

No. Dok: 7074
Copy: 1

D
674-4.
Cah
P.

LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN

**PEMBUATAN KOMPOSIT KAYU PLASTIK/WOOD PLASTIC
COMPOSITE (WPC) DENGAN PENAMBAHAN NANOCCLAY**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Penyelesaian Akademik
Program Studi Teknik Kimia Polimer
Politeknik STMI Jakarta**



OLEH:

GORBY NUR CAHYO

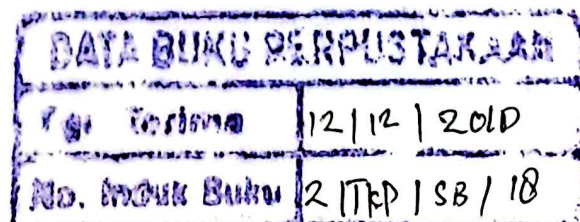
(1513023)

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER

POLITEKNIK STMI JAKARTA

KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA

2017



POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

JUDUL PENELITIAN:

PEMBUATAN KOMPOSIT KAYU PLASTIK/*WOOD PLASTIC COMPOSITE*
(WPC) DENGAN PENAMBAHAN *NANOCLAY*

DISUSUN OLEH:

NAMA : GORBY NUR CAHYO
NIM : 1513023
PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diperiksa dan disetujui sebagai salah satu syarat penyelesaian akademik
Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta.

Jakarta, *September 2017*..

Dosen Pembimbing,



Dr. Erfina Oktariani, S.T. M.T
NIP. 198210012014022001

Asisten Dosen Pembimbing,



Fitria Ika Arvanti, S.T. M.Eng
NIP. 198505112014022001

Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer



Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING PENELITIAN

JUDUL PENELITIAN:

PEMBUATAN KOMPOSIT KAYU PLASTIK/*WOOD PLASTIC COMPOSITE*
(WPC) DENGAN PENAMBAHAN *NANOCLAY*

DISUSUN OLEH :

NAMA : GORBY NUR CAHYO

NIM : 1513023

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Jakarta, *Oktober 2017*

Telah diperiksa dan disetujui oleh:
Pembimbing Penelitian,



Drs. Saeful Rohman, M.T

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG

JUDUL PENELITIAN:

PEMBUATAN KOMPOSIT KAYU PLASTIK / *WOOD PLASTIC COMPOSITE*
(WPC) DENGAN PENAMBAHAN *NANOCLAY*.

DISUSUN OLEH :

NAMA : GORBY NUR CAHYO

NIM : 1513023

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diuji oleh Tim Penguji Sidang Program Studi Teknik Kimia Polimer
Politeknik STMI Jakarta pada hari Kamis, 23 November 2017.

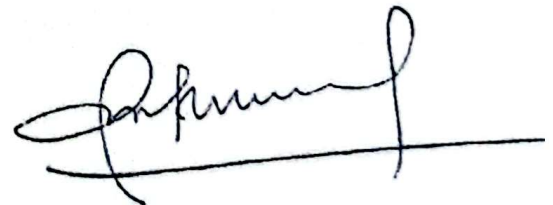
Jakarta, November 2017..

Penguji 1,



Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004

Penguji 2,



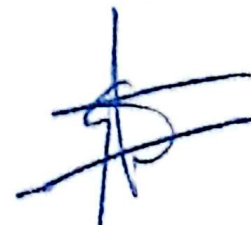
Ir. Parulian Leonard M. M.M
NIP. 195702141985031002

Penguji 3,



Sakri Widhianto, S.Teks, MM
NIP. 195303171978031001

Penguji 4,



Dr. Erfina Oktariani, S.T, M.T
NIP. 198210012014022001

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I
LEMBAR PERMOHONAN PENELITIAN



POLITEKNIK STMI JAKARTA

d.h. SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI

Jl. Letjen Suprpto No. 26 Cempaka Putih, Jakarta 10510

Telp: (021) 42866064 Fax: (021) 42868205

www.stmi.ac.id



Nomor : 524 /SJ-IND.7.2/X/2016
Lampiran :
Perihal : Permohonan Penelitian

Jakarta, 24 Oktober 2016

Kepada
Yth. Bapak/Ibu Pimpinan
Direktur Pusat Teknologi Material Puspitek
BPPT
Gedung 224, Kawasan Puspitek Tangerang
Selatan, 15314

Dalam rangka menambah wawasan dan mengaplikasikan teori yang didapat Mahasiswa/i di Politeknik STMI Jakarta, Kementerian Perindustrian RI, dengan ini memohon bantuan Bapak/Ibu agar bersedia menerima mereka yang namanya tersebut di bawah ini untuk melakukan Penelitian di Perusahaan/Instansi yang Bapak/Ibu pimpin selama kurang lebih 2(dua) bulan.

Adapun nama mahasiswa/i yang akan melakukan Penelitian adalah:

No.	Nama	NIM	Kompetensi yang diharapkan
1.	Gorby Nurcahyo	1513023	Proses Produksi

Dalam pelaksanaannya kami mengharapkan bantuan bimbingan Bapak/Ibu agar mahasiswa/i kami dapat melakukannya dengan baik. Untuk selanjutnya kompetensi yang diperoleh dari hasil bimbingan Bapak/Ibu akan dipresentasikan dan mudah-mudahan dapat bermanfaat bagi perusahaan.

Demikian atas bantuan dan kerjasama Bapak/Ibu, kami ucapkan terima kasih.

Pembantu Direktur I Bidang Akademik,

Dr. Ridzky Kramanandha, S.Kom, MT
NIP. 19740302 200212 1 001

Tembusan:

1. Direktur STMI;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;
4. Peninggal

LEMBAR DITERIMA PENELITIAN



BADAN PENGKAJIAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI

Pusat Teknologi Material
Gedung 224 Kawasan Puspitek, Tangerang Selatan, 16314 Banten
Telepon (021) 7579-1324, Faksimile (021)7579-1327, Website <http://www.bppt.go.id>

Nomor : B-347/PTM/BPPT/SD/12/2016 Tangerang Selatan, 5 Desember 2016
Lampiran :-
Hal : Permohonan Penelitian

Yth. Pembantu Direktur I Bidang Akademik
Politeknik STMI Jakarta
Kementerian Perindustrian RI
Jakarta

Menindaklanjuti surat permohonan dari Ketua Pembantu Direktur I Bidang Akademik Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI No.524/SJ-IND.7.2/X/2016 Tanggal 24 Oktober 2016 Perihal Permohonan Penelitian, dengan ini Direktur Pusat Teknologi Material (PTM) - Badan Pengkajian Penerapan Teknologi (BPPT) memberikan ijin kepada mahasiswa sbb:

No	Nama	NIM	Kompetensi yang diharapkan	Pembimbing
1.	Gorby Nurcahyo	1513023	Proses Produksi	Drs. Saeful Rohman, MT

Untuk Melaksanakan Penelitian di Pusat Teknologi Material terhitung mulai Februari s/d Maret 2017, dengan mentaati semua peraturan di PTM yang berupa:

- Kehadiran pada jam 07.30 – 16.00
- Memberikan Laporan dan bentuk BHP per hari
- Memberikan rangkuman laporan kerja praktek pada hari terakhir pelaksanaan kerja praktek.

Demikian disampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.



Direktur Pusat Teknologi Material

Dr. Asep Riswoko, B.Eng. M.Eng.

LEMBAR KETERANGAN SELESAI PENELITIAN



BADAN PENGKAJIAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI

Pusat Teknologi Material
Gedung 224, Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan 15314
Telepon (021)75791324, Faksimile (021)75791327, Website <http://www.bppt.go.id>

SURAT KETERANGAN
NOMOR: 52 /PTM/KET/07/2017

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Dr. Asep Riswoko, B. Eng. M. Eng.
NIP : 19720531 199012 1 001
Jabatan : Direktur
Unit Kerja : Pusat Teknologi Material

dengan ini menerangkan bahwa

Nama : Gorby Nurcahyo
NIM : 1513023
Program Studi : Teknik Kimia Polimer
Universitas : STMI Jakarta
Judul Riset : Pengaruh Penambahan Nanoclay terhadap Sifat Tahan Bakar,
Kelenturan dan Tahan Absorpsi Air pada Komposit Kayu Plastik.
Pembimbing : Drs. Saeful Rohman, MT

Menerangkan bahwa mahasiswa tersebut benar-benar telah selesai melaksanakan kegiatan Penelitian di Pusat Teknologi Material – BPPT, mulai bulan Februari s/d April 2017.

Demikian surat keterangan ini dibuat, untuk dipergunakan sesuai keperluannya.

Tangerang Selatan, 12 Juli 2017

Direktur Pusat Teknologi Material,



Dr. Asep Riswoko, B. Eng. M. Eng.

LEMBAR PENUGASAN DOSEN PEMBIMBING



POLITEKNIK STMI JAKARTA

d.h. SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI

Jl. Letjen Suprpto No. 26 Cempaka Putih, Jakarta 10510
Telp: (021) 42886064 Fax: (021) 42888206
www.stmi.ac.id



Nomor : 013 /SJ-IND.7.2/II/2017
Lampiran : 1 (satu)
Perihal : Penugasan Proses
Bimbingan Tugas Akhir
Tahun Akademik 2016/2017

Jakarta, 13 Februari 2017

Kepada
Yth. Ibu DR. Erfina Oktariani, S.T., M. T
Di Jakarta

Berdasarkan Keputusan Direktur Politeknik STMI Jakarta Nomor 26/SJ-IND.7.2 /SK/1/2017 tanggal 10 Januari 2017 tentang pengangkatan Dosen Pembimbing dan Asisten Dosen Pembimbing Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta Tahun Akademik 2016/2017, maka dengan ini kami mengharap bantuan Ibu untuk dapat memberikan bimbingan dalam penulisan / penyusunan Tugas Akhir kepada mahasiswa yang namanya tersebut di bawah ini:

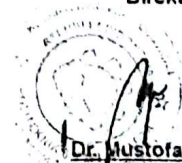
Nama : Gorby Nurcahyo
No. Induk : 1513023

Adapun judul Tugas Akhir yang bersangkutan berdasarkan proposal yang terdaftar adalah:

" Wood Plastic Composite. "

Demikian surat penugasan ini disampaikan. Atas perhatian dan bantuan Ibu kami ucapkan terima kasih.

Direktur



Dr. Mustofa, ST, MT
NIP.:19700924 200312 1 001

Tembusan:

1. Pudir 1;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;
4. Pertinggal

LEMBAR PENUGASAN ASISTEN DOSEN PEMBIMBING



POLITEKNIK STMI JAKARTA

d.h. SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI

Jl. Letjen Suprapto No. 26 Cempaka Putih, Jakarta 10510

Telp: (021) 42886064 Fax: (021) 42886206

www.stmi.ac.id



Nomor : 013 /SJ-IND.7.2/II/2017

Jakarta, 24 Februari 2017

Lampiran : 1 (satu)

Perihal : Asistensi Bimbingan Tugas Akhir
Tahun Akademik 2016/2017

Kepada
Yth. Ibu Fitria Ika Aryanti, S.T., M. Eng
Di Jakarta

Berdasarkan Surat Keputusan Direktur Politeknik STMI Jakarta No: 26/SJ-IND.7.2 /SK/1/2017 tanggal 10 Januari 2017 tentang pengangkatan Dosen Pembimbing dan Asisten Dosen Pembimbing Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta, Tahun Akademik 2016/2017, maka dengan ini kami mengharap bantuan Ibu untuk dapat memberikan bimbingan dalam penulisan / penyusunan Tugas Akhir kepada mahasiswa yang namanya tersebut di bawah ini:

Nama : Gorby Nurcahyo

No. Induk : 1513023

Adapun judul Tugas Akhir mahasiswa tersebut adalah:

" Wood Plastic Composite. "

Demikian surat ini kami sampaikan. Atas perhatian dan bantuan Ibu kami ucapkan terima kasih.



Direktur,
Dr. Mstofa, ST, MT
NIP : 19700924 200312 1 001

Tembusan:

1. Pudir 1;
2. Ka Prodi TKP;
3. Dosen Pembimbing;
4. Mahasiswa yang bersangkutan;
5. Peringgal

LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN LAPORAN











Nama : Gorby Nur Cahyo

NIM : 1513023

Judul : PEMBUATAN KOMPOSIT KAYU PLASTIK / WOOD PLASTIC COMPOSITE (WPC)

Dosen Pembimbing : Dr. ErFina Oktariani, S.T., M.T

Asisten Dosen Pembimbing : Fitria Ika Aryanis, S.T., M.Eng

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
18/02/2017	I	- Rumusan Masalah (Revisi) - Bayasan Masalah (Revisi) - Tujuan Penelitian (Revisi) - BAB I harus diperbanyak lagi.	
25/02/2017	I	- Bayasan Masalah (Revisi) - TYPO hilang	
04/03/2017	I	- Latar belakang diperjelas	
26/04/2017	I, II	- Pemborosan kata hilang - Skema Perbaiki - Margin Perbaiki	
05/05/2017	I, II, III, IV	- Tambahkan analisa - Kata asing perbaiki - Adstik diperjelas lagi.	
08/05/2017	I, II, III, IV	- TYPO hilang - Filler Perbaiki	
26/05/2017	I, II, III, IV	- kata asing perbaiki - pustaka beri simbol	
05/06/2017	I, II, III, IV	- variable perbaiki - TYPO hilang	
12/06/2017	I, II, III, IV	- tambahkan Pustaka lagi.	
23/06/2017	I, II, III, IV	- Pustaka Perbaiki	

03/07/2017	Semua	- Abstrak perbaikan - Kesimpulan perbaikan	f
17/07/2017	Semua	- Tambahkan Abstrak Inggris - Tabel perbaikan	f
28/07/2017	Semua	- Analisa pergelas	f
01/08/2017	Semua	- tpo hilang lagi	A

Mengetahui,

Dosen Pembimbing



Dr. Erfina Oktariani, S.T, M.T
NIP. 198210012014022001

Asisten Dosen Pembimbing



Fitria Ika Aryanti, ST, M.Eng
NIP. 198505112014022001

Ketua Program Studi Teknik
Kimia Polimer



Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya Mahasiswa Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian Republik Indonesia:

Nama : Gorby Nur Cahyo
NIM : 1513023
Program Studi : Teknik Kimia Polimer

Dengan ini menyatakan bahwa hasil karya Tugas Akhir Penelitian yang saya buat dengan judul “Pembuatan komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite (WPC)* dengan penambahan *nanoclay*”, maka:

- dibuat dan diselesaikan sendiri menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing, asisten dosen pembimbing dan pembimbing penelitian melalui tanya jawab serta pembahasan dari buku-buku jurnal sebagai acuan yang tertera dalam referensi pada karya tulis Tugas Akhir Penelitian ini
- bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu yang digunakan sebagai referensi pendukung untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan dicantumkan melalui referensi yang semestinya
- bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya Tugas Akhir Penelitian ini.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah dinyatakan seperti yang tertulis di atas, maka karya tulis Tugas Akhir Penelitian saya ini dibatalkan.

Jakarta, 09/08/2017

Penyusun



Gorby Nur Cahyo

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir Penelitian ini beserta laporannya dengan baik. Tidak lupa shalawat serta salam semoga tercurah kepada junjungan besar Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, para sahabat dan kita sebagai pengikutnya mudah-mudahan selalu setia hingga akhir hayat. Dalam kesempatan ini, penyusun mengucapkan terimakasih kepada:

1. kedua orang tua dan keluarga atas doa, cinta, nasehat, dan dorongan semangat secara material maupun spiritual
2. bapak Dr. Mustofa, S.T, M.T., selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI
3. bapak Ir. Roosmariharso, MBA., selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer (TKP) Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI
4. ibu Dr. Erfina Oktariani, S.T, M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir Penelitian Program Studi Teknik Kimia Polimer (TKP) Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI
5. ibu Fitriia Ika Aryanti, S.T, M.Eng., selaku Asisten Dosen Pembimbing Tugas Akhir Penelitian program studi Teknik Kimia Polimer (TKP) Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI
6. bapak Dr. Asep Riswoko, B.Eng, M.Eng., selaku Direktur Pusat Teknologi Material (PTM) di Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK), Tangerang Selatan
7. bapak Drs. Saeful Rochman, M.T., selaku pembimbing Tugas Akhir Penelitian di Pusat Teknologi Material (PTM) di Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK), Tangerang Selatan
8. seluruh Dosen Program Studi Teknik Kimia Polimer (TKP) Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI
9. seluruh Pegawai Pusat Teknologi Material (PTM) di Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK), Tangerang Selatan

10. semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu yang telah memberi dukungan dan bantuan atas Tugas Akhir Penelitian ini.

Akhir kata, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca dalam mengkaji kaidah ilmu pengetahuan Teknik Kimia Polimer (TKP). Penyusun meminta maaf apabila ada kekurangan dalam penulisan laporan ini dan bersedia menerima kritik serta saran yang bersifat membangun.

Jakarta, Agustus 2017

Penyusun

ABSTRAK

Komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) merupakan salah satu komponen alternatif yang saat ini banyak dikembangkan sebagai bahan bangunan. Dalam penelitian ini serbuk kayu jati digunakan sebagai *filler*, resin *High Density Polyethylene* (HDPE) digunakan sebagai matriks, dan resin *Polyethylene graft Maleic Anhydride* (PEgMA) digunakan sebagai *coupling agents*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pembuatan komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) melalui proses ekstrusi dan pengaruh penambahan *nanoclay* terhadap sifat tahan bakar, kelenturan, dan tahan absorpsi air pada komposit tersebut. Modifikasi komposit dilakukan dengan penambahan variasi *nanoclay* dalam komposisi untuk mengetahui perubahan sifat-sifat tersebut. Variasi penambahan *nanoclay* dilakukan dengan level 0, 1, 3, dan 5% untuk mengetahui perubahan sifat komposit yang terjadi. Metode pembuatan komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) pada penelitian ini, yaitu ekstrusi karena prosesnya yang mudah dan sederhana. Hasil penelitian ini, dilakukan pembuatan komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) melalui proses ekstrusi dengan kondisi operasi, yaitu *melt pressure* 4,2 MPa, titik leleh 194,5°C, *feeder speed* 3,2 rpm, *main speed* 3 rpm, dan suhu 20°C pada *die*, selanjutnya pengaruh penambahan *nanoclay* menunjukkan bahwa penambahan *nanoclay* pada komposisi komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dapat meningkatkan kemampuan sifat tahan bakar/*flammability resistance* karena *nanoclay* memiliki ekspansi termal yang rendah, penambahan *nanoclay* yang efektif pada komposisi komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dapat meningkatkan sifat kelenturan/*flexural* yang baik dan penambahan *nanoclay* pada komposisi komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dapat mengurangi sifat tahan absorpsi air/*water absorption resistance* karena *nanoclay* memiliki daya kelembaban yang rentan terhadap penyerapan air.

