

**STUDI MEKANISME PICKERING EMULSION PADA PEMBUATAN FOAM
DARI SELULOSA TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) YANG
DIPERKUAT DENGAN CELLULOSE NANOFIBRIL (CNF)**

TUGAS AKHIR

Oleh:

**SYARIFAH NABILA
NIM 175100607111010**



**JURUSAN KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2021

**STUDI MEKANISME PICKERING EMULSION PADA PEMBUATAN FOAM
DARI SELULOSA TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) YANG
DIPERKUAT DENGAN CELLULOSE NANOFIBRIL (CNF)**

TUGAS AKHIR

Oleh:

**SYARIFAH NABILA
NIM 175100607111010**

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Sarjana Teknik**



**JURUSAN KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2021

LEMBAR PERSETUJUAN

Judul : Studi Mekanisme *Pickering Emulsion* pada Pembuatan
Foam dari Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)
yang diperkuat dengan *Cellulose Nanofibril* (CNF)

Nama Mahasiswa : Syarifah Nabila

NIM : 175100607111010

Jurusan : Keteknikan Pertanian

Fakultas : Teknologi Pertanian

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Anang Latriyanto, M.Si

NIP. 19621004 199002 1 001

Putri Amanda, M.Si

NIP. 19920226 201902 2 002

Tanggal Persetujuan:

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : Studi Mekanisme *Pickering Emulsion* pada Pembuatan *Foam* dari Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang diperkuat dengan *Cellulose Nanofibril* (CNF)

Nama Mahasiswa : Syarifah Nabila

NIM : 175100607111010

Jurusan : Keteknikan Pertanian

Fakultas : Teknologi Pertanian

Dosen Penguji

Yusuf Hendrawan, STP., M.App.Life.Sc., Ph.D

NIP. 19810516 200312 1 002

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Anang Latriyanto, M.Si

NIP. 19621004 199002 1 001

Dosen Pembimbing II

Putri Amanda, M.Si

NIP. 19920226 201902 2 002

Ketua Jurusan



Dr. Eng. Akhmad Adi Sulianto, STP., M.Eng

NIP. 19790501 200501 1 001

Tanggal Persetujuan:



RIWAYAT HIDUP



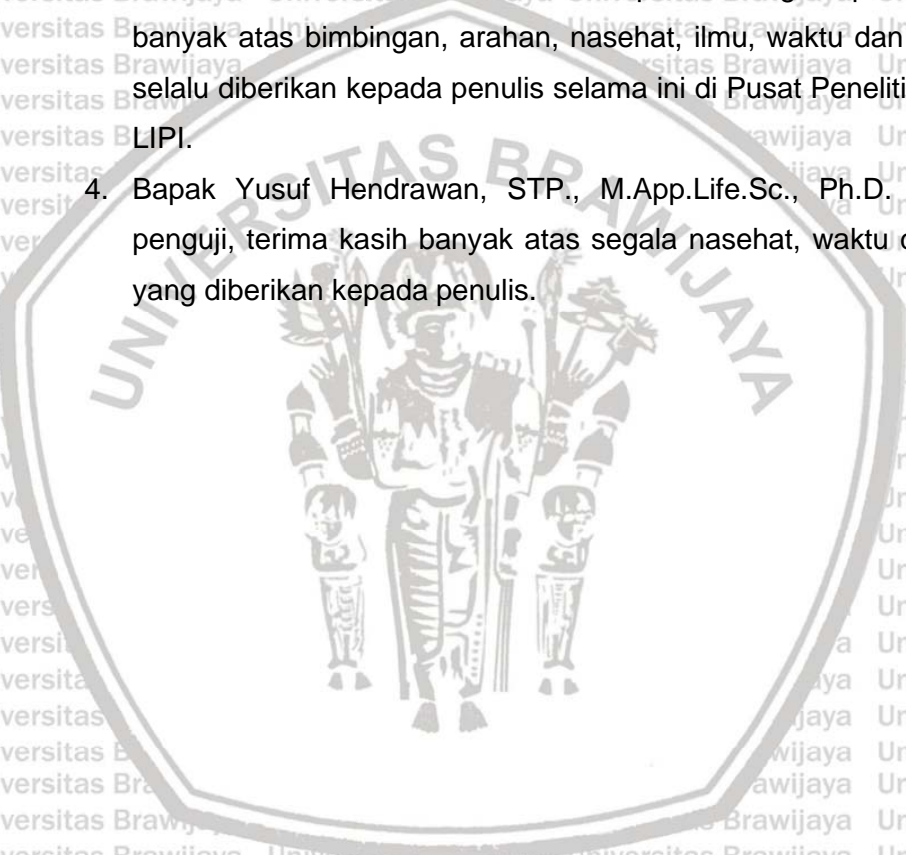
Syarifah Nabila, anak kandung dari Abah Mohamad Fadri dan Umi Faizah Shahab. Dilahirkan di Jakarta pada tanggal 13 Juli 1998 sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN Palmerah 15 Pagi pada tahun 2010. Kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama di SMP N 75 Jakarta Barat dan lulus pada tahun 2013. Sekolah menengah tingkat atas diselesaikan di SMA N 65 Jakarta Barat dengan Program Studi Ilmu Pengetahuan Alam dan lulus pada tahun 2015. Pada tahun 2017 penulis masuk ke perguruan tinggi pada program Studi Teknik Bioproses, Jurusan Keteknikan Pertanian, Universitas Brawijaya. Penulis aktif di beberapa kegiatan kampus baik akademik maupun non akademik. Dalam kegiatan akademik penulis aktif sebagai Asisten Kimia Dasar, Kimia Organik, Fisika Dasar dan Desain Eksperimen. Adapun pada kegiatan non akademik, penulis aktif di organisasi BEM FTP pada tahun 2018 sebagai anggota kementerian ADVOKESMA BEM FTP, menjadi Wakil Menteri ADVOKESMA BEM FTP tahun 2019 dan menjadi Menteri ADVOKESMA BEM FTP tahun 2020 selain itu penulis juga aktif di beberapa kepanitiaan sebagai staff Kestari PEMIRA Universitas Brawijaya tahun 2018, Sekretaris Pelaksana 3 PKK FTP tahun 2018, *Steering Committee Acara Scholarship Talk* tahun 2019, Koordinator Sekretaris PKK FTP tahun 2019, Tim *Steering Committee Agritech Health and Care* tahun 2020 dan Tim *Steering Committee Scholarship Talk* tahun 2020. Penulis memperoleh beberapa prestasi selama menimba ilmu di dunia perkuliahan. Prestasi yang diraih saat menjadi mahasiswa baru pada tahun 2017 adalah juara 2 PKM-K Pekan Ilmiah Mahasiswa Baru (PIMBA) FTP dan 10 besar finalis PKM-PSH Pekan Ilmiah Mahasiswa Baru (PIMBA) FTP. Selain itu, prestasi yang diraih pada tahun 2019 adalah 10 besar finalis *Business Administration Competition*, Universitas Sumatera Utara.



HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya tulis kecil ini saya persembahkan untuk :

1. Umi, Abah dan Adik, terima kasih selalu memberikan dukungan, doa setulus hati tiada henti, pengorbanan dan kasih sayang yang tiada batasnya.
2. Bapak Dr. Ir. Anang Lastriyanto, M.Si selaku dosen pembimbing skripsi I, terima kasih banyak atas bimbingan, nasehat dan bantuan yang selalu diberikan kepada penulis.
3. Ibu Putri Amanda, M.Si selaku dosen pembimbing skripsi II, terima kasih banyak atas bimbingan, arahan, nasehat, ilmu, waktu dan bantuan yang selalu diberikan kepada penulis selama ini di Pusat Penelitian Biomaterial LIPI.
4. Bapak Yusuf Hendrawan, STP., M.App.Life.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji, terima kasih banyak atas segala nasehat, waktu dan bimbingan yang diberikan kepada penulis.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Syarifah Nabila

NIM : 175100607111010

Jurusan : Keteknikan Pertanian

Fakultas : Teknologi Pertanian

Judul TA : Studi Mekanisme *Pickering Emulsion* pada Pembuatan

Foam dari Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

yang diperkuat dengan *Cellulose Nanofibril* (CNF)

Menyatakan bahwa,

Tugas Akhir dengan judul di atas merupakan karya asli penulis tersebut diatas.

Apabila dikemudian hari terbukti pernyataan ini tidak benar, saya bersedia dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Malang, 19 Juli 2021

Pembuat Pernyataan



Syarifah Nabila

NIM 175100607111010

SYARIFAH NABILA. 175100607111010. Studi Mekanisme *Pickering Emulsion* pada Pembuatan *Foam* dari Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang diperkuat dengan *Cellulose Nanofibril* (CNF). TA. Pembimbing I: Dr. Ir. Anang Lastryanto, M.Si Pembimbing II: Putri Amanda, M.Si Penguji: Yusuf Hendrawan, STP., M.App.Life.Sc., Ph.D.

RINGKASAN

Kelapa sawit merupakan salah satu sumber dari biobased material dan memiliki peran penting bagi perekonomian Indonesia. Produksi kelapa sawit yang terus meningkat menghasilkan limbah padat yang berlimpah ruah yakni tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Tingginya kandungan selulosa pada TKKS tersebut membuat TKKS berpotensi sebagai *raw material* untuk di manfaatkan selulosanya. Pada penelitian ini penulis memilih untuk menjadikan selulosa yang terkandung pada TKKS menjadi material berpori seperti *foam* (busa) yang disebut dengan selulosa *foam*. Permasalahan dalam pembuatan selulosa *foam* ini adalah hasil akhir dari *foam* (busa) sangat bergantung pada jumlah *foam* (busa). Sehingga salah satu cara yang digunakan untuk meningkatkan foamabilitas dan stabilitas *foam* (busa) adalah dengan menggunakan teknologi *pickering emulsion*. Penelitian ini menggunakan analisa deskriptif dengan menampilkan grafik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi optimal dari surfaktan *sodium dodecyl sulfate* (SDS) untuk memperoleh volume *foam* (busa) paling maksimal dan mengetahui karakteristik fisik mekanik serta morfologi selulosa *foam*. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini antara lain FTIR untuk menganalisa gugus fungsi TKKS, perhitungan densitas dan porositas terhadap selulosa *foam*, *wet stability*, analisa morfologi selulosa *foam* dengan mikroskop tiga dimensi dan uji kuat tekan. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan konsentrasi optimal surfaktan SDS yang diperlukan dalam proses produksi selulosa *foam* adalah 0,25 g/L. Hasil dari penambahan *cellulose nanofibril* (CNF) pada selulosa *foam* dapat dilihat pada kemampuan berbusa dan *wet stability* yang mana lebih stabil dibandingkan dengan yang tidak ditambahkan CNF. Nilai *stress* paling rendah yakni 0,00017 N/mm² terdapat pada selulosa foam dengan konsentrasi SDS 0,25 g/L yang memiliki densitas terkecil yakni 0,070 gr/cm³.

Kata Kunci: *Pickering Emulsion*, Selulosa *Foam*, Tandan Kosong Kelapa Sawit

SYARIFAH NABILA. 175100607111010. Study of Pickering Emulsion Mechanism on Foam Production from Cellulose of Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB) Reinforced with Cellulose Nanofibrils (CNF). TA. 1st

Supervisor : Dr. Ir. Anang Lastriyanto, M.Si, 2nd Supervisor : Putri Amanda, M.Si, Examiner : Yusuf Hendrawan, STP., M.App.Life.Sc., Ph.D

SUMMARY

Palm oil is a source of biobased material and has an important role for the Indonesian economy. Oil palm production continues to increase, resulting in an abundance of solid waste, namely Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB). The high cellulose content in OPEFB makes OPEFB potentially useful as a raw material for cellulose to be utilized. In this study, the authors chose to convert the cellulose contained in OPEFB into a porous material such as foam called cellulose foam. The problem in making cellulose foam is that the final result of foam is very dependent on the amount of foam. So one of the methods used to increase foamability and foam stability is to use pickering emulsion technology. This study uses descriptive analysis by displaying graphs. This study aims to determine the optimal concentration of surfactant sodium dodecyl sulfate (SDS) to obtain the maximum volume of foam and to determine the physical mechanical characteristics and morphology of cellulose foam. Tests carried out in this study include FTIR to analyze the OPEFB functional group, calculation of density and porosity of cellulose foam, wet stability, morphological analysis of cellulose foam with a three-dimensional microscope and compressive strength test. Based on the results of the study, it was found that the optimal concentration of SDS surfactant needed in the production process of cellulose foam was 0,25 g/L. The results of the addition of cellulose nanofibrils (CNF) to cellulose foam can be seen in the foaming ability and wet stability which are more stable than those without CNF. The lowest stress value of 0,00017 N/mm² is found in cellulose foam with an SDS concentration of 0,25 g/L which has the smallest density of 0,070 gr/cm³.

Key Words: Cellulose Foam, Oil Palm Empty Fruit Bunches, Pickering Emulsion

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas berkat rahmat serta ridho-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul

“Studi Mekanisme *Pickering Emulsion* pada Pembuatan *Foam* dari Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang diperkuat dengan *Cellulose Nanofibril (CNF)*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk

memperoleh gelar sarjana S1 di Fakultas Teknologi Pertanian. Penyusunan laporan penelitian tugas akhir ini tidak lepas dari masukan dan dukungan yang diberikan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua Ummi dan Abah serta Adik Neyla Hannum yang dengan penuh kasih sayang memberikan kepercayaan dan dukungan
2. Dr. Ir. Anang Latriyanto, M.Si selaku dosen pembimbing skripsi I atas waktu yang diberikan untuk membimbing serta memberikan saran berarti.
3. Putri Amanda, M.Si selaku peneliti serta dosen pembimbing skripsi II selama di Puslit Biomaterial LIPI yang telah bersedia memberikan arahan dan ilmu yang berarti kepada penulis selama kegiatan penelitian berlangsung. Serta Yusuf Hendrawan, STP., M.App.Life.Sc., Ph.D selaku dosen penguji atas segala ilmu dan saran yang diberikan.
4. Dr.Eng. Akhmad Adi Sulianto, STP., M.Eng selaku Ketua Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya Malang.
5. Seluruh kerabat dekat (Amelia, Alda, Aida, Ari, Fany, dan Naomi,) keluarga ADVOKESMA 2020 dan keluarga besar Teknik Bioproses 2017 yang telah memberi banyak kisah, dukungan dan pembelajaran.

Penulis menyadari bahwa banyak kekurangan yang terdapat pada skripsi sehingga perlu diadakannya penyempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan untuk menyempurnakan penulisan skripsi ini. Semoga karya tulis skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak.

Malang, 19 Juli 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
RIWAYAT HIDUP.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	vi
RINGKASAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah Penelitian.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	5
2.2 Lignin.....	6
2.3 Selulosa.....	7
2.4 Proses <i>Bleaching</i> (Pemutihan) dengan H ₂ O ₂	8
2.5 Metode <i>Grinding</i> (Penggilingan) dan CNF (<i>Cellulose Nanofibril</i>).....	9
2.6 SDS (<i>Sodium Dodecyl Sulfate</i>).....	11
2.7 C-PAM (<i>Cationic Polyacrylamide</i>).....	12
2.8 Selulosa <i>Foam</i>	12
2.9 <i>Pickering Emulsion</i>	13
2.10 FTIR.....	14
2.11 Digital Mikroskop 3 Dimensi.....	15
2.12 Uji Kuat Tekan.....	16
2.13 Penelitian Terdahulu.....	16
BAB III METODE PENELITIAN.....	20
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	20
3.2 Alat dan Bahan.....	20





3.3 Metode Penelitian.....	29
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	29
3.5 Diagram Alir.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1 Preparasi Selulosa dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).....	43
4.1.1 Pemutihan (<i>Bleaching</i>).....	43
4.1.2 Pengujian Komposisi Kimia Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).....	46
4.2 Proses Pembuatan Selulosa <i>Foam</i> Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Mekanisme <i>Pickering Emulsion</i>	48
4.2.1 Optimasi Konsentrasi Surfaktan <i>Sodium Dodecyl Sulfate</i> (SDS) dan Pengaruhnya terhadap <i>Foamabilitas</i> Selulosa <i>Foam</i> Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).....	49
4.2.2 Mekanisme <i>Pickering Emulsion</i>	52
4.2.3 Pengaruh Agen <i>Pickering Cellulose Nanofibril</i> (CNF) terhadap Stabilitas <i>Foam</i> (Busa) pada Pembuatan Selulosa <i>Foam</i>	53
4.3 Karakterisasi Selulosa <i>Foam</i>	55
4.3.1 Pengukuran Densitas dan Porositas Selulosa <i>Foam</i>	55
4.3.2 Morfologi Selulosa <i>Foam</i>	57
4.3.3 Uji Mekanik (Kuat Tekan) Selulosa <i>Foam</i>	60
BAB V PENUTUP	62
5.1 Kesimpulan.....	62
5.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA.....	63
LAMPIRAN.....	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kadar Komposisi Kimia TKKS 6

Tabel 2.2. Daerah Serapan pada FTIR dari Biomassa 15

Tabel 2.3. Penelitian Terdahulu Mengenai Pembuatan Selulosa Foam 16

Tabel 3.1. Alat 20

Tabel 3.2. Bahan 26

Tabel 4.1. Daerah Serapan TKKS *Bleached* dan *Unbleached* 46

Tabel 4.2. Komposisi Kimia Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) 47

Tabel 4.3. Densitas dan Porositas Selulosa Foam 56

Tabel 4.4. Hasil Uji Kuat Tekan 60



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)..... 5

Gambar 2.2. Struktur Lignin..... 7

Gambar 2.3. Struktur Selulosa Rantai Tunggal 8

Gambar 2.4. Morfologi *Cellulose Nanofibril* (CNF) dengan TEM 10

Gambar 2.5. Struktur Surfaktan *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS) 11

Gambar 2.6. Struktur *Cationic Polyacrylamide* (C-PAM) 12

Gambar 2.7. Mekanisme dari *Pickering Emulsion* yang diperkuat dengan MFC 14

Gambar 3.1. Diagram Alir Proses *Bleaching* (Pemutihan) 34

Gambar 3.2. Diagram Alir Analisa Kadar Lignin 37

Gambar 3.3. Diagram Alir Analisa Kadar Selulosa 39

Gambar 3.4. Diagram Alir Pembuatan *Cellulose Nanofibril* (CNF)..... 40

Gambar 3.5. Diagram Alir Optimasi Pembuatan Selulosa *Foam* Tandan Kosong Kelapa Sawit Parameter Massa Surfaktan *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS)..... 42

Gambar 4.1. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) **(a)** TKKS *unbleached* **(b)** TKKS *bleached*..... 43

Gambar 4.2. Spektrum FTIR dari TKKS *Unbleached* dan *Bleached*..... 44

Gambar 4.3. Proses Pembuatan Selulosa *Foam* Tandan Kosong Kelapa Sawit yang distabilisasi dengan CNF..... 49

Gambar 4.4. Grafik Optimasi Surfaktan *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS) antara Waktu dengan *Foam Volume*..... 50

Gambar 4.5. Mekanisme *Pickering Emulsion* Selulosa *Foam* yang distabilisasi dengan CNF 52

Gambar 4.6. Selulosa *Foam* dengan Variasi Konsentrasi Surfaktan SDS **(a)** SDS 0,25 g/L; **(b)** SDS 0,5 g/L; **(c)** SDS 1 g/L; **(d)** SDS 1,5 g/L dan **(e)** SDS 2 g/L.... 53

Gambar 4.7. Grafik *Foam Volume* Selulosa *Foam* dengan Waktu 54

Gambar 4.8. Pengujian *Wet Stability* H-0 dan H-3 dan Hasil Akhir Selulosa *Foam* **(a)** Selulosa *Foam* dengan CNF; **(b)** Selulosa *Foam* tanpa CNF 55

Gambar 4.9. Struktur Karakterisasi Selulosa *Foam* (SDS 0,25 g/L) dengan Mikroskop 3D Bubble **(a)** Selulosa *Foam Ultra-Lightweight* (SDS 0,25 g/L); **(b)** Struktur Umum Selulosa *Foam* dengan Mikroskop 3D Bubble; **(c)** Struktur *Cross Section* Selulosa *Foam* dengan Mikroskop 3D Bubble..... 58

Gambar 4.10. Struktur Karakterisasi Selulosa *Foam* (SDS 0,25 g/L) dengan Mikroskop 3D Bubble **(a)** Selulosa *Foam Ultra-Lightweight* (SDS 0,5 g/L); **(b)**



Selulosa *Foam Ultra-Lightweight* (SDS 1 g/L); (c) Selulosa *Foam Ultra-Lightweight* (SDS 1,5 g/L) dan (d) Selulosa *Foam Ultra-Lightweight* (SDS 2 g/L) 59

Gambar 4.11. Kurva *Stress – Strain* pada Uji Kuat Tekan Selulosa *Foam* 61



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan *Bleaching* (Pemutihan)..... 70

Lampiran 2. Perhitungan Pembuatan Selulosa *Foam*..... 72

Lampiran 3. Perhitungan Kadar Lignin dan Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit
..... 73

Lampiran 4. Data Optimasi SDS..... 74

Lampiran 5. Pengujian *Wet Stability* Selulosa *Foam*..... 75

Lampiran 6. Perhitungan Densitas dan Porositas Selulosa *Foam*..... 77

Lampiran 7. Data dan Analisis Data Nilai Porositas Selulosa *Foam*..... 81

Lampiran 8. Pengujian Kuat Tekan..... 83



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan perhatian terhadap *biobased material* (sumberdaya hayati) terus meningkat seiring dengan keadaan dunia yang semakin memprihatinkan. IUPAC mendefinisikan *biobased material* (sumberdaya hayati) sebagai hasil dari keseluruhan atau sebagian produk biologis yang berasal dari biomassa (termasuk tumbuhan, hewan dan bahan kelautan atau kehutanan). *Biobased material* merupakan alternatif menjanjikan sebagai pengganti *fossil based material* yang semakin menipis dan semakin terlihatnya dampak negatif yang dihasilkan (Bardage, 2017). Dampak negatif yang dihasilkan *fossil based material* antara lain masalah terhadap lingkungan lokal dan global serta masalah sosial seperti perubahan cuaca, kehilangan biodiversitas (keanakeragaman hayati), polusi dan ketegangan geopolitik yang akan berdampak pada kehidupan manusia dan juga lingkungan (Bennich dan Belyazid, 2017).

Kelapa sawit merupakan salah satu sumber dari *biobased material* dan memiliki peran penting bagi perekonomian Indonesia. Menurut BPS (2019) menampilkan data dimana luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2019 meningkat sebesar 1,88% semula 14,33 juta hektar menjadi 14,60 juta hektar dengan produksi *crude palm oil* (CPO) yang juga mengalami peningkatan sebesar 12,92% semula 42,88 juta ton menjadi 48,42 juta ton. Namun, sebanyak 21 – 23% dari total produksi kelapa sawit tersebut merupakan tandan kosong yang menjadi produk samping (Ngadi dan Lani, 2014). Baru sebagian kecil dari limbah tersebut yang dimanfaatkan sebagai bahan pulp kertas, pengisi bahan *furniture* dan papan serat (Pradana *et al.*, 2017). Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) tersusun atas beberapa zat penting yang dapat diolah menjadi material lain yang bernilai tinggi. Salah satu bahan yang sangat penting dari TKKS yang dapat dimanfaatkan menjadi produk lain bernilai tinggi adalah selulosa.

Selulosa merupakan salah satu polimer alam yang paling menjanjikan dikarenakan jumlahnya yang berlimpah di alam, ramah lingkungan, *biodegradable*, material terbarukan, mudah didegradasi, biokompatibel, terjangkau dan tidak beracun. Selulosa dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan kain, bioetanol, maupun bioplastik. Kandungan selulosa dalam TKKS adalah 24 – 65% (Chang, 2014). Tingginya kandungan selulosa pada TKKS tersebut membuat TKKS berpotensi sebagai *raw material* untuk diambil dan dimanfaatkan selulosanya.

Penelitian mengenai pemanfaatan selulosa untuk dijadikan berbagai bentuk sudah banyak dilakukan. Kertas, membran, *aerogel*, *foam* dan lainnya merupakan sebagian besar hasil dari pemanfaatan selulosa sebagai *biobased material*. Pada penelitian ini penulis memilih untuk menjadikan selulosa yang terkandung pada TKKS menjadi material berpori seperti *foam* (busa).

Foam material merupakan suatu bahan berpori yang dihasilkan melalui proses pembentukan busa antara udara dan air (a / w) dengan adanya surfaktan yang menggunakan pengadukan kecepatan tinggi. Selanjutnya, *foam* (busa) kering dihasilkan dengan menyaring air yang terkandung dalam *foam* (busa) dilanjutkan dengan pengeringan menggunakan oven. Menurut Cervin *et al.* (2016) menyebutkan bahwa pembuatan *foam* (busa) termasuk dalam kategori sederhana dan ekonomis. *Foam* (busa) juga menjanjikan untuk dikembangkan dalam volume besar pada skala industri. Namun, pada proses pembuatannya, hasil akhir dari *foam* (busa) sangat bergantung pada jumlah *foam* (busa) yang berkaitan erat dengan *foamabilitas* dan stabilitas *foam* (busa) yang dihasilkan saat proses pembuatan. Salah satu cara yang digunakan untuk meningkatkan *foamabilitas* dan stabilitas *foam* (busa) adalah dengan menggunakan teknologi *pickering emulsion*.

Pickering emulsion merupakan emulsi yang distabilisasi oleh zat padat. Emulsi disini dapat berupa emulsi air/minyak, udara/air maupun sebaliknya. Menurut Tian *et al.* (2020) menyebutkan bahwa teknologi *pickering emulsion* merupakan metode yang efektif untuk menghasilkan *foam* (busa) polimer berpori dengan morfologi yang sesuai. *Foam* (busa) yang dihasilkan dengan teknologi *pickering emulsion* ini disebut juga dengan *pickering foam* dimana suatu *foam* (busa) basah distabilkan dengan partikel padat halus yang terserap ke dalam antarmuka antara dua fasa yang tidak tercampur (air/minyak atau udara/air).

Berbagai jenis partikel padat dapat digunakan sebagai agen *pickering*, baik partikel organik seperti pati maupun anorganik seperti silika, laponite, CaCO₃, latex maupun biopolimer termodifikasi. Namun, alih – alih menggunakan partikel padat yang tidak ramah lingkungan, pada penelitian ini, penulis menggunakan selulosa berukuran nano atau nanoselulosa yang lebih ramah lingkungan, *biodegradable* dan *nontoxic*. Nanoselulosa terdiri dari tiga tipe utama yakni selulosa nanokristal, selulosa nanofibril dan selulosa bakteri. Perbedaan dari ketiga tipe utama nanoselulosa terdapat pada morfologi, ukuran partikel, kristalinitas serta karakteristik yang bergantung pada sumber biomassa dan metode ekstraksi

yang digunakan. Selulosa nanofibril dikenal juga dengan selulosa mikrofibril yang diperoleh melalui proses mekanis dimana bagian kristalin dan amorf dipertahankan (Ningtyas *et al.*, 2020). Penggunaan nanoselulosa sebagai partikel padat halus penstabil pada teknologi *pickering emulsion* telah banyak diaplikasikan, baik dalam bentuk selulosa nanokristal maupun selulosa nanofibril atau *cellulose nanofibril* (CNF).

Pada penelitian ini penulis menggunakan *cellulose nanofibril* (CNF) sebagai agen *pickering* yang diharapkan dapat menstabilkan gelembung yang dihasilkan oleh surfaktan *sodium dodecyl sulfate* (SDS). CNF yang ditambahkan diharapkan akan terserap ke dalam antarmuka antara dua fasa yang tidak tercampur yakni udara / air (a / w) sehingga stabilisasi *foam* (busa) dapat meningkat. Mekanisme stabilisasi atau *pickering emulsion* tersebut dipelajari berdasarkan *foamabilitas* (kemampuan menghasilkan *foam*) dan stabilitas *foam* (busa) yang dihasilkan. Selain itu, dilakukan juga karakterisasi fisik seperti pengujian densitas dan porositas dari *foam* (busa) yang dihasilkan, karakteristik mekanik dengan uji kuat tekan serta karakteristik morfologi atau mikrostruktur dari *foam* (busa) dengan menggunakan digital mikroskop tiga dimensi.

Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian sebagai tugas akhir dengan judul “**Studi Mekanisme *Pickering Emulsion* pada Pembuatan *Foam* dari Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang diperkuat dengan *Cellulose Nanofibril* (CNF)**”. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif dalam pemanfaatan limbah padat berlignoselulosa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) melalui metode sederhana yang menghasilkan material bernilai guna tinggi.

1.2 Perumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

- 1.2.1 Berapa konsentrasi optimal dari *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS) yang dibutuhkan untuk memperoleh volume *foam* (busa) paling maksimal?
- 1.2.2 Bagaimana karakteristik fisik, mekanik, dan morfologi *foam* dari selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit yang dihasilkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah diuraikan, tujuan penelitian dapat dirumuskan sebagai berikut:

1.3.1 Mengetahui konsentrasi optimal surfaktan *sodium dodecyl sulfate* (SDS) yang diperlukan untuk memberikan *foamabilitas* dan stabilitas terbaik dalam proses produksi *foam* (busa) dari selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit

1.3.2 Mengetahui karakteristik fisik, mekanik, dan morfologi *foam* (busa) dari selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit yang dihasilkan

1.4 Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat untuk berbagai pihak yakni :

1.4.1 Mahasiswa

Menjadi media penambah wawasan terkait proses pemanfaatan limbah TKKS menjadi selulosa *foam*

1.4.2 Peneliti Selanjutnya

Menjadi perintis dalam meneliti lebih lanjut pemanfaatan limbah TKKS sebagai selulosa *foam* serta memberikan inspirasi dalam memodifikasi selulosa *foam* dari limbah TKKS

1.4.3 Masyarakat

Menjadi media validasi dan solusi terkait pemanfaatan limbah TKKS selain dimanfaatkan untuk pengomposan

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini diantaranya :

1.5.1 Penelitian hanya dilakukan sampai menemukan formula yang tepat dalam membuat *foam* (busa) dari selulosa tandan kosong kelapa sawit (TKKS)

1.5.2 Pengujian komposisi dari TKKS hanya kadar lignin dan selulosa

1.5.3 Optimasi yang dilakukan pada pembuatan *foam* dari selulosa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yaitu pada konsentrasi *sodium dodecyl sulfate* (SDS)

1.5.4 Mekanisme *pickering emulsion* dipelajari berdasarkan *foamabilitas* dan stabilitas *foam* (busa) yang dihasilkan

1.5.5 Pengujian FTIR digunakan untuk membuktikan keberadaan gugus fungsi selulosa pada tandan kosong kelapa sawit (TKKS)

1.5.6 Pengujian *foam* (busa) dari selulosa TKKS ini meliputi pengujian densitas dan porositas untuk karakteristik fisik, pengujian mekanik dengan uji kuat tekan dan pengujian morfologi dengan digital mikroskop tiga dimensi

1.5.7 Analisa data yang digunakan adalah analisa deskriptif

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) adalah salah satu limbah biomassa atau produk samping (*by product*) dari industri pengolahan kelapa sawit. Indonesia sendiri merupakan salah satu negara produsen minyak sawit terbesar di dunia.

Produksi *crude palm oil* (CPO) Indonesia pada tahun 2015 sebesar 31 juta ton dan pada tahun 2018 meningkat sebesar 11,8 juta ton menjadi 42,9 juta ton. Sehingga hal tersebut mengakibatkan limbah biomassa berupa tandan kosong dan cangkang buah berlimpah ruah (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2019). Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) tergolong dalam jenis tanaman bukan kayu (*nonwood*). Jenis tanaman bukan kayu ini sangat tepat digunakan sebagai bahan baku pembuatan pulp. Hasil pertanian, hasil perkebunan atau limbah industri dapat menghasilkan jenis tanaman ini. Selain TKKS, tanaman seperti jerami, ampas tebu dan nanas juga termasuk dalam jenis tanaman bukan kayu (*nonwood*). Tandan kosong kelapa sawit dapat dilihat pada **Gambar 2.1** di bawah ini.



Gambar 2.1. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

(Sumber : Aditama dan Ardhyananta, 2017).

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) memiliki bentuk yang padat dan banyak mengandung serat sehingga termasuk dalam jenis limbah kelapa sawit pada generasi pertama. Komponen terbesar dalam limbah padat kelapa sawit adalah selulosa. Selain itu, komponen seperti abu, hemiselulosa dan lignin juga terkandung di dalamnya hanya saja kadarnya lebih kecil (Fauzi *et al.*, 2012). Menurut Rosli *et al.* (2017) bahan penyusun TKKS terdiri dari matriks kompleks yakni tiga polimer utama (selulosa, hemiselulosa dan lignin). Hal tersebut menjadikan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) termasuk dalam limbah

lignoselulosa. Kadar komposisi kimia dari tandan kosong kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1. Kadar Komposisi Kimia TKKS

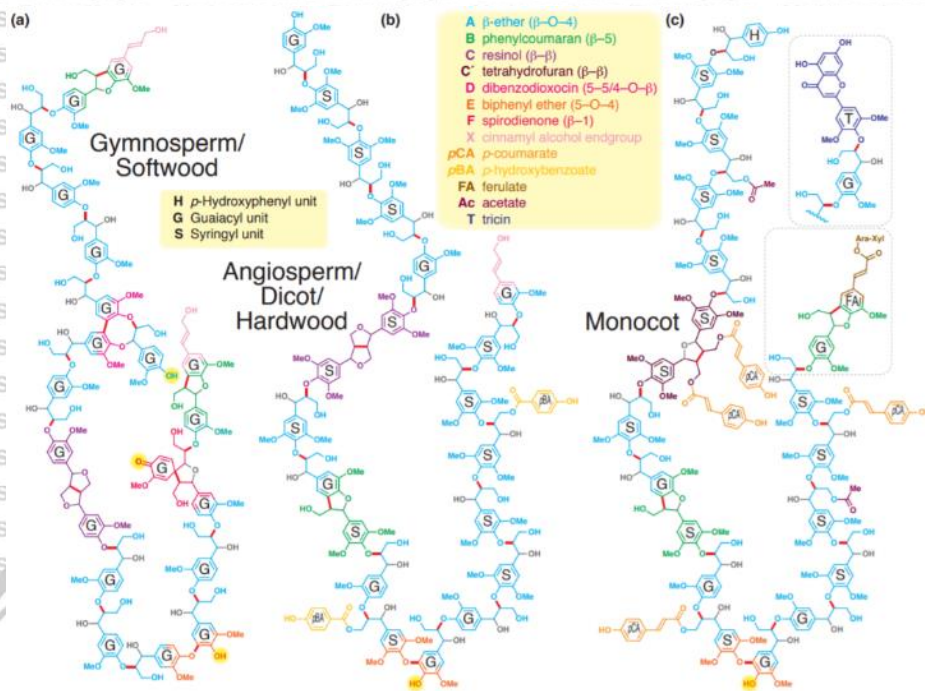
Komposisi (%)	Hassan dan Badri (2016)	Rosli et al. (2017)	Ramlee et al. (2019)
Selulosa	45,30	44,20	49,44
Hemiselulosa	35,60	33,50	23,19
Lignin	17,70	20,40	12,56

2.2 Lignin

Lignin terdapat di dalam dinding sel dan di daerah antar sel (lamella tengah) termasuk dalam polimer alami dengan penyusun molekul fenil propana. Lignin merupakan salah satu komponen penyusun tanaman yang memiliki peran utama sebagai perekat pada lapisan tumbuhan. Lignin dengan rumus molekul $(C_9H_{10}O_2(OCH_3)_n)$ membentuk bagian struktural dan sel tumbuhan bersama dengan selulosa serta bahan – bahan serat lainnya. Biomassa lignoselulosa tersusun dari 10 – 25% lignin serta lignin merupakan material yang paling kuat. Sifat yang dimiliki oleh lignin adalah stabil di alam, tidak larut dalam air dan berperan sebagai perekat atau lem yang menyatukan antara selulosa dengan hemiselulosa (Akin, 2008). Menurut Lourenco dan Pereira (2018) menjelaskan bahwa kandungan lignin sangat bervariasi sesuai dengan jenis tanamannya. Secara umum, kandungan lignin pada monokotil berkisar antara 5 – 12%, pada kayu lunak (*softwood*) berkisar antara 25 – 35% dan pada kayu keras (*hardwood*) berkisar antara 15 – 30%. Selain kadar kandungan lignin yang berbeda, struktural lignin dari ketiga kelompok tersebut juga berbeda.

Lignin merupakan polimer tridimensi amorf yang tersusun dari siringil (S), guaiasil (G) dan unit *p-hydroxyphenyl* (H) dan beberapa sub-unit non-kanonikal. Struktur lignin sangat berbeda tergantung dengan jenis tanamannya serta kondisi ekstraksi yang juga berbeda. Kayu lunak (*softwood*) memiliki struktur lignin dengan lebih banyak unit guaiasil (G). Hal ini berbeda dengan struktur lignin pada kayu keras (*hardwood*) yang memiliki campuran unit guaiasil (G) dan siringil (S). Struktur lignin pada rumput memiliki campuran ketiga unit aromatik (Guo et al., 2017). Gugus fungsi yang dimiliki lignin seperti hidroksi, karbonil dan metoksi menjadikan lignin selain berpotensi sebagai perekat juga dapat dimanfaatkan dalam pembuatan plastik *biodegradable* serta surfaktan pada sistem *enhanced oil*

recovery (EOR) (Suhartati *et al.*, 2016). Struktur lignin dapat dilihat pada **Gambar 2.2** dibawah ini.



Gambar 2.2. Struktur Lignin

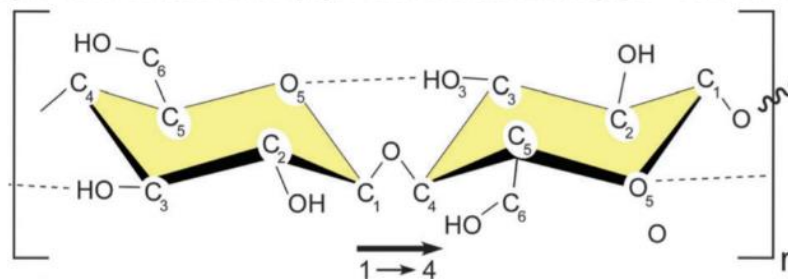
(Sumber : Ralph *et al.*, 2019).

Menurut Coniwanti *et al.* (2015) menjelaskan bahwa lignin dapat dibagi menjadi dua kelompok didasari dengan unsur strukturalnya yaitu lignin guaiasil dan lignin guaiasil-siringil. Struktur lignin guaiasil dengan prazat koniferil alkohol ditemukan pada kayu daun jarum (*softwood*) (kadar lignin 23 – 32%). Struktur lignin guaiasil – siringil dengan prazat koniferil alkohol dan sinapil alkohol ditemukan pada kayu daun lebar (*hardwood*) (kadar lignin 20 – 28% sedangkan pada kayu tropis > 30%). Unit *trans-conyferil alcohol* dan unit *trans-sinapyl alcohol* merupakan penyusun utama pada lignin kayu daun lebar (*hardwood*). Lignin memiliki sifat yang tahan terhadap pertumbuhan mikroorganisme serta dibanding dengan selulosa dan hemiselulosa dapat menyimpan energi matahari lebih banyak. Keberadaan lignin pada pulp sangat penting dikarenakan sedikitnya kandungan lignin dapat meningkatkan sifat fisik dari pulp tersebut.

2.3 Selulosa

Selulosa memiliki rumus molekul $(C_6H_{10}O_5)_n$ dengan n merupakan jumlah pengulangan unit gula yang nilainya bervariasi tergantung pada sumber selulosa serta perlakuan yang diterimanya. Selulosa ditemukan pada sebagian besar dalam

dinding sel dan bagian – bagian berkayu dari tumbuhan. Tumbuhan rendah seperti ganggang, lumut, jamur dan paku mengandung senyawa selulosa. Peran penting dimiliki selulosa dalam menentukan karakter serat dan pembuatan pulp. (Coniwanti *et al.*, 2015).



Gambar 2.3. Struktur Selulosa Rantai Tunggal

(Sumber : Moon *et al.*, 2011).

Selulosa merupakan rantai linier molekul cincin glukosa dan memiliki konformasi seperti pita datar. Berdasarkan struktur selulosa yang ditunjukkan pada **Gambar 2.3** dapat dilihat bahwa rantai pada selulosa dihubungkan bersama oksigen yang terikat secara kovalen ke C1 dari satu cincin glukosa dan C4 dari cincin yang berdampingan sehingga ikatan ini dinamakan ikatan $1 \rightarrow 4$ dan biasa disebut dengan ikatan glikosidik β -1,4. Ikatan hidrogen intra rantai antara gugus hidroksil dan oksigen dari molekul cincin yang berdampingan menghasilkan konfigurasi linier rantai selulosa. Ikatan hidrogen intra dan antar rantai yang dimiliki selulosa menjadikan selulosa sebagai polimer yang relatif stabil dan memberikan kekakuan aksial yang tinggi pada fibril selulosa. Fibril selulosa sendiri merupakan fase penguatan (*reinforcement*) utama untuk pohon, tumbuhan, beberapa biota laut (*tunicata*), alga dan bakteri (beberapa bakteri mengeluarkan fibril selulosa yang menciptakan struktur jaringan eksternal) (Moon *et al.*, 2011). Menurut Erwinsyah *et al.* (2015) menjelaskan bahwa bagian utama pada tanaman yang membentuk sepertiga hingga setengah dari jaringan tanaman adalah selulosa. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang mengandung selulosa tinggi banyak dieksplorasi untuk dimanfaatkan sebagai bahan kimia dan juga bahan baku pulp.

2.4 Proses *Bleaching* (Pemutihan) dengan H_2O_2

Proses *bleaching* (pemutihan) dengan hidrogen peroksida (H_2O_2) menghasilkan efek yang sangat nyata terhadap kecerahan serat. Peran H_2O_2 sebagai agen pemutih pengoksidasi pada proses ini mengakibatkan terjadinya perubahan warna pada serat. Secara teoritis, ion perhidroksil (HOO^-) dihasilkan oleh disosiasi hidrogen peroksida dalam media alkali dan berperan penting atas

dekolorisasi serat. Ion – ion ini akan menyerang gugus kromofor penyerap cahaya dari lignin dan selulosa (gugus karbonil dan karbonil terkonjugasi dan kuinon).

Persamaan berikut menunjukkan pembentukan ion hidroksil dari disosiasi hidrogen peroksida dalam media basa $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{HOO}^-$ (Rayung *et al.*,

2014). Menurut Hassan dan Badri (2016) menjelaskan bahwa hidrogen peroksida

(H_2O_2) merupakan oksidator yang mempunyai kemampuan untuk menghilangkan warna serat dengan menghilangkan keberadaan lignin, hemiselulosa dan kotoran

permukaan. H_2O_2 secara umum selalu dianggap sebagai basa walau sebenarnya

merupakan asam lemah dengan pH 6,2 dan sering dimanfaatkan sebagai bahan

pemutih pada industri pulp dan kertas. Senyawa ini acap kali digunakan pada

lignoselulosa seperti serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS), kenaf, sekam padi,

ampas tebu dan lainnya. Perlakuan yang berbeda menyebabkan berbagai efek

pada serat dalam hal tingkat pengotor yang dihilangkan dan komposisinya.

Menurut Wildan (2010) menjelaskan bahwa faktor yang memengaruhi proses

bleaching (pemutihan) yakni konsentrasi bahan pemutih, waktu reaksi, suhu, pH,

rasio bahan dan zat pemutih. Konsentrasi hidrogen peroksida yang digunakan

sebaiknya diantara 1% sampai 10%. Waktu reaksi yang digunakan tidak terlalu

lama agar tidak merusak rantai selulosa dan hemiselulosa pada serat. Suhu yang

digunakan pada proses *bleaching* (pemutihan) sebaiknya diantara $40^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C}$

sesuai dengan zat pemutih yang digunakan. Pada penelitian ini suhu yang

digunakan ada 80°C karena suhu optimum yang dimiliki hidrogen peroksida yakni

$80^\circ\text{C} - 85^\circ\text{C}$. Nilai pH yang digunakan didasari pada jenis bahan pemutih yang

digunakan. Bahan pemutih hidrogen peroksida memerlukan suasana basa

berkisar pH 8 sampai pH 12 yang mana hidrogen peroksida sendiri memiliki pH

6,2. Sehingga diperlukan NaOH sebagai pembuat suasana basa pada proses

bleaching (pemutihan). Reaksi pemutihan akan meningkat seiring semakin

kecilnya perbandingan serat dengan bahan pemutih. Rasio bahan yang semakin

kecil dengan zat pemutih yang digunakan akan meningkatkan reaksi pemutihan.

2.5 Metode *Grinding* (Penggilingan) dan CNF (*Cellulose Nanofibril*)

Metode yang digunakan dalam pembuatan *cellulose nanofibril* (CNF) adalah

metode mekanis yang dapat menghancurkan serat selulosa menjadi serat

berukuran nano. Proses yang umum digunakan untuk membuat CNF antara lain

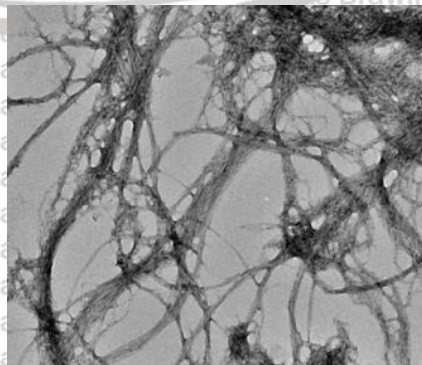
refining (pemurnian), *grinding* (penggilingan), *high pressure homogenizers*, *high*

intensity ultrasonication, *microfluidizers* dan metode enzimatik. Proses – proses ini

paling efisien untuk delaminasi dinding sel serat dan isolasi CNF dan cocok untuk *upscaling* (peningkatan skala). Penggunaan proses *grinding* (penggilingan) untuk menghasilkan CNF dianggap sebagai proses yang sederhana, ramah lingkungan dan kuat. Proses ini menggunakan alat penggiling (*grinder*) untuk mengisolasi selulosa. *Ultra-fine friction grinding* atau penggilingan gesekan ultra halus merupakan proses lain yang digunakan untuk menghasilkan CNF. Selama proses tersebut, selulosa *slurry* dilewatkan di antara batu gerinda statis dan cakram. Jarak antara disk ini dapat disesuaikan untuk menghindari masalah penyumbatan (Nechyporchuk *et al.*, 2016).

Cellulose nanofibril (CNF) merupakan bahan yang mengandung fibril dengan panjang mikrometer dan lebar dalam kisaran nanometrik membentuk struktur jaringan. Selulosa amorf dan kristal terkandung didalam nanofibril.

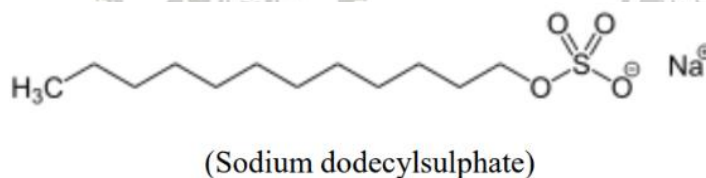
Penyusun dari CNF adalah fibril atau *bundle* fibril yang dipisahkan sebagai entitas berukuran nano. Potensi CNF untuk dapat dimanfaatkan fitur fisik, mekanik dan kimia sedang dieksplorasi baik di dunia akademis maupun industri. Beberapa aplikasi CNF yang saat ini disorot antara lain sebagai komposit (*reinforced material*), *nanopaper*, *hidrogels*, *aerogels*, biokonversi dan material bioaktif (Zhang *et al.*, 2013). Jaringan serat yang terbentuk pada *cellulose nanofibril* (CNF) lebih fleksibel dan panjang dengan diameter fibril mirip atau lebih besar dari *cellulose nanocrystal* (CNC). Morfologi dan dimensi yang dimiliki CNF dapat bervariasi secara substansial, tergantung pada derajat fibrilasi dan perlakuan awal yang diberikan. Morfologi dari CNF dengan menggunakan TEM dapat dilihat pada **Gambar 2.4**. Kandungan yang dimiliki CNF adalah selulosa amorf dan tidak terlalu kristal seperti CNC. Struktur yang ditunjukkan pada CNF seperti jaring yang kompleks. Diameter dari nanofibril sendiri mulai dari 6 hingga 100 nm dapat diidentifikasi dari mikrograf (Xu *et al.*, 2013).



Gambar 2.4. Morfologi *Cellulose Nanofibril* (CNF) dengan TEM
(Sumber : Xu *et al.*, 2013).

2.6 SDS (Sodium Dodecyl Sulfate)

Sodium dodecyl sulfate atau yang biasa disingkat dengan SDS memiliki rumus molekul yaitu $C_{12}H_{22}SO_4Na$. Struktur dari SDS dapat dilihat pada **Gambar 2.5**. Berat molekul yang dimiliki sebesar 288,5 g/mol. Seperti surfaktan lainnya, SDS memiliki molekul amfifilik yang mengandung bagian hidrofilik dan hidrofobik. Penelitian menunjukkan bahwa SDS tidak bersifat karsinogenik apabila dioleskan langsung ke kulit atau terkonsumsi sekalipun (Niraula *et al.*, 2014). Menurut Viitala *et al.* (2020) mengemukakan bahwa untuk membuat *foam* (busa) dapat menggunakan berbagai metode salah satunya dengan pengadukan mekanis, membuat gelembung melalui plat berpori dan menggunakan generator turbulensi. Surfaktan sangat diperlukan dalam proses ini untuk membentuk busa lebih cepat. Seiring dengan meningkatkan konsentrasi surfaktan maka tegangan permukaan suatu larutan akan menurun. *Sodium dodecyl sulfate* (SDS) merupakan surfaktan anionik molekuler kecil yang sangat cocok untuk pembusaan suspensi serat. Penggunaan SDS sangat luas dalam deterjen, produk pembersih rumah tangga dan produk perawatan pribadi. Sifat yang dimiliki SDS adalah berbusa dengan baik dimana busa yang dihasilkan cepat, kandungan udara tinggi, drainase lambat telah diamati saat memproduksi selulosa *foam* dari suspensi serat. SDS relatif hidrofilik dengan kadar kelarutan dalam air sebesar 100 – 150 g/L dan log P_{ow} sebesar 1,6 serta mudah terurai secara hayati dalam kondisi aerobik.



Gambar 2.5. Struktur Surfaktan *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS)

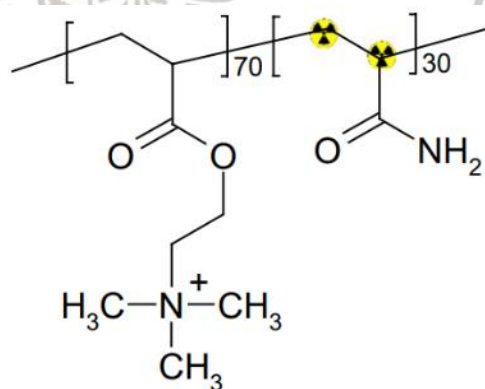
(Sumber : Niraula *et al.*, 2014).

Penambahan SDS pada selulosa *foam* berfungsi sebagai surfaktan selama proses pencampuran. Konsentrasi SDS yang digunakan selama proses produksi selulosa *foam* ditentukan berdasarkan prosedur optimasi untuk menentukan jumlah surfaktan dan C-PAM. Oleh sebab itu, jumlah SDS yang lebih banyak dibutuhkan untuk menurunkan tegangan permukaan pulp. Penggunaan SDS sebagai surfaktan juga memberikan stabilisasi struktur berpori pada selulosa *foam* (Heydarifard *et al.*, 2018).

2.7 C-PAM (Cationic Polyacrylamide)

Cationic polyacrylamide (C-PAM) merupakan salah satu jenis dari polielektrolit sintetis kationik yang berperan sebagai flokulan. *Cationic polyacrylamide* (C-PAM) adalah kopolimer akrilamida dan monomer trimetil ammonium klorida kationik. Polimer C-PAM memiliki berat molekul rata – rata sebesar 4 – 5 g/mol dan derajat substitusi (DS) 0,02, 0,04, 0,14, dan 0,27 dengan densitas muatan 0,26, 0,52, 1,6, dan 2,6 meqv/g. Struktur dari C-PAM dapat dilihat pada **Gambar 2.6**. C-PAM pada dasarnya memiliki peran sebagai agen flokulasi. Penggunaan poliakrilamida dengan densitas tinggi dapat menimbulkan efek negatif yakni ekstrasflokulasi, pembentukan kertas yang tidak rata, berbintik – bintik serta penurunan kekuatan (Charani dan Moradian, 2019).

Kopolimer poliakrilamida kationik (*Cationic polyacrylamide copolymers / PAMs*) merupakan sekelompok polimer yang larut dalam air dan secara umum diaplikasikan di industri pengolahan makanan, pertanian dan pengelolaan limbah. Penambahan C-PAM pada selulosa *foam* akan menyebabkan terjadinya peningkatan ikatan antar serat dan tegangan permukaan. Molekul C-PAM yang lebih besar mengandung gugus amida polar yang membentuk ikatan hidrogen dengan gugus hidroksil selulosa. Ikatan selulosa-C-PAM-selulosa relatif lebih kuat sehingga menghasilkan kekuatan basah yang lebih baik. C-PAM menjadi molekul besar yang menyebabkan terjadinya ikatan silang antar serat (Heydarifard *et al.*, 2018).



Gambar 2.6. Struktur *Cationic Polyacrylamide* (C-PAM)

(Sumber : Hennecke *et al.*, 2018).

2.8 Selulosa Foam

Selulosa *foam* merupakan bahan berpori baru dari selulosa dengan kepadatan rendah, ramah lingkungan dan terbarukan. Selulosa *foam* dikembangkan untuk berbagai aplikasi diantaranya untuk bahan kemasan.

Selulosa *foam material* merupakan suatu bahan berpori yang baru terinisiasi untuk diproduksi melalui pembentukan busa dengan surfaktan yang pada prosesnya menggunakan kecepatan tinggi untuk memasukkan udara. Langkah berikutnya yakni air yang terkandung dalam selulosa *foam material* disaring dan kemudian dikeringkan. Produk yang dihasilkan ini menggunakan teknologi dan alat yang murah, ramah lingkungan dan sederhana. Proses pembuatan selulosa *foam* ini bergantung pada gelembung udara yang dapat mencegah flokulasi serat pulp sehingga menghasilkan struktur yang homogen (He *et al.*, 2019).

Foam (busa) dari selulosa yang terkandung pada serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) adalah bahan berpori generasi terbaru yang dibuat melalui pembentukan busa dengan adanya penambahan surfaktan *sodium dodecyl sulfate* (SDS) kemudian dilanjutkan dengan proses homogenisasi berkecepatan tinggi untuk memasukkan udara. Teknologi pembentukan *foam* bergantung pada gelembung udara yang dapat mencegah flokulasi serat dan menghasilkan struktur yang homogen. Penambahan C-PAM pada pembuatan *foam* berfungsi untuk membentuk flokulan antara surfaktan *sodium dodecyl sulfate* (SDS) dengan serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS).

