

Mirza

Hanan_3331210092_Fulltext

by - Turnitin

Submission date: 01-Jul-2025 10:56PM (UTC+0700)

Submission ID: 2700892012

File name: Mirza_Hanan_3331210092_Fulltext.pdf (4.23M)

Word count: 14466

Character count: 87332

**STUDI PAPARAN PANAS PADA PAPAN PARTIKEL YANG
DIPERKUAT SERAT MESOKARP TERHADAP SIFAT
MEKANIK**

Skripsi



Disusun Oleh :

Mirza Hanan
3331210092

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA

CILEGON – BANTEN
2025

**STUDI PAPARAN PANAS PADA PAPAN PARTIKEL YANG
DIPERKUAT SERAT MESOKARP TERHADAP SIFAT
MEKANIK**

105
Skripsi

Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1
pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Disusun oleh:

Mirza Hanan
3331210092

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA**

**CILEGON - BANTEN
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mirza Hanan

NPM : 3331210092

Judul : Studi Paparan Panas pada Papan Partikel Yang Diperkuat Serat Mesokarp
Terhadap Sifat Mekanik

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain,
kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya.

Cilegon, 30 Juni 2025



Mirza Hanan

NIM.3331210092

LEMBAR PENGESAHAN

No : 0303/IN.43.3.1/PK.03.09/2023

TUGAS AKHIR

Studi Paparan Panas Pada Papan Partikel Yang Diperkuat Serat Mesokarp Terhadap
Sifat Mekanik

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

MIRZA HANAN
3331210092

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 4 Juni 2023

Pembimbing Utama

Dr. Sunardi, S.T., M.Eng.
NIP. 197312052006041002

Ir. Dhimas Satria, ST., M.Eng.,
NIP. 198305102012121006

Anggota Dewan Penguji

Yuswadi Yusuf, S.T., M.T., NIP.
197901292010121002

Dr. Meko Permana Pinem, S.T., M.T.,
NIP. 198902262015041002

Dr. Sunardi, S.T., M.Eng.,
NIP. 197312052006041002

Ir. Dhimas Satria, ST., M.Eng.,
NIP. 198305102012121006

Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal, 30 Juni 2023
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA



Ir. Dhimas Satria, ST., M.Eng.
NIP. 198305102012121006

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas berkat rahmat, anugrah dan hidayahNya sehingga penulis dapat merangkai dan menyelesaikan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya dan tepat pada waktunya. Shalawat serta salam mari kita panjatkan puji dan syukur kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing dari zaman kegelapan hingga zaman terang benderang seperti sekarang.

Tugas akhir merupakan salah satu mata kuliah wajib yang harus dilaksanakan oleh setiap mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, dan penulisan laporan ini merupakan syarat untuk melanjutkan serta menyelesaikan tugas akhir. Dalam proses pembuatan laporan ini tentunya ada bantuan dari pihak luar. Maka dari itu dengan penuh rasa terima kasih penulis ucapkan dan sampaikan kepada:

1. Bapak Dhimas Satria, S.T., M.Eng., selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa dan Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Mekro Pemana Pinem, ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Bapak Iman Saefuloh S.T., M.Eng., selaku Pembimbing Akademik.
4. Bapak Yusvardi Yusuf S.T. M.T., selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
5. Bapak Dr. Sunardi, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
6. Dudi Harnoko selaku ayah penulis yang telah mendukung secara moral, dan doa terbaik untuk penulis selama masa perkuliahan.
7. Agustina Martuti selaku ibu penulis yang tidak henti dan tidak putus asa terhadap penulis untuk selalu menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
8. Tiara Zahra Rahmadini selaku kakak penulis yang tidak henti membantu penulis dalam hal moral dan material.
9. Erick Nofal Harnoko selaku kakak penulis yang terus menyemangati dan mendengarkan keluh kesah penulis dalam pengerjaan tugas akhir serta memberikan dorongan untuk bangkit ketika penulis sedang jatuh.

10. Indra Pratama selaku paman penulis yang selalu menyemangati dan mengingatkan tentang tugas akhir.
11. Ricky Romadhon dan kakak senior yang telah membantu menjelaskan dalam tugas akhir ini.
12. Rekan-rekan asisten Laboratorium Material Teknik yang telah menemani penulis dalam mengerjakan serta berkeluh kesah mengenai tugas akhir.
13. Duta Senopati Rabbani yang telah membantu dan menyemangati penulis untuk mengerjakan tugas akhir dengan baik.
14. Revandhy Ridwan, Ghifary Fajri, dan M. Rafael yang selalu mendengarkan keluh kesah penulis.
15. Jeanan Aulia Arifin dan Kevin Alif Azhari, yang selalu mengingatkan penulis untuk pantang menyerah, tidak meninggalkan tugas akhir, terus maju dan bersemangat dan selalu memberikan dukungan moral.
16. Verina Araminda Prinary, Henry Susanto, Moreno Erditya Pratama, dan Vika Randia selaku teman penulis yang selalu menyemangati penulis untuk mengerjakan dan menuntaskan tugas akhir.
17. M. Satria Gunawan yang selalu membantu ketika penulis terpuruk dan sedang berada di posisi terbawah.
18. Rekan rekan yang telah membantu secara moral yang tidak dapat dituliskan satu persatu.
19. Terakhir, untuk penulis sendiri yang telah menjalani perkuliahan dengan baik dan dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik serta dapat berdiri sendiri. Terimakasih sudah bertahan, berjuang dan tetap bangkit dengan segala permasalahan yang telah terjadi dalam kehidupan penulis.

Dengan laporan ini penulis harap dapat menambah wawasan bagi penulis sendiri dan yang membacanya. Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan baik dalam segi materi maupun dalam segi penyajian. Penulis mengharapkan kritik dan saran agar kedepannya bisa menjadi lebih baik lagi.

Cilegon, 21 Mei 2025



Penulis

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki perkebunan kelapa sawit terbesar dan setiap tahun mengalami peningkatan. Produksi kelapa sawit yang besar tentunya menghasilkan limbah kelapa sawit yang besar. Limbah kelapa sawit dapat dimanfaatkan kembali menjadi produk papan partikel. Papan partikel penelitian ini dibuat dengan menggunakan limbah pelepah dan serat mesokarp kelapa sawit. Papan partikel dibuat dengan mengikuti standar SNI 03-2105-2006. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui degradasi sifat komposit dan perubahan sifat mekanik pada papan partikel ketika menerima paparan panas. Sampel papan partikel dibuat dengan menggunakan pelepah kelapa sawit sebesar 50%, serat mesokarp 15%, resin epoxy 10% dan PVAc 25% dan dilakukan pencetakan menggunakan tekanan kompaksi 3 Mpa selama 2 jam. Papan partikel yang sudah dicetak diberi perlakuan *curing* dengan suhu 150°C selama 1 jam. Papan partikel yang telah diberi perlakuan *curing* selanjutnya diberikan paparan panas dengan variasi suhu 50°C (Sampel A), 150°C (Sampel B) dan 250°C (Sampel C). Papan partikel yang telah diberikan paparan panas dilakukan pengujian densitas, kadar air, *modulus of rupture*, *modulus of elasticity*, kekerasan dan *fourier transform infrared* (FTIR). Hasil pengujian yang diperoleh pada sampel B yang diberikan paparan panas 150°C menunjukkan hasil terbaik. Hasil pengujian densitas sampel B menunjukkan nilai rata-rata sebesar 0,843 gr/cm³. Pengujian kadar air sampel B menunjukkan nilai rata-rata sebesar 2,2%. Hasil nilai rata-rata pengujian *modulus of elasticity* sampel B sebesar 19,55 kgf/cm². Hasil nilai rata-rata pengujian *modulus of rupture* sampel B sebesar 190,17 kgf/cm². Hasil nilai rata-rata pengujian kekerasan sampel B sebesar 74,56. Berdasarkan analisa grafik FTIR sampel B mengalami peningkatan kekuatan mekanik dimana memiliki puncak tertinggi pada area 1025 cm⁻¹. Berdasarkan hasil nilai MRPI (*Multi Response Performance Index*) suhu paparan panas yang optimal terdapat pada suhu 150°C dimana dengan nilai MRPI terbesar yaitu 302,67.

Kata Kunci: Kekuatan Mekanik, MRPI, Papan Partikel, Paparan Panas

74 ABSTRACT

Indonesia is one of the countries with the largest palm oil plantations and is increasing every year. Large palm oil production certainly produces large palm oil waste. Palm oil waste can be reused into particle board products. The particle board in this study was made using palm oil frond waste and mesocarp fiber. Particle board is made by following the SNI 03-2105-2006 standard. This study was conducted to determine the degradation of composite properties and changes in mechanical properties of particle board when exposed to heat. Particle board samples were made using 50% palm oil fronds, 15% mesocarp fiber, 10% epoxy resin and 25% PVAc and were printed using a compaction pressure of 3 Mpa for 2 hours. The printed particle board was cured at a temperature of 150°C for 1 hour. The particle board that has been cured is then given heat exposure with temperature variations of 50°C (Sample A), 150°C (Sample B) and 250°C (Sample C). The particle board that has been given heat exposure is tested for density, water content, modulus of rupture, modulus of elasticity, hardness and fourier transform infrared (FTIR). The test results obtained on sample B which was given heat exposure of 150°C showed the best results. The results of the density test of sample B showed an average value of 0.843 gr/cm³. The water content test of sample B showed an average value of 2.2%. The results of the average value of the modulus of elasticity test of sample B were 19.55 kgf/cm². The results of the average value of the modulus of rupture test of sample B were 190.17 kgf/cm². The results of the average value of the hardness test of sample B were 74.56. Based on the FTIR graph analysis, sample B experienced an increase in mechanical strength where it had the highest peak in the area of 1025 cm⁻¹. Based on the results of the MRPI (Multi Response Performance Index) value, the optimal heat exposure temperature was at 150°C where the largest MRPI value was 302.67.

Keywords: *Heat Exposure, Mechanical Strength, MRPI, Particle Board*

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.2 Papan Partikel	5
2.3 Limbah Mesokarp pada Kelapa Sawit	6
2.4 Limbah Pelepah pada Kelapa Sawit	7
2.5 Pengaruh Perlakuan Alkali	7
2.6 <i>Poly-Vinyl Acetat</i> (PVAc)	8
2.7 Resin Epoxy	9
2.8 Paparan Panas	9
2.8.1 Paparan Panas pada Papan Partikel	10
2.9 Pengujian Material Komposit	10
2.9.1 Kerapatan	10

2.9.2	Kadar Air.....	11
2.9.3	Kekerasan.....	12
2.9.4	<i>Modulus of Elasticity</i> (MOE).....	12
2.9.5	<i>Modulus of Rupture</i> (MOR).....	13
2.9.6	<i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	13

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian.....	15
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	17
3.2.1	Alat yang Digunakan.....	17
3.2.2	Bahan yang Digunakan	21
3.3	Prosedur Penelitian.....	23
3.3.1	Persiapan <i>Filler</i> Pelepah Kelapa Sawit.....	23
3.3.2	Pembuatan Serat Mesokrap Kelapa Sawit	24
3.3.3	Penimbangan Bahan.....	24
3.3.4	Pembuatan Papan Partikel.....	25
3.3.5	Pemaparan Panas Pada Papan Partikel.....	27
3.4	Teknik Pengumpulan Data	29
3.4.1	Kerapatan	29
3.4.2	Kadar Air.....	30
3.4.3	Kekerasan.....	31
3.4.4	Kekuatan Lentur.....	31
3.4.5	<i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	32
3.5	Variabel Penelitian.....	33

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Bahan Sampel.....	34
4.2	<i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	35
4.3	Densitas	41
4.4	Kadar Air.....	43
4.5	<i>Modulus of Elasticity</i> (MOE)	45
4.6	<i>Modulus of Rupture</i> (MOR)	47
4.7	Kekerasan (<i>Hardness</i>)	49
4.8	Optimasi Suhu Paparan Panas.....	52

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	56

DAFTAR PUSTAKA	57
-----------------------------	----

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Papan partikel	5
Gambar 2.2 Limbah mesokarp	6
Gambar 2.3 Limbah pelepah kelapa sawit.....	7
Gambar 2.4 Perekat PVAc	8
Gambar 2.5 Resin epoxy	9
Gambar 2.6 MOE dan MOR 3 Point Bending.....	13
Gambar 2.7 FTIR.....	14
Gambar 3.1 Diagram Alir	16
Gambar 3.2 Furnace.....	17
Gambar 3.3 Cetakan papan partikel	17
Gambar 3.4 Mesin press	18
Gambar 3.5 Tensilon <i>Universal Testing Machine</i> RTH-2410	18
Gambar 3.6 Pengayak 60 mesh	19
Gambar 3.7 Neraca digital.....	19
Gambar 3.8 Jangka sorong	19
Gambar 3.9 Kikir baja	20
Gambar 3.10 Durometer <i>Shore D</i>	20
Gambar 3.11 Bruker Alpha II FTIR.....	21
Gambar 3.12 Limbah pelepah kelapa sawit.....	21
Gambar 3.13 Mesokarp kelapa sawit	22
Gambar 3.14 Larutan NaOH 5%	22
Gambar 3.15 Perekat Fox PVAc.....	22
Gambar 3.16 Resin epoxy	23
Gambar 3.17 Alkalisasi pelepah kelapa sawit	23
Gambar 3.18 Alkalisasi serat mesokarp kelapa sawit	24
Gambar 3.19 Penimbangan pelepah kelapa sawit	24
Gambar 3.20 Penimbangan serat mesokarp kelapa sawit.....	25
Gambar 3.21 Penimbangan PVAc dan resin epoxy	25

Gambar 3.22 Proses <i>mixing</i> /pencampuran	26
Gambar 3.23 Proses pembentukan adonan	26
Gambar 3.24 Proses pencetakan	26
Gambar 3.25 Proses <i>curing</i>	27
Gambar 3.26 Proses pemotongan papan partikel	27
Gambar 3.27 Proses <i>finishing</i> sampel	27
Gambar 3.28 Proses paparan panas 50°C	28
Gambar 3.29 Proses paparan panas 150°C	28
Gambar 3.30 Proses paparan panas 250°C	28
Gambar 3.31 Proses pendiaman 24 jam	29
Gambar 3.32 Proses pengujian kerapatan	29
Gambar 3.33 Proses pengujian kadar air	30
Gambar 3.34 Proses penimbangan kadar air	30
Gambar 3.35 Proses pengujian kekerasan	31
Gambar 3.36 Pengujian kekuatan lentur	32
Gambar 3.37 Pengikisan sampel uji	32
Gambar 3.38 Pengujian FTIR	32
Gambar 4.1 Grafik FTIR papan partikel sampel A	35
Gambar 4.2 Grafik FTIR papan partikel sampel B	36
Gambar 4.3 Grafik FTIR papan partikel sampel C	37
Gambar 4.4 Grafik FTIR <i>wavenumber</i> 3750-1750 cm ⁻¹	38
Gambar 4.5 Grafik FTIR <i>wavenumber</i> 1750-750 cm ⁻¹	39
Gambar 4.6 Grafik FTIR papan partikel	40
Gambar 4.7 Grafik densitas papan partikel	43
Gambar 4.8 Grafik kadar air papan partikel	44
Gambar 4.9 Grafik nilai kadar air tiap jam	45
Gambar 4.10 Grafik <i>modulus of elasticity</i> papan partikel	46
Gambar 4.11 Grafik <i>modulus of rupture</i> papan partikel	48
Gambar 4.12 Perbandingan nilai kekerasan terhadap paparan panas	51

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Standar material berdasarkan SNI	10
Tabel 3.1 Variabel penelitian	33
Tabel 4.1 Persentase dan densitas bahan	34
Tabel 4.2 Penyusun bahan sampel uji.....	35
Tabel 4.3 FTIR papan partikel.....	40
Tabel 4.4 Hasil pengujian densitas	42
Tabel 4.5 Hasil pengujian kadar air	43
Tabel 4.6 Nilai pengujian kadar air tiap jam	45
Tabel 4.7 Hasil pengujian <i>modulus of elasticity</i>	46
Tabel 4.8 Hasil pengujian <i>modulus of rupture</i>	47
Tabel 4.9 Hasil pengujian kekerasan sebelum paparan panas	50
Tabel 4.10 Hasil pengujian kekerasan setelah paparan panas	50
Tabel 4.11 Rata-rata hasil pengujian suhu paparan panas	52
Tabel 4.12 Nilai <i>weight</i> papan partikel.....	53
Tabel 4.13 Hasil nilai MRPI papan partikel	53

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki luas hutan yang luas dimana menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan terdapat 125,76 juta hektar atau 62,97% daratan di Indonesia [1]. Perkebunan kelapa sawit Indonesia juga merupakan salah satu yang terbesar, menurut data Badan Pusat Statistik Indonesia (BPS) dengan luas lahan sebesar 16,83 juta hektar di tahun 2023 dan setiap tahun mengalami peningkatan. Perkebunan kelapa sawit di Indonesia memiliki tingkat produksi yang besar mencapai 14.898 ton per tahunnya [2]. Produksi yang besar pada perkebunan kelapa sawit tentunya menghasilkan limbah yang besar pula setiap tahunnya. Panen kelapa sawit menghasilkan limbah pelepah kelapa sawit dan mesokarp yang besar. Limbah pelepah kelapa sawit dan mesokarp dihasilkan dari proses panen tandan buah segar yang dilakukan setiap tahun. Limbah yang besar ini dapat dimanfaatkan kembali menjadi sebuah produk papan partikel.

Papan partikel merupakan jenis produk kayu komposit yang terbuat dari partikel/serpihan kayu yang memiliki kandungan lignoselulosa yang diikat menggunakan perekat sintetis/organik dan diproduksi dengan menggunakan metode press sehingga terbentuk menjadi papan [3]. Papan partikel merupakan campuran kayu komposit dengan *adhesive*. Penelitian ini menggunakan limbah pelepah kelapa sawit sebagai *filler* dan serat mesokarp sebagai penguat papan partikel. Papan partikel pada penelitian ini menggunakan resin epoxy dan *poly-vinyl acetat* (PVAc) sebagai perekat/*adhesive* yang dicampurkan dan dipadatkan dengan kompaksi. Papan partikel ini akan dilakukan proses *curing* dimana meningkatkan kualitas dari sifat fisis dan mekanik papan partikel [4].

Penelitian ini memfokuskan pada reaksi papan partikel yang menggunakan pelepah kelapa sawit dan serat mesokarp ketika diberikan paparan panas. Paparan panas yang diberikan terhadap papan partikel dapat

menimbulkan pelemahan ikatan atom, sehingga semakin tinggi suhu paparan panas maka akan semakin rusak ikatan pada material [5].

Penelitian ini memiliki variasi suhu yang diberikan pada pemaparan panas terhadap papan partikel yaitu 50°C, 150°C dan 250°C selama 60 menit. Setiap spesimen dilakukan pengumpulan data berupa pengujian densitas kadar air, kekerasan, modulus elastisitas (MOE), modulus patah (MOR) dan gugus fungsi ikatan atom material berdasarkan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh paparan panas terhadap sifat komposit papan partikel berpenguat serat mesokarp?
2. Bagaimana perubahan sifat mekanik pada papan partikel pelepah sawit berpenguat serat mesokarp ketika menerima paparan panas?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan utama dimana untuk tetap tertuju dan tidak melenceng selama penelitian. Berikut merupakan tujuan dilaksanakannya penelitian:

1. Mengetahui degradasi sifat komposit papan partikel berpenguat mesokarp ketika menerima paparan panas.
2. Mengetahui perubahan sifat mekanik yang terjadi terhadap papan partikel pelepah sawit berpenguat serat mesokarp ketika menerima paparan panas.