Kata kunci: ekstrusi, *High Density Polyethylene* (HDPE), komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC), *nanoclay*, *Polyethylene graft Maleic Anhydride* (PEgMA), serbuk kayu jati.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING PENELITIAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG.....	v
LEMBAR PERMOHONAN PENELITIAN	vi
LEMBAR DITERIMA PENELITIAN	vii
LEMBAR KETERANGAN SELESAI PENELITIAN	viii
LEMBAR PENUGASAN DOSEN PEMBIMBING.....	ix
LEMBAR PENUGASAN ASISTEN DOSEN PEMBIMBING	x
LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN LAPORAN	xi
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	xiii
KATA PENGANTAR	xiv
ABSTRAK.....	xvi
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xx
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Komposit	7
2.1.1 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matriks Penyusun	8
2.1.2 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Geometris	9
2.2 Sejarah Komposit.....	10
2.3 Penyusun Komposit	11

2.3.1	Matriks.....	11
2.3.2	<i>Filler</i>	13
2.3.3	<i>Coupling Agents</i>	13
2.4	Pengaruh <i>Nanoclay</i> Pada Komposit.....	15
2.5	Komposit Kayu Plastik	16
2.6	<i>Polyethylene (PE)</i>	19
2.6.1	<i>Low Density Polyethylene (LDPE)</i>	21
2.6.2	<i>Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)</i>	23
2.6.3	<i>High Density Polyethylene (HDPE)</i>	24
2.7	Kayu.....	26
2.7.1	Selulosa	28
2.7.2	Hemiselulosa	29
2.7.3	Lignin	30
2.7.4	Kayu Jati.....	31
2.8	Aditif.....	32
2.8.1	<i>Irganox 1010</i>	32
2.8.2	Kalsium Karbonat.....	33
2.8.3	Asam Stearat.....	34
2.8.4	<i>Nanoclay</i>	35
2.9	Metode Pembentukan Komposit Kayu Plastik	36
2.9.1	Pengadukan	36
2.9.2	Proses Ekstrusi	37
2.10	Karakterisasi Komposit Kayu Plastik	39
2.10.1	Uji Bakar/ <i>Flammability Testing</i>	39
2.10.2	Uji Kelenturan/ <i>Flexural Testing</i>	40
2.10.3	Uji Absorpsi Air/ <i>Water Absorption Testing</i>	40
BAB III METODE PENELITIAN		41
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	41
3.2	Alat dan Bahan.....	41
3.2.1	Alat.....	41
3.2.2	Bahan.....	41

3.3 Variabel.....	42
3.3.1 Variabel Tetap.....	42
3.3.2 Variabel Berubah.....	42
3.4 Prosedur.....	43
3.4.1 Preparasi Serbuk Kayu Jati.....	43
3.4.2 Preparasi Komposisi.....	43
3.4.3 Pembuatan Produk Komposit.....	44
3.4.4 Uji Bakar/ <i>Flammability Testing</i>	45
3.4.5 Uji Kelenturan/ <i>Flexural Testing</i>	46
3.4.6 Uji Absorpsi Air/ <i>Water Absorption Testing</i>	46
3.5 Skema Penelitian.....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	49
4.1 Sifat Tahan Bakar.....	49
4.2 Sifat Kelenturan.....	51
4.3 Sifat Tahan Absorpsi Air.....	53
BAB V PENUTUP.....	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Polimer Termoplastik Konvensional	12
Tabel 2.2 Polimer Termoset Konvensional	12
Tabel 3.1 Kondisi Operasi Suhu <i>Barrel</i> pada <i>Twin Screw Extruder</i>	42
Tabel 3.2 Variabel Komposisi Produk.....	42
Tabel 4.1 Hasil Uji Bakar Komposit.....	49
Tabel 4.2 Hasil Uji Kelenturan Komposit	51
Tabel 4.3 Hasil Uji Absorpsi Air Komposit	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rantai Molekul <i>Low Density Polyethylene</i>	21
Gambar 2.2 Rantai Molekul <i>Linear Low Density Polyethylene</i>	23
Gambar 2.3 Rantai Molekul <i>High Density Polyethylene</i>	24
Gambar 3.1 Kondisi Suhu Operasi <i>Barrel Twin Screw Extruder</i>	44
Gambar 3.2 Kecepatan Operasi <i>Twin Screw Extruder</i>	45
Gambar 3.3 Ukuran Sampel Uji Bakar	45
Gambar 3.4 Ukuran Sampel Uji Kelenturan	46
Gambar 3.5 Ukuran Sampel Uji Absorpsi Air	47
Gambar 3.6 Skema Penelitian Komposit Kayu Plastik	48
Gambar 4.1 Hasil Uji Bakar Komposit	49
Gambar 4.2 Uji Bakar Komposit	50
Gambar 4.3 Sampel Uji Bakar Komposit	50
Gambar 4.4 Hasil Uji <i>Flexural Strength</i> Komposit	51
Gambar 4.5 Hasil Uji <i>Flexural Modulus</i> Komposit	52
Gambar 4.6 Uji Kelenturan Komposit	53
Gambar 4.7 Sampel Uji Kelenturan Komposit	53
Gambar 4.8 Hasil Uji Absorpsi Air Komposit	54
Gambar 4.9 Uji Absorpsi Air Komposit	55
Gambar 4.10 Sampel Uji Absorpsi Air Komposit	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Gambar Alat	xxiii
Lampiran B Gambar Bahan	xxv
Lampiran C Gambar Komposit.....	xxvii
Lampiran D Hasil Uji Bakar.....	xxviii
Lampiran E Hasil Uji Kelenturan	xxx
Lampiran F Hasil Uji Absorpsi Air	xxxi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Komposit merupakan material struktural yang tersusun dari dua atau lebih kombinasi material penyusun berupa matriks dan pengisi/*filler*. Kelebihan terciptanya komposit, yaitu material tersebut memiliki sifat yang lebih kuat, kokoh, dan stabilitas yang baik terhadap ketahanan lingkungan dibandingkan material biasanya. Material komposit terbentuk dari hasil pencampuran material yang tidak homogen atau tidak sejenis, sehingga kita dapat leluasa merencanakan kekuatan material komposit tersebut yang kita inginkan dengan cara mengatur komposisi terbaik pada material pembentuknya secara efektif [1].

Komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) merupakan salah satu material yang berupa papan komposit dan suatu bentuk material yang terbentuk dari hasil kombinasi serbuk kayu atau serat kayu dengan resin termoplastik. Komposit tersebut sudah diproduksi komersial sejak tahun 1990-an dan sudah banyak digunakan sebagai material bangunan karena kekuatan dan sifat-sifatnya yang terbukti lebih baik dari kayu konvensional, sehingga produk komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) ini biasanya digunakan sebagai komponen infrastruktur bangunan. Di negara-negara maju, seperti Inggris, Jepang, Amerika Serikat (AS) dan beberapa negara maju lainnya telah menggunakan komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) sebagai komponen infrastruktur bangunan, beberapa contohnya yaitu komponen pada lis plafon, lantai, atap, jembatan, rumah, gedung ataupun perkakas. Komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) pada umumnya diaplikasikan sebagai infrastruktur bangunan karena mempunyai berat yang ringan tetapi kuat dan kokoh, serta sifat-sifatnya yang lebih baik dari kayu konvensional, sehingga layak untuk diproduksi komersial [2].

Pada awal tahun 1990, *Advanced Environmental Recycling Technology* (AERT), Texas, Amerika Serikat (AS) dan *Mobil Chemical Company* (MCC), Virginia, Amerika Serikat (AS) telah memproduksi komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) berkomposisi serbuk kayu atau serat kayu dengan

kombinasi resin *High Density Polyethylene* (HDPE) untuk diaplikasikan sebagai konstruksi bangunan, seperti lis plafon, lantai, jembatan, atau perkakas rumah. Pemasaran jenis komposit ini bertumbuh besar secara cepat sesuai dengan bertambahnya kebutuhan masyarakat [2].

Kayu merupakan suatu material alamiah yang terbentuk dari sumber alam yang dapat diperbarui, hasil dari suatu tumbuhan yang keberadaannya dapat kita jumpai dalam kehidupan ini. Keberadaannya yang dapat kita jumpai, seringkali dimanfaatkan oleh banyak orang sebagai sumber kebutuhan hidup, contohnya pada komponen infrastruktur bangunan, ataupun kertas, tekstil, bahan kimia organik, bahan bakar, dan berbagai produk lainnya. Strategi Bioekonomi Eropa (SBE)/*European Bioeconomy Strategy* (EBS) secara nyata memanfaatkan kayu sebagai sumber alam bagi pertumbuhan ekonomi berkelanjutan karena kayu merupakan produk alam yang dapat diperbarui. Struktur kayu kuat dan kokoh, tetapi mempunyai kelemahan, yaitu strukturnya lebih mudah menyerap air. Strukturnya juga dapat dirusak oleh larutan alkali atau reaksi-reaksi asam yang dikontakan langsung ke kayu, jadi kayu sangat sensitif terhadap adanya kontak dengan zat cair, hal ini mendukung wawasan para peneliti untuk berinovasi [3].

Kayu jati/*tectona grandis* merupakan satu dari kayu yang paling diminati di dunia dan diaplikasikan ke berbagai produk yang sesuai dengan harapannya [4]. Kayu jati di Indonesia telah ditanam sejak zaman Belanda dan telah dimanfaatkan secara luas oleh masyarakat, terutama untuk bahan bangunan dan mebel [5]. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), bahwa produksi kayu jati di Indonesia pada tahun 2014 sekitar 0,12 juta m³ dan tersebar 87,08% di pulau Jawa yang tercatat terbanyak di Indonesia, namun kebutuhan kayu jati setiap tahunnya terus meningkat dan potensi ketersediaannya terus berkurang, maka perlu dilakukan pengelolaan yang efisien dan bijaksana, yaitu memanfaatkan limbah sampai pada serbuknya untuk menciptakan produk yang bernilai [6].

Industri penggajian kayu skala kecil yang jumlahnya mencapai ribuan unit dan tersebar luas di pedesaan, sampai saat ini limbah tersebut belum dimanfaatkan secara optimal [3]. Kemajuan teknologi seperti sekarang ini, sebenarnya dapat lebih mengoptimalkan pemakaian kayu sampai pada limbah

serbuknya, namun nyatanya pemanfaatan limbah serbuk kayu sekedar digunakan sebagai bahan yang hanya dibakar saja, sehingga patut disayangkan pengelolaan kebutuhannya [7]. Saat ini pemanenan dan pengolahan kayu di Indonesia masih menghasilkan limbah yang cukup besar, tetapi belum dioptimalkan pemanfaatan limbahnya dengan baik [5].

Polyethylene (PE) merupakan polimer termoplastik yang digunakan secara luas oleh konsumen plastik di seluruh dunia. Menurut analisis data *Chemical Market Associates Inc* (CMAI), *Polyethylene* (PE) diproduksi sekitar 134,6 miliar ton. Kemudian, *Polyethylene* (PE) juga merupakan resin yang harganya paling terjangkau dibandingkan dengan jenis resin polimer termoplastik lainnya dan kegunaannya mencakup skala mayoritas. *Polyethylene* (PE) mempunyai sifat-sifat yang baik, seperti tahan radikal kimia, daya absorpsi air yang rendah, dan sifat termoplastik yang baik, yaitu jika dipanaskan akan meleleh dan akan mengeras jika didinginkan, serta dapat dibentuk menurut bentuk yang diinginkan melalui pemanasan dengan cetakan yang sesuai. *Polyethylene* (PE) dengan baik diproses ke berbagai cara, yaitu *injection molding*, *extrusion*, *blow molding*, dan *blown film* [8].

Polyethylene (PE) adalah polimer termoplastik yang prospek kegunaannya terbesar, sedangkan *High Density Polyethylene* (HDPE) merupakan jenis dari *Polyethylene* (PE) yang terbanyak diproduksi komersial dibandingkan dari semua jenis *Polyethylene* (PE) yang ada. *High Density Polyethylene* (HDPE) memiliki struktur polimer terkuat dari jenis *Polyethylene* (PE) lainnya. *High Density Polyethylene* (HDPE) memiliki densitas di atas $0,94 \text{ g/cm}^3$, yang artinya mempunyai kristalinitas yang baik, di sisi lain jenis termoplastik ini mempunyai titik leleh $130\text{-}140^\circ\text{C}$ dengan arti ternilai produknya tidak mudah atau tidak sensitif pada titik leleh di temperatur lingkungan yang terjadi secara umumnya [9].

Pembentukan komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) merupakan hal yang dapat memecahkan masalah sebelumnya dengan cara menggabungkan serbuk kayu jati dengan resin *High Density Polyethylene* (HDPE). Di sisi lain karakteristiknya dapat diatur dengan cara menginovasi

penambahan bahan lain pada komposisinya, salah satunya mineral. Penambahan mineral yang dilakukan dapat meningkatkan karakteristik pada komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) [10]. Modifikasi komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dengan melakukan penambahan mineral, salah satu jenisnya adalah *nanoclay*. Mineral *nanoclay* dapat meningkatkan beberapa sifat mekanik, seperti tahan bakar dan kelenturan, namun *nanoclay* dapat mempertinggi daya absorpsi air pada komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC), sehingga perlu pengaturan komposisi yang tepat untuk menambahkan *nanoclay* pada komposisi produk tersebut [11].

Penelitian ini dilakukan agar dapat membuktikan pengaruh penambahan *nanoclay* terhadap sifat tahan bakar/*flammability resistance*, kelenturan/*flexural*, dan tahan absorpsi air/*water absorption resistance* pada komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah pada penelitian ini, yaitu bagaimana pengaruh penambahan *nanoclay* dalam pembuatan komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dengan sifat tahan bakar/*flammability resistance*, kelenturan/*flexural*, dan tahan absorpsi air/*water absorption resistance*?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, batasan masalah pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. pembuatan komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dilakukan dengan komposisi 30% serbuk kayu, 1,5% *coupling agents*, dan 5,76% aditif, sedangkan komposisi sisanya berupa resin termoplastik dan *nanoclay*
2. serbuk kayu yang dipilih adalah serbuk kayu jati karena memiliki tekstur yang kuat dan kokoh, serta sifatnya memiliki daya absorpsi air yang rendah jika dibandingkan dengan jenis kayu lainnya

3. resin termoplastik yang dipilih adalah resin *High Density Polyethylene* (HDPE) karena memiliki sifat fisis yang kuat dan harganya terjangkau
4. *coupling agents* yang dipilih adalah jenis kopolimer, yaitu *Polyethylene graft Maleic Anhydride* (PEgMA) karena memiliki sifat plastis yang baik dan secara ekonomis terjangkau
5. *nanoclay* yang dipilih adalah jenis *nanoclay* sintetis dengan penambahan pada komposisi komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) sebesar 1-5%
6. aditif yang digunakan adalah asam stearat dan kalsium karbonat, di mana asam stearat berperan sebagai pendispersi nanopartikel dan kalsium karbonat berperan sebagai penunjang *filler* untuk menanggihkan struktur komposit
7. karakterisasi yang dilakukan dari hasil penambahan *nanoclay* dalam pembuatan komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dilakukan dengan uji bakar/*flammability testing* sesuai metode uji ASTM D-635, uji kelenturan/*flexural testing* sesuai metode uji ASTM D-790 dan uji absorpsi air/*water absorption testing* sesuai metode uji SNI 8154:2015
8. kondisi operasi *Twin Screw Extruder* (TSE) SJZ45/100 dalam proses ekstrusi/*extrusion*, dijalankan dengan *melt pressure* 4,2 MPa, titik leleh 194,5°C, *feeder speed* 3,2 rpm dan *main speed* 3 rpm.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini, yaitu mengetahui pengaruh penambahan *nanoclay* dalam pembuatan komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dengan sifat tahan bakar/*flammability resistance*, kelenturan/*flexural*, dan tahan absorpsi air/*water absorption resistance*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh pada penelitian ini, yaitu memberikan informasi terbaik dalam pembuatan komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC).

1.6 Sistematika Penulisan

Bagian ini merupakan gambaran secara keseluruhan. Di dalamnya terdapat lima bab yang masing-masing berkaitan erat. Adapun susunan ke lima bab tersebut, yaitu sebagai berikut:

BAB I:PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang diadakannya penelitian, rumusan masalah yang akan dibahas, batasan masalah dari penelitian yang akan dilakukan, tujuan dan manfaat dari dilakukannya penelitian ini, serta penjelasan mengenai sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB II:TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan umum mengenai bahan, metode, dan karakterisasi komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC).

BAB III:METODE PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan tentang persiapan penelitian, diagram alir penelitian, variabel penelitian, prosedur penelitian, serta alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini.

BAB IV:HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data hasil pengujian, analisis data yang sudah diolah menjadi grafik, dan pembahasan terhadap hasil pengujian.

BAB V:PENUTUP

Bab ini berisi dua bagian, kesimpulan dan saran yang telah dilakukan berdasarkan hasil yang telah didapat pada bab sebelumnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Komposit adalah material yang terbentuk dari dua atau lebih kombinasi material yang secara umum masing-masing terdiri dari matriks dan *filler* [12]. Tujuan terbentuknya komposit, yaitu memodifikasi sifat dan kekuatan pada suatu material, agar terlihat berbeda dari material biasanya [13]. Komposit terus mendapat perhatian yang serius bagi para peneliti, sehingga hampir setiap saat komposit dijadikan sebagai sumber inovasi dan modifikasi produk yang secara umum telah ada. Komposit merupakan material yang mudah untuk direncanakan sifat-sifatnya yang diinginkan karena komposit terbentuk dari kombinasi material dengan berbagai variasi jenis bentuk [14].

Menurut para ahli, komposit merupakan suatu material produk yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya dengan campuran yang tidak homogen, di mana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya, sehingga kita dapat leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan cara mengatur komposisi material pembentuknya [1]. Komposit merupakan sejumlah sistem multi bentuk sifat gabungan, yaitu gabungan antara bahan matriks dengan *filler* yang dapat juga ditunjang dengan bahan jenis lainnya, seperti aditif [13].

Susunan utama komposit terdiri dari dua jenis, satu jenis disebut *filler* dan satu jenis lainnya disebut dengan matriks. *Filler* merupakan suatu material penyusun komposit yang berperan sebagai penguat atau penangguh sifat mekanik komposit agar lebih kuat dan kokoh dari material biasanya. Matriks merupakan rangka yang mengikat *filler* pada komponen komposit [12].

Komposit yang sering kita jumpai berupa material yang dapat berstruktur ringan atau berat [1]. Contoh komposit dengan struktur ringan, yaitu komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dari serbuk atau serat kayu sebagai *filler* pada suatu matriks termoplastik yang dapat mempengaruhi kekuatan dan

kekokohan pada suatu ikatan matriks termoplastik, tetapi beratnya relatif ringan [2]. Selanjutnya contoh komposit struktur berat diaplikasikan pada konstruksi jalan raya, yaitu dikombinasikannya krikil dan pasir sebagai *filler* terhadap semen sebagai matriks, hasil yang dicapai akan lebih kuat dan kaku sifat fisik dan mekaniknya dibandingkan hanya menggunakan semen untuk konstruksi jalan raya [15].

Sifat dasar komposit terletak pada kekuatan antar ikatan matriks dengan *filler*, jadi ikatan antar matriks dengan *filler* inilah yang akan menjadi media pendistribusian beban akibat adanya tegangan yang terjadi pada permukaan komposit. Ketika permukaan komposit diberi suatu beban, maka beban akan terdistribusi merata ke dalam setiap komponen penyusun komposit. Ikatan antar matriks dan *filler* inilah yang jika tersusun dengan baik, maka distribusi beban akibat tegangan pada permukaan suatu komposit tersebut dapat berlangsung dengan baik pula [1].

2.1.1 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matriks Penyusun

Komposit dapat diklasifikasikan berdasarkan matriks penyusunnya, yaitu polimer-matriks, semen-matriks, logam-matriks, karbon-matriks, dan keramik-matriks [12].

Polimer-matriks merupakan komposit yang seringkali difabrikasi dengan tujuan memodifikasi kualitas struktur polimer dan biaya pengolahannya relatif terjangkau. Polimer-matriks seringkali dibentuk dengan struktur ringan, sehingga banyak dimanfaatkan oleh berbagai macam kebutuhan [12]. Contohnya komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) yang merupakan produk hasil kombinasi resin plastik dengan serbuk kayu atau serat kayu yang produknya dapat diaplikasikan sebagai komponen lis, tangga, lantai, perkakas, dan lain sebagainya karena strukturnya ringan tetapi kualitasnya lebih baik dibandingkan dengan kayu konvensional pada umumnya [2].

Semen-matriks merupakan komposit yang dibentuk dalam keadaan kuat, berat, dan kokoh. Komposit ini seringkali diaplikasikan pada bidang arsitektur. Contohnya kombinasi krikil dan pasir terhadap semen untuk membuat beton

konstruksi pembangunan jalan raya karena diutamakan struktur yang kuat dan dapat menahan berbagai beban besar, seperti kendaraan [12].

Karbon-matriks merupakan komposit yang terbentuk dari serat karbon dan serat kaca yang seringkali diaplikasikan pada konstruksi rem kendaraan karena sifatnya yang ringan dan tahan pada gaya gesek serta suhu tinggi [12]. Karbon-matriks dalam fabrikasi produknya secara umum memerlukan biaya yang tinggi dibandingkan dengan jenis komposit lainnya karena teknologi pembuatannya memerlukan proses dan fasilitas khusus [16].

