

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
INTISARI	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Manfaat Penelitian.....	8
1.5 Kebaruan Penelitian.....	8
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	18
2.1 Biomassa Lignoselulosa.....	18
2.2 Pretreatmen Biomassa Lignoselulosa.....	23
2.3 Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	31
2.4 Selulosa dan Nanokristalin Selulosa (CNC).....	33
2.5 Metode Hidrolisis pada Isolasi CNC.....	38
2.6 CNC sebagai Komposit Biofilm.....	45
BAB III. DASAR TEORI	49
3.1 Mekanisme Metode Hidrolisis Pada Isolasi CNC.....	49
3.2 Pengaruh Parameter Proses terhadap Hidrolisis Selulosa.....	52
3.3 Optimasi Proses dan Karakteristik CNC TKKS.....	56
3.4 Hipotesis.....	58
BAB IV. METODE PENELITIAN	61
4.1 Bahan Penelitian.....	61
4.2 Peralatan Penelitian.....	61
4.3 Tempat dan Waktu Penelitian.....	62
4.4 Tahapan Penelitian.....	62
4.4.1. Pretreatmen untuk Isolasi α -selulosa TKKS.....	65
4.4.1.1. Tujuan penelitian.....	65
4.4.1.2. Metode penelitian.....	65
4.4.2. Hidrolisis Asam untuk Isolasi CNC TKKS.....	68
4.4.2.1. Tujuan penelitian.....	68
4.4.2.2. Metode penelitian.....	69
4.4.2.3. Desain eksperimen.....	70
4.4.3. Hidrolisis Kombinasi Enzimatis dan Kimiawi pada Isolasi CNC TKKS.....	73
4.4.3.1. Tujuan penelitian.....	73
4.4.3.2. Metode penelitian.....	73
4.4.3.3. Desain eksperimen.....	74
4.4.4. Pembuatan Komposit Biopolimer Film.....	78
4.4.4.1. Tujuan penelitian.....	78

4.4.4.2.	Metode penelitian	78
4.4.4.3.	Desain eksperimen.....	80
4.5	Prosedur Analisis.....	80
4.5.1.	Analisis Komponen Lignoselulosa dan Yield Selulosa	80
4.5.2.	Yield Kristalin Selulosa	81
4.5.3.	Analisis X-Ray Diffraction (Indeks Kristalinitas dan Ukuran Kristal)	82
4.5.4.	Uji Warna dan <i>Whiteness Index</i>	83
4.5.5.	Fourier Transmission Infra-Red spectroscopy (FTIR).....	83
4.5.6.	Scanning Electron Microscope (SEM)	84
4.5.7.	Distribusi Ukuran Partikel	84
4.5.8.	Ketebalan Film.....	85
4.5.9.	<i>Tensile Strength</i> dan Elongasi.....	85
4.5.10.	<i>Water Vapor Transmission Rate</i>	86
BAB V.	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	87
5.1.	Karakteristik Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Pretreatmen Selulosa TKKS	87
5.1.1.	Karakteristik TKKS	87
5.1.2.	Pretreatmen Isolasi Selulosa TKKS.....	88
5.1.3.	Yield dan Kristalinitas Selulosa TKKS	95
5.1.4.	Analisis Difraktogram Sinar-X (XRD) dan FTIR.....	95
5.2.	Hidrolisis Kimiawi pada Isolasi CNC TKKS	102
5.2.1.	Evaluasi Suhu pada Hidrolisis Asam.....	102
5.2.1.1.	Yield kristalin selulosa TKKS	102
5.2.1.2.	Indeks kristalinitas selulosa TKKS.....	104
5.2.2.	Evaluasi Waktu pada Hidrolisis Asam	107
5.2.2.1.	Yield kristalin selulosa TKKS	107
5.2.2.2.	Indeks kristalinitas selulosa TKKS.....	109
5.2.3.	Evaluasi Konsentrasi Asam Sulfat pada Hidrolisis Asam	112
5.2.3.1.	Yield kristalin selulosa	112
5.2.3.2.	Indeks kristalinitas selulosa TKKS.....	114
5.2.3.3.	Fourier Transmission Infra-Red spectroscopy (FTIR)	117
5.2.4.	Kesimpulan	120
5.3.	Hidrolisis Kombinasi Enzimatis dan Kimiawi pada Isolasi CNC TKKS ..	120
5.3.1.	Evaluasi Konsentrasi Enzim pada Metode Hidrolisis Kombinasi	120
5.3.2.	Evaluasi Lama Waktu Hidrolisis Enzim pada Metode Hidrolisis Kombinasi.....	123
5.3.3.	Kesimpulan	127
5.4.	Perbandingan Pengaruh Metode Hidrolisis terhadap Karakteristik CNC TKKS	127
5.4.2.	Perubahan Indeks Kristalinitas Selulosa TKKS dari Beberapa Metode Hidrolisis	131
5.4.3.	<i>Fourier Transmission Infra-Red Spectroscopy</i> (FTIR)	134
5.4.4.	Morfologi CNC	138
5.4.5.	Distribusi Ukuran Partikel CNC TKKS.....	141
5.4.6.	Karakteristik Warna dan <i>Whiteness Index</i> Kristalin Selulosa TKKS	146
5.4.7.	Kesimpulan	147
5.5.	Aplikasi CNC TKKS Sebagai Komposit Biofilm.....	148
5.5.1.	Profil Warna dan <i>Whiteness Index</i> Biofilm.....	148

5.5.2. Ketebalan Film, <i>Tensile Strenght</i> dan Elongasi	151
5.5.3. <i>Water Vapor Transmission Rate (WVTR)</i> , <i>Permeance</i> , dan <i>Water Vapor Permeability (WVP)</i>	154
5.5.4. Kesimpulan	156
5.6. Pembahasan Umum	157
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	161
6.1. Kesimpulan	161
6.1.1. Kesimpulan umum	161
6.1.2. Kesimpulan khusus	161
6.2. Saran	163
DAFTAR PUSTAKA	164

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1. Skematik biomassa lignoselulosa (Millati <i>et al.</i> , 2020)	19
Gambar 2.2. Skematik tujuan pretreatmen pada biomassa lignoselulosa (Mosier <i>et al.</i> , 2005)	24
Gambar 2.3. Produksi CPO dan TKKS di Indonesia 5 tahun terakhir (GAPKI, 2024)	32
Gambar 2.4. Skematik struktur selobiose (Phanthong <i>et al.</i> , 2018)	34
Gambar 2.5. Struktur kimia rantai selulosa (H. V Lee <i>et al.</i> , 2014)	35
Gambar 2.6. Skema dari (a) <i>single</i> unit selulosa, dengan ikatan 1–4 dan ikatan hidrogen (dotted line), (b). Mikro fibril selulosa yang menunjukkan area kristalin dan amorf (Moon <i>et al.</i> , 2011).	36
Gambar 2.7. Skema proses isolasi CNC dari TKKS	40
Gambar 2.8. Mekanisme hidrolisis asam (a) (Peng <i>et al.</i> , 2011); mekanisme hidrolisis enzimatis dengan β , 1-4 endoglukanase (b) (Engstrom <i>et al.</i> , 2006)	41
Gambar 2.9. Ilustrasi skematis metode hidrolisis kombinasi proses isolasi CNC (An <i>et al.</i> , 2016; H. V Lee <i>et al.</i> , 2014)	42
Gambar 3.1. Skema mekanisme hidrolisis kombinasi enzimatis dan kimiawi ..	52
Gambar 4.1. Skema tahapan penelitian	64
Gambar 4.2. Proses pretreatmen isolasi selulosa TKKS (Barlianti <i>et al.</i> , 2015; Z. Wang <i>et al.</i> , 2017)	66
Gambar 4.3. Proses hidrolisis kimiawi untuk isolasi kristalin selulosa (Oun & Rhim, 2016)	70
Gambar 4.4. Isolasi kristalin selulosa TKKS menggunakan metode hidrolisis kombinasi	77
Gambar 4.5. Cara kerja pembuatan komposit biopolimer film CNC	79
Gambar 5.1. Profil TKKS sebelum dan setelah pretreatmen	89
Gambar 5.2. Persentase lignin yang hilang dalam TKKS setelah proses pretreatmen	94
Gambar 5.3. Difraktogram sinar-X pada TKKS sebelum dan setelah pretreatmen	98
Gambar 5.4. Hasil spektrum FTIR TKKS sebelum dan setelah proses pretreatmen	99
Gambar 5.5. Grafik pengaruh variasi suhu hidrolisis asam terhadap yield kristalin selulosa TKKS	101
Gambar 5.6. Spektrum XRD kristalin selulosa TKKS variasi suhu hidrolisis asam	103
Gambar 5.7. Pengaruh variasi waktu hidrolisis kimiawi terhadap yield kristalin selulosa	106
Gambar 5.8. Spectrum XRD kristalin selulosa TKKS variasi waktu hidrolisis asam	109
Gambar 5.9. Pengaruh konsentrasi asam sulfat terhadap yield kristalin selulosa	112

Gambar 5.10. Spektrum XRD kristalin selulosa TKKS variasi konsentrasi asam sulfat	114
Gambar 5.11. Grafik FTIR perbandingan TKKS, selulosa TKKS dan kristalin selulosa TKKS hasil hidrolisis asam sulfat	118
Gambar 5.12. Mekanisme hidrolisis kombinasi	129
Gambar 5.13. X-ray diffractogram TKKS, selulosa TKKS, CNC metode enzimatis, CNC metode kimiawi, dan CNC metode kombinasi	131
Gambar 5.14. FTIR selulosa TKKS, kristalin selulosa metode hidrolisis enzim, kristalin selulosa metode hidrolisis asam, dan kristalin selulosa metode hidrolisis kombinasi	134
Gambar 5.15. Gambar analisis SEM	138
Gambar 5.16. Distribusi ukuran partikel CNC pada proses hidrolisis kombinasi	141
Gambar 5.17. Profil dan penampakan biofilm	147

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 1.1. Matriks kajian metode isolasi CNC	10
Tabel 2.1. Komposisi lignoselulosa beberapa limbah pertanian	22
Tabel 2.2. Pretreatmen pada material lignoselulosa.....	26
Tabel 2.3. Komposisi kimia TKKS	33
Tabel 3.1. Matrik hubungan antara permasalahan, tujuan, dan hipotesis	59
Tabel 4.1. Desain eksperimen proses hidrolisis kimiawi	71
Tabel 4.2. Desain eksperimen metode hidrolisis kombinasi enzimatis dan kimiawi	75
Tabel 5.1. Komponen kimia dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS)	87
Tabel 5.2. Komponen kimia selulosa TKKS setelah proses pretreatmen	89
Tabel 5.3. Hasil analisis warna dan <i>whiteness index</i> TKKS sebelum dan sesudah proses pretreatmen.....	93
Tabel 5.4. Data yield, dan indeks kristalinitas selulosa TKKS pada berbagai metode pretreatmen.....	94
Tabel 5.5. Perbandingan spektrum panjang gelombang gugus fungsi selulosa hasil berbagai metode pretreatmen dan referensi.....	101
Tabel 5.6. Pengaruh variasi suhu hidrolisis asam terhadap indeks kristalinitas kristalin selulosa TKKS	105
Tabel 5.7. Pengaruh variasi waktu hidrolisis asam terhadap indeks kristalinitas kristalin selulosa TKKS	110
Tabel 5.8. Indeks kristalinitas dan ukuran kristal selulosa variasi konsentrasi asam sulfat proses hidrolisis asam	115
Tabel 5.9. Kristalin selulosa TKKS hasil variasi konsentrasi enzim endoglukanase pada hidrolisis metode kombinasi	120
Tabel 5.10. Selulosa kristalin hasil variasi lama waktu hidrolisis metode kombinasi	123
Tabel 5.11. Perbandingan yield dan indeks kristalinitas berbagai metode hidrolisis	125
Tabel 5.12. Pengaruh metode hidrolisis terhadap yield, indeks kristalinitas dan rata-rata diameter kristalin selulosa TKKS	128
Tabel 5.13. Spektrum panjang gelombang dan gugus fungsional pada selulosa ...	135
Tabel 5.14. Analisis ukuran partikel, indeks polidispersitas dan zeta potential	142
Tabel 5.15. Karakteristik warna dan <i>whiteness index</i> kristalin selulosa dari TKKS.....	143
Tabel 5.16. Pengaruh penambahan CNC terhadap profil warna dan <i>whiteness index</i> biofilm	147
Tabel 5.17. Pengaruh konsentrasi CNC terhadap profil ketebalan, tensile strength (TS), dan elongasi film	150
Tabel 5.18. Pengaruh konsentrasi CNC terhadap WVTR, <i>permeance</i> dan WVP	153

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1.** Data hasil pretreatmen
- Lampiran 2.** Data hasil tahap hidrolisis asam variasi suhu
- Lampiran 3.** Data hasil tahap hidrolisis asam variasi waktu
- Lampiran 4.** Data hasil tahap hidrolisis asam variasi konsentrasi
- Lampiran 4.** Data hasil tahap hidrolisis kombinasi variasi konsentrasi
- Lampiran 5.** Data hasil tahap hidrolisis kombinasi variasi waktu
- Lampiran 6.** Data hasil pengujian chromameter
- Lampiran 7.** Data hasil pengujian tensile strenght dan elongasi
- Lampiran 8.** Data hasil pengujian WVTR
- Lampiran 9.** Data analisis statistik