1.4 Batasan Masalah

Terdapat batasan masalah yang terdapat pada proses penelitian yang dilakukan. Berikut merupakan batasan masalah yang terdapat pada penelitian ini:

1. Limbah kelapa sawit yang digunakan dalam bahan baku papan komposit berupa serat mesokarp dan pelepah kelapa sawit.

2. Limbah pelepah kelapa sawit digunakan sebagai *filler* papan komposit dan serat mesokarp sebagai bahan penguat.
3. Pengayak *filler* papan partikel menggunakan pengayak dengan ukuran mesh 60.
4. Matriks yang digunakan untuk pembuatan papan partikel berupa resin epoxy dan PVAc.

63

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat bagi penulis dan pembaca yang mempelajari penelitian ini. Berikut merupakan manfaat dari penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, menghasilkan terobosan baru dengan mengolah limbah dari kelapa sawit menjadi produk papan partikel yang bersifat *biodegradable*.
2. Pemerintah Provinsi Banten, dapat mengembangkan limbah kelapa sawit menjadi sebuah produk yang ramah lingkungan sehingga membantu dalam hal pengurangan dan pemanfaatan limbah.
3. Masyarakat, dapat mempelajari dan memanfaatkan ilmu yang dipaparkan sehingga dapat menerapkan pembuatan papan partikel dari bahan limbah kelapa sawit untuk digunakan dalam kehidupan sehari – hari.
4. Mahasiswa, dapat menggunakan sebagai referensi untuk penelitian yang dilakukan dengan topik permasalahan yang berhubungan.

66

1.6 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental dimana terdapat 3 variabel spesimen dengan variasi suhu paparan panas. Paparan panas diberikan pada spesimen dengan suhu sebesar 50°C, 150°C dan 250°C dengan waktu 60 menit. Setiap spesimen uji memiliki 4 replikasi data yaitu pengujian kekerasan, modulus elastisitas (MOE), modulus patah (MOR) dan gugus fungsi ikatan atom material menggunakan pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dilakukan dengan mengacu berdasarkan hasil penelitian terdahulu yang telah dilakukan dan digunakan sebagai literatur serta sumber referensi. Romadhon [4] melakukan optimasi perlakuan alkali pada *filler* pelepah dan serat mesokarp kelapa sawit terhadap performa papan partikel *biodegradable* dengan waktu dan konsentrasi larutan yang berbeda-beda. Hasil penelitian menjelaskan bahwa perlakuan yang optimal terjadi pada konsentrasi larutan NaOH 5% dengan waktu 4 jam. Pengujian dilakukan dengan 3 spesimen dan dilakukan rata-rata pada hasil uji. Hasil rata-rata pengujian densitas sebesar $0,808 \text{ gr/cm}^3$, rata-rata pengujian kadar air sebesar 4,4%, rata-rata pengujian pengembangan tebal sebesar 5,1%, rata-rata pengujian daya serap air sebesar 12,9%, rata-rata pengujian *modulus of rupture* (MOR) sebesar $208,82 \text{ kgf/cm}^2$, rata-rata pengujian *modulus of elasticity* (MOE) sebesar $12748,20 \text{ kgf/cm}^2$.

Penelitian yang dilakukan Sunardi dkk. [5], dimana dengan objek penelitian kampas rem organik dengan campuran cangkang kulit telur yang diberi paparan panas pada suhu 200°C , 300°C , 400°C dan 500°C selama 1 jam. Hasil penelitian menunjukkan laju keausan spesifik, koefisien gesek, dan suhu antar muka meningkat dengan seiring peningkatan suhu paparan pada komposit. Pada suhu 400°C peningkatan koefisien gesek, laju keausan dan suhu antar muka disebabkan degradasi bahan organik akibat peningkatan suhu yang tinggi. Tingkat keausan spesifik pada komposit paling rendah ditunjukkan pada suhu 200°C sebesar $3,95 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Suhu 400°C terjadi pelemahan ikatan OH, CH dan CN, sementara pada suhu 500°C ikatan pada komposit putus.

2.2 Papan Partikel

Pengembangan bahan ramah lingkungan (*ecofriendly*) sebagai salah satu bahan alternatif dalam pembuatan papan partikel menarik perhatian dikarenakan pembuatan papan partikel menggunakan bahan ramah lingkungan menghasilkan papan partikel yang memiliki kekuatan tinggi, produktivitas dan memiliki keunggulan bobot yang ringan [3]. Papan partikel merupakan salah satu produk yang dihasilkan dari rekonstitusi kayu, proses pembuatan papan partikel mengacu pada bahan kayu dari alam [6].



Gambar 2.1 Papan partikel [7]

Papan partikel merupakan salah satu dari banyaknya jenis produk kayu komposit dimana terbuat dari partikel/serpihan kayu atau bahan yang mengandung lignoselulosa yang diikat menggunakan perekat sintetis maupun organik. Papan partikel dapat digunakan untuk berbagai jenis kayu seperti bahan kayu yang memiliki karakteristik pertumbuhan yang cepat, kayu dengan kerapatan partikel rendah, sampai dengan limbah industri kayu (serbuk gergaji). Penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa papan partikel memiliki sifat mekanis dan sifat fisis yang baik untuk dibuat menjadi suatu produk serta dapat menambahkan nilai jual suatu kayu [3].

Papan partikel merupakan campuran antara kayu komposit dengan adhesive bahan organik dan bahan anorganik. Adhesive dengan bahan organik dapat berupa *polyisocyanates* dan anorganik dapat berupa *phenol formaldehyde*. Penggunaan papan partikel marak digunakan untuk furniture, karena sifat dari papan partikel yang memiliki bobot yang ringan dan memiliki kesederhanaan sehingga dapat menunjang gaya arsitektur yang memiliki nilai kesederhanaan. Komposisi papan partikel dapat menggunakan

komponen penyusunnya seperti *adhesive* berupa resin sebagai matriks, dan serbuk kayu sebagai *filler* papan partikel [8].

2.3 Limbah Mesokarp pada Kelapa Sawit

Indonesia merupakan negara yang memiliki luas lahan hutan yang sangat luas. Menurut data dari Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia memiliki wilayah hutan sebesar 125,76 juta hektar yang setara dengan 62,97% daratan di Indonesia [1]. Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki Perkebunan kelapa sawit terbesar dimana tersebar pada 26 provinsi dengan luas 15,34 juta hektar di tahun 2022, di tahun 2023 meningkat menjadi 16,83 juta hektar dan setiap tahunnya Perkebunan kelapa sawit di Indonesia mengalami peningkatan yang luas [2].



Gambar 2.2 Limbah mesokarp [9]

Proses pengolahan tandan buah kelapa sawit akan menghasilkan sisa berupa mesokarp. Sisa mesokarp ini disebut juga dengan ampas mesokarp yang merupakan salah satu limbah yang dihasilkan dari Perkebunan kelapa sawit. Limbah mesokarp ini merupakan salah satu limbah yang sangat besar dalam Perkebunan kelapa sawit di Indonesia [10]. Mesokarp dapat dimanfaatkan kembali dikarenakan memiliki kandungan hemiselulosa 11,36, lignin sebesar 21,71% dan selulosa sebesar 41,92%. Lignin merupakan material yang menyusun batang tanaman yang tergabung dalam selulosa dan bahan serat lain. Lignin memiliki fungsi untuk membantu tanaman agar dapat berdiri tegak dengan cara mengikat material penyusun lain pada tumbuhan [11].

2.4 Limbah Pelepah pada Kelapa Sawit

Perkebunan kelapa sawit di Indonesia merupakan salah satu industri pertanian yang sangat luas dan besar. Menurut data dari Badan Pusat Statistik Indonesia (BPS) Indonesia memiliki luas Perkebunan kelapa sawit sebesar 16,83 juta hektar di tahun 2023, dan setiap tahunnya mengalami kenaikan [2]. Perkebunan kelapa sawit di Indonesia memiliki tingkat produksi yang sebesar 14.898 ton per tahun. Jumlah nilai produksi yang besar mengakibatkan limbah pelepah dan daun sawit yang mencapai 40-50 pelepah/pohon per tahun. Pelepah kelapa sawit merupakan sisa pengolahan dan proses panen dari Perkebunan kelapa sawit. Limbah pelepah kelapa sawit dihasilkan dari proses panen tandan buah segar yang dilakukan sepanjang tahun [12].



Gambar 2.3 Limbah pelepah kelapa sawit [13]

Kandungan gizi pada pelepah kelapa sawit terdiri dari komposisi bahan kering 97,39%, abu 3,96%, protein kasar 2,23%, serat kasar 47%, lemak kasar 3,04%, *Neutral Detergent Fibre* (NDF) 76,09%, *Acid Detergent Fibre* (ADF) 57,56%, hemiselulosa 18,51%, lignin 14,23% dan selulosa 43% [12].

2.5 Pengaruh Perlakuan Alkali

Komposit merupakan material yang dapat digunakan sebagai bahan alternatif dalam manufaktur bidang transportasi, arsitektur dan properti. Komposit memiliki keunggulan pada bobot yang ringan, desain kekuatannya dapat disesuaikan berdasarkan arah beban dan lebih tahan korosi [14]. Proses perlakuan alkali merupakan salah satu cara dalam membersihkan serat dari lapisan lignin yang menjadi pelindung serat dan cara pembersihan dari kotoran. Proses pembersihan lignin ini dilakukan karena lapisan lignin

menurunkan kemampuan ikatan serat dan matriks [15]. Perlakuan alkali merupakan metode umum yang digunakan untuk membersihkan permukaan serat, mengurangi tegangan permukaan serta meningkatkan adhesi pada serat dan matriks polimer [16].

2.6 Poly-Vinyl Acetat (PVAc)

Polyvinyl Acetate (PVAc) merupakan jenis polimer yang memiliki sifat kerekatan yang sangat kuat, sehingga biasa digunakan dalam bahan dasar produksi lem/perekat. PVAc memiliki keunggulan sifat tidak berbatu, tidak mudah terbakar, dan cepat solid/mengeras [17]. PVAc merupakan salah satu jenis polimer termoplastis, dimana memiliki sifat fleksibel. PVAc ketika menerima panas akan mengeras, dan ketika didinginkan akan mengeras. PVAc memiliki sifat tahan suhu tinggi, daya regang tinggi dan larut dalam pelarut organik. PVAc dapat dimanfaatkan sebagai perekat pada material, bahan cat, kertas dan tekstil [18].

PVAc merupakan jenis polimer aplikatif dimana biasa digunakan sebagai bahan material. PVAc dapat disintesis melalui proses polimerisasi emulsi. Polimerisasi emulsi PVAc merupakan cairan putih susu dengan kandungan 40-60% polimer padat, dan sisanya air, *colloid protective* dan aditif [18]. PVAc dapat digunakan pada papan partikel dikarenakan dapat meningkatkan kualitas dari sifat fisik dan sifat mekanik papan partikel [17].



Gambar 2.4 Perekat PVAc

2.7 Resin Epoxy

Epoxy merupakan material yang kerap digunakan dalam penguatan struktur suatu material. Sifat epoxy dapat cepat mengeras dan masuk ke celah sempit yang tidak dapat dijangkau. Epoxy merupakan bahan yang dapat digunakan untuk mengikat ikatan material dan mengurangi korosi pada material [19]. Epoxy merupakan salah satu polimer *thermoset*, dimana epoxy dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Penggunaan epoxy biasa digunakan pada industri penerbangan, konstruksi dan olahraga. Epoxy merupakan polimer *thermosetting* dimana merupakan reaksi dari epoxy resin dan *hardener* amino. Epoxy resin dan *hardener* dapat digunakan sebagai perekat. Campuran dari resin dan *hardener* dilakukan berdasarkan sifat mekanik dari epoxy yang dihasilkan. Pencampuran resin yang lebih banyak akan menghasilkan material yang getas dengan tingkat deformasi rendah, jika *hardener* lebih banyak akan menghasilkan kekuatan luluh yang lebih rendah, namun tingkat deformasinya akan tinggi [20].



Gambar 2.5 Resin epoxy

2.8 Paparan Panas

Paparan panas pada material merupakan kondisi dimana suatu material menerima suhu tinggi dalam jangka waktu tertentu. Paparan panas pada suatu material dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik suatu material. Paparan panas memiliki dampak pada suatu material, dampak yang dihasilkan dari paparan panas terhadap suatu material berbeda beda berdasarkan jenis material, suhu dan waktu paparan panas [21].

2.8.1 Paparan Panas pada Papan Partikel

Paparan panas terhadap papan partikel mempengaruhi sifat fisik dan sifat mekanik dari papan partikel secara signifikan. Papan partikel yang merupakan papan yang terbuat dari serat kayu organik dengan campuran resin tidak memiliki ketahanan yang tinggi terhadap panas. Proses paparan panas yang tinggi dapat mempengaruhi degradasi pada suatu produk dan bahkan dapat terbakar. Paparan panas pada suhu tinggi dapat berdampak buruk terhadap kekuatan mekanis papan partikel [22].

2.9 Pengujian Material Komposit

Pengujian merupakan hal yang penting untuk dilakukan terhadap suatu material, karena berdasarkan pengujian dapat disimpulkan kemampuan dan kelayakan suatu material dan produk. Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari material papan partikel pelepah kelapa sawit berpenguat serat mesokarp yang telah dibuat. Pengujian berguna untuk menguji sifat mekanik kekerasan, kekuatan lentur dan ikatan yang terbentuk pada produk papan partikel yang diberikan paparan panas selama 1 jam dengan variasi suhu 50°C, 150°C dan 250°C. Pengujian dilakukan berdasarkan standar SNI 03-2105-2006 sebagai acuan dimana merupakan penentu kualitas dari papan partikel seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Standar material berdasarkan SNI

No.	Sifat Mekanik	SNI 03-2105-2006
1	Kadar Air	Maksimal 14%
2	Kekerasan	Tebal Min. 6,25 mm
3	<i>Modulus of Rupture</i> (MOR)	Min. 82 kgf/cm ²
4	<i>Modulus of Elasticity</i> (MOE)	Min 2,04 x 10 ⁴ kgf/cm ²

2.9.1 Kerapatan

Papan partikel merupakan produk yang memiliki kelebihan dibandingkan dengan kayu alami. Papan partikel dapat dibuat dengan menyesuaikan kebutuhan dan kondisi lingkungan, Ukuran kerapatan

papan partikel dapat menyesuaikan dengan kebutuhan dan kegunaannya [23]. Berdasarkan standar SNI 03-2105-2006 yang membahas tentang papan partikel, nilai kerapatan papan partikel ditentukan dalam satuan (gr/cm^2). Menurut SNI 03-2105-2006 nilai kerapatan pada papan partikel harus memiliki nilai diatas $0,3 \text{ gr}/\text{cm}^2$ dan kurang dari $0,9 \text{ gr}/\text{cm}^2$ [24]. Nilai kerapatan dihitung menggunakan persamaan 2.1 [24].

$$\rho = \frac{m}{v} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

ρ = Kerapatan (gr/cm^2)
 m = Massa (gr)
 v = Volume (cm)

2.9.2 Kadar Air

Kadar air merupakan sifat fisis yang terdapat pada suatu material setelah dilakukan proses pengovenan. Nilai kadar air menunjukkan besar kecilnya kandungan air suatu material yang dimiliki Ketika berada dalam keadaan kesetimbangan di lingkungan sekitar [25]. Berdasarkan standar SNI 03-2105-2006 yang membahas tentang papan partikel, kadar air ditentukan dalam satuan persen (%). Menurut SNI 03-2105-2006 nilai kadar air pada papan partikel harus memiliki nilai dibawah 14%. Nilai kadar air didapatkan melalui proses pemanasan dalam oven [24]. Nilai kadar air dihitung menggunakan persamaan 2.2 [24].

$$KA(\%) = \frac{ma - mk}{mk} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

KA = Kadar Air (%)
 ma = Massa awal (g)
 mk = Massa Kering (g)

2.9.3 Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengukur dan menilai kemampuan suatu material terhadap pembebanan pada perubahan yang tetap. Ketika suatu gaya diberikan pada benda uji, nilai kekerasan material dapat diukur berdasarkan beban yang diterima pada material menggunakan alat ukur Durometer. Durometer merupakan alat yang bekerja untuk mengukur ketahanan material ketika diberikan pembebanan menggunakan jarum *indentor* [26]. Pengujian kekerasan dilakukan berdasarkan standar ASTM D2240-15 dimana untuk pengukuran kekerasan komposit menggunakan Durometer Shore D. Pengujian dilakukan dengan menekan *indentor* sejajar dengan spesimen uji dan dilakukan penetrasi yang singkat kurang dari 1 detik [27].

2.9.4 Modulus of Elasticity (MOE)

Pengujian *modulus of elasticity* (MOE) atau modulus elastisitas merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengukur nilai ketahanan material ketika mengalami fenomena deformasi plastis [28]. Pengujian MOE dilakukan berdasarkan standar ASTM D790 dengan spesimen berukuran 80 x 15 x 6 mm dengan minimum nilai elastisitas sebesar $2,04 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$. Perolehan nilai MOE dilakukan dengan perhitungan menggunakan Persamaan 2.3 [24].

$$MOE = \frac{L^3 m}{4bh^3} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

MOE = Modulus elastisitas (MPa)

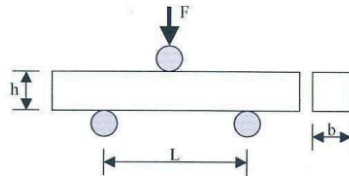
b = Lebar/tebal benda uji (mm)

L = Jarak sangga (mm)

m = *Slope* tangen kurva beban defleksi (N/mm)

2.9.5 ² *Modulus of Rupture (MOR)*

Pengujian *modulus of rupture* (MOR) atau keteguhan patah dilakukan berdasarkan standar ASTM D790 dengan pembebanan metode *three point bending* menggunakan *universal testing machine* (UTM). Spesimen uji berukuran 80 x 15 x 6 mm dengan nilai minimum kelenturan 82 kgf/cm².



Gambar 2.6 MOE dan MOR 3 Point Bending [29]

Nilai MOR didapat dengan melakukan perhitungan menggunakan Persamaan 2.4 [24].

$$MOR = \frac{3FL}{2bh^3} \dots \dots \dots (2.4)$$

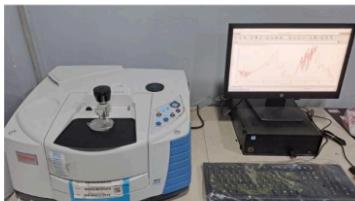
Keterangan:

- MOR = Modulus patah (MPa)
- F = Massa beban sampai patah (N)
- L = Jarak sangga (mm)
- b = Lebar benda uji (mm)
- h = Tebal benda uji (mm)

2.9.6 ⁴ *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Fourier transform infrared merupakan metode untuk menganalisa fungsi senyawa dari serapan sinar inframerah yang diserap pada suatu senyawa. Pola absorbansi yang diterima pada setiap senyawa memiliki pola yang berbeda sehingga dapat dibedakan dan dikuantifikasi [30]. Pengujian ini menggunakan FTIR untuk menganalisa interaksi kimia antar matriks dan penguat yang terkandung dalam papan partikel. FTIR menghasilkan informasi

berupa jenis ikatan kimia, perubahan kimia dan reaksi komponen penyusun komposit.