Keramik-matriks merupakan komposit yang difabrikasi secara khusus terhadap kekuatan, kekokohan, daya tahan termal dan daya tahan oksidasi yang baik, tetapi strukturnya perlu mempunyai berat yang ringan agar baik digunakan [12]. Aplikasi yang sering kita jumpai biasanya berupa infrastruktur bangunan, seperti lantai [17].

Logam-matriks merupakan komposit yang selalu difabrikasi dengan kuat, kaku, dan berat ringan, tetapi jenis komposit ini seringkali diciptakan agar mempunyai sifat daya hantar panas dan arus listrik yang baik [12]. Aplikasi yang sering kita jumpai salah satunya adalah *cast iron* pada penggorengan [18].

2.1.2 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Geometris

Komposit diklasifikasikan berdasarkan geometris atau suatu bentuk dari *filler* penyusunnya, yaitu terbagi menjadi komposit serat/*fibrous composite*, komposit laminat/*laminates composite*, dan komposit partikel/*particulates composite* [12].

Komposit serat merupakan komposit yang memiliki *filler* berbentuk serat yang dapat tersusun pada matriksnya. Wujud seratnya mempunyai jenis ukuran, yaitu ada yang berukuran pendek/*discontinuous*, panjang/*continuous* ataupun berpola/*pattern*. Contoh komposit serat/*fibrous composite*, yaitu *Fiber Reinforce Plastic* (FRP), di mana plastik berperan sebagai matriks, kemudian serat kaca/*fiber glass* berperan sebagai *filler* [12].

Komposit laminat merupakan komposit yang terdiri dari beberapa lapisan penyusun menjadi kesatuan dan lapisan penyusunnya masing-masing berbeda karakteristik [19]. Komposit laminat terbentuk dalam beberapa macam lapisan

yang diorientasikan secara geometris antara *filler* dengan matriksnya menjadi kesatuan struktur [12]. Contoh yang kita jumpai adalah komposit kayu plastik laminat/*Laminates Wood Plastic Composite* (LWPC) pada perkakas rumah seperti meja, di mana serbuk atau serat kayu yang dilapisi polimer termoplastik sebagai permukaan luarnya [2].

Komposit partikel merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai *filler* yang terdispersi merata pada suatu ikatan matriks [12]. Contohnya komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) untuk aplikasi papan komposit dengan komposisi serbuk kayu sebagai *filler* dan resin termoplastik sebagai matriks [2].

2.2 Sejarah Komposit

Pembentukan suatu produk komposit dengan tujuan memperbaiki sifat-sifat dari material pada umumnya, sebenarnya sudah dipikirkan oleh orang-orang terdahulu. Pembuatan komposit sudah lama dikenalkan oleh bangsa mesir kuno yang membuat dinding-dinding dari bata hasil kombinasi serat jerami sebagai *filler* dan tanah liat sebagai matriksnya. Mereka menciptakan produk tersebut dengan tujuan agar memperoleh dinding yang tidak mudah rapuh dan retak [12].

Di zaman modern, komposit dibuat lebih menarik lagi oleh para peneliti. Pada tahun 1906, para peneliti sudah membuat *bakelite* dengan kombinasi serat kayu sebagai *filler* dan resin *epoxy* sebagai matriks. Produk tersebut dibuat agar mempunyai sifat yang kuat, keras, dan kokoh [1].

Pada tahun 1920, telah dibuat komposit jenis *Fiber Reinforce Plastic* (FRP) untuk komponen konstruksi pesawat tempur pada perang dunia ke dua. *Fiber Reinforce Plastic* (FRP) dibentuk dari hasil kombinasi serat kaca dengan matriks berupa termoplastik, seperti *Polyethylene* (PE) dan termoset, seperti *epoxy*. Produk tersebut dibuat dengan tujuan ketahanan terhadap tekanan dan daya bakar yang tinggi, contohnya peluru [12].

Pada tahun 1960, semua jenis komposit, seperti polimer-matriks, semen-matriks, logam-matriks, karbon-matriks, dan keramik-matriks sudah umumnya dipakai oleh masyarakat dan sudah tercipta dengan berbagai struktur yang ringan ataupun berat. Struktur yang ringan dapat diaplikasikan ke komponen kendaraan,

seperti permukaan sayap pesawat terbang yang tercipta dengan sifat kuat, kokoh, dan keras. Struktur yang berat seringkali diaplikasikan ke infrastruktur bagi bidang arsitektur, seperti beton yang tercipta dengan kuat, kokoh, dan berat [12].

2.3 Penyusun Komposit

Komposit mempunyai dua pembentuk utama, yaitu matriks dan *filler*. Matriks sebagai rangka yang berfungsi untuk mengikat *filler*, sedangkan *filler* merupakan material penangguh atau penguat struktur komposit, yang keduanya dapat diuraikan sebagai berikut [1].

2.3.1 Matriks

Matriks adalah material penyusun yang berfungsi sebagai rangka untuk mengikat dan menjaga *filler* agar tetap pada tempatnya di susunan komposit, selanjutnya dapat membantu pendistribusian beban akibat tegangan permukaan komposit dan dapat melindungi permukaan komposit [1]. Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai peranan sebagai rangka yang mengikat *filler* secara dominan [12].

Matriks pada polimer-komposit mengikat *filler* agar selalu pada tempatnya dan menjaga komposit dari degradasi lingkungan. Matriks pada polimer-komposit berdasarkan sifatnya terhadap panas dapat dibedakan dalam polimer termoplastik dan termoset yang dijelaskan berikut ini [20,21].

a) Polimer Termoplastik

Polimer termoplastik merupakan polimer yang struktur rantainya berupa linear atau bercabang [22]. Sifatnya jika dipanaskan akan meleleh dan akan mengeras jika didinginkan, serta dapat dibentuk menurut pola yang diinginkan melalui pemanasan dengan cetakan yang sesuai. Sifatnya juga dapat didaur ulang kembali dan jika diberikan siklus pemanasan-pendinginan berulang kali, maka dapat menyesuaikan cetakan tanpa harus terdegradasi atau hangus. Polimer termoplastik pada temperatur ruang berupa padatan, tetapi pada temperatur yang cukup tinggi dapat menjadi cairan kental dan akan kembali menjadi padatan jika temperatur ruang tercapai kembali, sehingga karakteristik ini menyebabkan termoplastik mudah difabrikasi ke berbagai bentuk [21].

Tabel 2.1 Polimer Termoplastik Konvensional

No.	Jenis	Unit Ulangan	Polimer	Morfologi
1.	<i>Polyamide</i>		<i>Nylon-6,6, nylon 6</i>	Semikristalin
2.	<i>Polyolefin</i>		<i>Polyethylene, polypropylene, copolymer</i>	Semikristalin
3.	<i>Polycarbonate</i>		<i>Polycarbonate</i>	Amorf
4.	<i>Polyester</i>		<i>Polyethylene terephthalate, Polybutylene terephthalate</i>	Semikristalin

* Sumber: Clarence. 2005.

b) Polimer Termoset

Polimer termoset adalah polimer yang memiliki struktur rantai berikatan silang antara rantai molekul penyusunnya. Bentuk fisiknya lebih keras dari polimer termoplastik. Sifat polimer ini tidak dapat menerima siklus pemanasan-pendinginan dengan baik pada batas suhu tertentu atau tidak bisa disamakan seperti halnya termoplastik. Ketika dipanaskan pada tahap awal, termoset akan melunak dan mampu mengalir di dalam cetakan, tetapi pada suhu tinggi terjadi reaksi kimia yang mengeraskan material tersebut sampai menjadi padatan yang tidak mampu lebur kembali atau dikatakan termoset mengeras dan tidak dapat meleleh, tetapi terdegradasi atau hangus menjadi arang yang berarti mengalami kerusakan ikatan kovalen pada strukturnya [20].

Tabel 2.2 Polimer Termoset Konvensional

No.	Pembentuk	Struktur Ikatan	Jenis Polimer	Morfologi
1.	<i>Epoxy + Amine</i>		<i>Polyepoxy</i>	Amorf
2.	<i>Epoxy + Isocyanate</i>		<i>Poly(2-oxazolidone)</i>	Amorf
3.	<i>Cyanate + Ester</i>		<i>Polycyanurate</i>	Amorf

* Sumber: Ronald dan Stewart. 2005.

2.3.2 Filler

Filler merupakan material penangguh atau penguat dan penentu sifat-sifat umum untuk memperpanjang umur produk komposit tanpa harus tercipta dengan teknologi yang mahal. *Filler* juga sangat bermanfaat sebagai penambah kontras warna alami bagi komposit. *Filler* yang sering dijumpai pada produk komposit dapat berupa serat atau partikel kecil berstruktur panjang/*continuous* dan pendek/*discontinuous*. Para ahli polimer biasanya memilih jenis *filler* untuk komposit dengan baik berdasarkan sumber penghasil dan fungsinya, serta komposisi dan morfologi yang baik bagi komposit itu sendiri. *Filler* secara umumnya dapat berbentuk serat atau partikel. *Filler* bentuk serat contohnya serat kayu, serat kaca, dan serat karbon, sedangkan *filler* berbentuk partikel contohnya karbon hitam, serbuk kayu, kalsium karbonat, dan pasir silika [23].

2.3.3 Coupling Agents

Coupling agents atau *adhesive* adalah kelompok material yang berfungsi untuk menyesuaikan dua objek penyusun komposit, yaitu kesesuaian antara ikatan matriks dengan *filler*. *Coupling agents* dalam komposit berperan sebagai *physicochemical* terhadap hubungan antara ikatan matriks dengan *filler* atau berarti bertujuan untuk memperkuat ikatan antara matriks dengan *filler*, walaupun keduanya mempunyai sifat yang tidak baik untuk saling berinteraksi. Selain dari pada itu, *coupling agents* dapat melindungi dari adanya kelembaban pada material penyusun komposit, yang berarti dengan adanya kelembaban di dalam *filler*, maka membuat kesulitan bagi *filler* untuk berikatan dengan matriks atau hanya menghasilkan ikatan yang kurang baik. Jadi dengan penambahan *coupling agents*, maka ikatan antara *filler* dalam matriks komposit inilah yang dapat menyesaikannya dengan kuat dan baik, sehingga proses fabrikasi pembuatan komposit berlangsung dengan baik pula. *Coupling agents* membantu *filler* untuk memberi kontras warna bagi permukaan komposit, yaitu agar tercipta warna alami permukaan komposit yang terbentuk, sebagai contoh, penambahan *coupling agents* membuat warna *filler* kayu pada komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dapat terlihat jelas [24].

Coupling agents dapat berjenis bahan kimia atau kombinasi bahan kimia. Bahan kimia yang dapat kita jumpai seperti *Maleic Anhydride* (MA) dan *organoxilane*, sedangkan kombinasi bahan kimia berupa kopolimer, seperti *Polyethylene graft Maleic Anhydride* (PEgMA) [24]. *Coupling agents* yang berjenis kopolimer secara umum terlihat lebih baik dari pada yang bukan jenis kopolimer karena mampu dengan baik menyesuaikan sifat matriks dan sebagai *plasticizers* bagi proses pembentukan kompositnya. Fungsi *coupling agents* ini tidak hanya untuk memperbaiki sifat-sifat komposit, tetapi juga meminimalisir kehilangan takaran *filler* saat proses pembentukan komposit berlangsung [25].

Graft kopolimer merupakan *coupling agents* berjenis kopolimer yang baik untuk menciptakan keselarasan antara *filler* dengan matriks polimer yang terbentuk. Senyawa ini terdiri dari molekul-molekul monomer penyusun yang terbentuk dari dua monomer. Senyawa ini sering dipilih oleh para insinyur dan peneliti sebagai *coupling agents* karena dapat menciptakan keselarasan bagi hubungan antara matriks dengan *filler* yang baik, di sisi lain juga memiliki nilai *toxic* yang lebih rendah dari kopolimer lainnya [25].

Dalam pembuatan komposit, khususnya komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) biasanya jenis bahan bersenyawa *Maleic Anhydride* (MA) digunakan sebagai *coupling agents* atau *adhesive*, namun saat ini pemakaian bahan kimia tersebut lebih disukai oleh kalangan industri dalam bentuk kopolimer karena memiliki nilai *toxic* yang rendah atau aman dan harganya terjangkau, salah satu contohnya adalah *Polyethylene graft Maleic Anhydride* (PEgMA). *Polyethylene graft Maleic Anhydride* (PEgMA) dalam industri biasanya digunakan dalam batasan 1,5-3% dari total komposisi komposit karena apabila penambahannya melampaui batas maksimal tersebut, maka akan menciptakan suasana asam pada komposisi komposit dan akibatnya produk komposit yang terbentuk tidak dapat diproses dengan baik, sedangkan jika pemakaiannya lebih rendah dari batas minimal tersebut, maka tidak akan mempengaruhi peranannya sebagai *coupling agents* [26]. Penambahan *Maleic Anhydride* (MA) dalam bentuk senyawa atau kopolimer sebesar 1,5% juga dinilai

lebih baik dari 3%, hal ini dikarenakan komposisi akan terlihat lebih alami jika penambahannya semakin mendekati batas minimal tersebut [27].

2.4 Pengaruh *Nanoclay* Pada Komposit

Nanoclay memiliki ekspansi termal yang rendah, sehingga penambahan *nanoclay* pada komposit umumnya diaplikasikan sebagai bahan anti bakar/*flame retardants* [11]. Pereira, 2008 melakukan penelitian penambahan *nanoclay* pada pembuatan *nanocomposite* dengan menggunakan resin *unsaturated polyester* untuk mengetahui sifat tahan bakar dari *nanocomposite* tersebut, kemudian hasil uji bakar didapati sampel memiliki waktu terbakar yang lebih lama dibandingkan dengan sampel tanpa kandungan *nanoclay*, selanjutnya Emrah, 2006 melakukan penambahan *nanoclay* pada *nanocomposite epoxy* yang dibuatnya untuk mengetahui sifat tahan bakar pada *nanocomposite* tersebut, hasil analisisnya membuktikan penambahan *nanoclay* dapat membuat *nanocomposite* lebih lama terbakar. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan *nanoclay* pada komposit sebagai bahan anti bakar/*flame retardants* dapat melindungi permukaan komposit dengan kemampuan sifat tahan bakar [56,57].

Penambahan *nanoclay* pada komposit juga terbukti dapat meningkatkan nilai kelenturan/*flexural*. Dhakal, 2006 menambahkan *nanoclay* ke dalam resin *unsaturated polyester* sebesar 1%, 3% dan 5%, hasilnya didapatkan nilai *flexural modulus* yang meningkat pada setiap penambahan level, selanjutnya Kanny, 2012 melakukan penambahan *nanoclay* sebesar 1-5% dalam resin *epoxy*, hasilnya didapati *flexural modulus* yang juga meningkat pada setiap penambahan level, sehingga dikatakan penambahan *nanoclay* pada komposisi komposit menciptakan sifat kelenturan komposit yang meningkat [58,59].

Penambahan *nanoclay* ternilai dapat menurunkan sifat tahan absorpsi air pada komposit. Ismaeil Ghasemi dan Behzard Kord, 2009 melakukan penelitian penambahan 3-6% pada *hybrid nanocomposite*, hasilnya membuktikan didapat peningkatan daya absorpsi air di setiap penambahan level komposisi *nanoclay*, sehingga dikatakan penambahan *nanoclay* dapat membuat komposit mengurangi sifat tahan absorpsi air dibandingkan dengan komposit tanpa penambahan *nanoclay* [55].

2.5 Komposit Kayu Plastik

Komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) merupakan suatu material biokomposit dari hasil gabungan serbuk kayu atau serat kayu dengan resin termoplastik. Produk ini memiliki berbagai macam bentuk, seperti papan komposit, triplek komposit, atau serat sintetik, sehingga manfaatnya sangat baik dalam perkembangannya. Struktur jenis komposit ini kuat, tetapi ringan jika digunakan ke berbagai infrastruktur, seperti komponen bangunan, perkakas, peralatan tulis, dan sebagainya. Sifat komposit ini lebih dominan pada sifat termoplastiknya, di mana akan meleleh jika dipanaskan dan akan mengeras jika didinginkan. Dalam kebaikannya, jenis komposit ini harus mempunyai tahan degradasi pada suhu 200°C, dalam arti mempunyai ketahanan degradasi yang lebih baik dari resin termoplastik secara umumnya [2].

Pada komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC), serbuk kayu dimanfaatkan sebagai *filler* untuk melekat dengan resin termoplastik atau jika ingin ditambahkan *filler* lainnya juga baik untuk mengatur sifat-sifat yang diinginkan. Serbuk kayu digunakan agar memberi inovasi untuk memanfaatkan kembali limbah pemotongan kayu agar menciptakan produk yang bernilai. Resin termoplastik inilah yang mengikat serbuk kayu pada komposit ini, sehingga resin termoplastik mencerminkan sifat komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) [2].

Komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) secara ekonomis lebih mahal harganya dari pada material kayu konvensional, walaupun mahal tetapi kualitas komposit ini tetap saja terbentuk lebih baik dari material biasanya, salah satu contohnya ternilai tahan terhadap keadaan lingkungan. Di samping itu, pembentukan komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) secara umum mudah dan dapat direncanakan sifatnya yang ingin terbentuk dengan ukuran yang dapat disesuaikan pada cetakannya. Kecantikan kompositnya terlihat hampir menyerupai kayu konvensional. Komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) akan tetap kokoh pada kondisi cuaca di daerah tropis dan memelihara kontribusi yang baik di segala tempat, walaupun dalam kondisi cuaca yang ekstrim sekalipun [2].

Komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) secara umum diaplikasikan pada bagian dalam ruangan maupun luar ruangan atau lingkungan bebas, seperti perkakas, lantai, dinding, plafon, dan sebagainya yang semuanya sangat terjangkau jika menggunakan produk komposit ini [3]. Komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) pada matriks yang digunakan seringkali menggunakan *Polypropylene* (PP) dan *High Density Polyethylene* (HDPE). Penggunaan *Polypropylene* (PP) seringkali dipakai di benua Eropa, sedangkan *High Density Polyethylene* (HDPE) biasa dipakai di benua Amerika. Menurut beberapa instansi pemasaran polimer internasional, penggunaan *High Density Polyethylene* (HDPE) dinilai efisien karena ketersediaan bahannya melimpah, ditambah dukungan jenis plastik tersebut mayoritas digunakan dan setelahnya mudah didaur ulang, walaupun dari kedua jenis plastik tersebut, dinilai *Polypropylene* (PP) lebih kuat dari *High Density Polyethylene* (HDPE), tetapi hal ini tidak memiliki efek besar bagi komposit karena kekuatan komposit ini dapat dimodifikasi dengan menambahkan beberapa jenis *filler* dan aditif yang tepat untuk digunakan dalam berbagai bentuk dan klasifikasinya [2].

Komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dengan sifat tahan bakar merupakan bagian dari kualitas komposit itu sendiri. Ketahanan bakar pada suatu komposit dapat diukur melalui laju pembakaran, baik itu pada permukaan horisontal maupun vertikal terhadap laju pembakaran, salah satu pengaruh laju bakar adalah penambahan bahan anti bakar/*flame retardants* ataupun penambahan jenis *filler* lainnya yang mempunyai titik lebur yang tinggi, seperti mineral. Umumnya kayu dan plastik mempunyai keadaan yang sensitif terhadap panas, misalnya kayu terbakar menjadi hangus, sedangkan plastik menjadi meleleh pada suhu lingkungan ekstrim, di sini lah peran bahan antibakar untuk mengurangi laju pembakaran berlebih. Bahan antibakar yang baik digunakan, akan menambah kekuatan produk, salah satu contoh bahan anti bakarnya adalah mineral [27].

Komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dengan sifat kelenturan/*flexural* yang tinggi dapat meningkatkan ketahanan permukaan dari adanya beban. Penambahan sifat tersebut tentunya berguna untuk menciptakan komposit yang berumur panjang dan juga membedakan sifat dari material yang

bukan komposit pada umumnya atau diartikan dengan menambah *flexural strength* tersebut pasti menambah kekuatan produk dan stabilitas ketahanan keadaan lingkungan yang efektif. Penambahan mineral akan memperbaiki kekuatan dan kelenturan/*flexural* yang tinggi, seperti dikatakan para ahli, bahwa penambahan mineral alami untuk *filler* ataupun penunjang *filler*, berperan sebagai komponen terbaik untuk meningkatkan kekuatan pada material komposit [2].

Komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dengan sifat tahan absorpsi air tercipta agar dapat melindungi permukaan serta komponen penyusun komposit ini dari keadaan lingkungan. Komposit yang tahan absorpsi air ini juga pasti menambah kekuatan yang baik pada strukturnya. Pengaturan kayu, plastik, dan *coupling agents* merupakan hal umum yang dilakukan untuk mempengaruhi sifat komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dengan sifat tahan absorpsi air, sedangkan pengaruh khusus yang dilakukan untuk menciptakan komposit tahan absorpsi air, yaitu dengan penambahan mineral dalam pengaturan *filler* mineral yang tepat, agar tujuan tahan absorpsi air tidak mengganggu stabilitas sifat mekanik lainnya, serta menjaga agar sifat komposit tersebut selalu terjaga alami [28].

Pembuatan produk komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dengan bahan utama serbuk kayu dan resin termoplastik merupakan salah satu alternatif pemanfaatan limbah kayu dan resin plastik, dalam rangka mengurangi pembebanan lingkungan terhadap akan limbah serbuk kayu serta menginovasi jenis plastik yang tersedia dalam jumlah besar untuk dimodifikasi menjadi produk yang bernilai. Produk ini dalam perkembangannya banyak diharapkan di masa depan. Produk ini bukan hanya menjadi pengembangan inovasi industri saja, tetapi juga memperbaiki akan adanya pembebanan lingkungan hidup yang kini menjadi hal yang masih dipikirkan. Dalam perkembangan rekayasa teknologi, perkembangan rekayasa jenis komposit ini akan melaju dengan pesat seiring dengan kebijakan masyarakat, apabila memikirkan efisiensi pengelolaan lingkungan yang efisien dan bijaksana [7]. Hal ini juga didukung dari kualitas kesuburan tanah bagi sumber daya alam hayati yang dimiliki oleh Indonesia, bahkan beberapa hasil penelitian telah menunjukkan bahwa produk-produk

berbahan dasar komposit ini mampu bersaing dengan produk-produk berbahan dasar logam dalam hal kekuatan dan keunggulan, meskipun mempunyai berat yang ringan [5].

2.6 Polyethylene (PE)

Secara umum *ethylene* merupakan struktur sederhana, *Polyethylene* (PE) merupakan senyawa yang dihasilkan dari hasil proses polimerisasi *ethylene*, yang strukturnya kompleks dan memiliki lingkup yang luas dalam banyak jenis variasi dengan setiap variasi terbentuk dari setiap proses yang berbeda [9]. Produksi *Polyethylene* (PE) telah mencakup skala mayoritas bagi konsumen termoplastik di seluruh dunia. Menurut analisis data *Chemical Market Associates Inc* (CMAI) dan *Chemical System* (CS), London, bahwa setiap tahunnya produksi *Polyethylene* (PE) di dunia selalu mencakup terbesar dari jenis termoplastik lainnya dan terus mengalami peningkatan yang tinggi seiring dengan kebutuhannya. *Polyethylene* (PE) juga merupakan resin yang harganya dinilai lebih terjangkau dibandingkan dengan jenis resin termoplastik lainnya [22]. *Polyethylene* (PE) memiliki sifat-sifat yang baik, seperti tahan terhadap air atau ketahanan dari reaktifitas kimia, sehingga dapat difabrikasi dengan berbagai cara, yaitu *injection molding*, *extrusion*, *blow molding*, dan *blown film*. Banyak dari jenis fabrikasi tersebut, *Polyethylene* (PE) dapat dibentuk menjadi berbagai macam produk yang sering hadir dalam kehidupan kita sehari-hari, seperti komponen otomotif, botol, perkakas, dan berbagai macam produk, di mana disebut *Polyethylene* (PE) sebagai termoplastik yang keberadaan produknya mencakup skala mayoritas dari jenis termoplastik lainnya [8].

Monomer dari *Polyethylene* (PE) adalah *ethylene*. *Ethylene* merupakan monomer terbanyak yang dihasilkan di industri petrokimia. *Ethylene* bersumber dari hasil perengkahan *naphtha* dalam kilang minyak bumi atau industri gas alam dan *Polyethylene* (PE) merupakan hasil polimerisasi *ethylene* itu sendiri. Menurut *Chemical Market Associates Inc* (CMAI), bahwa produksi *Polyethylene* (PE) dari *ethylene* lebih terjangkau dari pada produksi *Polypropylene* (PP) atau *Polyvinyl Chloride* (PVC) dari *ethylene*, sehingga *Polyethylene* (PE) lebih banyak diproduksi di dunia dan harganya secara umum lebih terjangkau dari

Polypropylene (PP) dan *Polyvinyl Chloride* (PVC). Reaksi pembentukan *Polyethylene* (PE) dari *ethylene*, yaitu dengan polimerisasi adisi atau berupa reaksi pemecahan ikatan rangkap menjadi ikatan tunggal [8].

Bentuk resin *Polyethylene* (PE) secara umum berwarna putih transparan dengan densitas bervariasi, yaitu 0,91-0,97 g/cm³ atau tergantung dari jenis struktur penyusunnya. Struktur rantai *Polyethylene* (PE) yang linear memiliki kristalinitas tinggi, sedangkan yang bercabang memiliki kristalinitas rendah. Semakin besar tingkat kristalinitas, semakin besar pula densitasnya [22]. Berikut ini adalah spesifikasinya:

❖ sifat fisik:

- rumus molekul : $(-\text{CH}_2 - \text{CH}_2-)_n$
- rantai molekul : linear dan bercabang
- fase : padat
- densitas : 0,91-0,97 g/cm³
- titik leleh : 120-140°C
- konduktivitas termal : 2,3-3,4 Btu/j.ft².°F
- kelembaban : 0,02% (1 jam dalam air)
- kristalinitas : 40-80%

❖ sifat kimia:

- pada suhu kamar tidak larut dalam pelarut organik, tetapi dapat mengendap oleh senyawa hidrokarbon
- ketahanan yang baik terhadap kondisi asam dan basa
- ketahanan yang baik terhadap oksidasi secara fisik maupun kimia
- bila dipanaskan secara kuat akan meleleh dan dapat menjadi padat kembali apabila didinginkan
- ketika meleleh sangat baik untuk melekat dengan material lainnya.

Polyethylene (PE) diklasifikasikan oleh *Society of the Plastic Industry* (SPI) berdasarkan densitasnya, yaitu: *High Density Polyethylene* (HDPE), *Ultra High Molecular Weight Density Polyethylene* (UHMWDPE), *High Molecular Weight Density Polyethylene* (HMWDPE), *Linear Low Density Polyethylene* (LLDPE),

Low Density Polyethylene (LDPE), dan *Very Low Density Polyethylene (VLDPE)*. Tiga kategori *Polyethylene (PE)* yang biasa digunakan menurut *Society of the Plastic Industry (SPI)*, yaitu *Low Density Polyethylene (LDPE)*, *Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)*, dan *High Density Polyethylene (HDPE)* [9].

2.6.1 *Low Density Polyethylene (LDPE)*

Low Density Polyethylene (LDPE) adalah jenis *Polyethylene (PE)* pertama yang produksi komersial. Pada tahun 1933 *Low Density Polyethylene (LDPE)* pertama kali diciptakan dan digunakan sebagai bahan pembungkus kabel untuk peralatan radar perang dunia. *Low Density Polyethylene (LDPE)* tercipta lebih dahulu dari *High Density Polyethylene (HDPE)* dan *Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)*, yang mana jenis polimer ini tercipta dengan harga pembuatan yang lebih murah dibandingkan dengan jenis *Polyethylene (PE)* lainnya hingga sampai saat ini. *Low Density Polyethylene (LDPE)* mempunyai rantai cabang yang banyak atau berarti strukturnya tidak kaku dan titik lelehnya tidak tinggi, sehingga mudah difabrikasi pada *film*, *injection molding*, *coating* dan *extrusion* dengan kondisi operasi pada suhu dan tekanan batas rendah. Hasil produk polimer ini mempunyai stabilitas lingkungan yang baik, sehingga dapat digunakan sebagai produk yang memiliki sifat daya tahan termal dan arus listrik yang stabil [29].



Gambar 2.1 Rantai Molekul *Low Density Polyethylene*

* Sumber: Dennis. 2010.

Low Density Polyethylene (LDPE) dapat diproses dengan berbagai macam bentuk yang disesuaikan dengan kebutuhan. *Low Density Polyethylene (LDPE)* mempunyai densitas sebesar $0,915-0,93 \text{ g/cm}^3$ dan titik leleh sekitar 120°C . Secara umum, sifat mekanik *Low Density Polyethylene (LDPE)* ini bersifat

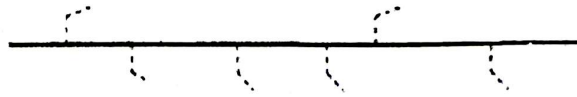
armophous dan mempunyai banyak percabangan pada struktur rantai monomer penyusunnya. Rantai hidrokarbon jenis polimer ini dinilai sukar diteliti karena mempunyai ukuran panjang yang memiliki banyak variasi cabang dibandingkan dengan jenis *High Density Polyethylene* (HDPE) dan *Linear Low Density Polyethylene* (LLDPE). Semakin banyak rantai cabangnya, maka semakin sensitif terhadap panas dan sifat kekuatan dan kekokohannya semakin kecil dari rantai molekul yang linear [22].

Melt index dari *Low Density Polyethylene* (LDPE) dijelaskan menurut metode uji *American Standard Testing and Material* (ASTM) D-1238, bahwa jenis polimer ini dapat terekstrusi dengan baik pada tekanan 298 kPa di dalam suhu 190°C pada 10 menit dengan hasil yang dapat menyesuaikan cetakan ekstrusi dengan baik. Densitas *Low Density Polyethylene* (LDPE) terukur menggunakan *American Standard Testing and Material* (ASTM) D-1505, yaitu mempunyai batasan 0,918-0,93 g/cm³ didapat pada sampel bubuk atau pelet di dalam takaran 1-5 g. Densitas yang terbentuk akan mempengaruhi kristalinitas polimer, di sisi lain densitas juga berpengaruh pada kekuatan dan daya tahan fisik polimer. Jika densitasnya tinggi maka kristalinitas serta kekuatan dan daya tahan fisiknya tinggi [29].

Low Density Polyethylene (LDPE) adalah resin yang mempunyai keadaan radikal rendah/*low toxicity*, reaktifitas rendah/*low reactivity*, dan daya bakar rendah/*low flammability*. Menurut *Standard for the Prevention of Dust Explosions in the Plastics Industry* (SPDEPI), jenis *Polyethylene* (PE) ini memiliki sedikit kadar abu yang rendah jika dibakar karena hasilnya akan mudah meleleh. Selanjutnya potensi *explosive* pada *Low Density Polyethylene* (LDPE) saat difabrikasi juga tergolong rendah [29]. *Low Density Polyethylene* (LDPE) mempunyai dua jenis bentuk resin, ada yang berbentuk bubuk atau pelet. Resin bubuk digunakan sesuai dalam proses *molding* dan *film*, sedangkan resin pelet digunakan sesuai dalam proses ekstrusi/*extrusion*. *Low Density Polyethylene* (LDPE) dalam proses ekstrusi biasanya dibentuk untuk pembuatan papan komposit. Densitasnya yang digunakan dengan baik pada 0,92-0,93 g/cm³ pada pembuatan produk komposit [2].

2.6.2 *Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)*

Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) adalah jenis *Polyethylene (PE)* komersial yang tergolong cukup besar produksinya. Menurut analisis data produksi dari *Chemical Market Associates Inc (CMAI)* pada tahun 2005, bahwa *Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)* diproduksi dengan kapasitas sekitar 15 miliar ton. Produksi *Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)* pertama kali dilakukan pada tahun 1968 di Amerika Serikat (AS) oleh *Phillips Petroleum Company (PPC)* [30].



Gambar 2.2 Rantai Molekul *Linear Low Density Polyethylene*

* Sumber: Dennis. 2010.

Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) merupakan jenis *Polyethylene (PE)* yang berstruktur kopolimer dengan kandungan senyawa *ethylene* dan α -olefin, contohnya *ethylene-1-butene copolymers*, *ethylene-1-hexene copolymers*, dan *ethylene-1-octene copolymers*. Polimer ini diproduksi dari hasil kopolimerisasi, di mana strukturnya terbentuk dari dua jenis monomer yang berbeda atau tidak sama dengan homopolimer. Struktur rantai polimernya tidak mempunyai rantai cabang berlebih, melainkan hampir mendekati bentuk rantai linear [8].

Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) mempunyai titik leleh cukup tinggi, yaitu 125-128°C dan titik rapuh pada suhu yang rendah sekitar -120°C pada konsentrasi α -olefin sebesar 1,5-2 mol%. Bentuk jenis polimer ini adalah semikristalin dengan densitas sekitar 0,93-0,94 g/cm³. Rantai hidrokarbon penyusunnya memiliki susunan polimer berupa ikatan tunggal [22].

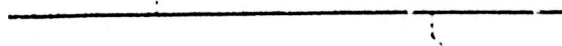
Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) juga merupakan jenis plastik yang mempunyai derajat kristalinitas sebesar 40-45%. Sifatnya yang cukup tahan larut dalam pelarut organik, tetapi dapat dipecahkan oleh pelarut hidrokarbon aromatik, alifatik, dan halogenasi pada suhu sekitar 80-100°C. Pelarut yang dapat

merusak struktur *Linear Low Density Polyethylene* (LLDPE) adalah senyawa asam, seperti *xilane*, *tetralin*, *decalin*, dan *chlorobenzene* [30].

Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) terbentuk sebagai resin yang mempunyai daya radikal rendah/*low toxicity*, reaktifitas rendah/*low reactivity*, dan daya bakar rendah/*low flammability*. Jenis polimer ini dapat digunakan sebagai pembungkus makanan atau berarti tidak menimbulkan kontaminasi tinggi. Sifatnya juga sangat baik jika diberikan pewarna atau *filler* pada strukturnya. *Linear Low Density Polyethylene* (LLDPE) pada proses ekstrusi sangat baik tercetak sesuai cetakan dan tercipta kedap udara. Aplikasi produknya mampu stabil terhadap kondisi lingkungan, memiliki daya tahan panas yang baik, dan sifat mekanik yang cukup kuat pada beban [30].

2.6.3 *High Density Polyethylene* (HDPE)

High Density Polyethylene (HDPE) adalah jenis *Polyethylene* (PE) yang digunakan secara mayoritas dan terbanyak dari jenis *Polyethylene* (PE) yang digunakan. *Chemical Market Associates Inc* (CMAI) menilai konsumsi jenis polimer ini terbanyak dari semua jenis termoplastik yang ada di dunia. *High Density Polyethylene* (HDPE) komersial merupakan produk hasil polimerisasi senyawa *ethylene* yang mempunyai densitas di atas $0,94 \text{ g/cm}^3$ dengan titik leleh $130\text{-}140^\circ\text{C}$. Rantai molekulnya tersusun linear, sehingga densitas polimer ini lebih tinggi dari jenis polimer rantai bercabang [9].



Gambar 2.3 Rantai Molekul *High Density Polyethylene*

* Sumber: Dennis. 2010.

High Density Polyethylene (HDPE) secara umum tersusun dengan sifat kristalinitasnya tertinggi dari jenis *Polyethylene* (PE) lainnya. Kekuatannya dengan baik menciptakan ketahanan kikis, ketahanan oksidasi, dan ketahanan lingkungan. *High Density Polyethylene* (HDPE) mempunyai titik leleh sekitar

130-140°C dan dapat mengalir dengan baik dalam proses ekstrusi pada suhu 140-200°C. *High Density Polyethylene* (HDPE) memiliki tahanan radikal kimia/low toxic, sehingga aman bagi kesehatan manusia dan lingkungan [9].

High Density Polyethylene (HDPE) pertama kali diciptakan di Cina pada tahun 1890 dari hasil polimerisasi *ethylene* tanpa katalis dan hasil produknya memiliki titik leleh 134-137°C dengan densitas sebesar 0,964-0,97 g/cm³ [9]. Selanjutnya pada tahun 1938 telah diciptakan jenis *High Density Polyethylene* (HDPE) dari hasil polimerisasi *ethylene* menggunakan katalis logam alkali dan hasil produknya memiliki titik leleh 132-134°C dengan densitas sebesar 0,975-0,98 g/cm³ [22].

Stabilitas *High Density Polyethylene* (HDPE) terhadap lingkungan memiliki lebih baik dari jenis *Polyethylene* (PE) lainnya, sehingga jenis polimer ini sangat baik dalam aplikasi industri otomotif [9]. Fabrikasinya dapat dilakukan dengan berbagai macam metode, seperti *injection molding*, *extrusion*, *blow molding*, *piping*, *cable coating*, *tubing*, dan *cast film* [8].

Pada *injection molding* atau *extrusion*, *High Density Polyethylene* (HDPE) dengan baik dioperasikan pada suhu 140-260°C dalam tekanan 140 MPa. Setelah itu, cetakan dapat didinginkan, kemudian saat cetakan mengeluarkannya, dapat menghasilkan plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) dalam keadaan padatan dengan ukuran yang sesuai cetakan. Hasil yang didapat pada *injection molding* tersebut beraneka ragam, seperti peralatan rumah tangga, peralatan kesehatan, dan sebagainya, sedangkan proses *extrusion* pada polimer ini dapat menghasilkan produk berupa lis plafon, lantai komposit dan produk-produk papan lainnya [2,8].

Pada aplikasi komposit, *High Density Polyethylene* (HDPE) memiliki lebih baik kekuatannya dibandingkan dengan jenis *Polyethylene* (PE) lainnya, selain dari pada itu, sifat-sifatnya cukup baik untuk melindungi *filler* dari radikal lingkungan ke permukaan komposit. Teknologi pembuatan komposit kayu plastik/*wood plastic composite* (WPC) dengan menggunakan matriks *High Density Polyethylene* (HDPE) biasanya mencakup harga dan proses yang lebih terjangkau jika dibandingkan dengan penggunaan jenis poliolefin lainnya [8].

2.7 Kayu

Kayu merupakan suatu material hasil dari sumber daya alam yang dapat diperbarui atau dari suatu tumbuhan yang sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Material ini seringkali dimanfaatkan oleh banyak orang sebagai produk yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan hidup, seperti perkakas, kertas, tekstil, bahan kimia, bahan bakar, dan berbagai kebutuhan lainnya. Setiap periodenya, pemanfaatan produk yang membutuhkan kayu sebagai bahan baku perlu dikelola dengan cara 4R, yaitu pemanfaatan kembali/*reuse*, pengurangan pemakaian/*reduce*, daur ulang kembali/*recycle*, dan pemulihan kembali/*recovery* karena mengingat kebutuhan kayu sebagai material akan tetap diperlukan di masa depan [31].

Di Amerika Serikat (AS), kebutuhan kayu mencapai 46% dari sumber kayu yang tersedia, yaitu 30% dari 46% tersebut digunakan sebagai bahan pembuatan produk komposit dan kertas. Kini konsumsi kayu telah meningkat sebanyak 26% atau menjadi 72% dari jumlah kayu yang tersedia, sehingga pengetahuan teknologi kayu yang disetimbangkan dengan sumber daya alam kini sangat diperlukan untuk menjamin kebutuhan di masa depan [31]. Struktur kayu kuat dan kaku, tetapi strukturnya rentan terhadap air atau zat cair. Strukturnya juga dapat dirusak oleh larutan alkali dan reaksi-reaksi asam yang terkontakan ke kayu. Pengetahuan hal ini membuat penggunaan kayu harus dilakukan secara efektif dan bijaksana [3].

Kayu dalam aplikasi kebutuhannya diklasifikasikan menjadi *hardwoods* dan *softwoods*. *Hardwoods* ditemui pada kayu dengan pohon berdaun lebar, sedangkan *softwoods* ditemui pada kayu dengan pohon berdaun yang menjarum. Contoh pohon yang berjenis *hardwoods* seringkali ditemui pada pohon kapas, balsa, jati, dan sebagainya. Contoh pohon yang berjenis *softwoods* seringkali kita temui pada cemara, pinus, pohon berbunga dan sebagainya. *Hardwoods* dan *softwoods* mengandung berbagai variasi jenis sel, tetapi variasi sel lebih banyak terkandung di dalam *hardwoods* dari pada *softwoods*, sehingga mayoritas struktur *hardwoods* lebih kuat dan kaku dari pada *softwoods*, hal ini didukung juga oleh kandungan lignin pada *softwoods* yang lebih banyak dari pada *hardwoods*. Setiap

jenis kayu selalu mempunyai kekuatan dan kekerasan yang tinggi terhadap sifat alaminya [3].

Kayu juga merupakan struktur material kompleks, di mana berisi sebagian besar lignin dan karbohidrat yang berupa selulosa dan hemiselulosa, kemudian struktur hemiselulosa pada kayu lebih dominan dari pada struktur selulosanya. Semua variasi ini bergantung dari banyak hal, seperti letak geografis, kesuburan tanah, dan kondisi cuaca lingkungan. Kayu juga mempunyai elemen pengikat yang terkandung di dalamnya, seperti karbon dioksida, hidrogen, dan oksigen [31].

Industri pemotongan kayu skala kecil yang jumlahnya mencapai ribuan unit dan tersebar luas di pedesaan, sampai saat ini limbah tersebut belum dimanfaatkan secara optimal [32]. Kemajuan teknologi seperti sekarang ini sebenarnya dapat lebih mengoptimalkan pemakaian kayu sampai pada limbah serbuknya, tetapi selama ini pemanfaatan limbah serbuk kayu sekedar digunakan sebagai bahan yang dibakar, sehingga patut disayangkan peluangnya [3]. Saat ini pemanenan seiring pengelolaan kayu, khususnya di Indonesia masih terbilang menghasilkan limbah yang cukup besar tetapi belum optimal pemanfaatannya, sehingga dasar inovasinya belum dikembangkan [6].

Kebutuhan manusia akan penggunaan kayu sebagai bahan infrastruktur selalu meningkat setiap tahunnya. Perkembangan industri pemanfaatan kayu diperkirakan sangat besar, sedangkan produksi kayu yang baik diperkirakan tidak mampu menutupi kebutuhan tersebut. Hal ini menunjukkan sebenarnya daya dukung hutan tidak lagi mendukung ketersediaan kayu dengan baik, didorong dengan pengelolaan dari manusia itu sendiri yang tidak sehat bagi keadaan alam, serta banyak bencana yang mengintai di dalam hutan, sehingga ketersediaan kayu semakin menipis, seperti terjadinya bencana tanah longsor, kebakaran hutan, gunung meletus, banjir, dan cuaca ekstrim, yang mana dari permasalahan ini, dapat mendukung pemanfaatan kayu perlu dilakukan secara efisien, dalam rangka memanfaatkan kayu sampai pada limbah serbuknya [33]. Patut disayangkan jika pemanfaatan kayu tidak dilakukan secara efisien terutama pada limbah serbuknya

yang dibiarkan begitu saja dan masyarakat pasti akan terkena dampaknya dari adanya kerugian tersebut [31].

2.7.1 Selulosa

Selulosa adalah komponen struktur pada kayu yang pertama kali dikenalkan oleh Anselme Payen pada tahun 1838. Nama selulosa dikenal sebagai polimer dari molekul gula, seperti glukosa, sukrosa, dan/atau fruktosa yang tersusun membentuk rantai panjang. Selulosa merupakan produk alami sebagai bahan baku pembuatan material dan kehadiran selulosa tidak akan pernah habis karena selulosa merupakan material yang tercipta dari sumber alam terbarukan, yaitu tumbuh-tumbuhan. Seperti para ahli ketahui, untuk menjamin keberlangsungan produksi selulosa, yaitu dengan menjaga dan merawat tanaman hijau pada hutan atau kebun dengan tidak merusak tanpa alasan yang jelas. Contoh selulosa yang kita jumpai, yaitu pohon kapas yang memiliki selulosa hingga 90%, selain dari pada itu tumbuhan lain juga memiliki kandungan selulosa dengan berbagai macam besaran kandungannya. Kandungan selulosa pada serat alam sangat mempengaruhi kekuatan pada serat tersebut, yang mana serat alam memiliki kadar selulosa yang tinggi, maka sudah pasti memiliki kekuatan yang tinggi [34].

Di dalam komponen kayu, selulosa merupakan bagian utama yang tercipta dengan rantai molekul terpanjang dan terkuat yang mana strukturnya terjaga dan terikat atau terbungkus satu sama lain pada sel kayu oleh lignin. Selulosa mempunyai elemen utama sebesar 44,4% karbon, 6,2% hidrogen, dan 49,4% oksigen. Selulosa memiliki struktur yang kuat atau dalam arti sukar terpecahkan oleh keadaan alam. Struktur kuat selulosa secara umum memiliki nilai kekuatan tekan sebesar $0,59 \text{ Pa}\cdot\text{mm}^3/\text{g}$ atau dalam arti dinilai lebih kuat dari kawat baja yang mempunyai kekuatan tekan $0,26 \text{ Pa}\cdot\text{mm}^3/\text{g}$, sehingga strukturnya sangat lazim sebagai produk alami dengan stabilitas yang baik bagi keadaan lingkungan. Pada penelitian lain, selulosa dapat terdegradasi oleh keadaan asam atau basa berlebih ataupun kehadiran jamur dan bakteri, tetapi selulosa selalu dinilai mempunyai kristalinitas yang baik atau kuat dengan ikatan hidrogen yang baik [35].

Selulosa di dalam dunia industri yang sering dipakai, berasal dari kayu atau biji-bijian yang dimanfaatkan sebagai penguat untuk pembuatan produk, khususnya komposit atau produk kertas dan kapas karena mempunyai nilai yang baik dan kuat untuk diproses lebih lanjut, seperti proses pemutihan pada kertas [34]. Selulosa juga sangat baik dihidrolisa menjadi monomer gula seperti glukosa yang memiliki tujuan membentuk kristal gula atau bahan fermentasi pembuatan bioplastik. Demikian dikatakan selulosa mempunyai nilai manfaat atau prospek yang tinggi bagi kehidupan dan merupakan material alami yang lebih baik jika dibandingkan dengan material polimer sintesis [35].

2.7.2 Hemiselulosa

Hemiselulosa adalah suatu komponen biomassa pada tumbuhan yang sebagian besar mengandung struktur molekul selulosa dan lignin. Istilah hemiselulosa pertama kali dikenalkan pada abad ke 19 oleh seorang ilmuwan Jerman yang bernama Schulze, di mana istilah ini dikenalkan dengan tujuan agar dapat membedakan struktur non selulosa sebagaimana hemiselulosa lebih mudah larut oleh pelarut organik dibandingkan dengan selulosa dan mempunyai derajat polimerisasi yang lebih rendah dari selulosa. Kandungan yang ada pada hemiselulosa, ada yang dapat membantu pertumbuhan atau kekuatan alami yang baik dan ada juga yang dapat merusak. Hemiselulosa lebih banyak mengandung selulosa dan lignin, namun komponen selulosa sebagian memiliki kandungan yang membantu pertumbuhan dan kekuatan yang baik, seperti selulosa dan protein ataupun beberapa ikatan elemen lainnya, seperti hidrogen, karbon, dan oksigen. Kandungan hemiselulosa yang dapat merusak strukturnya, biasanya berupa getah. Kandungan selulosa yang mempunyai kelembaban tinggi, yaitu lignin, yang mana dapat membuat hemiselulosa tidak baik untuk berkombinasi dengan termoplastik pada pembuatan komposit [36].

Pada pembuatan produk komposit, kandungan hemiselulosa yang berperan penting, yaitu kandungan selulosanya dari pada kandungan ligninnya. Selulosa berperan penting dalam membantu suatu proses pembentukan komposit, baik itu proses kimia maupun proses biokimia karena memiliki kekuatan yang tinggi dari pada lignin [35]. Dalam kontak dengan larutan alkali pada hemiselulosa, lignin

tidak dapat bertahan dengan larutan alkali, sehingga hemiselulosa dapat dimurnikan kandungannya jika diekstraksi dengan larutan alkali pada kondisi dan batasan tertentu [36].

2.7.3 Lignin

Lignin merupakan salah satu komponen besar pada kayu. Nama lignin diistilahkan dari bahasa latin yang dikenal *lignum*. Lignin merupakan suatu komponen polimer alam organik yang dominan setelah selulosa pada struktur kayu. Lignin terkandung sebagian besar pada *softwoods*, yaitu 27-33%, pada *hardwoods* sebesar 18-25%, dan pada rumput sebesar 17-24% dan lignin tidak terkandung pada alga ataupun lumut [37].

Lignin merupakan unit susunan *polyphenolic* yang mampu menyerap sinar ultraviolet ke dalam struktur kayu dan mampu mendistribusikan air ke setiap komponen kayu [37]. Lignin mempunyai struktur amorf yang cukup tinggi. Konsentrasi lignin pada dinding kayu, sebesar 70% dan konsentrasi lignin di dalam kayu sebesar 30% serta wujudnya dapat menyesuaikan dengan baik pada struktur selulosa dan protein yang ada pada kayu. Lignin bagi tumbuhan berfungsi sebagai media transportasi molekul air, nutrisi, dan metabolisme bagi sel tumbuhan. Lignin selalu melekat pada setiap susunan sel kayu [38].

Lignin di dalam kayu terbentuk dari hasil polimerisasi alami dehidrogenasi *p-hydroxycinnamic alcohol* yang terbentuk menjadi *polyphenolic* aromatik, sehingga lignin juga sering disebut polimer dehidrogenatif yang secara umum dikenal oleh para peneliti. Lignin tidak seperti halnya polisakarida yang dikenal dengan struktur kuat yang ada pada suatu tumbuhan [37].

Lignin mudah larut oleh pelarut alkali atau hanya dengan 5% larutan alkali saja di dalam air pada suhu kamar, di mana apabila terjadi kontak antara lignin dengan larutan alkali tersebut, maka lignin akan terdegradasi. Biasanya pelarutan lignin dilakukan untuk pembuatan produk yang memanfaatkan selulosa agar produk tercipta dengan sempurna karena lignin mempunyai kelembaban yang tinggi dan sifat yang tidak cocok untuk dikombinasikan dengan bahan sintetis dengan baik [37].

Berdasarkan analisis para ahli, sifat lignin terhadap pembuatan produk, khususnya produk komposit, lignin tidak akan menambah kekuatan, akan tetapi mengurangi kekuatan produk. Lignin harus dipastikan dalam keadaan berjumlah sedikit, sehingga jika kayu akan diproses, khususnya proses kombinasi bahan, maka lebih baik lignin dipastikan dengan kandungan sedikit atau jika perlu dihilangkan sebelum adanya kombinasi bahan yang dilakukan dengan tujuan mendapatkan produk dengan bentuk terbaik [38].

2.7.4 Kayu Jati

Kayu jati/*tectona grandis* merupakan kayu dari suatu tumbuhan bermarga *verbenaceae* yang terkenal dengan struktur kokoh, ketahanan yang baik terhadap keadaan lingkungan dan salah satu kayu yang menarik di dunia, di mana dapat diaplikasikan ke berbagai produk yang sesuai dengan kegunaannya [4]. Kayu jati di Indonesia ditanam sejak zaman Belanda dan telah dimanfaatkan secara luas oleh masyarakat, terutama untuk bahan bangunan dan perkakas [39]. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), produksi kayu jati di Indonesia pada tahun 2014 sekitar 0,12 juta m³ dan tersebar 87,08% di pulau Jawa yang tercatat terbanyak di Indonesia [5]. Kebutuhan kayu jati yang setiap tahunnya terus meningkat dan ketersediaannya terus berkurang, maka penggunaannya harus dilakukan dengan cara yang bijaksana, yaitu dengan memanfaatkan limbahnya menjadi produk yang bermanfaat [40].

Pohon jati biasanya membutuhkan waktu 10-15 tahun untuk bisa diambil kayunya. Namun, menurut hasil penelitian biologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), kini menemukan kayu jati yang dinamakan kayu jati platinum yang bisa mencapai diameter 30 cm hanya dalam waktu lima tahun atau berarti bisa dipanen sebagai kayu untuk bahan bangunan. Jati platinum sejak tahun 2011 sampai saat ini sudah tersebar banyak dengan sistem tebang pilih tanam di beberapa wilayah yang sebagian besar di pulau Jawa dan Sumatera [41].

Kayu jati memiliki densitas sebesar 0,67 g/cm³ dan semakin besar pertumbuhan kayu jati hingga mencakup skala dewasa, maka semakin besar densitasnya pula atau mencapai kisaran 0,9 g/cm³. Pertumbuhan kayu pada pohon jati selalu bergantung dari kondisi kesuburan tanah dan kondisi cuaca,

seperti curah hujan. Kayu jati dan kayu mahoni umumnya dikenal dengan kekuatan yang baik, penelitian telah dilakukan dalam pengujian ketahanan absorpsi air dan ketahanan bakar pada kedua kayu tersebut. Kayu jati mempunyai daya tahan absorpsi air yang lebih baik dari kayu mahoni, di mana kayu jati mampu menyerap air hanya 40%, sedangkan kayu mahoni mampu menyerap air hingga 55%. Kayu jati juga dibuktikan mempunyai ketahanan bakar yang lebih baik dari kayu mahoni [42].

2.8 Aditif

Aditif adalah suatu zat atau bahan yang ditambahkan secara sengaja ke dalam komposisi suatu produk. Aditif biasa ditambahkan dalam jumlah minoritas pada komposisi produk karena bahan tersebut hanya sebagai stabilitas sifat untuk menunjang kekuatan dan umur panjang pada suatu produk, khususnya produk komposit. Sejak zaman dahulu, penggunaan aditif sudah banyak digunakan pada suatu material dalam bentuk alami, sedangkan saat ini aditif dikembangkan menjadi bahan sintesis yang dijadikan sumber modifikasi terbaik untuk menunjang sifat khusus bagi suatu produk, khususnya komposit. Beberapa aditif yang sering kita jumpai adalah suatu bahan atau zat yang diaplikasikan pada antioksidan, antiozon, pengawet, penangguh, pewarna, dan sebagainya baik pada industri material maupun industri makanan [45,46].

2.8.1 Irganox 1010

Irganox 1010 merupakan antioksidan berupa senyawa *phenolic*, di mana dalam ilmu kimia sering diistilahkan *pentaerythritol tetrakis* yang digunakan untuk memperlambat reaktifitas material organik [1]. Senyawa *pentaerythritol tetrakis* atau *irganox 1010* cukup baik sebagai *compatibilizer* jika digunakan pada batasan tertentu karena mempunyai volatilitas yang rendah dan daya tahan ekstraktif yang baik. *Irganox 1010* mempunyai titik leleh 110-125°C dan densitas 1,15 g/cm³. *Irganox 1010* mempunyai sifat *toxicity* bagi kulit yang rendah pada batasan yang sesuai takaran tertentu [45].

Pemakaian *irganox* 1010 dengan baik dapat meningkatkan stabilitas proses kimia dan stabilitas termal karena senyawa fenol dinilai lebih baik dari senyawa lainnya untuk aplikasi antioksidan. Pembuktian ini telah banyak dilakukan oleh para ahli, bahwa penambahan *irganox* 1010 ke berbagai jenis polimer yang berbeda dinilai sukses membuat stabilitas proses maupun stabilitas termal dengan baik. Stabilitas termal yang baik, dapat membuat pigmen dengan kontras baik bagi material, khususnya material organik [45].

Penambahan *irganox* 1010 sebagai antioksidan bagi poliolefin sering dilakukan dengan konsentrasi rendah atau sekitar 0,1-1%, agar menjadi stabilitas yang baik terhadap keadaan oksidasi yang terjadi di permukaan poliolefin. Pemakaian konsentrasi ekstrim *irganox* 1010 pada polimer dengan baik dilakukan jika polimer tersebut diproses pada keadaan suhu tinggi atau di atas suhu 300°C, baik dalam proses ekstrusi maupun pencetakan/*molding* [45]. Pemakaian *irganox* 1010 dalam takaran yang sesuai selalu menjamin dengan stabilitas termal atau tahan oksidasi dalam jangka waktu lama [1].

Para ahli di *Polymer Institute, Slovak Academy of Sciences (PISAS)* dan *Polymer Chemistry Research Group (PCRG)*, Slovakia telah menyatakan penambahan *irganox* 1010 dapat meningkatkan lebih lama waktu induksi sinar ultraviolet pada *Polyolefin* dibandingkan *Polyolefin* tanpa *irganox* 1010. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan *irganox* 1010 tergolong efektif bagi stabilitas dan kondisi lingkungan [45].

2.8.2 Kalsium Karbonat

Kalsium karbonat adalah senyawa kimia alami yang didapatkan pada batu kapur. Produksinya didapat oleh pabrik mineral dengan menggapai proses *rekarbonisasi* sampai membentuk rumus kimia CaCO_3 . Sifatnya tidak beracun dan dengan baik digunakan di industri kertas, cat, polimer, karet, tinta, atau produk komposit. Pemakaian kalsium karbonat telah lama digunakan dan diproduksi komersial sejak tahun 1850 di Inggris dan tahun 1913 di Amerika Serikat (AS). Pada tahun 1945 pemakaian kalsium karbonat telah dikenal luas oleh masyarakat dunia sebagai pemberi warna cemerlang pada kertas dan *filler* komposit [47].

Peranan penggunaan kalsium karbonat sebagai *filler* telah banyak dilakukan oleh para peneliti. Hal ini terbukti bahwa kalsium karbonat mempunyai stabilitas yang baik terhadap sifat mekanik dan pigmen alami pada matriks, khususnya matriks polimer [48]. Kalsium karbonat sangat baik untuk penambahan nilai kekuatan dan kekokohan suatu produk, tanpa mengalami penyusutan bagi produk itu sendiri. Kalsium karbonat mempunyai sifat tahan panas atau yang berarti tidak mudah terdegradasi oleh kondisi panas ekstrim sekalipun. Setelah itu kalsium karbonat juga sukar larut dalam air atau dengan suhu 18°C pada air, maka kalsium karbonat hanya terlarut 0,0013 g saja [47].

Dalam industri kertas, keuntungan pemakaian kalsium karbonat, yaitu sebagai penambah warna cemerlang kertas dan daya tahan terhadap kekuningan atau kusam bagi kertas dalam waktu lama. Selain dari pada itu, kalsium karbonat juga termasuk *filler* alami pada kekuatan kertas agar tidak mudah rusak dengan keadaan tertentu [47].

Dwi Wahini Nurhajati dan Brotoningsih, 2012 telah melakukan penelitian penambahan kalsium karbonat pada *Polyvinyl Chloride* (PVC) dan hasilnya dapat meningkatkan sifat mekanik dan stabilitas termal bagi struktur polimernya [49]. Selanjutnya Hongzen Cai, 2017 juga telah melakukan penelitian penambahan 0,5-10% kalsium karbonat pada komposisi komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC), hasilnya dapat membuktikan bahwa penambahan level sampai batasan 10% kalsium karbonat pada komposisi komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dapat meningkatkan sifat kelenturan/*flexural* dan kerenggangan/*tensile modulus* pada material komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) tersebut [48].

2.8.3 Asam Stearat

Asam stearat merupakan asam lemak jenuh dengan rumus kimia $(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH})$ yang diperoleh dari hasil industri nabati atau hasil hidrogenasi minyak nabati. Wujudnya padat pada suhu ruang dengan titik lebur sekitar 70°C dan titik didih sekitar 360°C. Menurut hasil penelitian Johnson dan Cantrell, 2004 bahwa asam stearat dengan kemurnian 90% mempunyai titik lebur

sebesar 59°C, dengan arti pada batasan suhu rendah, asam stearat mudah bereaksi dengan baik [50].

Nicole Stark, 1999 telah meneliti komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dengan penambahan asam stearat sebesar 3%, hasil yang didapat bahwa penambahan tersebut tidak mempengaruhi nilai tambah *flexural modulus* ataupun *tensile modulus*, melainkan, mengurangi sifat tersebut, tetapi nilai tahan panasnya bertambah. Kemudian Nicole Stark mencoba lagi dengan penambahan asam stearat sebesar 1,8%, hasilnya asam stearat walaupun tidak mempengaruhi kelenturan/*flexural* ataupun kerenggangan/*tensile modulus*, tetapi mempunyai pengaruh positif, yaitu menambah nilai dispersi yang merata pada partikel *filler*, kemudian juga menambah nilai tahan panas [51].