2.9 Pickering Emulsion

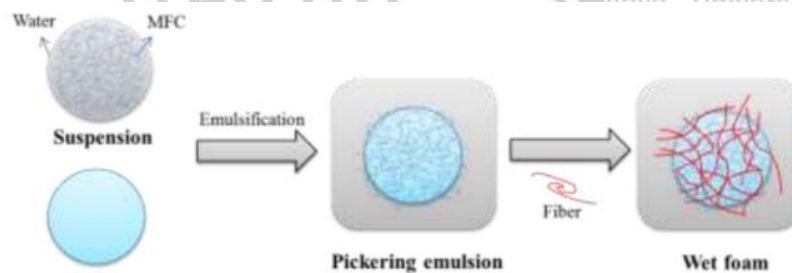
Pickering emulsion merupakan metode yang efektif untuk membuat polimer *foam* (busa) dengan morfologi yang tepat. *Pickering emulsion* adalah emulsi yang distabilkan oleh partikel padat berukuran nano atau mikron yang teradsorpsi pada antarmuka minyak air, bukan surfaktan. Dalam metode *pickering emulsion*, partikel padat akan teradsorpsi pada permukaan gelembung (emulsi udara / air) hal ini berkontribusi pada proses pembentukan *foam* (busa). Partikel padat yang terserap akan membentuk lapisan kaku pada permukaan gelembung sehingga dapat menstabilisasi permukaan. Selain itu, partikel padat yang sesuai seperti selulosa, lignin atau pati dan fase kontinyu seperti asam polilaktat atau polikaprolakton dapat dipilih untuk menyiapkan *foam* (busa) yang ramah lingkungan (Tian *et al.*, 2020).

Menurut Cunha *et al* (2014) menjelaskan bahwa emulsi merupakan sistem yang terdiri dari tetesan terdispersi dari satu cairan tak bercampur ke cairan lain. Emulsi secara sederhana dibagi menjadi dua tipe yakni minyak dalam air (o / w) atau air dalam minyak (w / o). Agen aktif permukaan yakni pengemulsi digunakan untuk menstabilkan sistem ini dengan menurunkan tegangan antarmuka pada antarmuka cairan / cairan. Secara konvensional, surfaktan digunakan untuk tujuan

ini. Emulsi multipel merupakan sistem yang kompleks dimana tipe emulsi minyak dalam air (o / w) atau air dalam minyak (w / o) ada secara bersamaan.

Mekanisme dari *Pickering emulsion* pada pembentukan selulosa *foam* (busa) yang diperkuat *microfibrillated cellulose* (MFC) dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.

Langkah pertama pembentukan selulosa *foam* (busa) adalah pendispersian MFC dalam air. Pencampuran *sodium dodecyl sulfate* (SDS) dengan jumlah yang telah ditentukan dicampur ke dalam suspensi MFC sehingga menciptakan gelembung udara dalam air (a / w) yang kemudian distabilkan dengan partikel MFC dalam selulosa *foam* (busa) melalui efek *Pickering*. Kemudian, sejumlah kecil *cationic polyacrylamide* (C-PAM) ditambahkan yang akan menghasilkan segumpalan matriks tiga dimensi. Hasil akhir yang didapat adalah terbentuknya serat basah (*fiber wet*) dikarenakan telah terjebaknya gelembung – gelembung pada MFC / selulosa *foam* (busa) (Liu *et al.*, 2018).



Gambar 2.7. Mekanisme dari *Pickering Emulsion* yang diperkuat dengan MFC (Sumber : Liu *et al.*, 2018).

2.10 FTIR

Spektroskopi *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) digunakan untuk mempelajari dan mendeteksi gugus fungsi yang dimiliki oleh serat tertentu baik yang diberikan perlakuan maupun yang tidak diberikan perlakuan. Tujuan dengan diberikannya perlakuan tersebut untuk mengetahui pengaruh yang terjadi pada struktur dan perubahan kimiawi serat lignoselulosa. Gugus fungsi yang terkandung pada suatu serat atau biomassa dapat diketahui dengan melihat daerah serapan yang ditunjukkan pada **Tabel 2.2**. Cara kerja FTIR diawali dengan mengidentifikasi zat yang akan diukur berupa atom atau molekul. Sinar infra merah yang terdapat pada FTIR berfungsi sebagai sumber sinar yang terbagi menjadi dua berkas dimana satu berkas dilewatkan melalui sampel dan berkas lainnya melalui pembanding yang secara berturut – turut akan melewati *chopper*. Berkas akan jatuh pada detektor setelah melewati prisma atau grating yang kemudian direkam

oleh rekorder perubahannya menjadi sinyal listrik. Apabila sinyal yang dihasilkan sangat lemah maka diperlukan *amplifier* (Rahmasita *et al.*, 2017).

Tabel 2.2. Daerah Serapan pada FTIR dari Biomassa

Absorption	Bands	Origin
1745 cm ⁻¹	C=O peregangan (<i>stretching</i>)	Ester bebas (komponen minyak)
1620 cm ⁻¹	OH <i>bending</i>	Air dan amida (C=O) pada protein
1682 cm ⁻¹	C=O peregangan (<i>stretching</i>)	Ikatan lignin
1608, 1500 cm ⁻¹	C=C aromatik	Subunit lignin
1327 cm ⁻¹	C-O	Subunit lignin
1235 cm ⁻¹	OH / NH deformasi	Protein
1160 cm ⁻¹	C-O-C peregangan (<i>stretching</i>)	Selulosa dan hemiselulosa
1032 cm ⁻¹	C-O, C-C-O peregangan (<i>stretching</i>)	Selulosa, hemiselulosa dan lignin
3000 – 3600 cm ⁻¹	OH peregangan (<i>stretching</i>)	Material selulosa atau air
2850 dan 2924 cm ⁻¹	CH ₂ peregangan (<i>stretching</i>)	Ikatan alifatik

(Lazzari *et al.*, 2018)

2.11 Digital Mikroskop 3 Dimensi

Mikroskop digital 3 dimensi menggunakan tiga lensa *telecentric* untuk mencapai pengukuran 3D dengan akurasi tinggi dan menggunakan arah Z untuk mengukur perbedaan ketinggian secara akurat hingga ± 5 mm. Mikroskop digital VHX merupakan mikroskop lengkap yang menggabungkan kemampuan observasi, pengambilan gambar dan pengukuran. Mikroskop VHX dapat menghasilkan gambar berwarna dengan resolusi tinggi, *depth of field* yang besar dengan perbesaran 0,1x hingga 5.000x tergantung dengan lensa zoom yang digunakan. Bagian – bagian dari digital mikroskop antara lain badan utama mikroskop, layar CPU – LCD, pengontrol manual dan perangkat lunak analisis gambar. Badan utama mikroskop terdiri dari empat bagian yaitu alas kerja yang memungkinkan Gerakan XYZ, lensa zoom, kamera dan dua sumber cahaya LED terintegrasi di badan mikroskop dan sebagai cincin di lensa. Lensa dan kamera

pada mikroskop ini dapat diposisikan dan dibongkar dengan mudah. Mikroskop VHX atau optoelektronik dapat membuat pemindaian otomatis cepat melalui rentang fokus sampel dalam pengamatan, mengenali area fokus pada jarak yang berbeda dari sampel dan menghasilkan gambar dengan fokus penuh secara digital dalam waktu yang singkat (Lazcano-Ramirez *et al.*, 2018).

2.12 Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan adalah uji mekanis yang mengukur jumlah beban tekan maksimum yang dapat ditanggung suatu material. Benda yang diuji biasanya dalam bentuk kubus, prisma atau silinder dikompresi di antara pelat mesin uji kompresi dengan beban yang diterapkan secara bertahap. Uji kuat tekan dianggap sebagai karakteristik mekanik yang paling penting dari suatu bahan. Terlepas dari jenis material yang akan diuji, pengukuran eksperimental kekuatan tekan sangat bergantung pada dimensi spesimen karena pengekangan yang dihasilkan oleh gesekan plat baja pada permukaan yang dibebani dari spesimen selama pengujian (Li *et al.*, 2018).

2.13 Penelitian Terdahulu

Penelitian terkait selulosa *foam* sudah dilakukan oleh beberapa peneliti. Hasil penelitian selulosa *foam* dapat dilihat pada **Tabel 2.3.** di bawah ini.

Tabel 2.3. Penelitian Terdahulu Mengenai Pembuatan Selulosa *Foam*

Penulis dan Judul Penelitian	Persamaan	Perbedaan	Hasil Penelitian
Adu <i>et al.</i> , 2019 – Structural Packaging Foams Prepared by Uni-directional Freezing Paper Sludge Cellulose Nanofibril and Poly (Vinyl Alcohol)	Menggunakan CNF sebagai agen <i>pickering</i>	Bahan yang digunakan adalah produk samping dari pengolahan air limbah kertas yakni <i>paper mills sludge</i> (PMS). Digunakan <i>Sodium tetraborate decahydrate</i> (boraks)	Menghasilkan <i>foam</i> dengan densitas sebesar 28 kg/m ³ atau 0,028 g/cm ³ dan porositas sebesar 97,9 ± 0,3 %. Dengan nilai kuat tekan sebesar 82 ± 7 kPa pada <i>strain</i> (regangan) sebesar 10% dan 100 ± 3 kPa pada <i>strain</i>



sebagai agen (regangan) sebesar *crosslinking*. 20%. Hasil penelitian

Menggunakan *foam* ini disarankan menggunakan *poly vinyl alcohol* sebagai kemasan (PVA) dan *foam* pelindung (*protective packaging*).

dengan menggunakan metode pembukaan satu arah (*uni-directional freezing method*).

Liu *et al.*, 2018 – Menggunakan Serat yang Hasil dari penelitian Comparative surfaktan SDS digunakan adalah ini menunjukkan Study of Ultra- Menggunakan *hardwood*, bahwa pembuatan Lightweight Pulp C-PAM sebagai *softwood*, dan *foam* dengan sistem Foams Obtained agen flokulan *bagasse* (ampas SDS/MFC from Various tebu) dalam menghasilkan Fibers and pembuatan *foam*. volume yang lebih Reinforced by Surfaktan yang tinggi dibandingkan MFC digunakan selain dengan *foam* yang SDS adalah hanya dengan SDS.

Tween-80 dan Penambahan MFC Beeswax. sebagai agen

Agan *pickering pickering* yang digunakan menghasilkan *foam* adalah yang stabil. Selain *microfibrillated* itu, SDS sebagai

cellulose (MFC). surfaktan dan *Foam* dikeringkan *hardwood* sebagai dalam oven. bahan baku

menunjukkan kemampuan berbusa dan



Helmlinger *et al.*,
2017 –
Application of
Amine-
Functionalized
Cellulose Foam
for CO₂ Capture
and Storage in
the Brewing
Industry



Cervin *et al.*,
2016 - Strong,
Water-Durable,
and Wet-
Resilient
Cellulose

Menggunakan
– surfaktan SDS
Menggunakan
serat selulosa
(Arbocel BC
1000).
Polimer kationik
yang digunakan
adalah
polyethylenimines
(PEI).
Menggunakan
pati kentang, dan
tidak
menggunakan
agen *pickering*
cellulose
nanofibril (CNF).

Serat yang
digunakan adalah
cemara Norwegia
(*Picea abies*) dan
pinus Skotlandia
(*Pinus sylvestris*).

stabilitas busa
terbaik yang
menghasilkan foam
sangat ringan (*ultra-
lightweight*) sebesar
0,014 g/cm³ dan
porositas tinggi
sebesar 95,7%
dengan
penambahan
konsentrasi SDS
sebesar 0,5 g/L.

Menghasilkan
selulosa foam
campuran PEI, pati
kentang dan SDS
dengan densitas 70
kg/m³ atau 0,07
g/cm³ dan porositas
92% yang dihitung
dari pengukuran μ -
CT. Nilai uji
kapasitas terhadap
gas buang *brewery*
menunjukkan nilai
yang sebanding
untuk diaplikasikan
sebagai adsorben
CO₂

Menghasilkan foam
dengan densitas
sangat ringan (*ultra-
lightweight*) dalam
rentang sebesar
0,006 – 0,02 g/cm³

Nanofibril-
Stabilized Foams
from Oven Drying

Surfaktan yang dan porositas dalam
digunakan adalah rentang sebesar
octylamine. 87% - 99,6 %.
Foam dikeringkan
dalam oven.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian




Kegiatan penelitian ini dilakukan di Pusat Penelitian Biomaterial Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Cibinong, Kab. Bogor, Jawa Barat di lingkup Kelompok Penelitian Nanoselulosa. Penelitian ini dilaksanakan selama 5 bulan dimulai bulan Oktober 2020 hingga Februari 2021.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1. Alat

No.	Nama Alat	Spesifikasi	Fungsi	Gambar
1.	<i>Gravity Convection Oven</i>	Labtech LDO-060E	Mengeringkan sampel	
2.	<i>Ultra-Fine Grinding Machine, Supermass Collider</i>	Masuko Sansuko, Japan	Membuat <i>cellulose nanofibril (CNF)</i>	
3.	Kertas saring		Memisahkan partikel padat dengan cairan	

4. Corong

Memasukkan cairan ke wadah bermulut kecil



5. Timbangan digital MOHAUS PIONEER

Menimbang massa bahan



6. Gelas beaker

PYREX IWAKI

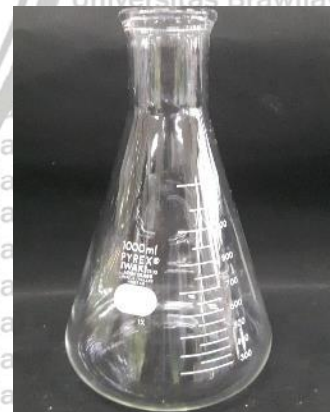
Wadah bahan untuk analisa kadar dan preparasi bahan



7. Erlenmeyer

PYREX IWAKI

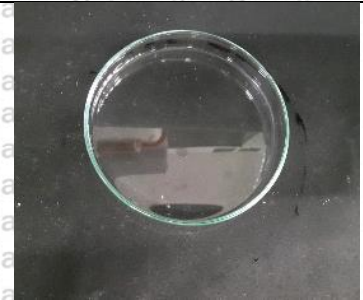
Wadah untuk memanaskan larutan dalam analisa kadar lignin





8. Cawan petri

Wadah untuk menimbang bahan



9. Gelas ukur PYREX IWAKI

Wadah untuk mengukur larutan



10. Laboratory blender

Waring Commercial

Menghaluskan serat TKKS



11. Hot plate and Magnetic stirrer

Bodeco Germany MSH-420

Memanaskan larutan



12. Lemari asam FUME HOOD Tempat mereaksikan berbagai jenis reaksi kimia untuk menghindari reaksi spontan



13. Waterbath Memmert Membantu proses bleaching (pemutihan)



14. pH-indicator strips MColorpHast™ Mengukur pH

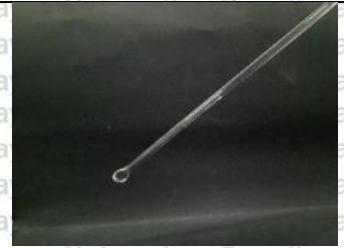


15. pen type pH meter PH-009(I)A Mengukur pH



16. Batang pengaduk

Mengaduk larutan



17. Spatula besi

Mengambil bahan



18. Plastic wrap

Menutup bagian atas wadah



19. Pompa vakum

Value ¼ PK VE 115N

Mengeluarkan cairan yang terdapat pada suspensi hingga kering sempurna



20. Digital Electronic Overhead Stirrer

IKA® EUROSTAR Power Control-Visc

Menghomogeni sasi sampel dengan kecepatan tinggi melalui proses pengadukan mekanis



21. *Disperser* IKA® *Ultra-Turrax* T18 basic Menghomogenisasikan larutan melalui vibrasi



22. *Caliper digital* Mitutoyo Mengukur panjang, lebar dan tinggi dari selulosa foam



23. FTIR Perkin Elmer Spectrum Two Universal ATR (Single Reflection Diamond) Menganalisa gugus fungsional serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS)



24. Digital Mikroskop 3D VHX-6000 KEYENCE Mengamati karakteristik struktur dan kepadatan bahan dari selulosa foam





25. UTM Shimadzu AGS-X Series 10kN Load Cell Menguji sifat mekanik dari selulosa foam dengan uji kuat tekan



3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2. Bahan

No.	Nama Bahan	Fungsi	Gambar
1.	Tandan kosong kelapa sawit (TKKS)	Bahan utama yang digunakan untuk membuat selulosa foam	
2.	Cellulose Nanofibril (CNF)	Agen penstabilisasi pada pembuatan selulosa foam	

3. H_2O_2 50% Zat pemutih pada proses bleaching (pemutihan)



4. H_2SO_4 72% Memisahkan lignin dengan depolimerisasi selulosa dan hemiselulosa



5. Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) Agen pembusa



6. Cationic Polyacrylamide (C-PAM) Sebagai flokulan dan penjernihan



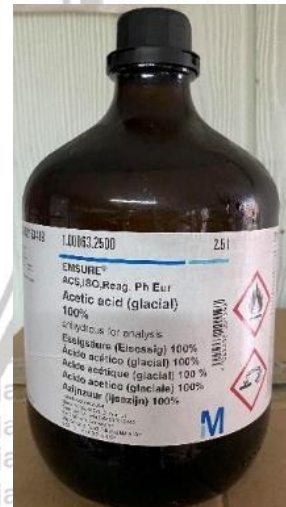
7. NaOH Berperan dalam membuat suasana basa



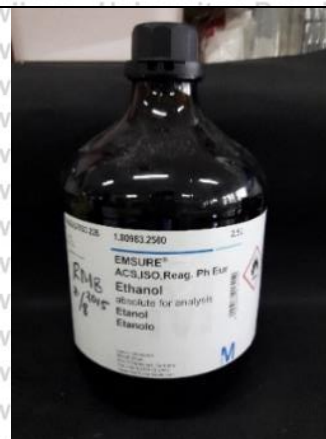
8. Akuades Sebagai pelarut



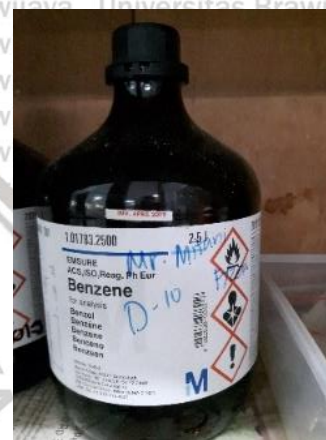
9. Acetic acid (glasial) 100% Membuat suasana asam



10. Etanol Pelarut dalam analisa kadar lignin



11. Benzena Pelarut dalam analisa kadar lignin



3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa tahapan yaitu, tahapan pertama yaitu preparasi serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan menganalisa komponen kimia yang terkandung dalam TKKS seperti kadar lignin dan selulosa kemudian dilanjutkan dengan proses *bleaching* pulp (pemutihan). Tahapan kedua yaitu preparasi *cellulose nanofibril* (CNF) dari serat TKKS dengan konsentrasi 2%. Setelah tahapan preparasi selesai disiapkan dilanjutkan tahapan pembuatan selulosa *foam*. Tahapan berikutnya merupakan karakterisasi selulosa *foam* yang dibagi menjadi tiga kelompok yakni karakterisasi secara fisik, mekanik dan morfologi. Karakterisasi fisik meliputi pengujian densitas dan porositas, karakterisasi mekanik dengan uji kompresi (kuat tekan) dan karakterisasi morfologi atau mikrostruktur dengan digital mikroskop tiga dimensi.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Proses *Bleaching* (Pemutihan) Tandan Kosong Kelapa Sawit

Proses *bleaching* (pemutihan) tandan kosong kelapa sawit dilakukan dengan menggunakan H₂O₂ dengan konsentrasi 10%. Proses ini dilakukan berdasarkan

penelitian yang telah dilakukan oleh (Septevani *et al.*, 2018), namun yang menjadi perbedaan pada penelitian ini adalah konsentrasi pada bahan yang digunakan, agen pemutih H₂O₂, pH basa, akuades, dan suhu yang digunakan 80°C. Perhitungan konsentrasi masing – masing bahan yang digunakan dapat dilihat pada **Lampiran 1**. Tahap *bleaching* diawali dengan melakukan pengenceran larutan H₂O₂ dengan konsentrasi 30% menjadi 10%. Kemudian dilanjutkan dengan menimbang tandan kosong kelapa sawit sesuai dengan perhitungan. Setelah itu, tandan kosong kelapa sawit yang tersebut ditambahkan akuades sesuai dengan perhitungan dan ditambahkan NaOH hingga suasana menjadi basa (pH 9 – 10). Lalu dilanjutkan dengan penambahan H₂O₂ 10% dan dimasukkan ke dalam *waterbath* selama 1 jam pada suhu 80°C dimana setiap 15 menit sekali dilakukan pengadukan dengan tujuan agar tandan kosong kelapa sawit dapat memutih secara merata. Proses *bleaching* dilakukan sebanyak 3 kali hingga warna dari tandan kosong kelapa sawit menjadi putih.

3.4.2 Analisa Kadar Lignin terhadap Tandan Kosong Kelapa Sawit (SNI 0492-1989-A, SII 0528-1981)

Metode yang digunakan dalam analisa kadar lignin terhadap tandan kosong kelapa sawit didasari oleh SNI 0492-1989-A, SII 0528-1981. Tahap pertama yang dilakukan adalah menimbang tandan kosong kelapa sawit sebagai sampel seberat 1 gram berat kering oven yang dilanjutkan dengan menambahkan etanol dan benzena, perbandingan antara kedua larutan tersebut adalah 1 : 2 dimana etanol yang digunakan sebanyak 50 mL dan benzena yang digunakan sebanyak 100 mL. Selanjutnya larutan dibiarkan selama 8 jam. Tahap berikutnya yakni hasil rendaman tersebut dicuci dengan etanol dan akuades panas dan dimasukkan ke dalam oven pada suhu 55°C - 60°C untuk dikeringkan. Setelah sampel kering dimasukkan ke dalam gelas piala 300 mL dan ditambahkan asam sulfat 72% sebanyak 15 mL. Penambahan dilakukan secara perlahan di dalam bak perendam pada suhu ruang dengan dilakukan pengadukan dan maserasi selama 2 – 3 menit. Setelah terdispersi secara sempurna, gelas piala ditutup dengan cawan petri dan dibiarkan selama 2 jam di dalam bak perendaman dengan dilakukan pengadukan setiap 15 menit sekali. Kemudian akuades sebanyak 400 mL ditambahkan ke dalam labu erlenmeyer 1000 mL dan sampel yang semula berada di gelas piala dipindahkan ke dalam labu erlenmeyer disertai dengan penambahan akuades hingga tanda batas sebagai pengenceran. Selanjutnya

dipanaskan sampai mendidih, didinginkan dan diamkan hingga endapan lignin mengendap sempurna. Endapan dipindahkan ke kertas saring yang telah diketahui bobotnya kemudian dilanjutkan dengan pencucian menggunakan akuades panas hingga bebas asam. Tahap terakhir adalah kertas saring yang berisi endapan lignin dikeringkan pada oven dengan suhu 105°C, dinginkan dalam desikator dan timbang hingga berat konstan.

3.4.3 Analisa Kadar Selulosa terhadap Tandan Kosong Kelapa Sawit (SNI 14-0444-1989, SII 0443-81)

Analisa kadar selulosa terhadap tandan kosong kelapa sawit berdasarkan SNI 14-0444-1989, SII 0443-81. Tandan kosong kelapa sawit ditimbang sebanyak 3 gram berat kering oven lalu dipindahkan ke dalam gelas piala 250 mL dan ditambahkan 15 mL larutan NaOH 17,5%. Penambahan dilakukan di dalam bak perendam pada suhu ruang dengan dilakukan pengadukan selama satu menit. Kemudian sebanyak 10 mL larutan NaOH 17,5% ditambahkan ke dalam larutan dan diaduk selama 45 detik. Lalu dilakukan penambahan sebanyak 10 mL NaOH 17,5% dengan disertai pengadukan selama 15 detik. Setelah itu campuran didiamkan dalam bak perendam selama 3 menit. Kemudian, larutan ditambahkan 10 mL NaOH 17,5% dan diaduk selama 10 menit. Penambahan 10 mL NaOH 17,5% dilakukan tiga kali setelah 2,5, 5, dan 7,5 menit. Campuran didiamkan selama 30 menit dalam keadaan tertutup. Langkah berikutnya adalah menambahkan 100 mL akuades dan campuran kembali didiamkan selama 30 menit. Setelah itu campuran dituang ke dalam kertas saring yang dilengkapi dengan labu isap dikarenakan campuran akan diisap menggunakan pompa vakum. Gelas piala dibersihkan dengan larutan NaOH 8,3% sebanyak 25 mL. Selanjutnya, endapan dicuci bertahap sebanyak 5 kali dengan 400 mL akuades. Filtrat yang dihasilkan dapat dilanjutkan untuk penentuan kadar hemiselulosa. Endapan kembali dicuci dengan 400 mL akuades yang dilanjutkan dengan penambahan asam asetat 2 N dan diaduk selama 5 menit. Endapan dicuci dengan air suling hingga bebas asam. Langkah terakhir adalah kertas saring yang berisi endapan selulosa dikeringkan pada oven dengan suhu 105°C, dinginkan dalam desikator dan timbang hingga berat konstan.

3.4.4 Pembuatan *Cellulose Nanofibril* (CNF) dari Tandan Kosong Kelapa Sawit

Proses yang digunakan dalam pembuatan *cellulose nanofibril* (CNF) dari tandan kosong kelapa sawit adalah proses mekanik dengan menggunakan *ultra-fine grinding machine*. Proses ini dilakukan berdasarkan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Liu *et al.*, 2013), namun pembeda pada penelitian ini adalah massa bahan, akuades, gap pada proses grinder (penggilingan) dan pengulangan.

Tahap pertama yang dilakukan adalah menyiapkan bahan yakni menimbang 30 gram tandan kosong kelapa sawit sebagai sumber selulosa dan 2 L akuades.

Tandan kosong kelapa sawit tersebut direndam dengan akuades yang sudah disiapkan. Tahap berikutnya adalah proses grinder yang dilakukan secara bertahap dimulai dari gap 30 hingga 110 dengan interval 20 (30, 50, 70, 90, dan 110). Pengulangan 10 siklus dilakukan pada masing – masing gap. Keberhasilan pembentukan *cellulose nanofibril* (CNF) dilakukan dengan pengamatan secara fisik yang hasilnya ditandai dengan tidak adanya endapan dan sampel bertransformasi menjadi gel.

3.4.5 Studi Mekanisme *Pickering Emulsion*

Pada tahap studi mekanisme *pickering emulsion* dilakukan dengan pengamatan *foamabilitas* dan stabilitas *foam* (busa) yang dilihat pada optimasi surfaktan *sodium dodecyl sulfate* (SDS).

3.4.5.1. Optimasi Pembuatan *Selulosa Foam* Tandan Kosong Kelapa Sawit Parameter Konsentrasi SDS

Proses optimasi pembuatan selulosa *foam* tandan kosong kelapa sawit dengan parameter konsentrasi SDS ini dilakukan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Liu *et al.*, 2018), namun pembeda pada penelitian ini adalah sumber selulosa (TKKS), agen stabilisasi yang digunakan adalah CNF dan konsentrasi SDS yang digunakan. Perhitungan konsentrasi masing – masing bahan yang digunakan dapat dilihat pada **Lampiran 2**. Optimasi pembuatan *selulosa foam* tandan kosong kelapa sawit parameter massa *sodium dodecyl sulfate* (SDS) dilakukan dengan menambahkan *sodium dodecyl sulfate* (SDS) sesuai massa yang akan diuji (0,25 g/L, 0,5 g/L, 1 g/L, 1,5 g/L, dan 2 g/L) ke dalam *glass beaker* yang berisi *cellulose nanofibril* (CNF) dengan konsentrasi 5%.

Selanjutnya larutan di dalam *glass beaker* dihomogenisasikan dengan *dispenser*.

Setelah terhomogenisasi sempurna larutan dimasukkan ke dalam wadah berisi pulp tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan 4,5 mL C-PAM yang kemudian diproses dengan *digital electronic overhead stirrer* selama 15 menit. *Drain volume* dan *foam volume* yang dihasilkan diukur setiap 60 detik, setelah itu larutan dimasukkan ke dalam oven pada suhu 50°C hingga kering.