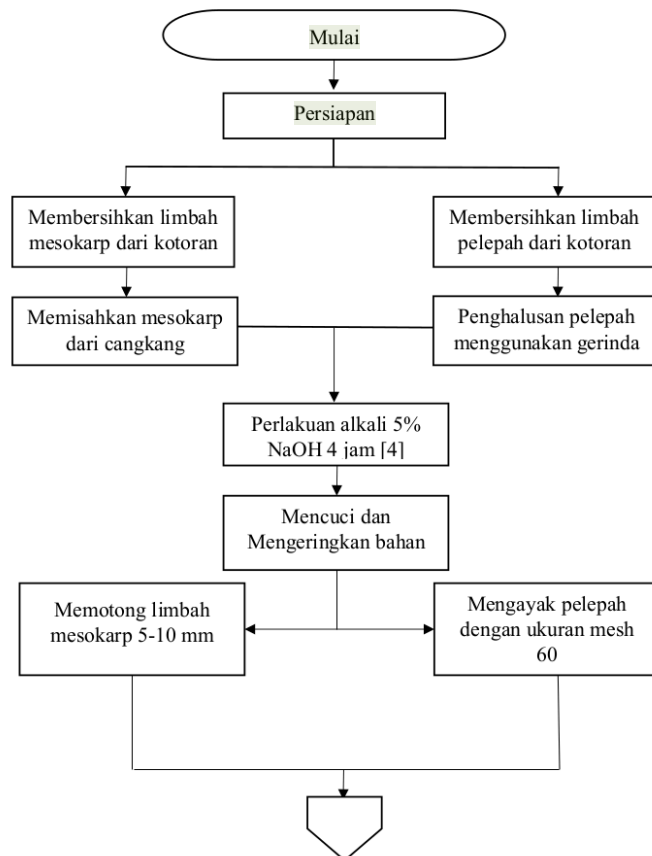
Gambar 2.7 FTIR [31]

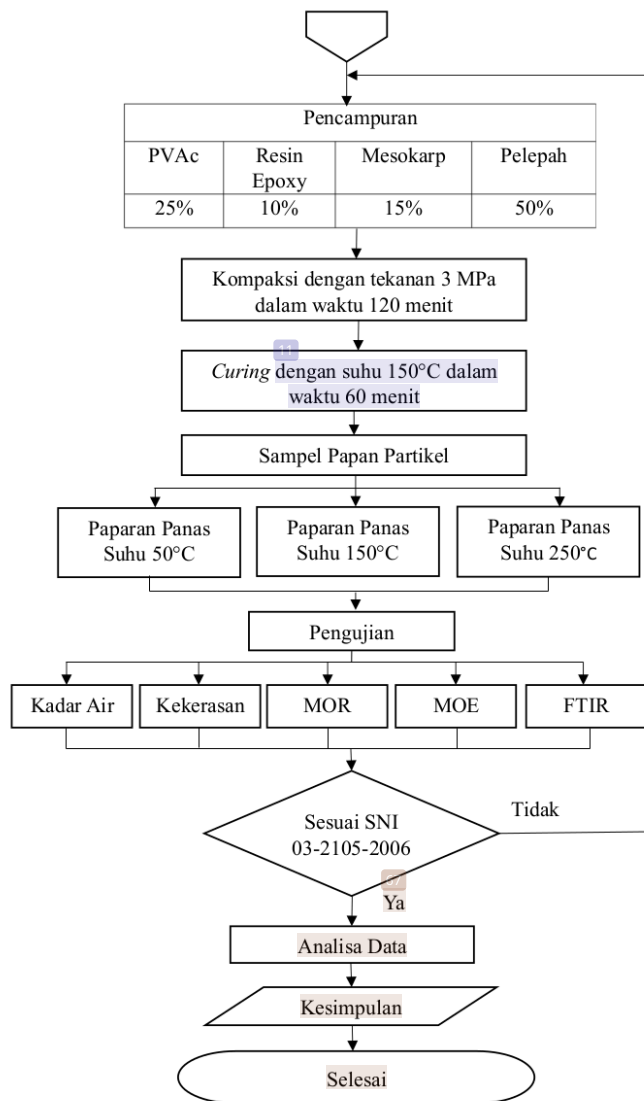
Pengujian *fourier transform infrared* (FTIR) dilakukan dengan alat berupa spektrometer. Spesimen dimasukan kedalam spektrometer yang terhubung komputer dan diberikan sinar inframerah akan menghasilkan diagram FTIR yang dapat dianalisa ikatan atom yang terbentuk pada struktur material.

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan yang dilakukan yang dibuat dalam bentuk diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram Alir

46

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat dan bahan dalam proses pembuatan sampelnya. Alat merupakan benda yang digunakan untuk membuat sesuatu dan bahan merupakan sesuatu yang diperlukan dalam penunjang penelitian. Berikut merupakan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

3.2.1 Alat yang Digunakan

Berikut merupakan alat – alat yang digunakan dalam penelitian papan partikel pelepah kelapa sawit berpenguat serat mesokarp:

1. *Furnace*/Tanur

Biochamb *Furnace*/Tanur 1500°C, 7000 Watt memiliki fungsi sebagai alat untuk melakukan proses *curing* dan pengujian pemaparan panas pada spesimen.



Gambar 3.2 *Furnace*

2. Cetakan Papan Partikel

Cetakan papan partikel 140 x 50 mm memiliki fungsi sebagai wadah untuk proses *cold press* pada spesimen.



Gambar 3.3 Cetakan papan partikel

3. Mesin Press

Mesin Press 3 MPa berfungsi untuk membentuk spesimen dengan proses penekanan terhadap spesimen yang berada di cetakan.



Gambar 3.4 Mesin press

4. Universal Testing Machine (UTM)

Tensilon Universal Testing Machine RTH-2410 100 kN memiliki fungsi sebagai alat uji dalam pengujian kekuatan lentur spesimen.



Gambar 3.5 Tensilon Universal Testing Machine RTH-2410

5. Pengayak ukuran 60 Mesh

Pengayak KZM 60 Mesh memiliki fungsi sebagai penyaring *filler* pelpah kelapa sawit. Pengayak ini memiliki ukuran sebesar 60 mesh.



Gambar 3.6 Pengayak 60 mesh

6. Neraca Digital

Neraca Digital ketelitian 0,01 gr memiliki fungsi sebagai alat ukur berat dalam penelitian.



Gambar 3.7 Neraca digital

7. Jangka Sorong

Jangka Sorong Mitutoyo dengan ketelitian 0,01 mm memiliki fungsi sebagai alat ukur dimensi spesimen uji.



Gambar 3.8 Jangka sorong

8. Alat Kikir

Alat kikir Krisbow memiliki fungsi sebagai pengikis papan partikel untuk pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR).



Gambar 3.9 Kikir baja

9. Durometer

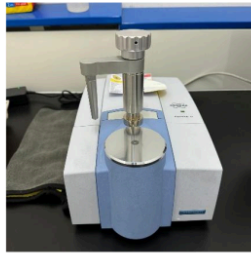
Shore D Durometer 0-100 HD memiliki fungsi sebagai alat uji kekerasan material.



Gambar 3.10 Durometer *Shore D*

10. Spektrometer

Bruker Alpha II Platinum ATR FTIR Spektrometer memiliki fungsi sebagai alat uji FTIR dimana mengidentifikasi senyawa dan gugus fungsi dari material uji.



Gambar 3.11 Bruker Alpha II FTIR

3.2.2 Bahan yang Digunakan

Berikut merupakan bahan - bahan yang digunakan dalam penelitian papan partikel pelepah kelapa sawit berpenguat serat mesokarp:

1. Limbah Pelepah Kelapa Sawit

Limbah pelepah kelapa sawit dengan ukuran mesh 60 yang telah diberi perlakuan alkali 5% selama 4 jam. Merupakan bahan yang digunakan sebagai *filler* pada papan partikel [4].



Gambar 3.12 Limbah pelepah kelapa sawit

2. Mesokarp

Serat mesokarp yang telah diberi perlakuan alkali 5% selama 4 jam memiliki fungsi sebagai serat penguat dalam papan partikel.



Gambar 3.13 Mesokarp kelapa sawit

3. Larutan NaOH

Larutan NaOH dengan kandungan 5% memiliki fungsi untuk menghilangkan zat lignin yang terdapat pada bahan.



Gambar 3.14 Larutan NaOH 5%

4. Perakat Fox (PVAc)

Lem Fox PVAc memiliki fungsi sebagai matriks (perekat) pada papan partikel.



Gambar 3.15 Perekat Fox PVAc

5. Resin Epoxy

Resin Epoxy *adhesive* dan *hardener* memiliki fungsi sebagai matriks (perekat) pada papan partikel.



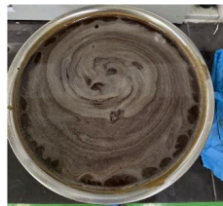
Gambar 3.16 Resin epoxy

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dalam prosesnya terdapat beberapa tahapan prosedur yang dilakukan. Berikut merupakan tahapan prosedur yang dilakukan:

3.3.1 Persiapan Filler Pelepah Kelapa Sawit

Mempersiapkan limbah pelepah kelapa sawit. Lalu dilakukan pembersihan pelepah kelapa sawit dari kotoran dengan air mengalir. Pelepah kelapa sawit dijemur hingga kering dengan sinar matahari. Setelah pelepah kelapa sawit kering dilakukan penghalusan pelepah kelapa sawit menggunakan alat gerinda tangan. Pelepah yang telah menjadi serbuk kecil dilakukan proses perendaman alkali 5% NaOH dengan waktu 4 jam [4]. Membersihkan dan mencuci filler menggunakan air bersih sampai alkali NaOH tidak tersisa. Setelah pelepah kelapa sawit kering dilakukan penyaringan partikel pelepah dengan menggunakan ayakan 60 mesh.



Gambar 3.17 Alkalisasi pelepah kelapa sawit

3.3.2 Pembuatan Serat Mesokrap Kelapa Sawit

Menyiapkan limbah mesokarp kelapa sawit. Serat mesokarp dibersihkan dari kotoran dengan air mengalir. Serat mesokarp yang telah dibersihkan dikeringkan hingga kering dengan sinar matahari. Selanjutnya melakukan proses perendaman alkali 5% NaOH dengan waktu 4 jam [4]. Serat mesokarp yang telah dialkali dibersihkan dan dicuci menggunakan air bersih hingga alkali NaOH tidak tersisa. Selanjutnya memotong limbah mesokrap sampai bentuk serat kecil dengan ukuran 5-10 mm.



Gambar 3.18 Alkalisasi serat mesokarp kelapa sawit

3.3.3 Penimbangan Bahan

1. Melakukan proses penimbangan berat *filler* pelepah kelapa sawit sebesar 50% menggunakan neraca digital.



Gambar 3.19 Penimbangan pelepah kelapa sawit

2. Melakukan proses penimbangan berat serat mesokarp kelapa sawit sebesar 15% menggunakan neraca digital.



Gambar 3.20 Penimbangan serat mesokarp kelapa sawit

3. Melakukan proses penimbangan berat perekat fox PVAc sebesar 25% menggunakan neraca digital.
4. Melakukan proses penimbangan berat resin epoxy sebesar 10% menggunakan neraca digital.



Gambar 3.21 Penimbangan PVAc dan resin epoxy

76 3.3.4 Pembuatan Papan Partikel

Mempersiapkan bahan yang telah ditimbang untuk pembuatan papan partikel seperti *filler* pelepah kelapa sawit, serat mesokarp, PVAc dan resin epoxy. Melakukan pencampuran sesuai takaran persentase yang telah ditentukan. Menuangkan campuran adonan bahan ke dalam cetakan Melakukan kompaksi menggunakan teknik *coolpress* pada tekanan 3 Mpa dengan waktu 120 menit Spesimen dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan proses *curing* pada suhu 150°C dengan waktu 60 menit. Setelah proses pencetakan dan *curing* selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan proses pemotongan papan partikel

dengan ukuran sesuai standar pengujian. Setelah pemotongan dilakukan dilakukan *finishing* dengan mengamplas spesimen.



Gambar 3.22 Proses *mixing*/pencampuran



Gambar 3.23 Proses pembentukan adonan



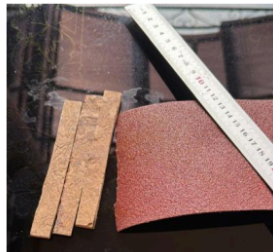
Gambar 3.24 Proses pencetakan



Gambar 3.25 Proses *curing*



Gambar 3.26 Proses pemotongan papan partikel



Gambar 3.27 Proses *finishing* sampel

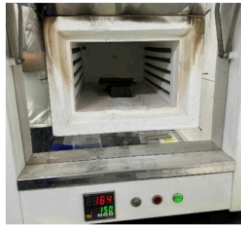
3.3.5 Pemaparan Panas Pada Papan Partikel

Mempersiapkan papan partikel yang telah dilakukan proses pemotongan dan *finishing*. Tahapan selanjutnya adalah melakukan pemaparan panas pada papan partikel dengan variasi suhu 50°C, 150°C dan 250°C. Memberikan pemaparan panas pada papan partikel masing

– masing selama 1 jam. Setelah papan partikel yang telah diberi paparan panas, melakukan pendiaman papan partikel selama 24 jam pada suhu ruang.



Gambar 3.28 Proses pemaparan panas 50°C



Gambar 3.29 Proses pemaparan panas 150°C



Gambar 3.30 Proses pemaparan panas 250°C



Gambar 3.31 Proses pendiaman 24 jam

89

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan dengan 4 jenis pengujian demi memperoleh data untuk menganalisa hasil penelitian. Berikut merupakan pengujian dan proses pengumpulan data yang dilakukan.

3.4.1 Kerapatan

1. Mempersiapkan sampel pengujian yang telah dilakukan proses pemaparan panas dengan variasi suhu 50°C, 150°C dan 250°C selama 1 jam.
2. Mengukur dimensi sampel uji dengan mengukur panjang, lebar dan tebal dengan ketelitian 0,01 mm.
3. Melakukan pengukuran massa dari sampel pengujian.
4. Melakukan pengukuran dimensi pada sampel pengujian dan dilakukan perhitungan untuk mencari nilai rata-rata.
5. Mencatat dimensi dan massa papan partikel.
6. Melakukan perhitungan volume pada tiap sampel uji
7. Melakukan perhitungan nilai kerapatan sampel uji menggunakan persamaan 2.1.



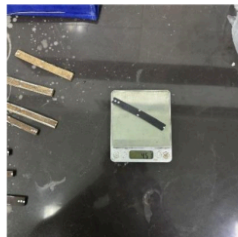
Gambar 3.32 Proses pengujian kerapatan

3.4.2 Kadar Air

1. Mempersiapkan sampel pengujian yang telah dilakukan proses pemaparan panas dengan variasi suhu 50°C, 150°C dan 250°C selama 1 jam.
2. Mengukur dimensi dan massa awal dari sampel pengujian. Pengukuran dilakukan menggunakan jangka sorong dan neraca digital
3. Memasukkan sampel kedalam *furnace* dengan suhu 105°C selama 1 jam
4. Mengeluarkan sampel uji dari *furnace*
5. Melakukan pengujian kadar air dengan menimbang massa papan partikel menggunakan neraca digital.
6. Mencatat massa papan partikel yang ditunjukkan pada neraca digital.
7. Mengulangi penimbangan dengan waktu 0 jam, 3 jam, 6 jam, 9 jam, 12 jam dan 24 jam pada setiap sampel uji.



Gambar 3.33 Proses pengujian kadar air



Gambar 3.34 Proses penimbangan kadar air

3.4.3 Kekerasan

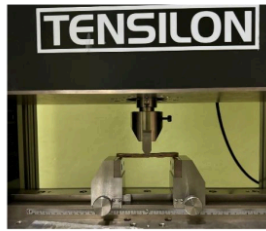
1. Mempersiapkan sampel pengujian yang telah dilakukan proses pemaparan panas dengan variasi suhu 50°C, 150°C dan 250°C selama 1 jam.
2. Mengukur dimensi dari sampel pengujian. Pengukuran dilakukan menggunakan jangka sorong.
3. Meletakkan sampel uji pada tempat yang rata dan kokoh.
4. Melakukan pengujian kekerasan pada sampel uji menggunakan durometer shore D.
5. Mencatat hasil nilai yang ditunjukkan pada durometer.



Gambar 3.35 Proses pengujian kekerasan

3.4.4 Kekuatan Lentur

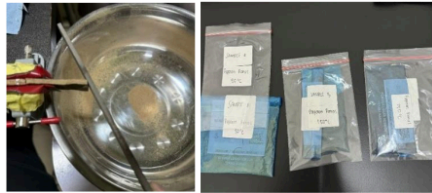
1. Mempersiapkan sampel pengujian yang telah dilakukan proses pemaparan panas dengan variasi suhu 50°C, 150°C dan 250°C selama 1 jam.
2. Melakukan pengukuran panjang, lebar dan tebal sampel pengujian.
3. Meletakkan sampel uji pada alat *Universal Testing Machine* dengan metode *three point bending* (UTM).
4. Melakukan pengaturan pembebanan pengujian pada alat uji *Universal Testing Machine* (UTM).
5. Melakukan pengujian dengan memberikan pembebanan pada sampel uji sesuai dengan standar ASTM D790.
6. Mencatat data yang dihasilkan dari proses pengujian.
7. Melakukan proses perhitungan berdasarkan data pengujian.



Gambar 3.36 Pengujian kekuatan lentur

3.4.5 *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

1. Mempersiapkan sampel pengujian yang telah dilakukan proses paparan panas dengan variasi suhu 50°C, 150°C dan 250°C selama 1 jam.
2. Melakukan pengikisan benda uji menggunakan alat kikir.



Gambar 3.37 Pengikisan sampel uji

3. Memasukkan sampel pengujian ke dalam spektrometer.
4. Memberikan paparan sinar inframerah ke sampel pengujian.
5. Mencatat dan menyimpan sinyal spektrum yang didapat dari alat spektrometer.
6. Menganalisa hasil diagram FTIR dan identifikasi puncak.



Gambar 3.38 Pengujian FTIR

3.5 Variabel Penelitian

Penelitian ini memiliki 3 jenis variabel, diantaranya variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol. Berikut merupakan variabel dalam penelitian ini:

a. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi proses paparan panas yang dilakukan dengan suhu 50°C, 150°C dan 250°C dengan waktu 1 jam.

b. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah pengujian densitas, kadar air, kekerasan, pengujian kekuatan lentur dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

c. Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah serat mesokarp, *filler* pelepah kelapa sawit, PVAc, resin epoxy, ukuran mesh 60 dan metode pembuatan papan partikel.