Dalam tinjauan lain, pada karet biasanya asam stearat mempengaruhi vulkanisasi terjadi dengan baik atau disebut aktivator karena mempunyai sifat pendispersi sebagai nanopartikel bagi bahan *filler* saat proses terjadi, tanpa harus memakan waktu lama dalam pengadukan. Demikian asam stearat dengan baik digunakan sebagai media pendispersi *filler* dan mampu mengurangi lamanya waktu pengadukan yang harus dicapai [50].

2.8.4 Nanoclay

Nanoclay atau yang disebut *clay* merupakan salah satu jenis mineral. Di alam, *clay* diklasifikasikan menjadi dua kelas yaitu *residual clay* dan *transported clay* atau *sedimentary clay*. *Residual clay* dihasilkan dari hasil permukaan batuan kapur yang terkena cuaca dingin atau hujan, sedangkan *transported clay* adalah *clay* yang dipisahkan secara alamiah, yaitu terbentuk karena erosi [43]. *Clay* sintesis berupa *residual clay* yang diproduksi dari hasil dekomposisi kimia pada senyawa kapur [11].

Nanoclay yang secara umum digunakan sebagai aditif dalam industri karet dan plastik adalah *kaolin clay*. *Kaolin clay* secara alamiah biasa terbentuk dari peristiwa erosi batuan kapur, sehingga jenis *clay* ini disebut *transported clay* atau *sedimentary clay*, sedangkan *kaolin clay* sintesis terbentuk dari dekomposisi kimia senyawa kapur berjenis *potash feldspar*, yang mana dekomposisi tersebut dilakukan dengan metode direaksikannya *potash feldspar* dengan molekul air,

sehingga tidak heran jika produk *kaolin clay* yang digunakan sebagai aditif dalam industri karet dan plastik komposit dapat rentan terhadap tingginya absorpsi air di permukaan komposit tersebut dan molekul air yang terkandung pada *nanoclay*, membuat *nanoclay* tersebut memiliki ekspansi termal yang rendah, maka dengan baik *nanoclay* digunakan sebagai bahan anti bakar/*flame retardants* [11].

Penambahan *nanoclay* pada komposit ternilai dapat meningkatkan nilai kelenturan/*flexural*. *Nanoclay* dibuktikan meningkatkan nilai kelenturan/*flexural* karena mengandung molekul air dan berbagai macam unsur mineral, seperti Titanium dioksida (TiO_2), Aluminium trioksida (Al_2O_3), Silika (SiO_2), dan berbagai mineral penyusun lainnya [10,44].

Penambahan *nanoclay* pada komposit ternilai dapat meningkatkan daya absorpsi air yang tinggi. *Minerals Society International* (MSI) telah menyebutkan, bahwa *nanoclay* mempunyai potensi penyerapan air yang tinggi karena *nanoclay* terbentuk dari batuan kapur alami yang sensitif dalam absorpsi air, sehingga dikatakan *nanoclay* ternilai sebagai mineral yang sensitif terhadap adanya potensi penyerapan air [11].

2.9 Metode Pembentukan Komposit Kayu Plastik

Metode pembentukan komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) merupakan suatu cara terpenting dalam menentukan karakter komposit yang ingin dibentuk dan menciptakan kesesuaian antara komposisi untuk saling menyatu atau homogen pada komposit itu sendiri. Beberapa metode dalam pembentukan komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) tersebut antara lain dapat diuraikan sebagai berikut [2].

2.9.1 Pengadukan

Pengadukan komposisi bahan pembentuk sebelum tahap ekstrusi pada komposisi yang telah ditetapkan, merupakan salah satu syarat penting dalam pembentukan komposit. Pengadukan ini menggunakan alat pengaduk/*blender* yang bertujuan untuk mendispersi komposisi sampai merata antara *filler*, aditif, matriks, dan *coupling agents* yang digunakan dalam suatu proses pembentukan komposit untuk menjadi homogen pendispersiannya antara setiap partikel. Mesin

pengaduk yang digunakan untuk pra ekstrusi ini biasanya dengan kecepatan 100 rpm dan lama waktu maksimal 10 menit [2].

2.9.2 Proses Ekstrusi

Proses Ekstrusi adalah suatu proses di mana bahan dipaksakan oleh sistem ulir untuk mengalir dalam suatu ruang/*barrel* yang berukuran tertentu dan di dalamnya mengalami pencampuran sekaligus pemasakan pada satu sistem dengan baik. Mesin ekstrusi yang baik adalah mesin yang rutin akan perawatan, salah satunya pembersihan ulir/*barrel* agar tercegah dari adanya pengotor berupa kerak, baik dari sisa bahan maupun korosif [52].

Sumber panas dalam proses ekstrusi ini mencapai titik leleh termoplastik sampai terjadinya daya angkut antar bahan dengan ulir. Kerja ulir tersebut menghasilkan akumulasi tekanan dalam sistem *barrel* ekstruder yang diatur baik dalam kecepatan masuk/*feeder speed* dan kecepatan proses/*main speed* yang antar kedua kecepatan tersebut sinkron atau serentak pada saat sistem mesin dijalankan. Bahan terekstrusi akan dipaksakan keluar melalui cetakan/*die* yang berukuran sesuai cetakan yang ingin terbentuk, di mana bahan yang panas dalam pengadukan akan dikembalikan pada tekanan normal dan suhu kamar secara seketika, yaitu dengan cara mendinginkan seperti halnya sistem alat penukar kalor/*heat exchanger* [52].

Mesin yang digunakan dalam proses ekstrusi dirancang dengan beragam akses pendukung dan kondisi operasi yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengolahan, tepatnya ketersediaan kipas pendingin dan penghisap *vacuum*, jadi jika produk masih mentah tetapi telah diatur kondisi operasi yang sesuai, maka dapat dibantu pengaturan stabilitas panasnya dan akan diabsorpsi kelembaban yang masih terkandung pada bahan secara efektif. Produk yang keluar dari tahap ekstrusi ini disebut ekstrudat dengan sifat yang sesuai dengan komposisi yang telah direncanakan [52].

Terdapat dua macam mesin ekstrusi, yaitu ulir tunggal yang dinamakan *Single Screw Extruder* (SSE) dan ulir ganda yang dinamakan *Twin Screw Extruder* (TSE). Bagian penting dalam mesin tersebut adalah ulir/*screw* dan ruang/*barrel*. Pada pembuatan komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite*

(WPC) dengan baik menggunakan ekstruder berjenis ekstruder ulir ganda/*Twin Screw Extruder* (TSE) karena homogenitas serbuk kayu atau *filler* yang terkombinasi akan berikatan dengan matriks termoplastik menjadi suatu susunan dengan komposisi yang lebih homogen [52].

Prinsip kerja ekstrusi adalah proses pemanasan biji plastik atau resin plastik hingga menjadi lelehan plastik yang dapat mengikat *filler* yang dibentuk dalam pengaruh tekanan dan suhu tinggi, kemudian keluar melalui pencetak/*die* dengan harapan bentuk yang sempurna sesuai sifat yang diinginkan [52].

Prosedur kerja pada alat *Twin Screw Extruder* (TSE) oleh GPM Machinery Co, Ltd, Cina, yaitu:

1. bahan mentah dimasukkan ke dalam *hopper*
2. ulir membawa bahan ke sepanjang ruang/*barrel* di zona *filler*
3. bahan akan memenuhi sepanjang ruang/*barrel* yang bahan tersebut akan teraduk dengan pemanasan perlahan untuk mengurangi kelembaban dan uap lembab akan diabsorpsi oleh penghisap *vacuum*
4. ketika bahan telah melewati ruang/*barrel* di zona *filler*, ulir akan membawa bahan ke ruang/*barrel*, kemudian bahan dibawakan ke zona inti untuk diaduk. Selama bahan menjadi *compound*, ulir akan mendorong keluar bahan melalui cetakan yang sesuai dengan bentuk tertentu, di mana sepanjang cetakan, bahan akan mengalami peristiwa perubahan suhu dan tekanan yang semakin rendah sampai bahan menjadi produk yang masuk ke dalam cetakan akhir/*die* dalam keadaan semakin mengeras
5. kemudian bahan masuk ke dalam cetakan akhir/*die* dan bahan melewati fase pendinginan di dalam cetakan akhir/*die*, yaitu dengan halnya peristiwa penukaran panas dengan fluida air di dalam pipa selubung/*tube*. Pada akhirnya, bahan keluar dari cetakan akhir/*die* dengan tekanan dan suhu berkondisi lingkungan atau disebut produk bersuhu kamar yang keluar dengan bentuk cetakan sesuai ukuran yang ditetapkan.

Prinsip alat ekstrusi dalam pencampuran bahan pada komposisi komposit, dinamakan *melt blending* dengan menggunakan suhu dan gaya geser yang tinggi dengan tujuan untuk mendispersi seluruh *filler* ke dalam matriks polimer dan

coupling agents yang digunakan dalam proses tersebut. Matriks polimer yang digunakan sebagai media pendispersi selalu berjenis termoplastik [52].

Kaboorani, 2000 telah melakukan pencampuran bahan dengan total berat komposisi 20 Kg pada komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) hasil kombinasi serbuk kayu dengan resin *High Density Polyethylene* (HDPE) yang semuanya diatur pada *Twin Screw Extruder* (TSE) dengan kondisi operasi suhu 163-170°C, kecepatan putar 5rpm dan pendingin cetakan akhir/*die* bersuhu 20°C [28]. Sommerhuber dan Johannes, 2015 telah mengolah serbuk kayu dan resin *High Density Polyethylene* (HDPE) hasil dari daur ulang plastik untuk membentuk komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC), dengan alat yang digunakan *Twin Screw Extruder* (TSE) berkondisi operasi maksimal suhu 170°C dengan kecepatan putar 5 rpm dan pendingin cetakan akhir/*die* sebesar suhu kamar. Hasil yang didapat dari kedua contoh percobaan tersebut sudah membuktikan keberhasilan akan pembuatan produk yang sesuai prosedur secara efektif dan efisien [53].

2.10 Karakterisasi Komposit Kayu Plastik

Sifat mekanik yang diuji pada penelitian ini adalah uji bakar/*flammability testing*, uji kelenturan/*flexural testing*, dan uji absorpsi air/*water absorption testing*. Persiapan sampel karakterisasi disesuaikan dengan kebutuhan alat dan prosedur pengujian. Karakterisasi yang dilakukan dalam pembuatan komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC), yaitu uji bakar/*flammability testing* sesuai dengan metode uji ASTM D-635, uji kelenturan/*flexural testing* sesuai dengan metode uji ASTM D-790 dan uji absorpsi air/*water absorption testing* sesuai dengan metode uji SNI 8154:2015 [2,54].

2.10.1 Uji Bakar/*Flammability Testing*

Uji bakar/*flammability testing* adalah uji yang dilakukan untuk menghitung seberapa lama suatu sampel dapat terbakar pada batas tertentu. Uji ketahanan bakar pada sampel dilakukan berdasarkan besarnya bahan yang relatif dan sumber pengapian menggunakan gas *acetylene*. Hal penting yang dapat dilihat dari hasil uji bakar/*flammability testing* pada suatu sampel adalah lama waktu permukaan

sampel dalam menahan panas api. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan pembakar *bunsen* sebagai sumber api yang digunakan pada tungku pengapian dan diletakkan pada ujung sampel atas dasar laju pembakaran. Uji bakar/*flammability testing* skala laboratorium dilakukan pada sampel dengan panjang 125 mm dan lebar 13 mm dengan panjang terbakar 75 mm dalam pembakaran horisontal [2].

2.10.2 Uji Kelenturan/*Flexural Testing*

Kekuatan suatu material komposit dapat dilihat dengan besarnya titik kelenturan/*flexural*, sehingga kita mengetahui tegangan kelenturan terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan permukaan atau berapa besar tekanan pada permukaan komposit tersebut untuk dapat patah. Prinsip kerja pengujian ini adalah di mana pada bagian atas sampel akan mengalami tekanan dan bagian bawah akan mengalami tegangan kelenturan, sehingga dapat kita ketahui tegangan kelenturan akibat pembebanan yang diterima. Pengujian kelenturan/*flexural testing* skala laboratorium dilakukan pada sampel dengan panjang 250 mm, lebar 58 mm, dan batasan titik patah ditengah permukaan sampel [2].

2.10.3 Uji Absorpsi Air/*Water Absorption Testing*

Uji absorpsi air/*water absorption testing* adalah uji pada suatu sampel yang dapat dipastikan menyerap air atau tidaknya. Pengujian ini berprinsip dengan membandingkan sampel yang kering dengan sampel yang sudah terendam air untuk dapat dipersentasekan. Uji absorpsi air/*water absorption testing* merupakan hal penting bagi komposit dengan tujuan membedakan antara produk komposit dengan yang bukan komposit dalam ketahanan air. Pengujian ini dalam skala laboratorium dilakukan pada sampel dengan panjang 76,2 mm, lebar 25,4 mm, dan seluruh permukaan sampel harus dikeringkan serta direndam air [28].

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Pusat Teknologi Material (PTM) di Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK), Tangerang Selatan pada bulan Februari-April 2017, kemudian penyusunan laporan penelitian ini dilaksanakan di Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini (dapat dilihat lampiran A), yaitu sebagai berikut:

- | | |
|---|------------------------------------|
| - neraca digital | - wadah pendingin |
| - neraca analog | - <i>jaw sawn</i> |
| - oven | - <i>Universal Testing Machine</i> |
| - karung | (UTM) |
| - pengaduk/ <i>blender</i> | - pembakar <i>bunsen</i> |
| - <i>Twin Screw Extruder</i> (TSE)
SJZ45/100 | - statif dan klem |
| | - wadah |

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini (dapat dilihat lampiran B), yaitu sebagai berikut:

- | | |
|--|-------------------|
| - serbuk kayu jati | - minyak parafin |
| - resin <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE) | - <i>nanoclay</i> |
| - resin <i>Polyethylene graft Maleic Anhydride</i> (PEgMA) | |
| - <i>irganox 1010</i> | |
| - kalsium karbonat | |
| - asam stearat | |
| - lilin | |

3.3 Variabel

3.3.1 Variabel Tetap

Variabel tetap adalah suatu variabel yang tidak berubah selama penelitian ini berlangsung. Variabel tetap yang digunakan selama penelitian ini, yaitu:

1. persentase komposisi dilakukan dengan 30% serbuk kayu jati, 1,5% resin *Polyethylene graft Maleic Anhydride* (PEgMA), dan 5,76% aditif
2. kecepatan pengadukan bahan sebesar 100 rpm, selama 10 menit dilakukan sebelum proses ekstrusi/*extrusion*
3. kondisi operasi *Twin Screw Extruder* (TSE) SJZ45/100 dalam proses ekstrusi/*extrusion*, dijalankan dengan *melt pressure* 4,2 MPa, titik leleh 194,5°C, *feeder speed* 3,2 rpm dan *main speed* 3 rpm
4. kondisi operasi suhu di dalam *barrel* pada *Twin Screw Extruder* (TSE) SJZ45/100 dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 3.1 Kondisi Operasi Suhu *Barrel* pada *Twin Screw Extruder*

Kondisi	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8	Die
T (°C)	150	173	165	160	155	155	150	150	20
N (rpm)	3	3	3	3	3	3	3	3	

3.3.2 Variabel Berubah

Variabel berubah adalah variabel yang divariasikan selama penelitian ini berlangsung. Bertujuan untuk mencari perubahan dan nilai terbaik pada sampel produk komposit yang terbentuk.

Tabel 3.2 Variabel Komposisi Produk

Sampel	Persentase Komposisi Resin <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE),%	Persentase Komposisi <i>nanoclay</i> ,%
1	61,94	0
2	60,94	1
3	58,94	3
4	56,94	5

3.4 Prosedur

Prosedur penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu tahap preparasi serbuk kayu jati, tahap preparasi komposisi, tahap pembuatan atau pencetakan produk komposit dan karakterisasi produk komposit yang terdiri dari uji bakar/*flammability testing*, uji kelenturan/*flexural testing*, dan uji absorpsi air/*water absorption testing*, beberapa tahap tersebut dapat diuraikan sebagai berikut.

3.4.1 Preparasi Serbuk Kayu Jati

Serbuk kayu jati didapat dari hasil ayakan limbah pemotongan kayu jati dewasa yang sudah siap panen. Limbah pemotongan kayu jati ini diambil di kampung Gunung Sindur, Bogor. Limbah pemotongan kayu jati diayak dengan tujuan untuk mengelola dengan cara yang terbaik dalam memanfaatkan limbah kayu jati sampai pada serbuknya. Pengayakan ini dilakukan dalam ukuran *mesh* 40 yang semua limbah kayu jati ini diayak sampai menjadi partikel serbuk kayu jati yang homogen satu sama lain. Selanjutnya serbuk kayu jati dari hasil ayakan tersebut, semuanya dikeringkan di dalam *oven* dengan suhu 90°C selama 24 jam, setelah itu dijemur di lingkungan bebas selama 3 jam, dan disimpan di dalam karung yang ditutup rapat agar tidak terkena hawa lembab, serta karung disimpan di tempat yang tidak menimbulkan kelembaban.

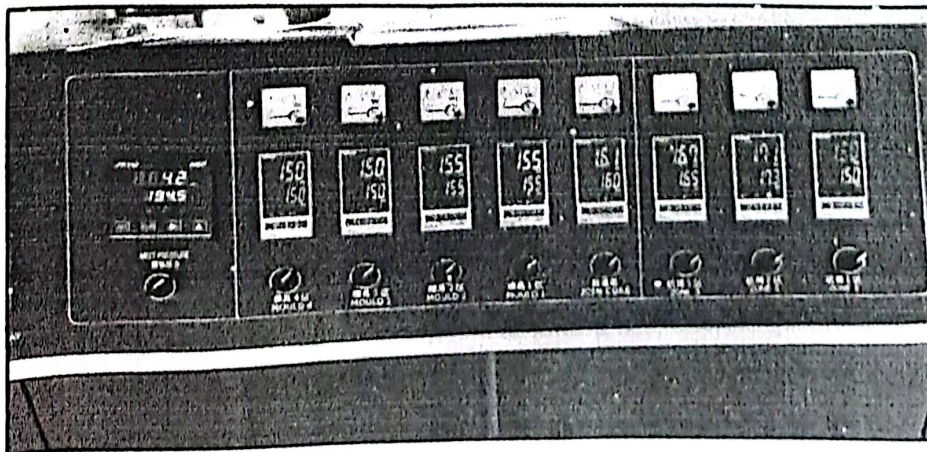
3.4.2 Preparasi Komposisi

Dalam pembuatan komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC), bahan-bahan dipersiapkan terlebih dahulu. Bahan-bahan yang akan digunakan ditimbang sesuai dengan komposisi yang telah ditetapkan. Komposisi yang ditimbang antara lain, serbuk kayu jati yang digunakan sebagai *filler*, resin *High Density Polyethylene* (HDPE) yang digunakan sebagai matriks, resin *Polyethylene graft Maleic Anhydride* (PEgMA) yang digunakan sebagai *coupling agents*, *irganox* 1010, asam stearat, dan kalsium karbonat yang digunakan sebagai aditif, lilin dan minyak parafin yang digunakan sebagai pelumas ekstrusi, dan *nanoclay* yang digunakan sebagai bahan percobaan yang ditambahkan untuk analisis perubahan sifat produk komposit tersebut.