3.4.6 Uji Densitas dan Porositas

Selulosa *foam* terbaik dapat dilihat dari nilai densitas dan porositas yang dihasilkan. Semakin rendah nilai densitas dan semakin tinggi nilai porositas yang dihasilkan maka selulosa *foam* dapat dikatakan baik. Tahap pertama untuk menghitung nilai ini adalah memotong selulosa *foam* dengan ukuran 1 cm x 1 cm. Selulosa *foam* ukuran 1 cm x 1 cm disiapkan sebanyak 3 sampel dari masing – masing yang digunakan. Setelah itu selulosa *foam* ditimbang yang dilanjutkan pengukuran dimensi panjang x lebar x tinggi menggunakan kaliper. Langkah berikutnya adalah menghitung nilai densitas dengan menggunakan rumus berikut:

$$\rho_a = \frac{\text{massa (gram)}}{\text{volume (cm}^3\text{)}}$$

Setelah nilai densitas ditemukan dilanjutkan dengan mencari nilai porositas. Perhitungan nilai porositas didasari dengan rumus yang ada pada penelitian (Sehaqui *et al.*, 2010). Data perhitungan dari tiga sampel masing – masing porositas dilanjutkan untuk analisa statistika dengan menggunakan aplikasi SPSS. Nilai ρ_c adalah nilai dari densitas selulosa yang diasumsikan sebesar 1.500 kg/m³ atau 1,5 g/cm³. Sehingga perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut :

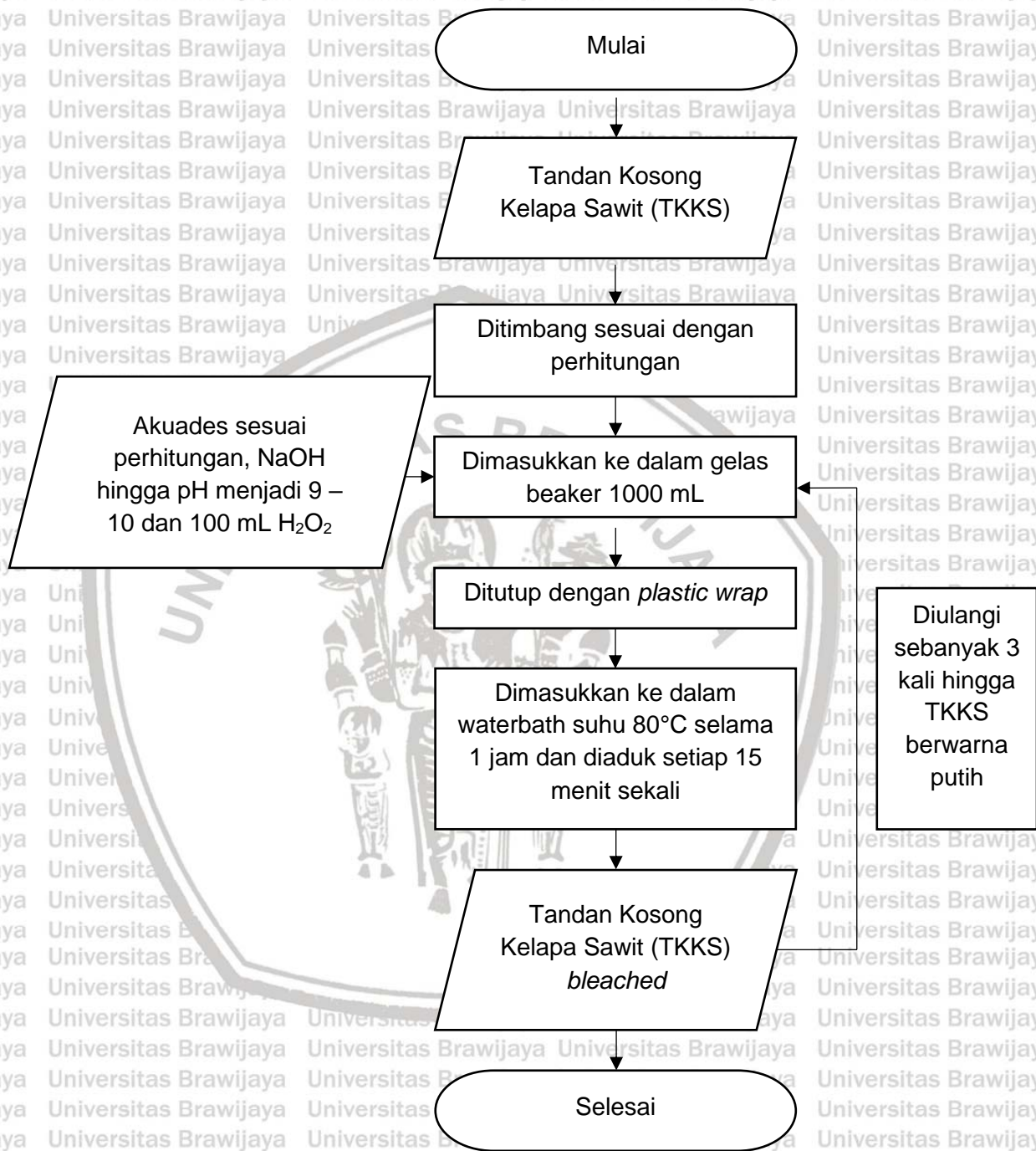
$$P (\%) = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_c} \right) \times 100\%$$

3.4.7 Karakterisasi Struktur Selulosa Foam

Karakterisasi struktur selulosa *foam* bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari beberapa parameter yang digunakan terhadap pembuatan selulosa *foam* dari tandan kosong kelapa sawit. Karakterisasi struktur selulosa *foam* diawali dengan pengamatan gugus fungsi selulosa dengan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) terhadap tandan kosong kelapa sawit. Selulosa *foam* dilanjutkan ke dalam uji kuat tekan dan uji morfologi dengan digital mikroskop tiga dimensi.

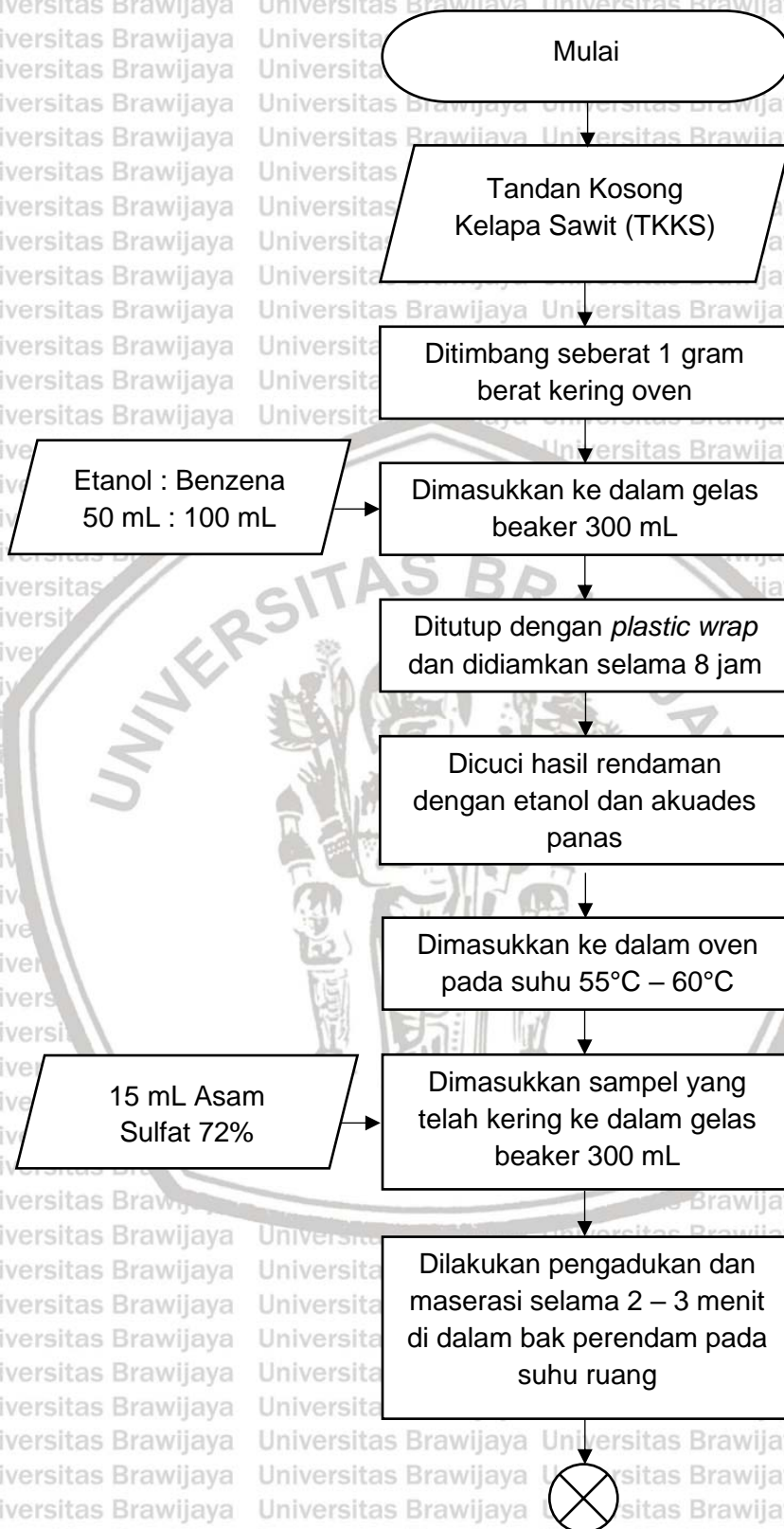
3.5 Diagram Alir

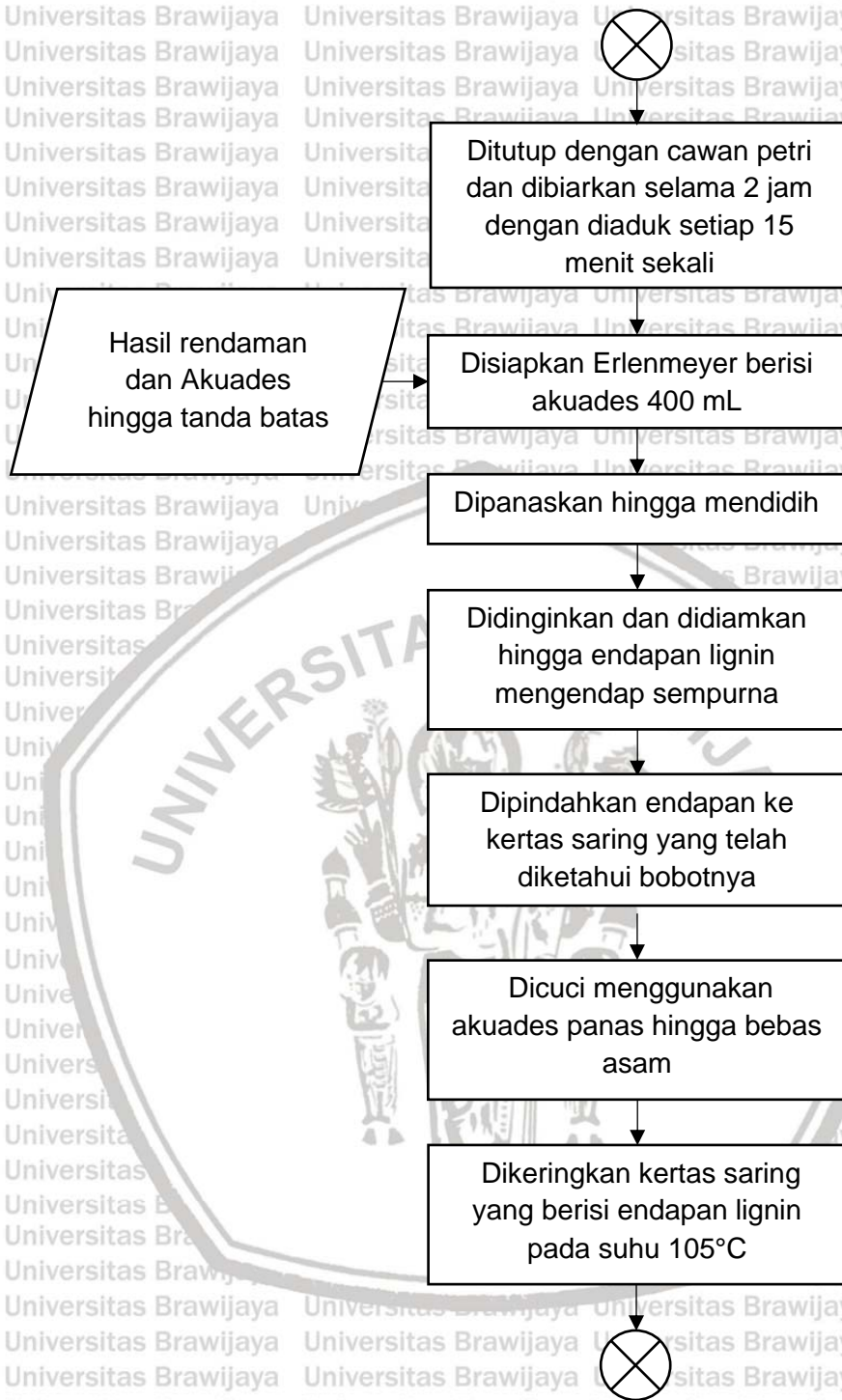
3.5.1. Diagram Alir Proses *Bleaching* (Pemutihan)

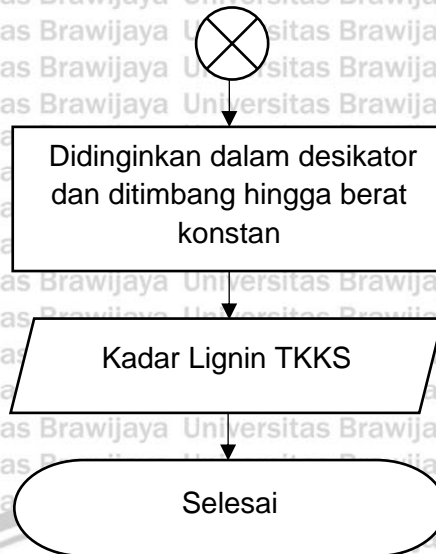


Gambar 3.1. Diagram Alir Proses *Bleaching* (Pemutihan)