Tabel 3.1 Variabel penelitian

Sampel	Paparan Panas	
	Suhu	Waktu
A	50°C	60 Menit
B	150°C	60 Menit
C	250°C	60 Menit

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Bahan Sampel

Penelitian ini dilakukan dengan pembuatan sampel dengan bahan organik dari buah kelapa sawit. Penelitian ini menggunakan pelepah kelapa sawit sebagai filler dari papan partikel komposit dan dipadukan dengan penguat dari serat mesokarp kelapa sawit dengan matriks penguat berupa *poly-vinyl acetat* (PVAc) dan resin epoxy. Pembuatan sampel uji memerlukan pencampuran yang sesuai dengan kerapatan bahannya. Berikut merupakan persentase yang dibutuhkan dan densitas dari setiap komponen penyusun papan partikel yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Persentase dan densitas bahan

No.	Bahan	Persentase (%)	Densitas (gr/cm ³)
1.	Pelepah Kelapa Sawit	50	0,28
2.	Serat Mesokarp	15	0,16
3.	<i>Poly Vinyl Acetat</i>	25	1,07
4.	Resin Epoxy	10	1,10

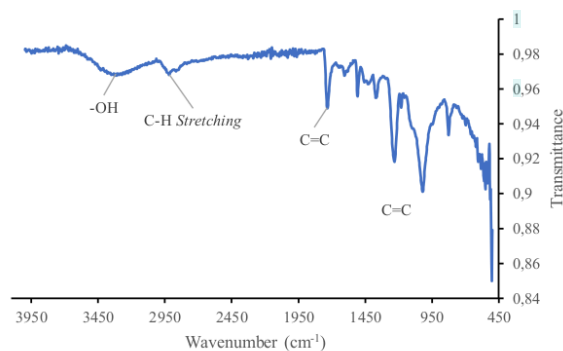
Penelitian ini dilakukan dengan pembuatan sampel untuk dua pengujian, yaitu pengujian fisis dan pengujian mekanis. Pengujian dilakukan dengan melakukan pengujian fisis dan dilanjut dengan pengujian mekanis. Pengujian fisis yang dilakukan berupa pengujian densitas/kerapatan dan pengujian kadar air. Pengujian mekanis yang dilakukan berupa pengujian kekerasan (*hardness*), kekuatan lentur (*modulus of elasticity and modulus of rupture*) dan pengujian *fourier transform infrared* (FTIR). Pembuatan sampel pengujian dilakukan dengan menggunakan cetakan dengan ukuran 14 x 5 x 1,5 cm dengan total volume sebesar 105 cm³. Penelitian ini menggunakan bahan penyusun yang dibutuhkan untuk pembuatan sampel papan partikel seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Penyusun bahan sampel uji

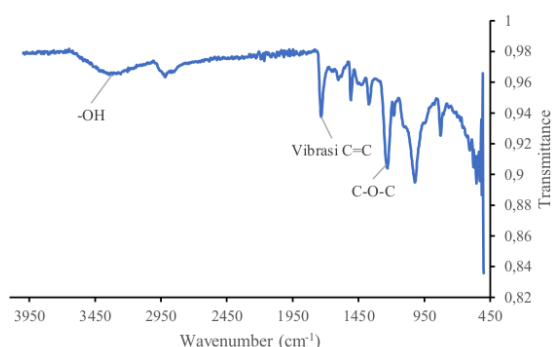
No.	Bahan	Persentase (%)	Hasil (gr)
1.	Pelepah	50%x105x0,28	14,70
2.	Serat Mesokarp	15%x105x0,16	2,52
3.	PVAc	25%x105x1,07	28,09
4.	Resin Epoxy	10%x105x1,1	11,55
Jumlah		100	56,86

4.2 Fourier Transform Infrared (FTIR)

Fourier transform infrared merupakan metode pengujian yang dilakukan untuk menganalisa fungsi senyawa dari suatu material menggunakan serapan sinar inframerah yang diserap dari suatu senyawa. Pola sinar inframerah yang diterima setiap senyawa memiliki pola yang berbeda beda sehingga dapat dibedakan dan diklasifikasikan. Pengujian *fourier transform infrared* menggunakan interaksi kimia antar matriks dan penguat pada papan partikel untuk analisa. *Fourier transform infrared* menunjukkan ikatan kimia, perubahan kimia dan reaksi pada susunan ikatan komposit. Pengujian FTIR dilakukan dengan 3 variasi sampel A, B dan C yang diberikan pemaparan panas masing-masing dengan suhu 50°C, 150°C dan 250°C selama 1 jam. Hasil pengujian *fourier transform infrared* sampel A, sampel B dan sampel C ditunjukkan pada Gambar 4.1, 4.2 dan 4.3.

**Gambar 4.1** Grafik FTIR papan partikel sampel A

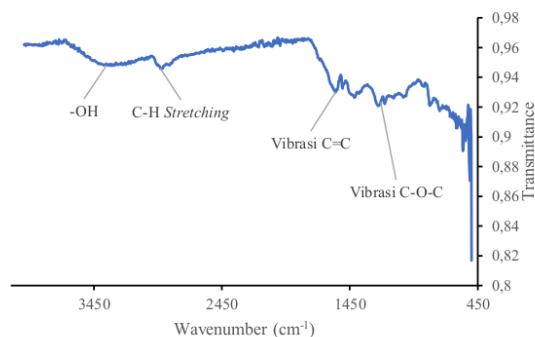
Berdasarkan hasil pengujian FTIR sampel A pada Gambar 4.1 menunjukkan area dimana papan partikel dapat dianalisa. Area 3500-3200 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus -OH, adanya gugus fungsi -OH menandakan bahwa terdapat selusosa/resin berbasis bio. Area 3000-2800 cm^{-1} terdapat C-H *stretching* alkana menandakan adanya polimer dan selulosa sehingga meningkatkan fleksibilitas material dan ketahanan terhadap benturan. Area 1750-1650 cm^{-1} menunjukkan terdapat gugus karbonil C=O terdapat interaksi antara resin/perekat dalam papan partikel sehingga memberikan kekakuan mekanik pada papan. Area 1600-1500 cm^{-1} menunjukkan ikatan C=C terdapat *bending* N-H, menunjukkan papan terjadi peningkatan kekuatan mekanik dan stabilitas termal. Area 1000-800 cm^{-1} menunjukkan terjadi peningkatan kekuatan struktural material [32].



Gambar 4.2 Grafik FTIR papan partikel sampel B

Hasil pengujian FTIR sampel B yang ditunjukkan pada Gambar 4.2, puncak lebar pada area 3319 cm^{-1} terdapat gugus fungsi -OH menandakan bahwa material memiliki sifat higroskopis (mudah menyerap air). Puncak di area 2918-1848 cm^{-1} terdapat getaran gugus fungsi C-H menunjukkan bahwa papan partikel memiliki kandungan resin polimer. Hal ini menunjukkan papan partikel memiliki ketahanan terhadap benturan. Puncak tajam pada area 1733 cm^{-1} terdapat getaran C=O, menunjukkan resin memperkuat sifat mekanik dan ketahanan kimia papan partikel. Puncak pada area 1603-1581 cm^{-1}

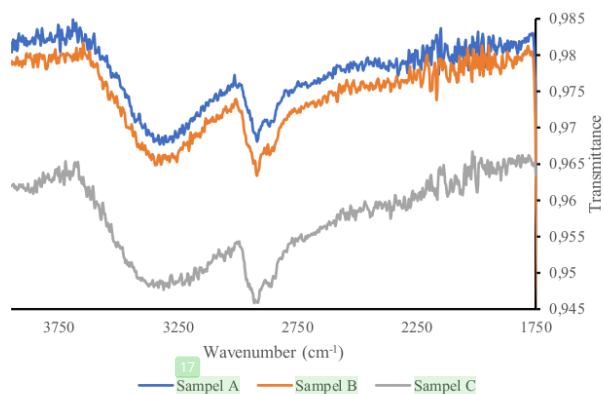
menunjukkan terdapat vibrasi C=C struktur aromatik lignin/resin, dimana dengan diberikannya paparan panas sebesar 150°C meningkatkan kekuatan mekanik tambahan dan menunjukkan papan partikel memiliki stabilitas terhadap panas. Area 1230-1021 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan C-O-C *stretching* ikatan ester menyebabkan kontribusi pada kekuatan tarik papan. Area pada puncak 944-826 cm^{-1} menunjukkan adanya *out of plane bending* sehingga terbentuk struktur aromatik resin memberikan peningkatan ketahanan terhadap retak pada material dan memperlambat penyebaran keretakan pada papan [32].



Gambar 4.3 Grafik FTIR papan partikel sampel C

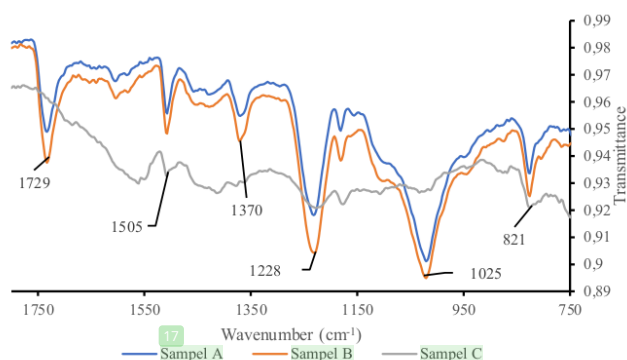
Hasil pengujian FTIR sampel C yang ditunjukkan pada Gambar 4.3, puncak ada area 3310 cm^{-1} menunjukkan terdapat gugus fungsi -OH *stretching* menunjukkan bahwa papan partikel bersifat higroskopis (mudah menyerap air). Area 2922-2868 cm^{-1} menunjukkan terdapat gugus fungsi C-H *stretching* terdapat sedikit sifat elastisitas pada papan dan menunjukkan adanya peningkatan *toughness*/ketahanan terhadap benturan. Area 1561-1508 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi C=C sehingga memberikan kekakuan struktural pada papan dan papan menunjukkan kestabilan panas. Area puncak 1227-1032 cm^{-1} terdapat vibrasi C-O-C menunjukkan adanya ikatan antar serat dan resin sehingga meningkatkan penyebaran beban secara merata. Area puncak 875-749 cm^{-1} menunjukkan vibrasi *out of plane bending* C-H dimana

terdapat resistansi terhadap retakan, dan menunjukkan adanya ketahanan terhadap kegagalan struktural [32].



Gambar 4.4 Grafik FTIR wavenumber 3750-1750 cm⁻¹

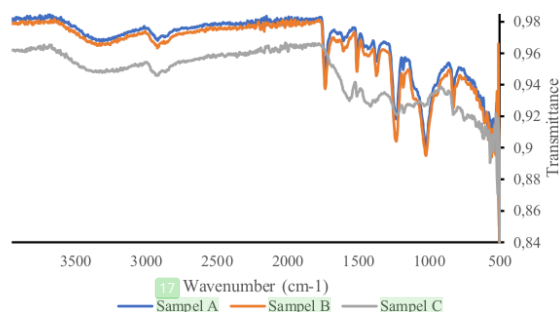
Grafik FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa adanya perbedaan antara sampel A,B dan C. Daerah 3500-1750 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus fungsi O-H (hidroksil). Daerah ini merupakan wilayah regangan (*stretching*). Sampel A memiliki nilai *transmittance* paling tinggi dibandingkan sampel B dan C. Hal ini menunjukkan struktur kimia pada sampel A stabil dan tidak mengalami degradasi. Sampel C yang memiliki nilai *transmittance* paling rendah menunjukkan adanya pemecahan ikatan atom akibat degradasi termal. Area 3500-3200 cm⁻¹ menunjukkan adanya penurunan grafik pada sampel C terjadi penurunan gugus hidroksil (O-H) akibat paparan suhu tinggi pada sampel. Area 3000-2800 cm⁻¹ menunjukkan adanya ikatan C-H serta terjadi pelemahan pada sampel C akibat adanya dekomposisi komponen organik (selulosa dan lignin) pada material. Area 2350-2100 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus fungsi volatil, yang berkurang akibat paparan panas suhu tinggi pada sampel.



Gambar 4.5 Grafik FTIR wavenumber 1750-750 cm^{-1}

Grafik FTIR pada Gambar 4.5 menunjukkan pada area 1729 cm^{-1} adanya puncak grafik yang signifikan antara sampel A, B dan C. Sampel A mengalami penguatan ikatan $\text{C}=\text{C}$ stretching terdapat keberadaan struktur aromatik pada resin berbasis aromatic dan menyebabkan peningkatan kekuatan mekanik dikarenakan cincin aromatik memberikan struktur kaku pada material. Sementara pada sampel C tidak mengalami peningkatan grafik FTIR. Area 1505 dan 1370 cm^{-1} menunjukkan adanya peningkatan kekuatan mekanik sampel A dan B ditunjukkan dengan adanya ikatan $\text{C}=\text{C}$. Sampel C menunjukkan adanya vibrasi pada ikatan $\text{C}=\text{C}$ aromatik sehingga kekakuan struktural dan stabilitas panas pada sampel meningkat. Area 1228 cm^{-1} menunjukkan puncak grafik yang tinggi pada sampel A dan B dengan adanya ikatan $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ stretching dari resin dan menyebabkan peningkatan kekuatan tarik yang lebih serta terdapat reaksi antara serat dengan matriks pada papan partikel. Pada sampel C terdapat reaksi antara serat dan resin sehingga mendukung penyebaran beban antara matriks dan serat. Area 1025 cm^{-1} menunjukkan adanya peningkatan puncak grafik yang signifikan pada sampel A dan B. Sampel A mengalami peningkatan kekuatan struktural material dan sampel B mengalami ketahanan terhadap retak ditandai dengan adanya *out of plane bending* pada grafik FTIR. Area 821 cm^{-1} sampel C menunjukkan peningkatan grafik dikarenakan adanya vibrasi *out of plane bending* C-H,

dimana menunjukkan adanya resistansi terhadap retak pada material sehingga papan lebih tahan terhadap kegagalan struktural. Sampel C yang diberikan paparan panas 250°C mengalami pelemahan ikatan karena suhu tinggi, hal ini dibuktikan dengan uji mekanik *modulus of rupture* yang dilakukan. Suhu 250°C menyebabkan pelemahan ikatan pada material ditandai dengan analisa FTIR sampel C pada area 1228-1024 cm^{-1} .



Gambar 4.6 Grafik FTIR papan partikel

Tabel 4.3 FTIR papan partikel

Wavenumber (cm^{-1})	Gugus Fungsi	Interpretasi Hasil
3400-3300	-OH (Hidroksil) <i>stretch</i>	Penurunan intensitas gugus hidroksil akibat degradasi termal
2920-2850	-CH ₂ / -CH ₃	Penurunan intensitas pada sampel C
1750-1735	C=O (PVAc)	Pelemahan ikatan pada sampel C
1600	C=C <i>aromatic</i> / <i>stretching vibration</i>	Terlihat pada ketiga sampel, menunjukkan adanya kestabilan pada sampel.
1400-1375	-CH <i>bending</i> / C-H	Penurunan ikatan pada sampel C
1250-1020	C-O <i>stretching</i>	Terjadi degradasi PVAc dan lignin selulosa
870-700	C-H <i>aromatic out of plane bending</i>	Terdapat pada ketiga sampel

Hasil dari analisa *fourier transform infrared* menunjukkan bahwa papan partikel sampel A, B dan C terjadi perubahan seiring dengan paparan panas yang dilakukan. Papan partikel penelitian ini merupakan papan partikel yang bersifat higroskopis dimana dapat dengan mudah menyerap air, hal ini ditunjukkan dengan adanya ikatan -OH pada ketiga sampel A,B dan C. Paparan panas pada papan partikel terbukti meningkatkan sifat mekanik dengan pemberian suhu panas 50-150°C. Sampel A yang diberikan paparan panas 50°C terjadi peningkatan fleksibilitas dan ketahanan benturan. Berdasarkan pengujian FTIR juga menunjukkan bahwa sampel A terjadi peningkatan kekuatan mekanik dan stabilitas termal serta peningkatan kekuatan struktural akibat paparan panas. Sampel B yang diberikan paparan panas 150°C menunjukkan adanya peningkatan pada kekuatan tarik papan, peningkatan nilai *modulus of elasticity* pada area 1733 cm^{-1} , dan peningkatan kekuatan mekanik serta ketahanan terhadap retak. Sampel C yang diberikan paparan panas 250°C menunjukkan adanya penyebaran beban dan kekuatan tambahan terhadap resistansi retak. Hal ini menunjukkan bahwa paparan panas yang optimal meningkatkan kekuatan mekanik pada material. Suhu optimal tersebut berada pada suhu 100-160°C [22]. Penelitian ini pun menunjukkan terjadi degradasi bahan organik pada papan partikel sampel C dimana terjadi penurunan kualitas pada sampel C ditandai dengan menurunnya nilai *modulus of rupture* dan menurunnya nilai kekerasan. Hal ini didukung dengan penelitian yang dilakukan Sunardi [5] dimana terjadi degradasi pada papan partikel yang diberikan paparan panas dengan suhu tinggi.