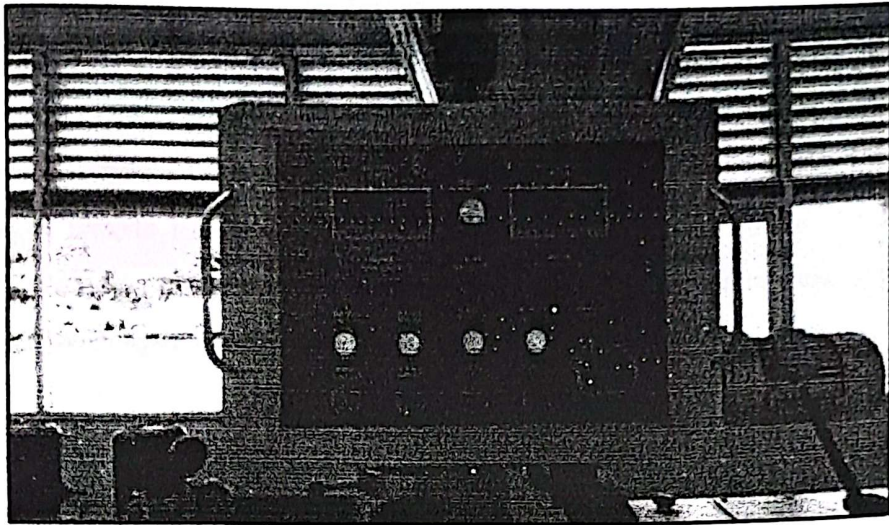
Selanjutnya beberapa bahan yang terdiri dari serbuk kayu jati, *irganox* 1010, kalsium karbonat, asam stearat, dan *nanoclay* yang sudah ditimbang sesuai dengan komposisi yang telah ditetapkan, maka dikumpulkan ke dalam karung secara bersamaan. Kemudian resin *High Density Polyethylene* (HDPE), resin *Polyethylene graft Maleic Anhydride* (PEgMA), lilin, dan minyak parafin yang sudah ditimbang sesuai komposisi yang telah ditetapkan dapat dimasukkan ke dalam pengaduk/*blender* terlebih dahulu. Mesin pengaduk/*blender* diatur dengan kecepatan 100 rpm dalam waktu 10 menit. Setelah bahan tersebut diaduk, maka bahan yang terkumpul di dalam karung dapat dimasukkan ke dalam mesin pengaduk/*blender* yang juga diatur dengan kecepatan 100 rpm dalam waktu 10 menit. Hasil yang didapat pada pengadukan ini, yaitu komposisi telah terdispersi dengan baik secara homogen antara *filler*, *coupling agents*, aditif, dan variasi *nanoclay* terhadap resin *High Density Polyethylene* (HDPE) sebagai matriksnya. Komposisi yang sudah diaduk tersebut, siap untuk menjalani proses ekstrusi di dalam mesin *Twin Screw Extruder* (TSE) SJZ45/100.

3.4.3 Pembuatan Produk Komposit

Pembuatan produk komposit dilakukan menggunakan metode ekstrusi dalam mesin *Twin Screw Extruder* (TSE) SJZ45/100. Mesin dijalankan dengan berat 10 Kg komposisi yang sesuai dengan ketetapan dan setiap komposisi tersebut dibentuk sampai menjadi produk yang panjang sesuai dengan cetakan selama mesin dijalankan. Kondisi operasi pada mesin *Twin Screw Extruder* (TSE) SJZ45/100 dapat dilihat di gambar berikut ini.



Gambar 3.1 Kondisi Operasi Suhu *Barrel Twin Screw Extruder*

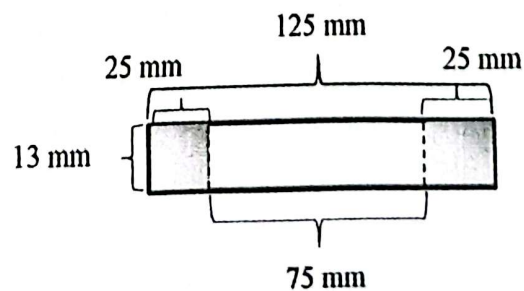


Gambar 3.2 Kecepatan Operasi *Twin Screw Extruder*

3.4.4 Uji Bakar/*Flammability Testing*

Uji bakar/*flammability testing* adalah uji yang dilakukan untuk mengetahui seberapa lama suatu sampel dapat terbakar dengan melihat laju pembakaran pada batas tertentu. Uji bakar ini dilakukan berdasarkan metode uji ASTM D-635 dengan metode horisontal/*horizontal burning test*. Alat yang digunakan adalah penjepit statif dan klem yang dihubungkan dengan pembakar *bunsen* dalam proses pembakarannya. Uji bakar/*flammability testing* ini dilakukan dengan ukuran sampel sebagai berikut:

- panjang = 125 mm
- lebar = 13 mm
- batas terbakar = 75 mm

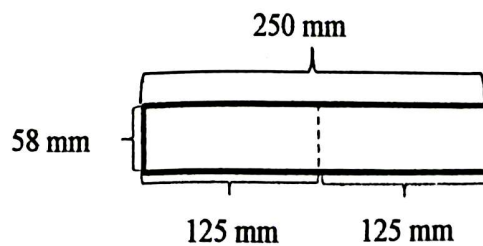


Gambar 3.3 Ukuran Sampel Uji Bakar

3.4.5 Uji Kelenturan/*Flexural Testing*

Uji kelenturan/*flexural testing* adalah uji yang dilakukan untuk mengetahui seberapa kuat suatu sampel dapat melentur pada batas tertentu. Pengujian kelenturan/*flexural testing* ini dilakukan berdasarkan metode uji ASTM D-790 dengan metode horisontal/*horizontal flexural test* yang menggunakan alat uji bernama *Universal Testing Machine* (UTM). Uji kelenturan/*flexural testing* ini dilakukan dengan ukuran sampel sebagai berikut:

- panjang = 250 mm
- lebar = 58 mm
- titik patah = Pertengahan dari 250 mm

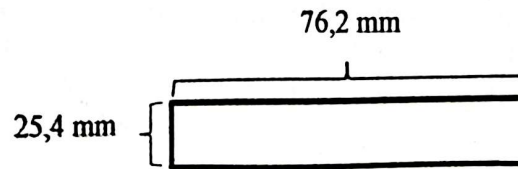


Gambar 3.4 Ukuran Sampel Uji Kelenturan

3.4.6 Uji Absorpsi Air/*Water Absorption Testing*

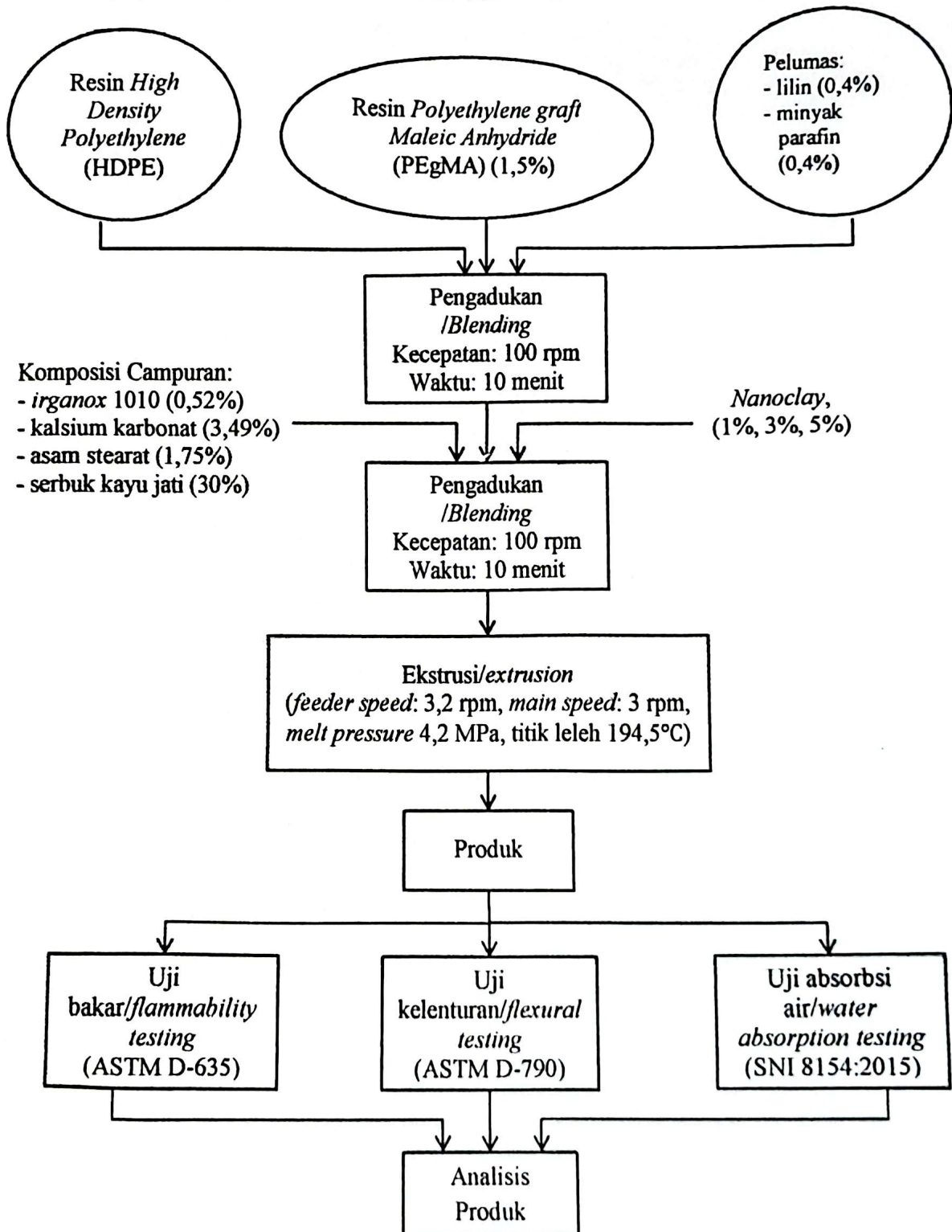
Uji absorpsi air/*water absorption testing* adalah uji di mana sampel dapat dipastikan menyerap air atau tidaknya. Pengujian absorpsi air/*water absorption testing* ini dilakukan berdasarkan metode uji SNI 8154:2015. Cara yang dilakukan dalam pengujian ini, yaitu mengeringkan sampel terlebih dahulu di dalam oven pada suhu 50°C selama 24 jam. Setelah sampel dikeringkan, maka selanjutnya ditimbang, kemudian direndam di dalam air selama 24 jam dan setelah itu, ditimbang kembali. Cara mengetahui absorpsi air pada komposit ini, yaitu membandingkan sampel yang belum terendam air dengan sampel yang sudah terendam air untuk dipersentasekan. Uji absorpsi air/*water absorption testing* ini dilakukan dengan ukuran sampel sebagai berikut berikut:

- panjang = 76,2 mm
- lebar = 25,4 mm
- batas Perendaman Air = Seluruh Permukaan



Gambar 3.5 Ukuran Sampel Uji Absorpsi Air

3.5 Skema Penelitian



Gambar 3.6 Skema Penelitian Komposit Kayu Plastik

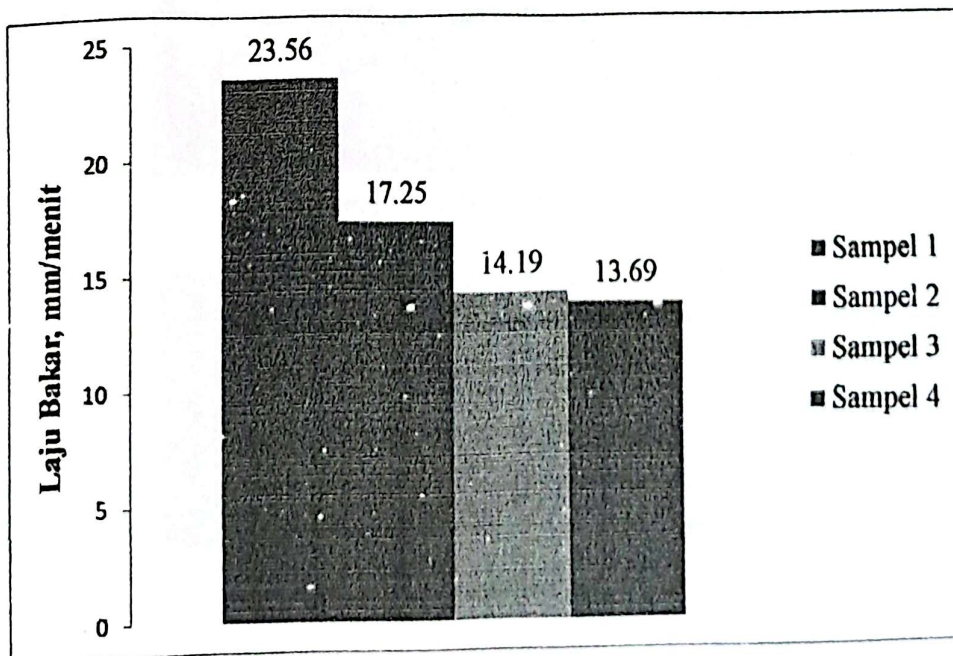
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sifat Tahan Bakar

Hasil uji bakar/*flammability testing* yang dilakukan menggunakan metode uji ASTM D-635 dapat dilihat pada tabel dan gambar 4.1. Dari hasil yang didapat akan membedakan antara komposit dengan penambahan *nanoclay* dan tanpa penambahan *nanoclay*.

Tabel 4.1 Hasil Uji Bakar Komposit

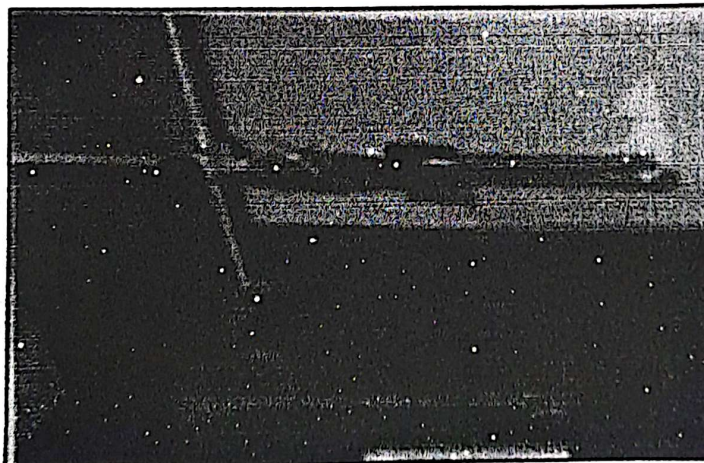
Sampel	Nanoclay %	Laju Bakar mm/menit	Perubahan %
1	0	23,56	
2	1	17,25	(-) 26,78
3	3	14,19	(-) 17,74
4	5	13,69	(-) 3,5
Rata-rata		17,17	
Tertinggi		23,56	
Terendah		13,69	



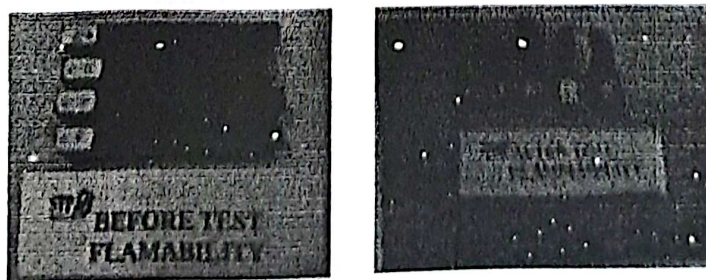
Gambar 4.1 Hasil Uji Bakar Komposit

Sifat tahan bakar pada komposit dapat diketahui dengan lamanya komposit tersebut terbakar pada laju pembakaran tertentu. Berdasarkan tabel dan gambar 4.1 dapat terlihat, bahwa setiap level penambahan *nanoclay* pada komposit mempengaruhi laju bakar yang semakin rendah, seperti pada level *nanoclay* 0% memiliki laju bakar tertinggi dan pada level *nanoclay* 5% memiliki laju bakar terendah.

Berdasarkan hasil uji tersebut dapat dianalisis, bahwa dalam penelitian ini laju bakar yang rendah pada komposit, membuktikan *nanoclay* meningkatkan kemampuan sifat tahan bakar pada komposit, sehingga penambahan *nanoclay* dapat membuat komposit lebih lama terbakar dibandingkan dengan komposit tanpa *nanoclay*.



Gambar 4.2 Uji Bakar Komposit



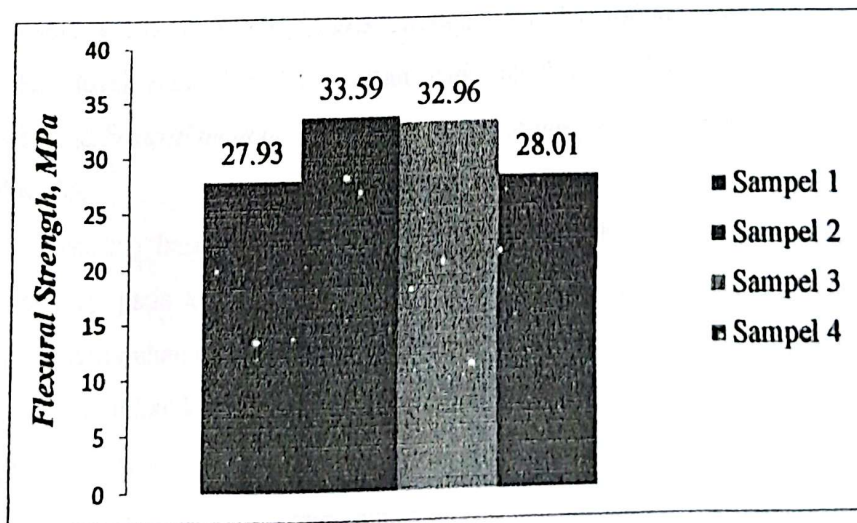
Gambar 4.3 Sampel Uji Bakar Komposit

4.2 Sifat Kelenturan

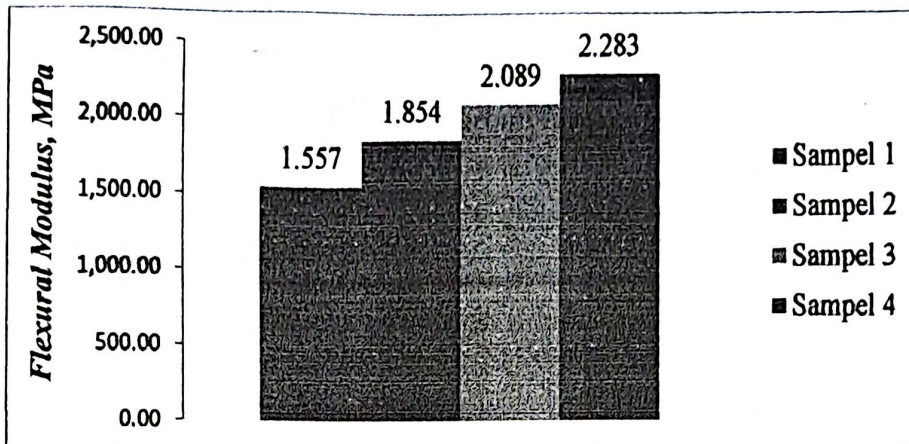
Hasil uji kelenturan/*flexural testing* yang dilakukan menggunakan metode uji ASTM D-790 dapat dilihat pada tabel 4.2 serta gambar 4.4 dan 4.5. Hasil yang didapat akan membedakan antara komposit dengan penambahan *nanoclay* dan tanpa penambahan *nanoclay*.

