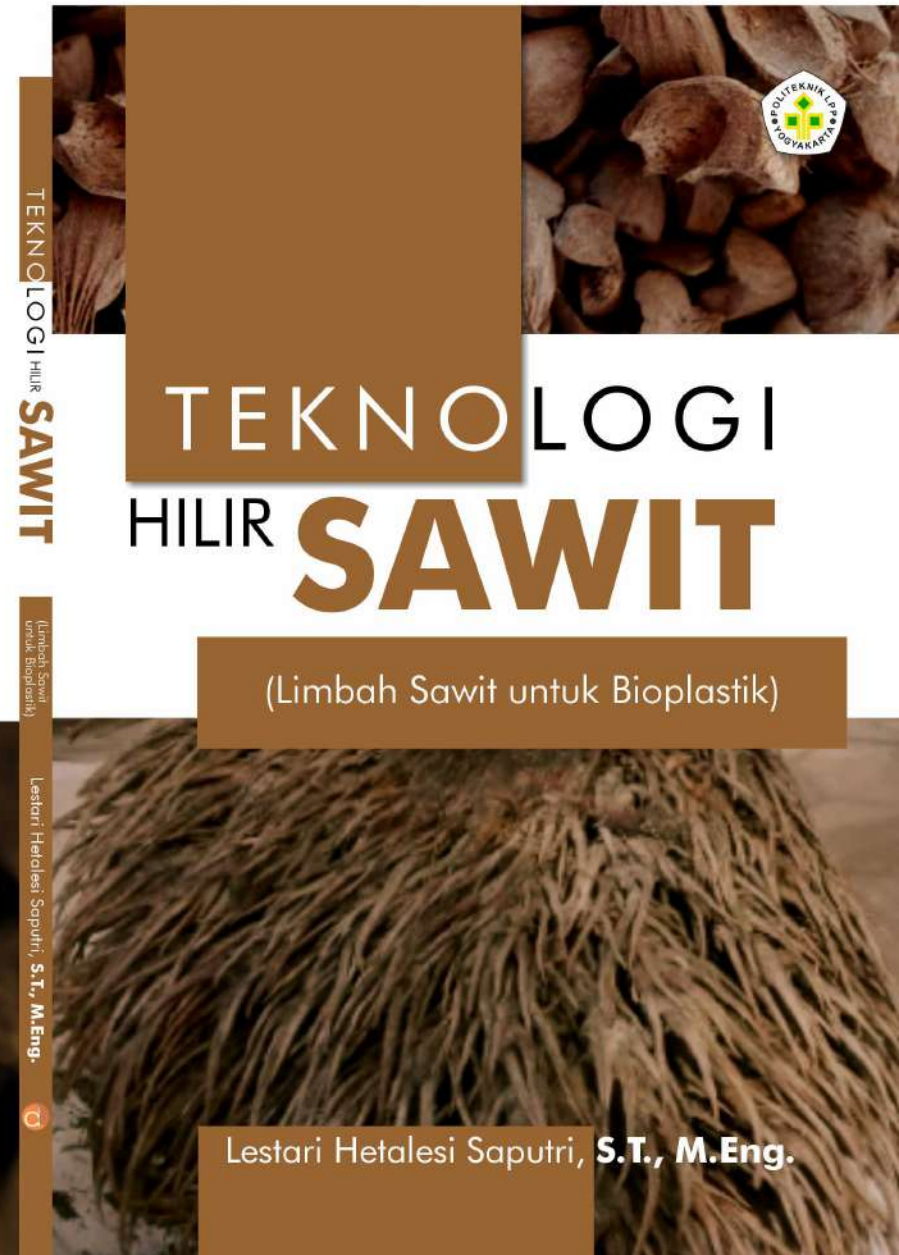
Buku referensi ini terdiri atas beberapa bab, antara lain:

- BAB I PENDAHULUAN
- BAB II LIMBAH SAWIT DAN POTENSINYA UNTUK PRODUK MATERIAL MAJU
- BAB III PERKEMBANGAN TEKNOLOGI DAN PRODUK MATERIAL DARI SAWIT
- BAB IV SELULOSA DAN NANOSELULOSA
- BAB V SELULOSA ASETAT
- BAB VI BIOPLASTIK



Penerbit Deepublish (CV BUDI UTAMA)  
 Jl. Rajawali, Gang Elang 6 No.3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman  
 Jl. Kalurahan Km 9,3 Yogyakarta 55581  
 Telp./Fax : (0274) 4533427  
 Anggota IKAPI | 076/DIV/2012  
 cs@deepublish.co.id @penerbitbuku\_deepublish  
 Penerbit Deepublish www.penerbitbukudeepublish.com

Kategori : Teknologi Industri



TEKNOLOGI HILIR SAWIT

(Limbah Sawit untuk Bioplastik)

Lestari Hetalesi Saputri, S.T., M.Eng.

# TEKNOLOGI HILIR SAWIT

(Limbah Sawit untuk Bioplastik)

Lestari Hetalesi Saputri, S.T., M.Eng.



Lestari Hetalesi Saputri, S.T., M.Eng.

TEKNOLOGI HILIR SAWIT  
 (Limbah Sawit Untuk Bioplastik)

# **TEKNOLOGI HILIR SAWIT**

(Limbah Sawit untuk Bioplastik)

deepublish / publisher

## UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

### **Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4**

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

### **Pembatasan Pelindungan Pasal 26**

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

### **Sanksi Pelanggaran Pasal 113**

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Lestari Hetalesi Saputri, S.T., M.Eng.

**TEKNOLOGI HILIR SAWIT**  
(Limbah Sawit untuk Bioplastik)



**TEKNOLOGI HILIR SAWIT  
(LIMBAH SAWIT UNTUK BIOPLASTIK)**

**Lestari Hetalesi Saputri**

Desain Cover :  
**Ali Hasan Zein**

Sumber :  
Penulis

Tata Letak :  
**Amira Dzatin Nabila**

Proofreader :  
**Avinda Yuda Wati**

Ukuran :  
**xvi, 116 hlm, Uk: 15.5x23 cm**

ISBN :  
**No ISBN**

Cetakan Pertama :  
**Bulan 2020**

Hak Cipta 2020, Pada Penulis

---

Isi diluar tanggung jawab percetakan

---

**Copyright © 2020 by Deepublish Publisher**  
All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang  
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau  
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini  
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

**PENERBIT DEEPUBLISH**  
**(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)**  
Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman  
Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581  
Telp/Faks: (0274) 4533427  
Website: [www.deepublish.co.id](http://www.deepublish.co.id)  
[www.penerbitdeepublish.com](http://www.penerbitdeepublish.com)  
E-mail: [cs@deepublish.co.id](mailto:cs@deepublish.co.id)

## **KATA PENGANTAR**

Segala puji bagi Allah Swt. yang telah memberikan kesempatan kepada penulis atas terselesainya penyusunan buku ajar Teknologi Hilir ini. Buku ini ditulis terutama untuk membantu dalam pembelajaran dan pemahaman mahasiswa tentang proses-proses hilir sawit dalam menghasilkan produk-produk yang dapat diaplikasikan di masyarakat.

Kami banyak berhutang budi kepada guru-guru kami dan teman-teman dalam bidang keahlian yang sama, yang secara langsung ataupun tidak langsung membantu dalam penyusunan buku ini. Terima kasih terkhusus saya tujukan kepada Prof. Ir. Rochmadi, S.U., Ph.D. dan Dr. Hasnah Muin yang telah banyak menyumbangkan ilmu teknologi material polimernya kepada penulis, sejak penulis di bangku kuliah hingga saat ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (Kemristekdikti) dan kepada Politeknik LPP karena berkat bantuan dana dan fasilitas-fasilitas penelitiannya, sehingga peneliti dapat menyelesaikan penelitian-penelitian terkait hilir sawit demi tercapainya penyusunan buku ini. Tak lupa pula penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada keluarga, asisten-asisten peneliti dan para mahasiswa (anak didik) saya yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Semua pengetahuan yang diberikan di dalam buku ini, diharapkan dapat membuka wawasan dan ide-ide kreativitas mahasiswa dalam menghasilkan produk-produk inovasi dari sawit terutama dari limbah dan hasil samping pabrik sawit untuk Proyek Akhir-nya. Proyek Akhir adalah mata kuliah terakhir yang harus dilewati oleh seluruh mahasiswa di Politeknik LPP sebelum dinyatakan layak lulus dari keilmuannya. Terkadang mahasiswa bingung ketika akan memulai Proyek Akhir dengan pernyataan belum dapat judul ataupun tidak tahu apa yang akan diteliti. Padahal banyak sekali

produk-produk yang dapat diciptakan dari sawit. Oleh sebab itu, buku ini memberikan beberapa gambaran produk yang bisa dikembangkan oleh mahasiswa. Tentu saja produk-produk tersebut hanya beberapa dari sekian banyak produk hilir sawit (seperti yang disebutkan di bab II dan III), karena mahasiswa tentunya boleh saja menghasilkan produk lain yang mirip atau bahkan berbeda, asalkan itu berguna bagi masyarakat luas. Meskipun demikian, di buku ini akan lebih dikhususkan mengenai pengembangan limbah sawit untuk bioplastik, dengan terlebih dahulu dipaparkan terkait pembuatan selulosa dan selulosa asetat pada bab IV dan bab V. Selulosa adalah senyawa yang menjadi cikal bakal untuk bahan baku beberapa produk hilir, mulai dari serat, komposit, coating, membran, bioplastik dan sejumlah produk-produk hilir lainnya. Oleh karena itu, pemahaman terkait proses pengambilan dan pemurniannya dari bahan sawit menjadi hal penting. Informasi dari bab IV akan sangat bisa menjadi inspirasi dalam menciptakan produk-produk inovatif dengan memanfaatkan berbagai teknologi. Kemudian pada bab V akan difokuskan pada pembahasan mengenai selulosa asetat (mulai dari pengertian, cara pembuatan, aplikasi dan bahkan cara pengujiannya). Selulosa asetat merupakan bahan intermediate dari selulosa yang siap untuk dijadikan membran, serat dan bioplastik sesuai dengan kadar asetilnya. Kunci dari keberhasilan pembuatan bioplastik jenis selulosa asetat dijelaskan pada bab V. Terakhir adalah bab VI tentang bioplastik. Pada bab ini akan dijelaskan secara detail cara pembuatan bioplastik selulosa asetat yang bisa dibuat melalui 2 mekanisme. Harapan besar dari penulis, bahwa buku ini bisa membantu para mahasiswa Politeknik LPP khususnya, dan bagi mahasiswa-mahasiswa dari Perguruan Tinggi lainnya yang memiliki minat yang sama dalam bidang teknologi Material, khususnya Material Polimer dari sawit.

Buku ini masih jauh dari kesempurnaan. Berbagai masukan dan saran masih sangat diharapkan untuk perbaikan buku ini nantinya. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi ilmu pengetahuan dan penggunanya.

Lestari Hetalesi Saputri

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
TINJAUAN MATAKULIAH .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	3
C. Rumusan Masalah .....	4
<b>BAB II LIMBAH SAWIT DAN POTENSINYA UNTUK PRODUK MATERIAL MAJU .....</b>	<b>5</b>
A. Kompetensi Dasar dan Indikator .....	5
B. Deskripsi Singkat.....	5
C. Materi .....	6
D. Daftar Bacaan Tambahan .....	21
E. Pertanyaan Kunci .....	22
F. Soal.....	22
G. Tugas.....	23
<b>BAB III PERKEMBANGAN TEKNOLOGI DAN PRODUK MATERIAL DARI SAWIT.....</b>	<b>24</b>
A. Kompetensi Dasar dan Indikator .....	24
B. Deskripsi Singkat.....	24
C. Materi .....	25
D. Daftar Bacaan Tambahan .....	44
E. Pertanyaan Kunci .....	49
F. Soal.....	49



G. Tugas.....	49
<b>BAB IV SELULOSA DAN NANOSELULOSA.....</b>	<b>50</b>
A. Kompetensi Dasar dan Indikator .....	50
B. Deskripsi Singkat.....	50
C. Materi.....	51
D. Daftar Bacaan Tambahan .....	64
E. Pertanyaan Kunci .....	66
F. Soal.....	66
G. Tugas.....	66
<b>BAB V SELULOSA ASETAT .....</b>	<b>67</b>
A. Kompetensi Dasar dan Indikator .....	67
B. Deskripsi Singkat.....	67
C. Materi.....	68
D. Daftar Bacaan Tambahan .....	81
E. Pertanyaan Kunci .....	81
F. Soal.....	81
G. Tugas.....	82
<b>BAB VI BIOPLASTIK .....</b>	<b>83</b>
A. Kompetensi Dasar dan Indikator .....	83
B. Deskripsi Singkat.....	83
C. Materi.....	84
D. Daftar Bacaan Tambahan .....	99
E. Pertanyaan Kunci .....	100
F. Soal.....	101
G. Tugas.....	101
<b>BAB VII KESIMPULAN.....</b>	<b>102</b>
LAMPIRAN .....	103
INDEKS .....	109
PROFIL PENULIS .....	113
PROFIL KAMPUS.....	115

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Komposisi Logam Berat dan Anion pada TKKS .....	9
Tabel 2.	Karakteristik Cangkang Kelapa Sawit.....	10
Tabel 3.	Komposisi Abu Cangkang Kelapa Sawit.....	10
Tabel 4.	Kandungan Senyawa Kimia Pelepah Kelapa Sawit .....	11
Tabel 5.	Karakteristik Kandungan Pelepah Sawit Varietas Tenera.....	12
Tabel 6.	Karakteristik Kandungan Batang Kelapa Sawit .....	13
Tabel 7.	Karakteristik POME.....	14
Tabel 8.	SNI 06-3730-1995 Tahun 1995.....	29
Tabel 9.	Panduan Analisa Kandungan Lignin, Hemiselulosa dan Selulosa Menggunakan FTIR.....	59
Tabel 10.	Roadmap Penelitian.....	63
Tabel 11.	Aplikasi Selulosa Asetat pada Berbagai Kadar Asetil dan DS .....	71
Tabel 12.	Kadar Asetil Nanoselulosa Asetat (NSA) .....	75
Tabel 13.	Nilai Indeks Nanoselulosa Pada Berbagai Variasi Waktu.....	78
Tabel 14.	Contoh Hasil Uji Kekuatan Tarik Bioplastik BKS.....	94

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Serat Hasil Pengepresan di PKS.....	7
Gambar 2.	Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).....	8
Gambar 3.	Cangkang Kelapa Sawit.....	9
Gambar 4.	Pelepah Sawit.....	11
Gambar 5.	Limbah Batang Kelapa Sawit Tua.....	13
Gambar 6.	POME ( <i>Palm Oil Mill Effluent</i> ).....	13
Gambar 7.	Struktur kimia dari a) selulosa (b) hemiselulosa dan (c) lignin.....	19
Gambar 8.	Briket dari Cangkang Sawit.....	26
Gambar 9.	Karbon Aktif dari Arang Cangkang Sawit.....	27
Gambar 10.	Komposit Serat Sawit Jenis Poliester.....	31
Gambar 11.	Contoh <i>Fiberglass</i> .....	32
Gambar 12.	<i>Particleboard</i> dari Batang Sawit.....	33
Gambar 13.	Contoh Aplikasi Komposit Kayu Plastik.....	34
Gambar 14.	Produksi Kertas dan Pulp TKKS.....	35
Gambar 15.	Bioplastik Kemasan Berbasis Sawit.....	35
Gambar 16.	Furniture dari TKKS.....	36
Gambar 17.	Sampel Komposit Wirman et al (2016) untuk Aplikasi Absorber.....	37
Gambar 18.	Contoh Blok Tanah dari Campuran Serat.....	38
Gambar 19.	Lembaran Bioplastik dari Selulosa TKKS.....	38

Gambar 20.	Hasil Tenunan Serat TKKS.....	39
Gambar 21.	Membran Selulosa Asetat Hasil Penelitian.....	40
Gambar 22.	Contoh Membran Polimer Elektrolit.....	41
Gambar 23.	Kampas Rem tromol Berbahan Baku Cangkang, Serat Buah Sawit dengan Perekat Poliuretan.....	42
Gambar 24.	Hasil Analisa FTIR Serat BKS dan Sampel BKS Setelah <i>Bleaching</i> .....	58
Gambar 25.	X-ray Difraktogram Serat Selulosa dari BKS Sebelum dan Sesudah Mengalami Perlakuan Kimia dan Mekanik.....	60
Gambar 26.	Derajat Kristalisasi Serat Sebelum ( <i>Raw Material</i> ) dan Sesudah Mengalami Perlakuan Kimia dan Mekanis.....	60
Gambar 27.	Salah Satu Contoh Target Produk Berbahan Nanoselulosa.....	62
Gambar 28.	Struktur Kimia Selulosa Asetat .....	68
Gambar 29.	Selulosa Asetat dari (a) Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), (b) Batang Kelapa Sawit (BKS).....	69
Gambar 30.	Rangkaian Alat Sintesis Selulosa Asetat.....	72
Gambar 31.	Reaksi Asetilasi.....	74
Gambar 32.	Grafik Analisa FTIR Nnaoselulosa Asetat.....	79
Gambar 33.	Film Bioplastik dari Batang Kelapa Sawit (BKS).....	90
Gambar 34.	Film Bioplastik dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).....	90
Gambar 35.	Contoh Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Plastik.....	93
Gambar 36.	Uji Ketahanan Air Bioplastik NSA BKS.....	99

## TINJAUAN MATAKULIAH

### A. Deskripsi Singkat Matakuliah

Mata kuliah Teknologi Hilir membekali mahasiswa dengan pengetahuan mengenai produk hilir sawit yang berupa material terbarukan berbahan baku limbah sawit, pengenalan proses pembuatannya dan analisis dan uji produknya. Adapun ruang lingkup kajiannya antara lain tentang limbah sawit dan potensinya untuk produk material terbarukan, perkembangan teknologi dan produk material dari limbah sawit, selulosa dan nanoselulosa, proses pembuatan pulp dan paper, bioplastik, membran dan serat pakaian, *coating* kayu dan logam, komposit dan briket.

### B. Kegunaan/Manfaat Mata Kuliah

Mata kuliah ini berguna untuk membekali mahasiswa dalam memahami sifat-sifat material, baik sifat kimia, fisis maupun mekanis material, dan aplikasinya di Industri hilir perkebunan terutama untuk bidang industri material terbarukan. Oleh karena itu dibutuhkan pengetahuan dasar di bidang fisika dan kimia, karena merupakan pengembangan dari kedua bidang keilmuan tersebut. Melalui mata kuliah ini, diharapkan akan dapat mewujudkan misi dari Prodi Teknik Kimia yang salah satunya adalah menyiapkan ahli madya Teknik Kimia siap kerja yang mampu memenuhi tantangan di industri kimia terutama sektor agroindustri. Keterampilan khusus yang diharapkan setelah menempuh mata kuliah ini ialah mahasiswa mampu mengidentifikasi peluang produk-produk terbaru dari limbah sawit dan menyelesaikan masalah yang timbul dalam proses pembuatan material hilir sawit, terutama yang berkaitan dengan material polimer, menggunakan analisis data yang relevan dengan hasil dan uji penemuan-penemuan terbaru, serta memilih metode dengan

memperhatikan faktor-faktor ekonomi, kesehatan, keselamatan publik dan lingkungan, sehingga dapat mendukung tercapainya tujuan Program Studi Teknik Kimia yang salah satunya ialah menghasilkan lulusan yang siap kerja, menguasai bidang kerja yang bersifat rutin dan non rutin secara mandiri dan mampu melaksanakan pengawasan dan bimbingan serta mempunyai keterampilan manajerial dan keterampilan teknis terutama di bidang perkebunan yaitu dalam bidang proses industri hilir perkebunan.

### **C. Standar Kompetensi Matakuliah**

Mampu membuat dan menciptakan produk material dari hasil samping dan limbah perkebunan kelapa sawit sesuai dengan yang diinginkan untuk aplikasi di industri sawit maupun untuk kepentingan masyarakat secara luas.

### **D. Susunan Urutan Bahan Ajar**

Urutan bab pada bahan ajar ini antara lain:

#### **BAB II. Limbah Sawit dan Potensinya untuk Produk Material Maju**

Pada Bab ini akan dibahas tentang macam-macam limbah sawit, kandungan bahan kimia limbah sawit, dan potensinya untuk dijadikan sebagai bahan baku produk material terbarukan.

#### **BAB III. Perkembangan Teknologi dan Produk Material dari Limbah Sawit**

Pada bab ini akan dibahas jenis-jenis produk material berbahan baku limbah sawit, perkembangan penelitian dan pemanfaatan teknologi dalam proses pembuatannya.

#### **BAB IV. Selulosa dan Nanoselulosa**

Pada bab ini akan dibahas mengenai struktur selulosa, sifat kimia, pengaruh ukuran partikel dengan ikatan kimia, perubahan selulosa menjadi nanoselulosa

## **BAB V. Selulosa Asetat**

Pada bab ini akan dibahas mengenai senyawa selulosa asetat, potensinya sebagai bahan baku membran, bioplastik dan serat pakaian, sifat kimia dan fisis selulosa asetat, serta proses pembuatan selulosa asetat dan selulosa asetat berbahan limbah sawit.

## **BAB VI. Bioplastik**

Pada bab ini akan dibahas mengenai bahan baku bioplastik, proses pembuatan, karakterisasi produk bioplastik, serta kelebihan dan kekurangan bioplastik dari selulosa asetat.

### **E. Petunjuk bagi Mahasiswa**

Buku ini disusun untuk mendampingi mahasiswa dalam belajar di dalam maupun di luar kelas, sehingga memudahkan dalam memahami ilmu teknologi material, terutama material polimer yang nantinya berguna dalam *design* dan penciptaan produk-produk baru dari hasil samping dan limbah perkebunan sawit, sehingga nantinya dapat memajukan industri hilir di Indonesia dengan keanekaragaman produknya. Di awal bab akan dijelaskan kandungan-kandungan dalam limbah sawit yang berpotensi untuk menghasilkan berbagai produk material. Setelah memahami kandungan kimia tersebut, diharapkan mahasiswa akan terbuka wawasannya mengenai gambaran potensi limbah sawit untuk diolah menjadi produk material yang mempunyai nilai jual dan diharapkan pada akhirnya akan muncul ide-ide terkait pembuatan produk-produk material yang dapat diaplikasikan untuk kebutuhan masyarakat. Pada BAB II, mahasiswa akan diberikan gambaran mengenai perkembangan penelitian material maju yang berkembang hingga saat ini, terkhusus material yang berasal dari limbah sawit. Setelah membaca BAB II, diharapkan mahasiswa akan memiliki tambahan ilmu terkait perkembangan teknologi material dan produk-produknya. Sementara pada BAB III dan seterusnya, akan lebih difokuskan untuk proses pembuatan produk material tertentu secara lebih rinci. Oleh karena itu, diharapkan sebelum membaca BAB III dan seterusnya, hendaknya mahasiswa memahami/menguasai

terlebih dahulu materi yang disampaikan pada BAB I dan II, agar lebih mempermudah dalam pemahaman bab-bab selanjutnya. Buku ini juga dilengkapi oleh beberapa contoh soal, latihan soal dan tugas-tugas untuk menggali pemahaman akan materi, pembacaan hasil uji mekanis, cara kerja praktik dan perhitungan-perhitungan hasil uji. Pelajarilah buku ini sungguh-sungguh, kemudian cobalah menyelesaikan sendiri untuk menjawab semua soal-soal latihan dan tugas-tugas yang diberikan.



deepublish / publisher

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Sawit adalah tanaman yang potensial untuk dijadikan berbagai produk, mulai dari produk utama yaitu dari proses hulu (pengolahan sawit menjadi Crude Palm Oil (CPO) dan PKO (Palm Kernel Oil), namun juga produk dari proses hilir yang berbahan baku produk dari pabrik hulu sawit (pengolahan CPO menjadi berbagai produk jadi seperti oleokimia, biodiesel, produk kosmetik, obat-obatan, dan sebagainya). Namun demikian, hasil samping dan limbah dari perkebunan dan pengolahan di PKS, sebenarnya juga berpotensi lebih lanjut untuk diolah menjadi produk-produk hilir, khususnya produk-produk material. Contoh dari limbah hasil perkebunan ialah pelepah sawit, daun sawit dan batang sawit; sedangkan limbah dari hasil pengolahan di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) misalnya: limbah gas dari pembakaran di boiler, cangkang sawit, serat daging buah sawit, Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan limbah cair sawit di fat fit. Jenis Limbah atau hasil samping sawit yang mengandung serat dapat diolah menjadi produk material yang bernilai jual tinggi dan tentunya dapat dimanfaatkan bagi masyarakat. Hanya saja banyak masyarakat di Indonesia, termasuk mahasiswa belum mengetahui terkait potensi dan cara pengolahannya. Sementara negara-negara maju seperti China, Jepang, Jerman, Korea, Malaysia dan sebagainya sudah banyak yang memanfaatkan bagian-bagian sawit yang mengandung serat tersebut menjadi produk-produk seperti matress, material composite, membran/filter, kertas dan adsorben. Padahal Indonesia, sebagai negara produsen dan eksportir sawit, malah justru kebanyakan hanya memproduksi sebatas CPO dan hanya sedikit pabrik yang memproduksi produk hilir. Produk hilir yang dihasilkanpun kebanyakan dari produk utama hulu sawit, sehingga banyak

limbah/produk sawit tersebut yang belum terolah dengan baik. Kondisi ini sangat disayangkan, apalagi berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) bahwa lahan perkebunan kelapa sawit di Indonesia saat ini telah mencapai 12,31 juta Ha. Dengan luas yang begitu besar, pastinya menghasilkan limbah perkebunan dan limbah PKS yang tidak sedikit. Oleh karena sawit adalah bahan alam yang mengandung banyak serat lignoselulosa pada bagian-bagian tanamannya seperti batang kelapa sawit dan tandan kosong, maka potensi untuk pemanfaatan serat tersebut menjadi produk material juga tinggi.

Sekretaris Apkasindo, Asmar Arsjad (2017) menyebutkan bahwa ada sekitar 1,5 juta Ha dari total perkebunan sawit di Indonesia yang harus segera dilakukan peremajaan (replanting). Ini mengisyaratkan bahwa akan banyak batang kelapa sawit tua yang hanya akan memenuhi lahan dan menjadi limbah di perkebunan kelapa sawit. Ukuran batang sawit tua yang relatif besar tersebut, sangat berpotensi menjadi sarang hama bagi tanaman muda sawit. Oleh karena itu, perlu adanya penanggulangan pencemaran lingkungan akibat replanting, bukan hanya penanganan tandan kosong yang sering diteliti hingga saat ini. Batang Kelapa Sawit (BKS) tua memiliki kandungan selulosa yang tinggi dibandingkan bagian-bagian tanaman sawit lainnya. Semakin tua pohon sawit, maka kandungan selulosa ini juga semakin banyak. Selulosa adalah senyawa yang banyak dimanfaatkan untuk berbagai produk, terutama untuk bioplastik, membran dan serat. Namun untuk pengolahan ini, perlu adanya treatment untuk memisahkan selulosa murni dari rantai lignoselulosa, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan selulosa asetat. Untuk mengetahui aplikasi selulosa asetat yang cocok untuk berbagai produk material, maka perlu dilakukan uji kadar asetil. Pada buku referensi ini akan diberikan gambaran mengenai cara sintesis selulosa, cara mengidentifikasi kandungan asetil pada selulosa asetat dan salah satu cara pembuatan untuk produk material dari sawit yaitu bioplastik. Dari penelitian ini, diharapkan akan menghasilkan bioplastik yang dapat digunakan di masyarakat sebagai pengganti

plastik kemasan. Bila bioplastik dapat diciptakan dari bahan baku sawit, maka selain dapat mengurangi ketergantungan dalam pemakaian plastik sintesis di masyarakat, maka juga dapat meningkatkan nilai manfaat dari limbah-limbah sawit. Penelitian-penelitian yang menjadi sumber dari penulisan buku ini menargetkan produk akhir berupa bioplastik dengan jenis nanoselulosa asetat yang dibuat dengan pemilihan proses yang sederhana dan efisien. Untuk mengetahui kelayakan produk, diberikan penjelasan tentang uji sifat mekanis dan sifat fisis seperti kekuatan tarik dan sifat ketahanan air. Dengan adanya tahapan-tahapan yang dilakukan, diharapkan dapat dijadikan sumber referensi untuk pembuatan selulosa, selulosa asetat dan bioplastik. Selain itu, juga dapat membantu program Pemerintah dalam zero waste industri untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan akibat limbah industri.

## **B. Tujuan Penelitian**

Tujuan utama dari penulisan buku referensi ini ialah menjelaskan cara pembuatan/sintesis bioplastik selulosa asetat yang bersumber pada *biobased material* dengan proses yang sederhana dan efisien untuk dijadikan sebagai plastik pengemas yang bersifat ramah lingkungan atau mudah terdegradasi. Untuk sampai ke tujuan tersebut, maka diperlukan tujuan-tujuan khusus dalam sintesisnya, yaitu:

1. Mengekstraksi serat selulosa, salah satu contohnya yang berasal dari limbah Batang Kelapa Sawit (BKS) dengan menggunakan blender yang biasa digunakan dalam rumah tangga (*household blender*) VITAMIX TNC 5200 dan memodifikasi proses agar diperoleh hasil yang lebih optimum dengan sonikator. Diharapkan dengan metode ini dapat diperoleh nanoselulosa dengan cara yang lebih mudah dan berpengaruh pada efisiensi proses ekstraksi yang lebih pendek, mengurangi konsumsi energi dan biaya ekstraksi secara keseluruhan.
2. Menggunakan nanoselulosa yang dihasilkan untuk menghasilkan nanoselulosa asetat yang akan menjadi bahan

baku bioplastik. Adapun alasan penggunaan nanoselulosa adalah untuk meningkatkan sifat mekanis bahan misalnya sifat kekuatan tarik, kekerasan bahan dan daya serap terhadap air, sehingga nantinya akan memberikan nilai tambah pada aplikasi produk bioplastik yang dihasilkan.

3. Mengetahui pengaruh penambahan pemplastis DEG (DiEtilen Glikol) pada proses pembuatan bioplastik selulosa asetat terhadap karakteristik hasil polimer.
4. Mengetahui sifat mekanis yang terjadi pada bioplastik yang dihasilkan. Sifat-sifat tersebut yaitu sifat kekuatan tarik dan sifat ketahanan penyerapan air.