4.3 Densitas

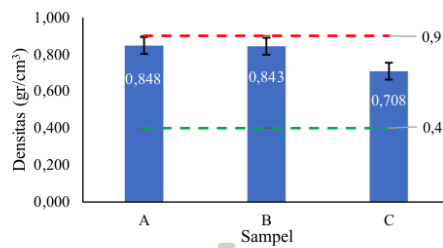
Pengujian densitas atau kerapatan dilakukan pada papan partikel yang telah dibuat dengan melakukan perbandingan nilai massa dan volume papan partikel. Volume dari papan partikel didapatkan dengan melakukan pengukuran menggunakan jangka sorong dan dilakukan perhitungan untuk mencari nilai volume. Massa papan partikel didapatkan berdasarkan pengukuran yang dilakukan menggunakan neraca digital, setelah didapatkan

nilai massa dan volume dari papan partikel, lalu dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.1. Nilai dari densitas setiap sampel ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil pengujian densitas

Densitas					
Sampel		Massa (gr)	Volume (cm ³)	Hasil (gr/cm ³)	Rata-Rata Standar Deviasi
A	A1	8,15	8,169	0,998	0,848 0,146
	A2	5,95	7,093	0,839	
	A3	8,21	11,626	0,706	
B	B1	8,13	9,394	0,865	0,843 0,044
	B2	6,6	7,566	0,872	
	B3	8,22	10,378	0,792	
C	C1	5,98	8,252	0,725	0,708 0,026
	C2	6,24	9,204	0,678	
	C3	4,88	6,754	0,723	

Berdasarkan standar SNI 03-2105-2006 yang membahas tentang papan partikel, nilai kerapatan/densitas berkisar $0,4 \text{ gr/cm}^3 - 0,9 \text{ gr/cm}^3$. Pengujian densitas yang telah dilakukan menunjukkan nilai densitas terbesar terdapat pada sampel A1 sebesar $0,998 \text{ gr/cm}^3$ dimana dilakukan pemaparan panas pada papan partikel sebesar 50°C selama 1 jam. Nilai densitas terkecil ditunjukkan pada sampel C2 sebesar $0,678 \text{ gr/cm}^3$ dimana dilakukan pemaparan panas pada papan partikel sebesar 250°C selama 1 jam. Berdasarkan hasil rata-rata ketiga variasi sampel A (Pemaparan Panas 50°C), B (Pemaparan Panas 150°C) dan C (Pemaparan Panas 250°C) memenuhi standar SNI 03-2105-2006. Pengujian densitas yang dilakukan menunjukkan penurunan nilai pada papan partikel, hal ini disebabkan karena terdapat kerusakan material organik yang terjadi pada struktural papan partikel. Kerusakan material organik ini terjadi secara konstan seiring dengan kenaikan suhu paparan panas yang diberikan pada tiap sampel. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Arinda dkk. [33]. Pengujian densitas yang telah dilakukan dibuat dalam bentuk grafik dan ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik densitas papan partikel

4.4 Kadar Air

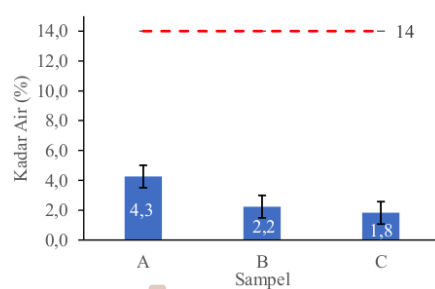
Nilai dari kadar air diperoleh berdasarkan nilai dari massa awal dan massa kering papan partikel. Sampel papan partikel dilakukan pemanasan dengan menggunakan *furnace* dengan suhu 105°C selama 1 jam. Setelah dilakukan pemanasan selama 1 jam, tiap sampel diukur massa menggunakan neraca digital selama 24 jam. Penimbangan dilakukan dengan waktu 0 jam, 3 jam, 6 jam, 9 jam, 12 jam dan 24 jam. Nilai pengujian kadar air dilakukan menggunakan massa kering yang telah dilakukan penimbangan dan dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.2. Nilai kadar air pada papan partikel ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil pengujian kadar air

		Kadar Air				Rata-Rata	Standar Deviasi
Sampel		ma (gr)	mk (gr)	ma-mk (gr)	Hasil (%)		
A	A1	8,15	7,78	0,37	4,8	4,3	0,831
	A2	5,95	5,76	0,19	3,3		
	A3	8,21	7,84	0,37	4,7		
B	B1	8,13	7,91	0,22	2,8	2,2	0,543
	B2	6,6	6,49	0,11	1,7		
	B3	8,22	8,04	0,18	2,2		
C	C1	5,98	5,89	0,09	1,5	1,8	0,423
	C2	6,24	6,14	0,1	1,6		
	C3	4,88	4,77	0,11	2,3		

Berdasarkan standar SNI 03-2105-2006 yang membahas tentang papan partikel, nilai kadar air yang memenuhi standar berada di bawah 14%.

Penelitian yang dilakukan Romadhon [4] menunjukkan hasil kadar air tanpa dilakukan pemaparan panas, ditunjukkan pada sampel A3 dengan nilai kadar air rata-rata sebesar 4,4%. Penelitian ini menunjukkan penurunan nilai kadar air papan partikel setelah diberikan paparan panas secara konstan. Nilai kadar air terbesar didapatkan pada sampel A yang diberikan pemaparan panas sebesar 50°C dengan nilai rata-rata 4,3%. Nilai persentase kadar air terkecil terdapat pada sampel C yang dilakukan pemaparan panas sebesar 250°C dengan nilai rata-rata 1,8%. Berdasarkan hasil analisa grafik FTIR pada ketiga sampel menunjukkan adanya ikatan -OH dimana menjelaskan bahwa papan partikel terdapat kandunga selulosa, air dan resin berbasis bio sehingga papan partikel yang dibuat menggunakan bahan pelepah kelapa sawit dan serat mesokarp mengandung lignin dan selulosa yang termasuk bahan yang mudah menyerap air (higroskopis) sehingga memungkinkan papan partikel menyerap air pada lingkungan sekitar [23]. Grafik nilai pengujian kadar air dapat dilihat pada Gambar 4.8.

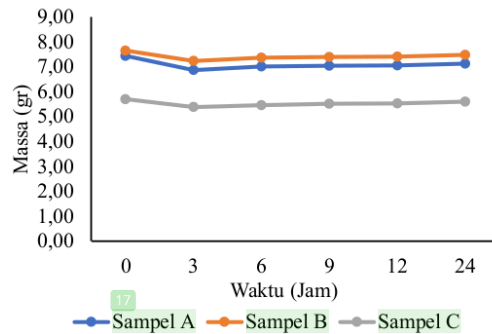


Gambar 4.8 Grafik kadar air papan partikel

Pengujian kadar air dilakukan dengan menggunakan 3 sampel pada tiap sampel A pemaparan panas 50°C, sampel B pemaparan panas 150°C, dan sampel C pemaparan panas 250°C. Pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.9 menunjukkan nilai kadar air pada tiap selang waktu 0 jam, 3 jam, 6 jam, 9 jam, 12 jam dan 24 jam.

Tabel 4.6 Nilai pengujian kadar air tiap jam

Sampel	Nilai Kadar Air (Jam)					
	0	3	6	9	12	24
A	7,44	6,86	7,01	7,04	7,05	7,13
B	7,65	7,23	7,36	7,39	7,40	7,48
C	5,70	5,38	5,46	5,51	5,53	5,60

**Gambar 4.9** Grafik nilai kadar air tiap jam

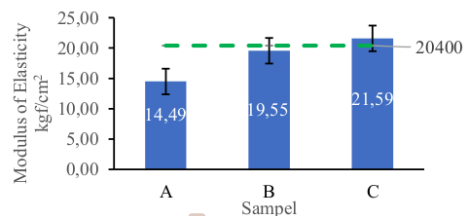
4.5 **Modulus of Elasticity (MOE)**

Pengujian *modulus of elasticity* (MOE) merupakan pengujian dimana mengukur nilai ketahanan material papan partikel ketika menerima pembebanan dan mengalami fenomena deformasi plastis [28]. Pengujian *modulus of elasticity* dilakukan dengan uji *bending*/kelenturan dimana menggunakan mesin *Universal Testing Machine* Tensilon RTH 2410 100 kN dengan metode *three point bending*. Pengujian dilakukan menurut standar ASTM D790 dengan kecepatan gerak *head* sebesar 2 mm/menit [27]. Nilai pengujian *modulus of elasticity* selanjutnya didapatkan dari perhitungan menggunakan persamaan 2.3. Hasil pengujian *modulus of elasticity* pada papan partikel pelepah kelapa sawit yang diberikan paparan panas ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil pengujian *modulus of elasticity*

		<i>Modulus of Elasticity</i>					
Sampel		L (cm)	b (cm)	h (cm)	Hasil (kgf/cm ²)	Rata- Rata	Standar Deviasi
A	A1	9,294	1,317	0,472	14,12	14,49	0,84
	A2	9,334	1,059	0,428	15,44		
	A3	9,575	1,300	0,531	13,89		
B	B1	9,586	1,112	0,665	19,88	19,55	5,10
	B2	9,194	1,084	0,55	24,48		
	B3	9,144	1,500	0,504	14,29		
C	C1	8,197	1,099	0,726	13,57	21,59	10,94
	C2	8,232	1,084	0,729	17,14		
	C3	8,019	1,100	0,554	34,05		

Nilai *modulus of elasticity* yang ditunjukkan pada Tabel 4.7 menunjukkan nilai tertinggi terdapat pada sampel C dimana diberikan perlakuan panas sebesar 250°C dengan nilai 21,59 kgf/cm². Nilai terendah ditunjukkan pada sampel A dengan pemaparan panas sebesar 50°C dengan nilai 14,49 kgf/cm². Berdasarkan standar SNI 03-2105-2006 nilai minimum *modulus of elasticity* adalah 20.400 kgf/cm². Nilai *modulus of elasticity* meningkat seiring dengan kenaikan paparan panas yang diberikan pengujian. Nilai *modulus of elasticity* yang tinggi menunjukkan papan partikel cenderung lebih kaku dan mudah patah, nilai *modulus of elasticity* yang rendah menunjukkan papan partikel memiliki sifat yang lunak dan elastis. Penelitian ini menunjukkan bahwa papan partikel yang memenuhi standar SNI 03-2105-2006 adalah sampel C dengan nilai rata-rata 21,59 kgf/cm², sementara untuk sampel A dan B tidak memenuhi standar SNI 03-2105-2006. Grafik pengujian *modulus of elasticity* ditunjukkan pada Gambar 4.10.

**Gambar 4.10** Grafik *modulus of elasticity* papan partikel

Penelitian yang dilakukan Romadhon [4] menunjukkan nilai *modulus of elasticity* terhadap papan partikel pelepah kelapa sawit yang tidak diberikan pemaparan panas menunjukkan nilai pengujian sebesar 12.748,20 kgf/cm². Grafik yang ditunjukkan Gambar 4.8 menunjukkan nilai *modulus of elasticity* menaik secara konstan seiring kenaikan suhu, dimana suhu sampel A 50°C, 150°C dan 250°C. Nilai yang ditunjukkan pada sampel A dengan pemaparan panas 50°C tidak berubah secara signifikan dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya, namun untuk sampel C dengan pemaparan 250°C menunjukkan perbedaan yang signifikan hingga memenuhi standar SNI. Hal ini disebabkan karena sampel yang diberikan pemaparan panas dibawah 160°C tidak mempengaruhi degradasi dan perubahan sifat mekanik [22].

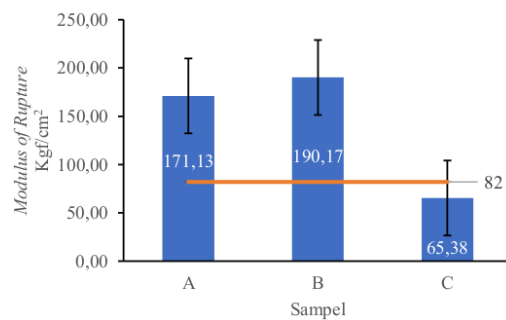
4.6 *Modulus of Rupture (MOR)*

Pengujian *modulus of rupture* dilakukan bersamaan dengan pengujian *modulus of elasticity*. *Modulus of rupture* atau keteguhan patah merupakan kekuatan tarik material sebelum mengalami patah saat diberikan pembebanan. Metode pengujian *modulus of rupture* dengan *modulus of elasticity* menggunakan *three point bending* dengan mesin *Universal Testing Machine* Tensilon RTH 2410 100 kN. Standar pengujian menggunakan ASTM D790 dengan kecepatan 2 mm/menit. Nilai MOR didapatkan dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.4. Nilai MOR ditunjukkan pada Tabel 4.8 dibawah.

Tabel 4.8 Hasil pengujian *modulus of rupture*

<i>Modulus of Rupture</i>						
Sampel		P (kgf)	L (cm)	b (cm)	Hasil (Kgf/cm ²)	Rata- Rata Standar Deviasi
A	A1	2,498	9,294	1,317	118,71	171,13 90,82
	A2	3,824	9,334	1,059	276,00	
	A3	3,029	9,575	1,300	118,67	
B	B1	4,252	9,586	1,112	124,33	190,17 60,45
	B2	5,782	9,194	1,084	243,18	
	B3	5,639	9,144	1,500	202,99	
C	C1	1,978	8,197	1,099	41,99	65,38 26,00
	C2	2,835	8,232	1,084	60,76	
	C3	2,621	8,019	1,100	93,37	

Nilai *modulus of rupture* yang ditunjukkan pada Tabel 4.7 menunjukkan nilai *modulus of rupture* terbesar terdapat pada sampel B yang diberikan paparan panas sebesar 150°C dengan nilai 190,17 kgf/cm². Sementara nilai *modulus of rupture* terkecil terdapat pada sampel C yang diberikan paparan panas sebesar 250°C dengan nilai 65,38 kgf/cm². Berdasarkan standar SNI 03-2105-2006 menyatakan standar minimum *modulus of rupture* 82 kgf/cm². Berdasarkan nilai *modulus of rupture* yang ditunjukkan pada Tabel 4.7, variasi sampel A (paparan panas 50°C) dan sampel B (paparan panas 150°C) memenuhi syarat minimum SNI 03-2105-2006, sedangkan untuk sampel C dengan paparan panas 250°C tidak memenuhi standar. Grafik hasil pengujian *modulus of rupture* dapat dilihat pada Gambar 4.11 dibawah.



Gambar 4.11 Grafik *modulus of rupture* papan partikel

Penelitian sebelumnya yang dilakukan Romadhon [4] menunjukkan bahwa nilai *modulus of rupture* pada papan komposit pelepah kelapa sawit memiliki nilai 208,82 kgf/cm². Nilai *modulus of rupture* pada penelitian ini memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Nilai *modulus of rupture* mengalami peningkatan pada sampel B sebanding dengan bertambahnya suhu paparan panas. Sampel A merupakan sampel yang diberikan paparan panas sebesar 50°C memiliki nilai *modulus of rupture* sebesar 171,13 kgf/cm² dan sampel B merupakan sampel yang diberikan paparan panas sebesar 150°C memiliki nilai *modulus of rupture* sebesar 190,17 kgf/cm².

Sampel C yang diberikan paparan panas dengan suhu 250°C mengalami penurunan nilai *modulus of rupture* hingga 65,38 kgf/cm². Nilai *modulus of rupture* yang tinggi pada sampel A dan B menunjukkan bahwa papan partikel bersifat kuat ketika diberikan pembeban saat *bending*. Nilai *modulus of rupture* yang rendah pada sampel C menunjukkan bahwa papan partikel mudah retak/patah. Berdasarkan hasil grafik analisa FTIR menunjukkan bahwa sampel C mengalami pelemahan ikatan atom penyusun papan partikel, sehingga menyebabkan degradasi sifat mekanik dan mempengaruhi nilai *modulus of rupture* secara signifikan.

Paparan panas terhadap papan partikel dapat memperkuat ikatan antar partikel dalam papan partikel. Paparan panas dengan suhu yang optimal dapat meningkatkan kerekatan antar partikel sehingga dapat meningkatkan kekuatan mekanik papan partikel, namun paparan panas yang berlebih dapat menyebabkan kerusakan pada struktur papan partikel sehingga dapat menyebabkan degradasi pada sifat mekaniknya [34]. Hal ini juga didukung berdasarkan penelitian yang dilakukan Lee dkk. [22], dimana penurunan kekuatan papan terjadi ketika papan diberikan paparan panas dengan suhu lebih dari 160°C.

4.7 Kekerasan (*Hardness*)

Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan menggunakan alat Durometer *Shore D*. Pengujian ini dilakukan berdasarkan dengan standar ASTM D2240. Berdasarkan standar ASTM D2240 papan partikel memiliki ketentuan tebal minimum sebesar 6,4 mm. Pengujian dilakukan dengan menekan *indentor durometer shore D* sejajar dengan spesimen uji dalam waktu kurang dari 1 detik [27]. Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak 3x pengambilan data pada tiap variasi sampel papan partikel. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menguji kekerasan papan partikel sebelum dan sesudah sampel papan partikel diberikan paparan panas. Hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan 4.10.

Tabel 4.9 Hasil pengujian kekerasan sebelum paparan panas

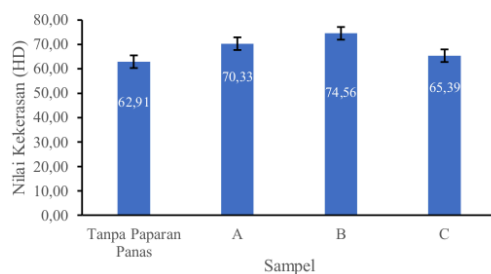
<i>Hardness Durometer Shore D Sebelum Paparan Panas</i>					
Sampel		Pengujian			Hasil
		1	2	3	
A	A1	56	55	57,5	56,17
	A2	58,5	55,5	56,5	56,83
	A3	64,5	65,6	66	65,37
B	B1	65	69	61	65,00
	B2	63	62	60,5	61,83
	B3	59	57,5	65	60,50
C	C1	67	68	63,5	66,17
	C2	66,5	64	71	67,17
	C3	66	67,5	68	67,17
Rata-Rata					62,91
Standar Deviasi					4,28

Nilai kekerasan yang ditunjukkan pada Tabel 4.9 merupakan nilai kekerasan pada papan partikel yang diambil sebelum sampel diberikan paparan panas. Nilai kekerasan rata-rata sampel A, B, dan C adalah 62,91. Pengujian kekerasan selanjutnya dilakukan setelah papan partikel diberikan pemaparan panas selama 1 jam dengan variasi suhu Sampel A 50°C, Sampel B 150°C dan Sampel C 250°C sehingga didapatkan hasil nilai kekerasan tiap sampel seperti pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil pengujian kekerasan setelah paparan panas

<i>Hardness Durometer Shore D Setelah Paparan Panas</i>						
Sampel		Pengujian			Hasil	
		1	2	3		
A	A1	69	68	70,5	69,2	70,33 1,48
	A2	69	73	74	72,0	
	A3	65	68,5	76	69,8	
B	B1	65	79	70,5	71,5	74,56 3,00
	B2	81	76	75,5	77,5	
	B3	75,5	70,5	78	74,7	
C	C1	78	71,5	75,5	75,0	65,39 9,50
	C2	67	63,5	65	65,2	
	C3	57	57,5	53,5	56,0	

Nilai yang ditunjukkan pada Tabel 4.10 merupakan nilai kekerasan yang diambil ketika sampel telah diberikan paparan panas. Sampel A yang diberikan paparan panas sebesar 50°C memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 70,33. Sampel B yang diberikan paparan panas sebesar 150°C memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 74,56. Sampel C yang diberikan paparan panas sebesar 250°C memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 65,39. Grafik nilai perbandingan kekerasan sebelum dan setelah diberikan paparan panas ditunjukkan pada Gambar 4.12 dibawah.



Gambar 4.12 Perbandingan nilai kekerasan terhadap paparan panas

Nilai kekerasan yang ditunjukkan pada Gambar 4.12 menunjukkan adanya peningkatan nilai kekerasan yang terjadi pada sampel A dan sampel B. Sampel A yang diberikan paparan panas 50°C mengalami kenaikan nilai kekerasan sebesar 7,42. Sampel B yang diberikan paparan panas 150°C mengalami kenaikan nilai kekerasan sebesar 11,65, sementara pada sampel C yang diberikan paparan panas selama 250°C mengalami peningkatan nilai kekerasan sebesar 2,48 dibandingkan sebelum menerima paparan panas. Berdasarkan analisa grafik FTIR sampel A dan B mengalami peningkatan sifat dan kekuatan mekanik pada papan partikel dikarenakan adanya paparan panas yang diberikan, sementara pada sampel C mengalami degradasi sifat mekanik sehingga menyebabkan peningkatan nilai kekerasan yang kurang signifikan. Paparan panas yang diberikan pada papan partikel dengan suhu 100-150°C dapat meningkatkan nilai kekerasan dan sifat mekanik dari papan partikel, sedangkan jika suhu yang diberikan pada papan

partikel lebih dari 160°C dapat menyebabkan degradasi termal pada papan partikel. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Lee dkk. [22].