Tabel 4.2 Hasil Uji Kelenturan Komposit

Sampel	<i>Nanoclay</i>	<i>Flexural Strength</i>	<i>Flexural Modulus</i>	Perubahan <i>Flexural Strength</i>	Perubahan <i>Flexural Modulus</i>
	%	MPa	MPa	%	%
1	0	27,93	1.557		
2	1	33,59	1.854	(+) 20,26	(+) 19,07
3	3	32,96	2.089	(-) 1,88	(+) 12,67
4	5	28,01	2.283	(-) 15,02	(+) 9,28
Rata-rata		30,62	1.945,75		
Tertinggi		33,59	2.283		
Terendah		27,93	1.557		



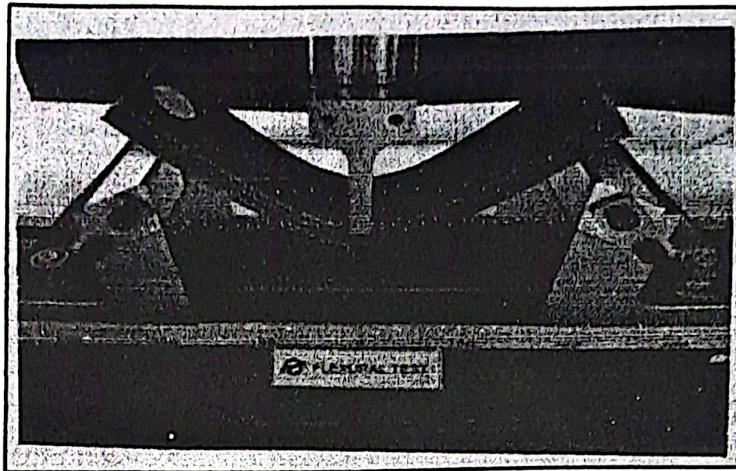
Gambar 4.4 Hasil Uji *Flexural Strength* Komposit



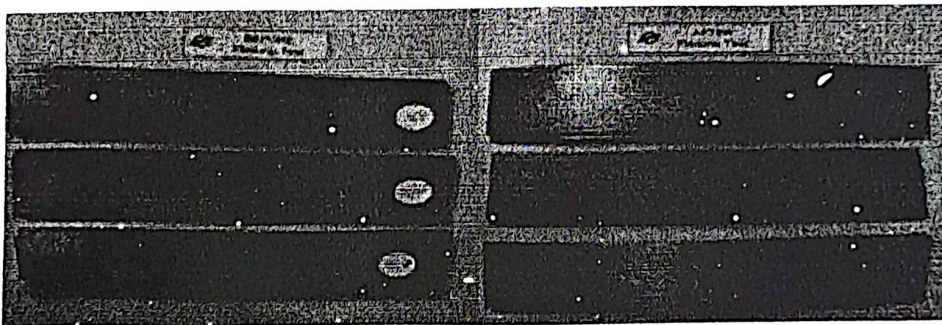
Gambar 4.5 Hasil Uji *Flexural Modulus* Komposit

Sifat kelenturan komposit dapat diketahui dari *flexural strength* yang sesuai dan *flexural modulus* yang besar. Dalam pengujian ini sampel pada bagian atas mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah mengalami tegangan tarik, sehingga bagian atas didapat nilai *flexural strength* dan bagian bawah didapat nilai *flexural modulus*. Ditinjau dari tabel dan gambar hasil uji di atas, maka dapat dilihat penambahan level *nanoclay* pada batasan rendah meningkatkan *flexural strength* dan *flexural modulus*, namun penambahan *nanoclay* dalam jumlah besar meskipun meningkatkan *flexural modulus*, tetapi mengurangi *flexural strength*, seperti pada level *nanoclay* 1% memiliki *flexural strength* dan *flexural modulus* yang lebih besar dari level *nanoclay* 0%, namun pada level *nanoclay* 3-5% meskipun meningkatkan *flexural modulus*, tetapi terjadi penurunan *flexural strength* dari level *nanoclay* 1%.

Berdasarkan hasil uji tersebut dapat dianalisis, bahwa setiap penambahan level *nanoclay* pada komposisi komposit selalu meningkatkan *flexural modulus*, sehingga penambahan *nanoclay* berlebih dapat mengurangi *flexural strength* pada komposit, jadi dikatakan penambahan *nanoclay* pada komposisi komposit untuk menciptakan sifat kelenturan komposit yang baik, apabila penambahan *nanoclay* tersebut dilakukan dalam level yang efektif.



Gambar 4.6 Uji Kelenturan Komposit



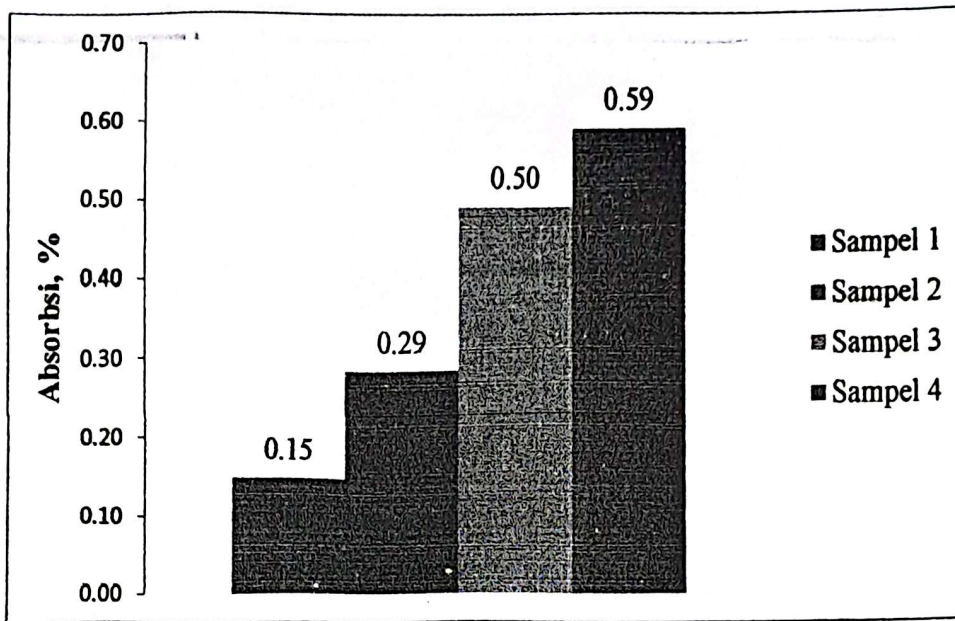
Gambar 4.7 Sampel Uji Kelenturan Komposit

4.3 Sifat Tahan Absorpsi Air

Hasil uji absorpsi air/*water absorption testing* yang dilakukan dengan menggunakan metode uji SNI 8154:2015 dapat dilihat pada tabel 4.3 dan gambar 4.8. Dari hasil yang didapat akan membedakan komposit dengan penambahan *nanoclay* dan tanpa penambahan *nanoclay*.

Tabel 4.3 Hasil Uji Absorpsi Air Komposit

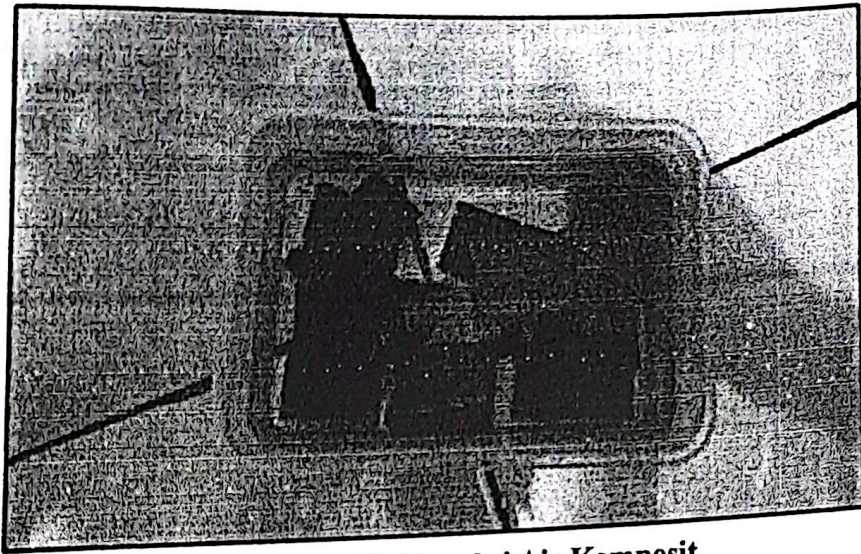
Sampel	<i>Nanoclay</i>	Absorpsi Air	Perubahan
	%	%	%
1	0	0,15	
2	1	0,29	(+) 0,14
3	3	0,5	(+) 0,21
4	5	0,59	(+) 0,09
Rata-rata		0,38	
Tertinggi		0,59	
Terendah		0,15	



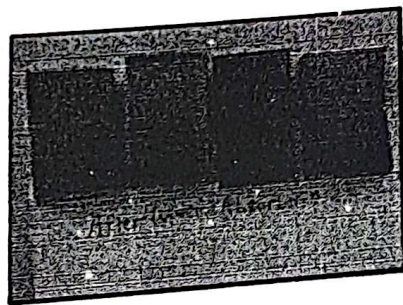
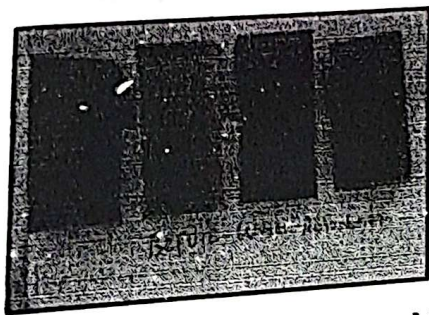
Gambar 4.8 Hasil Uji Absorpsi Air Komposit

Sifat tahan absorpsi air pada komposit dapat diketahui dengan rendahnya absorpsi air pada komposit tersebut setelah dilakukan perendaman di dalam air selama 24 jam. Dalam pengujian ini sampel setelah direndam air selama 24 jam terlihat mengalami absorpsi air yang rendah, tetapi terjadi perubahan peningkatan absorpsi air yang cukup berarti ketika ditambahkan level *nanoclay*, seperti pada level *nanoclay* 0% memiliki absorpsi air terendah dan pada level *nanoclay* 5% memiliki absorpsi air tertinggi.

Berdasarkan hasil uji tersebut dapat dianalisis, bahwa dalam penelitian ini di setiap penambahan level *nanoclay* selalu meningkatkan absorpsi air, sehingga penambahan *nanoclay* dapat membuat komposit mengurangi sifat tahan absorpsi air dibandingkan dengan komposit tanpa *nanoclay*.



Gambar 4.9 Uji Absorpsi Air Komposit



Gambar 4.10 Sampel Uji Absorpsi Air Komposit

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dan analisis data hasil penelitian, maka penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pengaruh penambahan *nanoclay* dalam pembuatan komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dengan sifat tahan bakar/*flammability resistance*, kelenturan/*flexural*, dan tahan absorpsi air/*water absorption resistance*, yaitu sebagai berikut:

1. penambahan *nanoclay* pada komposisi komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dapat meningkatkan kemampuan sifat tahan bakar/*flammability resistance* karena *nanoclay* memiliki ekspansi termal yang rendah, sehingga penambahan *nanoclay* dapat membuat komposit lebih lama terbakar dibandingkan dengan komposit tanpa *nanoclay*
2. penambahan *nanoclay* yang efektif pada komposisi komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dapat meningkatkan sifat kelenturan/*flexural* yang baik, hal ini disebabkan setiap penambahan level *nanoclay* pada komposisi komposit selalu meningkatkan *flexural modulus*, tetapi penambahan *nanoclay* dengan level berlebih dapat mengurangi *flexural strength* pada komposit
3. penambahan *nanoclay* pada komposisi komposit kayu plastik/*Wood Plastic Composite* (WPC) dapat mengurangi sifat tahan absorpsi air/*water absorption resistance* karena *nanoclay* memiliki daya kelembaban yang rentan terhadap penyerapan air.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, maka dapat disarankan:

1. bahan serbuk kayu jati pembuatan komposit perlu disimpan dengan baik, khususnya harus jauh dari kelembaban
2. perlunya penambahan alat refrigrasi pada wadah pendingin, agar suhu pada *die* tetap terjaga stabil

3. perlu ditambahkan papan pencetak setelah produk komposit ini keluar dari *die*, agar lebih menyesuaikan cetakan dengan baik, khususnya produk komposit ini tidak melengkung
4. suhu ruangan laboratorium selama fabrikasi komposit harus stabil, agar selama fabrikasi komposit tersebut tidak terganggu dengan perubahan suhu yang labil.

DAFTAR PUSTAKA

- Ilschner B, Joseph K Less, Ashok K Dhingra, dan McCullough. 2011. "*Composite Materials*". Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Seventh Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Klyosov Anatole A. 2007. "*Wood Plastic Composite*". New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Kretschmann David, Jerry Winandy, Carol Clausen, Mike Wieman, Richard Bergman, Roger Rowell, John Zerbe, James Beecher, Robert White, McKeever, dan James Howard. 2005. "*Wood*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 15 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- G Shangvi, Koyani, dan Rajput. 2013. "*Anatomical Characterization of Teak and Wood Decayed by Fungus Chrysosporium Asperatum*". Perpustakaan Nasional Republik Indonesia. Journal of Tropical Forest Science. 25. 547-553.
- Nurwati Hadjib, Mohammad Muslich, dan Ginuk Sumarni. 1998. "Sifat fisis dan mekanis kayu jati super dan jati lokal dari beberapa daerah penanaman". Badan Litbang Kehutanan. Balai Penelitian dan Pengembangan Benih Tanaman Hutan. Yogyakarta.
- Subdirektorat Statistik Kehutanan. 2014. "Statistik Produksi Kehutanan". Jakarta: Badan Pusat Statistik. Katalog. 5601005.
- El Haggat, Salah M, dan Kamel Mochtar. 2011. "*Advances in Composite Materials-Analysis of Natural and Man-Made Materials*". Shanghai: In Tech.
- Kenneth S, Whiteley, Geoffrey Hegg, Hartmuth Koch, Ralph Malwer, dan Wolfgang Imel. 2011. "*Polyolefins*". Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Seventh Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Elizabeth Benham dan Mc Daniel. 2004. "*Polyethylene, High Density*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 0 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Omar dan Laurent. 2008. "*Nanoclay reinforced HDPE as a matrix for Wood Plastic Composites*". Elsevier. Composites Science and Technology. 68. 2073-2077.
- Murray Haydn. 2004. "*Clay, Uses*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 6 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.

- L Deborah. 2005. "*Composite Materials*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 15 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- FL Mathews. 2000. "*Finite element modeling of composite materials and structures*". New Yorks: CLC Press LLC.
- Gibson Ronald F. 1994. "*Principles of Composite Material Mechanics*". United States of America. McGraw-Hill, Inc.
- Mortensen Andreas. 2007. "*Composite Materials*". Concise Encyclopedia. Second Edition. Amsterdam: Elsevier Ltd.
- Morgan Peter. 2005. "*Carbon fibers and their composite*". New Yorks: Taylor & Francis Group.
- Buller dan Fuller. 2004. "*Ceramic-Matrix Composites*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 5 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- K Chawla dan N Chawla. 2005. "*Metal-Matrix Composites*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 16 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Keeling. 2004. "*Laminates material, plastic*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 8 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Ronald S Bauer, Steven L Stewart, dan Stenzenberger. 2004. "*Composite material, thermoset polymer-matrix*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 6 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Wolf Klarence. 2004. "*Composite material, thermoplastic polymer-matrix*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 6 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Malpass Dennis B. 2010. "*Introduction to Industrial Polyethylene*". New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Andy dan Walter. 2005. "*Fillers*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 11 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Elaine. 2004. "*Adhesives*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 1 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.

- Werner Haller, Hermann Onusseit, Gerhard, Grubber, Richard Rich, Gunter Henke, dan Lothar Thiele. 2011. "*Adhesives*". Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Seventh Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Felthouse Timothy, Joseph Burnett, Ben Horrell, Michael Mummey, dan Yeong Jen. 2005. "*Maleic Anhydride, Maleic Acid, and Fumaric Acid*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 15 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Toshikazu, Yoshihiko Arao, Sakae Nakamura, Yuta Tomita, dan Tatsuya Tanaka. 2014. "*Synergy effects of wood flour and fire retardants in flammability of Wood Plastic Composite*". Elsevier. Energy Procedia. 56. 48-56.
- Kaboorani Alireza. 2016. "*Characterizing water sorption and diffusion properties of wood/plastic composites as a function of formulation design*". Elsevier. Construction and Building Materials. 136. 164-172.
- Maraschin. 2004. "*Polyethylene, Low Density*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 0 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Kissin Yurry. 2004. "*Polyethylene, Linear Low Density*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 0 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Himz Horst. 2011. "*Wood*". Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Seventh Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- C M Clemons. 2002. "*Forest Production*". New Yorks: J.52.
- Abhishek Chaudhary, Romman Carasco, dan Tommas Kastner. 2017. "*Linking national wood consumption with global biodiversity and ecosystem service losses*". Elsevier. Science of the total environment. Switzerland.
- Frenz Alfred, Bertoniere, Malcom Brown, Henri Chanzy, Derek Gray, Kayuzuki Hattori, dan Wolfgang Glasser. 2004. "*Celluloce*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 5 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Krassig Hans, Josef Schurz, Robert Steadman, Karl Schliefer, Wilhelm, Marc Mohring, dan Harrald. 2011. "*Celluloce*". Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Seventh Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Thompson Norman. 2004. "*Hemicelluloce*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 15 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.

- Boddo Saake dan Ralph Lehnen. 2011. "*Lignin*". Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Seventh Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Lebbo Stuart, Jerry Gargulak, dan Timothy McNally. 2005. "*Lignin*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 15 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Kopa Teodora. 2014. "*Antiplasmodial anthraquinones and hemisynthetic derivatives from the leaves of Tectona grandis*". Elsevier. Phytochemistry Letters. 8. 41-45.
- Sarif Deded. "Penelitian dasar sifat kayu jati hasil penjarangan". Website: <http://web.ipb.ac.id/~lppm/lppmipb/penelitian>. Fakultas Kehutanan. Institut Petanian Bogor. Diakes pada tahun 1994.
- Berita LIPI. "Jati penelitian LIPI bisa dipanen dalam 5 tahun". Website: <http://lipi.go.id/berita>. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Diakses pada tanggal 9 November 2011.
- Listiyanto Tommy. 2016. "*CO₂ Laser incised teak and mahogany lumber dried by microwave and steam injection*". Perpustakaan Nasional Republik Indonesia. Forest Product Journal. Volume 66. 7/8.
- Faheem Uddin. 2008. "*Clays, Nanoclays, and Montmorillonite Minerals*". Research Gate.
- Babaei Ishagh, Mostafa Madanipour, Mohammad Farsi, dan Farajpoor. 2013. "*Physical and mechanical properties of foamed HDPE/wheat straw flour/nanoclay hybrid composite*". Elsevier. Composites: Part B. 56. 163-170.
- Richard dan Martins. 2004. "*Antioxidants, Polymer*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 3 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Charles Farley, Margaret Dulany, George Batten, dan Michael Peck. 2004. "*paper making addtives*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 5 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Patrick dan David. 2004. "*Calcium Carbonate*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 4 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Hongzen Cai, Yang Keyan, dan Yi Weiming. 2017. "*Effects of calcium carbonate on preparation and mechanical properties of wood/plastic composite*". Perpustakaan Nasional Republik Indonesia.

- Dwi Wahini dan Brotoningsih. 2012. "Pengaruh penambahan kalsium karbonat terhadap kualitas komposit polivinil klorida". Balai Besar Kulit Karet dan Plastik (BBKKP). Yogyakarta: Jurnal Riset Industri. Volume 6. 2. 2012. 129-136.
- Johnson dan Cantrell. 2004. "*Carboxylic Acids, Branched-Chain Acids*". Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 3 Fifth Edition. New Yorks: John Wiley & Sons, Inc.
- Stark Nicole. 1999. "*Wood fiber derived from scrap pallets used in polypropylene composites*". Perpustakaan Nasional Republik Indonesia. Forest Products Journal.
- GPM. 2016. "*Twin Screw Extruder*". Shanghai: Shansu.
- Sommerhuber dan Johannes. 2015. "*Substitution potentials of recycled HDPE and wood particles from post-consumer packaging waste in Wood Plastic Composite*". Elsevier. Waste Management. Hamburg.
- Standar Nasional Indonesia. 8154. 2015. "Komposit Kayu Plastik". Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Ismaeil Gashemi dan Behzard Kord. 2009. "*Long term water absorption behavior of polypropylene/wood flour/organoclay hybrid nanocomposite*". Iranian Polymer Journal. 683-691.
- Pereira, Herrero, F Labajos, A Marques, dan Rives. 2009. "*Preparation and properties of new flame retardant unsaturated polyester nanocomposites based on layered double hydroxides*". Polymer Degradation and Stability. 94.
- Bozkurt Emrah, Elc in Kaya, dan Metin Tanoglu. 2007. "*Mechanical and thermal behavior of non-crimp glass fiber reinforced layered clay/epoxy nanocomposites*". Elsevier. Composites Science and Technology. 67. 3394-3403.
- Dhokal, Zhang, dan M Richardson. 2006. "*Nanoindentation behaviour of layered silicate reinforced unsaturated polyester nanocomposites*". Elsevier. Polymer Testing. 25. 846-852.
- Kanny dan Mohan. 2014. "*Resin infusion analysis of nanoclay filled glass fiber laminates*". Elsevier. Composites: Part B, 58, 328-334.