### **C. Rumusan Masalah**

Nanoselulosa asetat adalah salah satu jenis plastik yang umumnya terbuat dari bahan alam atau lebih dikenal dengan istilah bioplastik. Meskipun mempunyai kelebihan dari segi sifat degradasinya di lingkungan, namun bahan ini memiliki kendala dalam pembuatannya yang kurang efisien dari segi biaya dan penggunaan energi. Belum lagi bioplastik kebanyakan mempunyai sifat mekanis yang lebih rendah dari plastik sintesis. Permasalahan-permasalahan tersebut membuat bioplastik masih belum diproduksi dalam jumlah banyak. Padahal sumber bahan baku pembuatan nanoselulosa asetat melimpah di Indonesia. Nanoselulosa asetat dibuat dari selulosa yang terkandung pada bagian-bagian tanaman, khususnya pada bagian batang tanaman, salah satu contohnya yaitu dari Batang Kelapa Sawit (BKS). Semakin tua umur kelapa sawit, maka semakin banyak selulosa yang dapat dihasilkan untuk bahan baku bioplastik. Bila bioplastik ini dapat diproduksi, maka dapat mengurangi penggunaan plastik sintesis yang selama ini meresahkan masyarakat karena dampak pencemaran lingkungan. Selain itu, juga dapat meningkatkan nilai manfaat dari limbah sawit yang selama ini hanya menjadi limbah di perkebunan kelapa sawit.

## BAB II

### LIMBAH SAWIT DAN POTENSINYA UNTUK PRODUK MATERIAL MAJU

#### A. Kompetensi Dasar dan Indikator

##### Kompetensi Dasar:

Menunjukkan beberapa jenis limbah sawit beserta kandungan-kandungan kimia yang terdapat di dalamnya, sehingga dapat digunakan untuk memperkirakan potensi produk material yang dapat dihasilkan dari limbah tersebut.

##### Indikator:

1. Menjelaskan macam-macam limbah yang dihasilkan dari perkebunan kelapa sawit.
2. Menjelaskan kandungan kimia yang terdapat pada setiap limbah sawit.
3. Menjelaskan sifat senyawa kimia yang terkandung pada limbah sawit.
4. Menjelaskan potensi produk material yang dapat dibuat dari kandungan senyawa kimia dalam limbah sawit.

#### B. Deskripsi Singkat

Bab ini menguraikan tentang beberapa jenis limbah sawit beserta kandungan senyawa kimia yang terdapat di dalamnya. Sebagaimana yang diketahui bahwa setiap senyawa memiliki sifat kimia dan sifat fisis yang berbeda-beda. Sifat-sifat tersebut yang akan menentukan apakah senyawa-senyawa dalam zat tersebut cocok ataupun tidak bila dijadikan sebagai bahan baku suatu produk. Begitu pula dalam ilmu teknologi material, ada beberapa senyawa yang dapat dijadikan produk-produk material tertentu; misalnya untuk pembuatan bioplastik, kandungan selulosa yang tinggi sangat

dibutuhkan untuk dapat diproses lebih lanjut agar bisa dijadikan bahan baku bioplastik. Meskipun selulosa ini juga dibutuhkan dalam pembuatan produk polimer lainnya seperti membran dan serat, namun senyawa ini belum tentu dibutuhkan untuk proses pembuatan *coating material*, briket ataupun produk-produk material lainnya. Oleh karena itu, pengetahuan tentang potensi dari senyawa-senyawa tertentu sangat diperlukan untuk dapat memunculkan ide-ide baru dalam penciptaan produk-produk material yang bernilai jual tinggi. Apalagi produk tersebut dibuat dari bahan baku limbah yang cenderung belum dimanfaatkan secara maksimal, seperti halnya limbah sawit. Dengan konsep pemahaman yang baik tentang senyawa kimia pembentuk produk material dan sifat-sifatnya, maka produk-produk alternatif pengganti produk material sintesis yang ada selama ini dan yang sering bermasalah terkait isu pencemaran lingkungan akibat sifat *degradable*-nya yang rendah akan dapat teratasi.

### C. Materi

#### **Limbah Hasil Industri Perkebunan Kelapa Sawit**

Kelapa sawit (*Elleis guinensis*) merupakan tanaman perkebunan yang memiliki nilai ekonomis tinggi sebagai salah satu penghasil minyak nabati. Produksi minyak nabati ini di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya luas areal perkebunan kelapa sawit. Produksi yang tinggi tidak terlepas dari banyaknya Pabrik Kelapa Sawit (PKS) yang didirikan, baik yang hanya menghasilkan Crude Palm Oil (CPO) maupun yang juga menghasilkan Palm Kernel Oil (PKO). Faktanya, produk utama CPO maupun PKO hanya dihasilkan sekitar 25-30%, sementara sisanya hanya sebagai residu atau limbah yang mayoritas belum dimanfaatkan. Limbah yang dihasilkan ini bisa berasal dari sisa tanaman yang tertinggal pada saat pembukaan areal perkebunan, peremajaan, panen kelapa sawit maupun hasil buangan dari proses pengolahan kelapa sawit di pabrik. Pada umumnya, limbah perkebunan kelapa sawit digolongkan dalam tiga jenis yaitu limbah padat, limbah cair dan limbah gas.

## 1. Limbah Padat

Limbah padat perkebunan kelapa sawit terdiri dari:

### a. Serabut atau *Palm Pressed Fiber* (PPF)



**Gambar 1. Serat Hasil Pengepresan di PKS**

*Sumber: Surya, 2012*

Serat merupakan limbah yang dihasilkan dari hasil proses pengepresan buah sawit di Pabrik Kelapa Sawit (PKS). Limbah ini berupa serabut seperti benang yang memiliki kandungan berupa: protein kasar sekitar 4%, lignin sekitar 26%, hemiselulosa sekitar 13,61%, selulosa sekitar 46,73%, lipid sekitar 1,9%, *ash* sekitar 5,6% dan lainnya sekitar 0,8%.

### b. Janjang kosong atau Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) atau *Empty Fruit Bunches* (EFB)

Limbah TKKS di PKS dihasilkan setelah proses penebahan/pembantingan menggunakan alat *stripper/thresher*. Limbah ini terdiri dari sekumpulan serat tebal yang dalam 1 kali proses pengolahan CPO dapat dihasilkan dalam jumlah banyak. Dalam satu TBS (Tandan Buah Segar) sawit, sekitar 25-26% merupakan tandan kosongnya (Herawan dan Rivani, 2013). Di Pabrik Kelapa Sawit (PKS), TKKS yang dihasilkan memiliki karakteristik yang berbeda berdasarkan tingkat kematangan buah sawit. TKKS dengan tingkat kematangan buah yang rendah (belum matang) terlihat lebih utuh dan padat, jumlah berondolan 40% dalam satu tandannya, buliran (*spikelet*), buah



dan kelopak bunga (calyx) masih melekat dengan sangat kuat pada tangkainya (stalk) dan stalk sangat padat dan sulit diuraikan. TKKS dengan fraksi buah matang karakteristiknya utuh dan kompak, jumlah berondolan 75% dalam 1 TBS, buliran, buah dan kelopak bunga masih menempel kuat pada stalk di tandannya dan serat-serat sulit diuraikan. Beda halnya dengan TKKS dengan tingkat kematangan lewat matang yang terlihat tandannya tidak padat, rapuh, jumlah berondolan 90% dalam 1 tandan, buliran buah tidak menempel kuat pada tangkainya dan serat lebih mudah diuraikan. TKKS mempunyai kadar air sekitar 60%, kadar minyak maksimum 2,5% dan serat sekitar 25% (Herawan dan Rivani, 2013). Meski ada beberapa orang yang memanfaatkan TKKS sebagai bahan baku produk oleokimia dan material komposit (seperti fiberbrick, papan partikel, polipot pengganti media tanam dan sebagainya), namun pada umumnya hingga saat ini limbah ini hanya digunakan untuk pupuk kompos.



**Gambar 2. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)**

Selain sebagai pupuk, ada beberapa para ahli yang mengolah TKKS menjadi *pulp* dan kertas serta papan partikel. Ini karena TKKS mengandung banyak serat dengan beberapa komponen senyawa kimia antara lain: selulosa sekitar 41,3-46,5% dengan  $\alpha$ -selulosa 33,25%, holoselulosa sekitar 56,49%, hemiselulosa

sekitar 25,3-32,5% dan lignin sekitar 27,6-32,5%. Sementara untuk komposisi kimia TKKS yang berupa logam berat dan anion ditunjukkan pada tabel berikut:

**Tabel 1. Komposisi Logam Berat dan Anion pada TKKS**

Komposisi Kimia	Persentase (%)
<b>Logam Berat</b>	
Kalsium, Ca	50,7
Potasium, K	48,3
Magnesium, Mg	0,6
Sodium, Na	0,2
Seng, Zn	0,1
Krom, Cr	0,03
Lainnya	0,17
<b>Anion</b>	
Sulfat, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	74,8
Klorida, Cl <sup>-</sup>	20,4
Nitrat, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3,2
Fosfat, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	1,6

Sumber: Udoetok, 2012.

### c. Cangkang (Oil Palm Shell)

Cangkang merupakan limbah yang dihasilkan dari stasiun persiapan kernel (inti sawit) di PKS. Limbah ini bentuknya seperti tempurung kelapa dan sering digunakan sebagai bahan pembakaran di boiler karena mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi sebesar 3500-4100 kkal/kg.



**Gambar 3. Cangkang Kelapa Sawit**

Sumber: Harian Suarakarya, 2019.

**Tabel 2. Karakteristik Cangkang Kelapa Sawit**

Sifat	Parameter	Nilai	
		Perolehan	Basis Kering
Fisik	Kadar air (%)	6,11	-
	Kadar abu (%)	8,68	-
	<i>Bulk density</i> (kg/m <sup>3</sup> )	740	9,24
	Porositas (%)	28	650
Kimia	C (%)	46,75	49,79
	H (%)	5,92	5,58
	O (%)	37,97	34,66
	N (%)	0,68	0,72
	S (%)	< 0,08	< 0,08
	Cl (%)	84	80
Karbohidrat	Hemiselulosa (%)	26,16	
	Selulosa (%)	6,92	
	Lignin (%)	53,85	

Sumber: Okoroigwe, 2014.

Sementara untuk komposisi abu cangkang kelapa sawit menurut Fatiha, 2005 sebagai berikut:

**Tabel 3. Komposisi Abu Cangkang Kelapa Sawit**

Komposisi Kimia	Persentase (%)
Silikon Dioksida, SiO <sub>2</sub>	40
Potasium Oksida, K <sub>2</sub> O	12,1
Kalsium Oksida, CaO	10
Phosphorus Pentaoksida, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	8,2
Magnesium Oksida, MgO	6,4
Aluminium Oksida, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,1
Karbon, C	5,4
Iron Oksida, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,5
Lainnya	2,0
<i>Ignition Loss</i>	7,3

#### d. Pelelah Sawit

Pelelah kelapa sawit atau batang tempat melekatnya anak daun sawit merupakan limbah padat dari perkebunan kelapa sawit yang tidak banyak dimanfaatkan. Umumnya limbah ini

sebagian kecilnya hanya dijadikan sebagai bahan bakar dan pakan ternak. Padahal dalam 1 tahun per pohon dapat dihasilkan pelepah kelapa sawit minimal 22 batang.



**Gambar 4. Pelepah Sawit**

*Sumber: Koran Agribisnis, 2016*

Setelah dipangkas, biasanya pelepah kelapa sawit hanya dibiarkan begitu saja di bawah pohonnya tanpa diolah lebih lanjut. Hal ini selain membuat sempit lahan perkebunan sawit, juga menyebabkan pencemaran lingkungan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka saat ini muncullah berbagai penelitian terkait pemanfaatan limbah pelepah kelapa sawit, mulai dari pembuatan karbon aktif, tinta, komposit ataupun produk-produk material lainnya. Bila ditinjau dari kandungan bahannya, berat kering pelepah kelapa sawit rata-rata sebesar 35% dengan kandungan kimia sebagai berikut:

**Tabel 4. Kandungan Senyawa Kimia Pelepah Kelapa Sawit**

<b>Kandungan Kimiawi</b>	<b>% kadar</b>
Selulosa	31,7
Hemiselulosa	33,9
Lignin	17,4
Silika	0,6

*Sumber: Ginting dan Elizabeth, 2013*

Di Indonesia, jenis tanaman sawit yang banyak dibudidayakan ialah varietas tenera. Buah sawit dari tenera ini memiliki kelebihan dari kuantitas CPO dan PKO yang dihasilkan, termasuk juga dalam kandungan selulosa pada beberapa bagian tanamannya. Pada bagian pelepahnya, varietas tenera ini memiliki selulosa yang kandungannya lebih tinggi dari kandungan selulosa pada varietas tanaman sawit lainnya. Berikut karakteristik kandungan lignin, selulosa pada pelepah sawit varietas tenera:

**Tabel 5. Karakteristik Kandungan Pelepah Sawit Varietas Tenera**

Kandungan Kimia	Nilai Rerata Kadar (%) pada Bagian		
	Pangkal	Tengah	Ujung
Zat ekstraktif	8,49	7,87	6,74
Lignin	20,7	18,95	16,69
Holoseulosa	81,57	80,33	79,24
$\alpha$ -selulosa	44,7	43,56	43,26

**e. Batang Kelapa Sawit atau *Oil Palm Trunks (OPT)***

Fakultas peternakan Universitas Andalas (2013) melalui Laboratorium Ruminansia telah menganalisa kandungan pada batang kelapa sawit. Hasil analisisnya menunjukkan bahwa BKS memiliki beberapa kandungan antara lain: serat kasar 38%, protein kasar 4,1%, lemak kasar 1,1%, selulosa 29,41% dan lignin 14,32%. Kandungan ini akan semakin tinggi dengan bertambahnya umur pohon kelapa sawit. Oleh karena semakin tingginya kandungan serat kasarnya, maka BKS sangat potensial digunakan sebagai sumber energi bagi ternak, namun kualitasnya kurang baik sebab memiliki protein kasar yang nilainya rendah (Abe et al., 1998). Lignin yang kandungannya juga tinggi pada BKS memiliki berbagai tipe ikatan kimia yang sulit diuraikan oleh enzim yang dihasilkan oleh mikroba rumen (Hofrichter, 2002). Oleh sebab itu, harus ada alternatif lain untuk mengolah BKS tua untuk menjadi produk-produk yang bermanfaat dan bernilai tinggi selain sebagai pakan ternak.



**Gambar 5. Limbah Batang Kelapa Sawit Tua**

**Tabel 6. Karakteristik Kandungan Batang Kelapa Sawit**

Kandungan Kimia	Nilai Rerata Kadar (%)
Zat ekstraktif:	
• Larut dalam air panas	11,96 - 15,03
• Larut dalam NaOH	16,64 - 18,03
Lignin	6,21 - 33,70
Holoselulosa	82,53 - 88,33
$\alpha$ -selulosa	11,24 - 68,76

## 2. Limbah cair/POME (*Palm Oil Mill Effluent*)



**Gambar 6. POME (*Palm Oil Mill Effluent*)**

Sumber: [www.globalplanet.news](http://www.globalplanet.news)

Perkembangan produksi minyak sawit yang pesat di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) berakibat pada peningkatan jumlah limbah cair yang dihasilkannya. Limbah ini sering dikenal dengan istilah *Palm Oil*

*Mill Effluent* (POME). Dari data industri perkebunan kelapa sawit, POME yang dihasilkan setiap pengolahan 1 ton Tandan Buah Segar (TBS) umumnya sebanyak 50% dari total berbagai limbah sawit yang dihasilkan. Banyaknya kuantitas limbah cair ini beserta kandungan-kandungannya, menyebabkan limbah ini menjadi salah satu limbah agroindustri penyumbang polusi terbesar di sekitar wilayah industri sawit. Banyak kasus yang terjadi dimana masyarakat di sekitar perkebunan memprotes adanya POME karena menurut mereka, POME merusak kualitas sumber mata air akibat resapannya di dalam tanah. Di PKS, limbah POME dihasilkan dari beberapa tahapan proses baik pada saat pabrik *On* maupun *Off* (tidak beroperasi untuk perawatan pabrik). Sumber POME yang dimaksud antara lain:

1. Air kondensat dari proses perebusan (sterilisasi)
2. Air imbibisi dari proses ekstraksi di stasiun pressing
3. Air yang terkandung dalam CPO maupun air yang digunakan pada proses pemurnian di stasiun klarifikasi untuk memisahkan minyak dari kotoran yang terkandung
4. Air buangan dari stasiun persiapan kernel, terutama dari alat hydrocyclone maupun claybath
5. Air pencucian pabrik (pembersihan alat-alat pabrik).

Limbah cair ini umumnya masih mengandung beberapa senyawa terlarut maupun tersuspensi. Senyawa terlarut tersebut antara lain, hemiselulosa dan turunannya, protein, asam organik bebas dan campuran mineral. Sementara senyawa tersuspensinya dapat berupa serat yang terikat pada saat proses pemurnian maupun proses pemisahan cangkang dan kernel, termasuk minyak dan *grease*. Tabel berikut memperlihatkan beberapa kandungan senyawa yang terdapat pada POME:

**Tabel 7. Karakteristik POME**

No	Parameter	Rentang
1	pH	4,3 - 5,2
2	BOD (mg/L)	10.250 - 43.750
3	COD (mg/L)	15.000 - 100.000

No	Parameter	Rentang
4	Oil dan <i>grease</i> (mg/L)	150 - 18.000
5	Ammoniacal Nitrogen (mg/L)	4 - 80
6	Total N (mg/L)	180 - 1400
7	Padatan tersuspensi (mg/L)	5.000 - 54.000
8	Padatan total (mg/L)	11.500 - 78.000

Sumber: Hassan, Yacob, Shirai & Hung, 2006)

Kandungan senyawa dari tabel di atas yang sering dipermasalahkan oleh masyarakat yaitu senyawa *ammonical-Nitrogen*, karena senyawa ini dapat menimbulkan bau busuk yang sangat menyengat dan dapat mempengaruhi kehidupan biota air. Senyawa ini semakin lama akan semakin banyak terbentuk apabila limbah POME tidak diolah dengan cepat. POME dapat mengundang mikroorganisme yang akan menyebabkan terurainya senyawa-senyawa organik menjadi senyawa rantai pendek seperti *Ammonical-Nitrogen*. Namun demikian, tidak selamanya proses penguraian oleh mikroorganismen menjadi sesuatu yang dianggap merugikan, apabila industri pandai mengolah limbah ini. Beberapa PKS bahkan telah mengolah limbah POME dan menjadikannya biogas untuk pembangkit tenaga listrik. Biogas adalah gas yang dapat dijadikan sebagai sumber bahan bakar dan energi, yang berasal dari zat organik. Gas ini dihasilkan dari proses degradasi biomassa oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa udara (*anaerob*). Selain dari gas amoniak, gas-gas yang dihasilkan antara lain: 50-75% metana ( $CH_4$ ), 25-45% Kartbondioksida ( $CO_2$ ) dan selebihnya adalah gas lainnya dalam jumlah yang lebih kecil. Salah satu perusahaan yang telah mengolah POME menjadi biogas adalah PT Austindo Aufwind New Energi. Perusahaan ini telah mendirikan pembangkit listrik tenaga biogas dari POME yang hasilnya telah mampu memberikan sumber listrik bagi 3.600 rumah tangga dengan 2 generator yang dimilikinya.

### 3. Limbah Gas

Limbah gas yang dihasilkan dari industri perkebunan kelapa sawit dapat berasal dari areal perkebunan maupun dari pabrik pengolahan kelapa sawit. Bila di areal perkebunan, limbah gas ini



umumnya dihasilkan dari proses pembakaran yang sengaja dilakukan oleh pihak industri untuk mengurangi semakin banyaknya limbah padat kelapa sawit yang belum dimanfaatkan secara optimal, seperti limbah tandan kosong kelapa sawit maupun batang kelapa sawit tua hasil *replanting*. Namun bila dihasilkan dari pabrik kelapa sawit, umumnya limbah gas ini dari proses pembakaran *boiler* yang kebanyakan menggunakan cangkang dan serat sawit sebagai bahan bakarnya. Gas-gas buang ini umumnya hanya dibuang begitu saja di udara terbuka, meskipun untuk beberapa kandungan seperti limbah debu dan abu pembakarannya terkadang dikendalikan dengan pemasangan *dust collector* yang berfungsi untuk menangkap debu yang terikut pada sisa gas pembakaran. Sementara untuk gas-gas buangan kebanyakan masih belum dapat diatasi secara maksimal.

### **Kandungan Limbah Sawit dan Potensinya sebagai Bahan Baku Material**

Selulosa merupakan komponen kerangka utama dari struktur dinding sel tumbuhan yang memberikan kekuatan, kekakuan dan stabilitas struktur serat. Selulosa ialah jenis polimer linier glukosa dengan struktur rantai yang seragam. Penyusunannya ini dihubungkan oleh ikatan  $\beta$ -1,4 glikosidik. Ikatan serta bentuk rantai menyebabkan selulosa bersifat kristalin. Meskipun jumlah gugus hidroksil pada selulosa cukup banyak, namun selulosa tidak mudah larut dalam air ataupun beberapa pelarut. Di dalam air, selulosa hanya mengembang, termasuk dalam basa pekat. Meskipun demikian, selulosa dapat larut pada beberapa campuran pelarut misalnya pada campuran asam asetat dan asetat anhidrida. Selulosa memiliki tiga kelompok hidroksil (OH), dua diantaranya membentuk ikatan hidrogen dalam makromolekul selulosa (intramolekuler), sementara sisanya membentuk ikatan hidrogen dengan molekul selulosa lainnya (antarmolekul). Struktur polihidrik alkohol (hidroksil) menyebabkan senyawa ini mudah teroksidasi, namun demikian gugus hidroksil menjadi penyebab tingkat kekristalan yang tinggi pada selulosa. Struktur kristalin justru diharapkan karena memiliki beberapa

keunggulan dalam membentuk produk polimer dengan kualitas tinggi. Sementara itu, panjang rantai selulosa tergantung pada derajat polimerisasinya. Semakin panjang rantai, maka serat selulosa mempunyai sifat mekanis yang lebih kuat, serta lebih tahan terhadap bahan kimia, cahaya dan mikroorganisme. Untuk sifat fisis dari selulosa antara lain:

1. Degradable melalui proses hidrolisis, oksidasi, fotokimia, maupun secara mekanis, yang ditandai dengan penurunan berat molekul.
2. sukar larut dalam air maupun pelarut organik, namun sebagian dapat larut dalam larutan alkali tergantung pada jenis selulosanya.
3. Higroskopis (mudah menyerap air), keras dan rapuh pada keadaan kering.
4. Memiliki kekuatan yang lebih baik pada struktur kristalinnya.

Tingginya kekuatan sifat mekanis menyebabkan selulosa dapat diaplikasikan untuk sintesis kertas, film, membran, serat dan aditif. Pada dasarnya, selulosa terbagi menjadi 3 (tiga) yaitu:

#### **1. $\alpha$ -Selulosa**

Jenis selulosa ini sering dikenal sebagai bentuk selulosa asli dan murni dengan ciri-ciri tidak mudah larut dalam NaOH 17,5% pada suhu 20°C dan mempunyai sifat hidrofilik yang lebih besar daripada jenis selulosa lainnya. Selain itu, selulosa ini menentukan sifat ketahanan berbagai jenis produk dari *pulp*, seperti kertas, bioplastik, membran dan sebagainya. Sugesti, dkk (2015) menyebutkan bahwa rendemen selulosa ditentukan oleh kandungan  $\alpha$ -Selulosa. Semakin banyak jenis senyawa selulosa ini, maka rendemen juga akan semakin tinggi. Secara kualitas,  $\alpha$ -Selulosa paling unggul tingkat kemurniannya dibandingkan dengan jenis selulosa lainnya. Bila kadar  $\alpha$ -selulosa dapat mencapai lebih dari 92%, maka selulosa ini dapat digunakan sebagai bahan baku peledak ketika diesterifikasi dengan asam nitrat. Sementara bila akan digunakan sebagai bahan baku *pulp* dan *paper*, hanya membutuhkan kadar dibawahnya.

## 2. $\beta$ -Selulosa

Jenis selulosa ini berbeda dengan  $\alpha$ -Selulosa. Kelarutannya tinggi dalam larutan NaOH 17,5% pada suhu 20°C dan akan mengendap pada larutan yang bersifat asam.

## 3. $\gamma$ -Selulosa

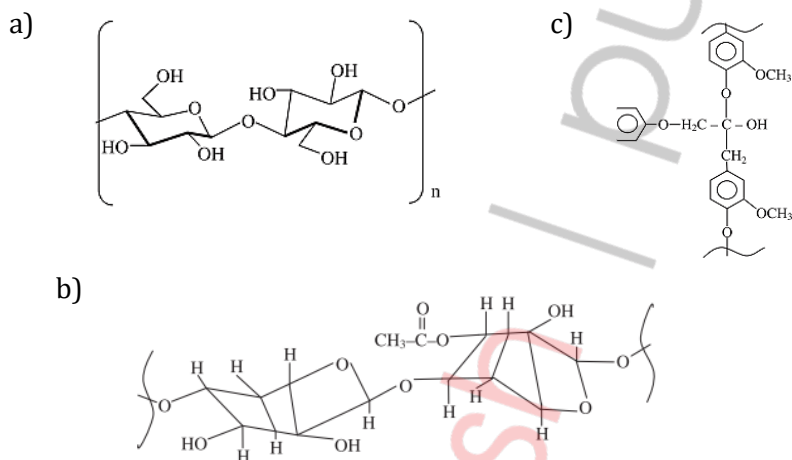
Selulosa ini juga mudah larut dalam larutan NaOH 17,5% pada suhu 20°C dan dapat mengendap pada larutan yang bersifat asam. Namun bedanya, endapannya dapat berkurang setelah larutannya dinetralkan.

Hampir semua tanaman termasuk sawit, serat selulosanya memiliki struktur kristalin hingga 80% dan hanya 20% berupa struktur amorf. Selulosa adalah polimer alam rantai panjang tanpa cabang dengan Derajat Polimerisasi (DP) berkisar 10.000. Berdasarkan strukturnya ini, selulosa terbagi lagi menjadi 4, yaitu selulosa I yang merupakan bentuk alami dari selulosa yang terdiri dari  $1\alpha$  dan  $1\beta$ ; sedangkan selulosa II hingga selulosa IV terbentuk dari selulosa I setelah melalui berbagai metode (Perez dan Samain, 2010)

Hemiselulosa merupakan polisakarida yang larut dalam alkali. Hemiselulosa terdapat dalam dinding sel tanaman dan terbentuk terutama pada dinding sel primer yang memiliki banyak cabang polimer, mengandung lima dan enam karbon gula dari struktur kimia yang bervariasi. Berbeda dari selulosa yang merupakan homopolisakarida dengan monomer glukosa dan derajat polimerisasi yang tinggi (10.000–14.000 unit), rantai utama hemiselulosa hanya terdiri dari satu jenis monomer (homopolimer) atau terdiri atas dua jenis atau lebih monomer (heteropolimer). Rantai molekul hemiselulosa lebih pendek daripada selulosa, hal ini yang menyebabkan tingkat kelarutan hemiselulosa lebih tinggi dibandingkan selulosa. Hemiselulosa tersusun atas pentosan dan heksosan. Pentosan lebih banyak terdapat pada kayu keras, sedangkan heksosan pada kayu lunak. Pentosan dapat diuraikan lebih lanjut menjadi senyawa furfural yang berpotensi untuk menjadi *coating material*.

Sementara itu, lignin mempunyai struktur molekul yang sangat berbeda dengan polisakarida lainnya, karena terdiri atas sistem aromatik yang tersusun atas unit-unit fenil propana.

Lignin merupakan senyawa polimer yang bersifat amorf dan bila dilihat dari strukturnya, ikatan eter mendominasi hingga setengah bahkan dua per tiga dari rantai utamanya. Selain NaOH, pelarut yang dapat melarutkan lignin antara lain: alkohol dengan berat molekul rendah, dioksan, aseton, piridin dan dimetil sulfoksida. Kelarutan akan semakin tinggi bila suhu proses dinaikkan. Struktur kimia dari ketiga senyawa tersebut yakni:



**Gambar 7. Struktur kimia dari a) selulosa (b) hemiselulosa dan (c) lignin**

*Sumber: Kabir dkk, 2012*

Lignin dapat menghambat mikroorganisme untuk mendegradasi sejumlah selulosa, terutama bila keduanya masih berikatan dalam bentuk lignoselulosa. Pada saat mengalami proses degradasi baik secara abiotik maupun biotik, lignin cenderung menumpuk karena sifat kimianya yang sukar terurai dan sifat fisisnya yang cenderung hidrofobik. Inilah salah satu alasan yang mendasari bahwa lignin ini

cenderung dipisahkan dari selulosa ketika ingin menghasilkan material polimer yang mudah terdegradasi.

Lignin umumnya dapat diperoleh dari bagian-bagian tanaman yang mengandung lignoselulosa. Struktur utama lignin yang memiliki gugus hidroksil dan aromatik yang mirip dengan resin fenol, sehingga menyebabkan senyawa ini berpotensi untuk dimodifikasi. Saat ini lignin kebanyakan diproduksi dari hasil proses delignifikasi dan *bleaching* pada serat lignoselulosa. Namun di Pabrik kertas, senyawa ini umumnya dipisahkan dan dibuang menjadi limbah. Padahal lignin masih dapat diolah lebih lanjut atau dimanfaatkan, salah satunya sebagai bahan perekat. Meskipun perlu adanya *treatment* lanjutan seperti polimerisasi kondensasi (polikondensasi). Rowell (2005) mengemukakan ini dalam bukunya. Rowell menyebutkan bahwa produksi resin phenolformaldehida untuk perekat plywood dari senyawa lignin dan formaldehid dapat dibuat melalui proses premetilasi. Proses ini merupakan proses degradasi lignin menjadi phenol dengan bantuan alkali dan sulfida berlebih dan dilakukan pada suhu 250-290 °C dibawah tekanan. Meskipun proses ini kurang ekonomis pada produksinya, akan tetapi temuan ini sudah dapat membantu dunia industri akibat kelangkaan bahan baku dari petrokimia untuk pembuatan resin phenolformaldehid. Sebenarnya untuk mengantisipasi biaya produksi yang tinggi untuk pembuatan resin ini dapat pula dilakukan dengan memvariasikan komposisi lignin, fenol tambahan dan formaldehid dengan perbandingan terbaik menurut Santoso (2000) yaitu 1:0,5:2.

Lignin sebagai bahan perekat pada kayu lamina pernah juga diteliti oleh Santoso (2004). Jenis resin yang dibuat oleh peneliti ini ialah resin lignin resorsinol formaldehida melalui proses kopolimerisasi, yaitu dalam hal ini ialah proses yang menggabungkan antara hidroksifenolik dan metoksil pada lignin dengan senyawa formaldehida. Resin yang didapatkan memiliki kualitas yang hampir sama dengan perekat resin fenol resorsinol formaldehida, dan sangat baik untuk kayu lamina jati (Tahir et al, 1998).