3.5.2. Diagram Alir Analisa Kadar Lignin

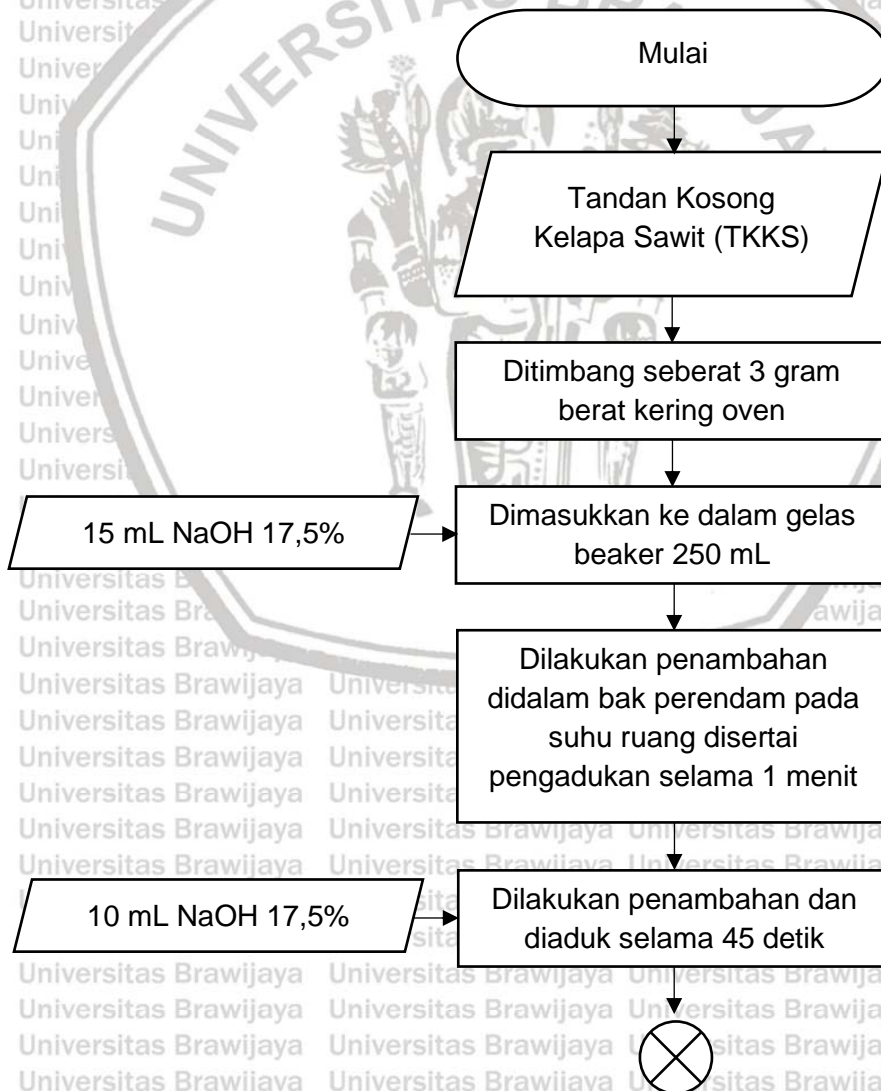


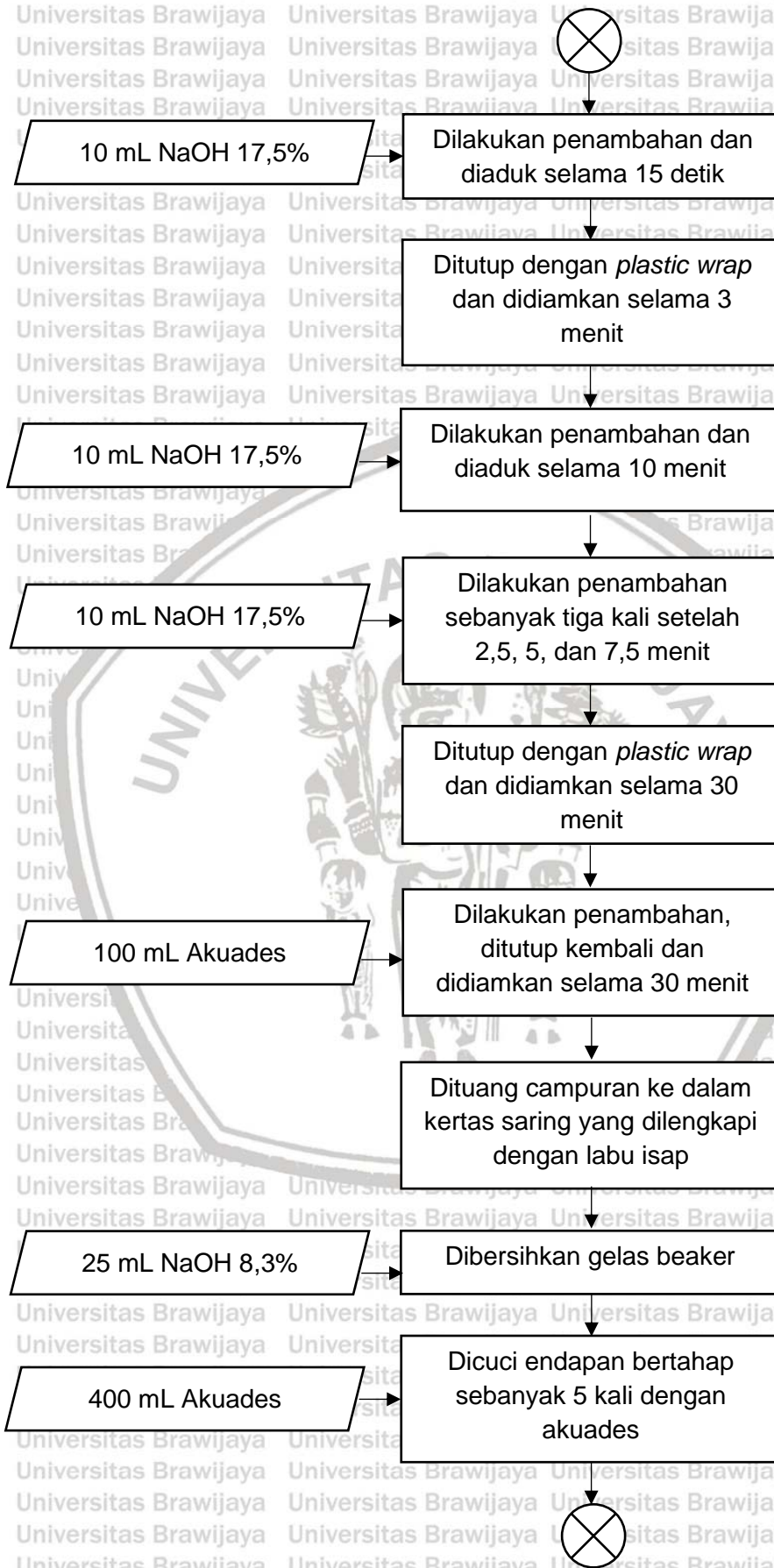


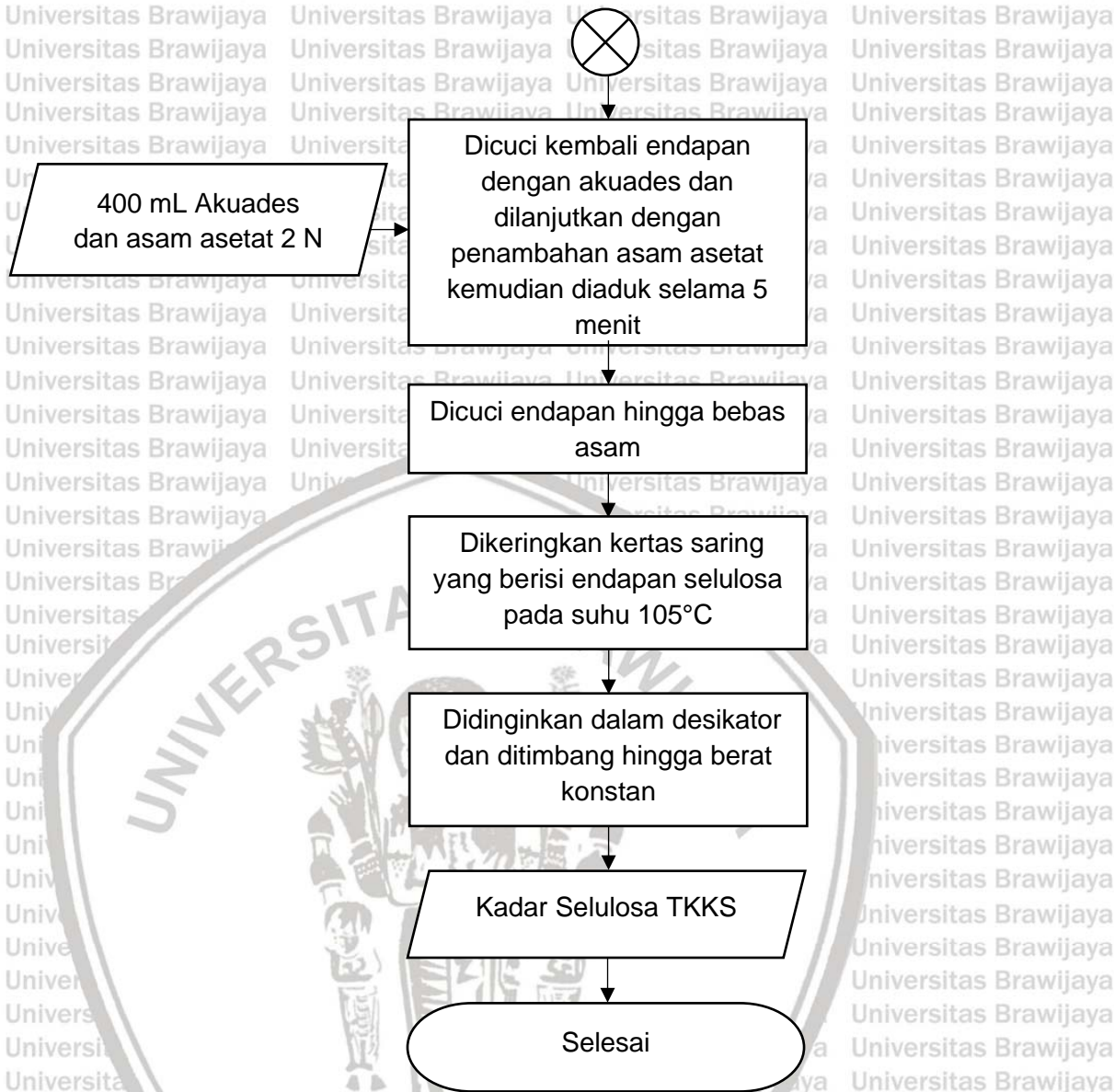


Gambar 3.2. Diagram Alir Analisa Kadar Lignin

3.5.3. Diagram Alir Analisa Kadar Selulosa

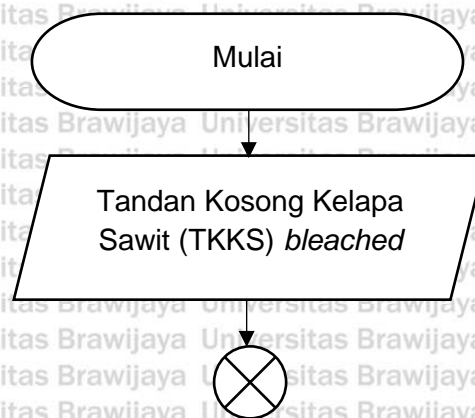


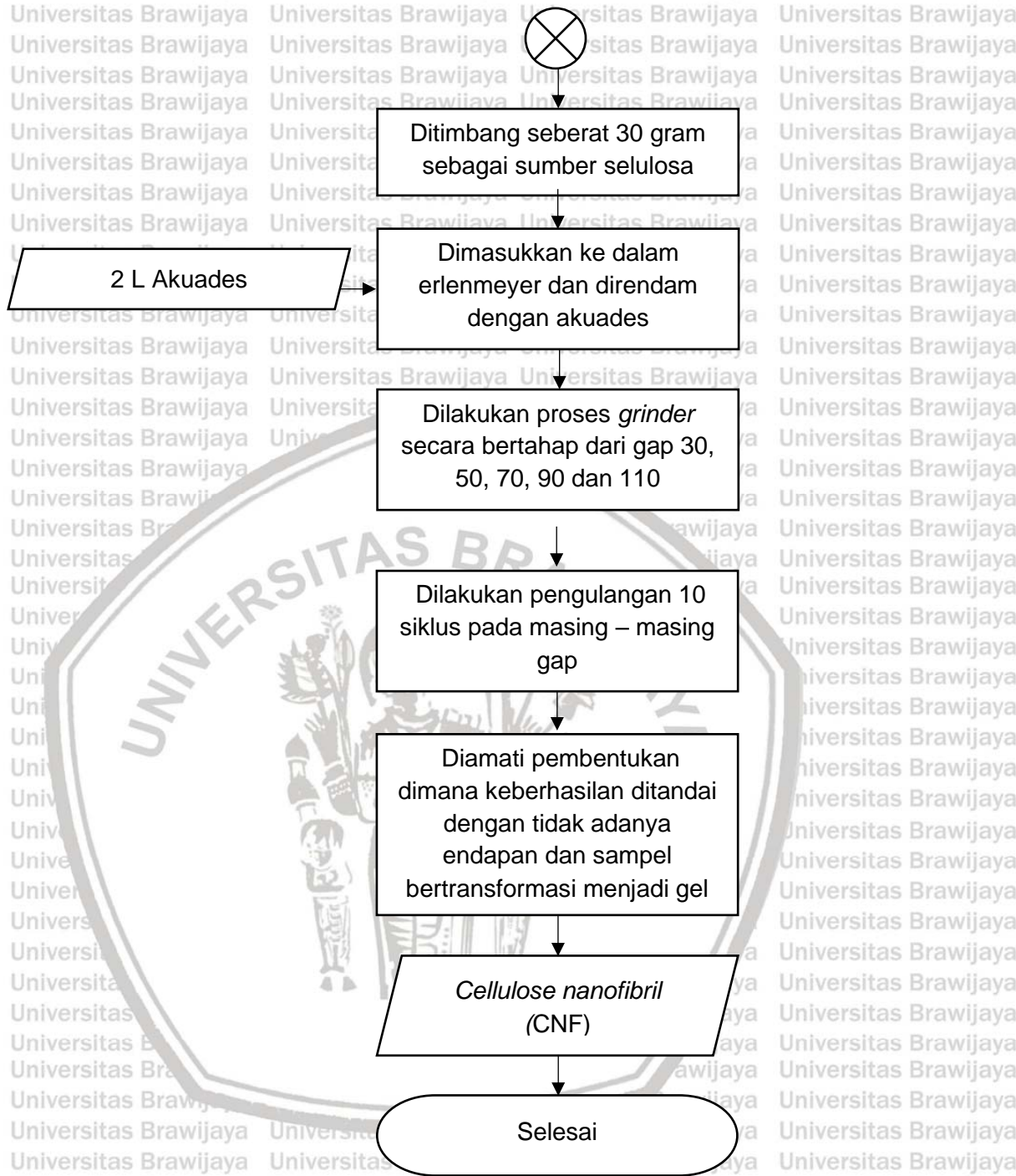




Gambar 3.3. Diagram Alir Analisa Kadar Selulosa

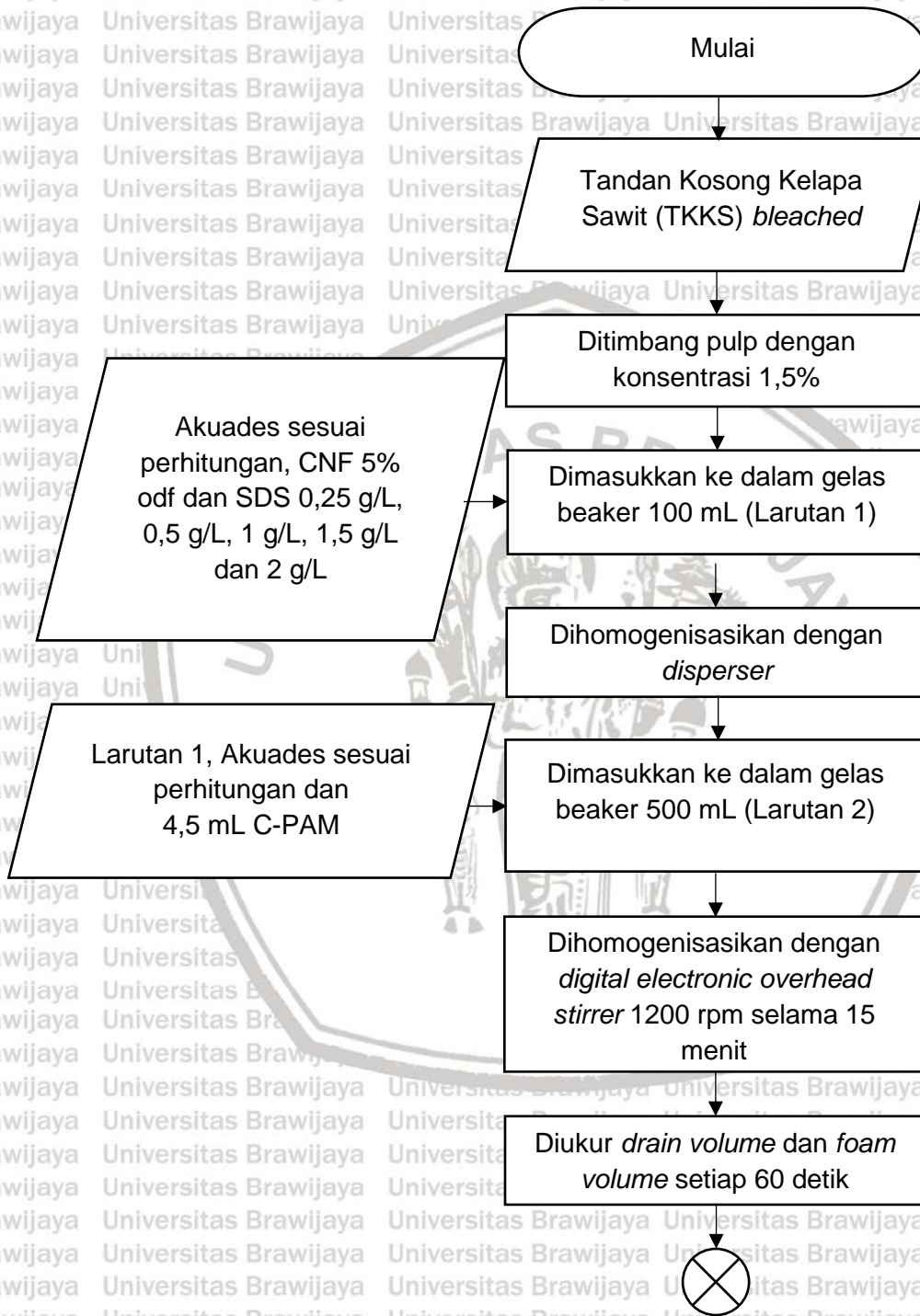
3.5.4. Diagram Alir Pembuatan *Cellulose Nanofibril* (CNF)

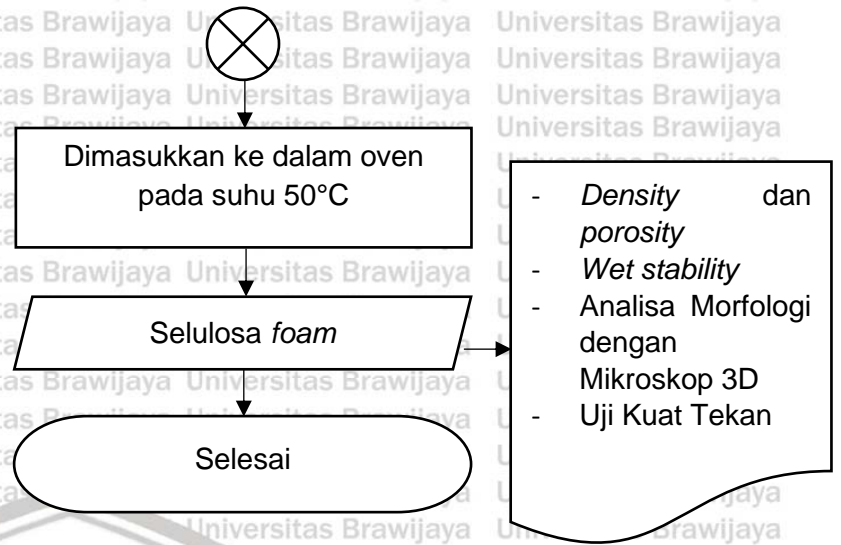




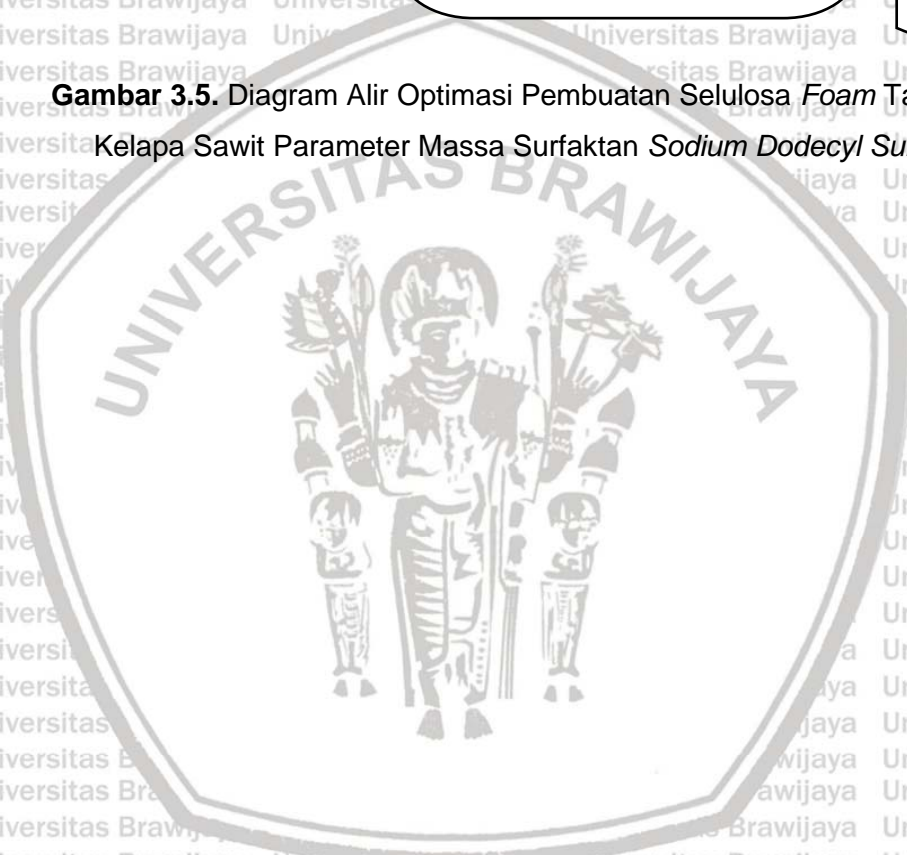
Gambar 3.4. Diagram Alir Pembuatan Cellulose Nanofibril (CNF)

3.5.5. Diagram Alir Optimasi Pembuatan *Selulosa Foam* Tandan Kosong Kelapa Sawit Parameter Konsentrasi Surfaktan *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS)





Gambar 3.5. Diagram Alir Optimasi Pembuatan *Selulosa Foam* Tandan Kosong Kelapa Sawit Parameter Massa Surfaktan *Sodium Dodecyl Sulfate (SDS)*



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Preparasi Selulosa dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

4.1.1 Pemutihan (*Bleaching*)

Proses pemutihan (*bleaching*) dilakukan sebagai proses preparasi untuk menghilangkan sisa lignin dan menaikkan derajat putih atau kecerahan pada tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Proses pemutihan (*bleaching*) menggunakan larutan H₂O₂ sebagai agen pemutih oksidator dengan konsentrasi sebesar 10% (b/v). Fungsi dari oksidator ini adalah untuk menghilangkan lignin dari gugus kromofor. *Bleaching* dilakukan pada suhu 80°C selama 1 jam dengan dilakukan pengadukan setiap 15 menit sekali. Suasana yang digunakan dalam proses *bleaching* (pemutihan) adalah suasana basa dengan pH optimum sekitar 9 sampai 10. Larutan NaOH digunakan untuk membuat suasana basa dan berfungsi sebagai reduktor yang mendegradasi lignin dengan cara hidrolisa. Setelah itu, dibilas dengan akuades untuk menghilangkan sisa – sisa pelarut dan lignin yang sudah terdegradasi. Hasil dari proses ini ditandai dengan terjadinya peningkatan derajat putih atau kecerahan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.1** di bawah ini.

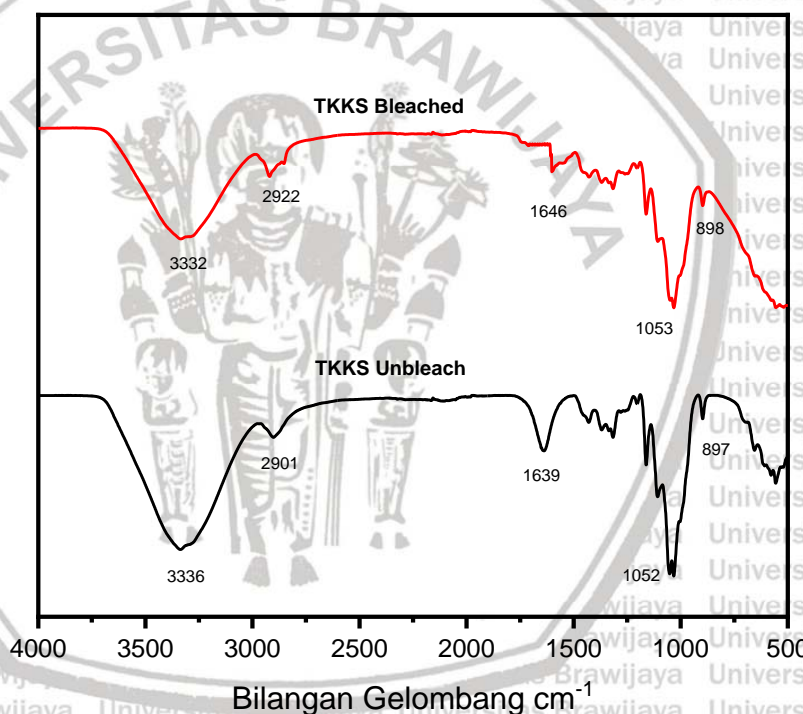


Gambar 4.1. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) (a) TKKS *unbleached* (b) TKKS *bleached*

Terjadinya peningkatan derajat putih ini karena adanya efek pemutihan dari hidrogen peroksida dengan penambahan alkali. Penambahan alkali NaOH akan menghasilkan anion perhidroksi (HOO⁻). Menurut Li *et al.* (2005) menyebutkan bahwa proses mekanisme pemutihan melibatkan unit lignin non-fenolik teroksidasi dengan hidrogen peroksida melalui pelepasan satu elektron dan membentuk radikal kation yang selanjutnya terurai secara kimiawi. Struktur lignin tersusun dari

90% unit non fenolik. Ikatan C α -C β pada molekul lignin dapat terputus dengan adanya efek dari hidrogen peroksida. Sehingga, gugus kromofor pada lignin akan semakin berkurang. Terjadinya peningkatan derajat putih atau kecerahan diakibatkan perubahan veratryl alkohol menjadi veratryl aldehida karena oksidasi senyawa lignin non-fenolik dikatalis oleh hidrogen.

Hasil dari proses *bleaching* (pemutihan) selanjutnya dianalisis dengan menggunakan FTIR untuk menjustifikasi gugus fungsi selulosa yang ada pada tandan kosong kelapa sawit. Selain itu, pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi pengurangan lignin pada tandan kosong kelapa sawit yang telah mengalami proses *bleaching* (pemutihan) jika dibandingkan tandan kosong kelapa sawit *unbleached* (tidak mengalami proses pemutihan) Hasil analisa gugus fungsi dengan FTIR dapat dilihat pada **Gambar 4.2** di bawah ini.



Gambar 4.2. Spektrum FTIR dari TKKS *Unbleached* dan *Bleached*

Berdasarkan data di atas dapat dilihat bahwa spektrum FTIR yang dihasilkan dari TKKS *unbleached* dan *bleached* terdapat puncak pada daerah serapan 3600 – 3000 cm⁻¹, 2900 – 2500 cm⁻¹, 2000 – 1500 cm⁻¹, 1300 – 1000 cm⁻¹ dan 900 – 700 cm⁻¹. Daerah serapan yang luas dan kuat teridentifikasi pada bilangan gelombang 3000 – 3600 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya ikatan hidrogen (O-H) *stretching* (peregangan) dari grup hidroksi selulosa. Spektrum FTIR pada

TKKS menunjukkan intensitas kuat pada bilangan gelombang 2985 – 2900 cm^{-1} yang menunjukkan adanya kelompok C-H dari grup $\text{CH}_2\text{-OH}$ selulosa (Isroi *et al.*, 2012). Pengujian FTIR pada penelitian ini menunjukkan adanya ikatan hidrogen (O-H) *stretching* (peregangan) dari grup hidroksi selulosa pada puncak 3336 cm^{-1} untuk TKKS *unbleached* dan 3332 cm^{-1} untuk TKKS *bleached*. Kemudian puncak ditemukan pada bilangan gelombang 2901 cm^{-1} untuk TKKS *unbleached* dan 2992 cm^{-1} untuk TKKS *bleached* yang mana merupakan menunjukkan adanya ikatan C-H *stretching* dari grup $\text{CH}_2\text{-OH}$ selulosa. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Ramlee *et al.*, 2019) menjelaskan bahwa struktur lignin pada tandan kosong kelapa sawit ditunjukkan pada daerah bilangan gelombang 1646 cm^{-1} yang menunjukkan adanya ikatan C-C *stretching* (peregangan) dari cincin aromatik lignin. Penelitian ini menunjukkan adanya karbonil dari setil ester pada hemiselulosa dan karbonil aldehyd pada lignin untuk TKKS *unbleached* dengan bilangan gelombang 1639 cm^{-1} dan TKKS *bleached* dengan bilangan gelombang 1646 cm^{-1} . Berkurangnya intensitas puncak pada bilangan daerah gelombang TKKS *bleached* membuktikan bahwa proses *bleaching* (pemutihan) berhasil mengurangi kandungan lignin dan hemiselulosa pada TKKS. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Bahmid *et al.*, 2013) menjelaskan bahwa pada TKKS terdapat ikatan C-O yang ditunjukkan pada daerah bilangan gelombang 1065 cm^{-1} . Pada penelitian ini TKKS *unbleached* memiliki puncak pada bilangan gelombang 1052 cm^{-1} sedangkan TKKS *bleached* memiliki puncak pada bilangan gelombang 1053 cm^{-1} . Puncak ini juga disebabkan oleh deformasi C-O pada alkohol primer dan C=O pada alkohol sekunder yang ditentukan oleh lignin. Namun intensitas puncak pada TKKS *bleached* berkurang dibandingkan dengan intensitas puncak pada TKKS *unbleached*. Perbedaan yang lebih jelas terkait nilai daerah serapan dan identifikasi gugus fungsi yang terdapat pada TKKS *unbleached* dan *bleached* dapat dilihat pada **Tabel 4.1**. Spektrum FTIR yang menunjukkan puncak di sekitar bilangan gelombang 898 cm^{-1} merupakan ikatan dari β – glikosidik antar unit glukosa dari selulosa (Hassan dan Badri, 2016). Pada penelitian ini dalam baik TKKS *unbleached* maupun TKKS *bleached* menunjukkan puncak pada rentang 890 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya ikatan β – glikosidik antar unit glukosa dari selulosa. Puncak lebih tinggi terdapat pada TKKS *bleached* dengan bilangan gelombang 898 cm^{-1} sedangkan untuk TKKS *unbleached* adalah 897 cm^{-1} . Hal ini membuktikan bahwa proses *bleaching* (pemutihan) yang diaplikasikan pada tandan kosong kelapa sawit tidak mendegradasi kandungan selulosa dan

mendegradasi senyawa lignin yang terkandung pada TKKS setelah diberi perlakuan *bleaching* (pemutihan). Degradasi senyawa lignin ini ditandai dengan hilangnya ikatan C=C seiring dengan prosesnya.

Tabel 4.1. Daerah Serapan TKKS *Bleached* dan *Unbleached*

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		Gugus Fungsi	Senyawa	Referensi
TKKS <i>Unbleached</i>	TKKS <i>Bleached</i>			
3336	3332	O-H <i>stretching</i> (peregangan)	Selulosa	Isroi <i>et al.</i> (2012)
2901	2922	C-H <i>stretching</i> dari grup CH ₂ -OH	Selulosa	Isroi <i>et al.</i> (2012)
1639	1646	C-C <i>stretching</i> (peregangan)	Lignin	Ramlee <i>et al.</i> (2019)
1052	1053	C-O pada alkohol primer dan C=O pada alkohol sekunder C-H	Lignin	Bahmid <i>et al.</i> (2013)
897	898	Deformasi C(1)-H	Ikatan β – glikosidik	Hassan dan Badri (2016)

4.1.2 Pengujian Komposisi Kimia Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Proses preparasi berikutnya adalah menganalisa komposisi kimia yang terdapat pada tandan kosong kelapa sawit (TKKS). TKKS merupakan biomassa berlignoselulosa yang mengandung tiga komponen antara lain selulosa, hemiselulosa dan lignin. Komposisi kimia yang dianalisa pada penelitian ini adalah lignin dan selulosa. Analisa dilakukan terhadap TKKS *unbleached* dan *bleached*. Metode yang digunakan untuk menentukan kadar kandungan lignin pada tandan kosong kelapa sawit (TKKS) adalah metode SNI 0492-1989-A, SII 0528-1981.

Metode SNI 0492-1989-A, SII 0528-1981 adalah metode pemisahan lignin yang

menggunakan asam sulfat 72% dengan diikuti hidrolisis polisakarida pada asam sulfat 3% yang dipanaskan hingga mendidih. Sedangkan metode yang digunakan untuk menentukan kadar kandungan selulosa pada TKKS adalah metode SNI 14-0444-1989, SII 0443-81. Metode ini mengukur selulosa dengan prinsip dimana bahan tidak larut dan tahan terhadap NaOH. Hasil analisa komposisi kimia dapat dilihat pada **Tabel 4.2** di bawah ini.

Tabel 4.2. Komposisi Kimia Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Komposisi (%)	Unbleached	Bleached
Lignin	12,88	6,99
Selulosa	65,92	33,21

Analisa komposisi kimia terhadap TKKS menunjukkan bahwa kadar lignin pada TKKS *unbleached* (tidak dilakukan proses pemutihan) sebesar 12,88%.

Sedangkan kadar lignin untuk TKKS yang telah melalui proses *bleaching* (pemutihan) diperoleh sebesar 6,99%. Artinya, lignin yang terkandung dalam TKKS sebagian besar sudah terdegradasi dengan adanya proses *bleaching* (pemutihan). Hal ini membuktikan bahwa proses *bleaching* (pemutihan) tidak sepenuhnya menghilangkan lignin secara utuh namun hanya mendegradasi agar warna serat yang dihasilkan lebih terang. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hassan dan Badri (2016) dihasilkan kadar lignin pada tandan kosong kelapa sawit yang tidak diberi perlakuan apapun sebesar 17,7% dan ketika diberi perlakuan dengan H₂O₂ kadar lignin pada TKKS berkurang menjadi 10,5%.

Penelitian yang dilakukan oleh Haqiqi *et al.* (2021) juga menunjukkan bahwa kandungan lignin pada TKKS dengan perlakuan H₂O₂ menyebabkan penurunan nilai kadar lignin yang semula 12,42 ± 1,08% menjadi 11,56 ± 0,68%. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa proses pemutihan dengan menggunakan H₂O₂ sebagai agen pemutih membuktikan adanya penurunan kandungan lignin.

Selain menganalisa kadar lignin, kadar selulosa pada TKKS juga turut dianalisa. Analisa komposisi kimia terhadap TKKS menunjukkan bahwa kadar selulosa pada TKKS *unbleached* (tidak dilakukan proses pemutihan) sebesar 65,92%. Sedangkan kadar selulosa untuk TKKS yang telah melalui proses *bleaching* (pemutihan) diperoleh sebesar 33,21%. Namun, hal ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Hassan dan Badri (2016) dimana kadar selulosa yang dihasilkan setelah diberi perlakuan H₂O₂ meningkat menjadi 47,9% yang

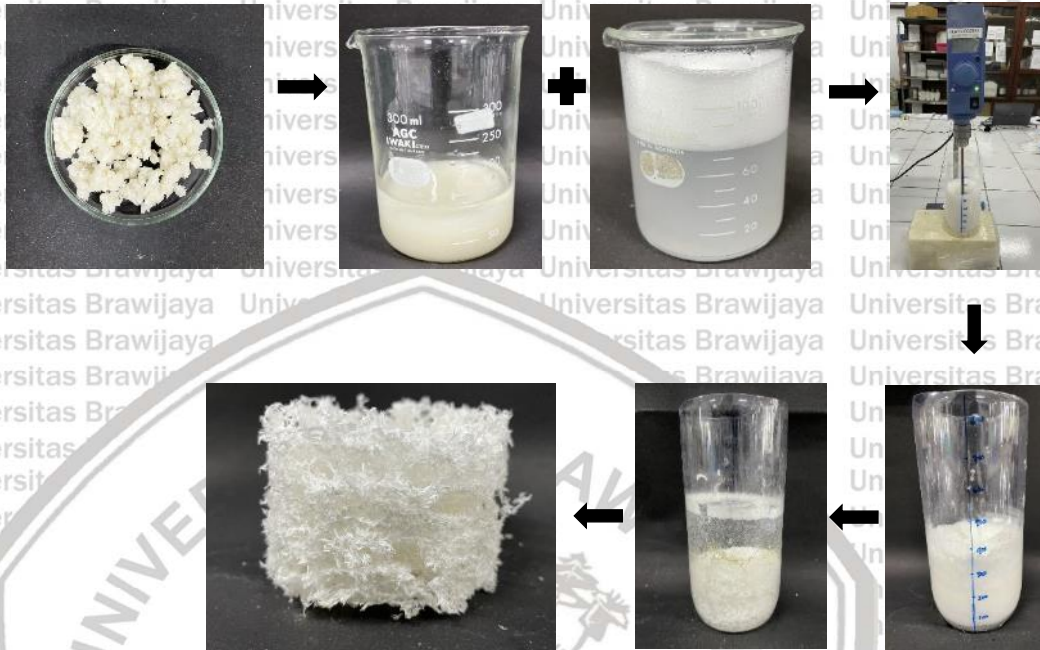
semula 45,3% untuk TKKS tanpa perlakuan. Begitupula pada penelitian Haqiqi *et al.* (2021) menunjukkan kadar selulosa pada TKKS yang diberi perlakuan H_2O_2 meningkat menjadi $67,45 \pm 1,57\%$ yang semula $65,43 \pm 0,33\%$ untuk TKKS tanpa perlakuan. Namun menurut Rosa *et al.* (2012) menjelaskan bahwa selama proses pemutihan peristiwa terdegradasinya selulosa tidak bisa dihindari. Selama proses pemutihan bahan kimia tersebut juga akan menyerang rantai selulosa yang memengaruhi viskositas dan kekuatan pulp. Selain lignin yang terdegradasi, hemiselulosa juga ikut terdegradasi sehingga kadar komposisi selulosa yang dihasilkan berkurang. Kembali dengan tujuan pemutihan yakni untuk meningkatkan kecerahan yang mana harus mendegradasi lignin, faktor penting yang berkontribusi terhadap warna pulp maka dapat dipahami bahwa penting untuk mengurangi kandungan lignin dengan meminimalisir terjadinya kerusakan terhadap selulosa. Perhitungan kadar lignin dan selulosa dapat dilihat pada Lampiran 3.

4.2 Proses Pembuatan Selulosa *Foam* Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Mekanisme *Pickering Emulsion*

Proses pembuatan selulosa *foam* tandan kosong kelapa sawit dilakukan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Liu *et al.*, 2018), namun yang membedakan adalah sumber selulosa, agen stabilisasi dan konsentrasi *sodium dodecyl sulfate* (SDS) yang digunakan. Sumber selulosa yang digunakan pada penelitian ini adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sedangkan penelitian terdahulu menggunakan *hardwood*, *softwood* dan ampas tebu atau *bagasse*. Agen stabilisasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *cellulose nanofibril* (CNF) sedangkan penelitian terdahulu menggunakan *microfibrillated cellulose* (MFC). Konsentrasi surfaktan *sodium dodecyl sulfate* (SDS) yang digunakan pada penelitian ini adalah 0,25 g/L, 0,5 g/L, 1 g/L, 1,5 g/L, dan 2 g/L sedangkan penelitian terdahulu variasi konsentrasi surfaktan SDS yang digunakan adalah 0,1 g/L, 0,2 g/L, 0,5 g/L, 1 g/L dan 2 g/L.

Skema proses pembuatan selulosa *foam* dengan mekanisme *pickering emulsion* ini dapat dilihat pada Gambar 4.3. Langkah pertama yaitu dengan menghaluskan 1,5% berat kering *pulp* tandan kosong kelapa sawit yang telah diputihkan dengan akuades dan 0,5% berat kering serat oven C-PAM menggunakan perbandingan tertentu pada pH 7,0 dengan *laboratory blender*. Setelah itu, dicampurkan dengan larutan 5% berat kering serat oven CNF dan variasi surfaktan *sodium dodecyl sulfate* (SDS) yang telah terdispersi dengan

akuades. Proses homogenisasi ini dilakukan dengan *digital electronic overhead stirrer* 1200 rpm selama 15 menit. *Drain volume* dan *foam volume* yang dihasilkan diukur setiap 60 detik, setelah itu larutan dimasukkan ke dalam oven pada suhu 50°C hingga kering.