4.8 Optimasi Suhu Paparan Panas

Penelitian ini dilakukan dengan memberikan pemaparan panas pada 3 variasi sampel papan partikel A, B, C dengan paparan panas masing-masing sebesar 50°C, 150°C dan 250°C selama 1 jam. Penelitian yang dilakukan perlu adanya optimalisasi nilai pada data penelitian sehingga dapat menunjukkan variasi sampel yang optimal. Optimalisasi data ini dilakukan dengan pembobotan nilai menggunakan metode Taguchi-DEAR (*Data Envelopment Analysis based Ranking*). Teknik pembobotan nilai menggunakan metode Taguchi-DEAR dilakukan dengan mengambil nilai optimum berdasarkan hasil pengujian *modulus of elasticity*, *modulus of rupture* dan densitas papan partikel. Nilai dari tiap pengujian selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai MRPI (*Multi Response Performance Index*) sehingga dapat ditentukan nilai optimum berdasarkan tingkat nilai MRPI [35]. Nilai rata-rata hasil pengujian yang dibutuhkan dalam optimalisasi data ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Rata-rata hasil pengujian suhu paparan panas

Sampel	Nilai Rata-rata		
	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	Densitas (gr/cm ³)
Sampel A	171,13	14,48	0,848
Sampel B	190,17	19,55	0,843
Sampel C	65,37	21,59	0,708

Nilai dari yang ditunjukkan pada Tabel 4.11 merupakan hasil rata-rata dari 3 sampel papan partikel yang telah diuji. Berdasarkan metode Taguchi-DEAR nilai dari MOE dan MOR merupakan nilai yang semakin besar semakin baik karakteristiknya (*larger-better*), sedangkan nilai densitas merupakan nilai yang semakin kecil semakin baik karakteristiknya (*smaller-better*) oleh karena itu pada nilai densitas dilakukan prosedur normalisasi terbalik. Nilai setiap data densitas dilakukan perhitungan 1/DS. Nilai rata-rata dari tiap pengujian selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan

nilai *weight* menggunakan persamaan 4.1 untuk nilai MOE dan MOR serta persamaan 4.2 untuk nilai densitas (DS) [35]. Hasil nilai perhitungan *weight* pada MOE, MOR dan densitas (DS) ditunjukkan pada Tabel 4.12

$$W_{MOE} = \frac{MOE_1}{\sum MOE} \dots \dots \dots (4.1)$$

$$W_{DS} = \frac{\left(\frac{1}{DS_1}\right)}{\sum \frac{1}{DS}} \dots \dots \dots (4.2)$$

Tabel 4.12 Nilai *weight* papan partikel

Sampel	<i>Weight</i>		
	W(MOR)	W(MOE)	W(DENSITAS)
Sampel A	0,349	0,318	0,286
Sampel B	0,362	0,343	0,296
Sampel C	0,288	0,339	0,418

Hasil perhitungan nilai *weight* yang didapatkan selanjutnya dihitung menggunakan persamaan sehingga didapatkan nilai MRPI, Hasil nilai MRPI merupakan nilai yang digunakan untuk menentukan *rank*/peringkat suhu paparan panas yang optimal dalam penelitian. Nilai MRPI didapatkan dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan 4.3 sehingga didapat nilai MRPI tiap sampel dan ditunjukkan pada Tabel 4.13.

$$MRPI = W_1 + Y_{11} + W_2 + Y_{12} + \dots + W_j + Y_{1j} \dots \dots \dots (4.3)$$

Keterangan:

W_j = *Weight* respon/variabel terikat pengujian

Y_{1j} = Rata-rata data

Tabel 4.13 Hasil nilai MRPI papan partikel

Sampel	P	Q	R	MRPI	<i>Rank</i>
	MOR x	MOE x	DS x	(P+Q)/R	
	W(MOR)	W(MOE)	W(DS)		
Sampel A	179,38	13,81	0,73	265,43	2
Sampel B	206,67	20,11	0,75	302,67	1
Sampel C	56,54	21,97	0,89	88,46	3

Berdasarkan hasil nilai MRPI yang ditunjukkan pada Tabel 4.13 dapat diambil peringkat/*rank* suhu paparan panas yang optimal terdapat pada sampel B, yaitu dengan paparan panas suhu 150°C. Nilai MRPI pada sampel B menunjukkan nilai terbesar dengan nilai 302,67. Nilai terkecil pada hasil perhitungan MRPI penelitian ditunjukkan pada sampel C yang diberikan paparan panas dengan suhu 250°C menunjukkan nilai 88,46. Untuk sampel A yang diberikan paparan panas dengan suhu 50°C berada di peringkat/*rank* 2 diantara sampel B dan C. Hasil pembobotan menggunakan metode Taguchi-DEAR ini menyimpulkan bahwa suhu paparan panas yang optimal untuk diberikan pada papan partikel berada pada suhu 150°C dengan *rank* nilai MRPI terbesar. Paparan suhu 150°C pada sampel B merupakan paparan panas dengan suhu yang paling optimal dalam penelitian ini.

Berdasarkan grafik analisa FTIR sampel B yang diberikan paparan panas 150°C mengalami penguatan ikatan penyusun seperti resin dan serat, sehingga meningkatkan nilai kekuatan mekanik dari material. Sampel B memiliki nilai *modulus of rupture* tertinggi pada penelitian, dan nilai kekerasan tertinggi diantara sampel A dan B. Sedangkan sampel C yang diberikan paparan panas dengan suhu 250°C terjadi degradasi material organik dalam penyusunnya ditandai dengan adanya pelemahan ikatan pada grafik analisa FTIR serta terjadi degradasi sifat mekanik yang menyebabkan penurunan nilai *modulus of rupture* dan kekerasan pada penelitian. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Lee,dkk. [22] dimana suhu paparan panas yang optimal terdapat pada suhu 100-150°C dan suhu paparan panas yang diberikan lebih dari 160°C akan terjadi degradasi sifat mekanik.

KESIMPULAN DAN SARAN**5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada papan partikel yang diperkuat serat mesokarp terdapat kesimpulan yang didapatkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian paparan panas pada papan partikel berpenguat mesokarp dapat mempengaruhi sifat komposit material. Variasi suhu paparan panas yang diberikan pada tiap sampel menimbulkan respon yang berbeda-beda. Sampel A dan B yang diberikan paparan panas sebesar 50°C dan 150°C mengalami peningkatan kekuatan dan kekakuan pada material. Sampel C yang diberikan paparan panas sebesar 250°C mengalami degradasi sifat komposit pada material ditandai dengan pelemahan ikatan atom papan partikel berdasarkan analisa grafik FTIR.
2. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada papan partikel sampel A, B dan C yang dimana diberikan paparan panas masing-masing sebesar 50°C, 150°C dan 250°C menunjukkan adanya perubahan sifat mekanik pada material. Sampel A yang diberikan paparan panas 50°C menunjukkan nilai MOR rata rata 171,13 kgf/cm². Sampel B yang diberikan paparan panas sebesar 150°C mengalami peningkatan nilai MOR rata rata menjadi 190,17 kgf/cm². Sementara pada sampel C yang diberikan paparan panas 250°C mengalami penurunan nilai MOR rata-rata menjadi 65,38 kgf/cm². Hal ini terjadi karena adanya degradasi material organik pada papan partikel akibat paparan panas suhu tinggi sehingga menyebabkan penurunan kekuatan mekanik pada papan partikel.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, saran untuk penelitian selanjutnya adalah dengan penambahan sampel uji pada tiap variasi suhu paparan panas, penambahan pengujian seperti pengujian *Thermogravimetric Analysis* (TGA), uji bakar dan pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) sehingga hasil dapat terlihat lebih jelas baik secara data maupun visual.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. A. N., "Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Ungkap Rumitnya Masalah Hutan Indonesia," Universitas Gadjah Mada, 6 Oktober 2023. [Online]. Available: <https://ugm.ac.id/id/berita/kementerian-lingkungan-hidup-dan-kehutanan-ungkap-rumitnya-masalah-hutan-indonesia/#:~:text=Data%20Kementerian%20Lingkungan%20Hidup%20dan,dari%20total%20luas%20daratan%20Indonesia.> [Accessed 31 Oktober 2024].
- [2] BPS, Data Luas Perkebunan Kelapa Sawit di Indonesia pada 2022 - 2023, Jakarta: Badan Pusat Statistik, 2023.
- [3] W. Hidayat, I. F. Suri, R. Safe'i, C. Wulandari, W. Satyajaya, I. G. Febryano and F. Febrianto, "Keawetan dan Stabilitas Dimensi Papan Partikel Hibrida Bambu-Kayu dengan Perlakuan Steam dan Perendaman Panas (Durability and Dimensional Stability of Hybrid Particleboard of Bamboo-Wood with Steam and Hot Water Immersion Treatment)," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, vol. 17, no. 1, pp. 68-82, 2019.
- [4] R. Romadhon, Optimasi Perlakuan Alkali Pada Filler Pelepah dan Serat Mesokarp Kelapa Sawit Terhadap Performa Papan Partikel Biodegradable dengan metode Taguchi-Dear, Cilegon: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, 2024.
- [5] S. Sunardi, D. Ariawan, E. Surojo, A. R. Prabowo, T. Ghanbari-Ghazijahani, C. H. Wibowo and H. I. Akbar, "Tribological Performance of Polymer Composite Modified with Calcined Eggshell Particles Post High-Temperature Exposure," *Emerging Science Journal*, vol. 8, no. 4, pp. 1280-1292, 2024.
- [6] M. I. I. Supriadi and Achmad, "Pengaruh Kadar Perekat Terhadap Sifat Papan Partikel Ampas Tebu (The Effect of Adhesive Content on Properties Bagasse of Particleboard)," *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, vol. 31, no. 1, pp. 19-26, 2013.

- [7] S. Hasnah, "Particle Board Adalah: Pengertian dan Keunggulannya," Dextone, 9 November 2032. [Online]. Available: <https://dextone.com/particle-board-adalah-pengertian-dan-keunggulannya/>. [Accessed 13 November 2024].
- [8] D. Cahyandari, "Pemanfaatan Limbah Kayu Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Papan Partikel," *Jurnal Traksi Unimus*, vol. 5, no. 1, pp. 26-34, 2007.
- [9] P. J. A. Mandiri, "Serat atau Sabut Kelapa Sawit," PT Jaya Agro Mandiri, 2 Mei 2023. [Online]. Available: <https://jayaagromandiri.web.indotrading.com/product/panjang-antara-5cm-15cm-kadar-air-antara-35-45-kadar-abu-kurang-dari-8-kadar-pengotor-kurang-dari-3-nilai-kalor-kotor-2500-kkalkg-p1095879.aspx>. [Accessed 13 November 2024].
- [10] I. Khudori, B. Yuniasih and T. N. B. Santosa, "Respon Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit Pre Nursery terhadap Perbedaan Komposisi Media Tanam Limbah Mesokarp dan Volume Penyiraman," *Agroforetech*, vol. 2, no. 3, pp. 1110-1117, 2024.
- [11] Y. D. Susilo, Kandungan Selulosa, Hemiselulosa Dan Lignin Serat Sawit Hasil Fermentasi Jamur Pelapuk, Yogyakarta: Universitas Hasanuddin, 2017.
- [12] M. Haq, S. Fitra, S. Madusari and D. I. Yama, "Potensi Kandungan Nutrisi Pakan Berbasis Limbah Pelepah Kelapa Sawit Dengan Teknik Fermentasi," *Prosiding Semnastek*, pp. 1-8, 2018.
- [13] Writer01, "Penyakit Patah Pangkal Pelepah Kelapa Sawit," Plantation Key Technology, 10 Agustus 2020. [Online]. Available: <https://pkt-group.com/sawitnotif/penyakit-patah-pangkal-pelepah-kelapa-sawit/>. [Accessed 14 November 2024].
- [14] E. Sundari, Karmin, F. Putri and A. Budiman, "Analisa Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Sifat Mekanik Komposit Berpenguat Serat Buah Kelapa Sawit," *Machinery Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 4, no. 2, pp. 51-59, 2023.

- [15] Sunardi, R. Lusiani, A. Y. Nugraha and M. Fawaid, Perlakuan Alkali Pada Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Mutu Papan Partikel, Manado: Universitas Sam Ratulangi, 2018, pp. 84-89 .
- [16] J. Kim and A. Netravali, "Mercerization of Sisal Fiber: Effect of Tension on Mechanical Properties of Sisal Fiber and Fiber-Reinforced Composites," *Composites*, vol. Part A, no. 41, pp. 1245-1252, 2010.
- [17] B. Raharjo, "Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pengganti Alternatif Papan Partikel," *Indonesian Journal Of Laboratory*, vol. 2, no. 2, pp. 1-9, 2020.
- [18] R. P. Sihombing, R. Sudarman and A. Ngatin, "Pengaruh Konsentrasi Surfaktan Non-Ionik Terhadap Viskositas Perekat Polivinil Asetat Berbasis Air," *Kovalen: Jurnal Riset Kimia*, vol. 6, no. 3, pp. 165-170, 2020.
- [19] F. F. Puspita, T. B. Aulia and M. Afifuddin, "Analisis Retak Lentur Pada Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi Yang Diperbaiki Dengan Injeksi Epoxy," *Hidrologi, Lingkungan dan Struktur*, vol. 1, no. 4, pp. 831-844, 2018.
- [20] T. T. Syahrani, Sugiman and P. D. Setyawan, "Pengaruh Rasio Perekat Hardener/Resin Epoxy Terhadap T-peel Test dalam Lingkungan Kering dan Basah," *Journal of Engineering and Emerging Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 12-17, 2023.
- [21] W. D. Callister and D. G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, New York: Wiley, 2018.
- [22] S. H. Lee, "Microstructural, mechanical and physical properties of post heat-treated melamine-fortified urea formaldehyde-bonded particleboard," *European Journal of Wood and Wood Products*, vol. 73, no. 5, pp. 607-616, 2015.
- [23] Fauziah, D. Wahyuni and B. Lapanporo, "Analisis Sifat Fisik dan Mekanik Papan Partikel Berbahan Dasar Sekam Padi," *Positron*, vol. 4, no. 2, pp. 60-63, 2014.

- [24] B. S. Nasional, SNI 03-2105-2006 Papan Partikel, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2006.
- [25] J. C. Malau, T. Sucipto and A. H. Iswant, "Kualitas Papan Partikel Batang Pisang Barangan Berdasarkan Variasi Kadar Perekat Phenol Formaldehida," *Peronema Forestry Science Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 1-9, 2016.
- [26] V. B. Sardi, S. Jokosisworo and H. Yudo, "Pengaruh Normalizing dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (Holding Time) Baja ST 46 terhadap Uji Kekerasan, Uji Tarik, dan Uji Mikrografi," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 6, no. 1, pp. 142-149, 2018.
- [27] S. Raj, Kuzmin, S. A. M., K. Sathiamoorthy and K. T. Kandasamy, "Philosophy of Selecting ASTM Standards for Mechanical Characterization of Polymers and Polymer Composites," *Materiale Plastice*, vol. 58, no. 3, pp. 247-256, 2021.
- [28] M. Souisa, "Analisis Modulus Elastisitas dan Angka Poisson Bahan Dengan Uji Tarik," *Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, vol. 5, no. 2, pp. 9-14, 2011.
- [29] S. Chang, Tang, Tzu, Chen, Liu, J.k. and Chung, "The Effect of Adding TiC Powders to VANADIS 4 Tool Steel by HIP Treatment," *Advanced Materials Research*, vol. 413, no. 1, pp. 426-431, 2011.
- [30] L. Sjahfirdi, N. Aldi, H. Maheshwari and P. Astuti, "Aplikasi Fourier Transform Infrared (Ftir) Dan Pengamatan Pembengkakan Genital Pada Spesies Primata, Lutung Jawa (*Trachypithecus auratus*) Untuk Mendeteksi Masa Subur," *Jurnal Kedokteran Hewan-Indonesian Journal of Veterinary Sciences*, vol. 9, no. 2, pp. 156-160, 2015.
- [31] Admin, "Nicolet™ iS™ FTIR Spectrometer," Nano Center Indonesia, 28 September 2023. [Online]. Available: <https://nanocenter.id/services/FTIR.html>. [Accessed 14 November 2024].
- [32] O. L. Vasdazara, H. Ardhyanta and S. T. Wicaksono, "Pengaruh Penambahan Serat Cangkang Kelapa Sawit (Palm Kernel Fiber) Terhadap

Sifat Mekanik Dan Stabilitas Termal Komposit Epoksi/Serat Cangkang Kelapa Sawit," *JURNAL TEKNIK ITS*, vol. 7, no. 1, pp. 119-123, 2018.

- [33] A. F. Amrillah, S. Ula, A. Sudrajad, I. Saefuloh and S. Sunardi, "Karakteristik Termal Papan Komposit yang Diperkuat Dengan Partikel Cangkang Telur," *Jurnal CRANKSHAFT*, vol. 7, no. 3, pp. 25-33, 2024.
- [34] I. A. Kartika, F. Fahma, M. Yani and D. Hermawan, "Sifat Fisik dan Mekanik Papan Partikel dari Bungkil Biji Jarak Pagar," *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, vol. 23, no. 2, pp. 109-119, 2013.
- [35] H. Krishnaiah and P. Shahabudeen, *Applied Design of Experiments and Taguchi Methods*, New Delhi: PHI Learning Private Limited, 2012.

LAMPIRAN

PERHITUNGAN

A.1 Perhitungan Ukuran Sampel Papan Partikel

Berikut merupakan perhitungan untuk menentukan nilai volume ukuran sampel papan partikel.

Diketahui : $P = 15 \text{ cm}$, $L = 5 \text{ cm}$, $t = 1,5 \text{ cm}$

Ditanya : Volume?

Jawab : $V = P \times L \times t$
 $= 15 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm}$
 $= 105 \text{ cm}^3$

A.2 Perhitungan Ukuran Sampel Papan Partikel

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk menentukan takaran dari masing-masing bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan sampel papan partikel.

Diketahui : ρ Mesokarp = 0,16 gr, Kebutuhan 15%

Ditanya : Takaran setiap bahan penyusun?

Jawab : Bahan = Kebutuhan $\times V \times \rho$
 $= 15\% \times 105 \text{ cm}^3 \times 0,16$
 $= 2,52 \text{ gr}$

A.3 Perhitungan Tekanan Kompaksi Papan Partikel

Berikut merupakan perhitungan untuk menentukan nilai tekanan kompaksi yang digunakan pada proses pembuatan sampel papan partikel.

Diketahui : Diameter Torak = 25 mm

Luas Penampang Hidrolik (A_1) = $490,874 \text{ mm}^2$

Luas Penampang Kompaksi (A_2) = $490,874 \text{ mm}^2$

Tekanan Hidrolik (P_1) = 30 Bar

Ditanya : Tekanan Kompaksi (P_2) ?

Jawab : $P = \frac{F}{A} = \dots \text{ bar}$

$F = P \times A$

$= P_1 \times A_1 = P_2 \times A_2$

$$P_2 = \frac{P_1 \times A_1}{A_2} = \frac{30 \times 490,674}{5000}$$

$$= 2,945 \text{ bar}$$

A.4 Perhitungan Nilai Densitas

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk menentukan nilai densitas pada tiap sampel papan partikel.