#### D. Daftar Bacaan Tambahan

- Abe, H., Y. Murata, S. Kubo, K. Watanabe and R. Tanaka., 1998. Estimation of the ratio of vascular bundles to parenchyma tissue in oil plam trunks using NIR Spectroscopy. *Bio Resources*, 8: 1573-1581.
- Abraham, E., Deepa, B. L. A., Jacob, M., Thomas, S., Cvelbar, U., et al. 2011. *Extraction of nanocellulose fibrils from lignocellulosic fibres: a novel approach*. *Carbohydrate Polimers*, 86, 1468-1475.
- Aditia, S. S. (2013). Pengaruh Penambahan Urea Dalamsubstrat Batang Kelapa Sawit dan Lama Fermentasi dengan Phanerochaete chrysosporium Terhadap Kecernaan Bahan Kering, Protein Kasar Dan Serat Kasar Secarain-Vitro (Doctoral dissertation, Universitas Andalas).
- Buasan, B., dkk. 2016. *Peran Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dalam Mewujudkan Ketahanan Energi Wilayah*. *Jurnal Ketahanan Nasional*. 22(3): 241-254.
- Clayden, J., Greeves, N., & Warren, S. 2012. *Organic chemistry*. Oxford University Press.
- Fengel, Dietrich. 1955. *Kimia kayu, ultrastruktur, reaksi-reaksi*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Herawan, T. & Rivani, M. 2013. Pemanfaatan limbah padat kelapa sawit untuk produksi green product. *Prosiding Pertemuan Kelapa Sawit 2013*. JCC Jakarta 7-9 Mei 2013. ISBN 978-602-7539-16-7. Hal.181-190.
- Hofrichter, M. 2002. Lignin Conversion by Mangenese Peroxidase (MnP). *Enzyme Mcrobiology anaad Tecnology*. 30: 454-466.
- Kabir, M. M., Wang, H., Lau, K. T., & Cardona, F. (2012). Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. *Composites Part B: Engineering*, 43(7), 2883-2892.
- Patent Landscape Report: Palm Oil Production and Waste Treatment Technologies*. 2016. *The Intellectual Property Corporation of Malaysia (MyIPO) and The Malaysian Palm Oil Board (MPOB)*.

- Perez, S., Samain, D., 2010. Structure and engineering of celluloses. *Adv. Carbohydr. Chem. Biochem.* 64, 25-116.
- Poletto, M., Júnior, H. L. O., and Zattera, A. J. 2014. *Native cellulose: Structure, characterization and thermal properties.* *Materials*, 7(9), 6105-6119.
- Rowell, R.M. 2005. *Wood Chemistry and Wood Composites.* CRC Press, Florida.
- Santoso, A. (2000). Pengaruh komposisi perekat lignin fenol formaldehida terhadap keteguhan rekat kayu lapis tusam. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 17(4), 189-198.
- \_\_\_\_\_. (2004). Pemanfaatan Lignin dari Lindi Hitam untuk Pembuatan Kopolimer Lignin Resorsinol Formaldehida sebagai Perekat Kayu Lamina. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 22(3), 143-154.
- Sugesty, S., Kardiansyah, T. and Hardiani, H. (2015) 'Bamboo as raw materials for dissolving pulp with environmental friendly technology for rayon fiber', *Procedia Chemistry.* Elsevier Ltd., 17, pp. 194-199.
- Tahir, P., Md, M.H. Sahri, Z. Ashari, 1998, *Gluability of Less Used and Fast Growing Tropical Plantation Hardwood Species: Faculty of Forestry University Pertanian Malaysia, Selangor.*

#### **E. Pertanyaan Kunci**

1. Sebutkan jenis-jenis limbah yang dihasilkan dari industri perkebunan kelapa sawit!
2. Sebutkan macam-macam limbah padat kelapa sawit beserta kandungan kimianya masing-masing?
3. Jelaskan beberapa senyawa yang dapat menjadi penentu dalam proses pembuatan produk material!

#### **F. Soal**

1. Jelaskan perbedaan sifat kimia, fisis dan mekanis dari lignin, selulosa dan hemiselulosa?
2. Mengapa selulosa menjadi andalan dalam pembuatan produk material?

3. Tuliskan struktur kimia dari selulosa dan hemiselulosa dan jelaskan mengapa tingkat kelarutan hemiselulosa lebih tinggi dibandingkan selulosa!

<b>G. Tugas</b>
-----------------

1. Diskusi kelompok mengenai potensi limbah sawit sebagai bahan baku material polimer dengan menyebutkan jenis produknya dan kandungan kimia yang diperlukan untuk pembuatan produk tersebut!
2. Membuat pohon industri pengolahan kelapa sawit, lengkap dengan limbah yang dihasilkan beserta produk hilir yang mungkin diproduksi dari limbah tersebut!



# BAB III

## PERKEMBANGAN TEKNOLOGI DAN PRODUK MATERIAL DARI SAWIT

### A. Kompetensi Dasar dan Indikator

#### Kompetensi Dasar:

Menunjukkan beberapa jenis produk material berbahan baku limbah sawit, perkembangan penelitian dan pemanfaatan teknologi dalam proses pembuatan produk hilir dari sawit.

#### Indikator:

1. Menjelaskan beberapa produk material yang dapat dihasilkan dari limbah sawit.
2. Menjelaskan penelitian-penelitian yang sedang dikembangkan terkait teknologi material berbahan baku limbah padat sawit.
3. Menjelaskan secara garis besar proses-proses pembuatan beberapa produk material dari limbah sawit

### B. Deskripsi Singkat

Bab ini memberikan gambaran mengenai beberapa produk hilir dalam ruang lingkup teknologi material maju yang dapat dihasilkan dari limbah sawit, khususnya limbah padat sawit. Sebagaimana yang pernah dijelaskan sebelumnya di BAB I bahwa limbah padat sawit masih mengandung kadar selulosa, hemiselulosa dan lignin yang cukup tinggi. Kandungan-kandungan tersebut berpotensi untuk dijadikan produk-produk material yang mempunyai nilai jual tinggi. Namun karena keterbatasan teknologi yang menyebabkan beberapa produk masih terus dalam tahap pengembangan penelitiannya hingga saat ini. Selain itu, pada bab ini juga diberikan gambaran mengenai proses pembuatan beberapa produk material beserta beberapa hasil uji kelayakan produk. Perlu dicermati bahwa bab ini hanya

memberikan sedikit gambaran mengenai produk dan proses pembuatannya dan tidak semuanya (belum mencakup semua produk hilir material yang ada di pasaran maupun yang sedang diteliti).

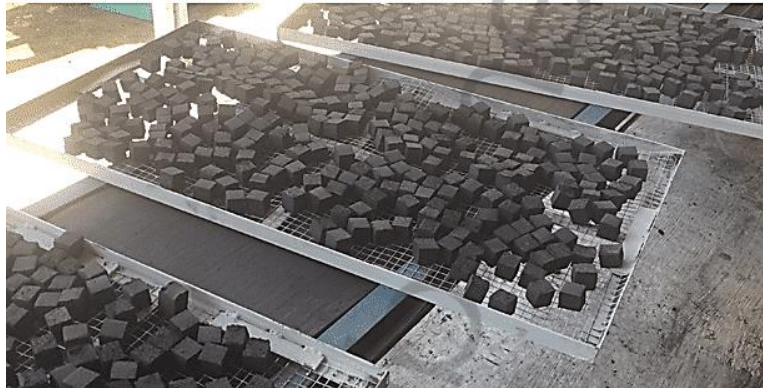
## C. Materi

### **Produk Material dari Cangkang Sawit**

Produk-produk material dari limbah cangkang kelapa sawit antara lain: briket, karbon aktif untuk filtrasi dan adsorpsi, komposit, *pulp* dan *paper*, *filler* untuk vulkanisat karet, dan karbon *black*. Berikut akan dibahas dua produk dari beberapa produk material tersebut.

#### **1. Briket**

Penelitian pemanfaatan limbah padat cangkang sawit sebagai bahan bakar pertama kali dilakukan oleh Thalib pada tahun 2011 di Baristand Industri Banda Aceh. Teknologi pembuatan briket dari bahan baku cangkang sawit menggunakan bahan perekat dari tepung kanji. Hasil uji briket menunjukkan bahwa konsentrasi tepung kanji 10% memberikan hasil yang terbaik. Hasil pengujian mutu menunjukkan bahwa parameter uji sesuai SNI Briket telah memenuhi baku mutu, sedangkan untuk kadar hilang pijar belum memenuhi persyaratan. Selain penelitian Thalib, Susanto dan Yanto (2012) juga memanfaatkan limbah hasil pengolahan kelapa sawit untuk dijadikan sebagai briket bioarang dengan tujuan untuk mengurangi konsumsi minyak tanah Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi perekat kanji, dengan perbandingan komposisi bahan cangkang dan TKKS 1:20 menghasilkan nilai kalor bakar paling besar 5069 kal/g.



**Gambar 8. Briket dari Cangkang Sawit**

*Sumber: <https://cangkangsawit.id>*

Proses pembuatan biobriket terdiri dari 3 tahapan, yaitu tahap karbonisasi atau pirolisis, tahap pencampuran dengan bahan perekat dan tahap pencetakan (pembriketan). Pirolisis adalah proses pembakaran untuk destruksi bahan organik dengan atau bahkan tanpa udara (dalam hal ini Oksigen). Bridgwater (2006) membagi proses pirolisis menjadi beberapa macam, yaitu:

1. Fast pirolisis, yaitu pirolisis yang dilakukan pada suhu  $\geq 500$  °C dengan produk akhir berupa 75% bahan bakar cair, 12% arang dan 13% bahan bakar gas.
2. Medium pirolisis yaitu pirolisis yang dilakukan pada suhu  $< 500$  °C, dengan produk akhir berupa 50% bahan bakar cair, 25% arang dan 25% gas. Pirolisis ini lebih dikenal dengan istilah karbonisasi.
3. Slow pirolisis, yaitu pirolisis yang dilakukan pada suhu  $\leq 100$  °C, dengan produk akhir berupa 30% bahan bakar cair, 70% air, 35% arang dan 35% bahan bakar gas. Namun proses ini jarang digunakan karena rata-rata destruksi bahan organik memerlukan suhu di atas 100 °C. Pada suhu ini, hanya terjadi penghilangan air dan belum terbentuk arang yang diperlukan untuk bahan baku biobriket.

Tahap perekatan arang menggunakan bahan perekat, yang bisa berasal dari bahan organik maupun anorganik. Perekat organik memiliki keunggulan dari segi biaya yang umumnya lebih ekonomis dan abu yang dihasilkan juga lebih sedikit. Contoh dari perekat ini ialah tepung kanji, dan tar. Sementara perekat anorganik memiliki kelebihan dalam ketahanan briket saat digunakan. Perekat anorganik umumnya juga memiliki daya reakt yang lebih tinggi, namun hasil abu lebih banyak daripada perekat organik. Contoh dari perekat anorganik yaitu *clay*, NaOH, *molasses* (tetes tebu) dan sebagainya. Sementara tahap pembriketan adalah tahap pencetakan briket setelah arang dicampur secara homogen dengan perekat. Pada tahap ini biasanya juga dilakukan pepadatan dan penekanan bahan di dalam cetakan, lalu dilanjutkan dengan tahap pengeringan biobriket.

Hal yang perlu diketahui bahwa biobriket dari sawit tidak hanya dapat dibuat dari cangkang sawit, namun juga dapat terbuat dari bagian-bagian sawit lainnya seperti tandan kosong kelapa sawit, batang kalapa sawit, pelepah sawit, serabut buah sawit ataupun bagian lainnya selama masih mengandung kadar serat terutama kandungan selulosa dan hemiselulosa yang tinggi, karena arang diperoleh dari serat organik.

## 2. Karbon aktif untuk filtrasi dan adsorpsi



**Gambar 9. Karbon Aktif dari Arang Cangkang Sawit**

Karbon aktif adalah padatan yang memiliki pori-pori untuk menyerap zat yang tidak diinginkan dari suatu larutan/cairan atau sebagai agen penyerap (adsorben). Padatan ini mengandung 85-95% karbon yang konfigurasiannya dibebaskan/dipisahkan dari unsur-unsur lainnya dan porinya kemudian dibersihkan dari senyawa lain agar permukaan dan pusat aktifnya menjadi lebih luas. Proses pembuatan karbon aktif secara garis besar melalui 2 tahapan proses yaitu, tahap penguraian/pemecahan karbohidrat ataupun serat melalui pemanasan pada suhu tinggi dan tahap aktivasi (pembesaran ukuran pori). Dengan perbesaran dan perluasan ukuran pori, maka daya adsorpsi terhadap cairan atau gas akan meningkat. Luas permukaan karbon aktif umumnya berkisar antara 300-2000 m<sup>3</sup>/gram. Luas yang besar dari struktur pori-pori karbon aktif dapat diperbesar untuk meningkatkan kemampuan menyerap (*adsorb*) gas, uap dan zat-zat dari liquid. Elly (2008) menyebutkan bahwa arang aktif mempunyai daya serap yang tinggi terhadap bahan yang berbentuk larutan dan uap. Permukaan arang aktif dapat dimodifikasi dengan termal (fisik) atau dengan bantuan zat kimia. Modifikasi dengan zat kimia melalui reaksi oksidasi dalam fasa gas atau cairan dapat menaikkan konsentrasi gugus hidroksil dan karbonil pada permukaan, sedangkan modifikasi secara termal dengan pemanasan dapat menghilangkan beberapa gugus tertentu.

Berdasarkan fungsinya, arang aktif dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu arang aktif sebagai pemucat dan arang aktif sebagai penyerap uap. Arang aktif ini memiliki sifat adsorpsi yang cukup selektif dalam penyerapannya tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Aplikasi karbon aktif dengan luas permukaan yang besar dapat digunakan untuk menghilangkan warna, rasa dan bau serta agen pemurni dalam industri makanan. Dalam proses pengolahan air, biasanya digunakan untuk produksi air minum dan penanganan limbah (Noer dkk, 2014). Indonesia telah membuat kriteria/standar untuk arang aktif yang harus dipenuhi oleh produsen yakni dalam peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06- 3730-1995 (Wijaya, 2005).

**Tabel 8. SNI 06-3730-1995 Tahun 1995**

Uraian	Persyaratan Kualitas	
	Butiran	Serbuk
Kadar Air %	Maks. 4,5	Maks. 25
Kadar Abu %	Maks. 2,5	Maks. 15
Daya Serap Metilen Blue (%)	Maks. 40	Maks. 60
Kadar Karbon Murni (%)	Min. 80	Min. 65

Dari standar tersebut menjelaskan bahwa karakterisasi arang aktif meliputi pengujian kadar air, kadar abu, dan daya adsorpsi terhadap metilen biru dan kadar karbon murni. Pengujian kandungan air bertujuan untuk mengetahui kandungan air pada arang aktif yang apabila kadarnya tinggi maka akan menurunkan kualitas arang aktif. Pengujian kadar abu bertujuan untuk menentukan kandungan mineral atau logam dalam bentuk oksida basa pada arang aktif. Tingginya kadar abu dalam arang aktif dapat menurunkan kualitas arang aktif karena oksida basa dapat menyumbat pori-pori arang aktif. Pengujian daya adsorpsi metilen biru digunakan untuk menentukan luas permukaan dan kemampuan arang aktif mengadsorpsi larutan berwarna. Daya adsorpsi arang aktif terhadap metilen biru memberikan gambaran mengenai luas permukaan arang aktif. Sementara pengujian kadar karbon murni menunjukkan kuantitas karbon yang dapat diaktivasi untuk menjadi karbon aktif.

Proses pembuatan arang aktif terdiri dari 2 tahap yaitu tahap karbonisasi dan aktivasi.

1. Tahap karbonisasi

Tahap ini dilakukan melalui proses pembakaran dari material yang mengandung karbon, umumnya dari material serat, dan dilakukan tanpa adanya kontak langsung dengan udara (Marsh dan Fransisco, 2006). Tahap karbonisasi adalah tahap penguraian karbon dari suatu bahan organik yang mengandung rantai panjang karbon. Pada tahap ini, pembentukan zat berlangsung selama kenaikan suhu pemanasan yaitu dimulai dari suhu 170°C yaitu proses pembentukan gas CO, CO<sub>2</sub> dan asam asetat, dilanjutkan dengan suhu 275°C untuk

dekomposisi tar, metanol dan hasil samping lainnya dan yang terakhir pada suhu di atas 400°C untuk pembentukan karbon murni.

## 2. Tahap aktivasi

Tahap aktivasi merupakan tahap pembukaan pori karbon hasil karbonisasi. Proses aktivasi dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu cara fisika dan cara kimia (Mu'jizah, 2010). Proses aktivasi terbagi menjadi dua, yaitu aktivasi fisika dan kimia. Aktivasi fisika memanfaatkan uap atau gas CO<sub>2</sub> sebagai *Activating agent*, sedangkan aktivasi kimia menggunakan larutan activator seperti HCl, NaCl, KOH dan sebagainya.

Contoh penelitian tentang arang aktif antara lain:

Jayuska (2013) melakukan penelitian karbon aktif yang berasal dari limbah cangkang sawit dengan aktivasi kimia menggunakan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> untuk menyerap gas CO<sub>2</sub> sehingga kadar CH<sub>4</sub> dalam biogas dapat meningkat. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan kadar CH<sub>4</sub> dalam biogas yang diserap dengan adsorben karbon aktif kimia dengan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> sebesar 65,5% dan karbon aktif komersial sebesar 70,5% dibandingkan sebelum menggunakan adsorben sebesar 58,5%.

Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Harahap, dkk (2014). Pada penelitian ini, karbon aktif dihasilkan dengan bantuan aktivator H<sub>2</sub>O melalui uji proksimat berupa kadar air dan kadar abu. Harahap, dkk mendapatkan bahwa hasil uji proksimat dengan karakteristik pada cangkang kelapa sawit yang dapat menghasilkan nilai kadar air yang terbaik terdapat pada suhu 600°C yaitu sebesar 4,5% yang memenuhi Standar Industri Indonesia (SII), nilai kadar abu sebesar 9,7%, nilai bilangan iodin yaitu 353 mg/gram. Nilai tersebut diperoleh pada suhu aktivasi 900°C dan waktu 60 menit dengan rendemen hasil sebesar 48%.

### **Produk Material dari Serabut Sawit**

Serabut kelapa sawit baik yang diperoleh dari serat buah sawit hasil pengolahan di PKS ataupun dari batang kelapa sawit, pelepah sawit dan tandan kosong kelapa sawit memiliki potensi yang besar

untuk diolah menjadi produk-produk material misalnya material penguat komposit, termasuk produk pulp dan kertas. Bahkan dalam beberapa dekade terakhir, banyak para ilmuwan yang telah membuat komposit dari serabut sawit untuk dipergunakan sebagai bahan penguat bangunan, *fiber glass*, ataupun poliester. Berikut beberapa contoh perkembangan penelitian dan pemanfaatan teknologi untuk memproduksi material komposit serta pulp dan paper dari serabut (sabut) kelapa sawit:

1. Jamasri dan Handiko (2005) melakukan penelitian mengenai komposit serat (*fiber*) buah kelapa sawit dari jenis poliester. Pembuatan komposit dilakukan dengan metode cetak tekan dengan berbagai fraksi berat serat. Spesimen yang dibentuk mengacu pada standard ASTM D 638. Hasil pengujiannya diperoleh bahwa penambahan fraksi berat serat dapat meningkatkan kekuatan tarik, sedangkan harga modulus dan regangan patah untuk fraksi berat serat sampai 30% tidak memberikan peningkatan yang signifikan. Peningkatan yang signifikan terjadi pada fraksi berat serat di atas 36%.



**Gambar 10. Komposit Serat Sawit Jenis Poliester**

*Sumber: Suherman et al, 2015.*

2. Penelitian Wahono (2008) yang berkaitan dengan pembuatan komposit serat (*fiber*) buah kelapa sawit-poliester dengan menggunakan metode *hand lay up* dengan kondisi benda uji



mengacu pada standar ASTM D 638. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tarik optimum komposit terdapat pada perlakuan NaOH selama 2 jam yaitu sebesar 20,94 Mpa, sedangkan modulus elastisitas optimum komposit terdapat pada perlakuan NaOH selama 4 jam yaitu sebesar 8,44 Gpa.

3. Penelitian Hutabarat (2014) yang memanfaatkan serat sabut kelapa sawit sebagai penguat sifat mekanik komposit *fiber glass*. Penambahan serat sabut buah kelapa sawit pada komposisi 30% menunjukkan tingkat kelenturan dan kekerasan lebih tinggi.



**Gambar 11. Contoh Fiberglass**

Sumber: <http://aeroengineering.co.id>

4. Serat Batang Kelapa Sawit (BKS), yang lebih dikenal dengan serat Oil Palm Trunks (OPT) banyak dibuat untuk produk-produk panel, seperti particleboard (Teck and Ong, 1985), Medium Density Fibre (MDF), mineral-bonded particleboard, block board (Choon et al, 1991) dan cement board (Schwarz, 1985). MDF banyak dikembangkan di Malaysia. Panel yang dihasilkan dari BKS dapat digunakan untuk furniture dengan kualitas tinggi dan material bangunan rumah. Kelayakan produk panel dari BKS pernah diteliti oleh Ul Haq Bhat et al (2010). Hasil penelitiannya menunjukkan stabilitas yang tinggi, kenaikan densitas dan juga sifat mekanis dari produk panel BKS yang diperkuat oleh resin Phenol-Formaldehyde (PF).



**Gambar 12. Particleboard dari Batang Sawit**

Sumber: <https://ecofiberboard.wordpress.com>

5. Wardani, et.al (2012) memanfaatkan limbah batang kelapa sawit (BKS) sebagai bahan pengisi untuk produk komposit kayu plastik. Bahan pengisi pada produk material komposit memegang peranan yang penting dalam peningkatan sifat-sifat termal dan mekanis komposit kayu plastik. Penggunaan bahan ini pada komposit dapat menekan biaya produksi terutama dari bahan bakunya yang melimpah, lebih fleksibel dalam proses pembuatan dan dapat didaur ulang (*recycleable*). Selain dengan bahan BKS, dalam artikelnya Wardani et.al juga menyebutkan potensi pelepah sawit, tandan kosong kelapa sawit dan cangkang sawit untuk aplikasi produk yang sama. Dari hasil penelitiannya, ditemukan bahwa faktor ukuran partikel bahan baku sawit, penambahan modifier dan inisiator pada suhu operasi 180 dan 190°C berpengaruh terhadap sifat fisis dan mekanis dari produk papan komposit kayu plastik yang dihasilkan.



**Gambar 13. Contoh Aplikasi Komposit Kayu Plastik**

*Sumber: <https://graciamakmursejahtera.com>*

6. Potensi serat TKKS yang jumlahnya melimpah dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan pulp dan kertas secara komersial. Dimulai pada tahun 2011, PKS dan Balai Besar Pulp dan Kertas (BBPK) telah melakukan kerjasama penelitian dalam memproduksi kertas dengan jenis liner, medium dan karton dalam skala laboratorium, yang kemudian berkembang pada skala pabrik pada tahun 2012. Kertas liner dan medium diproduksi oleh PT Kertas Padalarang, sedangkan kertas karton oleh PT Makmur Rekasantika Bandung meski masih dalam kapasitas kecil, tidak seperti di Malaysia yang telah memiliki Metro Knight di Johor, Eko Pulp dan Paper di Tawau, Sabah dan SEA Pacific Paper Tech di Kamunting, Perak. Ketiga Industri ini adalah penghasil produk pulp dan paper dari bahan baku TKKS.



**Gambar 14. Produksi Kertas dan Pulp TKKS**

*Sumber: Darnoko 1995*

- Then et.al (2013) membuat material Lignoselulosa sebagai biokomposit polimer dari campuran Poly Butylene Succinate (PBS) dan serat daging buah sawit; serta campuran antara PBS dan serat tandan kosong kelapa sawit melalui proses melt blending dan hot press. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa biokomposit dari campuran PBS dan serat daging buah sawit (mesocarp) memiliki nilai tensile strength, fleksure, impact strength dan modulus yang lebih tinggi sehingga sangat berpotensi sebagai material pengemas pengganti polietilena.



**Gambar 15. Bioplastik Kemasan Berbasis Sawit**

*Sumber: <https://gapki.id/>*

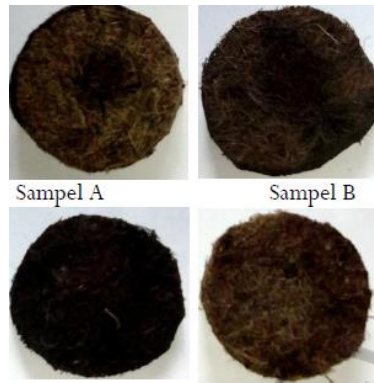
8. Lusianir (2014) memanfaatkan limbah TKKS dalam pembuatan papan komposit untuk produk-produk furniture yang ramah lingkungan. Bahan baku produknya selain serabut TKKS, juga menggunakan serbuk kayu sengon, resin epoksi dan PVAc. Melalui metode cold press dengan tekanan 300 kg.cm<sup>2</sup>, Ia berhasil membuat papan komposit terbaiknya yang memiliki densitas 0,973 g/cm<sup>3</sup>, tingkat kekerasan 26 N/mm<sup>2</sup>, elastisitas 904,745 N/mm<sup>2</sup> dan nilai impak 8,247 ki/m<sup>2</sup> dari serat TKKS yang berukuran panjang 15 mm.



**Gambar 16. Furniture dari TKKS**

*Sumber: Murdani, 2017.*

9. *Absorber* dari komposit serabut kelapa sawit dengan perekat PVAc yang dibuat oleh Wirman et.al (2016). Absorben ini dibuat dengan menggunakan metode tabung impedansi dengan nilai koefisien absorpsi tertinggi yang dapat dihasilkan sebesar 0,726 pada frekuensi 8000 Hz. Penemuan material ini memperlihatkan potensi yang besar untuk menghasilkan produk bermanfaat dari limbah serabut kelapa sawit untuk material komposit. Wirman et, al mengatakan bahwa semakin banyak jumlah serabut yang digunakan maka semakin baik produk ini dalam menyerap suara.



**Gambar 17. Sampel Komposit Wirman et al (2016) untuk Aplikasi Absorber**

10. Danso (2017) meneliti tentang pemanfaatan serabut sawit sebagai material komposit untuk penguat blok tanah. Menurutnya serabut sawit merupakan salah satu serat alami yang potensial untuk aplikasi bahan bangunan, khususnya untuk blok tanah. Serabut kelapa sawit yang berpori, dengan ukuran serat pendek dan bervariasi diameternya, memiliki kandungan selulosa yang lebih rendah dari serat kelapa dan serat ampas tebu. Ini yang menyebabkan serabut sawit lebih mudah untuk diekstraksi. Selain itu, serabut kelapa sawit memiliki daya serap air yang rendah yaitu sebesar 54% lebih rendah dari ampas tebu dan serat coconut, tensile strength lebih tinggi dari ampas tebu (bagasse) dan teksturnya lebih halus dari serabut kelapa. Keunggulan sifat fisis dan mekanisnya yang membuat serat dari serabut kelapa sawit cocok untuk aplikasi bahan bangunan. Danso juga mengemukakan bahwa blok tanah penguat bahan bangunan dari serabut sawit selain memberikan sifat material yang baik, juga bersifat ramah lingkungan. Selain itu, biaya produksinya juga diperkirakan akan lebih ekonomis serta aman dalam proses pembuatan dan penggunaannya. Namun demikian, karena kandungan minyaknya yang masih tinggi, maka perlu adanya treatment awal untuk proses penghilangan minyak dari

dalam serabut kelapa sawit, misalnya dengan cara pencucian dalam air hangat berulang kali sebelum dikeringkan dan siap sebagai bahan baku penguat komposit.



**Gambar 18. Contoh Blok Tanah dari Campuran Serat**

*Sumber: <https://optolov.ru>*

11. Teknologi produksi bioplastik dari selulosa TKKS yang dimodifikasi untuk meningkatkan sifat fisis dan mekanis dari bioplastik. Isroi et al (2017) telah berhasil membuat bioplastik dari TKKS dengan nilai kekuatan tarik  $265,37 \text{ kgf/cm}^2$ , modulus elasticity  $223,85 \text{ kgf/cm}^2$  dan ketahanan air  $14,19 \text{ g/m}^2.\text{jam}$ .



**Gambar 19. Lembaran Bioplastik dari Selulosa TKKS**

12. Pengolahan serat TKKS sebagai material tekstil dengan teknik rekarakit yang pernah dibuat oleh Murdani (2017). Murdani menciptakan produk kreatif melalui pilinan (tenunan) beberapa

helai serat TKKS yang sebelumnya telah melalui proses eksplorasi yang terdiri dari beberapa tahapan yaitu perontokan daging buah sawit, penumbukan tandan sawit, penjemuran TKKS. Lalu dilanjutkan dengan proses scouring bleaching yang terdiri dari tahapan perebusan serat, scouring dan bleaching.



**Gambar 20. Hasil Tenunan Serat TKKS**

*Sumber: Murdani, 2017*

Tandan sawit dapat dijadikan produk tekstil karena memiliki kelebihan yaitu panjang serat yang cukup stabil, kuat dan mudah menyerap warna. Murdani memanfaatkan kelebihan-kelebihan serat TKKS ini untuk tekstil interior seperti hiasan dinding, tempat tisu/koran dan kap lampu.

13. Apriani et al (2017) meneliti tentang sintesis membran selulosa asetat dari serat TKKS yang akan diaplikasikan untuk pengolahan air bersih melalui pemisahan reverse osmosis. Membran yang dibuat berasal dari serat TKKS yang telah diubah menjadi selulosa asetat. Pelarut yang digunakan ialah kloroform dengan tambahan bahan aditif yaitu Polietilena Glikol (PEG). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa karakteristik membran terbaik pada penambahan konsentrasi PEG 10% yang menunjukkan distribusi ukuran pori yang halus sehingga membran yang dihasilkan lebih rapat dibandingkan dengan penambahan konsentrasi lainnya. Akan tetapi nilai rejeksi yang



didapatkannya masih dibawah standar MWCO (*Molecular Weight Cut Off*) yaitu kurang dari 95%. MWCO adalah suatu batasan berat molekul yang dapat ditahan oleh suatu membran (Rohman et al, 2009). Berikut gambar produk membran selulosa asetat yang dihasilkan oleh Apriani et al:



**Gambar 21. Membran Selulosa Asetat Hasil Penelitian**

*Apriani et al (2017)*

14. Sintesis selulosa asetat sebagai membran polimer elektrolit pada baterai ion Litium adalah salah satu aplikasi pemanfaatan TKKS yang dilakukan oleh Nurhadini dan Arcana (2018). Kedua peneliti ini membuat selulosa asetat dengan metode asetilasi dan dari hasil penelitiannya kadar asetil yang dapat dicapai sebesar 27% yang setara dengan Derajat Substitusi (DS) 1,4. Membran polimer elektrolit Nurhadini dan Arcana dapat terdekomposisi pada temperatur di atas 260°C dan memiliki konduktivitas sebesar  $10,81 \times 10^{-4}$ , dan modulus young 0,35 MPa.



**Gambar 22. Contoh Membran Polimer Elektrolit**

Sumber: <http://parapenemuindonesia.blogspot.com>

15. Biokomposit polimer serat buah kelapa sawit dan cangkang untuk bahan kampas rem tromol (*Drum Brake Pad*) sepeda motor yang disintesis oleh Warman dkk (2019). Filler serat buah kepala sawit terlebih dahulu didelignifikasi dengan NaOH 10% untuk penghilangan minyak yang terdapat pada serat buah sawit. Kemudian filler ini disatukan dengan cangkang buah dan aluminium. Metode yang digunakan yaitu metode cetak tuang (*casting*) dilanjutkan dengan kompaksi melalui pemberian tekanan. Semua filler (cangkang sawit, serat buah sawit dan aluminium) dicampur dengan bahan pengikat dan diaduk sampai homogen. Proses pencetakan melalui penekanan 3 ton selama 30 menit. Setelah itu dilakukan pengeringan dan pengujian kekuatan lentur, kekerasan, koefisien keausan dan sifat thermal. Hasil penelitiannya diperoleh kekuatan lentur pada produk kampas rem tertinggi yaitu pada komposisi 70% filler (campuran cangkang, serat buah sawit dan aluminium) dan 30% pengikat poliuretan dengan kekerasan maksimum 69,33 HRB, koefisien keausan terendah  $2,85 \cdot 10^{-6}$  MPa dan ketahanan thermal hingga  $395^{\circ}\text{C}$ . Hasil tersebut dinyatakan layak pakai karena memenuhi persyaratan sebagai kampas rem berdasarkan SAE 1661.



**Gambar 23. Kampas Rem tromol Berbahan Baku Cangkang, Serat Buah Sawit dengan Perekat Poliuretan**

*Sumber: Penelitian Warman, dkk (2019)*

Perkembangan teknologi yang semakin meningkat, membuat penelitian terkait teknologi material diarahkan ke nanomaterial. Sebagai contoh selain dari produk-produk di atas misalnya mengenai desain bahan kemasan plastik berasal dari nanokomposit material dengan sifat-sifat mekanik yang kuat, ramah lingkungan (mudah terdegradasi), dan transparansi optik yang telah menjadi fokus penelitian selama 5 tahun terakhir. Hal ini tidak mengherankan bahwa nanomaterial dari jenis nanoselulosa memiliki potensi sebagai material penghalang (*barrier*) oksigen yang sangat baik untuk aplikasi bahan pelapis (*coating*).

Senyawa nanoselulosa hingga saat ini semakin banyak digunakan di industri maupun di kehidupan sehari-hari karena kemudahannya untuk dimodifikasi menjadi berbagai produk tanpa mengubah keunggulan-keunggulan sifatnya. Produk-produk tersebut antara lain:

#### **1. Nanokomposit untuk *Biomedical***

Nanokomposit ini terbuat dari campuran antara nanoselulosa dengan polivinil alkohol dan polivinil asetat. Semakin banyak nanoselulosa yang ditambahkan, sifat termal dan derajat kristalinitas semakin tinggi, terutama saat campuran polimer tersebut kering dan telah dicetak menjadi lembaran.

## **2. Material *biocompatible***

Material ini terbuat dari campuran nanoselulosa dengan *polyelectrolyte multilayer* (PEM). Lembaran yang dihasilkan memiliki sifat mekanik dan optik yang baik, sebagaimana penelitian yang pernah dilakukan oleh Cranston dan Gray (2006).

## **3. Material Titania**

Material ini terbuat dari nanoselulosa untuk titania berpori. Material ini memiliki luas permukaan yang besar hingga 170-200 m<sup>2</sup>/g yang dapat digunakan sebagai katalis dan pendukung katalis (Shin dan Exarhos, 2007).

## **4. Biomaterial Bidang Pangan**

Salah satunya yaitu bahan pengemas makanan yang terbuat dari nanoselulosa dan kitosan yang memiliki nilai kekuatan tarik (*tensile strength*) tinggi sebagaimana plastik kemasan makanan lainnya.

## **5. Polimer Komposit**

Contoh material ini yaitu nanokomposit dari poliureta dengan fraksi nanoselulosa rendah. Material ini memiliki kekuatan tarik dan modulus *young* yang tinggi.

## **6. Karbon Mesoporous**

Material ini memiliki peran dalam perangkat elektronik yaitu sebagai perangkat sensor gas, terbuat dari nanoselulosa yang dikomposit dengan lembaran SiO<sub>2</sub>.

## **7. Bahan Aktif Anti Racun**

Pada produk ini, nanoselulosa digunakan sebagai barier yang dapat memperkuat polimer komposit untuk bahan aktif anti racun. Nanokomposit ini terbuat dari nanoselulosa dengan asam polilaktik (PLA). Penelitian ini pernah dilakukan oleh Fortunati, et al (2012).

## 8. *Coating Material* Logam

Nanoselulosa dapat dikombinasikan dengan *shellac* untuk dijadikan sebagai material *coating*. Meski penelitian ini masih terus berkembang namun hasilnya telah dapat menjadi pencetus untuk perkembangan material-material *coating* di masa depan. Hasil dari penelitian telah ditemukan adanya peningkatan derajat kristalinitas dan ketahanan panas untuk perbandingan komposisi tertentu (Sukmawan dan Saputri, 2018).

## 9. Nanokomposit dari Nanokristal Selulosa (NKS)

Material ini diperoleh dari proses hidrolisis  $\alpha$ -selulosa dengan bantuan beberapa asam. Pada saat prosesnya, bagian amorf dari selulosa larut dan menyisakan bagian kristalinnnya dengan diameter dan panjang berukuran nano hingga beberapa mikrometer. Untuk produk material ini, Lima (2004) berhasil membuat nanokomposit berukuran 8 sampai 20 nm dan panjang sekitar 100 nm. Peng (2011) juga membuat NKS melalui proses hidrolisis asam sulfat dan asam klorida dan Ia membandingkan hasil keduanya. Dari hasil penelitiannya, NKS dari proses hidrolisis dengan asam sulfat lebih mudah terdispersi dalam larutannya dibandingkan dengan hidrolisis bantuan asam klorida yang cenderung lebih mudah tersuspensi dan terflokulasi. NKS yang dihasilkan dari penelitian-penelitian mereka berpotensi untuk biomaterial yang dapat digunakan dalam bidang kimia, makanan, farmasi dan lain-lain.

### D. Daftar Bacaan Tambahan

- Afriani, A., & Kardiansyah, T. (2015). Potensi dan peluang tandan kosong sawit sebagai bahan baku pulp dan kertas: Studi kasus di Indonesia. *Jurnal Selulosa*, 5(02), 79-88.
- Apriani, R., Rohman, T., & Mustikasari, K. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Membran Selulosa Asetat dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (Synthesis and Characterization of Cellulose Acetate Membranes from Oil Palm Empty Fruit Bunches). *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 9(2), 91-98.

- Billmeyer, W. 1971. *Textbook of polymer Science*. John Willey and Sons, New York.
- Bridgwater, T. (2006). Biomass for Energy. *J Sci Food Agric*, 86: 1755–1768
- Choon, K. K., Killmann, W., Choon, L. S., and Mansor, H. (1991). "Characteristics of the oil palm stem," *Oil Palm Stem Utilization*, K. Shaari, K. C. Khoo, and A. R. M. Ali (eds.), Forest Research Institute Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia, 15-28.
- Cranston, E. D., Derek G. 2006. Morphological and Optical Characterization of Polyelectrolyte Multilayers Incorporating Nanocrystalline Cellulose. *Biomacromolecules*. 7: 2522-2530.
- Danso, H. (2017). Properties of coconut, oil palm and bagasse fibres: as potential building materials. *Procedia Engineering*, 200, 1-9.
- Darnoko, Guritno, P., Sugiharto, A., Sugesty, S. 1995. Pembuatan Pulp dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Penambahan Surfaktan, *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 3(1), 75 – 87.
- Daud, W. R. W., & Law, K. N. (2011). Oil palm fibers as papermaking material: Potentials and challenges. *BioResources*, 6(1), 901-917.
- Dungani, R., Jawaid, M., Khalil, H. A., Jasni, J., Aprilia, S., Hakeem, K. R. & Islam, M. N. (2013). A review on quality enhancement of oil palm trunk waste by resin impregnation: Future materials. *BioResources*, 8(2), 3136-3156.
- Elly, Kurniati. 2008. "Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Arang Aktif". Teknik Kimia FTI, UPN. Jawa Timur.
- Fortunati, E, Peltzer, M., Armentano, I., Torre, L., Jiménez, A., Kenny, J. M. 2012. Effects of modified cellulose nanocrystals on the barrier and migration properties of PLA nano-biocomposites. *Carbohydrate Polymers*. 90: 948-956
- Harahap, H. H., Malik, U., Dewi, R. 2014. Pembuatan Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Menggunakan H<sub>2</sub>O sebagai Aktivator untuk Menganalisis Proksimat, Bilangan Iodine dan Rendemen. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau*, 1(2).

- Haryanti, A., Norsamsi, N., Sholiha, P. S. F., dan Putri, N. P. 2014. Studi pemanfaatan limbah padat kelapa sawit. *Konversi*, 3(2): 20-29.
- Hutabarat, U.J. 2014. Sifat mekanik komposit *fibreglass* dengan penguat serat sabut buh kelapa sawit berorientasi presentasi jumlah serat secara random. *Jurnal poliprosesi*. VIII (2): 1979 - 9241.
- Isroi, G. S., Eris, D. D., & Cahyaningtyas, A. A. (2018). Biodegradability Of Cassava Edible Bioplastics In Landfill And Plantation Soil. *Kimia dan Kemasan*, 40(2), 129-140.
- Jamasri, D. K., & Handiko, G. W. 2005. Studi Perlakuan Alkali Terhadap Sifat Tarik Komposit Limbah Serat Sawit-Poliester. *In Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin IV*, Universitas Udayana, Bali.
- Kirk, R.E. dan Othmer, D.F. 1993. *Encyclopedia of chemical technology*, Vol 3. Interscience Encyclopedia, New York.
- Lima, M.D. and R.Barsoli. 2004. Rodlike cellulose microcrystals : Structure, properties and applications. *Macromolecular Rapid Communications* 25(7) : 771 – 787.
- Lusiani, R., Sunardi, S., & Ardiansah, Y. (2015). Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Papan Komposit dengan Variasi Panjang Serat. *FLYWHEEL: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 2(1).
- Mark, H.F., Gaylord, N.G., dan Bikales, N.M. 1965. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. Interscience Publishers, New York.
- Marsh, H. dan Francisco R. R. 2006. Activated Carbon. Belanda: Elsvier Science & Technology Books.
- Moon, R. J. 2011. Cellulose Nanomaterials Review: Structure Properties and Nanocomposites. *Chemical Society*. 40: 3941-3994.
- Mu'jizah, S. (2010). Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Biji Kelor. *Moringa oleifera*. Lamk.

- Murdani, F. C., & Puspitasari, C. (2017). Pengolahan Tandan Kosong Kelapa Sawit (tkks) Sebagai Alternatif Material Tekstil Dengan Teknik Rekarakit Tekstil. *eProceedings of Art & Design*, 4(3).
- Noer, A. A., Awitdrus, A., & Malik, U. (2014). Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator H<sub>2</sub>O sebagai Adsorben (Doctoral dissertation, Riau University).
- Nurhadini, N., & Arcana, I. M. (2018). Synthesis Of Cellulose Acetate From Oil Palm Empty Fruit Bunch And Its Properties As Polymer Electrolyte Membranes On Lithium Ion Battery. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 15 (2), 111-117.
- Patent Landscape Report: Palm Oil Production and Waste Treatment Technologies. 2016. The Intellectual Property Corporation of Malaysia (MyIPO) and The Malaysian Palm Oil Board (MPOB).*
- Peng, B. L., Dhar, N. and Liu, H. L. 2011. Chemistry and application of nanocrystalline cellulose and its Derivates: A nanotechnology Perspective. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 11, 1191-1206.
- Putri, E., & Gea, S. (2018). Isolasi dan Karakterisasi Nanokistral Selulosa dari Tandan Sawit (*Elaeis Guineensis* Jack). *Elkawnie*, 4(1), 13-22.
- Rahman, A. (2019). *Penentuan Laju Biodegradasi Bioplastik dari Tandan Kosong Kelapa Sawit pada Lingkungan Alami dan Terkontrol* (Doctoral dissertation, Bogor Agricultural University (IPB)).
- Rohman, T., Baroroh, U., & Utami, L. (2009). Pengaruh Konsentrasi Kitosan terhadap Karakter Membran Kitosan. *Jurnal Sains Dan Terapan Kimia*, 2(1), 14–24.
- Schwarz, H. G. (1985). "Cement-bonded boards in Malaysia," *Fibre and Particleboards Bonded with Inorganic Binders*, Forest Products Research Soc., Madison, WI, USA, 91-93.
- Shin, Y.; Exarhos, G. J. 2007. Template synthesis of porous titania using cellulose nanocrystals. *Materials Letters*. 61: 2594–2597.
- SNI, 1995, SNI 06-3730-1995: Arang Aktif Teknis, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.



- Suherman, H. H. (2015). Pengoptimuman Parameter Proses Pembentukan Komposit Serat Buah Kelapa Sawit/Resin Polyester Menggunakan Metode Taguchi. *Abstract Of Undergraduate Research, Faculty Of Industrial Technology, Bung Hatta University*, 6(2).
- Sukmawan, R., Saputri, L.H., Rochmadi, R. dan Rochardjo, H.S.B. 2018. The Effects of the Blending Condition on the Morphology, Crystallinity, and Thermal Stability of Cellulose Microfibers Obtained from Bagasse. *Indonesian Journal of Chemistry*. 19(1): 166-175.
- Susanto, A., & Yanto, T. 2013. Pembuatan Briket Bioarang Dari Cangkang Dan Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 6(2).
- Teck, C. L., and Ong, C. L. (1985). "Particleboard from oil palm trunk," *PORIM Bulletin* 11, 99-108
- Then, Y. Y., Ibrahim, N. A., Zainuddin, N., Ariffin, H., Yunus, W., & Zin, W. M. (2013). Oil palm mesocarp fiber as new lignocellulosic material for fabrication of polymer/ fiber biocomposites. *International Journal of Polymer Science*, 2013.
- Ul Haq Bhat, I. Abdullah, C. K., Abdul Khalil, H. P. S., Hakimi Ibrahim, M., and Nurul Fazita, M. R (2010). "Properties enhancement of resin impregnated agro waste: Oil palm trunk lumber," *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 29(22), 3301- 3308.
- Wahono, B. 2008. Pengaruh Perlakuan Alkali (NaOH) Terhadap Karakteristik Komposit Serat Buah Kelapa Sawit. *Poliester: Berita Teknologi Bahan dan Barang Teknik*, (22).
- Wardani, L., Massijaya, M. Y., & Machdie, M. F. (2012). Pemanfaatan Limbah Batang Kelapa Sawit dan Plastik Daur Ulang sebagai Bahan Baku Papan Plastik Komposit. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 10, 51-59.
- Warman, W., Darmadi, H., Abdillah, A., & Safitri, S. (2019). Pengembangan Bahan Kampas Rem Tromol (Drum Brake Pad) Sepeda Motor Berbahan Dasar Komposit Cangkang dan Serat

- Buah Kelapa Sawit dengan Poliuretan sebagai Pengikat. *Ready Star*, 2(1), 122-129.
- Wijaya, E. 2005. *Pemanfaatan Karbon Aktif Tempurung Kenari Sebagai Adsorben 4-Klorofenol Dalam Air*. [Skripsi]. Makassar: Jurusan Kimia, Fmipa, Universitas Hasanuddin.
- Wirman, S. P., Fitri, Y., & Apriza, W. (2016). Karakterisasi Komposit Serat Sabut Kelapa Sawit dengan Perekat PVAC sebagai Absorber. *Journal Online of Physics*, 1(2), 10-15.

#### **E. Pertanyaan Kunci**

1. Sebutkan beberapa contoh produk material yang dapat dibuat dari serabut dan cangkang kelapa sawit!
2. Jelaskan beberapa metode yang dapat digunakan untuk membuat produk komposit *fiber glass* dari serabut!

#### **F. Soal**

1. Produk material apa saja yang dapat dikembangkan dari cangkang kelapa sawit?
2. Apa kelebihan dari cangkang sawit sehingga limbah ini berpotensi untuk dijadikan sebagai karbon aktif?
3. Sifat mekanis apa saja yang harus dimiliki oleh komposit *fiber glass* sehingga produk ini layak untuk diproduksi?

#### **G. Tugas**

1. Mencari 5 jenis produk material yang dapat dihasilkan limbah padat kelapa sawit (cangkang, pelepah, serabut, TKKS dan BKS) beserta dengan proses pembuatannya!
2. Mencari artikel di suatu jurnal terkait produk bioplastik berbahan baku limbah sawit, membuat rangkuman dan mendiskusikannya pada saat pertemuan selanjutnya.

# BAB IV

## SELULOSA DAN NANOSELULOSA

### A. Kompetensi Dasar dan Indikator

#### Kompetensi Dasar:

Menunjukkan sifat kimia selulosa dan nanoselulosa, pengaruh ukuran partikel dengan ikatan kimia dan metode pembuatan selulosa menjadi nanoselulosa.

#### Indikator:

1. Menjelaskan sifat kimia selulosa dan nanoselulosa dan perbedaan di antara keduanya.
2. Menjelaskan pengaruh ukuran partikel suatu zat dengan ikatan kimia yang terbentuk dan kaitannya dengan sifat mekanis produk material yang dihasilkan.
3. Menjelaskan metode isolasi selulosa dan pembentukan nanoselulosa.

### B. Deskripsi Singkat

Bab ini menjelaskan perbedaan antara selulosa dan nanoselulosa, beserta sifat-sifat kimia, fisis dan mekanis yang dimilikinya. Sifat kimia secara tidak langsung akan mempengaruhi sifat fisis dan mekanis dari suatu material dan begitu pula sebaliknya. Sebagai contoh, semakin kecil ukuran partikel dari suatu material maka akan semakin kuat pula ikatan kimia yang terbentuk, sehingga ini akan berpengaruh pada sifat mekanis material seperti sifat kekuatan tarik, sifat kekerasan material dan sebagainya. Selain itu, pada bab ini juga akan diuraikan tahapan-tahapan dalam isolasi selulosa dan fungsi dari tiap-tiap tahapannya. Sementara untuk mengubah selulosa menjadi nanoselulosa akan dilakukan melalui proses mekanis yang dapat memperkecil ukuran serat selulosa yang

telah diisolasi dari yang berukuran mikro menjadi berukuran nano. Pada akhir bahasan juga akan diberikan dua contoh analisa yang masing-masing berguna untuk mendeteksi perubahan gugus fungsi pada serat selulosa dan memperkirakan banyaknya serat nanoselulosa yang terbentuk melalui perhitungan derajat kristalinitasnya.

### C. Materi

Selulosa dan nanoselulosa hanya berbeda dari segi ukuran partikel penyusunnya, namun senyawa penyusun atau monomer utamanya tetap sama yaitu glukosa. Sebagaimana halnya selulosa, *Cellulose NanoFibers* (CNF) atau nanoselulosa juga dapat diisolasi dari serat alami tumbuhan. Nanoselulosa merupakan material yang mengalami peningkatan kristalinitas, sifat dispersi, luas permukaan dan sifat degradasi bila dibandingkan dengan selulosa. CNF memiliki kekuatan mekanik menyerupai serat sintetis aramid. Oleh karena sifat kekuatan mekaniknya yang tinggi, CNF dapat diaplikasikan sebagai bahan penguat untuk menciptakan produk material yang kuat seperti filler polimer, aditif produk *biodegradable*, penguat membran, pengental dispersi dan *coating* obat-obatan. Baik selulosa maupun nanoselulosa, keduanya merupakan material yang 100% ramah lingkungan (*completely environmentally friendly*). Selulosa dapat dikonversi ke struktur nano yang berbeda dengan berbagai sifat fisik, tergantung pada asal selulosa dan cara memperolehnya.

Banyak penelitian yang dilakukan dalam pembuatan dan pemanfaatan CNF dalam berbagai aplikasi polimer. Sebagai contoh, *Homogenizing processes* yaitu proses pemurnian larutan suspensi selulosa memanfaatkan gaya geser dan dampak di bawah tekanan tinggi. Proses mekanik ini menghasilkan struktur mikro dari serat selulosa, *microfibrillated cellulose* (MFC), dengan diameter antara 20 dan 100 nm dan panjang beberapa puluh mikrometer. Namun, serat yang dihasilkan dari proses ini memiliki tingkat kerusakan yang tinggi, proses ini juga memerlukan energi yang besar. Perlakuan ini pernah dilakukan oleh Siro dan Plackett pada tahun 2010. Contoh kedua yaitu perlakuan ultrasonik. Perlakuan ini telah mampu menghasilkan serat

selulosa berukuran mikro/nano dari larutan suspensi selulosa dengan waktu perlakuan ultrasonik sekitar 7 jam (Tonoli, dkk., 2012). Contoh ketiga yaitu proses konvensional hidrolisis berbasis konsentrasi asam tinggi. Hasil struktur nano ini dikenal sebagai “whiskers” yang teridentifikasi sebagai struktur seperti jarum dengan derajat kristalisasi yang tinggi dan kekuatan tarik yang tinggi. Akan tetapi, proses ini menggunakan perlakuan kimia yang korosif dan dapat menyebabkan penurunan derajat polimerisasi pada selulosa. Contoh keempat yaitu proses mekanis menggunakan blender rumah tangga untuk memperoleh struktur CNF. Proses ini diperkenalkan oleh Galati (1989) dan Uetani yang kemudian dianggap sebagai orang pertama yang menggunakan blender rumah tangga (*household blender*) untuk memperoleh nanoselulosa. Di bidang kemasan pangan, aplikasi teknologi nano pertama kali juga diuji coba pada selulosa, ini karena selulosa dipercaya memiliki beberapa keunggulan dan mampu mempertahankan keunggulannya ini meski telah diubah ukurannya menjadi partikel yang lebih kecil (berukuran nano), terutama dalam hal penggunaan energi dalam proses pabrikasinya (podsiadlo et al, 2015). Bahkan Dufresne et al (2000) menemukan bahwa selulosa dalam bentuk CNF mampu memperbaiki sifat modulus dan kekuatan polimer, khususnya pada suhu di atas transisi gelas dari suatu matriks polimer. Kekuatan polimer ini tidak lain disebabkan karena terbentuknya ikatan hidrogen pada CNF. Setiap serat nanoselulosa memiliki struktur kristalin maupun amorf. Namun struktur amorfnya dapat diisolasi dengan bantuan suatu asam melalui beberapa perlakuan hingga menghasilkan serat nano yang bentuk fisiknya halus dan berstruktur kristalin. Serat-serat nano kristalin akan mampu meningkatkan kemampuan turtoisity dalam material polimer sehingga memperlambat proses difusi dan pada akhirnya dapat menurunkan sifat permeabilitas (Sanchez-Garcia et al, 2008). Selain itu, partikel nano berukuran kristalin juga dapat menyebabkan luas area antar muka polimer menjadi lebih luas dan besar. Dampaknya akan dapat mengubah sifat pergerakan molekuler pada saat proses polimerisasinya dan membuat material produk yang dihasilkan

menjadi lebih fleksibel, serta memiliki sifat thermal dan mekanis yang lebih baik (Luduena et al, 2007)

Sementara itu, untuk menghasilkan nanoselulosa umumnya terlebih dahulu diawali dengan proses ekstraksi selulosa dari bahan bakunya. Khusus untuk selulosa yang sumbernya dari limbah sawit, isolasi selulosa dapat dilakukan pada limbah padat kelapa sawit yang mengandung kadar selulosa di atas 40%. Limbah padat yang dimaksud bila mengacu pada BAB I yaitu batang kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit, pelepah sawit dan serabut hasil pengepresan di alat *screw press* PKS.

Pada umumnya, selulosa diekstrak/diisolasi melalui tahap delignifikasi dan *bleaching*. Delignifikasi merupakan proses yang bertujuan untuk menghilangkan komponen selain selulosa pada serat limbah batang kelapa sawit dengan perlakuan alkali. Jenis larutan alkali yang paling banyak digunakan bermacam-macam larutan NaOH, larutan  $\text{NaNO}_2$ , larutan  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  dan variasi larutan-larutan tersebut. Ada beberapa peneliti yang menggabungkan antara larutan  $\text{HNO}_3$  dan  $\text{NaNO}_2$  untuk menghilangkan lignin dari serat TKKS, dan ada juga yang menggunakan kombinasi larutan NaOH dan  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  pada konsentrasi tertentu untuk menghilangkan lignin sekaligus garam-garam mineral dan abu yang terikat pada serat TKKS. Namun dari sekian banyak penelitian, mayoritas peneliti menggunakan larutan NaOH pada berbagai variasi konsentrasi, baik itu dengan campuran larutan lain ataupun tidak. Larutan NaOH dipilih karena dapat memutus struktur kristalin lignin dan struktur *amorf* hemiselulosa sehingga kedua senyawa ini dapat dipisahkan dari ikatan panjang rantai karbon yang terkandung dalam serat kelapa sawit. Selama perlakuan alkali, kation  $\text{Na}^+$  dapat memasuki pori terkecil selulosa dan mempermudah terjadinya reaksi pemutusan ikatan antar senyawa-senyawa dalam serat BKS. Polisakarida dengan ikatan  $\beta$ -1,4 glikosida dan hemiselulosa akan terdegradasi dengan mekanisme pemutusan ikatan dari ujung ke ujung dan pada akhirnya yang tersisa hanya rantai  $\alpha$ -selulosa. Tahap delignifikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Jenis bahan pengurai lignoselulosa  
Bahan yang dapat digunakan bervariasi, bisa tergantung pada jenis metode yang dipilih. Untuk Chemical method dapat menggunakan asam fosfat, asam klorida, asam sulfat, campuran larutan NaOH dan  $\text{Na}_2\text{S}$ , campuran larutan  $\text{NaHSO}_3$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_3$ , larutan alkali (bisa berupa NaOH) bertekanan tinggi, atau menggunakan pelarut organik seperti asam asetat, etanol, metanol dan sejenisnya. Namun bila memilih semi-chemical method, dapat menggunakan bahan seperti campuran  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  atau menggunakan NaOH dingin (suhu kamar). Jadi tidak selalu menggunakan larutan-larutan yang telah disebutkan sebelumnya. Ketepatan pemilihan jenis bahan pengurai atau pemutus rantai lignoselulosa akan mempengaruhi kemudahan dalam proses bleaching. Namun sekali lagi yang harus diingat bahwa kemudahan keseluruhan proses dan jumlah rendemen selulosa yang dihasilkan tergantung pada sumber selulosanya.
2. Waktu delignifikasi  
Biasanya waktu proses delignifikasi sekitar 1-3 jam, namun bisa dilakukan bertahap pada setiap jamnya, untuk mempermudah dalam mengamati perubahan pada serat yang diproses dan mengantisipasi penggunaan larutan yang berlebihan.
3. Suhu delignifikasi  
Temperatur yang digunakan umumnya antara suhu 70-90°C.

Setelah tahap delignifikasi, selulosa disaring dan dibilas, hingga menghasilkan serat berwarna coklat. Warna coklat ini mengindikasikan masih ada sisa lignin yang terikat dalam selulosa. Untuk menghilangkan sisa lignin pada serat selulosa setelah delignifikasi, maka dilakukan proses pemutihan (*bleaching*) dengan bantuan beberapa larutan, bisa dari kelompok senyawa peroksida seperti  $\text{H}_2\text{O}_2$  atau  $\text{Na}_2\text{O}_2$ , atau bisa juga dari kelompok senyawa klorin seperti gas chlorine, chlorine dioxide dan larutan NaOCl.

Secara umum proses bleaching memiliki beberapa metode. Metodenya tergantung pada larutan kimia yang digunakan beserta katalisnya. Ada 9 metode bleaching yang terkenal, antara lain:

1. Metode C, yaitu metode bleaching yang menggunakan bahan pemutih berupa senyawa  $\text{Cl}_2$  dalam kondisi asam (katalis asam).
2. Metode E, yaitu menggunakan ekstraksi alkali (menggunakan larutan alkali seperti  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$  dan sebagainya) dalam kondisi basa.
3. Metode D, yaitu dengan Klorin Dioksida ( $\text{ClO}_2$ ) dalam suasana asam.
4. Metode O, yaitu dengan Oksigen dalam suasana basa.
5. Metode H, yaitu dengan senyawa hipoklorit dalam suasana basa.
6. Metode P, yaitu dengan senyawa peroksida (bisa dalam bentuk  $\text{Na}_2\text{O}_2$  atau  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) dalam suasana basa.
7. Metode Z, yaitu dengan senyawa ozon dalam suasana asam
8. Metode X (xylanase), yaitu dengan bantuan enzim
9. Metode Q (Helation), yaitu penghilangan senyawa anorganik pada serat selulosa.

Larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  lebih banyak digunakan karena larutan ini bila di dalam larutan akan terurai menjadi  $\text{H}_2\text{O}$  dan gas  $\text{O}_2$ , gas  $\text{O}_2$  sangat efisien dalam proses *bleaching*, karena *low cost*, mampu memisahkan banyak lignin dengan cukup baik dan hanya sedikit menimbulkan pencemaran lingkungan. Konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang dapat digunakan berkisar antara 4-6%. Akan tetapi, proses *bleaching* dengan bantuan larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang optimal diperoleh pada konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  5%. Pada konsentrasi ini juga dihasilkan selulosa dengan struktur kristalin yang cukup tinggi. Setelah selesai *bleaching*, didapatkan selulosa BKS yang berwarna lebih terang dari sebelumnya (kekuningan). Warna terang ini menunjukkan bahwa pigmen serta lignin sudah larut sehingga didapatkan selulosa dengan kemurnian tinggi dengan tingkat kecerahan yang tinggi pula. Selulosa yang didapatkan dari proses ini, kemudian dicuci bersih berulang-ulang hingga mencapai pH netral. Kontrol pH menjadi hal yang penting karena pH asam dapat menyebabkan degradasi pada selulosa saat proses delignifikasi maupun *bleaching* sehingga rendemen selulosa yang dihasilkan menjadi rendah. Ada beberapa penyebab terjadinya degradasi pada selulosa pada saat isolasi, penyebab-penyebab tersebut antara lain:



1. Faktor tingkat keasaman larutan di proses delignifikasi dan *bleaching*

pH asam akan membuat selulosa terhidrolisis menjadi senyawa-senyawa dengan berat molekul yang rendah. Apalagi bila didukung dengan temperatur yang tinggi dan waktu proses yang cukup lama. Tingkat kereaktifan asam dalam memutus rantai selulosa bermacam-macam, tergantung pada tingkat kekuatan dan konsentrasi asam. Bila menggunakan jenis bahan delignifikasi dan *bleaching* berupa asam ataupun larutan yang mengandung anion asam maka akan memberikan efek yang berbeda-beda, misalnya asam sulfat yang akan menyebabkan selulosa berbentuk gelatin atau asam nitrat yang menyebabkan selulosa membentuk ester. Bentuk senyawa yang dihasilkan ini akan berbeda lagi bila menggunakan jenis asam lainnya.

2. Adanya bahan oksidator

Bahan oksidator juga dapat menyebabkan degradasi pada rantai selulosa sehingga membentuk molekul-molekul kecil yang sering disebut dengan oksiselulosa. Bahan oksidator akan menentukan molekul yang terbentuk, misalnya: oksida asam dalam bentuk  $\text{NO}_2$ , yang bila mengoksidasi hidroksil primer pada selulosa akan menghasilkan senyawa aldehyd dan kemudian akan membentuk asam karboksilat dengan rantai yang tentunya lebih pendek daripada selulosa. Contoh oksidator lainnya yaitu klorin yang dapat membantu mengoksidasi gugus karboksil dan karbonil. Oksidasi pada gugus karbonil pada aldehyd akan menyebabkan terbentuknya gugus karboksil dan bila gugus karboksil teroksidasi maka akan terurai menjadi gas  $\text{CO}_2$  dan air.

3. Faktor panas.

Faktor panas lebih besar mendegradasi selulosa dibandingkan 2 faktor di atas. Selulosa yang dikeringkan pada suhu tinggi akan kehilangan sifat higroskopisnya. Hal ini disebabkan karena bertambahnya ikatan hidrogen antara molekul-molekul selulosa yang berdekatan akibat terbentuknya ikatan kimia antar gugus hidroksilnya.

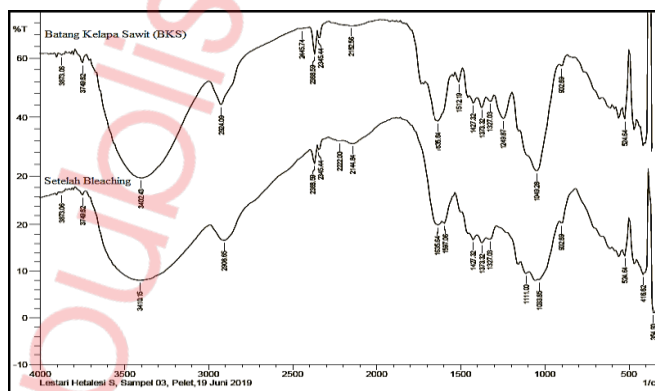
Berikut salah satu metode yang pernah dilakukan oleh peneliti dan mungkin bisa menjadi gambaran dalam sintesis nanoselulosa dari Batang Kelapa Sawit (BKS) tua:

BKS tua hasil *replanting* perkebunan kelapa sawit dipotong/ dicacah menjadi beberapa bagian. Kemudian BKS dikeringkan dan dihaluskan dengan menggunakan *grinder*. Alat ini menyerupai Stone Ground Wood (SGW) di pabrik pulp and Paper. Setelah itu dilakukan pengujian kadar air, karena kadar air yang baik untuk ekstraksi selulosa yaitu sekitar 4-5%. Bila kadar air BKS masih tinggi, maka perlu dilakukan pengeringan ulang. Bila sudah tercapai kadarnya, maka serat BKS dicuci dengan air sambil dilakukan pemanasan dan pengadukan pada suhu 70-80°C selama 1 jam. BKS lalu dicuci bersih pada air mengalir sambil disaring. Selanjutnya dilakukan proses delignifikasi larutan Natrium hidroksida (NaOH) berkonsentrasi 5% pada suhu kamar dan diaduk selama 3 jam (terdiri dari 3 kali tahapan pada setiap jamnya, beserta pencucian di air mengalir dan screening) untuk menghilangkan hemiselulosa yang terdapat pada serat. Setelah proses delignifikasi kemudian dilanjutkan tahap bleaching dengan larutan Hidrogen Peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) dalam keadaan basa. Pembuatan kondisi basa pada H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dapat dilakukan melalui penambahan larutan NaOH pekat hingga pH menjadi 11. Proses bleaching dilakukan dengan total waktu 2 jam (terdiri dari 2 kali tahapan pada setiap jamnya, beserta pencucian di air mengalir dan screening) sampai dipanasi dengan suhu 80°C agar benar-benar menghilangkan lignin yang terdapat pada serat BKS. Larutan pemutih yang digunakan untuk setiap tahapnya memiliki perbandingan dengan serat yang akan dicuci yaitu 4:1 dan setiap tahap harus diganti larutan kimianya dengan perbandingan yang tetap. Tujuan pencucian di air mengalir sampai beberapa kali agar pH serat selulosa menjadi netral. Tahap pembuatan nanoselulosa dimulai dengan perlakuan mekanik menggunakan blender rumah tangga (*household blender*) pada kecepatan putar 21.000 rpm. Larutan suspensi dengan kadar suspensi 0,4 % dari berat serat selulosa BKS di *blend* selama 10 menit. Lalu dilanjutkan dengan proses ultrasonikasi selama 15 menit. Pulp nanoselulosa diperoleh

dengan penyaringan menggunakan *vacuum filter* dan kemudian dikeringkan pada suhu 70°C menggunakan oven selama 6 jam. Untuk memastikan kandungan nanoselulosa terbentuk setelah treatment delignifikasi dan bleaching, maka dilakukan analisis gugus fungsi dengan alat FTIR (Fourier Transform Infra Red), analisa derajat kristalinitas dengan XRD (X-Ray Diffraction) dan analisis karakteristik morfologi menggunakan SEM (Scanning Electron Microscopy).

Pada dasarnya, untuk mendapatkan selulosa maka harus dilakukan pemutusan ikatan rantai pada serat limbah padat kelapa sawit. Keberhasilan pemutusan ikatan rantai pada serat dapat dibuktikan melalui uji FTIR (*Fourier Transform Infra Red*). Uji ini akan mendeteksi keberadaan senyawa lignin dan hemiselulosa setelah proses isolasi selulosa. Bila kedua senyawa ini tidak ditemukan lagi pada spektra FTIR, maka proses isolasi selulosa telah berjalan dengan baik. Salah satu contoh analisa FTIR pada batang kelapa sawit sebelum dan setelah isolasi dapat dilihat pada Gambar 6.

Keberadaan lignin, hemiselulosa dan selulosa pada serat BKS terlihat pada beberapa puncak yang menunjukkan ciri khas dari ketiga senyawa, meskipun ada beberapa puncak atau panjang gelombang lainnya sebagai pendukung untuk membuktikan kebenaran dari analisa puncak yang khas dari ketiga senyawa tersebut.



**Gambar 24. Hasil Analisa FTIR Serat BKS dan Sampel BKS Setelah Bleaching**

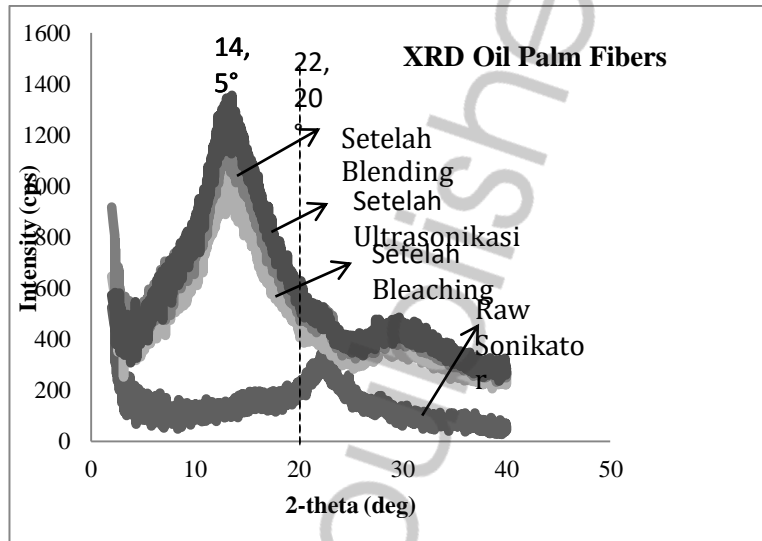
Spektra di atas memperlihatkan adanya perbedaan antara spektra IR sebelum dan setelah *treatment* ekstraksi. Pada spektra IR sebelum *treatment* di atas, menunjukkan adanya bilangan gelombang C=O ester pada bilangan gelombang sekitar 1740  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan gugus ester khas hemiselulosa dan bilangan gelombang 1512,19  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan serapan C=C cincin aromatik khas lignin. Sementara pada spektra sampel setelah *bleaching*, puncak ester hemiselulosa menghilang dan puncak cincin aromatik lignin melemah. Lemahnya kedua puncak tersebut mengindikasikan bahwa hemiselulosa dan lignin semakin berkurang atau bahkan hilang setelah proses *bleaching*.

Tabel berikut dapat digunakan sebagai panduan untuk mempermudah dalam analisa kandungan selulosa, lignin dan hemiselulosa pada bahan baku serat, termasuk serat sawit, ditinjau dari kisaran panjang gelombang untuk masing-masing ikatan penyusun ketiga senyawa.

**Tabel 9. Panduan Analisa Kandungan Lignin, Hemiselulosa dan Selulosa Menggunakan FTIR.**

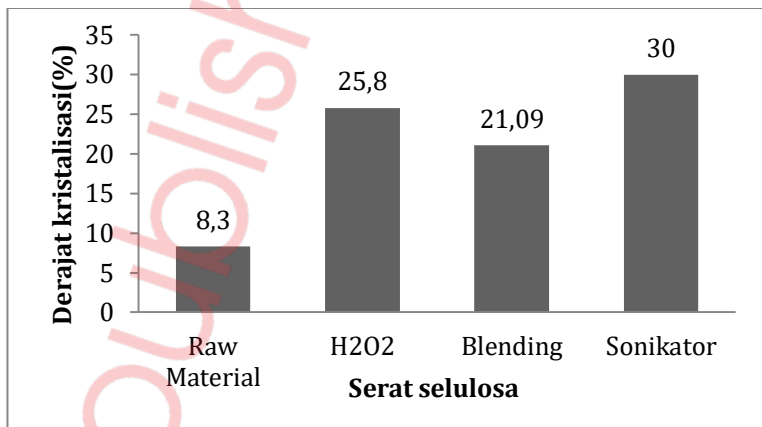
Ikatan Kimia	Kisaran panjang gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Ikatan Penyusun Senyawa
C=C	1680-1580	lignin
C=O	1850-1640	lignin dan hemiselulosa
C-O	1050-1150	selulosa
C-H bend	1380-1360	selulosa, lignin, hemiselulosa
C-H stretch	2910	selulosa, lignin, hemiselulosa
C-H rangkap	3300-2700	lignin
C-C stretch	1249-1238	lignin dan hemiselulosa
O-C-H bend dan $\text{CH}_2$	1420	selulosa kristalin
O-H stretch	3600-3400	selulosa, lignin, hemiselulosa
$\text{CH}_2$ ring	1320	selulosa
COC, CCO, CCH stretch	897	selulosa, hemiselulosa

Sementara untuk mengetahui seberapa banyak nanoselulosa yang dihasilkan, umumnya menggunakan uji XRD (*X-ray difraktogram*). Sebagai contoh hasil XRD yang membuktikan nanoselulosa hasil proses *blending* dan sonikasi dari BKS, dapat dilihat pada hasil uji berikut:



**Gambar 25. X-ray Difraktogram Serat Selulosa dari BKS Sebelum dan Sesudah Mengalami Perlakuan Kimia dan Mekanik**

Dengan menghitung luas area pada kurva di atas, maka didapatkan % derajat kristalinitas sebagai berikut:



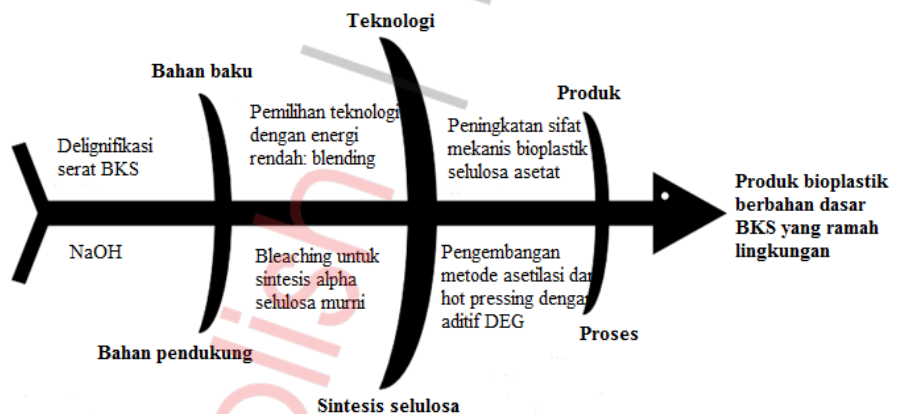
**Gambar 26. Derajat Kristalisasi Serat Sebelum (Raw Material) dan Sesudah Mengalami Perlakuan Kimia dan Mekanis**

Derajat kristalisasi serat BKS setelah mengalami perlakuan kimia dengan NaOH dan diikuti oleh *bleaching* ( $H_2O_2$ ) meningkat signifikan menjadi 25,8%. Hal ini menunjukkan efektifitas dari perlakuan NaOH yang menghilangkan hemiselulosa dan sebagian lignin yang kemudian diikuti perlakuan  $H_2O_2$  yang menghilangkan keseluruhan lignin yang merupakan bagian non kristal (*amorphose*). Perlakuan *blending* menyebabkan sedikit penurunan derajat kristalisasi menjadi 21,09%. Hal ini dimungkinkan karena proses *blending* memisahkan sebagian serat-serat yang berukuran besar (9-10 $\mu$ ) sesudah mengalami perlakuan kimia menjadi serat yang lebih kecil berukuran 5 $\mu$ . Ada sebagian serat yang mengalami kerusakan akibat benturan dengan pisau blender saat proses *blending* yang mungkin berpengaruh secara internal pada transisi struktur kristal pada serat menjadi *amorphose* yang berpengaruh penurunan derajat kristalisasi. Sementara proses sonikator efektif memperkecil sebagian ukuran serat selulosa menjadi 2-3 $\mu$  dan mengurangi bagian *amorphose* dan menyisakan bagian struktur kristal yang lebih banyak dibandingkan tahapan proses sebelumnya. Struktur kristal banyak diharapkan untuk produk-produk yang penyusun molekulnya berukuran nano karena struktur ini memiliki keteraturan yang baik dengan sedikit ataupun tanpa percabangan. Terkadang juga struktur kristal mengandung gugus-gugus yang sangat polar yang dapat menimbulkan interaksi dipol-dipol yang sangat kuat. Produk-produk polimer termasuk juga selulosa, bila memiliki struktur kristal umumnya bersifat lebih keras, lebih kuat, lebih tahan terhadap pelarut dan massa jenisnya lebih tinggi daripada produk berstruktur amorfus. Semakin tinggi derajat kristalinitas, maka sifat-sifat mekanis dari serat yang dihasilkan akan semakin unggul. Dalam hal pemrosesan nanoselulosa untuk menjadi selulosa asetat, maka sifat kristalin akan menguntungkan dalam proses pembentukannya. Viskositas yang rendah karena keteraturan susunan molekul, membuat selulosa lebih cepat untuk diproses menjadi selulosa asetat dan bahkan bioplastik nantinya.

Dari hasil-hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa isolasi selulosa dengan bantuan NaOH dan  $H_2O_2$  efektif dalam menghasilkan selulosa murni dari serat limbah BKS. Selain itu, proses

*blending* dan sonikasi mampu mengubah ukuran serat selulosa dari berukuran mikro menjadi nano. Semakin kecil ukuran partikel dari zat yang bereaksi, maka ikatan kimia yang terbentuk akan semakin kuat. Ikatan kimia akan berpengaruh ke sifat mekanis. Suatu zat yang memiliki ikatan kimia yang kuat, maka akan memiliki sifat mekanis yang baik. Oleh karena itulah, maka kemajuan teknologi material saat ini semakin berkembang ke arah nanomaterial.

Nanoselulosa yang dihasilkan dari salah satu metode tersebut dapat menjadi langkah awal dalam menciptakan produk bioplastik berjenis selulosa asetat. Bukan hanya produk plastiknya namun proses pembuatannya juga bersifat ramah lingkungan. Pengubahan ukuran selulosa dengan metode *blending* juga memiliki kelebihan dalam hal penghematan energi, karena yang digunakan adalah blender rumah tangga. Hal ini sejalan dengan prinsip *Eco Efficiency*.



**Gambar 27. Salah Satu Contoh Target Produk Berbahan Nanoselulosa**

Secara garis besar, roadmap penelitian penulis bersama tim sejak tahun 2007 hingga target tahun 2020 ini dalam pengembangan produk-produk material berbahan selulosa, ditunjukkan oleh tabel berikut:

**Tabel 10. Roadmap Penelitian**

2007-2010	2017-2018	2019	2020
<p>Sintesis Plastik yang dapat Terbiodegradasi dari Hasil Modifikasi LLDPE dengan Bahan Alam (melalui pendanaan hibah kompetensi dari DIKTI untuk UII, dengan nama tim: Hasnah Muin, Lestari Hetalesi dan Denis Prifina Ilhami)</p>	<p>1. Isolasi Nanoselulosa dari Ampas Tebu (melalui penadaan Hibah Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi (PEKERTI) yaitu antara Dosen Politeknik LPP dengan UGM, dengan nama tim: Romi Sukmawan, Lestari Hetalesi, Rochmadi dan Heru Santoso Budi Rochardjo)</p> <p>2. Sintesis Bioplastik dari Campuran Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Ampas Tebu (Lestari Hetalesi Saputri, Koko Andriano Saputra dan Desky Wulanjari)</p>	<p>Sintesis Bioplastik (Selulosa Asetat) dari Limbah Batang Kelapa Sawit (BKS) Hasil Replanting Perkebunan Sawit (melalui pendanaan Penelitian Dosen Pemula, dengan nama tim: Lestari Hetalesi Saputri dan Romi Sukmawan)</p>	<p>Sintesis Selulosa Asetat Dari Limbah BKS Untuk Pembuatan Material Membran (Lestari Hetalesi Saputri)</p>



Penelitian pembuatan (sintesis) bioplastik dari bahan alam maupun paduannya dengan bahan sintetis telah dimulai oleh penulis dan Dr. Hasnah Muin sejak tahun 2007. Berbagai upaya telah dilakukan dengan memanfaatkan bermacam-macam bahan alam seperti serbuk gergaji, pati, serat nanas dan *clay*. Bahan-bahan alam tersebut dikombinasi dengan LLDPE maupun HDPE demi menjaga kualitas sifat mekanis plastik kemasan yang dihasilkan. Namun demikian, hasilnya masih belum memuaskan meskipun sudah mulai terlihat adanya kenaikan sifat mekanis yang mendekati plastik sintetis yang sudah ada. Kemudian penulis mencoba untuk mendapatkan bahan baku untuk produk-produk polimer dari serat selulosa karena berdasarkan referensi, potensinya untuk menjadi bahan baku bioplastik cukup besar. Uji coba pertama yang dilakukan yaitu dengan bahan ampas tebu. Hasil penelitian tersebut telah didapatkan serat nanoselulosa meski masih dalam jumlah yang masih sedikit, hanya sekitar 30% dari total bahan baku yang diolah. Kemudian pengembangan metode dilakukan pada tahun 2018 namun dengan bahan baku berupa campuran ampas tebu dan tandan kosong kelapa sawit. Hasil nanoselulosa yang didapatkan semakin meningkat dari sebelumnya. Namun karena tahun 2019 ada permasalahan besar di industri terkait limbah BKS, akhirnya metode ini kembali dikembangkan lagi dengan penambahan metode ultrasonikasi untuk mendapatkan nanoselulosa dari BKS. Hasil penelitian lalu dituangkan dalam buku referensi ini, seperti yang telah disampaikan sebelumnya.

#### **D. Daftar Bacaan Tambahan**

- Dufresne, A., D. Dupeyre and M.R. Vignon. 2000. Cellulose Microfibrils From Potato Tuber Cells : Processing And Characterization Of Starch-Cellulose Microfibril Composites. *Journal of Applied Polymer Science* 76 (14) : 2080 – 2092.
- Galati, C. C. 1989. Method of fibrillating fibers. *U.S. Patent 4, 811,908*. Motion Control Industries Inc.
- Hasnah Muin, D. Ilham, dan L. H. Saputri, "Pengaruh Penambahan Bahan Serbuk Gergaji terhadap Hasil Oksidasi LLDPE dengan

- KMnO<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>," *Seminar Teknoin 2006*, hlm. TK 05-1-TK 05-5, Jul 2006.
- Jiang, F., and Hsieh, Y.-L. 2013. Chemically and mechanically isolated nanocellulose and their self-assembled structures, *Carbohydr. Polym.*, 95(1), 32-40.
- Joonobi, M., Harun, J., Shakeri, A., Misra, M., and Osman, K. 2009. Chemical composition, crystallinity and thermal degradation of bleached and unbleached Kenaf bast (*Hibiscus cannabinus*) pulp and nanofibers, *BioResource*, 4(2), 626-639.
- Luduenaa, L.N., V.A.Alvarez and A.Vasquez. 2007. Processing And Microstructure Of PCL/Clay Nanocomposites. *Material Science and Engineering 56 A* : 121 – 129.
- Mothé, C., G., and de Miranda, I., C. 2009. Characterization of sugarcane and coconut fibers by thermal analysis and FTIR, *J Therm Anal Calorim*, 97(0), 661-665.
- Nakagaito, A., N., Ikenaga, K., and Takagi, H. 2015. Cellulose nanofiber extraction from grass by a modified kitchen blender, *Mod. Phys. Lett. B* 29, 1540039.
- Nechyporchuk, O., Belgacem, M.N., and Bras, J. 2016. *Production of cellulose nanofibrils: A review of recent advances*, 98(0), 139-145.
- Podsiadlo, P.; S.Y.Choi, B.Shim, J.Lee, M.Cuddihy and N.A.Kotov. 2005. Molecularly Engineered Nanocomposites : Layer By Layer Assembly Of Cellulose Nanocrystals. *Biomacromolecules* 6 : 2914 – 2918.
- Sanchez-Garcia, MD., E.Gimenez and J.M.Lagaron. 2008. Morphology And Barrier Properties Of Solvent Cast Composites Of The Thermoplastic Biopolymers And Purified Cellulose Fibers. *Carbohydrate Polymers* 71 : 235 – 244.
- Saputri, L.H., Sukmawan, R., Rochardjo, H.S.B. dan Rochmadi, R. 2018. July. Isolasi Nano Selulosa dari Ampas Tebu dengan Proses Blending pada Berbagai Variasi Konsentrasi. In *Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan* (p. 10).

- Sukmawan, R., Saputri, L.H., Rochmadi, R. dan Rochardjo, H.S.B. 2018. The Effects of the Blending Condition on the Morphology, Crystallinity, and Thermal Stability of Cellulose Microfibers Obtained from Bagasse. *Indonesian Journal of Chemistry*. 19(1): 166-175.
- Tonoli, G.H.D., Teixeira, E.M., Corrêa, A.C., Marconcini, J.M., Caixeta, L.A., Pereira-da-Silva, M.A. dan Mattoso, L.H.C. 2012. Cellulose micro/nanofibres from Eucalyptus kraft pulp: preparation and properties. *Carbohydrate polymers*. 89(1): 80-88.
- Uetani, K., and Yano, H. 2011. Nanofibrillation of wood pulp using a high-speed blender, *Biomacromolecules*,12(0), 348-353.

**E. Pertanyaan Kunci**

1. Jelaskan perbedaan antara selulosa dan nanoselulosa!
2. Jelaskan beberapa tahapan dalam isolasi selulosa!
3. Sebutkan dan jelaskan beberapa metode untuk mengubah selulosa menjadi nanoselulosa!
4. Apa fungsi dari analisa FTIR dan XRD!

**F. Soal**

1. Bagaimana pengaruh ikatan kimia terhadap sifat mekanis suatu bahan?
2. Bagaimana cara memastikan bahwa proses isolasi selulosa telah berlangsung dengan baik?
3. Mengapa lignin dan hemiselulosa harus dihilangkan pada proses delignifikasi maupun *bleaching*?

**G. Tugas**

1. Diskusi kelompok tentang cara membaca hasil uji FTIR dari suatu material!
2. Mencari beberapa metode yang bisa diterapkan untuk mengisolasi selulosa murni dari serat limbah BKS!

# BAB V

## SELULOSA ASETAT

### A. Kompetensi Dasar dan Indikator

#### Kompetensi Dasar:

Menunjukkan dan menjelaskan tentang senyawa selulosa asetat dan potensinya sebagai bahan baku membran, bioplastik dan serat pakaian. Selain itu juga menunjukkan sifat kimia dan fisis selulosa asetat, serta proses pembuatan selulosa asetat dan selulosa asetat berbahan limbah sawit.

#### Indikator:

1. Menjelaskan tentang senyawa selulosa asetat, rumus kimia, persamaan reaksi pembentukannya.
2. Menjelaskan sifat fisis dan kimia dari selulosa asetat
3. Menjelaskan potensi selulosa asetat sebagai bahan baku membran, bioplastik dan serat pakaian.
4. Menjelaskan beberapa proses pembuatan selulosa asetat dan proses terbaik untuk pengolahan limbah kelapa sawit.

### B. Deskripsi Singkat

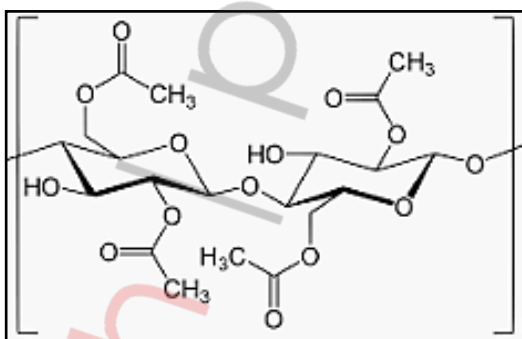
Bab ini menguraikan segala macam tentang senyawa selulosa asetat, mulai dari rumus kimia, struktur kimia, proses pembentukan, sifat fisis dan kimianya, beserta proses pembuatannya. Selulosa asetat merupakan salah satu jenis bioplastik yang dapat diperoleh dari hasil pengolahan limbah sawit. Pemilihan proses pembuatan, kondisi operasi dan variabel akan sangat menentukan derajat substitusi selulosa asetat. Nilai derajat substitusi tersebut kemudian akan menentukan aplikasi dari produk selulosa yang dihasilkan. Dengan konsep pemahaman yang baik tentang senyawa ini, maka akan mempermudah mahasiswa dalam mengembangkan ide kreatifnya

dalam menciptakan beberapa produk material. Apalagi mengingat bahwa selulosa asetat ini merupakan bahan baku dari berbagai produk material yang siap pakai, seperti kertas, bioplastik, membran, serat pakaian, *coating*, dan sebagainya.

### C. Materi

#### Selulosa Asetat

Senyawa selulosa asetat merupakan senyawa yang terbentuk dari reaksi estrifikasi antara selulosa dengan asam asetat atau asetat anhidrida dengan bantuan asam sulfat sebagai katalis. Struktur selulosa asetat:



**Gambar 28. Struktur Kimia Selulosa Asetat**

*Sumber: wikimedia.org*

Secara fisik, selulosa asetat umumnya berwarna putih bening hingga kekuningan dengan tingkat kecerahan yang berbeda-beda, tergantung dari sumber bahan bakunya. Sumber bahan baku yang dimaksud ialah semua bahan alam yang mengandung selulosa. Pada industri sawit, hampir semua limbah padat industri sawit dapat diolah lebih lanjut menjadi selulosa asetat, namun tentunya terlebih dahulu melalui proses ekstraksi selulosa. Berikut beberapa contoh selulosa asetat dari limbah Batang Kelapa Sawit (BKS) dan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS):



(a)



(b)

**Gambar 29. Selulosa Asetat dari (a) Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), (b) Batang Kelapa Sawit (BKS)**

Gambar di atas memperlihatkan warna selulosa asetat yang berbeda antara TKKS dan BKS, meskipun keduanya berasal dari jenis tanaman yang sama. Selulosa asetat banyak diaplikasikan untuk vernis, *coating* sayap pesawat terbang, *coating* kertas, *coating* logam, *coating* gelas, bioplastik, rayon, membran dan film fotografi.

### **Sifat Fisis dan Kimia Selulosa Asetat**

Selulosa asetat bersifat hidrofobik dan mudah dibentuk, cepat kering, tidak mudah mengkerut dan memiliki stabilitas yang tinggi. Titik didih selulosa asetat berbanding lurus dengan derajat substitusi (DS). Berdasarkan derajat substitusinya, selulosa asetat dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu:

1. Selulosa monoasetat dengan DS 0-2,0 .
2. Selulosa diasetat dengan DS 2,0-2,8 yang memiliki kadar asetil 35-43,5%.
3. Selulosa triasetat dengan DS 2,8-3,9 yang memiliki kadar asetil 43,5-44,8%.

Kadar asetil merupakan ukuran jumlah asetat yang diesterifikasi pada rantai selulosa. Jumlah substitusi gugus asetil pada selulosa asetat sangat mempengaruhi kelarutan dan sifat fisik polimer, dalam

hal ini selulosa asetat. Kandungan asetil ditentukan melalui proses penyabunan dengan menggunakan NaOH. Seberapa banyak volume NaOH yang habis pada proses titrasi, menunjukkan seberapa banyak pula kandungan asetil pada rantai polimer selulosa asetat. Tahapan analisa kadar asetil meliputi: pengeringan sampel, pencampuran sampel selulosa asetat dengan etanol, pemanasan campuran, pendiaman campuran selama 48-72 jam, titrasi dengan NaOH dan titrasi kelebihan NaOH dengan HCl. Indikator yang digunakan pada titrasi dengan NaOH yaitu metil merah, sedangkan titrasi dengan HCl menggunakan bantuan fenolftalein. Kadar asetil dan kandungan asam asetat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kadar asetil (\%)} = [(D-C) \cdot Na + (A-B) \cdot Nb] \times (F/W)$$

Keterangan:

A = Volume NaOH yang dibutuhkan untuk titrasi sampel (mL)

B = Volume NaOH yang dibutuhkan untuk titrasi blangko (mL)

C = Volume HCl yang dibutuhkan untuk titrasi sampel (mL)

C = Volume HCl yang dibutuhkan untuk titrasi blangko (mL)

Na = Normalitas HCl (N)

Nb = Normalitas NaOH (N)

F = 4,305 untuk kadar asetil dan 6,005 untuk kadar asam asetat

W = berat sampel (g).

Kadar asetil mempengaruhi nilai Derajat Substitusi (DS). Semakin tinggi kadar asetil, maka DS yang didapatkan juga semakin besar. Derajat substitusi (DS) adalah nilai rata-rata pensubstitusi per unit anhidroglukosa. Selulosa mempunyai 3 gugus hidroksil pada setiap anhidroglukosa (UAG) yang dapat disubstitusi. Oleh karena itu, DS selulosa asetat mempunyai nilai dari 0 hingga 3. DS dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$DS = \frac{162 \times \left( \frac{\% \text{asetil}}{42} \right)}{100 - \left( \frac{42}{43} \right) \times \% \text{asetil}}$$

Selulosa asetat dari limbah sawit dapat diproduksi dengan nilai DS yang bervariasi, namun tingkat DS yang paling banyak adalah 2,5. Tingkat DS ini menentukan sifat solubilitas selulosa asetat dalam pelarut, berat molekul dan titik didihnya. Selulosa asetat merupakan polimer rantai panjang yang memiliki sifat degradasi yang baik. Selain menentukan sifat fisis polimer, nilai DS dan kadar asetil juga menentukan ketepatan penggunaan asam asetat untuk berbagai produk. Perhatikan tabel berikut:

**Tabel 11. Aplikasi Selulosa Asetat pada Berbagai Kadar Asetil dan DS**

Kandungan Asetil (%)	Derajat Substitusi (DS)	Pelarut	Kegunaan
13 - 18,6	0,6 - 0,9	air	-
22,2 - 32,2	1,2 - 1,9	2-metoksi-etanol	Plastik, cat
36,5 - 42,2	2,0 - 2,8	Aseton	Benang, Film topografi, membran
43 - 44,8	2,8 - 3,9	Kloroform	Kain, pembungkus benang

Tabel di atas memperlihatkan bahwa untuk kadar asetil dan DS yang berbeda, maka produk yang dihasilkan pun berbeda, sehingga jelas bahwa nilai DS menjadi hal yang penting bagi produk selulosa asetat.

### **Sintesis Selulosa Asetat dari Limbah Sawit**

Sintesis selulosa asetat dari selulosa BKS dapat dilakukan di laboratorium dengan menggunakan labu leher tiga yang dilengkapi dengan pemanas mantel dan pengaduk serta pendingin balik. Prinsip kerja dari unit proses sintesisnya dapat dilakukan seperti prinsip kerja reaktor batch, dimana bahan baku direaksikan pada waktu tertentu disertai dengan proses pemanasan. Bahan pendukung ditambahkan secara bertahap untuk memastikan berlangsungnya tahapan-tahapan proses secara sempurna. Rekayasa alat proses juga dapat dilakukan dengan menambahkan pendingin balik untuk



mencegah reaksi eksoterm yang sulit dikendalikan pada tahap asetilasi. Contoh rangkaian alat sintesis selulosa asetat di laboratorium dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 30. Rangkaian Alat Sintesis Selulosa Asetat**

Rangkaian tersebut pernah diujicobakan untuk pembuatan nanoselulosa asetat dari tandan kosong kelapa sawit dan Batang Kelapa Sawit (BKS) tua. Metode penelitian detailnya yaitu:

Selulosa dari hasil isolasi serat BKS tua ataupun tandan kosong kelapa sawit diaktivasi dengan asetat glasial 1:10 dan dicampur dengan bantuan pengaduk mekanik yang bekerja pada kecepatan putar 275 rpm pada suhu 38 °C selama 60 menit. Lalu pada campuran tersebut ditambahkan asam sulfat pekat sambil diputar kembali dengan kecepatan dan suhu yang sama selama 45 menit. Hasil aktivasi dilanjutkan dengan proses asetilasi menggunakan asam asetat anhidrid dengan perbandingan glasial dan anhidrid 3:2 dengan waktu asetilasi selama 1 jam, 2 jam, 2,5 jam dan 3 jam. Setelah itu, larutan dihidrolisis kembali dengan menggunakan aquadest dan asam asetat glasial 1:2 untuk menghentikan proses asetilasi. Kemudian dilakukan pengadukan kembali pada suhu 50 °C selama 30menit. Untuk mendapatkan endapan selulosa asetat, hasil hidrolisis disentrifugasi dengan kecepatan 1500 rpm selama 15 menit, diendapkan dengan aquadest dan disaring sampai bau asetat hilang. Pada selulosa asetat

yang dihasilkan, dilakukan beberapa pengujian yaitu rendemen, kadar air, kadar asetil, analisis gugus fungsi menggunakan FTIR.

Pada umumnya terdapat 3 proses dalam pembuatan selulosa asetat. Pemilihan proses tergantung pada sumber bahan baku selulosanya. Ketiga proses tersebut antara lain:

1. ***Solution Process***. Proses ini menggunakan asetat anhidrida sebagai pelarut (*solvent*), asam asetat glasial sebagai *diluent*, serta katalis berupa asam.
2. ***Solvent Process***. Proses ini menggunakan *methylene Chloride* sebagai pelarut untuk menggantikan sebagian asam asetat.
3. ***Heterogeneous Process***. Proses ini menggunakan cairan organik *inert* seperti benzena ligroin sebagai *non solvent*.

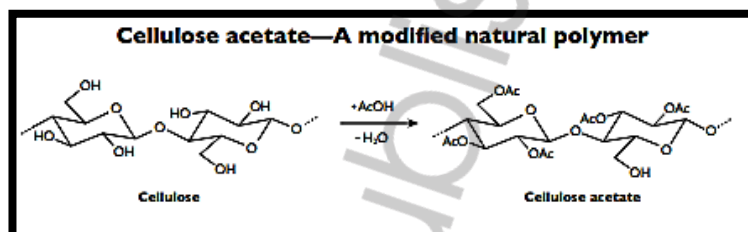
Dari ketiga proses tersebut, yang paling banyak digunakan adalah *solution process*. Proses ini terbagi menjadi 3 tahapan yaitu isolasi selulosa, asetilasi, hidrolisis pengendapan dan pemurnian. Tahap isolasi selulosa telah dibahas pada BAB III. Tahapan utama untuk memproduksi selulosa asetat adalah tahap asetilasi. Namun sebelum ke tahap asetilasi, ada tahapan persiapan (praperlakuan) yang sering dikenal dengan aktivasi.

#### 1. Aktivasi

Tahap aktivasi umumnya menggunakan asam asetat atau katalis. Perbandingan antara asam asetat yang digunakan dengan selulosa tergantung pada sumber bahan baku selulosa dan jumlah katalis yang digunakan. Proses akan semakin efisien bila perbandingan antara asam asetat dan selulosa semakin kecil. Jika selulosa yang akan diasetilasi dalam bentuk selulosa kering, maka penggunaan asam asetat tanpa katalis akan lebih efektif dibandingkan menggunakan katalis. Tahap aktivasi ini sebenarnya merupakan perendaman serat selulosa untuk tujuan menggelembungkan serat agar memudahkan difusi asam sulfat dan reagen ke dalam serat selulosa saat proses asetilasi, sekaligus untuk memperbesar luas permukaan serat selulosa agar reaksi esterifikasi lebih cepat berlangsung. Lama proses aktivasi berkisar antara 1 jam bahkan lebih, tergantung pada komposisi asam asetat yang digunakan, suhu dan viskositas yang ditargetkan.

## 2. Asetilasi

Proses asetilasi bertujuan untuk menyubstitusi gugus hidroksil (-OH) dengan gugus asetil atau Ac sehingga membentuk senyawa selulosa asetat. Persamaan reaksi yang terjadi yaitu:



**Gambar 31. Reaksi Asetilasi**

*Sumber: Global Acetat Manufactures Association, 2007*

Asetilasi umumnya dilakukan dalam kondisi asam menggunakan campuran asam asetat dan asetat anhidrida 3:2 dengan bantuan katalis sebanyak 5-20% dari berat selulosa. Katalis pada proses asetilasi umumnya ada 3 yaitu asam sulfat, asam perklorat dan  $ZnCl_2$  namun penggunaannya asam sulfat lebih banyak digunakan karena pertimbangan yang terutama berkaitan dengan suhu esterifikasi dan reaktivitas selulosa. Kelebihan asam sulfat dalam reaksi asetilasi karena katalis ini dapat membantu reaksi pada suhu rendah, absorpsi ke dalam serat lebih cepat, sifat korosifnya lebih rendah dibandingkan asam perklorat dan lebih murah dibandingkan  $ZnCl_2$ .

Proses asetilasi berlangsung selama 5-10 jam bila serat yang digunakan berukuran mikro, namun bisa lebih cepat bila serat berukuran nano atau dalam bentuk nanoselulosa. Waktu yang dibutuhkan selama reaksi dapat ditentukan dari lamanya serat terlarut sempurna dalam campuran reagen asetilasi. Mekanisme proses asetilasi pada serat BKS dapat dijelaskan sebagai berikut: serat BKS yang telah direndam dalam asam asetat pada tahap aktivasi, semakin lama akan mengembang, lama kelamaan akan pecah dan akhirnya terdispersi secara sempurna di dalam larutannya. Ketika dilakukan tahap asetilasi, larutan yang mengandung molekul selulosa BKS ini kemudian akan

bereaksi dengan senyawa asetat anhidrida dibantu dengan katalis. Proses pelarutan selulosa sebelum tahap asetilasi, sama seperti halnya pelarutan polimer pada umumnya. Prosesnya membutuhkan waktu yang cukup lama karena selalu melalui 2 tahapan yaitu difusi pelarut ke dalam polimer dan proses pemecahan atau penguraian polimer. Proses ini tidak semudah senyawa kimia umumnya yang memiliki berat molekul yang lebih rendah, disebabkan karena adanya perbedaan ukuran antara senyawa pelarut dengan senyawa polimer. Proses pelarutan polimer tergantung pada faktor kemampuan interaksi antara molekul pelarut dan polimer, percabangan rantai, polaritas dan rintangan sterik gugus fungsi dari molekul polimer. Sementara struktur induk memiliki pengaruh yang sangat kecil terhadap proses pelarutan polimer, tidak tergantung apakah polimer berupa struktur jaring maupun struktur linear. Sebagaimana reaksi kimia umumnya, proses pelarutan dan proses pembentukan selulosa asetat juga melibatkan energi aktivasi dan sebagian besar reaksi yang dikategorikan sebagai reaksi kimia polimerisasi mempunyai energi aktivasi yang relatif tinggi. Laju difusi pelarut ke dalam serat selulosa (laju difusi pada tahap aktivasi) biasanya akan jauh lebih tinggi daripada laju reaksi gugus fungsional dalam pembentukan selulosa asetat (laju difusi pada tahap asetilasi). Namun apabila gugus-gugus yang akan bereaksi pada selulosa dan asetat anhidrida cukup dekat, maka laju difusi akan semakin berkurang. Hal ini karena proses difusi pelarut semakin diperlambat oleh gaya tahan akibat efek-efek viskositas. Berikut adalah beberapa contoh hasil NanoSelulosa Asetat dari Batang Kelapa Sawit (BKS) pada berbagai variasi waktu asetilasi beserta kadar asetil yang didapatkan.

**Tabel 12. Kadar Asetil Nanoselulosa Asetat (NSA)**

<b>Sampel</b>	<b>% kadar asetil</b>
NSA 1 jam	14,78
NSA 2 jam	15,46
NSA 2,5 jam	30,33
NSA 3 jam	23,55
NSA 4 jam	20,44

Kadar asetil selulosa dari BKS pada tabel di atas meningkat dari waktu reaksi 1 jam hingga ke 2,5 jam, namun mengalami penurunan setelah waktu reaksi selama 2,5 jam. Hal ini menunjukkan bahwa waktu yang optimal untuk menghasilkan nanoselulosa terbanyak yaitu pada waktu 2,5 jam. Penurunan kadar asetil untuk waktu reaksi di atas 2,5 jam kemungkinan disebabkan karena terdegradasinya struktur kimia nanoselulosa asetat. Semakin lama waktu reaksi maka kandungan asetil selulosa asetat akan semakin berkurang karena potensi terdegradasinya struktur selulosa asetat menjadi asam glukosa semakin tinggi. Nilai kadar asetil optimum 30,33% di atas setara DS senilai 1,66. Nilai DS ini telah sesuai dengan nanoselulosa yang dapat digunakan untuk produksi bioplastik, yang standarnya adalah 1,2 hingga 1,9. Dengan kadar asetil dan DS tersebut, nanoselulosa yang dihasilkan tergolong ke dalam selulosa diasetat dan telah memenuhi kriteria sebagai bahan baku bioplastik.

Selain faktor waktu asetilasi seperti yang telah dijelaskan tersebut, ada beberapa faktor lain yang juga mempengaruhi reaksi asetilasi, antara lain:

**a. Suhu**

Suhu yang tinggi dapat menyebabkan selulosa dan selulosa asetat terdegradasi sehingga mengakibatkan *yield* produk menurun.

**b. Kecepatan pengadukan**

Kecepatan pengadukan yang tinggi dapat memperbesar perpindahan massa sehingga kecepatan reaksi semakin tinggi dan *yield* yang dihasilkan pun akan meningkat.

**c. Jumlah *diluent* (asam asetat)**

Jumlah reaktan yang banyak akan memperbesar peluang tumbukan antar partikel reaktan yang besar pula sehingga akan mempercepat laju atau kecepatan reaksi.

**d. Jumlah pelarut (asetat anhidrida)**

Jumlah pelarut akan berpengaruh pada homogenitas larutan, namun bila jumlahnya terlalu besar maka akan memperkecil tumbukan antar partikel larutan yang secara otomatis akan

menurunkan kecepatan reaksi, begitu pula dengan *yield* produk yang dihasilkan.

Sementara itu, untuk membuktikan apakah gugus asetil telah tersubstitusi ke dalam struktur selulosa, biasanya dilakukan analisa FTIR. Contoh spektra FTIR nanoselulosa asetat yang didapatkan dari hasil proses asetilasi ditunjukkan pada Gambar 12. Dari gambar tersebut terlihat adanya perubahan gugus fungsi nanoselulosa pada berbagai variasi waktu. Dari spektra terlihat perbedaan gugus fungsi pada setiap nanoselulosa setelah reaksi asetilasi pada berbagai variasi waktu. Bila dilihat, terlihat tidak terlalu banyak perbedaan spektra pada grafik-grafik tersebut, namun pada spektra 2,5 jam agak sedikit berbeda dibandingkan yang lain. Pada spektra ini, banyak gugus fungsi yang berkurang serapan gugus fungsinya. Namun, perbedaannya dapat dilihat pada Tabel 11.

Angka indeks menunjukkan konsentrasi masing-masing ikatan penyusun dari setiap senyawa, yang dapat diperoleh menggunakan rumus:

$$\text{Indeks} = \frac{\text{Abs } i}{\text{Abs acuan}}, \text{ dengan Abs } i \text{ dan Abs acuan} = \log \left( \frac{1}{\% T} \right)$$

Keterangan:

Abs *i* = Absorbansi suatu ikatan;

Abs acuan = absorbansi untuk ikatan yang menjadi patokan perhitungan, umumnya pada angka gelombang sekitar 2900 atau 1420;

%T = % transmittance untuk masing-masing ikatan yang memiliki panjang gelombang tertentu.

Pada perhitungan analisa gugus fungsi selulosa maupun selulosa asetat di penelitian ini digunakan acuan pada puncak 1427  $\text{cm}^{-1}$  karena puncak ini selalu muncul pada spektra setiap sampel dan bukan basis pembeda ikatan antara selulosa, selulosa asetat maupun lignin.

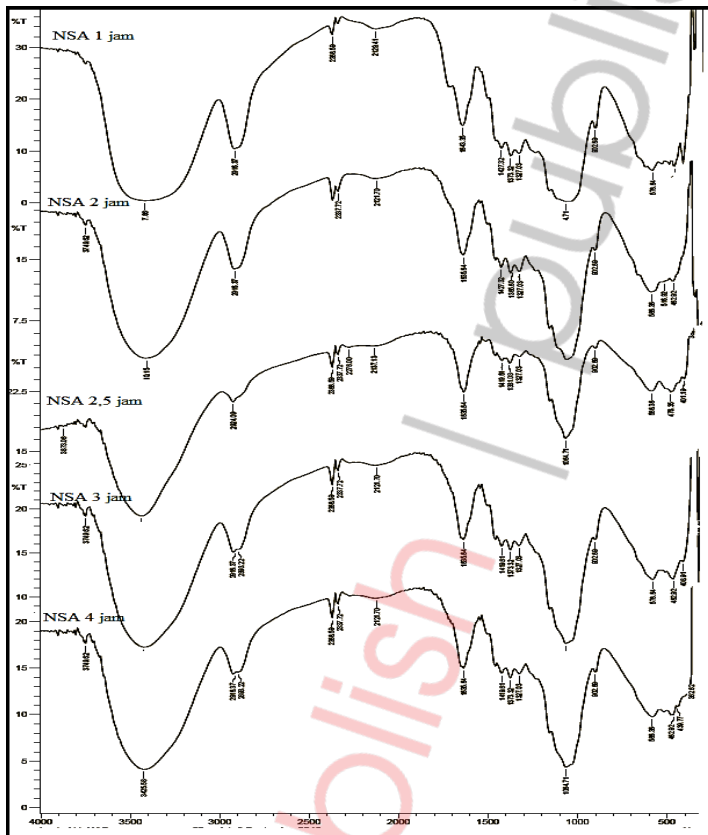
Pada serat nanoselulosa asetat terjadi peningkatan indeks pada bilangan gelombang 2916,37 dan 1635,64  $\text{cm}^{-1}$ . Untuk lebih jelasnya,

peningkatan dan penurunan indeks pada berbagai bilangan gelombang ditunjukkan pada Tabel 13.

**Tabel 13. Nilai Indeks Nanoselulosa Pada Berbagai Variasi Waktu**

<b>Nama Bahan</b>	<b>Ikatan</b>	<b>Angka Gelombang (cm<sup>-1</sup>)</b>	<b>Indeks</b>
<b>NSA 1 jam</b>	O-H <i>stretch</i>	3417,86	2,4536
	C-H <i>symmetrical stretch</i>	2916,37	1,0039
	C=O	1643,35	0,8448
	CH <sub>2</sub>	1427,32	1,0000
	CH	1327,03	1,0441
	C-O alkohol	1064,71	2,6502
	ikatan β (glikosida)	902,69	0,8609
<b>NSA 2 jam</b>	O-H <i>stretch</i>	3410,15	1,7921
	C-H <i>symmetrical stretch</i>	2916,37	1,0058
	C=O	1635,64	0,9477
	CH <sub>2</sub>	1427,32	1,0000
	CH	1327,03	1,0181
	C-O alkohol	1056,99	1,8240
	ikatan β (glikosida)	902,69	0,9297
<b>NSA 2,5 jam</b>	O-H <i>stretch</i>	3441,01	1,9961
	C-H <i>symmetrical stretch</i>	2924,09	1,1643
	C=O	1635,64	1,1219
	CH <sub>2</sub>	1419,61	1,0000
	CH	1327,03	0,9865
	C-O alkohol	1064,71	1,3454
	ikatan β (glikosida)	902,69	0,9573
<b>NSA 3 jam</b>	O-H <i>stretch</i>	3425,58	1,7080
	C-H <i>symmetrical stretch</i>	2916,37	1,0206
	C=O	1635,64	0,9758
	CH <sub>2</sub>	1419,61	1,0000
	CH	1327,03	0,9996
	C-O alkohol	1064,71	1,6573
	ikatan β (glikosida)	902,69	0,9759
<b>NSA 4 jam</b>	O-H <i>stretch</i>	3425,58	1,7298
	C-H <i>symmetrical stretch</i>	2916,37	1,0473
	C=O	1635,64	1,0277

Nama Bahan	Ikatan	Angka Gelombang (cm <sup>-1</sup> )	Indeks
	CH <sub>2</sub>	1419,61	1,0477
	CH	1327,03	1,0504
	C-O alkohol	1064,71	1,6985
	ikatan β (glikosida)	902,69	1,0424



Gambar 32. Grafik Analisa FTIR Nnaoselulosa Asetat

### 3. Hidrolisis

Tahap ini bertujuan untuk menghentikan reaksi asetilasi atau menghilangkan sebagian gugus asetil dari selulosa triester. Selain itu, tujuannya ialah untuk menghilangkan asetat anhidrida yang tersisa dalam campuran dan menurunkan kombinasi ester sulfat asam



sehingga dapat meningkatkan stabilitas termal asetat. Hidrolisis pada tahap ini tergolong ke dalam hidrolisis asam dan asam yang digunakan ialah asam asetat dengan konsentrasi rendah atau encer (60-75% asam asetat). Laju hidrolisis dipengaruhi oleh suhu, konsentrasi katalis dan jumlah asam asetat yang ditambahkan. Semakin tinggi suhu dan konsentrasi katalis, maka laju reaksi juga akan semakin meningkat. Sementara semakin banyak jumlah asam asetat encer yang ditambahkan maka akan sedikit menaikkan laju hidrolisis sehingga dapat mengurangi degradasi sampel. Umumnya jumlah asam asetat encer yang digunakan bervariasi yaitu sekitar 5-20% dari bobot total cairan dan ini tergantung pada suhu hidrolisis dan produk akhir yang ingin dicapai. Reaksi akan efektif bila suhu hidrolisis di atas 40°C dengan variasi waktu 4-20 jam dan penambahan asam asetat encer dilakukan secara perlahan hingga diperoleh DS yang diinginkan.

#### **4. Pengendapan dan Pemurnian**

Tahap ini diawali dengan mencampurkan larutan produk reaksi (larutan yang mengandung selulosa asetat) dengan asam asetat encer sambil diaduk, tujuannya yaitu untuk menurunkan viskositas larutan. Penggunaan asam asetat disesuaikan dengan bentuk produk yang ingin dihasilkan. Jika produk yang diinginkan dalam bentuk serpihan, maka konsentrasi asam asetat yang digunakan yaitu 10-15%, namun bila dalam bentuk bubuk maka konsentrasi asam asetat yaitu 25-30%. Pengendapan dapat dilakukan dengan bantuan alat sentrifugasi yang diatur kecepatannya yaitu sebesar 1500 rpm selama 15 menit. Endapan yang didapatkan kemudian dimurnikan dengan cara dicuci dengan akuades hingga bau asetat hilang. Pada tahap ini, faktor yang harus diperhatikan selama proses pengendapan dan pemurnian ialah jumlah larutan, konsentrasi asam, kecepatan putar dan suhu pengendapan (sebaiknya suhu kamar) karena faktor-faktor tersebut dapat mempengaruhi viskositas, komposisi dan DS ester selulosa yang akan dihasilkan.

#### **D. Daftar Bacaan Tambahan**

- Kirk, R.E. dan Othmer, D.F. 1993. *Encyclopedia of chemical technology*, Vol 3. Interscience Encyclopedia, New York.
- Mark, H.F., Gaylord, N.G., dan Bikales, N.M. 1965. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. Interscience Publishers, New York.
- Safriani. 2000. *Produksi Biopolimer Selulosa Asetat dari Nata De Soya*. Program Pascasarja. IPB.
- Savitri, E., Achmad, R., Susana, R.H. 2003. Penentuan Kondisi Optimum Proses Asetilasi Selulosa dalam Asam Fosfat, dalam Prosiding Simposium Nasional Polimer IV, ISSN 1410.8720.55.
- Spurlin, H.M. 1954. *Derivatives of cellulose*, dalam Ort, E., H.M. Spurlin dan M.W. Graffin (eds). *Cellulose and cellulose derivatives*, part II. High Polymer, Vol V. Interscience Publisher, New York.

#### **E. Pertanyaan Kunci**

1. Jelaskan sifat fisis dan kimia dari senyawa selulosa asetat!
2. Jelaskan beberapa metode yang dapat dilakukan untuk memproduksi selulosa asetat!
3. Jelaskan faktor-faktor yang berpengaruh pada proses asetilasi!
4. Buatlah persamaan reaksi esterifikasi antara selulosa dengan asam asetat!
5. Jelaskan fungsi dari masing-masing tahapan pada proses asetilasi!

#### **F. Soal**

1. Mengapa uji kadar asetil perlu dilakukan pada produk selulosa asetat?
2. Bagaimana hubungan antara waktu asetilasi dengan derajat substitusi produk selulosa asetat?
3. Hitunglah nilai derajat substitusi selulosa asetat bila kadar asetil yang dihasilkan sebesar 30%!

### **G. Tugas**

1. Diskusi kelompok tentang hasil analisa FTIR senyawa selulosa asetat dan menjelaskan perbedaan pembacaan gugus fungsi antara selulosa dengan selulosa asetat!
2. Praktik pembuatan selulosa asetat. Material yang akan dipraktikkan adalah limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang telah melalui proses isolasi selulosa. Mahasiswa diminta untuk mempraktekkan proses pembuatan selulosa asetat dengan metode asetilasi, kemudian menganalisis dan melaporkan hasilnya dalam bentuk laporan tertulis!

# BAB VI

## BIOPLASTIK

### A. Kompetensi Dasar dan Indikator

#### Kompetensi Dasar:

Menunjukkan dan menjelaskan mengenai bahan baku bioplastik, proses pembuatan, karakterisasi produk bioplastik, serta kelebihan dan kekurangan bioplastik selulosa asetat bila dibandingkan dengan bioplastik jenis lainnya.

#### Indikator:

1. Menjelaskan perbedaan antara bioplastik dan *biodegradable*.
2. Menjelaskan beberapa sumber bahan baku bioplastik, terutama bioplastik selulosa asetat.
3. Menjelaskan macam-macam proses pembuatan bioplastik.
4. Menjelaskan kelebihan dan kekurangan bioplastik selulosa asetat bila dibandingkan dengan jenis plastik lainnya.

### B. Deskripsi Singkat

Bab ini memberikan pemahaman tentang istilah bioplastik dan *biodegradable*, menguraikan macam-macam proses pembuatan biooplastik dan sumber bahan bakunya. Sebagaimana yang diketahui bahwa kesesuaian antara sumber bahan baku dan bahan pemplastis akan sangat menentukan keberhasilan dalam pencetakan selulosa asetat menjadi film bioplastik. Selain itu juga diuraikan mengenai kelebihan dan kekurangan dari bioplastik jenis selulosa asetat, sehingga nantinya mahasiswa dapat memperkirakan dengan jelas mengenai ketepatan aplikasi produknya. Dengan konsep pemahaman yang baik tentang bioplastik selulosa asetat, maka diharapkan nantinya akan banyak dihasilkan bioplastik-bioplastik yang bersumber dari berbagai macam limbah sawit, sehingga masalah

pencemaran lingkungan akibat penggunaan plastik sintetis maupun akibat hasil buangan industri perkebunan kelapa sawit dapat diatasi secara bersamaan.

### C. Materi

#### **Bioplastik**

Bioplastik adalah jenis plastik yang diproduksi dari bahan-bahan alam. Jenis plastik ini muncul karena ada permasalahan besar terkait pencemaran lingkungan akibat penggunaan plastik sintetis yang sukar terdegradasi. Oleh karena bahan ini terbuat dari bahan alam, maka cenderung sifatnya dapat diperbaharui. Akan tetapi, bahan yang bersifat bioplastik belum tentu bersifat *biodegradable*, begitu pula sebaliknya. Meskipun ada bahan plastik yang dapat memenuhi kedua syarat tersebut, sehingga dapat disebut dengan *bio-degradeable bioplastic*. Diharapkan dari bahan *bio-degradeable bioplastic* ini akan dapat dihasilkan plastik sebagaimana layaknya plastik biasa, namun dapat terurai oleh aktivitas mikroorganisme maupun dengan bantuan cahaya matahari. Salah satu syarat supaya bioplastik memiliki sifat biodegradasi ialah memiliki gugus karbonil. Adanya gugus ini yang menyebabkan plastik dapat terurai sehingga lebih mudah hancur di tanah. Selain itu, struktur kimia berupa kristalin juga dapat menyebabkan plastik lebih mudah rapuh dan mudah dicerna oleh mikroorganisme.

Meskipun sekarang banyak diedarkan plastik-plastik yang bersifat biodegradable, namun pada faktanya, plastik-plastik tersebut kebanyakan merupakan hasil modifikasi yaitu perpaduan antara plastik sintetis dan polimer alam. Jadi tidak murni berasal dari alam sebagaimana dengan istilah bioplastik, termasuk juga plastik-plastik pembungkus makanan yang banyak di pasaran saat ini. Seperti yang dikemukakan oleh Rochmadi dan Permono (2015) dalam bukunya yang berjudul "Mengenal Polimer dan Polimerisasi", Prinsip sederhana untuk label biodegradable pada saat ini sebenarnya hanya polimer blending antara polimer sintetis dan polimer alam. Banyak penelitian dan bahkan paten yang berkaitan dengan pembuatan poliblend, salah satunya yang

pernah dilakukan oleh Saputri, dkk (2005) yang memodifikasi bahan plastik kemasan yaitu polietilena dari jenis LLDPE maupun HDPE dengan bahan-bahan alam seperti serbuk gergaji dan pati. Hasil penelitiannya lalu diujicobakan proses biodegradasinya. Dari proses degradasi, plastik yang dihasilkan sudah dapat mempersingkat proses degradasi pada plastik LLDPE yang sebelumnya sukar terdegradasi hingga puluhan tahun. Namun tidak dapat dipungkiri bahwa memang tetap saja bagian plastik yang bersumber dari alam yang lebih cepat duluan terdegradasi ataupun dimakan mikroba, sebelum plastik sintetisnya ikut terdegradasi. Hasil penelitian ini juga sudah sebagian dipatenkan karena telah dapat memberikan sumbangsih kepada ilmu penelitian untuk mengatasi pencemaran lingkungan akibat limbah plastik yang mengganggu aliran air di dalam tanah. Dengan adanya modifikasi ternyata plastik-plastik sintetis yang bercampur dengan bahan plastik alam ini dapat hancur menjadi kepingan-kepingan kecil sehingga tidak menutupi pori-pori tanah untuk menyerap air dari permukaan menuju ke dalam tanah.

Biodegrasi pada bioplastik umumnya dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) jenis yaitu hydrobiodegradable (seperti pada selulosa, pati, poliester alifatik) dan oxobiodegradable (seperti pada lignin, lignoselulosa dan karet). Hydrobiodegradable kaitannya dengan reaksi hidrolisis, sementara oxobiodegradable kaitannya dengan reaksi oksidasi. Reaksi-reaksi ini merupakan katalis bagi proses biodegradasi yang mempermudah mikroba menguraikan atau memecah rantai panjang dari bioplastik. Produk penguraian berupa senyawa dengan berat molekul yang lebih kecil (senyawa rantai pendek) yang dapat bersatu di lingkungan. Semakin pendek rantai bioplastik, maka plastik tersebut akan semakin mudah terdegradasi, sebagaimana halnya dengan hubungan antara BM (Berat Molekul) polimer dengan sifat degradablenya pada umumnya. Namun, karena bioplastik juga tergolong sebagai material polimer, maka pastinya BM yang dimiliki juga cenderung besar, begitupun dengan struktur kimianya yang menunjukkan adanya rantai karbon panjang. Meskipun demikian, potensi kemudahan degradasi akan tetap tinggi meski

rantai panjang, bila strukturnya mengandung gugus fungsi yang sensitif terhadap cahaya dan gugus fungsi yang dapat terhidrolisis ataupun teroksidasi.

Sebenarnya bioplastik sudah ada dan bahkan telah dikomersialkan sejak abad ke-19. Orang yang pertama kali berhasil membuat bioplastik dari bahan baku selulosa atau yang dikenal dengan *celluloid* ialah John Wesley Hyatt pada tahun 1869. Namun penggunaannya jadi berkurang setelah ditemukannya plastik berbahan baku hasil samping minyak bumi. Namun kemudian masyarakat pada tahun 1980, baru menyadari bahwa plastik dari bahan minyak bumi membawa dampak negatif bagi lingkungan, sehingga setelahnya bioplastik sudah mulai dibuat dan dikembangkan lagi. Akan tetapi, memang ada kelemahan dari plastik yang bersumber dari bahan alam yaitu dari segi sifat mekanisnya yang tidak terlalu bagus seperti sifat mekanis yang dimiliki oleh plastik sintetis.

Plastik umumnya dapat terdegradasi melalui empat cara, yaitu dengan bantuan cahaya (*photodegradable*); bantuan mikroorganisme, bakteri, jamur maupun alga (*biodegradable*); bantuan bahan kimia (degradasi kimia); dan bantuan angin ataupun karena abrasi (degradasi mekanis). Bioplastik umumnya dapat terdegradasi dalam kurun waktu 4-5 bulan, sedangkan plastik sintetis dapat terdegradasi dalam kurun waktu puluhan bahkan ratusan tahun. Inilah yang menyebabkan orang beralih kembali dari plastik sintetis ke bioplastik yang bersifat lebih ramah lingkungan.

Ada empat jenis bioplastik yang memenuhi kriteria sebagai *biodegradable* yaitu *starch-based plastics/thermoplastic starch/Bioplastic starch*, *cellulose-based plastics* (selulosa asetat), *PolyLactic Acid (PLA)* dan *PolyHydroxyl Alkanoates (PHA)*.

### 1. **Bioplastic starch**

*Bioplastic starch* merupakan plastik berbasis pati yang dapat dibuat dari berbagai macam jenis tanaman yang mengandung pati, seperti gandum, jagung, kentang, dan kacang kapri. *Starch* (pati) memiliki rumus molekul  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . *Bioplastic starch* umumnya memiliki sifat yang mirip dengan bahan dasarnya yaitu pati. Pati asli

tanpa modifikasi memiliki beberapa sifat khas, antara lain: rapuh (*brittle*) dan tidak termoplastis karena berstruktur seperti kristal, titik dekomposisi yang lebih rendah daripada titik lelehnya, dan hidrofilik karena kecenderungannya membentuk ikatan hidrogen dengan air. Sementara *bioplastic starch* memiliki sifat-sifat antara lain: dapat terdekomposisi secara alami, memiliki permeabilitas yang tinggi terhadap uap air, isolator serta bersifat penghalang oksigen yang baik. Metode pembuatannya dimodifikasi melalui metode-metode yang bermacam-macam, misalnya melalui penambahan *plasticizer*, pemrosesan di dalam *extruder* atau modifikasi kimia untuk menghilangkan sifat hidrofiliknya.

Pada aplikasinya, *bioplastic starch* banyak ditemukan di supermarket sebagai pembungkus buah, selain itu juga sering digunakan dalam sektor farmasi untuk produksi kapsul obat dikarenakan sifatnya yang dapat menyerap kelembaban. Sebagaimana produk-produk pada umumnya, *bioplastic starch* pasti memiliki kelebihan sekaligus kekurangan. *Bioplastic starch* memiliki kelebihan dibandingkan dengan plastik konvensional yaitu:

- a. memiliki kecepatan degradasi yang lebih baik
- b. dapat mengurangi *green house gas emission*
- c. biaya produksi relatif lebih rendah
- d. Bahan baku mudah untuk didapatkan.
- e. *Barrier* oksigen yang baik

Namun, di samping kelebihannya tersebut, terdapat pula kekurangan, antara lain:

- a. bersifat kaku dan rapuh
- b. bersifat higroskopis sehingga tidak cocok untuk mengemas makanan yang memiliki kadar air dan kelembaban yang tinggi
- c. memiliki kekuatan dan daya tahan yang lebih rendah dibanding jenis bioplastik lainnya.

## **2. Cellulose-Based Plastics**

*Cellulose-Based Plastics* yang banyak diproduksi berupa Selulosa asetat (SA), Selulosa Asetat Propionat (SAP) dan Selulosa Asetat



Butirat (SAB) Kertas bekas, selulosa dari kayu, kacang kedelai dapat digunakan dalam esterifikasi selulosa untuk membentuk bahan baku bioplastik dalam bentuk serbuk atau bubuk. Kebanyakan jenis *Cellulose-Based Plastics* yang banyak diaplikasikan untuk bioplastik adalah selulosa asetat.

Ada beberapa kelebihan bioplastik dari selulosa asetat, antara lain:

- a. Bahan baku mudah ditemukan di berbagai jenis tumbuhan, limbah kertas maupun limbah hasil perkebunan.
- b. Memiliki daya kuat tarik cukup tinggi seiring dengan tingginya kadar asetil
- c. Dapat terdegradasi karena berbahan baku selulosa
- d. Dapat digunakan sebagai plastik kemasan, termasuk untuk *food packaging*

Sementara kekurangan bioplastik dari Selulosa Asetat yakni:

- a. perlu adanya penambahan *plasticizers* untuk pembuatan film.
- b. Film selulosa asetat mudah rusak karena sindrom cuka, yaitu kerusakan bioplastik akibat bioplastik selulosa asetat melepaskan senyawa asam asetat
- c. mudah rusak apabila terjadi kontak langsung dengan oksigen
- d. daya tahan dan kekuatan plastiknya rendah.

### 3. ***Polylactic Acid (PLA)***

Bioplastik jenis ini dapat dibuat melalui sintesis kimia dari monomer *bio-based*. Biomassa yang berpotensi sebagai bahan baku PLA antara lain pati singkong, tebu, jagung, gula bit, gandum, sorgum, kulit kayu, dan kentang. PLA yang dapat diaplikasikan untuk bioplastik hanya yang memiliki berat molekul tinggi di atas 100,000 gram/mol. Proses pembuatan PLA dapat dilakukan dengan 3 cara polimerisasi. Cara pertama melalui polikondensasi langsung yang berdasarkan pada reaksi esterifikasi monomer dengan penambahan pelarut, pemisahan produk dilakukan dengan pengurangan air melalui proses vakum. Cara kedua melalui polikondensasi dalam larutan azeotropik. Cara kedua lebih praktis, namun memerlukan bantuan katalis. Pemisahan produk PLA dengan bantuan penyaring molekular.

Cara ketiga melalui polimerisasi pembentukan *lactide*. Cara ini banyak digunakan dalam industri karena terbukti berat molekul PLA yang dihasilkan cukup tinggi dibandingkan kedua cara lainnya. Pemurnian produk *lactide* terbentuk melalui distilasi vakum pada suhu yang tinggi.

Aplikasi PLA telah banyak dalam bidang pertanian seperti untuk pot tanaman, pelapis tanah. PLA mempunyai beberapa kelebihan antara lain:

- a. bahan baku produksi monomernya berasal dari fermentasi biomassa (jagung),
- b. fiksasi CO<sub>2</sub> yang signifikan melalui produksi jagung,
- c. penghematan energi yang efisien
- d. kemampuan daur ulang melalui hidrolisis atau alkoholisis,
- e. produk PLA bisa menjadi kompos,
- f. mengurangi pemakaian *landfill* untuk limbah plastik
- g. kemampuan penyesuaian sifat fisik melalui modifikasi materialnya

PLA juga memiliki kekurangan, yaitu pengomposan PLA dalam jumlah yang banyak dapat menjadikan tanah bersifat asam. Selain itu, PLA cenderung rentan terdeformasi bila terpapar temperatur tinggi.

#### **4. Polyhydroxylalkanoates (PHA)**

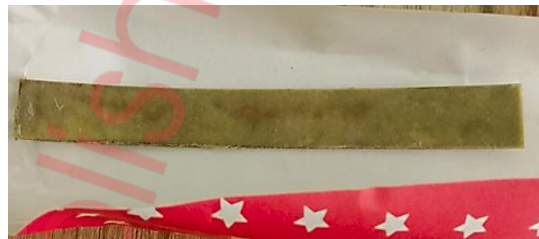
PHA umumnya diproses dari enzim bakteri melalui molekul anorganik seperti karbondioksida dan air dalam suasana aerobik atau dapat pula metana dan air dalam suasana anaerobik. Sumber bahan baku penghasil PLA misalnya minyak tanaman, gliserol dan karbondioksida. Aplikasi PHA antara lain sebagai plastik kemasan, peralatan kesehatan, material *coating*, film, jahitan, produk farmasi, kosmetik, dan organ tubuh buatan. Kelebihan PLA antara lain: tidak menghasilkan racun dari proses degradasinya, kompatibel terhadap tubuh manusia, sedangkan kekurangannya dari biaya produksinya yang cenderung tinggi.

### **Bioplastik dari Limbah Sawit**

Bioplastik yang dapat dihasilkan dari limbah sawit kebanyakan dari jenis selulosa asetat. Hampir semua limbah hasil pengolahan kelapa sawit, terutama limbah padatnya yang telah disebutkan satu per satu pada BAB 1 dapat diolah lebih lanjut menjadi bioplastik selulosa asetat. Hal ini karena pada limbah-limbah tersebut memiliki kandungan selulosa yang cukup banyak yang dapat diesterifikasi untuk menghasilkan selulosa asetat. Sebagai contoh misalnya bioplastik dari tandan kosong kelapa sawit dan batang kelapa sawit, seperti yang terlihat pada gambar berikut:



**Gambar 33. Film Bioplastik dari Batang Kelapa Sawit (BKS)**



**Gambar 34. Film Bioplastik dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)**

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa film bioplastik yang didapatkan dari limbah padat sawit cenderung berwarna gelap. Sifat-sifat film bioplastik selulosa asetat dipengaruhi oleh jenis dan jumlah pemplastis yang digunakan. Pemplastis (*plasticizers*) adalah bahan yang ditambahkan ke bahan baku plastik untuk meningkatkan sifat

mekanis film plastik dan fleksibilitasnya. Pemplastis banyak macamnya dan yang sering digunakan untuk film bioplastik selulosa asetat yaitu:

1. turunan gliserin, seperti: monoasetin, diasetin, triasetin dan tributirin
2. turunan ftalat, seperti: dimetil ftalat (DMP), dietil ftalat (DEP), dibutil ftalat (DBP), dioktil ftalat (DOP) dan dietilheksil ftalat (DEHP).
3. Fosfat organik, seperti: trifenil fosfat, bifenil difenil fosfat, tributil fosfat dan trikresil fosfat.
4. Turunan glikol, seperti: dietilen glikol, polietilena glikol, etilena glikol dipropionat, etilen glikol butirat, dietilena glikol diasetat, metilena glikol diasetat, poliester dietilena glikol dengan asam maleat, poliester etilena glikol dengan asam suksinat dan poliester metilen glikol dengan asam adipat.

Oleh karena banyaknya jenis pemplastis, maka pertimbangan pemilihan pemplastis menjadi hal yang penting dan umumnya didasarkan atas:

1. kesesuaian pemplastis dengan bahan baku selulosa
2. warna pemplastis, kestabilan terhadap cahaya dan panas, dan sifat beracun atau tidaknya.
3. biaya pembelian pemplastis
4. kemudahan menguap dan kelarutan dalam air.

Jumlah pemplastis yang digunakan biasanya sekitar 9-25% dari bobot selulosa asetat yang digunakan. Jika jumlah pemplastis yang digunakan tidak tepat, maka film yang dihasilkan akan bersifat rapuh. Oleh karena itu, ketepatan pemakaian jumlah pemplastis untuk pembuatan film bioplastik selulosa asetat menjadi sesuatu hal yang penting.

Metode pembuatan bioplastik dengan cara kimia ini sering dikenal dengan metode *melt intercalation*, yaitu teknik inversi melalui penguapan pelarut setelah proses pencetakan. Alat cetaknya berupa plat kaca. Penerapan prinsip yang digunakan yaitu termodinamika pelarut akibat keadaan awal larutan yang sebelumnya stabil menjadi

tidak stabil akibat perubahan fase (*dewaxing*). Bioplastik yang sebelumnya larut ke dalam pelarut tertentu, kemudian mengalami transisi fase dari satu fase cairan ke dua fase cairan dan lama kelamaan berubah menjadi fase polimer padatan (terbentuknya bioplastik). Proses penguapan pelarut ini dapat dilakukan menggunakan oven pada suhu sekitar 40-50°C selama 5-6 jam.

Pembuatan film bioplastik selulosa asetat dapat dilakukan dengan 2 cara:

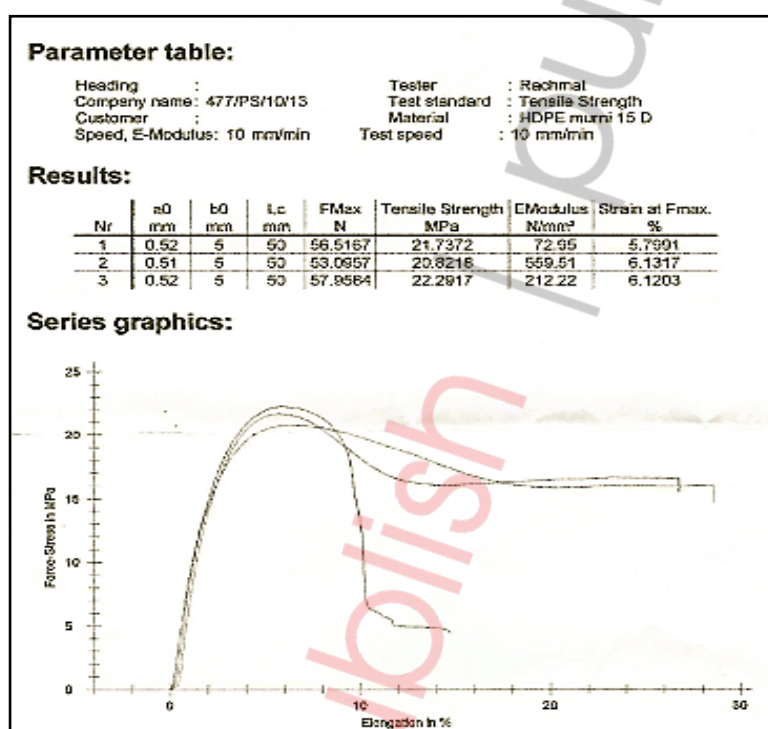
1. cara kimia, yaitu dengan menggunakan melarutkan bahan baku selulosa asetat ke dalam pelarut tertentu seperti aseton, etanol, propanol, dioksan, metilen klorida, etilen diklorida, metil-etil-keton dan sebagainya. Jenis pelarut yang dapat digunakan tergantung pada nilai DS dari bahan baku selulosa asetat. Nilai DS dan contoh pelarut yang dapat digunakan disajikan pada Tabel 8 di BAB IV. Pada cara ini, selulosa asetat dilarutkan dalam pelarut tertentu, misalnya aseton. Kemudian dilakukan penambahan pemplastis. Setelah ketiganya larut, campuran larutan dituang ke dalam cetakan lalu dikeringkan.
2. Cara mekanis, yaitu melalui pengepresan dengan menggunakan alat hot press. Namun bahan baku selulosa asetat terlebih dahulu disaring dalam kondisi vakum untuk mendapatkan film bioplastik yang homogen pada setiap bagiannya. Pada cara ini, pembuatan bioplastik dilakukan melalui beberapa tahapan, antara lain pencampuran pemplastis dengan selulosa asetat ataupun NanoSelulosa Asetat (NSA) pada berbagai variasi perbandingan massa, kemudian dilakukan pengadukan campuran selama 30 menit, penyaringan vakum sampai membentuk lembaran film tebal dan pengepresan menggunakan alat *hot press* dengan suhu 120°C dan tekanan 60 bar.

### **Uji Fisis dan Mekanis Bioplastik Selulosa Asetat**

Polimer bioplastik selulosa asetat tergolong ke dalam jenis plastik termoset. Plastik jenis ini memiliki ikatan van Der Waals dan memiliki banyak ikatan silang yang menyebabkannya dapat mencair

jika dipanaskan dan dapat memadat bila didinginkan. Pemanasan dan pendinginannya dapat dilakukan berulang kali tanpa merusak sifatnya, atau dapat dikatakan bahwa polimer jenis ini dapat kembali ke bentuk semula setelah dileburkan atau dilelehkan. Pemanasan akan menyebabkan bioplastik selulosa asetat menjadi lebih elastis dan sifat ini akan berhubungan langsung dengan sifat kekuatan tariknya.

Sifat kekuatan tarik menjadi indikasi kekuatan yang paling penting bagi bahan plastik. Hasil pengujian kekuatan tarik disajikan dalam bentuk grafik. Salah satu contohnya sebagai berikut:



**Gambar 35. Contoh Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Plastik**

Gambar tersebut memperlihatkan hubungan antara tegangan dan regangan dari suatu sampel plastik. Parameter-parameter uji kekuatan tarik yaitu:

1. Kuat tarik (*tensile strength*), merupakan maksimum tegangan yang dapat ditahan oleh bahan pada saat putus.
2. Kuat luluh (*yield strength*), merupakan tegangan saat deformasi non elastis dimulai.
3. *Elongation* (regangan), merupakan perpanjangan yang dapat dicapai oleh sampel plastik.
4. Modulus elastis, merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada bagian yang elastis.
5. *Toughness*, merupakan energi yang dibutuhkan untuk mencapai titik putus.

Penafsiran dari parameter-parameter tersebut bahwa plastik yang keras ialah plastik yang mempunyai nilai modulus yang tinggi. Plastik yang kuat memiliki kuat luluh yang tinggi. Plastik yang rapuh menghasilkan grafik putus sebelum mencapai titik luluh, sedangkan plastik yang liat adalah plastik yang mempunyai *toughness* tinggi. Berikut beberapa hasil pengujian kekuatan tarik bioplastik selulosa asetat dari BKS pada berbagai perbandingan selulosa dan pemplastisnya, yaitu etilen glikol:

**Tabel 14. Contoh Hasil Uji Kekuatan Tarik Bioplastik BKS**

Perbandingan Selulosa dan Etilen Glikol (g/g)	Rata-rata kekuatan Tarik (kgf/cm <sup>2</sup> )	Rata-rata Elongation (%)
1 : 0	173,3898	0,197
1 : 0,5	340,1107	2,5
1 : 1	100,0326	1,625
1 : 1,5	25,0132	1,25

Nilai kekuatan tarik dan *elongation* dari bioplastik BKS yang tertinggi yaitu pada perbandingan selulosa dan Etilen Glikol (EG) 1:0,5. Nilai ini tidak jauh beda dengan bioplastik selulosa asetat dari sumber bahan baku lainnya seperti dari bahan nata de soya yang mempunyai kekuatan tarik tertinggi sebesar 340,18 kgf/cm<sup>2</sup> dan bioplastik selulosa asetat yang dihasilkan oleh Billmeyer dengan kekuatan tarik berkisar antara 133,57-632,7 kgf/cm<sup>2</sup>. Begitu pula dengan *elongation* yang didapatkan dengan nilai tertinggi untuk bahan

BKS sebesar 2,5%, sementara untuk bahan lainnya berkisar antara 2,41-70%. Bila dilihat dari hasil tersebut bahwa BKS dapat dijadikan sebagai bahan baku bioplastik, namun film yang dihasilkan masih bersifat rapuh karena *elongation* yang didapatkan masih sangat kecil. Hasil ini masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut karena sifat kekuatan tarik dan *elongation* bukan hanya dipengaruhi oleh sumber selulosanya, namun juga jenis pemplastis dan proses pembuatan filmnya. Jadi ada kemungkinan hasil tersebut akan lebih baik bila jenis pemplastis yang digunakan lebih sesuai dan proses pembuatan filmnya lebih dioptimalkan dari variabel yang dipilih.

Sejauh ini, bioplastik yang dihasilkan dari BKS masih tergolong ke dalam plastik yang kaku (*rigid*), sehingga masih sangat perlu pengembangan-pengembangan penelitian untuk menciptakan bioplastik dari BKS yang bersifat lebih fleksibel. Pengklasifikasian jenis plastik ini mengacu pada pengelompokan jenis polimer yang menurut Odion (1970) ada 3 jenis, yaitu polimer fleksibel, fiber dan elastomer, sementara untuk plastik, secara spesifik dibagi menjadi 2 jenis yaitu plastik fleksibel dan plastik kaku (*rigid*). Menurutnya, plastik fleksibel memiliki nilai modulus dari menengah hingga tinggi yaitu sekitar 20.000-500.000 psi, kekuatan tarik sekitar 2.000-10.000 psi dan *elongation* sekitar 20-800%. Lain halnya dengan plastik kaku (*rigid*) yang memiliki modulus sekitar 100.000-500.000 psi, kekuatan tarik 5.000-12.000 psi dan *elongation* sekitar 0,5-3%. Dari contoh hasil penelitian di atas, dapat dikatakan bahwa bioplastik BKS yang dihasilkan masih rendah di nilai *elongation*nya yang belum memenuhi untuk mencapai plastik fleksibel seperti pada kantong plastik kemasan yang beredar di pasaran saat ini, namun untuk nilai kekuatan tariknya sudah mulai mendekati. Nilai ketidaktercapaian tersebut salah satunya tergantung pada sifat kristalinitas dan amorfus dari material bioplastik yang dihasilkan. Untuk mencapai target karakteristik yang diinginkan, dapat dilakukan beberapa hal, yaitu:

1. Polymer blending

Cara ini yaitu dengan menggabungkan (*blending*) dua atau lebih polimer untuk memenuhi sebagian sifat yang diinginkan pada



komposisi tertentu. Dalam hal ini misalnya menggabungkan selulosa asetat BKS dengan bahan baku plastik lainnya, termasuk dari plastik sintesis seperti polietilena, polipropilena dan sebagainya. Selulosa asetat yang lebih ramah lingkungan dapat menutupi kelemahan dari plastik sintesis yang tidak bersifat degradable namun plastis dengan nilai elongation dan kekuatan tarik yang cukup tinggi. Namun pencampuran ini tentunya tidak mudah dan tidak dapat diberlakukan untuk semua jenis polimer plastik karena beberapa polimer plastik tidak dapat campur dengan polimer lainnya (incompatible). Campuran polimer yang incompatible ini tidak berhasil dimodifikasi yaitu ditandai dengan tidak terpenuhinya target sifat yang diinginkan, karena masing-masing mempertahankan sifat aslinya.

## 2. Kopolimerisasi

Cara ini yaitu dengan membuat material polimer dari sumber dasar bahan bakunya yang masih berupa monomer. Monomer yang digabungkan bisa berjumlah dua bahkan lebih. Cara ini sangat tergantung pada komposisi bahan baku dan kereaktifan dari monomer-monomer yang direaksikan. Hasil kopolimer yang didapatkan juga akan mempunyai sifat gabungan dari masing-masing polimernya. Kesulitannya adalah penyusunan struktur kimianya dalam pembentukan kopolimer dan akan semakin sukar bila bahan baku yang digunakan sudah berbentuk polimer dari awal.

## 3. Penambahan senyawa lain

Cara ini adalah salah satu yang dapat dilakukan untuk memenuhi sifat karakteristik material yang diinginkan, termasuk untuk material plastik. Bahan tambahan atau yang dikenal dengan bahan aditif ditambahkan saat proses pembuatan bioplastik disesuaikan dengan fungsinya. Untuk bahan plastik, jenis bahan aditif yang sering ditambahkan yaitu plasticizer. Bahan ini dapat meningkatkan kelenturan dan fleksibilitas pada bahan plastik serta juga dapat meningkatkan sifat malleability saat pemrosesan, contoh aplikasinya misalnya pada produk-produk plastik seperti pipa PVC (PoliVinil

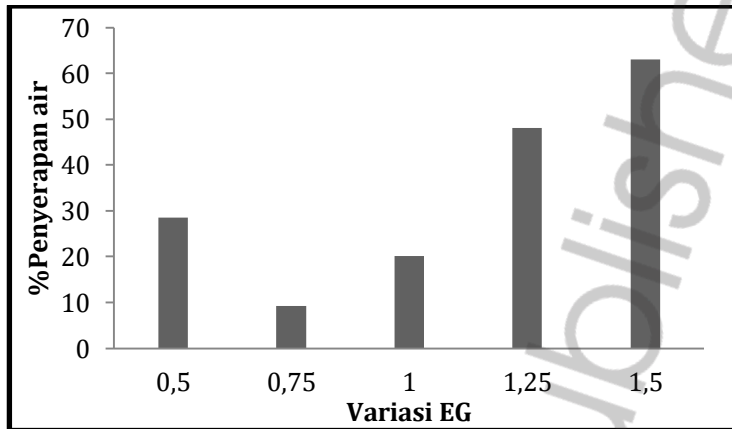
Klorida), selang plastik, taplak meja dan sebagainya. Beberapa contoh dari plasticizer sudah dijelaskan pada halaman sebelumnya. Selain plasticizer, sebenarnya ada beberapa bahan aditif yang juga sering ditambahkan pada proses pembuatan plastik. Malcolm (2001) memberikan beberapa tipe dari bahan aditif, antara lain:

No	Tipe	Bahan Aditif	Fungsi
1.	Modifikator sifat mekanik	a. plasticizer b. modifikator impact c. bahan pengisi pemerkuat d. nukleator	meningkatkan fleksibilitas memperbaiki kekuatan impact meningkatkan kekuatan material memperbaiki morfologi kristal
2.	Modifikator sifat permukaan	a. antiblok b. pelumas c. anti statis d. kopling e. pembasah f. anti kabut	mencegah perekatan film mencegah perekatan ke mesin mencegah muatan statis di atas permukaan memperbaiki ikatan antar polimer dan bahan pengisi menstabilkan dispersi pengisi mendispersi butiran lembab di atas film
3.	Modifikator sifat kimia	a. pemerlambat nyala b. stabilisator ultraviolet c. antioksidan d. biosida	mengurangi daya nyala memperbaiki stabilitas cahaya mencegah degradasi oksidatif mencegah jamur
4.	Modifikator sifat estetis	a. pencelup dan pigmen b. odoran c. deodoran d. nukleator	memberi warna menambah bau harum mencegah berkembangnya bau busuk memperbaiki transmisi cahaya
5.	Modifikator pemrosesan	a. plasticizer b. pelumas c. penambah profil rendah	mengurangi viskositas lebur mencegah lengket pada mesin pemroses mencegah penyusutan dan pembengkokkan meningkatkan viskositas

No	Tipe	Bahan Aditif	Fungsi
		d. pengental	larutan
		e. stabilisator panas	mencegah degradasi selama proses
		f. anti busa	mencegah pembusaan
		g. peniup	membuat busa-busa yang stabil
		h. pengemulsi	menstabilkan emulsi polimer
		i. pengikat silang	mengikat silang rantai polimer
		j. promotor	mempercepat proses ikat silang

Penggunaan bahan-bahan aditif tersebut disesuaikan selain berfungsi untuk tujuan-tujuan yang telah disebutkan di atas, juga faktanya kadang-kadang dapat mengurangi biaya produksi.

Selain kekuatan tarik, sifat ketahanan air dari suatu bahan bioplastik juga menjadi sesuatu hal yang penting. Tentunya produk bioplastik yang diinginkan yaitu yang memiliki sifat ketahanan air yang baik sebagaimana plastik sintesis yang telah dikomersialkan. Sifat ketahanan air juga tidak jauh dari ketepatan pemplastis yang digunakan. Tingkat kemudahan bioplastik dalam menyerap air tergantung pada sifat kepolaran pemplastis yang digunakan. Semakin polar pemplastis, maka semakin mudah bioplastik dalam menyerap air. Semakin mudah bioplastik menyerap air, maka sifat ketahanan airnya semakin menurun. Salah satu contoh hasil uji ketahanan air pada bioplastik BKS sebagai berikut:



**Gambar 36. Uji Ketahanan Air Bioplastik NSA BKS**

Nilai penyerapan air pada film bioplastik NanoSelulosa Asetat (NSA) dari batang kelapa sawit rata-rata sekitar 33,98% dengan % penyerapan air tertinggi dan terendah berturut-turut yaitu 63,09% dan 9,3%. Nilai ini cukup besar bila dibandingkan dengan nilai penyerapan air yang didapatkan oleh Billmeyer dan Lynch yang berkisar antara 1,7-6,5%. Namun bila dibandingkan dengan nilai penyerapan air yang didapatkan oleh Safriani dan film selulosa asetat yang dikomersialkan, tidak terlalu beda jauh. Safriani menghasilkan selulosa asetat dengan %penyerapan air maksimal 19,88%, sementara plastik komersial sebesar 16,87%. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa nilai ketahanan air bioplastik BKS mendekati nilai ketahanan air bioplastik yang pernah diteliti maupun yang pernah dipasarkan selama ini, sehingga dapat disimpulkan pula bahwa BKS memiliki potensi untuk dijadikan bioplastik yang layak untuk dikomersialkan di masa depan.

#### **D. Daftar Bacaan Tambahan**

Aripin, S., Saing, B., & Kustiyah, E. (2017). Studi pembuatan bahan alternatif plastik biodegradable dari pati ubi jalar dengan

- plasticizer gliserol dengan metode melt intercalation. *Jurnal Teknik Mesin Mercur Buana*, 6(2), 79-84.
- Ilham, D.P., Saputri, L.H., Muin, H. 2005. Pengaruh Penambahan Bahan Serbuk Gergaji terhadap Hasil Oksidasi LLDPE dengan Kalium Permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ). Teknoin, Universitas Islam Indonesia.
- Kirk, R.E. dan Othmer, D.F. 1993. *Encyclopedia of chemical technology*, Vol 3. Interscience Encyclopedia, New York.
- Mark, H.F., Gaylord, N.G., dan Bikales, N.M. 1965. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. Interscience Publishers, New York.
- Rochmadi dan Permono, A. 2015. Mengenal Polimer dan Polimerisasi. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Safriani. 2000. *Produksi Biopolimer Selulosa Asetat dari Nata De Soya*. Program Pascasarja. IPB,
- Savitri, E., Achmad, R., Susana, R.H. 2003. Penentuan Kondisi Optimum Proses Asetilasi Selulosa dalam Asam Fosfat, dalam Prosiding Simposium Nasional Polimer IV, ISSN 1410.8720.55.
- Spurlin, H.M. 1954. *Derivatives of cellulose*, dalam Ort, E., H.M. Spurlin dan M.W. Graffin (eds). *Cellulose and cellulose derivatives*, part II. High Polymer, Vol V. Interscience Publisher, New York.
- Stevens, M. P. (2001). Kimia Polimer, terj. Sopyan, I., Pradnya Paramita, Jakarta.

#### **E. Pertanyaan Kunci**

1. Jelaskan perbedaan antara bioplastik dan *biodegradable*!
2. Sebutkan dan jelaskan beberapa bahan yang bersifat bioplastik biodegradasi!
3. Apa kelebihan dan kekurangan bioplastik selulosa asetat bila dibandingkan dengan bioplastik jenis lainnya?
4. Jelaskan beberapa metode dalam pembuatan bioplastik dari batang kelapa sawit!

5. Sebutkan beberapa uji material yang dilakukan pada produk bioplastik untuk menjamin kelayakan penggunaannya di masyarakat!

#### **F. Soal**

1. Apakah bahan yang bersifat bioplastik dapat pula sekaligus memiliki sifat *biodegradable*? Kemukakan pendapat anda!
2. Mengapa pemilihan bahan pemplastis menjadi faktor penting dalam pembuatan bioplastik?
3. Mengapa bioplastik selulosa asetat tergolong ke dalam jenis plastik termoplastik?

#### **G. Tugas**

1. Diskusi kelompok tentang aplikasi bioplastik selulosa asetat dari limbah sawit dan proses pembuatannya.
2. Praktik pembuatan bioplastik. Mencetak bioplastik dari selulosa asetat yang dihasilkan dari praktik sebelumnya, mencari tahu kondisi operasi yang tepat untuk alat *hot press* selama proses pengepresan bioplastik!

# BAB VII

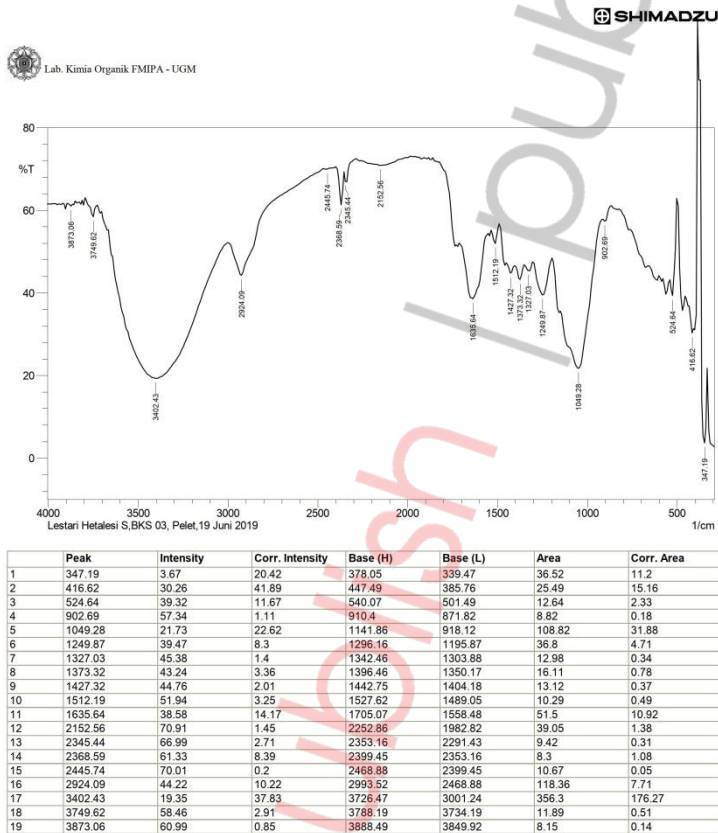
## KESIMPULAN

Dari penjabaran yang telah diberikan pada bab-bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tanaman sawit memiliki potensi yang besar untuk diolah menjadi berbagai produk yang memiliki nilai guna tinggi, selain produk utamanya yaitu CPO dan PKO.
2. Hampir setiap bagian sawit dalam bentuk limbah hasil perkebunan dan limbah pengolahan PKS mengandung serat selulosa dengan kadar tinggi yang dapat diolah lebih lanjut menjadi berbagai produk material.
3. Proses blending dan ultrasonikasi cukup efektif untuk mengubah selulosa menjadi nanoselulosa yang memiliki tingkat kelarutan yang besar pada proses asetilasi.
2. BKS juga memiliki potensi sebagai bahan baku bioplastik dengan dibuktikan hasil analisa FTIR yang menunjukkan adanya senyawa nanoselulosa asetat setelah proses asetilasi. Waktu terbaik untuk menghasilkan nanoselulosa asetat secara optimal yaitu 2,5 jam.
3. Proses pembuatan bioplastik dari nanoselulosa asetat bisa dilakukan dengan metode/cara mekanis.

# LAMPIRAN

## Lampiran 1. Analisa Gugus Fungsi pada BKS



Comment;

Lestari Hetalesi S, BKS 03, Pelet, 19 Juni 2019

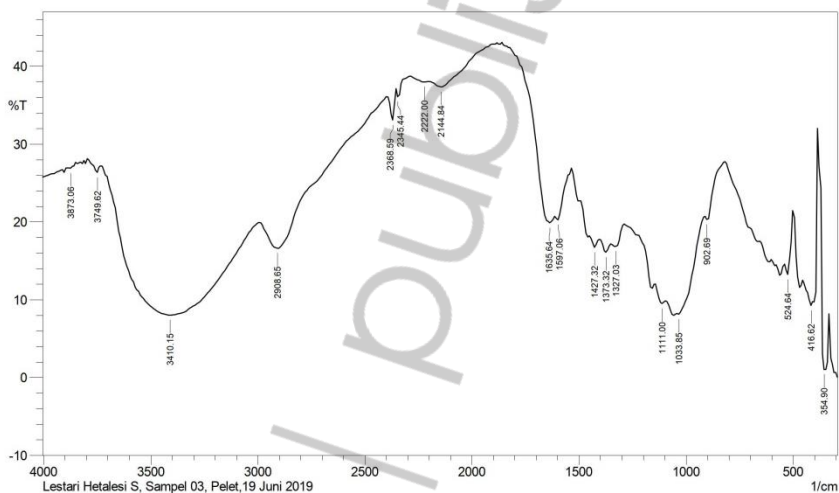


## Lampiran 2. Analisa Gugus Fungsi pada BKS setelah bleaching

SHIMADZU



Lab. Kimia Organik FMIPA - UGM

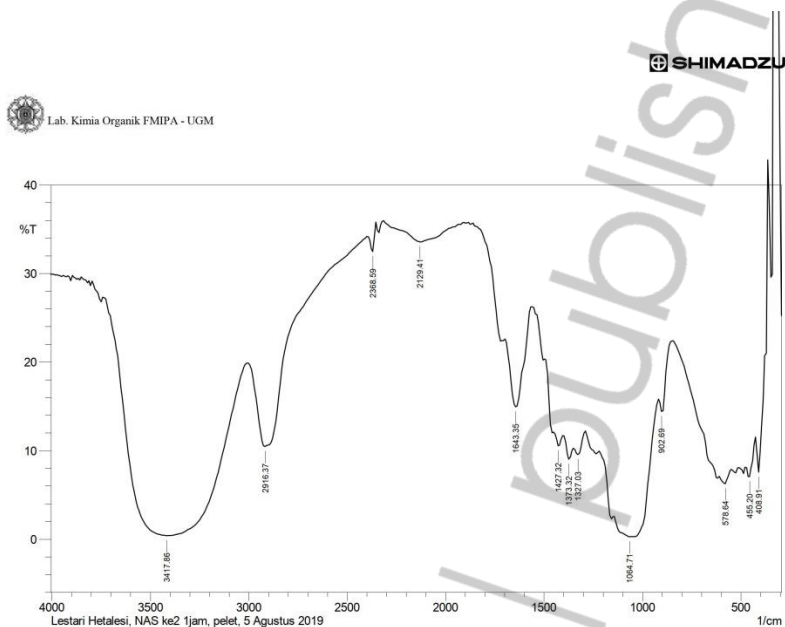


	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	354.9	1.041	16.6	378.05	331.76	68.511	28.538
2	416.62	9.271	12.758	447.49	385.76	57.211	15.216
3	524.64	13.255	4.06	540.07	501.49	30.739	2.351
4	902.69	20.299	1.059	910.4	825.53	51.86	0.484
5	1033.85	8.141	0.851	1041.56	918.12	110.416	3.111
6	1111	9.483	1.077	1141.86	1095.57	46.323	1.37
7	1327.03	16.878	1.002	1342.46	1296.16	34.76	0.799
8	1373.32	16.086	1.342	1396.46	1350.17	36.026	0.854
9	1427.32	16.741	1.119	1442.75	1404.18	29.415	0.527
10	1597.06	20.289	1.668	1612.49	1535.34	48.545	0.763
11	1635.64	19.858	2.956	1859.38	1612.49	123.074	2.598
12	2144.84	37.381	1.551	2198.85	1905.67	117.526	2.322
13	2222	38.002	0.187	2283.72	2206.57	32.244	0.138
14	2345.44	36.111	1.218	2353.16	2291.43	26.06	0.216
15	2368.59	33.07	3.634	2391.73	2353.16	17.646	0.852
16	2908.65	16.627	5.388	2985.81	2399.45	348.509	14.816
17	3410.15	8.045	15.991	3726.47	2993.52	662.912	198.179
18	3749.62	26.378	1.028	3788.19	3734.19	30.665	0.391
19	3873.06	26.692	0.24	3880.78	3849.92	17.444	0.079

Comment;

Lestari Hetalesi S, Sampel 03, Pelet, 19 Juni 2019

### Lampiran 3. Analisa Gugus Fungsi pada Nanoselulosa (NSA) 1 jam



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	408.91	7.576	11.761	424.34	362.62	50.753	12.611
2	455.2	7.066	2.031	470.63	432.05	41.845	2.461
3	578.64	6.268	1.144	609.51	555.5	63.196	2.147
4	902.69	14.408	1.897	910.4	848.68	44.976	1.152
5	1064.71	0.257	6.87	1141.86	918.12	408.104	143.611
6	1327.03	9.54	1.193	1342.46	1296.16	45.528	1.467
7	1373.32	9.035	1.915	1396.46	1350.17	46.658	1.944
8	1427.32	10.536	1.277	1442.75	1404.18	36.863	1.024
9	1643.35	14.941	9.164	1697.36	1566.2	94.138	13.943
10	2129.41	33.576	2.177	2314.58	1936.53	174.474	5.964
11	2368.59	32.469	2.664	2391.73	2353.16	18.184	0.655
12	2916.37	10.444	11.479	3001.24	2399.45	379.769	34.713
13	3417.86	0.4	23.661	3734.19	3008.95	1048.651	589.334

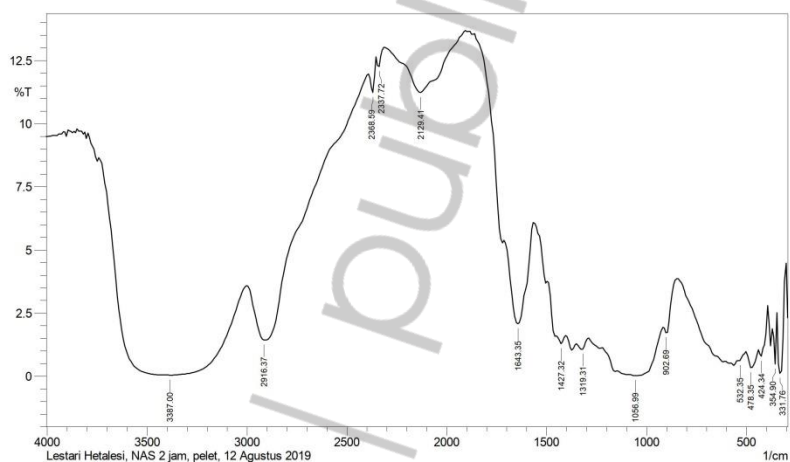
Comment;

Lestari Hetalesi, NAS ke2 1jam, pelet, 5 Agustus 2019

## Lampiran 4. Analisa Gugus Fungsi pada Nanoselulosa (NSA) 2 jam

SHIMADZU

Lab. Kimia Organik FMIPA - UGM



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	331.76	0.119	1.194	339.47	308.61	68.233	14.081
2	354.9	0.476	1.949	385.76	347.19	72.406	9.437
3	424.34	0.792	0.841	439.77	393.48	87.524	7.411
4	478.35	0.336	0.666	501.49	439.77	138.403	15.39
5	532.35	0.622	0.066	540.07	509.21	65.368	0.38
6	902.69	1.725	0.421	910.4	848.68	96.467	1.973
7	1056.99	0.025	0.844	1141.86	918.12	626.17	140.193
8	1319.31	1.078	0.32	1350.17	1296.16	103.576	3.36
9	1427.32	1.284	0.29	1442.75	1404.18	71.109	1.694
10	1643.35	2.08	3.559	1705.07	1566.2	204.177	31.311
11	2129.41	11.233	2.059	2306.86	1913.39	358.451	14.039
12	2337.72	12.262	0.525	2353.16	2314.58	34.675	0.317
13	2368.59	11.225	1.139	2391.73	2353.16	35.824	0.795
14	2916.37	1.435	3.2	2993.52	2399.45	751.275	54.694
15	3387	0.049	0.076	3394.72	3001.24	929.906	25.703

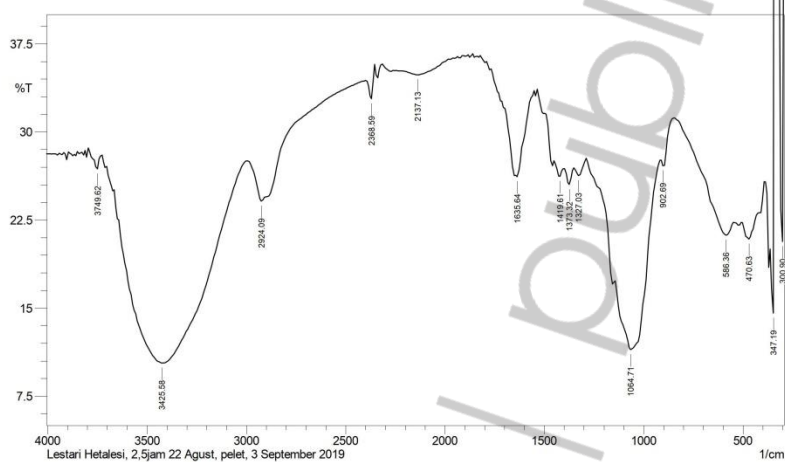
Comment;  
Lestari Hetalesi, NAS 2 jam, pelet, 12 Agustus 2019

## Lampiran 5. Analisa Gugus Fungsi pada Nanoselulosa (NSA) 2,5 jam



Lab. Kimia Organik FMIPA - UGM

SHIMADZU



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	300.9	20.66	50.37	331.76	293.18	15.77	11.74
2	347.19	14.57	109.58	385.76	339.47	26.98	19.89
3	470.63	20.86	1.72	501.49	424.34	51.16	1.47
4	586.36	21.19	2.25	840.96	547.78	173.81	3.91
5	902.69	27.13	0.92	910.4	848.68	32.81	0.34
6	1064.71	11.45	9.4	1141.86	918.12	177.75	30.76
7	1327.03	26.27	0.89	1350.17	1296.16	30.95	0.45
8	1373.32	25.52	1.24	1396.46	1357.89	22.53	0.44
9	1419.61	26.2	0.82	1442.75	1404.18	22.22	0.29
10	1635.64	26.19	7.91	1820.8	1558.48	131.47	10.92
11	2137.13	34.86	0.69	2222	1982.82	108.23	1.27
12	2368.59	32.81	2.36	2391.73	2353.16	18.09	0.58
13	2924.09	24.09	4.26	2993.52	2399.45	307.72	7.32
14	3425.58	10.31	17.51	3726.47	3001.24	566.44	162.96
15	3749.62	26.84	1.19	3788.19	3734.19	30.27	0.48

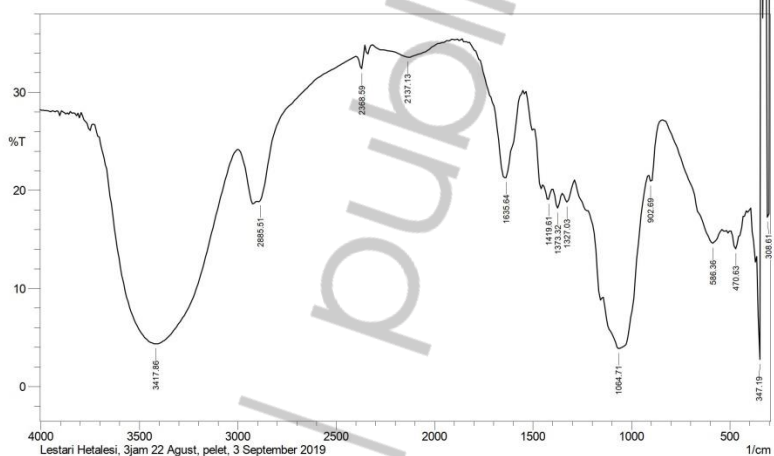
Comment;

Lestari Hetalesi, 2,5jam 22 Agust, pelet, 3 September

## Lampiran 6. Analisa Gugus Fungsi pada Nanoselulosa (NSA) 3 jam

Lab. Kimia Organik FMIPA - UGM

SHIMADZU



Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	308.61	17.25	60.92	316.33	293.18	10.42
2	347.19	2.75	82.24	393.48	339.47	47.26
3	470.63	14.04	2.42	493.78	416.62	61.99
4	586.36	14.62	3.11	840.96	540.07	212.61
5	902.69	20.96	1.25	910.4	848.68	37.88
6	1064.71	3.85	9.51	1141.86	918.12	250.77
7	1327.03	18.8	1.33	1350.17	1296.16	38.32
8	1373.32	18.2	1.5	1396.46	1357.89	27.96
9	1419.61	19.07	1.17	1442.75	1404.18	27.33
10	1635.64	21.3	10.03	1836.23	1558.48	152.22
11	2137.13	33.59	1.11	2260.57	1936.53	150.87
12	2368.59	32.42	1.9	2391.73	2353.16	18.4
13	2885.51	18.84	0.23	2893.22	2399.45	264.06
14	3417.86	4.35	21.28	3734.19	3001.24	721.8

Comment;

Lestari Hetalesi, 3jam 22 Agust, pelet, 3 September 2019

## INDEKS

- A**
- Absorbansi..... 77
- Aditif..... 17, 39, 51, 96, 97, 98
- Aktivasi..... 28, 29, 30, 72, 73, 74
- Amorf..... 18, 19, 44, 52, 53
- Analisa gugus fungsi77, 103, 104,  
105, 106, 107, 108
- Asam asetat glasial .....72, 73
- Asetat anhidrida . 16, 68, 73, 74,  
75, 76, 79
- Asetilasixi, 40, 72, 73, 74, 76, 77,  
79, 81, 82, 100, 102
- B**
- Bioplastic starch*.....86, 87
- Bioplastiki, iii, iv, vi, viii, ix, x, xi,  
xii, xiv, 2, 3, 4, 5, 17, 35, 38, 47,  
49, 61, 62, 63, 64, 67, 69, 76,  
83, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 91,  
92, 94, 95, 96, 98, 99, 100, 101,  
102, 114
- BKS .ix, xi, 2, 3, 4, 12, 32, 33, 49,  
53, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 63,  
64, 66, 68, 69, 71, 72, 74, 76,  
90, 94, 95, 96, 98, 99, 102, 103,  
104, 114
- Bleaching*xi, 20, 39, 53, 54, 55, 56,  
57, 58, 59, 61, 66, 104
- Blending35, 48, 59, 61, 62, 65, 66,  
84, 95, 102
- BM..... 85
- C**
- Chemical method ..... 54
- CNF ..... 51
- Coatingvi, xii, 6, 18, 42, 44, 51, 68,  
69, 89, 113
- D**
- DEG..... 4
- Degradable*.....6, 17, 96
- Delignifikasi20, 53, 54, 55, 56, 57,  
66
- Derajat kristalinitas42, 44, 51, 58,  
60, 61
- Dewaxing* ..... 92
- Diluent*.....73, 76
- DP ..... 18
- DS...ix, 40, 69, 70, 71, 76, 80, 92
- E**
- Elongation*.....94, 95, 96
- Esterifikasi ..... 73, 74, 81, 88

*Extruder*..... 87

## **F**

Fosfat organik..... 91

*Fotodegradable*..... 86

FTIRix, xi, 58, 59, 65, 66, 73, 77,  
79, 82, 102

## **G**

Gliserin..... 91

Glukosa .....18, 51, 76

Gugus hidroksil16, 20, 28, 56, 70,  
74

Gugus karbonil ..... 56, 84

## **H**

Helation..... 55

Hemiselulosaix, x, 7, 8, 10, 11, 14,  
18, 19, 22, 23, 24, 27, 53, 57,  
58, 59, 61, 66

Hidrofilik ..... 17, 87

Hidrolisis 17, 44, 52, 72, 73, 79,  
80, 85, 89, 113

Hilir sawit.....i, iii, iv, v, vi, xii

Hot press.....35, 92, 101

Hydrobiodegradable ..... 85

## **I**

Ikatan hidrogen.... 16, 52, 56, 87

Ikatan van Der Waals ..... 92

Indeks..... ix, 77, 78

INDEKS ..... viii, 109

Isolasi serat ..... 72

## **K**

Kadar air8, 10, 29, 30, 57, 73, 87

Kadar asetilvi, ix, 2, 40, 69, 70, 71,  
73, 75, 76, 81, 88

Katalis43, 55, 68, 73, 74, 75, 80,  
85, 88

Kekuat an tarik..... 94

Kekuatan tarikix, xi, 3, 4, 31, 32,  
38, 43, 50, 52, 93, 94, 95, 96, 98

Ketahanan air .....xi, 3, 38, 98, 99

Kopolimerisasi..... 20, 96

Kristalin16, 18, 52, 53, 55, 59, 61,  
84

## **L**

Laju hidrolisis ..... 80

Larutan alkali ..... 17, 53, 54, 55

Ligninix, x, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 19,  
20, 21, 22, 24, 53, 54, 55, 57,  
58, 59, 61, 66, 77, 85

Lignoselulosa2, 19, 20, 35, 54, 85

Limbah sawit..i, iii, iv, vi, vii, xii,  
xiii, xiv, 3, 4, 5, 14, 16, 23, 24,  
49, 53, 67, 71, 83, 90, 101

LLDPE..... 63, 64, 85, 100, 113

## **M**

*Melt intercalation* .....91, 100

Membranvi, xi, xii, xiv, 1, 2, 6, 17,  
39, 40, 41, 44, 47, 51, 63, 67,  
68, 69, 71

MFC..... 51

Modulus31, 32, 35, 38, 40, 43, 52,  
94, 95

<b>N</b>	<b>S</b>
Nanoselulosaviii, ix, xi, xii, xiii, 3, 4, 42, 43, 44, 50, 51, 52, 53, 57, 59, 61, 62, 63, 64, 66, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 102, 105, 106, 107, 108	SA..... 87
NSAix, xi, 75, 78, 92, 99, 105, 106, 107, 108	SAB ..... 88
<b>O</b>	SAP..... 87
Oxobiodegradable..... 85	Selulosavi, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 24, 27, 37, 38, 39, 40, 44, 47, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 94, 96, 99, 100, 101, 102, 114
<b>P</b>	Selulosa asetatvi, viii, ix, xi, xiv, 2, 3, 4, 39, 40, 44, 61, 62, 63, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 80, 81, 82, 83, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 94, 96, 99, 100, 101, 114
PEG ..... 39	Selulosa diasetat.....69, 76
PHA.....86, 89	Selulosa I .....2, 6, 16, 17, 18
PLA..... 43, 45, 86, 88, 89	Selulosa monoasetat..... 69
<i>Plasticizer</i> ..... 87, 96, 97, 100	Selulosa triasetat..... 69
Poliblend..... 84	SEM..... 58
Polietilena ..... 35, 39, 85, 91, 96	Sentrifugasi ..... 80
Polikondensasi .....20, 88	Senyawa peroksida.....54, 55
Polimervi, xi, xii, xiv, 4, 6, 16, 18, 19, 20, 23, 35, 40, 41, 42, 43, 51, 61, 64, 69, 71, 75, 81, 84, 85, 92, 93, 95, 96, 97, 100, 113	<i>Solution process</i> ..... 73
Polimer alam .....18, 84	Solvent.....65, 73
Polimer sintetis ..... 84	<i>Solvent process</i> ..... 73
Polimerisasi18, 20, 52, 75, 84, 88, 100	Sonikasi.....59, 62
<b>R</b>	Struktur jaring..... 75
Reaktivitas ..... 74	Struktur linear ..... 75
Rendemen17, 30, 45, 54, 55, 73	
Resin .....20, 32, 36, 45, 48, 113	



<b>T</b>	
Tensile strength...	35, 37, 43, 94
Titration.....	70
tkks .....	47
TKKSix, x, xi, 1, 7, 8, 9, 25, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 49, 53, 68, 69, 82, 90	
<i>Toughness</i> .....	94
Transmittance .....	77
Turtoisity.....	52
Turunan ftalat.....	91
Turunan glikol .....	91
<b>U</b>	
Ultrasonikasi.....	57, 64, 102
<b>V</b>	
Viskositas .....	61, 73, 75, 80, 97
<b>X</b>	
XRD.....	58, 59, 66
Xylanase .....	55
<b>Y</b>	
<i>Yield</i> .....	76, 77, 94
<i>Yield strength</i> .....	94

## PROFIL PENULIS



**Lestari Hetalesi Saputri, S.T., M.Eng.**, lahir di Bengkulu, 25 Oktober 1984. Menempuh pendidikan S-1 Teknik Kimia di Universitas Islam Indonesia tahun 2002-2006 dan S-2 Teknik Kimia Konsentrasi Teknik Kimia Proses di Universitas Gadjah Mada tahun 2011-2014. Penelitian yang pernah dilakukan penulis, antara lain “Pengaruh  $KMnO_4$  dan Pati terhadap Hasil Oksidasi LLDPE” mendapat Hibah Kompetisi dari Dirjen Pendidikan Tinggi tahun 2006-2008; “Sintesis Biodegradasi Campuran Hasil Fotooksidasi LLDPE dengan Bahan Alam untuk Kelestarian Lingkungan” mendapat Hibah Kompetisi dari Dirjen Pendidikan Tinggi tahun 2010-2011; “Sintesis Poliester dari *Shellac* dan Anhidrida Ftalat sebagai Material *Coating* yang Ramah Lingkungan” mendapat PHKI (Program Hibah Kompetisi Institusi) dari Dirjen Pendidikan Tinggi tahun 2014; “Optimasi Proses Hidrolisis *Vinasse* sebagai Bahan Baku Resin Polimer yang Ramah Lingkungan” mendapat Hibah Penelitian DIPA Kopertis Wilayah V Yogyakarta tahun 2016; “Optimasi Produksi Furfural dari Hidrolisis Bagasse dengan Konsentrasi Asam Asetat dan Variasi Suhu” mendapat pendanaan Penelitian Mandiri tahun 2017; “Perbandingan Jenis dan Kadar Bahan Perekat pada Pembuatan Briket Blotong Sebagai Bahan Bakar Alternatif” mendapat pendanaan Penelitian Mandiri tahun 2017; “Produksi Umbi dan Kandungan Flavonoid Bawang Dayak dengan Pemupukan Organik Kompos *Vinasse*” mendapat Hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) dari Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat-DRPM, Kemenristekdikti tahun 2018; “Optimasi Proses Ekstraksi Furfural dari *Bagasse* dan *Trash* (Sogolan, Momol, Daduk) sebagai Bahan Baku *Coating Material*” mendapat Hibah Penelitian

DIPA Kopertis V Yogyakarta tahun 2018; “Isolasi Nanoserat Selulosa dari Limbah Ampas Tebu Menggunakan Blender Rumah Tangga sebagai Penguat Resin Alami *Shellac* yang Ramah Lingkungan” mendapat Hibah Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi tahun 2017-2018; dan “Sintesis Bioplastik (Selulosa Asetat) dari Limbah Batang Kelapa Sawit (BKS) Hasil Replanting Perkebunan Sawit” mendapat Hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) dari Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat- DRPM, Kemenristekdikti tahun 2019.

Selain aktif melakukan penelitian, penulis juga aktif dalam pengabdian masyarakat, publikasi karya ilmiah, dan menulis buku. Beberapa penghargaan yang pernah diraih penulis, antara lain Ahli Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Bidang Kimia oleh Menteri Ketenagakerjaan RI tahun 2015-2017; Gender Focal Point (GFP) Politeknik LPP oleh Kemenristekdikti tahun 2017-sekarang; Anggota Bidang Pendidikan, Forum Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Kota Yogyakarta oleh Walikota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 2018-sekarang; Asesor Kompetensi oleh Badan Nasional Sertifikasi Profesi (BNSP) tahun 2018-sekarang; dan Pelatih Sistem Penjaminan Mutu Internal (SPMI) oleh Direktorat Jenderal Pembelajaran dan Kemahasiswaan, Kemenristekdikti tahun 2019-sekarang.

## PROFIL KAMPUS



Politeknik LPP dari segi historis terkait erat dengan pusat pengembangan SDM perkebunan Indonesia, yaitu Lembaga Pendidikan Perkebunan (LPP). Lembaga ini merupakan pengembangan dari College Gula Negara (CGN) yang didirikan pada tahun 1950, yaitu lembaga yang menyiapkan ahli gula di Indonesia. Pada tahun 1960, CGN berubah menjadi AGN (Akademi Gula Negara) dengan tetap meluluskan ahli gula. Pengembangan SDM perkebunan gula ini kemudian diperluas ke perkebunan aneka tanaman (kelapa sawit, teh, kopi, kakao, dan lain-lain), sehingga AGN diubah menjadi Lembaga Pendidikan Perkebunan (LPP) pada tahun 1970.

Oleh karena adanya kebutuhan SDM perkebunan yang semakin meningkat, maka atas kehendak perusahaan perkebunan, LPP diminta untuk membuka program Pendidikan Ahli Usaha Perkebunan (PAUP), atau program pendidikan setara D-III dengan jurusan Agronomi, Teknik Mesin, Pengolahan dan Akuntansi. PAUP berdiri pada tahun 1983. Seiring dengan perjalanan waktu, PAUP berkembang menjadi Politeknik LPP yang ditetapkan dengan SK Mendikbud Nomor

66/D/)/1997 dan SK Dirjen Dikti Depdikbud Nomor 319/Dikti/Kep/1998.

Politeknik LPP ditetapkan dengan SK Mendikbud Nomor 66/D/O/1997 dan SK Dirjen Dikti Depdikbud Nomor 319/Dikti/Kep/1998. Politeknik LPP mempunyai 4 program studi (PS), yaitu: PS Teknik Kimia, PS Teknik Mesin, PS Akuntansi, dan PS Budidaya Tanaman Perkebunan. Mulai tahun 2010, Politeknik LPP telah membuka Program D-IV untuk PS Budidaya Tanaman Perkebunan.