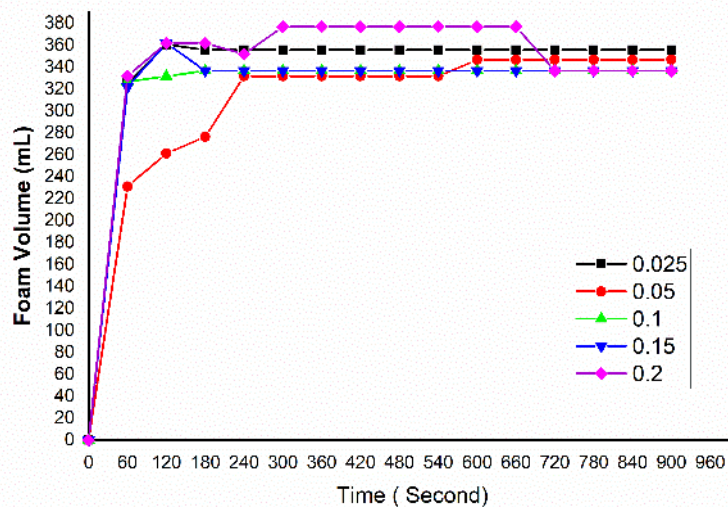


Gambar 4.3. Proses Pembuatan Selulosa *Foam* Tandan Kosong Kelapa Sawit yang distabilisasi dengan CNF

4.2.1 Optimasi Konsentrasi Surfaktan *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS) dan Pengaruhnya terhadap *Foamabilitas* Selulosa *Foam* Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Proses optimasi dilakukan untuk menentukan konsentrasi surfaktan *sodium dodecyl sulfate* (SDS) yang akan digunakan. Konsentrasi surfaktan SDS pada penelitian ini adalah gram dalam liter (g/L). Surfaktan SDS bertindak sebagai agen untuk menciptakan busa lebih cepat. Optimasi dilakukan dengan memvariasikan SDS yakni 0,25 g/L, 0,5 g/L, 1 g/L, 1,5 g/L, dan 2 g/L. Terdapat dua tingkat homogenisasi untuk menghasilkan selulosa *foam*. Homogenisasi tingkat pertama dilakukan dengan menggunakan alat *dispenser* yang mana akan menghomogenisasikan secara vibrasi antara akuades sesuai perhitungan dengan CNF 5% odf serta variasi SDS (0,25 g/L, 0,5 g/L, 1 g/L, 1,5 g/L, dan 2 g/L). Pada tahap ini, proses *pickering emulsion* atau *pickering foam* terjadi karena adanya CNF sebagai bahan padat berukuran nano sebagai penstabil terhadap pembentukan gelembung busa oleh surfaktan SDS. Selanjutnya, hasil

homogenisasi tingkat pertama disebut sebagai larutan 1. Larutan 1 dilanjutkan dengan homogenisasi tingkat dua menggunakan alat *digital electronic overhead stirrer*. Homogenisasi tingkat dua dilakukan dengan mencampurkan antara larutan 1 dengan 4,5 mL C-PAM yang ditambahkan akuades sesuai perhitungan. Homogenisasi tingkat dua ini dilakukan selama 15 menit pada 1200 rpm. Kemudian, pertambahan *drained volume* dan *foam volume* yang dihasilkan diamati setiap 60 detik.



Gambar 4.4. Grafik Optimasi Surfaktan *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS) antara Waktu dengan *Foam Volume*

Foamabilitas (kemampuan menghasilkan busa) pada proses *foaming* (pembusaan) berhubungan dengan perbandingan jumlah surfaktan dengan molekul lain. Penelitian yang dilakukan oleh Park *et al.* (2021) juga mengamati pengaruh konsistensi CNF dan jumlah surfaktan dengan mengamati *foamabilitas*. Namun surfaktan yang digunakan adalah oktilamin dan menunjukkan bahwa volume suspensi CNF yang ditambahkan oktilamin meningkat karena timbulnya gelembung selama pengadukan suspensi yang kuat. Perbandingan yang tepat ini akan menghasilkan *foam* (busa) dalam volume yang stabil dan maksimal. Data optimasi surfaktan *sodium dodecyl sulfate* (SDS) dapat dilihat pada **Lampiran 4**.

Berdasarkan **Gambar 4.4** dapat dilihat bahwa *foam volume* yang paling stabil dan maksimal dihasilkan pada konsentrasi SDS 0,25 g/L dengan volume sebesar 355,57 mL. Sedangkan *foam volume* yang paling fluktuatif dihasilkan pada konsentrasi SDS 2 g/L dengan volume sebesar 336,61 mL.

Pada proses terbentuknya busa, nilai konsentrasi kritis misel atau *critical micelle concentration* (CMC) dari surfaktan sangat berperan penting, dimana jumlah maksimal busa akan dihasilkan apabila konsentrasi surfaktan yang digunakan sedikit berada di atas nilai CMC surfaktan tersebut (Mira *et al.*, 2018).

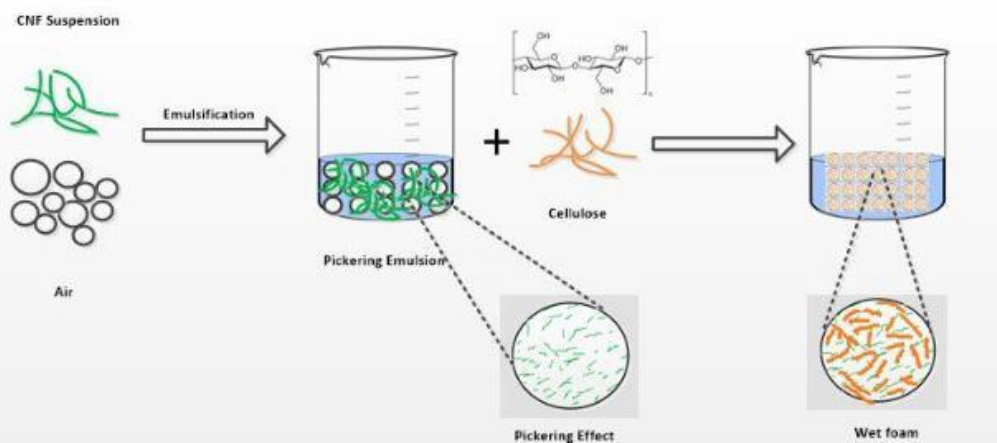
Konsentrasi kritis misel atau *Critical Micelle Concentration* (CMC) adalah konsentrasi di mana monomer mulai membentuk misel atau kumpulan unit molekul surfaktan. Nilai konsentrasi kritis misel dari surfaktan SDS dalam air sekitar 8,3 mM atau 0,0083 M. Dalam 0,0083 M dengan massa molekul relatif SDS yakni 288 maka didapat nilai gram dari SDS adalah 2,3904 gram atau 2,4 gram. Sehingga nilai konsentrasi kritis misel dari SDS dalam air murni adalah 2,4 g/L pada 25°C (Muniz *et al.*, 2014). Pada penelitian ini, konsentrasi surfaktan SDS yang digunakan nilainya berada dibawah nilai konsentrasi kritis misel (CMC) surfaktan SDS dalam air murni. Secara teori seharusnya tidak dapat menghasilkan *foam* dengan jumlah yang maksimal. Namun, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa *foam* (busa) yang dihasilkan cukup banyak pada semua rentang variasi konsentrasi surfaktan SDS yang digunakan. Bahkan, volume *foam* (busa) yang paling stabil dan maksimal dihasilkan pada konsentrasi SDS terkecil yakni 0,25 g/L. Hal ini disebabkan karena adanya suspensi CNF pada sistem emulsi udara/air yang digunakan. Seperti yang dijelaskan sebelumnya pada pembuatan *foam* (busa) dengan teknologi *pickering emulsion* ini busa yang dihasilkan oleh surfaktan SDS di stabilisasi oleh suspensi CNF, sehingga disini dapat terlihat bahwa penambahan CNF sebagai agen *pickering* sangat berpengaruh pada foamabilitas dan stabilitas *foam* (busa) yang dihasilkan.

Sodium dodecyl sulfate (SDS) merupakan surfaktan anionik (bermuatan negatif) yang memiliki peran penting dalam menghasilkan busa. Keberadaan *cellulose nanofibril* (CNF) dalam sistem emulsi udara/air sebagai agen *pickering* menyebabkan surfaktan SDS bereaksi dengan permukaan CNF. Semakin tinggi konsentrasi surfaktan SDS maka semakin besar interaksi antara surfaktan SDS dan permukaan CNF, sehingga tidak hanya lapisan tipis yang terbentuk pada permukaan udara/air, namun juga membentuk agregat fibril yang menyebabkan penurunan kemampuan foamabilitas dan stabilitas *foam* (busa). Oleh karena itu, dengan sistem yang mengandung CNF hanya dibutuhkan surfaktan SDS dengan konsentrasi yang kecil. Hal ini dapat dilihat pada konsentrasi surfaktan SDS terbesar pada penelitian ini (2 g/L) foamabilitas yang dihasilkan menurun. Hal ini semakin menarik, bahwa dengan penambahan CNF hanya dibutuhkan surfaktan

SDS dalam jumlah yang kecil untuk menghasilkan busa dengan volume yang besar dan stabil. Sehingga, ini sangat menguntungkan dalam hal penggunaan jumlah bahan kimia dibandingkan dengan menggunakan surfaktan SDS murni tanpa suspensi CNF.

4.2.2 Mekanisme Pickering Emulsion

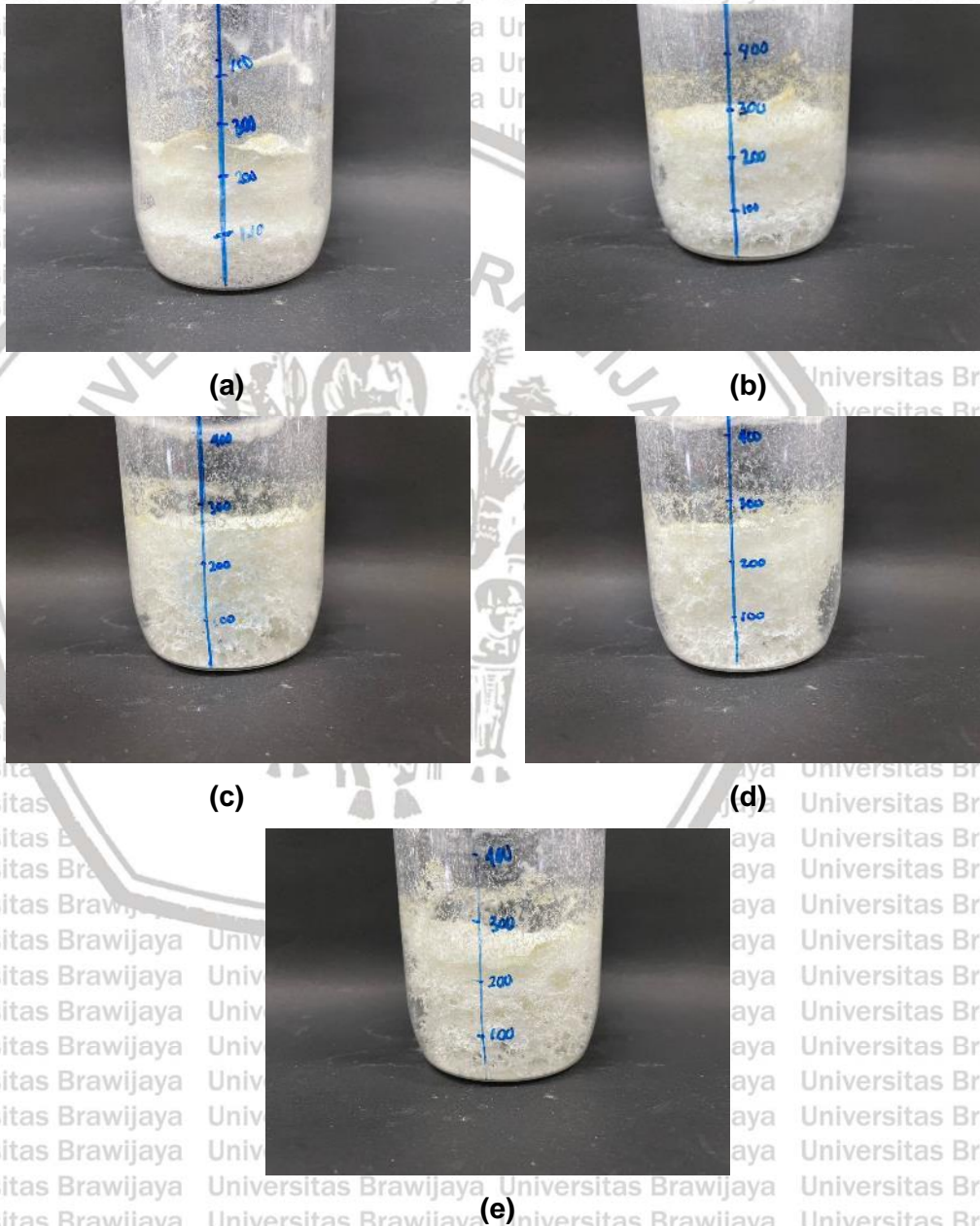
Penelitian pembuatan selulosa *foam* ini dilakukan dengan memanfaatkan teknologi *pickering emulsion*, dimana CNF berfungsi sebagai agen *pickering* (penstabil). Pada proses pelarutan surfaktan *sodium dodecyl sulfate* (SDS) dalam air akan tercipta gelembung udara/air. Suspensi CNF yang didispersikan pada larutan tersebut akan menstabilkan gelembung udara yang terbentuk. Partikel CNF akan teradsorpsi ke permukaan udara yang akan membuat lapisan kaku di antarmuka gelembung/air. Lapisan antarmuka ini akan menstabilisasi permukaan dengan mengurangi energi permukaan dari CNF dan mengurangi sifat hidrofilitiknya. Sehingga gelembung udara yang dihasilkan dapat distabilkan. Mekanisme *pickering emulsion* ini dapat dilihat pada **Gambar 4.5**. Gelembung udara yang stabil akan menjadi tempat menempelnya serat selulosa sehingga membentuk *foam* (busa) basah yang lebih berat. *Foam* (busa) basah ini akan menghasilkan rongga – rongga udara sebagai hasil dari gelembung udara yang menguap ketika proses pengeringan dengan hasil akhir adalah *foam* (busa) kering selulosa.



Gambar 4.5. Mekanisme *Pickering Emulsion* Selulosa Foam yang distabilisasi dengan CNF

4.2.3 Pengaruh Agen Pickering Cellulose Nanofibril (CNF) terhadap Stabilitas Foam (Busa) pada Pembuatan Selulosa Foam

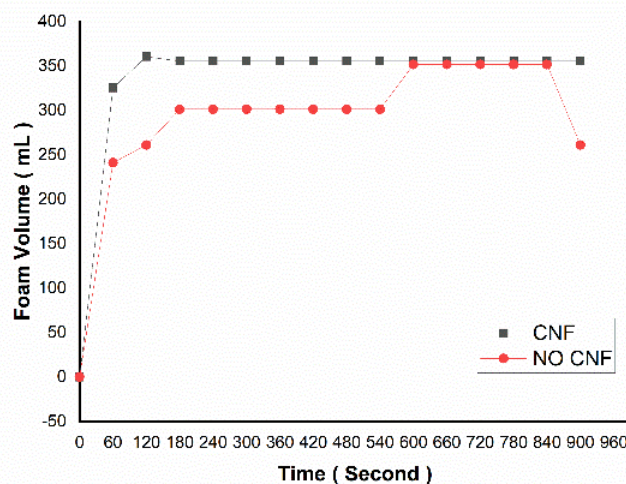
Cellulose Nanofibril (CNF) pada optimasi konsentrasi surfaktan SDS tidak hanya berpengaruh pada kemampuan menghasilkan busa atau foamabilitas, namun juga pada stabilitas busa yang dihasilkan. Foamabilitas dan stabilitas adalah dua hal yang tidak bisa dipisahkan, karena foamabilitas yang baik pada akhirnya diuji dengan stabilitas busa hingga pada saat pengeringan.



Gambar 4.6. Selulosa Foam dengan Variasi Konsentrasi Surfaktan SDS (a) SDS 0,25 g/L; (b) SDS 0,5 g/L; (c) SDS 1 g/L; (d) SDS 1,5 g/L dan (e) SDS 2 g/L

Hasil pengeringan selulosa *foam* dengan teknologi *pickering emulsion* yang dihasilkan dari variasi konsentrasi surfaktan SDS yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 4.6**. Berdasarkan gambar di atas dapat terlihat bahwa, stabilitas selulosa *foam* kering pada konsentrasi 0,25 g/L menunjukkan hasil selulosa *foam* kering yang lebih stabil dibandingkan dengan konsentrasi lainnya. Hal ini semakin membuktikan bahwa konsentrasi surfaktan SDS 0,25 g/L pada sistem dengan teknologi *pickering emulsion* yang digunakan adalah konsentrasi yang terbaik.

Sebagai perbandingan, pengaruh *cellulose nanofibril* (CNF) dapat diketahui dengan melanjutkan hasil optimasi SDS yang diberikan dua perlakuan yakni menggunakan CNF dan tidak menggunakan CNF. Konsentrasi SDS yang digunakan pada proses ini yaitu 0,25 g/L. Proses yang dilakukan juga sama yakni menggunakan homogenisasi dua tingkat yang mana tingkat pertama menggunakan alat *disperser* dan tingkat kedua menggunakan alat *digital electronic overhead stirrer*.



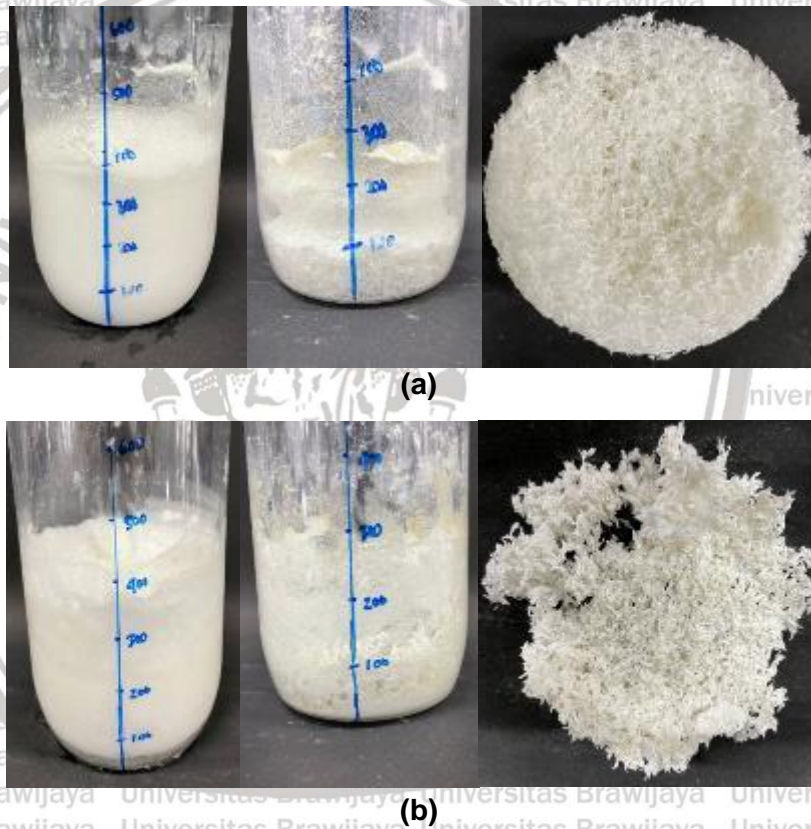
Gambar 4.7. Grafik *Foam Volume* Selulosa *Foam* dengan Waktu

Data *foam* volume yang dihasilkan dapat dilihat pada **Gambar 4.7**.

Berdasarkan data di atas *foam* volume yang dihasilkan lebih stabil apabila selulosa *foam* menggunakan CNF. Sedangkan selulosa *foam* yang tidak menggunakan CNF *foam* volume yang dihasilkan kurang stabil serta mengalami penurunan volume yang tajam diakhir waktu. Sehingga hal ini membuktikan bahwa CNF berhasil memberikan pengaruh kestabilan terhadap *foam* volume yang dihasilkan serta membuktikan bahwa selulosa *foam* membutuhkan CNF sebagai agen *pickering* (penstabil). Menurut Chevalier dan Bolzinger (2013) menjelaskan bahwa

terdapat dua kriteria utama yang harus dipenuhi agar suatu emulsi dapat disebut sebagai emulsi yang stabil. Pertama, emulsi stabil terhadap fenomena destabilisasi (koagulasi, koalesensi, dan *Ostwald ripening*). Kedua, proses emulsifikasi dimungkinkan. Peningkatan stabilitas tergantung terhadap formulasi, proses dan juga zat penstabil yang banyak berkontribusi. Hal ini dapat dibuktikan juga dengan adanya pengujian *wet stability*. *Wet stability* dilakukan untuk mengetahui kemampuan stabilitas *foam* setelah proses homogenisasi dilakukan.

Berdasarkan **Gambar 4.8** dapat dilihat bahwa selulosa *foam* dengan CNF membentuk busa kaku yang lebih stabil dan menyatu dibandingkan selulosa *foam* tanpa CNF yang lebih rapuh serta tidak menyatu dengan baik. Hasil pengujian *wet stability* selulosa *foam* secara lengkap dapat dilihat pada **Lampiran 5**.



Gambar 4.8. Pengujian *Wet Stability* H-0 dan H-3 dan Hasil Akhir Selulosa *Foam*

(a) Selulosa *Foam* dengan CNF; (b) Selulosa *Foam* tanpa CNF

4.3 Karakterisasi Selulosa *Foam*

4.3.1 Pengukuran Densitas dan Porositas Selulosa *Foam*

Karakteristik fisik dilakukan terhadap selulosa *foam* untuk mengetahui densitas dan porositas dari variasi konsentrasi SDS yang digunakan. Densitas dihitung sebagai rasio antara berat dan volume sampel kering. Porositas merupakan

parameter dari ruang kosong di antara suatu material yang dapat dinyatakan dalam fraksi bernilai antara 0 dan 1 ataupun presentase antara 0 – 100%.

Perhitungan dimulai dengan mengukur panjang, lebar dan tinggi selulosa *foam* menggunakan alat *calliper*. Setiap variasi dilakukan pengulangan tiga kali untuk setiap perhitungannya. Data densitas dan porositas untuk selulosa *foam* dengan berbagai variasi SDS dapat dilihat pada **Tabel 4.3** di bawah ini. Perhitungan densitas dan porositas dapat dilihat pada **Lampiran 6**.

Tabel 4.3. Densitas dan Porositas Selulosa *Foam*

Serat (15 bk%)	Konsentrasi CNF	Konsentrasi SDS (g/L)	ρ (g/cm ³)	Porositas (%)
Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)	5% odf	0,25	0,070	95,34
		0,5	0,082	94,50
		1	0,074	95,04
		1,5	0,083	94,43
		2	0,094	93,75

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa densitas terkecil dengan nilai 0,070 g/cm³ dan porositas terbesar dengan nilai 95,34% adalah selulosa *foam* dengan variasi surfaktan SDS sebesar 0,25 g/L. Sedangkan densitas terbesar dengan nilai 0,094 gr/cm³ dan porositas terkecil sebesar 93,75% adalah selulosa *foam* dengan variasi surfaktan SDS sebesar 2 g/L. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Liu *et al.* (2018) menghasilkan selulosa *foam* dengan porositas terbesar yakni 95,7% dan densitas terkecil yakni 0,014 gr/cm³. Hal ini berbeda karena konsentrasi SDS yang digunakan adalah 0,5 g/L dan agen *pickering* yang digunakan adalah *microfibrillated cellulose* 2% odf. Sehingga dapat dikatakan bahwa penggunaan SDS dengan 0,25 g/L sudah cukup baik untuk menghasilkan selulosa *foam* dengan densitas yang rendah dan porositas yang tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Cervin *et al.* (2013) menghasilkan selulosa *foam* dengan densitas 0,05 gr/cm³ dan porositas sebesar 96,7%. Begitupula juga pada penelitian yang dilakukan oleh Zhou *et al.* (2016) menghasilkan biopoliuretan *foam* dengan porositas sebesar 95%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *foam* akan menghasilkan porositas yang besar dan densitas yang rendah. Penelitian yang dilakukan oleh Sehaqui *et al.* (2011) menghasilkan *nanopaper* dengan nilai porositas 40-86%. Sehingga jika dibandingkan pada penelitian ini, nilai porositas

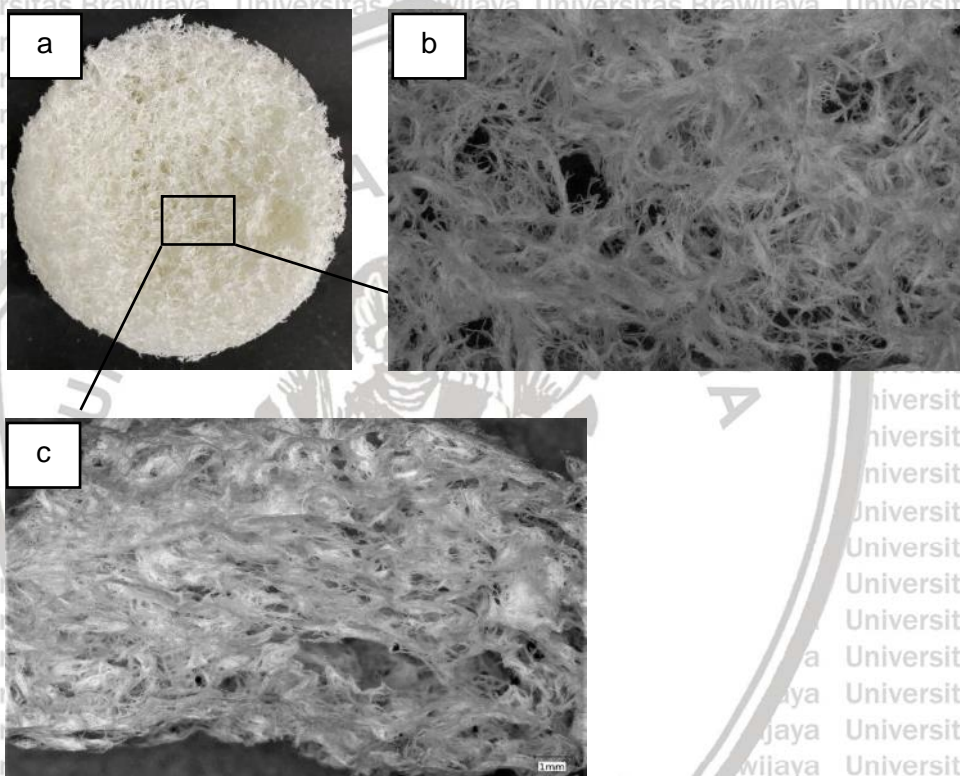
dari selulosa *foam* lebih besar dibandingkan dengan *nanopaper*. Bernilai sama dengan porositas yang dihasilkan aerogel yakni sebesar 93-99%. Penelitian yang dilakukan oleh Liu *et al.* (2016) menghasilkan aerogel dengan porositas hingga 99,7% yang mana dapat dimanfaatkan sebagai bahan rekayasa jaringan yang ideal dan dapat digunakan dalam *biological scaffolds* (perancah biologis). Selain itu, melalui eksperimen menunjukkan bahwa produk ini dapat meningkatkan transfeksi DNA eksogen ke dalam sel dan proliferasi sel tumor.

Hasil uji ANOVA pada taraf signifikansi 5% dapat dilihat pada **Lampiran 7**, di mana menunjukkan bahwa konsentrasi surfaktan SDS tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai porositas ($\text{sig.} > 0,05$). Walaupun terdapat perbedaan nilai porositas dari masing – masing variasi konsentrasi SDS, sayangnya nilai tersebut tidak memberikan pengaruh signifikan. Selulosa *foam* pada penelitian ini menggunakan konsentrasi SDS yang nilainya masih jauh dari nilai konsentrasi kritis misel, sehingga menyebabkan tidak adanya pengaruh signifikan. Perbedaan nilai porositas tertinggi dengan yang terkecil hanya sebesar 1,59%. Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hossen *et al.* (2020) dimana analisa statistik nilai porositas terhadap selulosa *foam* tidak memberikan pengaruh nyata.

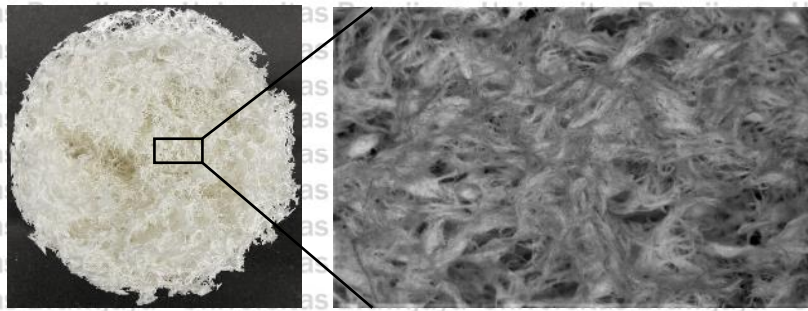
4.3.2 Morfologi Selulosa *Foam*

Struktur morfologi atau struktur karakterisasi dari selulosa *foam* diamati dengan mikroskop 3 dimensi untuk mengetahui struktur dari masing – masing selulosa *foam* dengan berbagai variasi SDS yang digunakan secara mikro. Selulosa *foam* dengan SDS dan tambahan CNF menghasilkan ikatan antar serat yang cukup baik. Namun, untuk selulosa *foam* dengan SDS yang tidak ada tambahan CNF cenderung lebih rapuh dan hancur sehingga tidak bisa dilanjutkan untuk pengujian. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa selulosa *foam* terbaik dengan menggunakan SDS 0,25 g/L. Morfologi dari selulosa *foam* dengan SDS 0,25 g/L dapat dilihat pada **Gambar 4.9**. Selulosa *foam* (busa) yang dibuat dengan adanya variasi konsentrasi SDS dan distabilisasi dengan CNF menghasilkan *foam* (busa) yang solid, tidak mudah rapuh dan densitas yang dihasilkan berbeda – beda. Berdasarkan gambar di atas menunjukkan morfologi selulosa *foam* dengan mikroskop tiga dimensi dari permukaan atas dimana menunjukkan adanya struktur lembaran dinding sel yang dibentuk oleh serat nanoselulosa. Porositas yang dihasilkan dari masing – masing selulosa *foam*

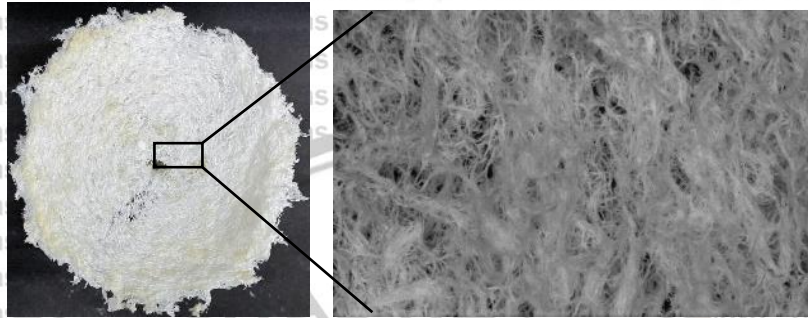
semakin menurun seiring dengan bertambahnya densitas. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan Sehaqui *et al.* (2010) dimana melakukan pengamatan terhadap *foam* (busa) nanofiber MFC dengan densitas berbeda menunjukkan struktur yang sangat berpori dan ukuran sel menurun seiring meningkatkan densitas *foam* (busa). Hal ini dikarenakan agregasi nanofibers lebih khas untuk dinding sel pada kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang lebih rendah. Morfologi ini menunjukkan bahwa permukaan selulosa *foam* menghasilkan pori mikrostruktur yang terdiri dari jaringan mikrofibril. Perbandingan morfologi untuk selulosa *foam* dengan variasi SDS lainnya dapat dilihat pada **Gambar 4.10**.



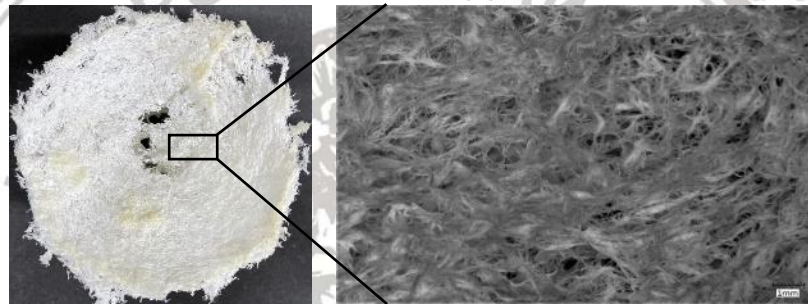
Gambar 4.9. Struktur Karakterisasi Selulosa *Foam* (SDS 0,25 g/L) dengan Mikroskop 3D *Bubble* (a) Selulosa *Foam Ultra-Lightweight* (SDS 0,25 g/L); (b) Struktur Umum Selulosa *Foam* dengan Mikroskop 3D *Bubble*; (c) Struktur Cross Section Selulosa *Foam* dengan Mikroskop 3D *Bubble*



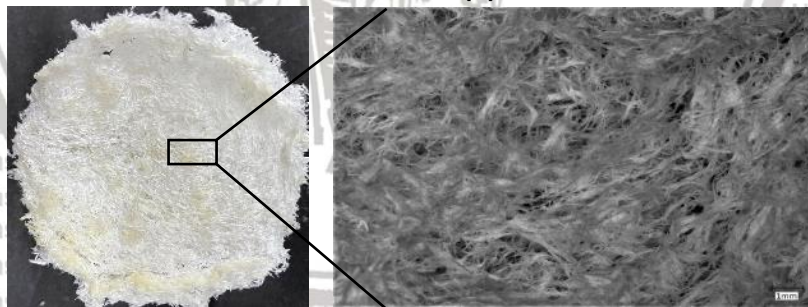
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.10. Struktur Karakterisasi Selulosa Foam (SDS 0,25 g/L) dengan Mikroskop 3D Bubble (a) Selulosa Foam Ultra-Lightweight (SDS 0,5 g/L); (b) Selulosa Foam Ultra-Lightweight (SDS 1 g/L); (c) Selulosa Foam Ultra-Lightweight (SDS 1,5 g/L) dan (d) Selulosa Foam Ultra-Lightweight (SDS 2 g/L)

4.3.3 Uji Mekanik (Kuat Tekan) Selulosa Foam

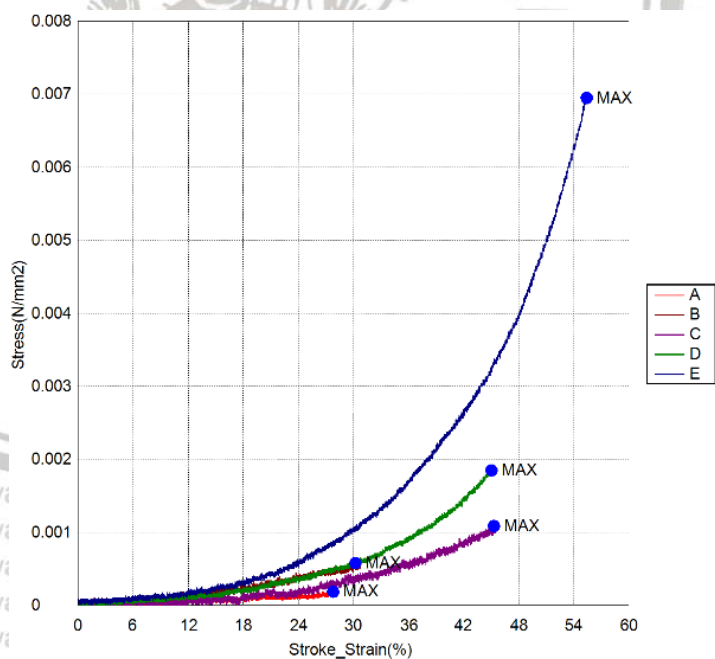
Sifat mekanik dari selulosa foam dengan berbagai variasi SDS dan kepadatan yang berbeda diamati dengan uji kuat tekan. Kurva tegangan (*stress*) – regangan (*strain*) dapat dilihat pada **Tabel 4.4**. Berdasarkan hasil yang ada pada tabel dapat dibuat kurva *stress* – *strain* yang dapat dilihat pada **Gambar 4.11**.

Tabel 4.4. Hasil Uji Kuat Tekan

Konsentrasi SDS (g/L)	ρ (g/cm ³)	Stress (N/mm ²)	Strain (%)
0,25	0,070	0,00017	27,8458
0,5	0,082	0,00057	30,2123
1	0,074	0,00107	45,3969
1,5	0,083	0,00184	45,0387
2	0,094	0,00695	55,4463

Pada kurva dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya konsentrasi SDS pada selulosa foam maka nilai tegangan (*stress*) yang dihasilkan akan semakin meningkat. Selulosa foam dengan konsentrasi SDS 2 g/L yang memiliki densitas terbesar yakni 0,094 g/cm³ memiliki nilai *stress* yang paling tinggi yakni 0,00695 N/mm². Sedangkan nilai *stress* paling rendah yakni 0,00017 N/mm² terdapat pada selulosa foam dengan konsentrasi SDS 0,25 g/L yang memiliki densitas terkecil yakni 0,070 g/cm³. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Sehaqui *et al.* (2010) dimana sifat mekanik dari selulosa foam (busa) dengan densitas yang berbeda menunjukkan bahwa nilai tegangannya semakin meningkat seiring dengan bertambahnya nilai densitas yang dimiliki oleh selulosa foam (busa) tersebut. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Adu *et al.* (2019) menghasilkan CNF/PVA foam dengan densitas sebesar 28 kg/m³ atau 0,028 g/cm³ dan porositas sebesar 97,9 ± 0,3 % memiliki nilai kuat tekan 0,082 MPa pada *strain* 10% dan 0,100 MPa pada *strain* 20%. Foam ini lalu dibandingkan dengan foam tipe Jablite EPS 100 material polistirena (densitas 20 kg/m³ atau 0,020 g/cm³) yang kerap digunakan sebagai insulasi lantai di kantor dan sekolah serta dengan foam tipe EthafoamTM material polietilena (densitas 29 kg/m³ atau 0,029 g/cm³) yang digunakan dalam aplikasi pengemasan. Hasilnya menunjukkan bahwa CNF/PVA foam memiliki nilai kuat tekan yang hampir mendekati nilai kuat tekan dari foam

type Jablite EPS 100 (0,100 MPa pada *strain* 10%). Sedangkan jika dibandingkan dengan *foam* tipe EthafoamTM yang memiliki nilai kuat tekan 0,030 MPa pada *strain* 10% dan 0,050 MPa pada *strain* 20%, CNF/PVA *foam* jauh lebih baik dan lebih kuat sehingga disarankan sebagai kemasan pelindung. Pada penelitian ini nilai kuat tekan yang dihasilkan selulosa *foam* masih jauh jika dibandingkan dengan nilai kuat tekan CNF/PVA *foam*. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Ma *et al.* (2019) mengemukakan hasil kuat tekan untuk selulosa *foam* dengan campuran *zeolitic imidazolate frameworks* (ZIF)-8 sebesar 1,30 MPa yang menggunakan CNF sebesar 40 bk%. Hasil ini 91% lebih besar dari selulosa *foam* murni. Nilai kuat tekan yang dihasilkan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi CNF. Dalam hal ini membuktikan bahwa CNF mempunyai peran dalam memperkuat struktur berpori dari *foam* (busa) dengan ikatan hidrogen yang sangat penting. Sehingga dapat diasumsikan bahwa selulosa *foam* pada penelitian ini masih diperlukan modifikasi seperti dengan meningkatkan konsentrasi CNF yang digunakan agar mendapatkan sifat mekanik yang sesuai. Data lengkap terkait hasil uji kuat tekan terhadap selulosa *foam* dapat dilihat pada Lampiran 8.



Gambar 4.11. Kurva Stress – Strain pada Uji Kuat Tekan Selulosa Foam

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Konsentrasi optimal surfaktan *sodium dodecyl sulfate* (SDS) yang dibutuhkan sebesar 0,25 g/L untuk menghasilkan selulosa *foam* dengan volume *foam* (busa) paling maksimal serta merupakan selulosa *foam* yang sangat ringan (*ultra-lightweight*) dengan densitas 0,070 g/cm³.
2. Karakteristik fisik selulosa *foam* terbaik didapatkan dengan menggunakan CNF sebagai agen penstabil yang didukung dengan adanya hasil pengujian *wet stability*. Hasil *foamabilitas* (kemampuan menghasilkan busa) terhadap selulosa *foam* dengan CNF sebagai agen penstabil menghasilkan volume *foam* (busa) yang stabil dan maksimal dibandingkan dengan selulosa *foam* tanpa CNF. Hal ini didukung pula dengan stabilitas *foam* (busa) yang menunjukkan bahwa selulosa *foam* tanpa CNF lebih cepat menyusut dan kurang menyatu dengan baik. Hasil uji kuat tekan untuk selulosa *foam* dengan konsentrasi SDS 2 g/L yang memiliki densitas terbesar yakni 0,094 g/cm³ memiliki nilai *stress* tertinggi yakni 0,00695 N/mm². Sedangkan nilai *stress* paling rendah yakni 0,00017 N/mm² terdapat pada selulosa *foam* dengan konsentrasi SDS 0,25 g/L yang memiliki densitas terkecil yakni 0,070 g/cm³.

5.2 Saran

1. Serat TKKS yang tidak mengalami proses pemutihan dilanjutkan ke tahap pembuatan selulosa *foam* agar dapat dilihat karakteristik fisik, mekanik dan morfologi yang dihasilkan.
2. Untuk menyesuaikan sifat mekanik dari selulosa *foam* dapat mengubah komposisi kimia dan komposisi *foaming* (berbusa).
3. Perlu diadakan pengujian lebih lanjut seperti daya serap air, kuat tarik, dan anti-mikroba agar mengetahui lebih lanjut terkait pemanfaatan selulosa *foam* yang sesuai.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditama, A.G., dan Ardhyananta, H. 2017. Isolasi Selulosa dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Nano Filler Komposit Absorpsi Suara : Analisis FTIR. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2): 228-231. DOI: 10.12962/j23373539.v6i2.24098
- Adu,C., S. Rahatekar, J. Filby, D. Ayre, dan M. Jolly. 2019. Structural Packaging Foams Prepared by Uni-Directional Freezing of Paper Sludge Cellulose Nanofibers and Poly (Vinyl Alcohol). *Materials Letter*, 253(October): 242-245. DOI: 10.1016/j.matlet.2019.06.050
- Akin, D. E. 2008. Plant Cell Wall Aromatics: Influence on Degradation of Biomass. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 2(4): 288-303. DOI: <https://doi.org/10.1002/bbb.76>
- Bardage, S. 2017. Performance of Buildings. In: D. J. a. C. Brischke, ed. *Performance of Bio-based Building Materials*. Stockholm: Woodhead Publishing, pp. 335-383
- Bahmid, N. A., K. Syamsu, dan A. Maddu. 2013. Production of Cellulose Acetate from Oil Palm Empty Fruit Bunches Cellulose. *Chemical and Process Engineering Research* 17: 12-20
- Bennich, T. dan S. Belyazid. 2017. The Route to Sustainability - Prospects and Challenges of the Bio-Based Economy. *Sustainability*, 9(6): 1-18. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9060887>
- BPS. 2019. Statistik Kelapa Sawit Indonesia. Badan Pusat Statistik Indonesia. Jakarta
- Cervin, N. T., E. Johansson, P. A. Larsson, dan L. Wågberg. 2016. Strong, Water-Durable, and Wet-Resilient Cellulose Nanofibril-Stabilized Foams from Oven Drying. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8(18): 11682-11689. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.6b00924>
- Cervin, N.T., L. Andersson, J. B. S. Ng, P. Olin, L. Bergstrom, dan L. Wagberg. 2013. Lightweight and Strong Cellulose Materials Made from Aqueous Foams Stabilized by Nanofibrillated Cellulose. *Biomacromolecules*, 14: 503 - 511. DOI: [dx.doi.org/10.1021/bm301755u](https://doi.org/10.1021/bm301755u)

Chang, S. H. 2014. An Overview of Empty Fruit Bunch from Oil Palm as Feedstock for Bio-Oil Production. *Biomass and Bioenergy* 62: 174-181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.01.002>

Charani, P. R. dan M. H. Moradian. 2019. Utilization of Cellulose Nanofibers and Cationic Polymers to Improve Breaking Length of Paper. *Cellulose Chemistry and Technology*, 53(7-8): 767-774

Coniwanti, P., M. N. P. Anka, dan C. Sanders. 2015. Pengaruh Konsentrasi, Waktu dan Temperatur terhadap Kandungan Lignin pada Proses Pemutihan Bubur Kertas Bekas. *Jurnal Teknik Kimia*, 21(3): 50-58

Cunha, A. G., J. B. Mougél, B. Cathala, L. A. Berglund, dan I. Capron. 2014. Preparation of Double Pickering Emulsions Stabilized by Chemically Tailored Nanocelluloses. *Langmuir*, 30(31): 9327-9335. DOI: <https://doi.org/10.1021/la5017577>

Direktorat Jenderal Perkebunan. 2019. Statistik Perkebunan Indonesia 2018 - 2020. Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan, Jakarta.

Erwinsyah, A. Afriani, dan T. Kardiansyah. 2015. Potensi dan Peluang Tandan Kosong Sawit sebagai Bahan Baku Pulp dan Kertas: Studi Kasus di Indonesia. *Jurnal Selulosa*, 5(2): 79-88. DOI: 10.25269/jsel.v5i02.79

Fauzi, Y., Y. E. Widyastuti, dan I. Satyawibawa. 2012. *Kelapa Sawit*. 1st ed. Penebar Swadaya, Jakarta

Guo, H., B. Zhang, Z. Qi, C. Li, J. Ji, T. Dai, A. Wang dan T. Zhang. 2017. Valorization of Lignin to Simple Phenolic Compounds Over Tungsten Carbide: Impact of Lignin Structure. *ChemSusChem*, 10(3): 523-532. DOI: 10.1002/cssc.201601326

Haqiqi, M. T., W. Bankeeree, dan P. Lotrakul. 2021. Antioxidant and UV-Blocking Properties of a Carboxymethyl Cellulose-Lignin Composite Film Produced from Oil Palm Empty Fruit Bunch. *ACS Omega* 6: 9653-9666

Hassan, N. S., dan K. H. Badri. 2016. Thermal Behaviors of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber Upon Exposure to Acid-Base Aqueous Solutions. *Malaysian*

Journal of Analytical Sciences, 20(5): 1095-1103. DOI: <http://dx.doi.org/10.17576/mjas-2016-2005-15>

He, S., C. Liu, X. Chi, Y. Zhang, G. Yu, H. Wang, B. Li, dan H. Peng. 2019. Bio-inspired Lightweight Selulosa foams with Improved Mechanical Property and Flame Retardancy Via Borate Cross-Linking. *Chemical Engineering Journal* 371: 34-42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.04.018>

Helmlinger, L., Zhu, Y., Gensel, J., Neumeyer, T., Thäter, S., Stube, F., Bauer., Rosemann, B. dan Altstädt, V. 2017. Application of Amine-Functionalized Cellulose Foam for CO₂ Capture and Storage in the Brewing Industry. *Journal of Renewable Materials*, 6(3): 219-225. DOI: <https://doi.org/10.7569/JRM.2017.634161>

Hennecke, D., A. Bauer, M. Herrchen, E. Wischerhoff, dan F. Gores. 2018. Cationic Polyacrylamide Copolymers (PAMs): Environmental Half Life Determination in Sludge-Treated Soil. *Environmental Sciences Europe*, 30(16): 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0143-3>

Heydarifard, S., K. Taneja, G. Bhanjana, N. Dilbaghi, M. M. Nazhad, K. H. Kim, dan S. Kumar . 2018. Modification of Cellulose Foam Paper for Use as A High-Quality Biocide Desinfectant Filler for Drinking Water. *Carbohydrate Polymers* 181: 1086-1092. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.038>

Hossen, M. R., M. W. Talbot, R. Kennard, D. W. Bousfield, dan M. D. Mason. 2020. A Comparative Study of Methods for Porosity Determination of Cellulose Based Porous Materials. *Cellulose*, 27: 6849-6860. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03257-9>

Irawan, C., Aliah. dan Ardiansyah. 2018. Biodegradable Foam dari Bonggol Pisang dan Ubi Nagara sebagai Kemasan Makanan yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 10(1): 33-42.

Isroi, M. M. Ishola, R. Millati, S. Syamsiah, M. N. Cahyanto, C. Niklasson, dan M. J. Taherzadeh. 2012. Structural Changes of Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) after Fungal and Phosphoric Acid Pretreatment. *Molecules* 17: 14995-15012. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules171214995>

Lazcano-Ramirez, H. G., A. Gomez-Felipe, D. Diaz-Ramirez, Y. D. Medina, L. S. Segura, S. dd Folter, dan N. M. Martinez . 2018. Non-destructive Plant Morphometric and Color Analyses Using an Optoelectronic 3D Color Microscope. *Frontiers in Plant Science* 9:1-17. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01409>

Lazzari, E., T. Schena, M. C. A. Marcelo, C. T. Primaz, A. N. Silva, M. F. Ferrao, T. Bjerck, dan E. B. Caramao. 2018. Classification of Biomass Through Their Pyrolytic Bio-Oil Composition Using FTIR and PCA Analysis. *Industrial Crops and Products* 111: 856-864. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.005>

Liu, D., X. Sun, H. Tian, S. Maiti dan Z. Ma. 2013. Effects of Cellulose Nanofibrils on the Structure and Properties on PVA Nanocomposites. *Cellulose* 20: 2981-2989. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-013-0073-6>

Liu, J., F. Cheng, H. Grenman, S. Spoljaric, J. Seppala, J. E. Eriksson, Stefan Willfor, dan C. Xu. 2016. Development of Nanocellulose Scaffolds with Tunable Structures to Support 3D Cell Culture. *Carbohydrate Polymers*, 148: 259-271. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.064>

Liu, Y., S. Kong, H. Xiao, C. Y. Bai, P. Lu, dan S. F. Wang. 2018. Comparative Study of Ultra-lightweight Selulosa foams Obtained from Various Fibers and Reinforced by MFC. *Carbohydrate Polymers* 182: 92-97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.078>

Li, M., H. Hao, Y. Shi dan Y. Hao. 2018. Specimen Shape and Size Effects on the Concrete Compressive Strength Under Static and Dynamic Tests. *Construction and Building Materials* 161: 84-93. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.069>

Li, Z., Court, G. dan Belliveau, R. 2005. Using Magnesium Hydroxide (Mg(OH)₂) as the Alkali Source in Peroxide Bleaching at Irving Paper. *Pulp and Paper Canada*, 106(6): 24-28

Lourenco, A. dan Pereira, H. 2018. Compositional Variability of Lignin in Biomass. In: M. Poletto, ed. *Lignin Trends and Applications*. Brasilia: IntechOpen, pp. 65-98

Ma, S., M. Zhang, J. Nie, J. Tan, S. Song dan Y. Luo. 2019. Lightweight and Porous Cellulose-Based Foams with High Loading of Zeolitic Imidazolate Frameworks-8 for Adsorption Applications. *Carbohydrate Polymers*, 2018(December): 328-335. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.12.081>

Mira, I., M. Andersson, L. Boge, I. Blute, G. Carlsson, K. Salminen, T. Lappalainen, dan K. Kinnunen. 2018. Foam Forming Revisited Part 1. Foaming Behaviour of Fibre-Surfactant Systems. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 29(4): 679-688. DOI: <https://doi.org/10.3183/npprj-2014-29-04-p679-689>

Muniz, G. S. V., L. R. Teixeira, dan S. R. W. Louro. 2014. Interaction of the Antibiotic Norfloxacin with Ionic Micelles: pH-Dependent Binding. *Eur Biophy J* 43: 477-483. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00249-014-0978-5>

Moon, R. J., A. Martini, J. Nairn, J. Simonsen dan J. Youngblood. 2011. Cellulose Nanomaterials Review: Structure, Properties and Nanocomposites. *The Royal Society of Chemistry* 40: 3941-3994. DOI: <https://doi.org/10.1039/C0CS00108B>

Nechyporchuk, O., M. N. Belgacem, dan J. Bras 2016. Production of Cellulose Nanofibrils: A Review of Recent Advances. *Industrial Crops and Products* 93: 2-25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.016>

Ngadi, N. dan N. S. Lani. 2014. Extraction and Characterization of Cellulose from Empty Fruit Bunch (EFB) Fiber. *Jurnal Teknologi*, 68(5): 35-39

Ningtyas, K. R., M. Muslihudin, dan I. N. Sari. 2020. Sintesis Nanoselulosa dari Limbah Hasil Pertanian dengan Menggunakan Variasi Konsentrasi Asam. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 20(2): 142-147

Niraula, T. P., A. Bhattarai dan S. K. Chatterjee. 2014. Sodium dodecylsulphate : A Very Useful Surfactant for Scientific Investigations. *The Journal of Knowledge and Innovation*, 2(1): 111-113.

Park, S.Y., S. Goo, H. Shin, J. Kim, dan H. J. Youn. 2021. Structural Properties of Cellulose Nanofibril Foam Depending on Wet Foaming Conditions in Pickering Stabilization. *Cellulose*, 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04151-8>

Pradana, M. A., H. Ardhyana, dan M. Farid. 2017. Pemisahan Selulosa dari Lignin Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Proses Alkalisasi untuk Penguat Bahan Komposit Penyerap Suara. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2): 413-416

Rahmasita, M. E., M. Farid, dan H. Ardhyana. 2017. Analisa Morfologi Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Penguat Komposit Absorpsi Suara. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2): 584-588

Ralph, J., C. Lapierre, dan W. Boerjan. 2019. Lignin Structure and Its Engineering. *Current Opinion in Biotechnology* 56: 240-249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.02.019>

Ramlee, N. A., M. Jawaid, E. S. Zainudin, dan S. A. K. Yamani. 2019. Tensile, Physical and Morphological Properties of Oil Palm Empty Fruit Bunch/Sugarcane Bagasse Fibre Reinforced Phenolic Hybrid Composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(4): 3466-3474. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.06.016>

Rayung, M., N. A. Ibrahim, N. Zainuddin, W. Z. Saad, N. I. A. Razak, dan B. W. Chieng. 2014. The Effect of Fiber Bleaching Treatment on the Properties of Poly(lactic acid)/Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber Composites. *International Journal of Molecular Sciences* 15: 14728-14742. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms150814728>

Rosa, S. M. L., N. Rehman, M. I. G. de Miranda, S. M. B. Nachtigall, dan C. I. D. Bica. 2012. Chlorine-Free Extraction of Cellulose from Rice Husk and Whisker Isolation. *Carbohydrate Polymers* 87: 1131-1138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.08.084>

Rosli, N. S., S. Harun, J. M. Jahim, dan R. Othaman. 2017. Chemical and Physical Characterization of Oil Palm Empty Fruit Bunch. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 21(1): 188-196. DOI: <http://dx.doi.org/10.17576/mjas-2017-2101-22>

Sehaqui, H., M. Salajkova, Q. Zhou dan L. A. Berglund. 2010. Mechanical Performance Tailoring of Tough Ultra-High Porosity Foams Prepared from Cellulose I Nanofiber Suspensions. *Soft Matter* 6: 1824-1832. DOI: <https://doi.org/10.1039/B927505C>

Sehaqui, H., Q. Zhou, dan L. A. Berglund. 2011. High-Porosity Aerogels of High Specific Surface Area Prepared from Nanofibrillated Cellulose (NFC) *Biomacromolecules*, 12(10): 3638-3644. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2011.07.003>

Septevani, A. A., D. Burhani, dan Sudyarmanto. 2018. Pengaruh Proses Pemutihan Multi Tahap Serat Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 40(2): 71-78

Suhartati, S., R. Puspito, dan F. Rizali. 2016. Analisis Sifat Fisika dan Kimia Lignin Tandan Kosong Kelapa Sawit asal Desa Sape, Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat. *Jurnal Kimia VALENSI: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia*, 2(1): 24-29

Tian, X., X. Ge, M. Guo, J. Ma, Z. Meng, dan P. Lu. 2020. An Antimicrobial Bio-Based Polymer Foam from ZnO-Stabilised Pickering Emulsion Templated Polymerisation. *J Mater Sci* 56: 1643-1657. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10853-020-05354-3>

Viitala, J., T. Lappalainen, dan M. Jarvinen. 2020. Sodium Dodecyl Sulphate (SDS) Residue Analysis of Foam-Formed Cellulose-Based Products. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 35(2): 261-271. DOI: <https://doi.org/10.1515/npprj-2019-0058>

Wildan, A. 2010. Studi Proses Pemutihan Serat Kelapa sebagai *Reinforced Fiber*. Skripsi. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Xu, X., F. Liu, L. Jiang, J.Y. Zhu, dan D. Haagensohn. 2013. Cellulose Nanocrystals vs. Cellulose Nanofibrils: A Comparative Study on Their Microstructures and Effects as Polymer Reinforcing Agents. *ACS Applied Materials and Interfaces* 5: 2999-3009

Zhang, Y., T. Nypelo, dan C. Salas. 2013. Cellulose Nanofibrils: from Strong Materials to Bioactive Surfaces. *Journal of Renewable Materials*, 1(3): 195-2011

Zhou, X., J. Sethi, S. Geng, L. Berglund, N. Frisk, Y. Aitomaki, M. M. Sain dan K. Okzman. 2016. Dispersion and Reinforcing Effect of Carrot Nanofibers on Biopolyurethane Foams. *Materials and Design* 110: 526-531. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.08.033>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan *Bleaching* (Pemutihan)

1. Perhitungan Kadar Air

- Berat Cawan Kosong = 29,751 gram

- Berat Cawan Isi = 30,758 gram

- Berat Sampel Awal = 1,007 gram

- Berat Sampel Akhir = 0,154 gram

$$\text{Kadar Air} = \frac{\text{Berat sampel awal} - \text{berat sampel akhir}}{\text{berat sampel awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{1,007 - 0,154}{1,007} \times 100\%$$

$$= 84,707\%$$

2. Berat Pulp Basah TKKS = $\frac{\text{Berat Kering Sampel}}{1 - \text{Kadar Air}}$

$$= \frac{50 \text{ gram}}{1 - 0,84707}$$

$$= 326,94 \text{ gram}$$

$$= 327 \text{ gram}$$

3. Jumlah suspensi = $\frac{\text{Berat Kering Sampel}}{\text{Konsentrasi pulp } 10\%}$

$$= \frac{50 \text{ gram}}{0,1}$$

$$= 500 \text{ mL}$$

4. Jumlah air dalam pulp = Berat Basah – Berat Kering Sampel

$$= 327 \text{ gram} - 50 \text{ gram}$$

$$= 277 \text{ gram}$$

$$= 227 \text{ mL}$$

5. Jumlah H_2O_2 = 10% b/v suspensi

= 10% x 500 mL

= 50 mL

6. Jumlah air yang ditambahkan

= Jumlah suspensi – Jumlah air dalam pulp – Jumlah H_2O_2

= 500 mL – 227 mL – 50 mL

= 223 mL



Lampiran 2. Perhitungan Pembuatan Selulosa Foam

Kadar Air TKKS = 35,148%

Konsentrasi pulp 1,5% = 1,5 gram dalam 100 mL

Karena pada penelitian volume yang digunakan adalah 300 mL maka berat kering sampel yang digunakan adalah 4,5 gram untuk mencapai konsentrasi pulp 1,5%.

$$\begin{aligned} \text{Berat Pulp} &= \frac{4,5 \text{ gr}}{1 - 0,35148} \\ &= 6,938 \text{ gram} \end{aligned}$$

Konsentrasi CNF yang tersedia adalah 1,5% sedangkan konsentrasi yang dibutuhkan untuk membuat selulosa foam adalah 5%. Sehingga dapat dicari dengan cara berikut :

$$5\% \text{ dari } 4,5 \text{ gr} = 0,225 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \frac{0,225 \text{ gram}}{x \text{ mL}} &= \frac{1,5 \text{ gram}}{100 \text{ mL}} \\ X &= 15 \text{ mL} \end{aligned}$$

Jadi, volume CNF yang dibutuhkan adalah 15 mL.

$$\begin{aligned} \text{Aquadest} &= \text{Jumlah volume keseluruhan} - \text{Jumlah air dalam pulp} - \text{CNF} \\ &= 300 \text{ mL} - (0,35148 \times 300 \text{ mL}) - 15 \text{ mL} \\ &= 300 \text{ mL} - 105,44 \text{ mL} - 15 \text{ mL} \\ &= 179,56 \text{ mL} \\ &= 180 \text{ mL} \end{aligned}$$

Jadi, volume aquadest yang dibutuhkan adalah 180 mL

Konsentrasi C-PAM yang tersedia adalah 0,5%. Sehingga untuk mengetahui berapa volume yang ditambahkan untuk membuat selulosa foam dapat dicari dengan cara berikut :

$$5\% \text{ dari } 4,5 \text{ gr} = 0,225 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \frac{0,225 \text{ gram}}{x \text{ mL}} &= \frac{0,5 \text{ gram}}{100 \text{ mL}} \\ X &= 4,5 \text{ mL} \end{aligned}$$

Jadi, volume C-PAM yang ditambahkan adalah 4,5 mL.

Lampiran 3. Perhitungan Kadar Lignin dan Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit

1. Kadar Lignin

Rumus perhitungan kadar lignin

$$\text{Kadar Lignin} = \frac{\text{Bobot Endapan Lignin}}{\text{Bobot Contoh Kering}} \times 100\%$$

1.1 Kadar Lignin TKKS *Unbleached*

$$\text{Kadar Lignin} = \frac{0,132 \text{ gram}}{1,025 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$\text{Kadar Lignin} = 12,88\%$$

1.2 Kadar Lignin TKKS *Bleached*

$$\text{Kadar Lignin} = \frac{0,074 \text{ gram}}{1,058 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$\text{Kadar Lignin} = 6,99\%$$

2. Kadar Selulosa

Rumus perhitungan kadar selulosa

$$\text{Kadar Selulosa} = \frac{\text{Berat Endapan Selulosa}}{\text{Berat Bahan Kering}} \times 100\%$$

2.1 Kadar Selulosa TKKS *Unbleached*

$$\text{Kadar Selulosa} = \frac{2,027 \text{ gram}}{3,075 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$\text{Kadar Selulosa} = 65,92\%$$

2.2 Kadar Selulosa TKKS *Bleached*

$$\text{Kadar Selulosa} = \frac{1,062 \text{ gram}}{3,198 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$\text{Kadar Selulosa} = 33,21\%$$



Lampiran 4. Data Optimasi SDS

Waktu (s)	SDS 0.075 gram		SDS 0.15 gram		SDS 0.3 gram		SDS 0.45 gram		SDS 0.6 gram		SDS 0.075 gram Tanpa CNF	
	Drained Volume	Foam Volume	Drained Volume	Foam Volume	Drained Volume	Foam Volume	Drained Volume	Foam Volume	Drained Volume	Foam Volume	Drained Volume	Foam Volume
60	100,48	325,52	50,24	231,104	100,48	326,56	95,456	321,536	95,456	331,584	95,456	241,152
120	100,48	360,576	50,24	261,248	100,48	331,584	95,456	361,728	100,48	361,728	95,456	261,248
180	100,48	355,568	75,36	276,32	100,48	336,608	100,48	336,608	100,48	361,728	95,456	301,44
240	100,48	355,568	90,432	331,584	115,552	336,608	100,48	336,608	100,48	351,68	95,456	301,44
300	100,48	355,568	90,432	331,584	115,552	336,608	100,48	336,608	105,504	376,8	95,456	301,44
360	100,48	360,576	50,24	261,248	100,48	331,584	95,456	361,728	100,48	361,728	95,456	261,248
420	100,48	355,568	75,36	276,32	100,48	336,608	100,48	336,608	100,48	361,728	95,456	301,44
480	100,48	355,568	90,432	331,584	115,552	336,608	100,48	336,608	100,48	351,68	95,456	301,44
540	100,48	355,568	90,432	331,584	115,552	336,608	100,48	336,608	105,504	376,8	95,456	301,44
600	100,48	355,568	90,432	346,656	115,552	336,608	125,6	336,608	105,504	376,8	65,312	351,68
660	100,48	355,568	90,432	346,656	115,552	336,608	125,6	336,608	105,504	376,8	65,312	351,68
720	100,48	355,568	90,432	346,656	115,552	336,608	125,6	336,608	105,504	376,8	65,312	351,68
780	100,48	355,568	90,432	346,656	115,552	336,608	125,6	336,608	105,504	376,8	65,312	351,68
840	100,48	355,568	90,432	346,656	115,552	336,608	125,6	336,608	105,504	376,8	65,312	351,68
900	100,48	355,568	90,432	346,656	115,552	336,608	125,6	336,608	105,504	336,608	45,216	261,248

Lampiran 5. Pengujian *Wet Stability* Selulosa Foam

1. Uji *Wet Stability* Hari Pertama



SDS 0,25 g/L

SDS 0,5 g/L

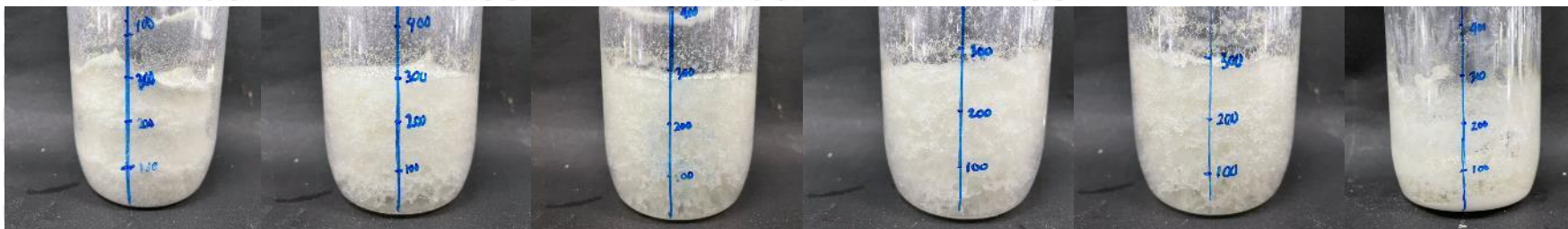
SDS 1 g/L

SDS 1,5 g/L

SDS 2 g/L

SDS 0,25 g/L
Tanpa CNF

2. Uji *Wet Stability* Hari Kedua



SDS 0,25 g/L

SDS 0,5 g/L

SDS 1 g/L

SDS 1,5 g/L

SDS 2 g/L

SDS 0,25 g/L
Tanpa CNF

3. Uji *Wet Stability* Hari Ketiga



SDS 0,25 g/L

SDS 0,5 g/L

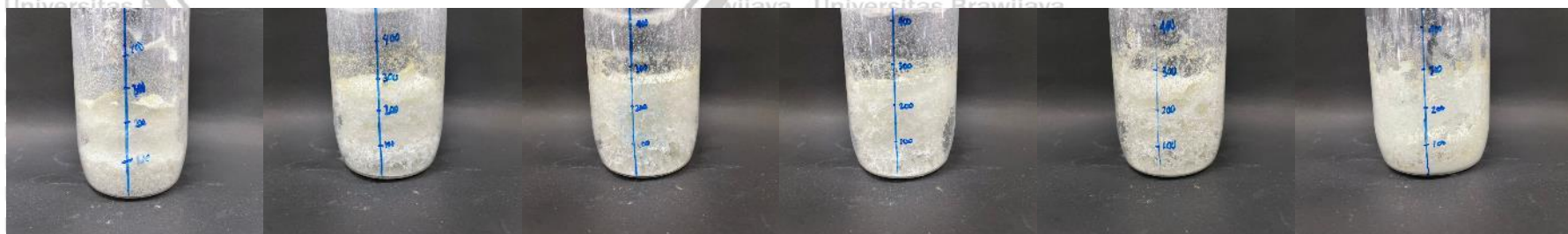
SDS 1 g/L

SDS 1,5 g/L

SDS 2 g/L

SDS 0,25 g/L
Tanpa CNF

4. Uji *Wet Stability* Hari Keempat



SDS 0,25 g/L

SDS 0,5 g/L

SDS 1 g/L

SDS 1,5 g/L

SDS 2 g/L

SDS 0,25 g/L
Tanpa CNF

Lampiran 6. Perhitungan Densitas dan Porositas Selulosa Foam

Jenis CPAM	Massa (gr)	Rata - Rata Massa (gr)	Panjang (cm)			Rata - Rata Panjang (cm)	Lebar (cm)			Rata - Rata Lebar (cm)	Tinggi (cm)			Rata - Rata Tinggi (cm)
			Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3		Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3		Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3	
SD 0.025 gram	0,022	0,018	1,163	1,147	1,16	1,157	0,845	0,928	0,991	0,921	0,231	0,281	0,347	0,286
	0,02		1,103	1,146	1,138	1,129	1,063	1,116	1,129	1,103	0,27	0,171	0,247	0,229
	0,013		1,076	1,058	1,129	1,088	1,037	0,992	1,113	1,047	0,167	0,199	0,136	0,167
			Mean			1,124	Mean			1,024	Mean			0,228
SD 0.05 gram	0,029	0,028	1,276	1,244	1,238	1,253	1,201	1,217	1,195	1,204	0,176	0,074	0,199	0,150
	0,032		1,301	1,287	1,332	1,307	0,981	1,105	1,145	1,077	0,37	0,31	0,31	0,330
	0,024		1,343	1,223	1,352	1,306	1,109	0,905	0,89	0,968	0,358	0,219	0,2	0,259
			Mean			1,288	Mean			1,083	Mean			0,246
SD 0.1 gram	0,029	0,035	1,32	1,261	1,183	1,255	1,243	1,206	1,269	1,239	0,317	0,19	0,169	0,225
	0,046		1,418	1,341	1,388	1,382	1,269	1,304	1,218	1,264	0,43	0,36	0,35	0,380
	0,03		1,377	1,185	1,145	1,236	1,242	1,18	1,174	1,199	0,263	0,299	0,282	0,281
			Mean			1,291	Mean			1,234	Mean			0,296
	0,028	0,031	1,376	1,375	1,423	1,391	1,375	1,317	1,325	1,339	0,261	0,191	0,133	0,195



SD																
S	0,025		1,173	1,178	1,15		1,167	1,136	1,02	1,164		1,107	0,337	0,251	0,245	0,278
0.1																
5																
gram																
m	0,04		1,297	1,318	1,406		1,340	1,18	1,235	1,136		1,184	0,238	0,242	0,241	0,240
			Mean				1,300		Mean			1,210		Mean		0,238
SD	0,032		1,327	1,278	1,233		1,279	1,118	1,047	0,927		1,031	0,219	0,221	0,262	0,234
S	0,034		1,279	1,247	1,231		1,252	1,117	1,039	1,015		1,057	0,309	0,257	0,201	0,256
0.2																
gram																
m	0,043	0,036	1,281	1,36	1,407		1,349	1,235	1,188	1,335		1,253	0,326	0,326	0,3	0,317
			Mean				1,294		Mean			1,113		Mean		0,269

- Perhitungan Densitas

$$\rho_a = \frac{\text{massa (gram)}}{\text{volume (cm}^3\text{)}}$$

1. SDS 0,25 g/L

$$\rho_a = \frac{0,018 \text{ gram}}{1,124 \times 1,024 \times 0,228 \text{ (cm}^3\text{)}}$$

$$\rho_a = 0,070 \text{ gr/cm}^3$$

2. SDS 0,5 g/L

$$\rho_a = \frac{0,028 \text{ gram}}{1,288 \times 1,083 \times 0,246 \text{ (cm}^3\text{)}}$$

$$\rho_a = 0,082 \text{ gr/cm}^3$$

3. SDS 1 g/L

$$\rho_a = \frac{0,035 \text{ gram}}{1,291 \times 1,234 \times 0,296 \text{ (cm}^3\text{)}}$$

$$\rho_a = 0,074 \text{ gr/cm}^3$$

4. SDS 1,5 g/L

$$\rho_a = \frac{0,031 \text{ gram}}{1,300 \times 1,210 \times 0,238 \text{ (cm}^3\text{)}}$$

$$\rho_a = 0,083 \text{ gr/cm}^3$$

5. SDS 2 g/L

$$\rho_a = \frac{0,036 \text{ gram}}{1,294 \times 1,113 \times 0,269 \text{ (cm}^3\text{)}}$$

$$\rho_a = 0,094 \text{ gr/cm}^3$$



• Perhitungan Porositas

$$P (\%) = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_c} \right) \times 100\%$$

1. SDS 0,25 g/L

$$P (\%) = \left(1 - \frac{0,070 \text{ g/cm}^3}{1,5 \text{ g/cm}^3} \right) \times 100\%$$

$$P = 95,34\%$$

2. SDS 0,5 g/L

$$P (\%) = \left(1 - \frac{0,082 \text{ g/cm}^3}{1,5 \text{ g/cm}^3} \right) \times 100\%$$

$$P = 94,50\%$$

3. SDS 1 g/L

$$P (\%) = \left(1 - \frac{0,074 \text{ g/cm}^3}{1,5 \text{ g/cm}^3} \right) \times 100\%$$

$$P = 95,04\%$$

4. SDS 1,5 g/L

$$P (\%) = \left(1 - \frac{0,083 \text{ g/cm}^3}{1,5 \text{ g/cm}^3} \right) \times 100\%$$

$$P = 94,43\%$$

5. SDS 2 g/L

$$P (\%) = \left(1 - \frac{0,094 \text{ g/cm}^3}{1,5 \text{ g/cm}^3} \right) \times 100\%$$

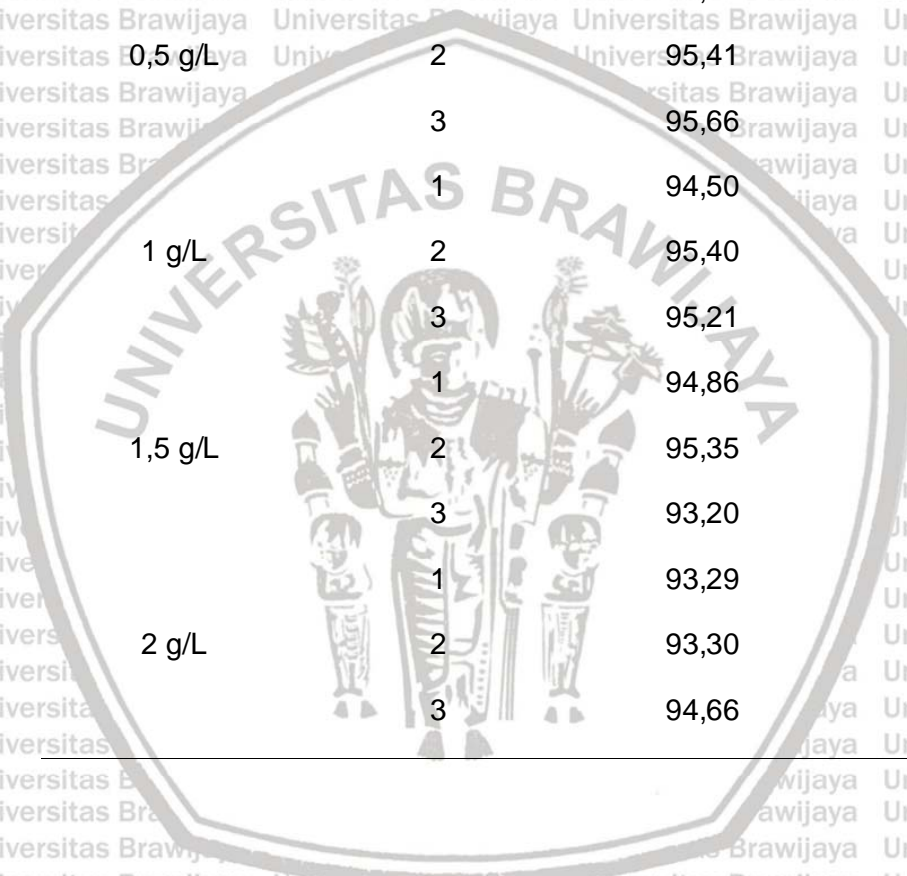
$$P = 93,75\%$$



Lampiran 7. Data dan Analisis Data Nilai Porositas Selulosa Foam

1. Data Hasil Perhitungan Nilai Porositas Selulosa Foam

Konsentrasi SDS	Ulangan	Nilai Porositas (%)	Rata – Rata (%)
0,25 g/L	1	95,20	95,34
	2	95,31	
	3	95,51	
0,5 g/L	1	92,43	94,50
	2	95,41	
	3	95,66	
1 g/L	1	94,50	95,04
	2	95,40	
	3	95,21	
1,5 g/L	1	94,86	94,47
	2	95,35	
	3	93,20	
2 g/L	1	93,29	93,75
	2	93,30	
	3	94,66	



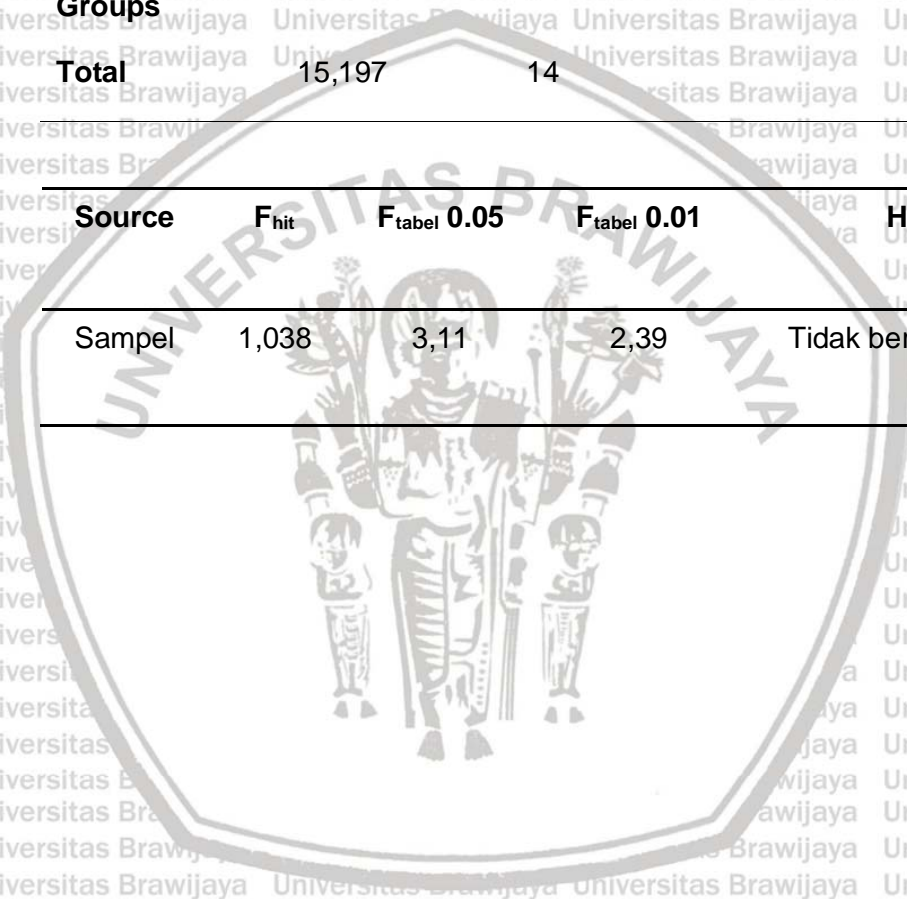
2. Uji ANOVA Data Nilai Porositas %

ANOVA

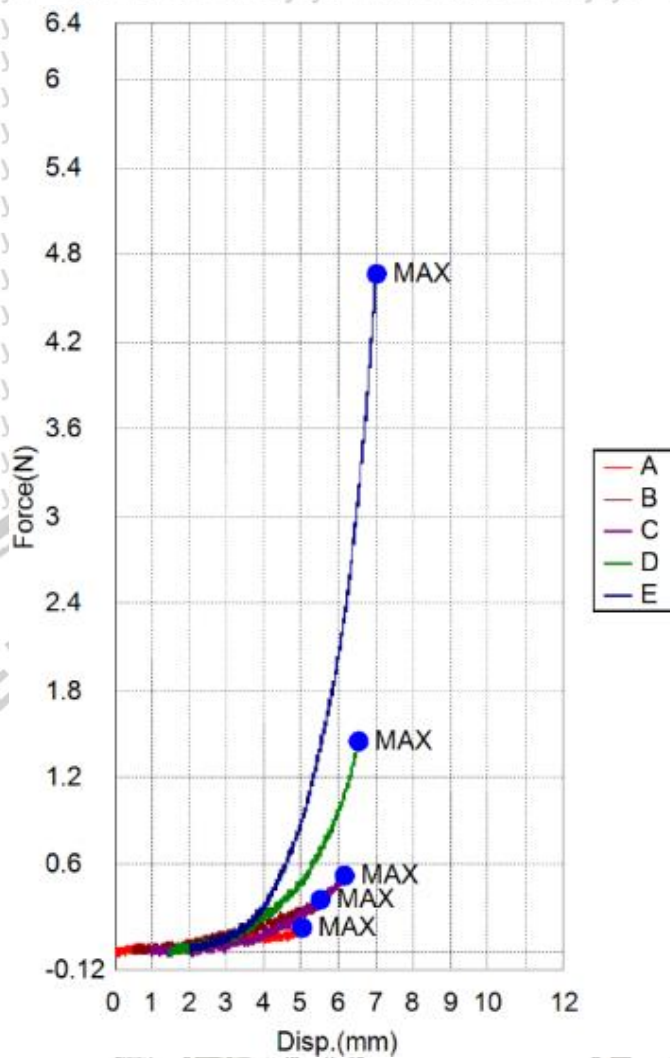
Nilai Porositas Selulosa *Foam*

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4,457	4	1,114	1,038	,435
Within Groups	10,740	10	1,074		
Total	15,197	14			

Source	F_{hit}	F_{tabel 0.05}	F_{tabel 0.01}	Hasil
Sampel	1,038	3,11	2,39	Tidak berbeda nyata



Lampiran 8. Pengujian Kuat Tekan



Name	Thickness	Width	Height
Unit	mm	mm	mm
A	24,5700	39,1000	17,9900
B	27,0400	23,0500	16,5300
C	23,8500	20,4900	11,3200
D	26,9700	29,1100	11,2000
E	24,4800	27,4500	9,0300

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Displacement	Max_Strain
	Calc. at Entire	Calc. at Entire	Calc. at Entire	Calc. at Entire	Calc. at Entire
Parameters	Areas	Areas	Areas	Areas	Areas
Unit	N	N/mm ²	mm	mm	%
A	0,16689	0,00017	5,00947	5,00947	27,8458
B	0,35445	0,00057	4,99410	4,99410	30,2123
C	0,52293	0,00107	5,13893	5,13893	45,3969
D	1,44243	0,00184	5,04433	5,04433	45,0387
E	4,66824	0,00695	5,00680	5,00680	55,4463