Diketahui : Massa = 8,21 gr
Volume = 11,626 cm³

Ditanya : Densitas (ρ)?

$$\text{Jawab : } \rho = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{8,21}{11,626}$$

$$= 0,706 \text{ gr/cm}^3$$

A.5 Perhitungan Nilai Kadar Air

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk menentukan nilai kadar air pada tiap sampel papan partikel.

Diketahui : Massa awal = 8,15 gr
Massa kering = 7,78 gr

Ditanya : Kadar air (%)?

$$\text{Jawab : } KA = \frac{ma - mk}{mk} \times 100\%$$

$$= \frac{8,15 - 7,78}{7,78} \times 100\%$$

$$= 4,8\%$$

A.6 Perhitungan Nilai *Modulus of Rupture*

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk menentukan nilai *modulus of rupture* pada tiap sampel papan partikel.

Diketahui : (Force/Tekanan) P = 2,498 kgf
(Jarak Sangga) L = 9,294 cm
(Lebar) b = 1,317 cm
(Tebal) h = 0,472 cm

Ditanya : MOR?

$$\begin{aligned}
 \text{Jawab} \quad : \quad \text{MOR} &= \frac{3PL}{2bh^2} \\
 &= \frac{3.2.498.9.294}{2.1.317.0.472^2} \\
 &= 119,71 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

A.7 Perhitungan Nilai *Modulus of Elasticity*

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk menentukan nilai *modulus of elasticity* pada tiap sampel papan partikel.

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui} \quad : \quad (\text{Jarak Sangga}) \quad L &= 9,294 \text{ cm} \\
 (\text{Lebar}) \quad b &= 1,317 \text{ cm} \\
 (\text{Tebal}) \quad h &= 0,472 \text{ cm} \\
 (\text{slope tangent}) \quad m &= 0,010 \text{ kgf/cm}
 \end{aligned}$$

Ditanya : MOE?

$$\begin{aligned}
 \text{Jawab} \quad : \quad \text{MOE} &= \frac{L^3 m}{4bh^3} \\
 &= \frac{9.294^3 \cdot 0.010}{4 \cdot 1.317 \cdot 0.472^3} \\
 &= 14,12 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

A.8 Perhitungan Nilai MRPI

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk menentukan nilai MRPI pada tiap sampel papan partikel.

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui} \quad : \quad \text{MOE S1} &= 14,12 \text{ kgf/cm}^2 \\
 \text{MOE S2} &= 15,44 \text{ kgf/cm}^2 \\
 \text{MOE S3} &= 13,89 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

Ditanya : MRPI?

$$\begin{aligned}
 \text{Jawab} \quad : \quad \text{Rata-rata} &= \frac{\sum \text{MOE}}{3} \\
 &= \frac{14,12 + 15,44 + 13,89}{3} \\
 &= 14,48 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{S/N Ratio} &= \frac{1}{\text{MOE}^2} \\
 &= \frac{1}{14,12^2} = 0,005
 \end{aligned}$$

$$\text{S/N Ratio} = 10 \log \sum \text{MOE}$$

$$= 10 \log(0,005 + 0,004 + 0,005)$$

$$= 25,41$$

$$Weight = \frac{S/N \text{ Ratio}}{\sum S/N \text{ Ratio}}$$

$$= \frac{25,41}{79,93}$$

$$= 0,318$$

$$MRPI = \frac{[MOR \times W (MOR)] + [MOE \times W (MOE)]}{[DS \times W (DS)]}$$

$$= \frac{[179,38] + [13,81]}{[0,73]}$$

$$= 265,43$$

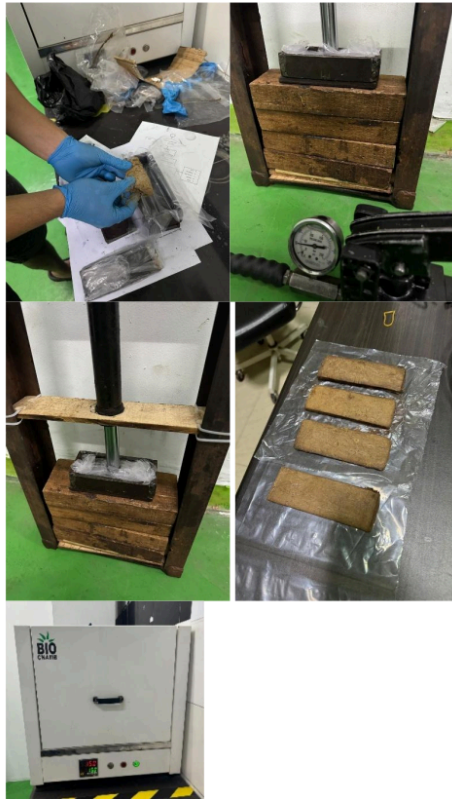
B. DOKUMENTASI

B.1 Proses Alkalisasi



B.2 Proses Pembuatan Sampel





B.3 Proses Finishing Sampel

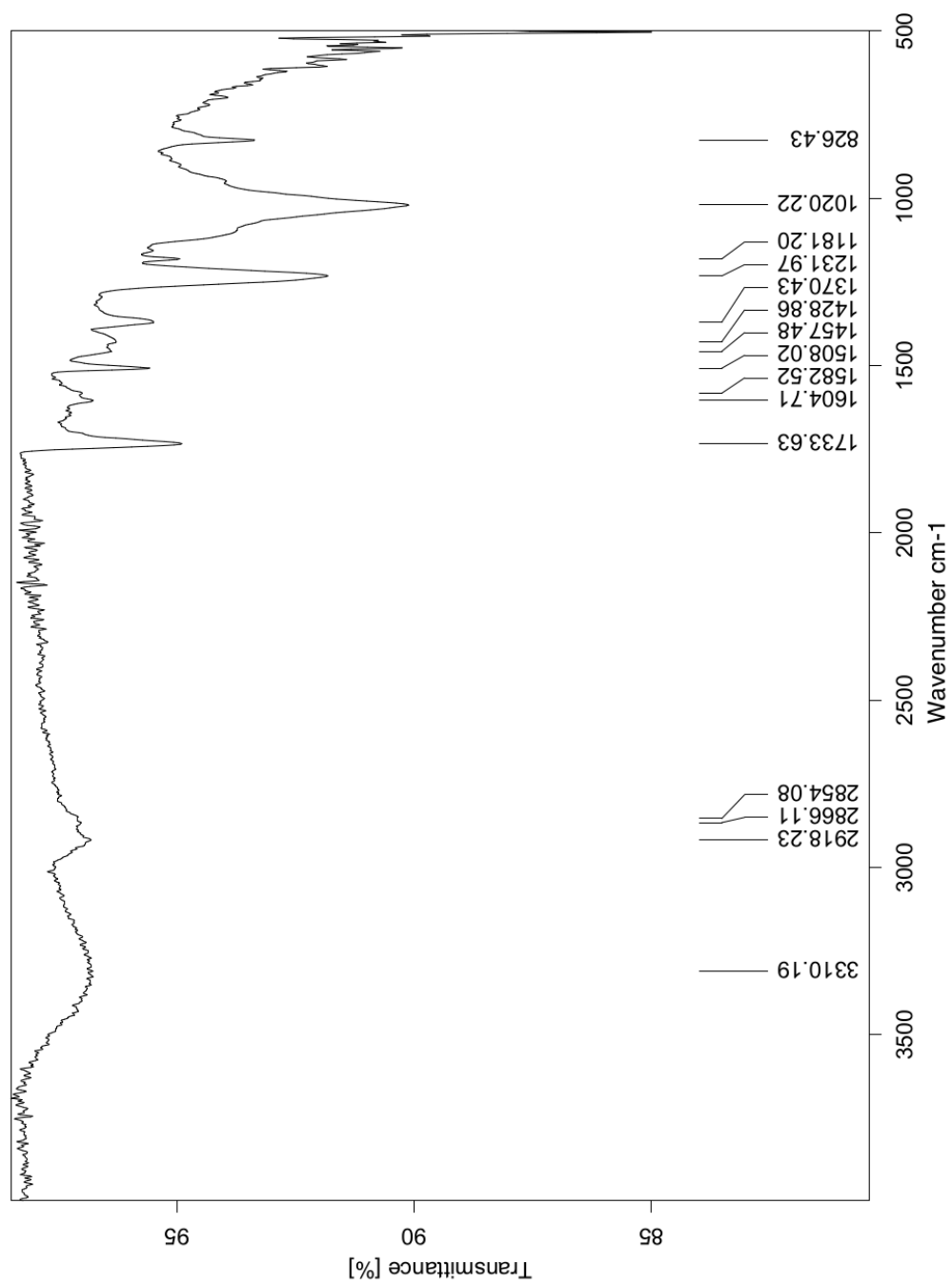


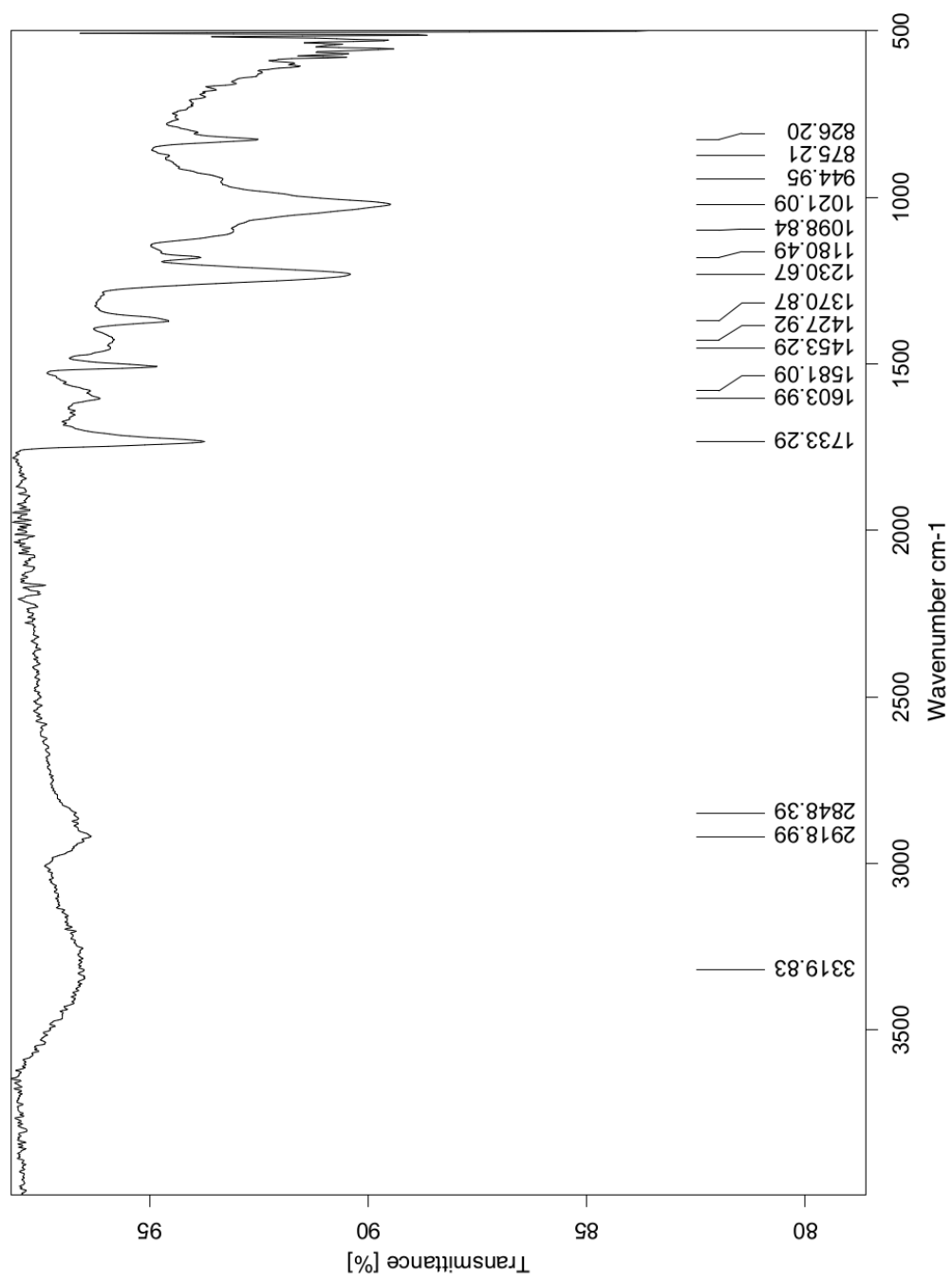
B.4 Proses Pemaparan Panas

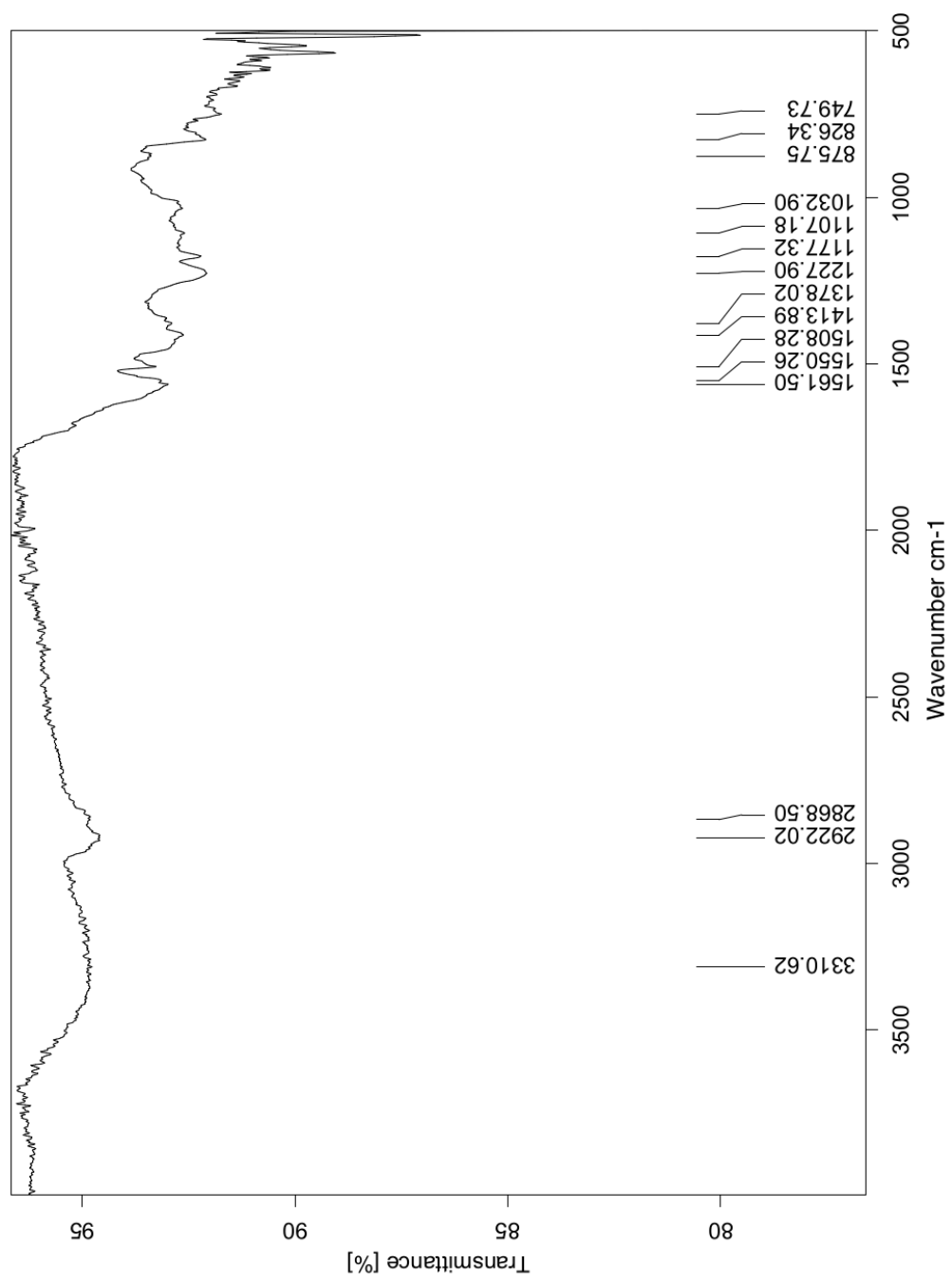


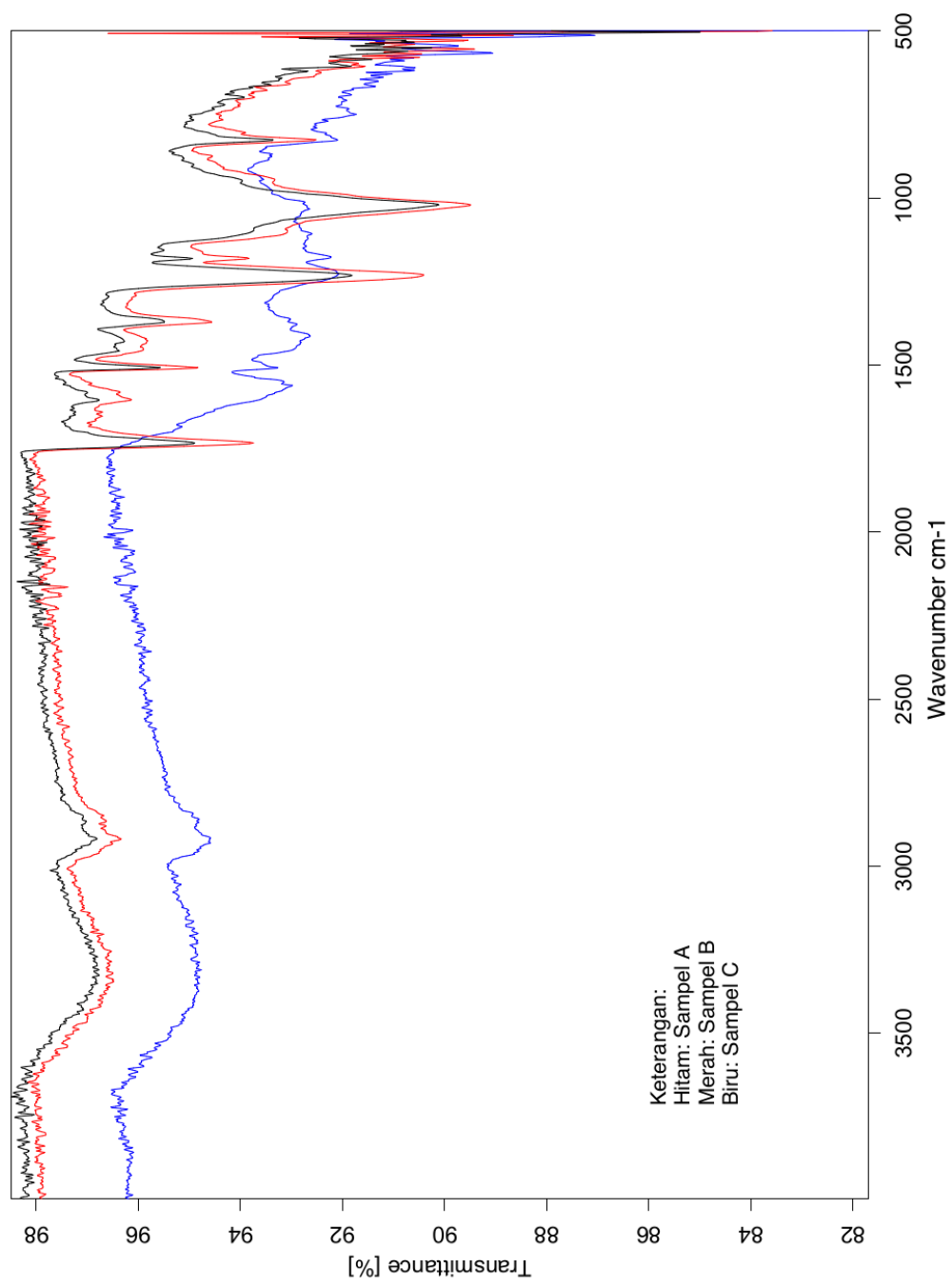
B.5 Proses Pengujian dan Pengambilan Data











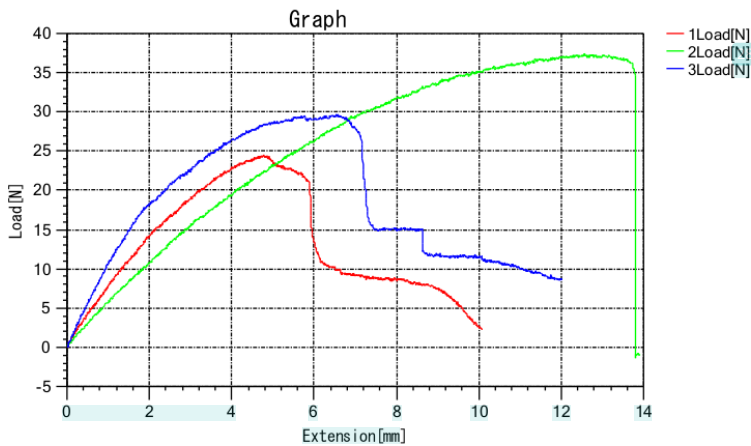


LABORATORIUM TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYAS



Test date	2025/02/26
Temperature	28
Humidity	
Sample name	Papan Partikel
Lot number	3
Operation conditions	Paparan Panas 50 Derajat
User	Mirza Hanan
Operator	Duta Senopati

Operation mode	Single
Moving direction	Down
Distortion mode	3-point bending
Test speed(Si)	2mm/min



	Elastic modulus MPa	Max point Load kN	Upper yield point Stress MPa	Lower yield point Stress MPa	Max point Extension mm
1	1.3851	0.0245	0.1863	0.1781	4.7400
2	1.5144	0.0375	0.2489	0.2489	12.480
3	1.3623	0.0297	0.1695	0.1695	6.4000



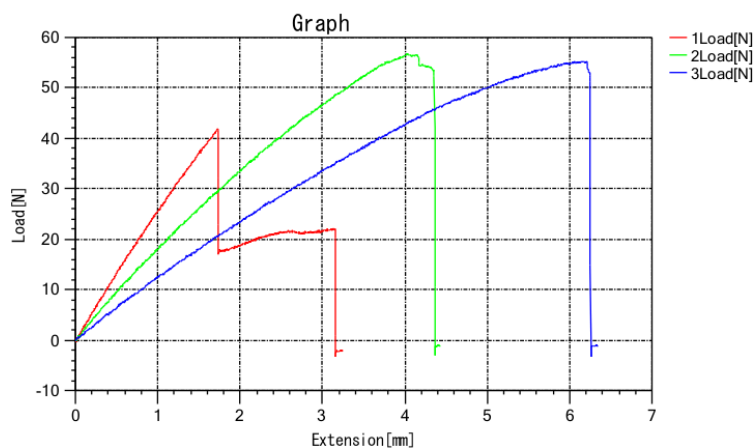
LABORATORIUM TEKNIK MESIN

UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA



Test date	2025/02/26
Temperature	28
Humidity	
Sample name	Papan Partikel
Lot number	3
Operation conditions	Paparan Panas 150 Derajat
User	Mirza Hanan
Operator	Duta Senopati

Operation mode	Single
Moving direction	Down
Distortion mode	3-point bending
Test speed (Si)	2mm/min



	Elastic modulus MPa	Max point Load kN	Upper yield point Stress MPa	Lower yield point Stress MPa	Max point Extension mm
1	1.9501	0.0417	1.2727	0.0000	1.6800
2	2.4001	0.0567	2.0204	2.0204	3.9800
3	1.4016	0.0553	0.1995	0.1971	6.1200



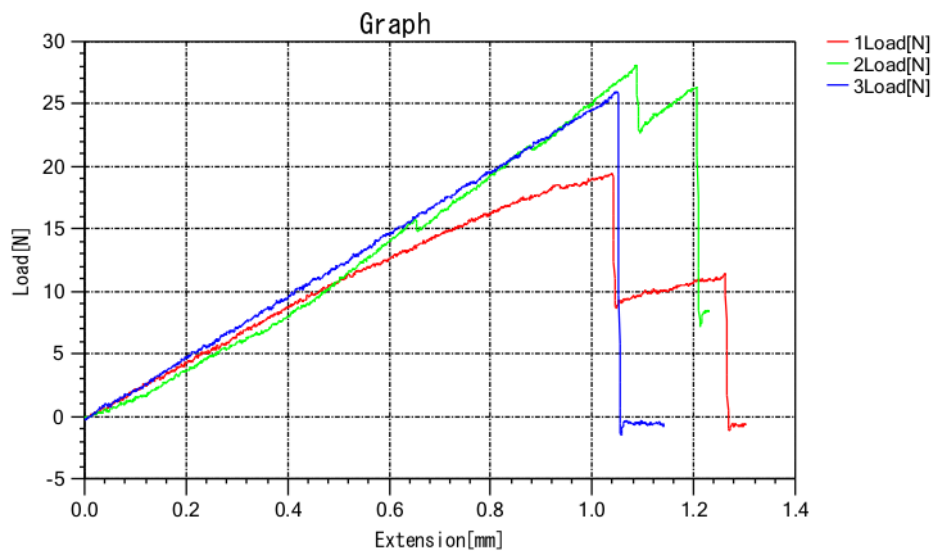
LABORATORIUM TEKNIK MESIN

UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA



Test date	2025/02/26
Temperature	28
Humidity	
Sample name	Papan Partikel
Lot number	3
Operation conditions	Paparan Panas 250 Derajat
User	Mirza Hanan
Operator	Duta Senopati

Operation mode	Single
Moving direction	Down
Distortion mode	3-point bending
Test speed (Si)	2mm/min



	Elastic modulus MPa	Max point Load kN	Upper yield point Stress MPa	Lower yield point Stress MPa	Max point Extension mm
1	1.3311	0.0194	0.4939	0.4939	1.0000
2	1.6807	0.0278	0.4012	0.3896	1.0400
3	3.3390	0.0257	1.1401	-0.0093	1.0000

ORIGINALITY REPORT

20%

SIMILARITY INDEX

18%

INTERNET SOURCES

10%

PUBLICATIONS

7%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

eprints.untirta.ac.id

Internet Source

1%

2

repository.ub.ac.id

Internet Source

1%

3

123dok.com

Internet Source

1%

4

repository.its.ac.id

Internet Source

1%

5

Submitted to Morgan Park High School

Student Paper

1%

6

text-id.123dok.com

Internet Source

1%

7

jfu.fmipa.unand.ac.id

Internet Source

1%

8

Submitted to Universitas Diponegoro

Student Paper

1%

9

www.scribd.com

Internet Source

1%

10	docplayer.info Internet Source	<1 %
11	es.scribd.com Internet Source	<1 %
12	www.repository.umuslim.ac.id Internet Source	<1 %
13	repositori.usu.ac.id Internet Source	<1 %
14	jurnalteknik.unjani.ac.id Internet Source	<1 %
15	Sukma Bening Fadli, Mawardi Mawardi, Edi Nasra. "Identifikasi Mikroplastik Jenis Polystyrene (PS) Menggunakan Metode Wet Peroxide Oxidation (WPO)", MASALIQ, 2025 Publication	<1 %
16	repository.umy.ac.id Internet Source	<1 %
17	lib.unnes.ac.id Internet Source	<1 %
18	media.neliti.com Internet Source	<1 %
19	digilib.uinsby.ac.id Internet Source	<1 %
20	dspace.uii.ac.id Internet Source	

<1 %

21

Submitted to Universitas Bengkulu

Student Paper

<1 %

22

Submitted to Universitas Sultan Ageng
Tirtayasa

Student Paper

<1 %

23

pt.scribd.com

Internet Source

<1 %

24

eprints.umm.ac.id

Internet Source

<1 %

25

etheses.uin-malang.ac.id

Internet Source

<1 %

26

taniaramadhan30.blogspot.com

Internet Source

<1 %

27

repository.ubharajaya.ac.id

Internet Source

<1 %

28

www.coursehero.com

Internet Source

<1 %

29

www.infosawit.com

Internet Source

<1 %

30

www.pelajaran.co.id

Internet Source

<1 %

31

jurnal.uisu.ac.id

Internet Source

<1 %

32

repository.uin-suska.ac.id

Internet Source

<1 %

33

eprints.instiperjogja.ac.id

Internet Source

<1 %

34

jurnal.unmer.ac.id

Internet Source

<1 %

35

docobook.com

Internet Source

<1 %

36

[Submitted to Universitas Khairun](#)

Student Paper

<1 %

37

ejournal3.undip.ac.id

Internet Source

<1 %

38

eprints.polsri.ac.id

Internet Source

<1 %

39

repository.unej.ac.id

Internet Source

<1 %

40

id.123dok.com

Internet Source

<1 %

41

bestjournal.untad.ac.id

Internet Source

<1 %

42

proceedings.ums.ac.id

Internet Source

<1 %

43	repository.iainpurwokerto.ac.id Internet Source	<1 %
44	zalzal04.blogspot.com Internet Source	<1 %
45	digilib.unila.ac.id Internet Source	<1 %
46	repository.uinsu.ac.id Internet Source	<1 %
47	Mikhael Farly Gahung, Dedie Tooy, Ireine Adriana Longdong. "Physical and Mechanical Characteristics of Natural Adhesives in the Preparation of Composite Boards from Coconut Fiber as an Effort to Address Environmental Issues", Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering), 2024 Publication	<1 %
48	Seng Hua Lee, Zaidon Ashaari, Wei Chen Lum, Aik Fei Ang, Juliana Abdul Halip, Rasmina Halis. "Chemical, physico-mechanical properties and biological durability of rubberwood particleboards after post heat-treatment in palm oil", Holzforschung, 2018 Publication	<1 %
49	eprints.politeknikpu.ac.id Internet Source	<1 %

50	repository.unri.ac.id Internet Source	<1 %
51	www.wibloog.com Internet Source	<1 %
52	Submitted to Lambung Mangkurat University Student Paper	<1 %
53	Rony Pasonang Sihombing, Robby Sudarman, Agustinus Ngatin. "Pengaruh Konsentrasi Surfaktan Non-Ionik Terhadap Viskositas Perekat Polivinil Asetat Berbasis Air", KOVALEN: Jurnal Riset Kimia, 2020 Publication	<1 %
54	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	<1 %
55	Submitted to Universiti Putra Malaysia Student Paper	<1 %
56	ejurnal.umri.ac.id Internet Source	<1 %
57	eprints2.undip.ac.id Internet Source	<1 %
58	karyahenry.blogspot.com Internet Source	<1 %
59	kc.umn.ac.id Internet Source	<1 %

60	repository.uin-alauddin.ac.id Internet Source	<1 %
61	repository.uncp.ac.id Internet Source	<1 %
62	repository.unmuhjember.ac.id Internet Source	<1 %
63	repository.upnvj.ac.id Internet Source	<1 %
64	jurnal.untad.ac.id Internet Source	<1 %
65	jurnal.untan.ac.id Internet Source	<1 %
66	repository.trisakti.ac.id Internet Source	<1 %
67	adoc.pub Internet Source	<1 %
68	datasheet.eeworld.com.cn Internet Source	<1 %
69	jurnal.polsri.ac.id Internet Source	<1 %
70	qdoc.tips Internet Source	<1 %
71	repositorio.ufms.br Internet Source	<1 %

72	repository.umsu.ac.id Internet Source	<1 %
73	s1tt.ittelkom-pwt.ac.id Internet Source	<1 %
74	unsri.portalgaruda.org Internet Source	<1 %
75	www.propertynbank.com Internet Source	<1 %
76	Eko Nugroho, Asroni Asroni. "PENGARUH KOMPOSISI RESIN TERHADAP KEKUATAN MEKANIK PAPAN PARTIKEL YANG DIPERKUAT SERBUK KAYU AKASIA", Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 2017 Publication	<1 %
77	Khyati Gautam, Inderpreet Singh, P.K. Bhatnagar, Koteswara Rao Peta. "The effect of growth temperature of seed layer on the structural and optical properties of ZnO nanorods", Superlattices and Microstructures, 2016 Publication	<1 %
78	Saiful Arif, Dani Irawan, Muhamad Jainudin. "ANALISIS SIFAT MEKANIS PERBANDINGAN CAMPURAN KOMPOSIT SERBUK GERGAJI KAYU JATI DENGAN MATRIK EPOXY UNTUK	<1 %

MATERIAL KAMPAS REM CAKRAM", Jurnal
Technopreneur (JTech), 2019

Publication

79

Sari Mirad Noor. "SIFAT FISIK DAN MEKANIK PAPAN PARTIKEL DARI LIMBAH PLASTIK JENIS HDPE (High Density Polyethylene) DAN RANTING/CABANG KARET (Hevea brasiliensis Muell.Arg)", Jurnal Riset Industri Hasil Hutan, 2011

Publication

<1 %

80

Tri Rubiyanti, Wahyu Hidayat, Indra Gumay Febryano, Samsul Bakri. "Characterization of Rubberwood (Hevea brasiliensis) Pellets Torrefied with Counter-Flow Multi Baffle (COMB) Reactor", Jurnal Sylva Lestari, 2019

Publication

<1 %

81

digilib.unimed.ac.id

Internet Source

<1 %

82

digilib.uns.ac.id

Internet Source

<1 %

83

ejournal.forda-mof.org

Internet Source

<1 %

84

eprints.ums.ac.id

Internet Source

<1 %

85

eprints.undip.ac.id

Internet Source

<1 %

86

journal.ipb.ac.id

Internet Source

<1 %

87

repository.lppm.unila.ac.id

Internet Source

<1 %

88

repository.ubb.ac.id

Internet Source

<1 %

89

repository.upbatam.ac.id

Internet Source

<1 %

90

zombiedoc.com

Internet Source

<1 %

91

Siti Nur Arsih, Nony Puspawati, Rizal Maarif Rukmana. "Detection Detection Of Methicillin Resistant Staphylococcus aureus (MRSA) On The Patients Of RSUD Dr. Moewardi surakarta Using Culture Method And Polymerase Chain Reaction (PCR)", Biomedika, 2019

Publication

<1 %

92

Sunaryo Sunaryo, Masarius Laia, Legisnal Hakim. "KARAKTERISTIK BAHANBAKAR PELLET BIOMASSA CAMPURAN PELEPAH KELAPA SAWIT DAN GETAH POHON PULAI YANG DI APLIKASIKAN PADA KOMPOR BIOMASSA", Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 2018

Publication

<1 %

core.ac.uk

93

Internet Source

<1 %

94

download.garuda.ristekdikti.go.id

Internet Source

<1 %

95

eprints.uns.ac.id

Internet Source

<1 %

96

id.scribd.com

Internet Source

<1 %

97

journal.uinjkt.ac.id

Internet Source

<1 %

98

jurnal.kemlu.go.id

Internet Source

<1 %

99

jurnal.untirta.ac.id

Internet Source

<1 %

100

kristianyunando84.blogspot.com

Internet Source

<1 %

101

ojs.uniska-bjm.ac.id

Internet Source

<1 %

102

pdfslide.tips

Internet Source

<1 %

103

purifikasi.id

Internet Source

<1 %

104

repositorio.bc.ufg.br

Internet Source

<1 %

105	repository.usd.ac.id Internet Source	<1 %
106	senastek2018.univrab.ac.id Internet Source	<1 %
107	www.pharmacy.my.id Internet Source	<1 %
108	www.researchgate.net Internet Source	<1 %
109	Fitri kumala Dewi, Ali Murtadlo, Hedia Rizki, M Nazipurahman, Putri Ayu Anggraini. "PELATIHAN IBU-IBU PKK DESA TAMBANG BESI: PEMANFAATAN POTENSI DESA MELALUI LIDI SAWIT MENJADI ANYAMAN PIRING", LOKOMOTIF ABDIMAS: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, 2023 Publication	<1 %
110	Nuryati Nuryati, Raden Rizki Amalia, Nina Hairiyah. "PEMBUATAN KOMPOSIT DARI LIMBAH PLASTIK POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) BERBASIS SERAT ALAM DAUN PANDAN LAUT (Pandanus tectorius)", Jurnal Agroindustri, 2020 Publication	<1 %
111	Trisna Wati, Dina Setyawati, Nurhaida Nurhaida. "SIFAT FISIK DAN MEKANIK PAPAN PARTIKEL AMPAS DAN SERAT KULIT BATANG	<1 %

SAGU (Metroxylon spp) BERDASARKAN
KOMPOSISI SUSUNAN PARTIKEL DAN RASIO
PEREKAT ASAM SITRAT SUKROSA", JURNAL
HUTAN LESTARI, 2021

Publication

112

Daryl Deskianto Harna. "Analisa Karakterisasi Baja Paduan As-Cast-Fe-Cr-Mn-Mo Dengan Komposisi Nikel Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Hasil Uji Balistik", Jurnal Mesin Nusantara, 2022

Publication

113

Dharmawan A.H., Nuva, Sudaryanti D.A., Prameswari A.A., Amalia R., Dermawan A., Bizarani B.. "Pengembangan bioenergi di Indonesia: Peluang dan tantangan kebijakan industri biodiesel", Center for International Forestry Research (CIFOR) and World Agroforestry Centre (ICRAF), 2018

Publication

114

Jajang Sutiawan, Dede Hermawan, Sukma Surya Kusumah, Bernadeta Ayu Widyaningrum, Endang Sukara. "Utilization of Cassava Maltodextrin for Eco-friendly Adhesive in the Manufacturing of Sorghum Bagasse Particleboard", Jurnal Sylva Lestari, 2020

Publication

<1 %

<1 %

<1 %

115

Khairuddin, Ruslan Ruslan, Muh.Ricky
Arisandi M. Tahili, Dwi Juli Puspitasari et al.
"Penurunan Kadar Chemical Oxygen Demand
(COD) pada Limbah Cair Industri Tahu
Menggunakan Arang Aktif dari Pelepah
Kelapa Sawit (*Elaeis guenensis* Jacq.)",
KOVALEN: Jurnal Riset Kimia, 2022

Publication

<1 %

116

Lia Anggresani, Armini Hadriyati, Ida
Risnawati, Santi Perawati, Lili Andriani. "Tanin
pada ekstrak daun rambutan (*Nephelium
lappaceum* L.) tidak berpotensi sebagai
chelating agent dalam sintesis hidroksiapatit",
Riset Informasi Kesehatan, 2019

Publication

<1 %

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography On