

**ANALISA KEKUATAN LENTUR DAN KEKERASAN
KAMPAS REM NON ASBESTOS DENGAN VARIASI
KANDUNGAN FILLER CANGKANG KELAPA SAWIT**

SKRIPSI

**Untuk Memenuhi Persyaratan Mencapai Derajat S1 Pada Jurusan Teknik
Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



Disusun Oleh:

Rahfie Ramadhan

3331200025

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON – BANTEN
2024**

**ANALISA KEKUATAN LENTUR DAN KEKERASAN
KAMPAS REM NON ASBESTOS DENGAN VARIASI
KANDUNGAN FILLER CANGKANG KELAPA SAWIT**

SKRIPSI

**Untuk Memenuhi Persyaratan Mencapai Derajat S1 Pada Jurusan Teknik
Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



Disusun Oleh:

Rahfie Ramadhan

3331200025

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON – BANTEN
2024**

TUGAS AKHIR

Analisa Kekuatan Lentur dan Kekerasan Kampas Rem Non Asbestos dengan Variasi Kandungan Filler Cangkang Kelapa Sawit

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

Rahfie Ramadhan
3331200025

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 03 Juli 2024

Pembimbing Utama

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

Shofiatul Ula, S.Pd.I., M.Eng.
NIP.198403132019032009

Anggota Dewan Penguji

Slamet Wiyono, S.T., MT.
NIP.197312182005011001

Miftahul Jannah, S.T., M.T.
NIP. 199103052020122000

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

Shofiatul Ula, S.Pd.I., M.Eng.
NIP.198403132019032009

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

Tanggal, 24 Juli 2024
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

In. Dhimas Satria, S.T., M.Eng.
NIP. 198305102012121006

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Rahfie Ramadhan

NPM : 3331200025

Judul : Analisa Kekuatan Lentur dan Kekerasan Kampas Rem *Non Asbestos*
dengan Variasi Kandungan *Filler* Cangkang Kelapa Sawit

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

MENYATAKAN

Bahwa laporan skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali yang telah disebutkan sumbernya

Cilegon, 18 Juli 2024



Rahfie Ramadhan

NPM. 3331200025

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur Penulis Panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyusun Tugas Akhir yang berjudul “*Analisa Kekuatan Lentur dan Kekerasan Kampas Rem Non Asbestos Dengan Variasi Kandungan Filler Cangkang Kelapa Sawit*”. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat kelulusan Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Penulis menyadari bahwa, dengan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, memberikan kemudahan bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam Tugas Akhir ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran, untuk perbaikan dan penyempurnaan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dhimas Satria, S.T., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Ibu Dr. Ir. Ni Ketut Caturwati, M.T. Sebagai Dosen Pembimbing Akademik.
3. Bapak Sunardi, S.T., M.Eng sebagai Dosen Pembimbing 1 yang telah meluangkan waktu, memberi saran serta arahan dan membimbing penulis menyelesaikan proposal Tugas Akhir ini.
4. Ibu Shofiatul Ula, S.Pd.I., M.Eng sebagai Dosen Pembimbing 2 yang telah meluangkan waktu, memberi saran serta arahan dan membimbing penulis menyelesaikan proposal Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr. Mekro Permana Pinem, S.T., M.T., Dosen Koordinator Tugas Akhir yang telah memberikan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik beserta jajarannya yang telah mendidik, mengajar, dan memberikan ilmu yang bermanfaat untuk penulis.
7. Kedua orang tua dan kakak yang selalu memberikan kasih sayang dan dukungan berupa materi maupun doa terbaik kepada penulis.

8. Teman-teman Teknik Mesin UNTIRTA angkatan 2020, yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, tapi tidak mengurangi rasa hormat dan terima kasih penulis. Terima kasih atas kebersamaannya, bantuan dan dukungan yang pernah diberikan selama ini.
9. Teman-teman kontrakan konjuring yang telah menemani penulis dari awal perkuliahan, membantu memperbaiki akademik penulis, dan selalu mendukung penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Seluruh pihak yang tidak dapat dijelaskan satu persatu, atas semua bantuan dan dukungan yang diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas bantuan yang diberikan kepada penulis, semoga diberikan balasan kebaikan yang berlimpah dari Allah SWT.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Cilegon, Mei 2024

Penulis

ABSTRAK

ANALISA KEKUATAN LENTUR DAN KEKERASAN KAMPAS REM NON ASBESTOS DENGAN VARIASI KANDUNGAN FILLER CANGKANG KELAPA SAWIT

Disusun Oleh:

RAHFIE RAMADHAN

3331200025

Kampas rem merupakan bagian penting dari kendaraan bermotor yang berperan dalam mengurangi kecepatan dan menghentikan kendaraan. Serat material asbestos ketika terhirup dapat berdampak pada tubuh dengan menyebabkan asbestosis. Cangkang kelapa sawit muncul sebagai alternatif bahan yang ekonomis dan inovatif dalam pengembangan material kampas rem yang lebih ramah lingkungan. Jika nilai fraksi volume cangkang kelapa sawit berkurang, nilai kelenturan material komposit meningkat. Perbandingan fraksi volume filler cangkang kelapa sawit 20% didapat sebesar 17,908 MPa, pada 15% didapat 20,423 MPa, dan pada 5% yaitu sebesar 29,396 MPa. Pada kekerasan nilai rata-rata kekerasan untuk variasi V1 (20%) adalah 71,13 HRR, yang merupakan nilai tertinggi di antara ketiga variasi. Untuk variasi V2 (15%), nilai rata-rata kekerasan turun menjadi 62,75 HRR. Sedangkan untuk variasi V3 (5%), nilai rata-rata kekerasan lebih rendah lagi, yaitu 46,43 HRR. Dibandingkan dengan nilai kekerasan kampas rem komersil, hanya sampel V1 dan sampel V2 yang memenuhi karena range nilai kekeras kampas rem komersil sebesar 52 HRF-96 HRF.

Kata Kunci : *Kampas Rem, Komposit, Uji Fisis, Uji Kelenturan, dan Uji Kekerasan*

ABSTRACT

ANALYSIS OF FLEXURAL STRENGTH AND HARDNESS OF NON-ASBESTOS BRAKE PADS WITH VARIATIONS CONTENT OF PALM KERNEL SHELL FILLER

Arranged By:

RAHFIE RAMADHAN

3331200025

Brake pads is an important part of a motor vehicle that plays a role in reducing speed and stopping the vehicle. Asbestos material fibers when inhaled can affect the body by causing asbestosis. Palm kernel shells are emerging as an economical and innovative alternative material in the development of more environmentally friendly brake lining materials. If the volume fraction value of palm kernel shell is reduced, the flexibility value of the composite material increases. The comparison of the volume fraction of 20% palm kernel shell filler is obtained at 17.908 MPa, at 15% it is 20.423 MPa, and at 5% it is 29.396 MPa. The average hardness value for variation V1 (20%) is 71.13 HRR, which is the highest value among the three variations. For variation V2 (15%), the average hardness value dropped to 62.75 HRR. As for the V3 (5%) variation, the average hardness value is even lower, at 46.43 HRR. Compared to the hardness value of commercial brake linings, only sample V1 and sample V2 meet because the range of hardness values of commercial brake linings is 52 HRF-96 HRF.

Keywords: *Brake Pads,, Composites, Physical Test, Flexibility Test, and Hardness Test*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Kampas Rem	6
2.2.1 Kampas Rem Asbestos	7
2.2.2 Kampas Rem Non Asbestos	8
2.3 Komposit	8
2.4 Sifat Mekanis Kampas Rem.....	9
2.5 Matriks	11
2.6 Penguat	12
2.7 Cangkang Kelapa Sawit	13
2.8 Graphite	15
2.9 Alumina.....	15
2.10 ZnO.....	16
2.11 Serat Bambu	16

2.12	Pengujian Kelenturan dan Kekerasan	18
2.13	Standard Komersial Kampas Rem	19
2.14	Densitas	19
2.15	Porositas	20
2.16	Serapan Air.....	21

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian	22
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	24
3.2.1	Alat yang digunakan.....	24
3.2.2	Bahan yang digunakan	27
3.3	Variabel Penelitian	30
3.3.1	Variabel Bebas	30
3.3.2	Variabel Terikat.....	30
3.3.3	Variabel Kontrol.....	30
3.4	Prosedur Penelitian.....	31

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1	Data Pegujian Fisik	32
4.2	Pengujian Kelenturan	38
4.2.1	Perbandingan Modulus Kelenturan dengan Fraksi Volume... 40	
4.2.2	Perbandingan Regangan Pada Titik Patah dengan Fraksi Volume	41
4.2.3	Perbandingan Tegangan Lentur Maksimum dengan Fraksi Volume	43
4.2.4	Perbandingan Tegangan Pada Titik Patah dengan Fraksi Volume	44
4.3	Hubungan Nilai Densitas Terhadap Nilai Kekuatan Lentur dan Nilai Kekerasan	45
4.4	Pengujian Kekerasan	47
4.5	Perbandingan Nilai Kelenturan dengan Penelitian yang Sudah Ada .	49
4.6	Perbandingan Nilai Kekerasan dengan Penelitian yang Sudah Ada ..	50

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	52
-----	-----------------	----

5.2	Saran.....	53
-----	------------	----

DAFTAR PUSTAKA

Lampiran

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Rem Tromol.....	7
Gambar 2.2 Rem Cakram	7
Gambar 2.3 Komposit Lapisan.....	9
Gambar 2.4 Metode 3 Point Bending	10
Gambar 2.5 Pengujian <i>Vickers</i>	11
Gambar 2.6 Struktur <i>Graphite</i>	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	23
Gambar 3.2 Mesin Uji Lentur.....	25
Gambar 3.3 Mesin Uji Kekerasan	25
Gambar 3.4 Neraca Digital.....	25
Gambar 3.5 Oven.....	26
Gambar 3.6 Ayakan 80 <i>Mesh</i>	26
Gambar 3.7 Penggaris.....	26
Gambar 3.8 Cetakan Sampel	27
Gambar 3.9 Mesin <i>Cold Press</i>	28
Gambar 3.10 <i>Mixer</i>	29
Gambar 3.11 <i>Alumina Powder</i>	30
Gambar 3.12 <i>Graphite Powder</i>	30
Gambar 3.13 <i>Zinc Oxide</i>	30
Gambar 3.14 Cangkang Kelapa Sawit	31
Gambar 3.15 Serat Bambu.....	31
Gambar 3.16 Resin Epoksi	31
Gambar 4.1 Grafik Nilai Densitas Aktual dan Teoritis	35
Gambar 4.2 Grafik Nilai Porositas	36
Gambar 4.3 Grafik Nilai Daya Serap Air	37
Gambar 4.4 Uji Kelenturan 3 Point Bending	38
Gambar 4.5 Grafik modulus lentur Terhadap Fraksi Volume.....	41
Gambar 4.6 Grafik Regangan Terhadap Fraksi Volume	42

Gambar 4.7 Grafik Tegangan Lentur Maks Terhadap Fraksi Volume.....	44
Gambar 4.8 Grafik Tegangan Lentur pada Titik Patah Terhadap Fraksi Volume.....	45
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Kekuatan Lentur dan Densitas.....	46
Gambar 4.10 Grafik Hubungan Kekerasan dan Densitas.....	47
Gambar 4.11 Pengujian Kekerasan	48
Gambar 4.12 Pengujian Kekerasan	48

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Variasi Komposisi Komposit	32
Tabel 4.2 Data Massa Jenis Bahan	32
Tabel 4.3 Massa Sebelum dan Sesudah direndam.....	33
Tabel 4.4 Nilai Densitas Aktual dan Densitas Teoritis	34
Tabel 4.5 Nilai Porositas	35
Tabel 4.6 Nilai Daya Serap Air	36
Tabel 4.7 Data Sampel Variasi 1	39
Tabel 4.8 Data Sampel Variasi 2.....	39
Tabel 4.9 Data Sampel Variasi 3.....	39
Tabel 4.10 Data Nilai Rata-Rata dari Tiap Sampel.....	39
Tabel 4.11 Nilai Kelenturan Pada Penelitian yang Sudah Ada	49
Tabel 4.12 Nilai Kekerasan Pada Penelitian yang Sudah Ada	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kampas rem merupakan bagian penting dari kendaraan bermotor yang berperan dalam mengurangi kecepatan dan menghentikan kendaraan. Bantalan rem harus mampu menanggung beban yang lebih besar dari total keseluruhan komponen menunjukkan pentingnya perannya dalam keselamatan. Oleh karena itu, materi konstruksi kampas rem harus dipilih dengan cermat untuk mencapai kinerja pengereman yang optimal. Biasanya, kampas rem dibuat dari bahan asbestos yang dicampur dengan unsur lain seperti SiC, Mn, Zn, atau Co (Yudhanto dkk., 2019).

Serat material asbestos ketika terhirup dapat berdampak pada tubuh dengan menyebabkan asbestosis, sebuah penyakit yang disebabkan oleh paparan serat asbes dalam jangka waktu yang lama, diperkirakan muncul setelah paparan selama 10-30 tahun. Dampak utamanya adalah pembentukan jaringan parut pada paru-paru dan kesulitan bernapas. Efek ini cenderung memburuk secara perlahan seiring dengan perkembangan penyakit, bahkan setelah paparan terhenti (Salawati, 2016).

Cangkang kelapa sawit muncul sebagai alternatif bahan yang ekonomis dan inovatif dalam pengembangan material kampas rem yang lebih ramah lingkungan dibanding dengan bahan asbestos, baik bagi kesehatan manusia maupun memanfaatkan limbah yang sudah terbuang. Penggunaan cangkang kelapa sawit sebagai bahan dalam pengembangan material kampas rem dapat memengaruhi sifat mekaniknya. Cangkang kelapa sawit memiliki beberapa karakteristik yang dapat memperkaya sifat mekanik material, seperti kekerasan yang baik, kepadatan yang tinggi, serta daya tahan terhadap panas dan tekanan. Dengan pertimbangan hal tersebut maka cangkang kelapa sawit digunakan sebagai filler dari komposit pembuatan kampas rem non asbestos (Lestari dan Mora, 2018).

Bambu dan serat alam lainnya semakin populer sebagai bahan penguat polimer untuk material komposit. Ada beberapa alasan di antaranya yang terpenting adalah, serat alam biasanya lebih hemat biaya daripada serat sintetis. Selain itu, densitas rendah serat alam membantu mengurangi total beratnya. Serat alam memiliki kekuatan spesifik tinggi yang menambah kekuatan pada material komposit. Serat alam menjadi lebih diminati karena mudah diakses dan mudah didaur ulang sebagai sumber daya alam. Selain itu, peningkatan kadar selulosa dalam serat alam berkontribusi pada peningkatan modulus young dan kekuatan tarik. Serat bambu alam adalah pilihan yang bagus untuk membuat komposit yang lebih kuat dan berkelanjutan karena gabungan semua aspek ini (Manuputty dan Berhitu, 2010).

Filler cangkang kelapa sawit akan dicampur dengan bahan baku kanvas rem non-asbestos dalam beberapa variasi kadar. Sampel kanvas rem dengan variasi kadar filler tersebut akan diuji kekuatan lenturnya. Hasil pengujian akan dianalisis untuk mengetahui pengaruh kadar filler terhadap kekuatan lentur kanvas rem. Sampel juga diuji kekerasannya menggunakan standar yang sudah ada dan dianalisis hasil untuk mengetahui pengaruh kadar filler terhadap sifat kekerasannya.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah adalah langkah awal dalam proses penelitian yang bertujuan untuk memahami, merinci, dan menggambarkan masalah yang akan dipecahkan atau diteliti. Adapun rumusan masalah pada skripsi ini yang dapat dilihat sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh variasi proporsi filler cangkang kelapa sawit terhadap kekerasan dan kekuatan lentur kanvas rem non asbestos?
2. Faktor apa saja yang berpengaruh dari proporsi filler cangkang kelapa sawit terhadap sifat mekanik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan adalah hasil atau kondisi yang ingin dicapai atau dipahami melalui pelaksanaan sebuah penelitian. Adapun tujuan dari skripsi ini yang dapat dilihat sebagai berikut:

1. Untuk mengidentifikasi dan menganalisis bagaimana variasi proporsi filler cangkang kelapa sawit berpengaruh terhadap tingkat kekerasan pada kampas rem non-asbestos.
2. Untuk mengevaluasi dan memahami dampak variasi proporsi filler cangkang kelapa sawit terhadap kekuatan lentur pada kampas rem non-asbestos.
3. Untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berperan dalam hasil pengaruh proporsi filler cangkang kelapa sawit terhadap sifat mekanik kampas rem non-asbestos, sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif dalam pengembangan dan pemilihan bahan dalam pembuatan kampas rem non-asbestos.

1.4 Batasan Masalah

Dalam konteks penelitian mengenai analisa kekuatan lentur dan kekerasan kampas rem non asbestos dengan variasi kandungan filler cangkang kelapa sawit, batasan-batasan tertentu diidentifikasi untuk memberikan fokus yang jelas pada ruang lingkup penelitian.

1. Cangkang kelapa sawit digunakan sebagai filler dan serat bambu sebagai penguat komposit.
2. Cangkang kelapa sawit di oven dengan suhu 200°C dengan waktu selama 1 jam.
3. Tekanan *cold press* sebesar 40 bar dengan waktu selama 2 jam.
4. Menggunakan ukuran mesh 80 untuk mengayak filler cangkang kelapa sawit.
5. Perlakuan alkali sebanyak 5% untuk serat bambu dilakukan selama 2 jam.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang diharapkan dapat berdampak positif dan berkontribusi terhadap pengetahuan, praktik, kebijakan, atau masyarakat secara keseluruhan. Manfaat penelitian skripsi ini dapat dilihat sebagai berikut:

1. Penelitian dapat menghasilkan temuan atau teknologi baru yang dapat digunakan untuk mengembangkan produk atau layanan baru yang lebih efektif, efisien, atau ramah lingkungan.
2. Penelitian dapat memberikan pemahaman baru, teori baru, atau informasi penting terkait material komposit cangkang kelapa sawit.
3. Meningkatkan pembangunan industri otomotif yang lebih berkelanjutan dan bertanggung jawab secara lingkungan karena menghasilkan alternatif bahan yang ramah lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Dalam era yang dipenuhi dengan kemajuan teknologi dan penelitian yang terus berkembang, pemahaman mendalam terhadap perkembangan terkini dalam bidang komposit serat alam menjadi sangat penting. Dalam bagian ini, dapat dieksplorasi berbagai kontribusi terbaru dan temuan signifikan yang relevan dengan topik ini, dengan tujuan memperkuat landasan teoretis dan kontekstual skripsi ini.

Pada penelitian jurnal yang berjudul “*Pembuatan dan analisa sifat mekanik komposit dengan penguat abu (fly ash) cangkang sawit untuk bahan kampas rem sepeda motor*” Simanjourang, B. P. dkk 2017. Objek penelitian jurnal ini terkait membuat campuran bahan kampas rem menggunakan metode cetakan terbuka (*open mould*). Bahan ini terdiri dari abu cangkang sawit sebagai penguat atau *filler*, yang dicampur dengan resin BQTN-157 sebagai *matriks* dan katalis metil etil keton peroksida untuk mempercepat proses pengerasan. Pengujian kekerasan, kelenturan, dan keausan dilakukan selama proses eksperimen.

Hasil pengujian menunjukkan sifat mekanik komposit kampas rem. Spesimen D, yang terdiri dari 40% resin dan 60% fly ash, memiliki tingkat kekerasan tertinggi, 132,8 HV, sementara spesimen C, yang terdiri dari 50% resin dan 50% fly ash, memiliki kelenturan tertinggi, 66,02 N/mm². Spesimen D, yang terdiri dari 40% resin dan 60% fly ash, memiliki tingkat keausan terendah, 1,08 x 10⁻⁵ gr/mm². Hasil ini menunjukkan bahwa variasi dalam komposisi bahan komposit secara signifikan mempengaruhi sifat mekaniknya, lebih banyak kandungan fly ash berarti lebih keras dan tahan terhadap keausan. Namun, kelenturan juga berkurang, yang membuat komposisi dengan resin yang lebih tinggi lebih baik.

Pada penelitian jurnal yang berjudul “*Karakterisasi Bahan Kampas Rem Sepeda Motor Dari Komposit Serbuk Kayu Jati*” Yudhanto F. dkk 2019.

Objek penelitian jurnal ini kampas rem SKJ (Serbuk Kayu Jati) merupakan alternatif pengganti kampas rem asbes. Pengujian mekanis meliputi uji keausan, uji kekerasan, uji koefisien gesek, dan uji tahan panas. Proses pengepresan panas SKJ sebagai bahan utama kampas rem didasarkan pada variasi suhu yaitu 160°C, 170°C, dan 180°C.

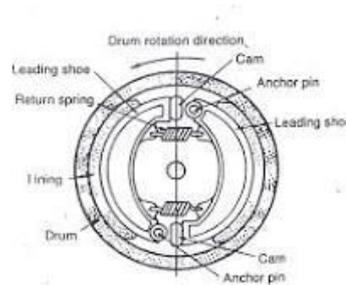
Dalam hal kekerasan, keausan, koefisien gesek, dan ketahanan panas, variasi kampas rem pada suhu 180°C lebih baik daripada variasi pada 160°C dan 170°C. Kampas rem Indopa pada suhu 180°C memiliki kekerasan 25,1 BHN, keausan spesifik $3,36 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$, dan koefisien gesek 0,51. Mereka tidak rusak selama satu jam uji pada suhu 300°C. Uji pemanasan selama satu jam pada suhu 300 derajat Celcius menunjukkan bahwa kampas rem indopart menunjukkan beberapa sedikit retakan, sementara kampas rem RCA tidak mengalami kerusakan apa pun. Selama proses *hot press*, suhu memainkan peran penting dalam pematangan perekat *phenol formaldehyde*. Ini akan mengikat material dengan sempurna dan memengaruhi sifat kekerasan, keausan, koefisien gesek, dan ketahanan panas.

2.2 Kampas Rem

Rem sangat penting bagi pengatur gerak dan pengarah untuk menjaga keamanan kendaraan. Dengan memperlambat gerak rodanya, kendaraan secara otomatis menjadi lebih lambat. Fungsi rem adalah untuk menghentikan putaran poros, mengontrol putaran poros, dan mencegah putaran yang tidak diinginkan. Dalam kebanyakan kasus, energi kinetik benda yang bergerak ini yang hilang diubah menjadi panas oleh gesekan. Sebagian energi dalam rem regeneratif dapat dipulihkan dan disimpan dalam kapasitor, rodagila (*flywheel*), atau diubah menjadi arus bolak balik oleh alternator. Dalam kasus lain, energi ini dapat disimpan dalam baterai untuk digunakan untuk tujuan lain, seperti sebagai penggerak atau sumber listrik (Sukamto, 2012).

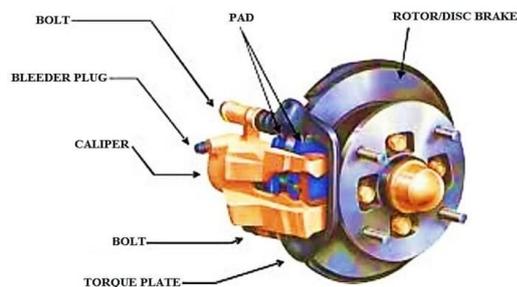
Kampas rem menghentikan atau memperlambat gerakan roda. Sebagai akibat dari gesekan, energi kinetik yang hilang dari objek yang bergerak diubah menjadi panas (Bagaskara dkk., 2019). Rem tromol menggunakan tenaga pengereman untuk menekan permukaan tromol bagian dalam yang

berputar bersama-sama roda. Gesekan menekan sepatu rem yang tidak berputar terhadap tromol (drum pengereman) yang berputar bersama roda, menghasilkan gesekan. (Syawaluddin dan Setiawan, 2008).



Gambar 2.1 Rem Tromol
(Sumber : carmudi.co.id)

Rem cakram terdiri dari sebuah cakram baja yang pada saat pengereman dijepit oleh lapisan rem dari kedua sisinya. Sifat-sifat unggul rem ini termasuk radiasi panas yang baik, pengereman yang stabil, dan mudah dioperasikan. karena itu, roda depan adalah yang paling umum menggunakan rem cakram. Kelemahannya adalah lapisan berumur pendek dan silinder rem yang besar pada roda(Sumiyanto dkk., 2019).



Gambar 2.2 Rem Cakram
(Sumber : daihatsu.co.id)

2.2.1 Kampas Rem Asbestos

Karena rem berbahan asbestos hanya mengandung satu jenis serat, asbes, yang bersifat karsinogenik, rem ini kurang efektif dalam kondisi basah. Karena keterbatasan serat tunggalnya, rem berbahan asbestos dapat mengalami kerusakan (*fading*) pada suhu 2500 derajat Celcius. Hasilnya adalah kampas rem yang terbuat dari asbestos

menjadi licin, serupa dengan gesekan jari di permukaan kaca basah. Bahan baku untuk kampas rem asbestos biasanya terdiri dari 40% hingga 60% asbes, 12% hingga 15% resin, 14% hingga 15% BaSO₄, dan sisa bahan seperti tembaga dari limbah kerajinan, partikel halus, dan logam (Syawaluddin dan Setiawan, 2008).

2.2.2 Kampas Rem Non Asbestos

Bahan (*Friction Aditive*) digunakan pada kampas rem non-asbestos untuk menggantikan komposisi asbestos. Utamanya menggunakan *filler* dan kampas rem untuk mengisi ruang kosong. Selanjutnya, sebagai bantalan tahan aus, resin, serpihan logam, karet sintetis, dan keramik digunakan. Karena tidak adanya kandungan asbestos yang tidak tahan terhadap suhu di atas 200 derajat *Celcius*, kampas rem non-asbestos akan meleleh pada suhu tinggi seperti 350 derajat *Celcius*. Karena komposisi pengurangan gesekan yang lebih tinggi, kampas ini tetap memiliki koefisien gesekan yang tinggi ketika terkena air (Sukamto, 2012)

2.3 Komposit

Komposit adalah bahan yang terdiri dari dua atau lebih material yang berbeda yang digabungkan secara makroskopis, baik yang unik maupun serupa. Istilah "komposit" berasal dari kata "compose", yang berarti menyusun atau menggabungkan. Oleh karena itu, komposit dapat dianggap sebagai kombinasi dari dua atau lebih bahan yang berbeda. Komposit biasanya terdiri dari dua komponen utama: matriks, yang berfungsi sebagai pengikat serat, dan serat, yang berfungsi sebagai bahan pengisi. Sebaliknya, matriks adalah bahan polimer yang dapat dibentuk dengan mudah dan memiliki kemampuan pengikatan tinggi. (Matasina dkk., 2014).

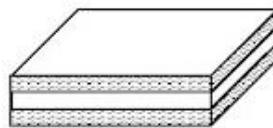
Khususnya beberapa bahan saat ini. Serat gelas, asbes, dan sebagainya sekarang banyak digunakan sebagai bahan komposit dan plastik yang diperkuat. Komposit ini terdiri dari resin dan serat yang diperkuat. Agar

komposit yang diperkuat dapat membentuk produk yang efektif, dua hal harus diperhatikan: (Sukamto, 2012)

1. Modulus elastisitas bagian penguat harus lebih besar daripada bagian matriks.
2. Sangat penting untuk memastikan bahwa komponen penguat dan matriks memiliki ikatan permukaan yang kuat.

Komposit lapis, juga dikenal sebagai komposit lapis, adalah jenis komposit yang terdiri dari dua atau lebih lapisan material yang berbeda yang digabungkan bersama. Komposit ini memiliki lamina, atau arah penyusunan serat yang telah ditentukan. Contoh penerapan komposit lapis adalah sebagai berikut : (Kristiyanto dan Wijianto, 2016).

1. Lapisan bimetal terdiri dari dua jenis logam yang memiliki koefisien ekspansi termal yang berbeda, dan karena desain ini, bimetal melengkung saat suhu meningkat. Akibatnya, lapisan ini sangat cocok untuk alat pengukur suhu.
2. Pelapisan logam adalah proses yang digunakan untuk menggabungkan berbagai jenis logam dengan cara yang memaksimalkan sifat masing-masing logam.
3. Lapisan logam ini meningkatkan ketahanan kaca terhadap cuaca.
4. Panel sayap pesawat menggunakan lapisan komposit serat, yang terdiri dari komposit serat yang disusun dalam berbagai orientasi.



Gambar 2.3 Komposit Lapisan
(Sumber : adenholics.blogspot.com)

2.4 Sifat Mekanis Kampas Rem

Kemampuan suatu bahan untuk menahan gaya, beban, atau energi tanpa mengalami kerusakan dikenal sebagai sifat mekaniknya. Dalam kebanyakan

kasus, sifat mekanik bahan komposit diperbaiki dengan menambahkan elemen penguat.

1. Keuletan

Keuletan adalah sifat bahan yang memungkinkan gaya tarik digunakan untuk membuat kawat tipis. Bahan yang paling ulet adalah yang kuat dan plastik, seperti emas (yang paling ulet), baja ringan, tembaga, aluminium, nikel, seng, dan timah. Persyaratan, persentase pemanjangan, dan persentase pengurangan luas biasanya digunakan untuk mengukur kadar kualitas. Kualitas tarik merujuk pada kemampuan bahan ulet yang memiliki baik plastisitas maupun kekuatan tarik. Ini juga dikenal sebagai kemampuan suatu material untuk menahan deformasi pada suhu rendah tanpa mengalami patah, serta kemampuan material untuk mengalami deformasi di bawah tekanan tanpa pecah. Sebuah material memiliki kapasitas untuk meregang ketika beban tarik diterapkan dan tetap mempertahankan bentuknya setelah beban tersebut dihilangkan. Material akan luluh dan berubah bentuk ketika terkena beban kejut. Bahan ulet tetap kuat meskipun diubah bentuknya (Murugan, 2020).

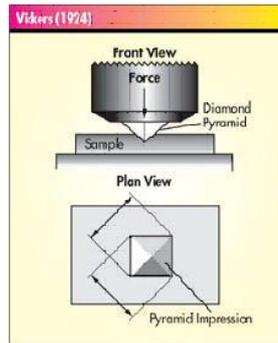


Gambar 2.4 Metode 3 Point Bending

(Sumber :(Simanjorang dkk., 2017))

2. Kekerasan

Kekerasan bahan merujuk pada kemampuan bahan untuk menahan penetrasi dari bahan lain. Ini melibatkan berbagai karakteristik, termasuk ketahanan terhadap keausan, goresan, dan deformasi. Secara umum, kekerasan bahan diartikan sebagai kemampuan untuk menahan abrasi, deformasi, atau lekukan (Murugan, 2020).



Gambar 2.5 Pengujian *Vickers*
 (Sumber :(Simanjorang dkk., 2017))

3. Ketangguhan

Ketangguhan merupakan kemampuan suatu bahan untuk menahan beban tumbukan yang tinggi dan tetap tidak patah setelah tekukan. Material kehilangan kekuatan saat dipanaskan. Energi yang diserap oleh material sampai mencapai titik keruntuhan, serta area di bawah kurva tegangan-regangan, adalah metode alternatif untuk mengukur kekuatan material. Sebagai contoh, baja ringan akan menyerap lebih banyak energi sebelum mengalami kegagalan dibandingkan dengan kaca saat terkena beban mendadak. Ini membuat baja ringan lebih keras daripada kaca. Karena itu, komponen yang rentan terhadap beban kejut dan benturan perlu memiliki karakteristik ini. (Murugan, 2020).

4. Kekuatan

Kekuatan material mengacu pada kemampuan suatu material untuk menahan gaya eksternal tanpa patah atau luluh. Tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh suatu bahan terhadap kerusakan disebut kekuatan pamungkasnya (Murugan, 2020).

2.5 Matriks

Matriks berfungsi sebagai pengikat serat penguat dalam komposit dan umumnya memiliki sifat ulet serta kekuatan yang lebih rendah dibandingkan serat penguatnya. Resin atau polimer sering digunakan sebagai matriks, dengan berbagai jenis resin yang umum digunakan antara lain: (Manuputty dan Berhиту, 2010)

1. *Polyester (orthophthalic)*, Resin ini sangat tahan terhadap korosi akibat air laut dan asam cair.
2. *Polyester (Isophathalic)*, Resin ini tahan terhadap panas dan larutan asam, serta memiliki kekerasan yang lebih tinggi dan kemampuan menahan penyerapan air (*adhesion*) yang lebih baik dibandingkan resin ortho.
3. *Epoxy*, Resin ini sangat unggul dalam menahan penyerapan air (*adhesion*) dan memiliki kekuatan mekanis yang paling tinggi.

2.6 Penguat

Komposit penguat serat adalah bahan yang terdiri dari dua atau lebih komponen, yaitu matriks dan penguat. Matriks adalah material yang mengikat dan mendistribusikan beban ke penguat. Penguat adalah material yang memberikan kekuatan dan kekakuan pada komposit.

Serat penguat dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis utama:

1. Serat organik: Serat ini berasal dari sumber daya alam seperti tumbuhan dan hewan. Contoh serat organik termasuk serat selulosa (rami, kapas, kayu), serat protein (sutra, wol), dan serat kitin (cangkang krustasea).
2. Serat anorganik: Serat ini berasal dari sumber daya non-hayati seperti logam, keramik, dan kaca. Contoh serat anorganik termasuk serat baja, serat karbon, dan serat kaca.

Sebagai bahan penguat yang paling umum digunakan untuk membentuk komposit, serat gelas dengan modulus elastisitas tinggi digunakan untuk meningkatkan kekuatan tarik dan lengkung, meningkatkan rasio kekuatan terhadap berat, dan mempertahankan kestabilan bentuk. Saat ini, beberapa jenis serat gelas yang dapat digunakan dalam proses pembentukan komposit adalah sebagai berikut:: (Manuputty dan Berhita, 2010)

1. *Roving*, Serat gelas yang berbentuk benang panjang dan *kontinu*.
2. *Woven roving*, Serat gelas yang dianyam secara tegak lurus membentuk pola seperti tikar. Dalam proses pembuatan lamina, proporsi berat serat *woven roving* dibandingkan resin adalah sekitar 45–50% serat *woven roving* dan 50–55% resin *polyester* dari total berat.

3. *Chopped roving*, Serat roving yang dipotong menjadi ukuran kecil, antara 0,25 hingga 2 inci, dan biasanya disebar di atas resin.
4. *Chopped standard mat*, Serat gelas yang terdiri dari *chopped roving* yang disusun secara acak dan saling bertumpuk.

Selama pembuatan lamina, berbagai bahan tambahan memengaruhi karakteristik laminate komposit. Berikut adalah fungsi, komposisi, dan efek dari masing-masing bahan tambahan tersebut: (Manuputty dan Berhita, 2010)

1. Katalis: Bahan tambahan yang memulai proses polimerisasi resin, mengubahnya dari cair menjadi padat pada suhu kamar (27°C). Umumnya, katalis digunakan dalam jumlah sekitar 0,5 – 4% dari volume resin.
2. *Accelerator (promoter)*: Bahan tambahan yang mempercepat reaksi polimerisasi antara katalis dan polyester resin pada suhu kamar, memungkinkan proses ini berlangsung lebih cepat tanpa tambahan panas eksternal.
3. *Sterin (Styrene Monomer)*: Cairan bening yang digunakan untuk mengencerkan resin, dengan penambahan biasanya berkisar antara 35 – 40% dari volume resin.

2.7 Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang kelapa sawit adalah salah satu limbah yang dihasilkan oleh tanaman kelapa sawit. Cangkang ini biasanya digunakan sebagai pupuk dan bahan bakar untuk boiler, tetapi jika diproses, cangkang ini dapat diubah menjadi produk yang lebih berharga. Cangkang kelapa sawit dapat digunakan dalam bidang teknik. Salah satu bahan dasar cangkang kelapa sawit yang dapat digunakan dalam bidang teknik adalah material komposit alam (Perdana, 2019). Karena sifat mekaniknya berupa kekerasan cangkang kelapa sawit yang relatif tinggi, limbah cangkang kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan untuk membuat komposit alam yang tahan gesek (Perdana, 2021).

Cangkang kelapa sawit adalah sumber bioenergi yang bagus karena kandungan sulphurnya yang sangat rendah. Dengan area perkebunan kelapa sawit yang luas di Indonesia, ketersediaan cangkang sawit jelas menunjukkan

bahwa pemanfaatan cangkang sawit sebagai bahan bakar dianggap lebih menguntungkan karena tidak hanya dapat mengurangi emisi karbon. Cangkang kelapa sawit mengandung sebagai berikut: (Fachry dkk., 2011).

1. Kadar Air

Karena mengandung kadar air yang lembab (lembab dalam analisis) antara 8 dan 11 persen pada basis air basah, cangkang sawit sangat cocok untuk digunakan sebagai bahan bakar. Ini karena pada dasarnya, semakin rendah kadar air sesuatu, semakin mudah terbakar. Kualitas seperti daya tahan dan kekuatan juga dipengaruhi oleh kondisi kadar air ini.

2. Kadar Abu

Cangkang kelapa sangat cocok untuk digunakan sebagai bahan bakar arang sebagai pengganti batu bara karena kadar abunya yang rendah (sekitar 2-3%). Menggunakan cangkang kelapa sebagai bahan bakar akan mengurangi jumlah sumber daya alam yang terbatas dan menambah stok sumber daya yang mudah diperbaharui.

3. Kadar Penguapan

Karena cangkang sawit mengandung zat sulphur karbon yang lebih rendah, yang mengurangi pencemaran udara, menggunakan cangkang sawit akan lebih ramah lingkungan daripada menggunakan batubara atau bahan bakar sumber daya alam lainnya. Hal ini disebabkan oleh kadar penguapan volatilitas cangkang sawit yang tinggi, yang berkisar antara 69 dan 70 persen.

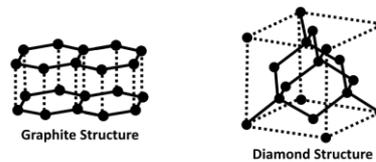
4. Karbon Aktif

Cangkang kelapa sawit mengandung sekitar 20–22% karbon aktif murni, atau karbon tetap. Karbon aktif dari limbah cangkang kelapa sawit umumnya digunakan untuk menyerap karbon dioksida dan memurnikan biogas. Ukuran mikropori dari karbon aktif ini, yang memfasilitasi penyerapannya terhadap gas, telah terkonfirmasi melalui pengukuran *Gas Sorption Analyzer (GSA)*.

2.8 Graphite

Grafit terdiri dari atom karbon yang membentuk kisi planar dengan ikatan yang lemah antar lapisan, yang merupakan salah satu bentuk alotrop karbon. Dalam kulit elektron terluar karbon terdapat empat elektron valensi. Tiga di antaranya terikat dalam ikatan kovalen, sedangkan satu elektron lainnya dapat bergerak dengan bebas dan membentuk medan listrik.

Allotropes of carbon



Gambar 2.6 Struktur Graphite

(Sumber : sainspop.com)

Berbagai sifat unik yang dihasilkan oleh struktur grafit termasuk kekakuan tinggi karena kemampuan untuk mengalami pergeseran antar lapisan, konduktivitas panas dan listrik yang tinggi, dan sifat hubrikasi yang baik pada tekanan dan suhu tinggi. Grafit juga dapat mengikat molekul kimia di antara lapisannya dan tahan terhadap oksidasi dan bahan kimia. Grafit berfungsi sebagai aditif konduktif dalam matriks polimer dan memiliki kemampuan untuk menurunkan resistansi listrik komposit (Wijayanti, 2012).

2.9 Alumina

Al_2O_3 Alumina adalah jenis oksida keramik yang paling sering digunakan dan dianggap sebagai pelopor keramik modern. Dengan massa jenis 3,89 gram per sentimeter kubik dan titik leleh yang sangat tinggi (2050°C), alumina telah lama digunakan dalam desain tanur. Gaya pengikatan interatomiknya, yang bersifat sebagian ionik dan sebagian kovalen, sangat kuat, dan struktur kristalnya tetap stabil hingga suhu sekitar $1500\text{--}1700^\circ\text{C}$. Keramik alumina dengan ukuran butir halus ($0,5\text{--}20\ \mu\text{m}$) dan hampir tanpa porositas biasanya digunakan untuk komponen rekayasa yang diproduksi pada suhu lebih rendah. Alumina memiliki berbagai keunggulan, termasuk

kekerasan tinggi tetapi getas, ketahanan terhadap robek, kekuatan dan kekakuan yang tinggi, serta konduktivitas termal yang baik, bentuk dan kapasitas yang baik, dan tahan terhadap pengaruh asam dan alkali yang kuat pada suhu tinggi (Fahmi, 2015).

Jika alumina diekstraksi dengan bantuan bauksit, metode bayer masih merupakan metode yang paling hemat biaya untuk mensintesa alumina dari segi panas. Pada tahun 1889, *Karl Josef Bayer* mematenkan proses *Bayer*. Proses bayer dilakukan dengan memisahkan unsur-unsur pengatur utama bauksit, seperti SiO_2 , Fe_2O_3 , dan TiO_2 , dari bahan organik. Kemudian, senyawa $\text{Al}(\text{OH})_3$ diekstraksi dari bauksit dengan larutan 30% NaOH (Fahmi, 2015).

2.10 ZnO

Seng oksida (ZnO), suatu senyawa anorganik dengan rumus kimia ZnO , adalah semikonduktor yang stabil yang memiliki struktur wurtzite. Zincite, mineral yang ditemukan di kulit bumi, telah diteliti secara menyeluruh dan digunakan untuk berbagai aplikasi teknologi kontemporer. ZnO biasanya merupakan serbuk putih yang hampir tidak larut dalam air. Plastik, keramik, gelas (gelas), semen, karet, pigmen, makanan (sumber nutrisi Zn), ferit, pemadam kebakaran, plester, dan banyak lagi. Dengan berfungsi sebagai semikonduktor, ZnO menghasilkan luminisen biru. hingga hijau-kuning yang cukup efektif. Dengan sifat ini, ZnO adalah bahan yang ideal yang sangat potensial untuk pengembangan sumber cahaya putih. ZnO juga sangat baik untuk menghasilkan fosfor tegangan rendah dan peraga fluoresen vakum, serta peraga medan emisi (FED) (Ginting, 2019).

2.11 Serat Bambu

Sebagai penguat polymer yang dapat digunakan dalam komposit, serat alam (fiber natural) seperti *jute*, *straw*, sisal, bambu, dan *coir* sedang mendapat perhatian.

1. Serat alam lebih murah daripada serat sintetik (fiber sintetik)
2. Memiliki berat jenis yang lebih rendah daripada serat alam

3. Memiliki kemampuan khusus yang tinggi
4. Mudah didapat dan digunakan kembali.
5. Kekuatan tarik dan modulus young rata-rata terkait dengan peningkatan kandungan cellulose.

Dengan sifat fisiknya yang luar biasa, serat bambu memiliki prosentase *cellulose* yang cukup tinggi (60 persen), sudut *microbillar* (2 hingga 10 derajat), dan prosentase lignin (32 persen). Selain itu, bambu memiliki densitas yang lebih rendah daripada serat alam lainnya, bambu pasti memiliki karakteristik mekanik yang lebih baik daripada serat alam lainnya.

Jika serat bambu digunakan untuk bagian otomotif, hasilnya lebih baik daripada jenis serat alam lainnya. Sebagai bahan peredam suara kendaraan, penelitian menunjukkan bahwa serat bambu, pisang, dan goni yang dicampur dengan polimer plastik polypropylene (PP) memiliki koefisien penyerapan suara yang paling tinggi. Selain itu, uji kekuatan tarik menunjukkan komposit serat bambu/polipropilena (PP) lebih unggul daripada komposit pisang/PP sebesar 510% dan goni/PP sebesar 97,3%. Studi lain yang membandingkan komposit serat bambu/PP dengan serat rami yang diperkuat juga menemukan bahwa komposit serat bambu/PP memiliki kekuatan tarik dan lentur yang lebih baik. Uji penyerapan air menunjukkan bahwa, dibandingkan dengan serat rami/PP yang memiliki sifat hidrofilik yang Selain itu, struktur antarmuka komposit serat bambu/PP menunjukkan adhesi antara serat dan matriks yang lebih baik. (Hao dkk., 2021).

Untuk meningkatkan kompabilitas antara serat dan matriks, perlakuan alkali digunakan untuk mengubah serat. Perlakuan alkali mengubah kandungan lignin atau pectin dan hemiselulosa serat, yang pada gilirannya meningkatkan kekasaran permukaan serat, meningkatkan ikatan antara matriks dan serat (Yudistira, 2021).

Pada penelitian Toni, dkk (2018) pengujian konsentrasi NaOH untuk serat bambu. Untuk kondisi kering, kekuatan impact terbaik dicapai pada konsentrasi NaOH sebesar 8% selama semua waktu perendaman, dengan peningkatan sebesar 31,92% selama 0.5 jam perendaman dan 40,97% selama

2 jam perendaman. Untuk kondisi kering, kekuatan impact meningkat untuk 4% pada konsentrasi alkali selama semua waktu perendaman.

2.12 Pengujian Kelenturan dan Kekerasan

Tujuan dari ISO 178 adalah untuk menyediakan prosedur yang standar dan dapat diandalkan untuk mengukur modulus kelenturan (flexural modulus) dan kekuatan lentur (flexural strength) dari bahan plastik. Pengujian dilakukan dengan membungkukkan spesimen berbentuk balok atau prisma yang dijepit pada kedua ujungnya, kemudian diberi beban di tengahnya hingga spesimen mengalami patah atau deformasi tertentu. Metode pengujian ini sering disebut sebagai metode pengujian lentur tiga titik (three-point flexural test) karena beban diberikan pada spesimen melalui tiga titik penyangga (Institution, 2019).

Rumus yang diberikan diturunkan dengan asumsi perilaku elastis linier dan valid untuk defleksi spesimen yang kecil dibandingkan dengan ketebalannya. Dengan spesimen yang dianjurkan (yang mengukur 80 mm × 10 mm × 4 mm) pada regangan lentur konvensional sebesar 3,5 % dan rasio bentang terhadap ketebalan, L/jam, sebesar 16, defleksinya adalah 1,5 jam. Uji lentur lebih tepat untuk material kaku dan getas yang menunjukkan defleksi kecil pada titik tertentu patah dibandingkan yang sangat lunak dan ulet (Institution, 2019).

Pengujian kekerasan Rockwell yang diatur oleh ASTM D785 dilakukan dengan menggunakan mesin uji kekerasan yang sesuai dengan skala kekerasan Rockwell yang dipilih. Proses pengujian melibatkan memberikan beban pada permukaan bahan menggunakan bola atau penetrator berbentuk kerucut yang ditempatkan pada permukaan spesimen. Kemudian, kedalaman penetrasi tersebut diukur untuk menentukan nilai kekerasan (Materials, 2004).

Spesimen uji standar harus memiliki minimum ketebalan 6 mm (1/4 inci). Spesimen mungkin berupa potongan dari cetakan atau lembaran. Pada pengujian itu spesimen memiliki permukaan datar paralel untuk memastikan tempat permukaan yang baik dengan demikian menghindari defleksi yang

mungkin disebabkan oleh kontak yang buruk. Spesimen harus berukuran minimal 25 mm (1 in) persegi jika dipotong dari lembaran, atau luasnya paling sedikit 6 cm^2 (1 inci²) jika dipotong dari bentuk lain. Lebar minimum harus 13 mm (1/2 inci) ditambah lebar lekukan yang dihasilkan melakukan pengujian menggunakan indentor yang dipilih (Materials, 2004).

2.13 Standard Komersial Kampas Rem

Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa kampas rem original memperoleh nilai rata-rata kekerasan sebesar 65.567 HVN. Dari pengujian koefisien friksi, kampas rem ini mendapatkan nilai koefisien gesek sebesar 0.14. Sementara itu, uji keausan menyatakan bahwa kampas rem original memperoleh nilai keausan sebesar $1.35 \times 10^{-7} \text{ g/mm}^2 \cdot \text{detik}$ dalam kondisi normal, $4.06 \times 10^{-7} \text{ g/mm}^2 \cdot \text{detik}$ setelah perendaman dalam air, dan $6.77 \times 10^{-7} \text{ g/mm}^2 \cdot \text{detik}$ setelah direndam dalam minyak rem (Upura dan Laksono, 2019).

Adapun kriteria persyaratan tekni dari kampas rem sesuai standar SAE J661 (SAE, 1997) adalah sebagai berikut : (Upura dan Laksono, 2019)

1. Untuk nilai kekerasan sesuai standar keamanan 68 – 105 (Rockwell R)
2. Ketahanan panas 360°C, untuk pemakaian terus menerus sampai dengan 250°C.
3. Nilai keausan kampas rem adalah $5 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{kg}$ (kondisi Normal)
4. Koefisien gesek 0.14 – 0.27
5. Massa jenis kampas rem adalah 1.5 – 2.4 g/mm^2
6. Konduktifitas thermal 0.12 – 0.8 W.moK
7. Tekanan spesifiknya adalah 0.17 – 0.98 $\text{J/g}^\circ\text{C}$
8. Kekuatan geser 1300 – 3500 N/cm^2
9. Kekuatan perpatahan 480 – 1500 N/cm^2

2.14 Densitas

Densitas adalah ukuran massa per unit volume suatu material. Densitas menggambarkan seberapa banyak massa yang terkandung dalam volume tertentu dari suatu bahan. Secara matematis, densitas (ρ) didefinisikan

sebagai massa (m) dibagi dengan volume (V). Adapun rumus densitas aktual dan densitas teoritis sebagai berikut (Amalia dan Hairiyah, 2020).

1. Densitas Aktual

$$\rho_m = \frac{m}{V} \dots\dots\dots(2.1)$$

2. Densitas Teoritis

$$\rho_{th} = \rho_{al} \cdot v_{al} + \rho_{gr} \cdot v_{gr} + \rho_{ZnO} \cdot v_{ZnO} + \rho_C \cdot v_C + \rho_B \cdot v_B + \rho_R \cdot v_R \dots(2.2)$$

Keterangan :

- ρ_m = Densitas Aktual (g/cm^3)
- m = Massa (g)
- v = Volume (cm^3)
- ρ_{th} = Densitas Teoritis
- ρ_{al} = Densitas Alumina (g/cm^3)
- ρ_{gr} = Densitas Graphite (g/cm^3)
- ρ_{ZnO} = Densitas Zinc Oxide (g/cm^3)
- ρ_C = Densitas Cangkang Kelapa Sawit (g/cm^3)
- ρ_B = Densitas Bambu (g/cm^3)
- ρ_R = Densitas Resin (g/cm^3)
- v_{al} = Fraksi Volume Alumina (%)
- v_{gr} = Fraksi Volume Graphite (%)
- v_{ZnO} = Fraksi Volume Zinc Oxide (%)
- v_C = Fraksi Volume Cangkang Kelapa Sawit (%)
- v_B = Fraksi Volume Bambu (%)
- v_R = Fraksi Volume Resin (%)

2.15 Porositas

Porositas adalah ukuran yang menunjukkan persentase volume total suatu material yang terdiri dari ruang-ruang kosong atau pori-pori. Dengan kata lain, porositas menggambarkan seberapa banyak ruang dalam material yang tidak diisi oleh bahan padat. Biasanya dinyatakan dalam bentuk

persentase, porositas dihitung sebagai perbandingan antara volume pori-pori dengan volume total material (Setiadi dan Sulardjaka, 2014).

$$Porositas = \frac{\rho_{th} - \rho_m}{\rho_{th}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

2.16 Serapan Air

Serapan air adalah kemampuan suatu material untuk menyerap dan menahan air dalam struktur atau pori-porinya. Parameter ini penting dalam berbagai aplikasi teknik dan industri karena mempengaruhi sifat fisik dan kinerja material. Daya serap air biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase yang menunjukkan jumlah air yang diserap oleh material relatif terhadap berat keringnya. Material dengan daya serap air yang tinggi, seperti spons atau kayu, dapat menyerap air dalam jumlah besar, sementara material dengan daya serap air rendah, seperti kaca atau logam, tidak menyerap air sama sekali. Pemahaman tentang daya serap air penting dalam memilih material untuk aplikasi tertentu, seperti bahan bangunan yang harus tahan terhadap kelembaban atau bahan tekstil yang harus nyaman dan cepat kering. Selain itu, daya serap air juga penting dalam konteks lingkungan, misalnya dalam penyerapan air tanah oleh berbagai jenis tanah atau material penyerap dalam pengelolaan limbah cair. Berikut rumus untuk serapan air pada sampel (Amalia dan Hairiyah, 2020).

$$Serapan Air = \frac{B-A}{A} \times 100\% \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

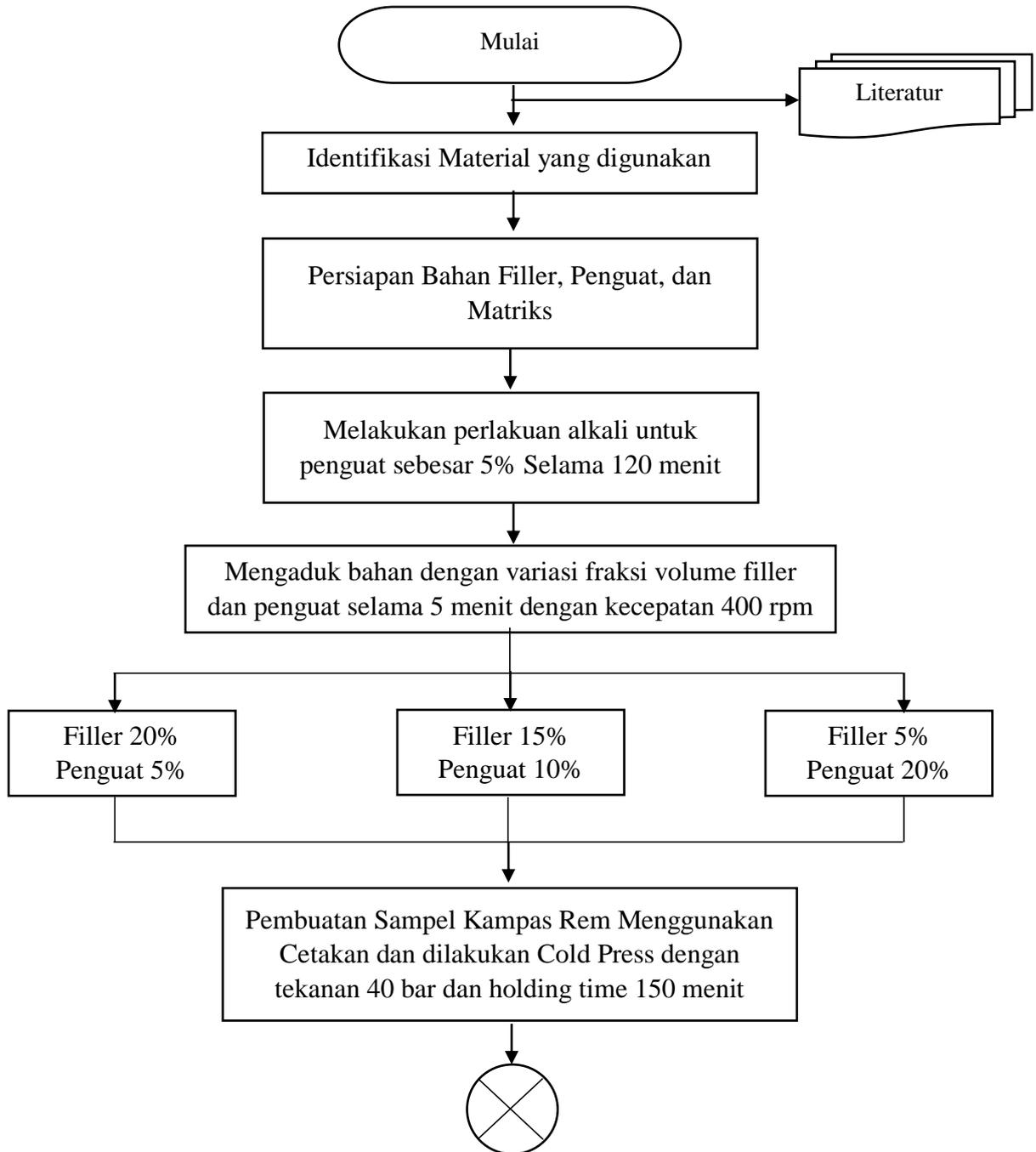
A = Berat Sampel Sebelum direndam (g)

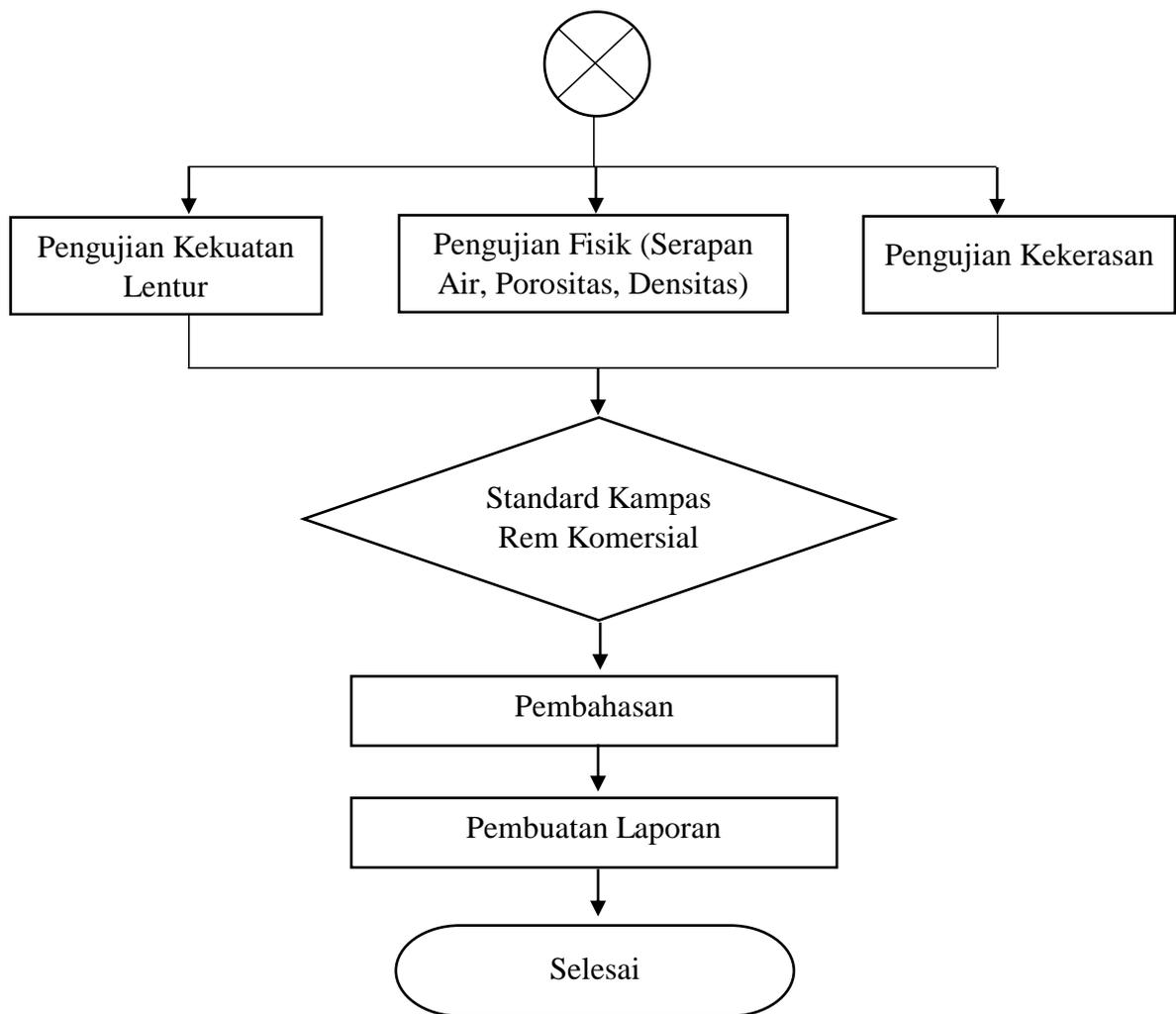
B = Berat Sampel Sesudah direndam (g)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir ini menunjukkan serangkaian langkah yang harus diikuti dalam penelitian skripsi, dari awal hingga penyelesaian. Setiap langkah terdiri dari tugas-tugas yang perlu dilakukan.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

1. Mulai: Tahap awal dalam penelitian skripsi di mana mahasiswa memilih judul yang akan menjadi fokus penelitian mereka.
2. Studi Literatur: Melibatkan review literatur yang luas untuk memahami pengetahuan yang telah ada tentang topik penelitian yang dipilih.
3. Identifikasi Material yang Digunakan: Penentuan jenis material yang akan digunakan dalam penelitian, dalam hal ini adalah kampas rem non-asbestos dengan filler cangkang kelapa sawit.
4. Persiapan Bahan: Tahap persiapan material dan peralatan yang diperlukan untuk pembuatan kampas rem, termasuk pengaturan laboratorium dan pengadaan bahan.

5. Pembuatan Kampas Rem: Proses pembuatan kampas rem non-asbestos dengan variasi kandungan filler cangkang kelapa sawit sesuai dengan rencana penelitian, proses pembuatan cetakan disesuaikan dengan pengujian yang dilakukan, melibatkan pembuatan pengadukan antara filler dengan matriks, lalu dilakukan proses *cold press*.
6. Pengujian Kekuatan Lentur: Melibatkan pengujian kekuatan lentur kampas rem yang telah dibuat untuk mengevaluasi kinerja material tersebut.
7. Pengujian Kekerasan: Pengujian untuk menilai tingkat kekerasan kampas rem dengan variasi filler cangkang kelapa sawit.
8. Pengujian Fisik: Pengujian fisik menyangkut beberapa hal seperti densitas, porositas dan kadar air.
9. Analisis Data: Proses analisis data hasil pengujian untuk menarik kesimpulan yang relevan dengan tujuan penelitian.
10. Pembahasan dan Pembuatan Laporan: Penulisan laporan skripsi dan mungkin juga naskah untuk publikasi jurnal ilmiah.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

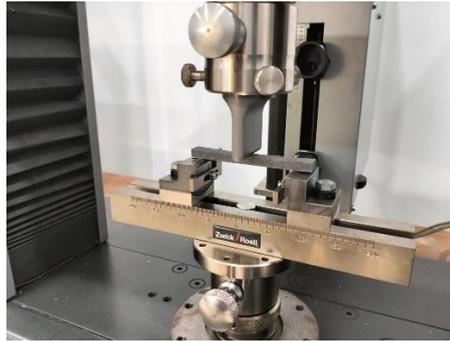
Pada bagian ini, disajikan daftar alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini. Alat dan bahan tersebut esensial dalam memfasilitasi pengumpulan data dan analisis yang diperlukan untuk mencapai tujuan penelitian ini.

3.2.1 Alat yang digunakan

Dibawah ini adalah alat-alat yang digunakan untuk melakukan penelitian skripsi ini.

1. Mesin Uji Lentur

Untuk mengukur kekuatan lentur kampas rem dengan variasi filler cangkang kelapa sawit.



Gambar 3.2 Mesin Uji Lentur

2. Mesin Uji Kekerasan

Digunakan untuk mengukur kekerasan permukaan kampas rem.



Gambar 3.3 Mesin Uji Kekerasan

3. Neraca Digital

Untuk menimbang bahan-bahan dengan presisi tinggi.



Gambar 3.4 Neraca Digital

4. Oven

Untuk mengeringkan dan memanaskan sampel sebelum dan sesudah pengujian.



Gambar 3.5 Oven

5. Mesh Ukuran 80

Untuk menyaring bahan dengan ukuran partikel agar mencapai 80 mesh.



Gambar 3.6 Mesh Ukuran 80

6. Penggaris

untuk mengukur dimensi fisik kampas rem.



Gambar 3.7 Penggaris

7. Cetakan Sampel

Digunakan untuk membentuk kampas rem sesuai dengan kebutuhan pengujian.



Gambar 3.8 Cetakan Sampel

8. Mesin *Cold Press*

Mesin cold press digunakan untuk proses pemadatan atau pembentukan material di bawah tekanan tinggi dan suhu rendah atau ruangan.



Gambar 3.9 Mesin Cold Press

9. *Mixer*

Mixer digunakan untuk mengaduk bahan komposit merk yang digunakan yaitu cosmos dengan kecepatan 100 Rpm- 400 Rpm.



Gambar 3.10 *Mixer*

3.2.2 **Bahan yang digunakan**

Dibawah ini adalah bahan-bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian skripsi ini.

1. Alumina Powder

Alumina sering pemodifikasi gesek dalam komposit untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan aus.



Gambar 3.11 Alumina Powder

2. Graphite Powder

Graphite digunakan sebagai bahan pelumas padat dalam komposit.



Gambar 3.12 Graphite Powder

3. ZnO

Zinc oxide digunakan sebagai filler, ZnO dapat meningkatkan kekuatan tarik dan sifat mekanis lainnya dari komposit.



Gambar 3.13 Zinc Oxide

4. Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang kelapa sawit digunakan sebagai filler komposit untuk meningkatkan kekuatan mekanis dan ketahanan terhadap dampak.



Gambar 3.14 Cangkang Kelapa Sawit

5. Serat Bambu

Serat bambu biasanya digunakan sebagai penguat dalam komposit untuk meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan geser komposit.



Gambar 3.15 Serat Bambu

6. Resin Epoksi

Resin epoksi digunakan sebagai matriks dalam komposit untuk mengikat bahan pengisi dan penguat bersama-sama.



Gambar 3.16 Resin Epoksi

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian digunakan untuk mengidentifikasi dan mengontrol variabel-variabel ini, sehingga penelitian dapat dilakukan dengan lebih sistematis untuk mengevaluasi pengaruh kandungan filler cangkang kelapa sawit terhadap kekuatan lentur dan kekerasan kampas rem non asbestos.

3.3.1 Variabel Bebas

Kandungan Filler Cangkang Kelapa Sawit, variabel ini merupakan variabel yang diubah atau dimanipulasi dalam penelitian. Penelitian ini melibatkan variasi kandungan filler cangkang kelapa sawit dalam pembuatan kampas rem.

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel ini adalah variabel yang terpengaruh akibat dari variabel bebasnya sebagai berikut.

1. Kekuatan Lentur Kampas Rem, variabel ini adalah hasil yang diamati atau diukur dalam penelitian. Kekuatan lentur kampas rem non asbestos diukur sebagai respons terhadap variasi kandungan filler cangkang kelapa sawit.
2. Kekerasan Kampas Rem, variabel lain yang diamati atau diukur dalam penelitian ini adalah kekerasan kampas rem non asbestos, yang juga menjadi respons terhadap variasi kandungan filler cangkang kelapa sawit.

3.3.3 Variabel Kontrol

Adapun variabel kontrol pada penelitian ini untuk meminimalkan pengaruh faktor luar yang bisa mengganggu atau mempengaruhi hasil eksperimen sebagai berikut.

1. Formulasi Bahan Lain, selain kandungan filler cangkang kelapa sawit, formulasi bahan lain seperti bahan dasar kampas rem, bahan perekat, dan bahan pengisi lainnya mungkin perlu diatur dan dikendalikan secara konsisten untuk memastikan bahwa perbedaan

dalam kandungan filler cangkang kelapa sawit adalah faktor yang dominan dalam mempengaruhi kekuatan lentur dan kekerasan kampas rem.

2. Prosedur Pembuatan Kampas Rem, prosedur pembuatan kampas rem juga perlu dikendalikan dengan cermat agar tidak ada variasi yang signifikan dalam proses pembuatan yang dapat memengaruhi hasil pengujian seperti tekanan pada saat *cold press*, suhu pada saat *curing*, dan lama waktu *curing*.

3.4 Prosedur Penelitian

Adapun langkah – langkah prosedur penelitian yang dilakukan dalam melakukan penelitian hingga pengujian sampel yang sudah dibuat

1. Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan.
2. Melakukan proses alkali pada serat bambu dengan komposisi NaOH sebesar 5% dalam waktu 2 jam.
3. Melakukan pengovenan cangkang kelapa sawit dengan suhu 200°C dalam waktu 1 jam.
4. Melakukan pengayakan serbuk cangkang kelapa sawit dengan mesh ukuran 80.
5. Mengaduk semua bahan komposit dengan komposisi yang sudah ditentukan dengan kecepatan 400 Rpm selama menit dan variasi komposisi filler dan penguat yaitu filler 20% penguat 5%, filler 15% penguat 10%, filler 5% penguat 20%. (komposisi matriks 50%, alumina 10%, ZnO 5%, graphite powder 10%).
6. Melakukan cold press dengan tekanan 40 bar dan waktu hold press selama 2 jam.
7. Memotong sampel sesuai dengan standar pengujian kelenturan dan kekerasan.
8. Melakukan pengujian kelenturan dan kekerasan.
9. Melakukan analisa hasil pengujian dengan perbandingan standar kampas rem komersial

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Pegujian Fisik

Komposisi komposit merujuk pada perincian berbagai bahan yang digabungkan untuk membentuk material komposit, ketika digabungkan, menghasilkan material dengan sifat yang lebih baik atau berbeda dari konstituen individunya. Variasi komposisi komposit pada tabel 4.1 untuk dilihat perbandingan dari tiap variasi. Dari ketiga variasi ini yang diambil yang terbaik.

Tabel 4.1 Variasi Komposisi Komposit

Bahan	Variasi 1 (V1)	Variasi 2 (V2)	Variasi 3 (V3)
Alumina Powder	10%	10%	10%
Graphite Powder	10%	10%	10%
ZnO	5%	5%	5%
Cangkang Sawit	20%	15%	5%
Serat Bambu	5%	10%	20%
Resin Epoksi	50%	50%	50%

Tabel 4.2 Data Massa Jenis Bahan

No	Bahan	Massa Jenis (g/cm^3)
1	Alumina Powder	5,61
2	Graphite Powder	0,641
3	ZnO	3,99
4	Cangkang Sawit	1,2
5	Serat Bambu	0,6
6	Resin Epoksi	1,17

Densitas atau massa jenis adalah ukuran massa suatu zat per satuan volume. Densitas menunjukkan berapa banyak massa yang terkandung dalam

ruang tertentu. Semakin tinggi densitas suatu benda, semakin banyak pula massa yang terkandung dalam setiap volumenya.

Pada pengujian data fisik setiap sampel dilakukan perhitungan massa sebelum dan sesudah direndam dengan air selama 24 jam. Nilai massa sebelum dan sesudah direndam digunakan untuk mencari nilai daya serap air. Setelah perendaman, sampel diangkat, dikeringkan permukaannya secara hati-hati untuk menghilangkan kelebihan air yang tidak terserap, dan kemudian ditimbang lagi untuk mendapatkan massa akhir atau massa basahnya. Perbedaan antara massa sebelum dan sesudah perendaman menunjukkan jumlah air yang diserap oleh material, yang dapat dihitung sebagai persentase dari massa awal. Nilai daya serap air ini pada umumnya nilai daya serap airnya rendah. Maka dari itu dilakukan pengujian daya serap air untuk mengetahui komposit kanvas rem yang dibuat sesuai dengan standar. Nilai massa didapat menggunakan timbangan digital. Pada tabel 4.3 dapat dilihat bahwa data massa setelah direndam mengalami pertambahan hal ini membuktikan bahwa terjadi serapan air pada sampel komposit.

Tabel 4.3 Massa Sebelum dan Sesudah direndam

Massa sebelum direndam (g)			
Variasi	V1	V2	V3
A	14,2	13,7	13,2
B	14,1	14	13,6
C	14,4	13,3	12,7
Rata – Rata	14,23	13,67	13,17
Massa Setelah direndam (g)			
Variasi	V1	V2	V3
A	14,4	14	13,5
B	14,2	14,2	13,94
C	14,6	13,48	13
Rata – Rata	14,40	13,89	13,48

Dari rumus 2.2 didapat nilai densitas teoritis untuk variasi komposisi 1, 2, dan 3 sebesar 1,607; 1,579; 1,522. Nilai densitas teoritis digunakan untuk

mencari nilai porositas. Untuk mencari nilai porositas juga membutuhkan nilai densitas aktual dari variasi komposisi 1,2, dan 3.

Tabel 4.4 Nilai Densitas Aktual dan Densitas Teoritis

Densitas Aktual (g/cm³)			
Variasi	V1	V2	V3
A	1.578	1.522	1.467
B	1.567	1.556	1.511
C	1.600	1.511	1.411
Rata - Rata	1.581	1.530	1.463
Standar Deviasi	0.014	0.019	0.041

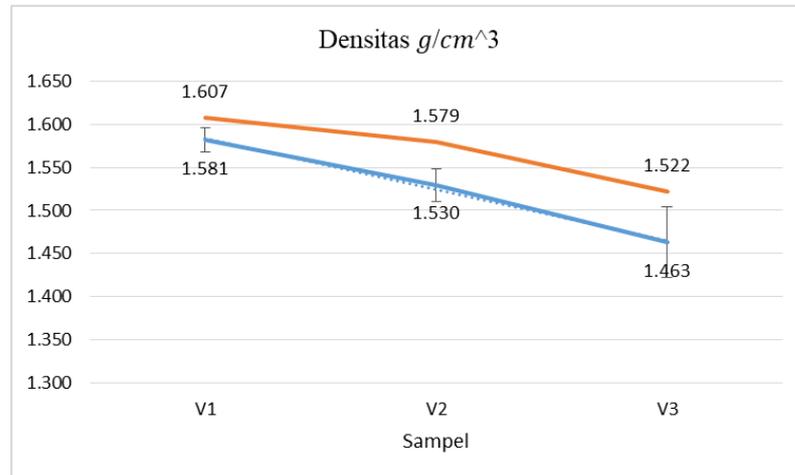
Densitas Teoritis (g/cm³)			
Variasi	V1	V2	V3
Variasi	1.607	1.579	1.522

Dari tabel 4.3 semakin kecil fraksi volume cangkang kelapa sawit, semakin kecil juga densitas komposit, mengindikasikan bahwa cangkang kelapa sawit memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan matriks yang digunakan dalam komposit. Dalam komposit, densitas keseluruhan adalah hasil dari kombinasi densitas masing-masing komponen berdasarkan fraksi volumenya.

Jika penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit (yang memiliki densitas lebih tinggi) menyebabkan penurunan densitas komposit, maka matriks memiliki densitas yang lebih rendah. Oleh karena itu, ketika volume cangkang kelapa sawit berkurang, proporsi volume matriks yang lebih besar (dengan densitas lebih rendah) mendominasi komposit, sehingga menurunkan densitas keseluruhan. Kesimpulannya, data ini menegaskan bahwa cangkang kelapa sawit memberikan kontribusi signifikan terhadap densitas komposit, dan pengurangan fraksi volumenya mengarah pada dominasi matriks dengan densitas lebih rendah, yang menurunkan densitas komposit secara keseluruhan.

Pada gambar 4.1 nilai densitas teoritis lebih tinggi dibanding nilai densitas aktualnya, hal ini bisa terjadi karena pada densitas aktual terdapat variabel-variabel yang mempengaruhi nilai densitas aktual seperti human error

atau ada kesalahan pada saat pembuatan sampel. Tetapi karena selisihnya kurang dari 1 masih dapat ditoleransi. Dan untuk densitas aktual maupun teoritis nilainya semakin menurun berbanding lurus dengan pengurangan fraksi volume cangkang kelapa sawit.



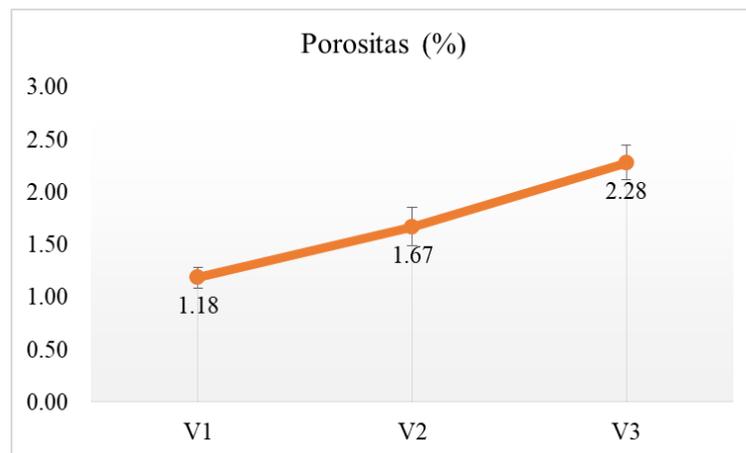
Gambar 4.1 Grafik Nilai Densitas Aktual dan Teoritis

Tabel 4.5 Nilai Porositas

Variasi	Porositas (%)		
	V1	V2	V3
A	1.31	1.65	2.23
B	1.06	1.46	2.50
C	1.18	1.90	2.10
Rata - Rata	1.18	1.67	2.28
Standar Deviasi	0.10	0.18	0.16

Analisis data porositas pada tabel 4.4 dan gambar 4.2 yang menunjukkan nilai-nilai 1.58%, 3.83%, dan 3.87% terhadap pengurangan fraksi volume cangkang kelapa sawit mengindikasikan bahwa penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit menyebabkan peningkatan porositas dalam material komposit. Pada porositas 1.58%, fraksi volume cangkang kelapa sawit masih cukup tinggi sehingga komposit memiliki struktur yang lebih padat dan sedikit ruang kosong. Namun, ketika fraksi volume cangkang kelapa sawit dikurangi, porositas meningkat menjadi 3.83% dan 3.87%. Peningkatan porositas ini menunjukkan bahwa ruang yang sebelumnya ditempati oleh cangkang kelapa sawit tidak sepenuhnya diisi oleh matriks, sehingga

menciptakan lebih banyak ruang kosong atau pori-pori dalam komposit. Peningkatan porositas ini dapat mengurangi kepadatan dan kekuatan material komposit, menjadikannya lebih rentan terhadap kerusakan mekanis. Pengurangan fraksi volume cangkang kelapa sawit secara langsung berkorelasi dengan peningkatan porositas, yang pada akhirnya mempengaruhi kualitas dan sifat mekanis material komposit.

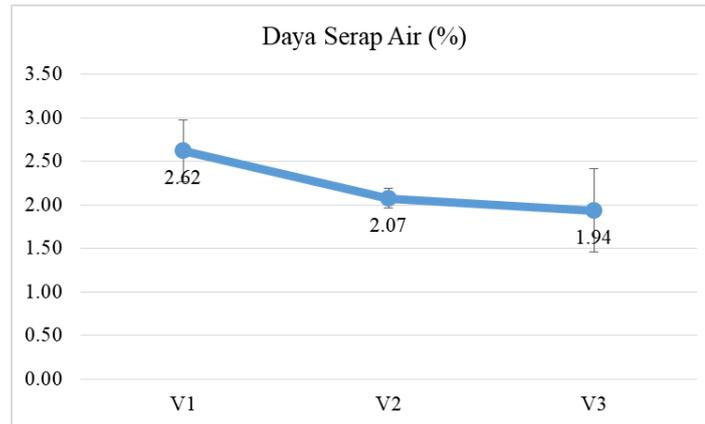


Gambar 4.2 Grafik Nilai Porositas

Adapun faktor faktor yang mempengaruhi nilai dari porositas distribusi partikel yang tidak merata dan agregasi cangkang kelapa sawit juga dapat menciptakan area dengan konsentrasi tinggi dan rendah, meningkatkan porositas. Teknik pencampuran dan kondisi proses seperti suhu, tekanan, dan kecepatan pencampuran juga mempengaruhi partikel cangkang dan matriks membentuk struktur. Ukuran dan bentuk partikel cangkang juga penting, karena partikel yang lebih besar atau bentuk yang tidak teratur dapat meningkatkan ruang kosong. Proses pengerasan dan penyusutan matriks selama pengeringan dapat menambah pori-pori dalam material.

Tabel 4.6 Nilai Daya Serap Air

Variasi	Daya Serap Air (%)		
	V1	V2	V3
A	2.96	2.19	1.97
B	2.13	1.92	2.50
C	2.78	2.11	1.34
Rata - Rata	2.62	2.07	1.94
Standar Deviasi	0.36	0.11	0.47



Gambar 4.3 Grafik Nilai Daya Serap Air

Pada Tabel 4.5 dan gambar 4.3 data daya serap air dengan nilai 1.169%, 1.986%, dan 2.378% terhadap nilai fraksi volume cangkang kelapa sawit yang semakin sedikit menunjukkan hubungan terbalik antara daya serap air dan fraksi volume. Ketika fraksi volume cangkang kelapa sawit dalam komposit berkurang, daya serap air justru meningkat. Hal ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor. Dengan fraksi volume yang lebih rendah, penguat komposit (misalnya serat bambu) lebih dominan, dan material ini mungkin memiliki sifat daya serap air yang lebih tinggi dibandingkan dengan cangkang kelapa sawit. Pengurangan fraksi volume cangkang kelapa sawit bisa meningkatkan porositas komposit secara keseluruhan, menciptakan lebih banyak ruang kosong dalam material yang memungkinkan penyerapan air lebih banyak. Akibatnya, meskipun jumlah material penyerap (cangkang kelapa sawit) berkurang, peningkatan porositas menyebabkan peningkatan daya serap air, sebagaimana tercermin dalam nilai 1.986% dan 2.378% dibandingkan dengan 1.169%.

Daya serap air terhadap nilai fraksi volume penguat serat bambu yang semakin besar menunjukkan bahwa daya serap air meningkat seiring dengan peningkatan fraksi volume serat bambu. Ketika fraksi volume serat bambu dalam komposit meningkat, lebih banyak serat bambu tersedia dalam material yang dapat menyerap air. Serat bambu, sebagai material alami, memiliki sifat higroskopis yang memungkinkan penyerapan air lebih besar dibandingkan dengan matriks polimer. Oleh karena itu, peningkatan fraksi volume serat

bambu akan meningkatkan area permukaan yang tersedia untuk menyerap air, yang pada gilirannya meningkatkan daya serap air komposit secara keseluruhan.

Data menunjukkan bahwa pada nilai fraksi volume serat bambu yang lebih tinggi, daya serap air komposit meningkat dari 1.169% ke 1.986% dan akhirnya ke 2.378%. Ini menunjukkan hubungan langsung antara peningkatan fraksi volume serat bambu dan peningkatan daya serap air. Artinya, semakin besar proporsi serat bambu dalam komposit, semakin tinggi kemampuan material untuk menyerap air, yang kemungkinan besar disebabkan oleh sifat alami serat bambu yang cenderung menyerap dan menahan air.

4.2 Pengujian Kelenturan

Pengujian kelenturan adalah metode yang digunakan untuk menilai kemampuan suatu material menahan deformasi atau lenturan tanpa mengalami kerusakan. Dalam pengujian ini, sampel material disiapkan dalam bentuk batang dengan panjang 80 mm x 10 mm x 6 mm ditempatkan di atas dua tumpuan dalam mesin uji kelenturan. Beban kemudian diterapkan di tengah sampel melalui penekan atau lengan mekanis, seperti pada uji lentur tiga titik. Selama pengujian, beban yang diterapkan dan defleksi atau perubahan bentuk sampel diukur untuk menghitung sifat mekanik seperti modulus elastisitas, tegangan lentur, dan titik patah material. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan untuk mengurangi pengaruh kesalahan acak yang mungkin terjadi selama pengukuran atau penanganan sampel.



Gambar 4.4 Uji Kelenturan 3 Point Bending

Tabel 4.7 Data Sampel Variasi 1

Legend	Force	E_H	s_{fM}	e_B	s_{fB}	e_f
	N	GPa	MPa	%	MPa	%
V1P1	81.505	2.058	15.541	0.875	14.296	0.875
V1P2	95.171	2.431	19.601	0.801	19.584	0.801
V1P3	85.393	2.541	18.583	0.763	11.771	0.763
Rata – Rata	87.356	2.343	17.908	0.813	15.217	0.813

Tabel 4.8 Data Sampel Variasi 2

Legend	Force	E_H	s_{fM}	e_B	s_{fB}	e_f
	N	GPa	MPa	%	MPa	%
V2P1	103.699	3.064	23.306	0.938	22.725	0.938
V2P2	88.294	2.694	19.175	0.989	18.660	0.989
V2P3	86.082	2.696	18.789	0.930	16.151	0.930
Rata – Rata	92.691	2.818	20.423	0.952	19.179	0.952

Tabel 4.9 Data Sampel Variasi 3

Legend	Force	E_H	s_{fM}	e_B	s_{fB}	e_f
	N	GPa	MPa	%	MPa	%
V3P1	113.692	3.148	32.737	1.575	24.243	1.575
V3P2	99.275	3.407	27.322	1.109	23.997	1.109
V3P3	106.273	3.147	28.128	1.273	24.294	1.273
Rata – Rata	106.413	3.234	29.396	1.319	24.178	1.319

Tabel 4.10 Data Nilai Rata-Rata dari Tiap Sampel

Variation	Force	E_H	s_{fM}	e_B	s_{fB}	e_f
	N	GPa	MPa	%	MPa	%
V1 (20%)	87.356	2343.093	17.908	0.813	15.217	0.813
V2 (15%)	92.691	2817.852	20.423	0.952	19.179	0.952
V3 (5%)	106.413	3234.118	29.396	1.319	24.178	1.319

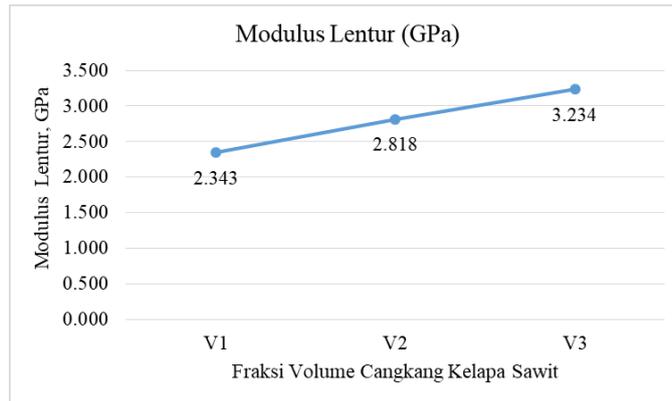
Pengujian mekanik dilakukan sebanyak tiga kali untuk memastikan keakuratan dan keandalan hasil yang diperoleh. Ulangan pengujian ini membantu mengurangi variabilitas data yang mungkin timbul akibat faktor-

faktor yang tidak dapat sepenuhnya dikendalikan, seperti ketidakseragaman material, kondisi lingkungan, dan potensi kesalahan alat uji. Dengan melakukan pengujian tiga kali, hasil yang diperoleh dapat dibandingkan dan diverifikasi, memungkinkan identifikasi anomali atau hasil yang tidak konsisten. Selain itu, rata-rata dari tiga pengujian memberikan gambaran yang lebih representatif tentang sifat mekanik material, meningkatkan validitas data dan kesimpulan yang diambil. Pendekatan ini juga membantu memastikan bahwa hasil pengujian tidak dipengaruhi oleh kesalahan tunggal atau kebetulan, sehingga memberikan hasil yang lebih andal dan akurat.

Faktor yang mempengaruhi adanya perbedaan data pada pengujian besar gaya kelenturan di atas dapat disebabkan oleh beberapa hal. Faktor teknik dan metode persiapan sampel juga memainkan peran penting, variasi kecil dalam pemotongan, penanganan, atau pemasangan sampel bisa menyebabkan perbedaan dalam data. Ketidaktersempurnaan permukaan sampel, seperti goresan atau retak mikro yang tidak terlihat, juga dapat mempengaruhi hasil pengujian dengan memperlemah material di area tertentu. Variabilitas mikrostruktur material merupakan salah satu faktor penting, di mana perbedaan dalam orientasi serat, kekosongan internal, atau inklusi dapat menyebabkan perbedaan dalam respons terhadap beban.

4.2.1 Perbandingan Modulus Kelenturan dengan Fraksi Volume

Grafik pada gambar 4.5 menunjukkan hubungan antara fraksi volume cangkang kelapa sawit dengan modulus lentur (EH) dalam satuan GPa. Data menunjukkan bahwa seiring dengan penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit, modulus lentur meningkat. Pada fraksi volume 20% (V1), modulus lentur tercatat sebesar 2,343 GPa. Ketika fraksi volume diturunkan menjadi 15% (V2), modulus lentur meningkat menjadi 2,818 GPa. Penurunan lebih lanjut fraksi volume cangkang kelapa sawit menjadi 5% (V3) menghasilkan peningkatan modulus lentur menjadi 3,234 GPa. Dari data ini, dapat disimpulkan bahwa penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit berkorelasi dengan peningkatan modulus lentur material.



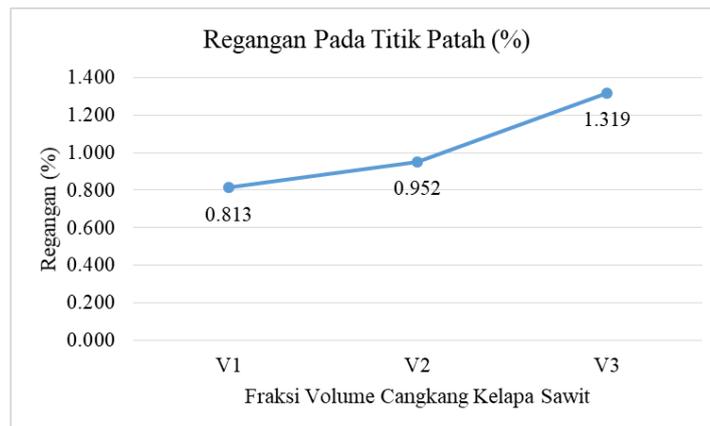
Gambar 4.5 Grafik modulus lentur Terhadap Fraksi Volume

Penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit yang meningkatkan nilai modulus lentur dapat dijelaskan oleh beberapa faktor. Dengan fraksi volume yang lebih rendah, partikel cangkang kelapa sawit cenderung terdistribusi lebih merata dalam matriks komposit, mengurangi konsentrasi tegangan dan cacat yang dapat menurunkan kekuatan lentur. Pada fraksi volume yang tinggi, partikel cangkang kelapa sawit lebih cenderung mengalami aglomerasi atau penggumpalan, yang menciptakan titik lemah dalam material komposit dan mengurangi kekuatan lentur. Pada fraksi volume yang lebih rendah, risiko aglomerasi berkurang, sehingga meningkatkan modulus lentur. Selain itu, dengan jumlah partikel yang lebih sedikit, matriks komposit dapat memberikan dukungan struktural yang lebih baik, meningkatkan kemampuan material untuk menahan beban dan meningkatkan modulus lentur secara keseluruhan. Kombinasi faktor-faktor ini menjelaskan mengapa penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit berkorelasi dengan peningkatan nilai modulus lentur.

4.2.2 Perbandingan Regangan Pada Titik Patah dengan Fraksi Volume

Regangan pada gambar 4.6 titik patah terhadap fraksi volume cangkang kelapa sawit. Dengan fraksi volume cangkang kelapa sawit sebesar 20%, regangan pada titik patah tercatat sebesar 0.813%. Ketika fraksi volume cangkang kelapa sawit berkurang menjadi 15%, regangan meningkat menjadi 0.92%. Lebih lanjut, saat fraksi volume cangkang

kelapa sawit mencapai 5%, regangan pada titik patah mencapai nilai tertinggi yaitu 1.319%. Dari data ini dapat disimpulkan bahwa semakin kecil fraksi volume cangkang kelapa sawit, semakin tinggi regangan yang terjadi pada titik patah. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit dalam material tersebut berkontribusi terhadap peningkatan kemampuan material untuk menahan deformasi sebelum patah.



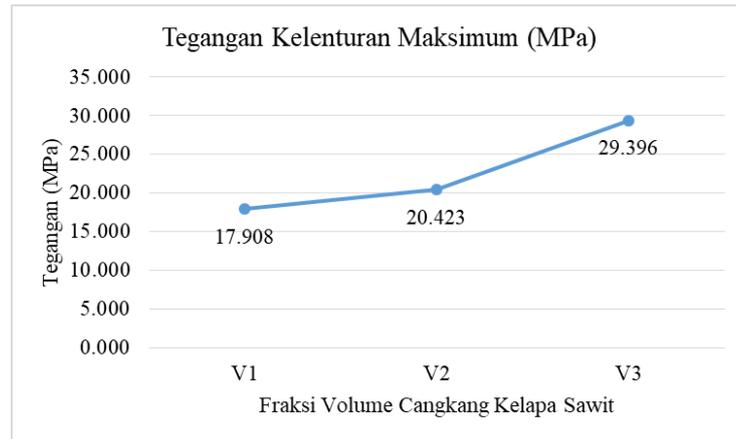
Gambar 4.6 Grafik Regangan Terhadap Fraksi Volume

Peningkatan nilai regangan pada titik patah seiring dengan penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit dalam material dapat dijelaskan oleh beberapa faktor. Pengurangan fraksi volume cangkang kelapa sawit menyebabkan penurunan kekakuan material komposit. Cangkang kelapa sawit, yang memiliki kekakuan dan kekuatan tinggi, bertindak sebagai penguat dalam material komposit. Ketika fraksi volume cangkang berkurang, material menjadi lebih lentur dan mampu menahan deformasi yang lebih besar sebelum patah. Selain itu, dengan jumlah cangkang kelapa sawit yang lebih sedikit, distribusi tegangan dalam material menjadi lebih merata, memungkinkan material untuk menahan regangan lebih tinggi sebelum mencapai titik patah. Kombinasi dari penurunan kekakuan dan distribusi tegangan yang lebih baik berkontribusi terhadap peningkatan nilai regangan pada titik patah saat fraksi volume cangkang kelapa sawit berkurang.

4.2.3 Perbandingan Tegangan Lentur Maksimum dengan Fraksi Volume

Berdasarkan grafik pada gambar 4.7 yang menunjukkan hubungan antara tegangan kelenturan maksimum dan fraksi volume cangkang kelapa sawit, terlihat bahwa tegangan kelenturan maksimum meningkat seiring dengan penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit. Pada fraksi volume 20%, tegangan kelenturan maksimum tercatat sebesar 17,908 MPa. Ketika fraksi volume berkurang menjadi 15%, tegangan kelenturan maksimum naik menjadi 20,423 MPa. Lebih lanjut, pada fraksi volume 5%, tegangan kelenturan maksimum mencapai nilai tertinggi sebesar 29,396 MPa. Data ini menunjukkan bahwa dengan semakin sedikitnya cangkang kelapa sawit dalam material komposit, kemampuan material untuk menahan tegangan kelenturan meningkat secara signifikan. Hal ini mungkin disebabkan oleh peningkatan homogenitas dan distribusi tegangan yang lebih merata dalam material ketika fraksi volume cangkang kelapa sawit berkurang, sehingga material dapat menahan beban lebih besar sebelum mengalami kelenturan.

Peningkatan nilai tegangan kelenturan seiring dengan penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit dalam material komposit terjadi oleh beberapa faktor. Material komposit dengan fraksi volume cangkang kelapa sawit yang lebih kecil menjadi lebih homogen, yang berarti distribusi tegangan dalam material lebih merata dan tidak terkonsentrasi pada titik-titik tertentu. Hal ini mengurangi kemungkinan terjadinya titik lemah yang dapat menyebabkan kegagalan material. Selain itu, dengan berkurangnya fraksi volume cangkang kelapa sawit, ketidakteraturan dalam struktur material juga berkurang, membuat material lebih kuat dan mampu menahan tegangan yang lebih besar sebelum mengalami kelenturan. Interaksi antara matriks (material dasar) dan filler (cangkang kelapa sawit) juga lebih optimal pada fraksi volume yang lebih rendah, meningkatkan sifat mekanik keseluruhan material. Dengan demikian, material komposit dengan fraksi volume cangkang kelapa sawit yang lebih rendah menunjukkan peningkatan kemampuan untuk menahan tegangan kelenturan maksimum.



Gambar 4.7 Grafik Tegangan Lentur Maks Terhadap Fraksi Volume

4.2.4 Perbandingan Tegangan Pada Titik Patah dengan Fraksi Volume

Berdasarkan gambar 4.8 grafik yang menunjukkan hubungan antara tegangan lentur pada titik patah dan fraksi volume cangkang kelapa sawit, terlihat bahwa tegangan lentur pada titik patah meningkat seiring dengan penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit. Pada fraksi volume 20%, tegangan lentur pada titik patah tercatat sebesar 15,217 MPa. Ketika fraksi volume berkurang menjadi 15%, tegangan lentur pada titik patah naik menjadi 19,179 MPa. Lebih lanjut, pada fraksi volume 5%, tegangan lentur pada titik patah mencapai nilai tertinggi sebesar 24,178 MPa. Data ini menunjukkan bahwa dengan semakin sedikitnya cangkang kelapa sawit dalam material komposit, kemampuan material untuk menahan tegangan lentur pada titik patah meningkat secara signifikan.

Peningkatan nilai tegangan lentur pada titik patah seiring dengan penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit dalam material komposit dapat dijelaskan oleh beberapa faktor kunci. Pengurangan fraksi volume cangkang kelapa sawit juga mengurangi jumlah titik lemah struktural yang dapat terbentuk akibat ketidakaturan ukuran dan bentuk cangkang, sehingga material menjadi lebih kuat. Lebih lanjut, material komposit dengan fraksi volume cangkang kelapa sawit yang lebih rendah mungkin menunjukkan peningkatan duktilitas, atau kemampuan untuk mengalami deformasi plastis sebelum patah, yang

memungkinkan material untuk menyerap lebih banyak energi sebelum patah. Kombinasi dari faktor-faktor ini berkontribusi terhadap peningkatan signifikan dalam tegangan lentur pada titik patah saat fraksi volume cangkang kelapa sawit berkurang.



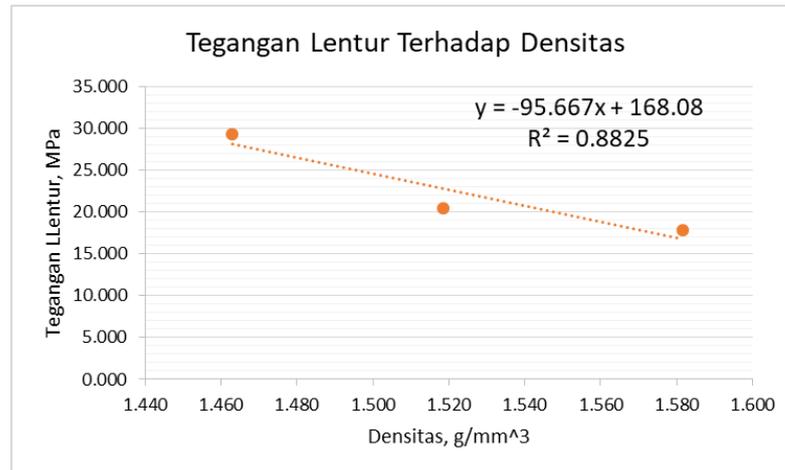
Gambar 4.8 Grafik Tegangan Lentur pada Titik Patah Terhadap Fraksi Volume

4.3 Hubungan Nilai Densitas Terhadap Nilai Kekuatan Lentur dan Nilai Kekerasan

Dari data pada grafik 4.9, terlihat bahwa terdapat hubungan negatif antara nilai densitas dan kekuatan lentur. Dengan penurunan densitas dari 1.581 g/cm³ ke 1.519 g/cm³, dan kemudian ke 1.463 g/cm³, Nilai Kelenturan didapat sebesar 17.908 MPa, 20.423 MPa, dan 29.396 MPa.. Hal ini menunjukkan bahwa material dengan densitas yang lebih rendah cenderung memiliki kekuatan lentur yang lebih tinggi. Dimana material dengan densitas lebih rendah mungkin mengandung komponen yang lebih ringan namun lebih kuat dalam hal kekuatan lentur dalam hal ini yaitu bambu. Bambu memiliki sifat mekanik yang baik, termasuk kekuatan lentur yang tinggi, sehingga peningkatan fraksi volume bambu akan meningkatkan kekuatan lentur keseluruhan material.

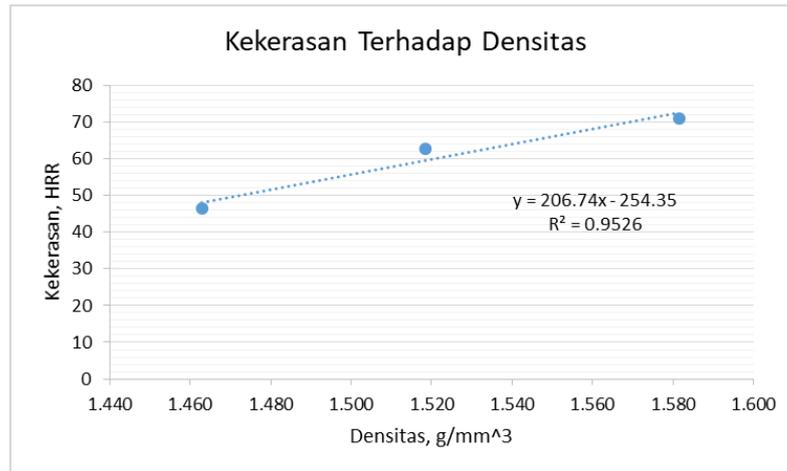
Dengan bertambahnya fraksi volume bambu, meskipun densitas material komposit menurun karena bambu memiliki densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan filler material, kekuatan lentur meningkat secara

signifikan. Selain itu, struktur mikro yang berbeda, seperti distribusi penguat yang lebih baik, juga dapat berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan lentur. Distribusi beban yang lebih merata atau mekanisme penguatan yang lebih efektif pada material dengan densitas rendah bisa menjadi faktor tambahan yang meningkatkan kekuatan lentur.



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Kekuatan Lentur dan Densitas

Pada grafik 4.10 dapat dilihat bahwa nilai kekerasan berbanding lurus dengan penurunan densitas jika pada kelenturan dipengaruhi oleh bambu sebagai penguat. Sedangkan kekerasan dipengaruhi oleh filler cangkang kelapa sawit semakin besar fraksi volumenya maka nilai kekerasannya semakin besar. Ini mendukung hipotesis bahwa filler cangkang kelapa sawit dapat memperkuat material komposit, meskipun efeknya terhadap densitas tidak sebesar efeknya terhadap kekerasan. Cangkang kelapa sawit berpengaruh terhadap kekerasan material komposit karena komposisi yang secara alami keras dan kaku, terdiri dari lignin dan selulosa. Lignin adalah komponen struktural yang memberikan kekuatan dan kekakuan pada dinding sel tanaman, sehingga ketika digunakan sebagai filler dalam material komposit, ia membantu meningkatkan kekerasan material tersebut.



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Kekerasan dan Densitas

4.4 Pengujian Kekerasan

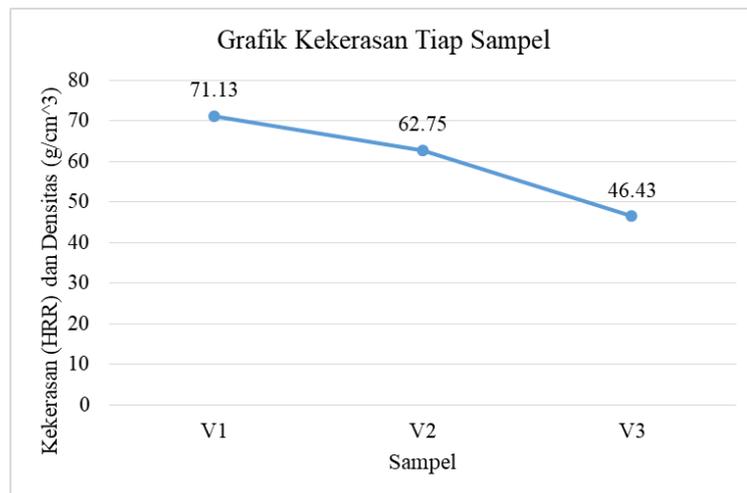
Pengujian kekerasan dengan metode *Hardness Rockwell R scale* merupakan teknik yang digunakan untuk menentukan kekerasan material dengan cepat dan akurat, terutama untuk material yang lebih lunak. Proses ini dimulai dengan persiapan sampel, di mana permukaan material harus dipastikan bersih, halus, dan bebas dari kontaminan untuk menghasilkan hasil yang konsisten. Selanjutnya, mesin uji Rockwell diatur pada skala R, yang menggunakan indentor bola baja berdiameter 1/2 inci dan beban total sebesar 60 kgf. Proses pengujian dimulai dengan menekan indentor ke permukaan material menggunakan beban minor (biasanya 10 kgf) untuk menghilangkan ketidakrataan permukaan dan memastikan kontak yang baik. Setelah itu, beban utama ditambahkan hingga mencapai beban total 60 kgf, dan indentor ditahan selama beberapa detik untuk memungkinkan deformasi material. Nilai kekerasan kemudian dibaca dari skala Rockwell pada mesin uji, yang menunjukkan kedalaman indentasi yang dibuat oleh indentor. Pengujian ini sering dilakukan beberapa kali pada sampel yang sama untuk mendapatkan nilai rata-rata, memastikan akurasi dan keandalan hasil.

Dari grafik pada gambar 4.11, dapat dilihat bahwa nilai kekerasan menurun seiring dengan penurunan fraksi volume. Pada fraksi volume 20%, nilai kekerasan mencapai 71,13 HRR, yang kemudian menurun menjadi 62,75 HRR pada fraksi volume 15%, dan semakin menurun menjadi 46,43 HRR pada

fraksi volume 5%. Hal ini menunjukkan adanya korelasi negatif antara fraksi volume dan nilai kekerasan, dimana semakin rendah fraksi volume, maka semakin rendah pula nilai kekerasan yang dihasilkan.



Gambar 4.11 Pengujian Kekerasan



Gambar 4.12 Pengujian Kekerasan

Penurunan nilai kekerasan (HRR) seiring dengan penurunan fraksi volume dapat dijelaskan oleh beberapa faktor yang berkaitan dengan struktur mikro dan sifat material. Fraksi volume yang lebih tinggi biasanya mengandung lebih banyak komponen keras yang meningkatkan kekerasan material. Ketika fraksi volume menurun, jumlah komponen keras berkurang, sehingga nilai kekerasan juga menurun. Penurunan fraksi volume dapat menyebabkan perubahan dalam struktur mikro material, seperti peningkatan jumlah pori atau defek, yang mengurangi kekerasan. Fraksi volume sering kali terkait dengan komposisi material; jika fraksi volume yang menurun berarti

pengurangan komponen keras, kekerasan material akan berkurang. Selain itu, distribusi beban dalam material komposit dapat menjadi tidak merata dengan fraksi volume yang lebih rendah, sehingga mengurangi kekerasan. Interaksi antara komponen dalam material juga berkontribusi terhadap kekerasan, dan dengan fraksi volume yang lebih rendah, interaksi ini berkurang. Secara keseluruhan, penurunan fraksi volume mengurangi kontribusi komponen keras dalam material, yang menyebabkan penurunan nilai kekerasan.

4.5 Perbandingan Nilai Kelenturan dengan Penelitian yang Sudah Ada

Membandingkan hasil nilai kelenturan dengan penelitian yang sudah ada dilakukan untuk memastikan bahwa metode dan hasil konsisten dengan penelitian yang telah diakui. Ini membantu memastikan keakuratan dan validitas hasil penelitian. Perbandingan ini membantu mengidentifikasi di mana hasil penelitian lebih baik atau lebih buruk.

Tabel 4.11 Nilai Kelenturan Pada Penelitian yang Sudah Ada

No	Nama Peneliti	Fraksi Volume	Hasil Uji Lentur
1	Arianto, 2022	45 % <i>fly ash</i> + 5 % serbuk besi + 50 % <i>epoxy</i> .	27,86 MPa
2	Prasetyo, 2015	3 : 2 antara Abu B3 + Resin <i>Epoxy</i>	15,85 MPa
3	Adrian, 2019	serat TKKS sebesar 20%, <i>resin phenol</i> 30%, alumina 25%, <i>iron powder</i> 15% dan magnesium oksida 10%.	33,011 MPa

Dari ketiga penelitian yang sudah dilakukan pada tabel 4.11 nilai kelenturan yang didapat memiliki *range* antara 15 MPa – 37 MPa. Jika dibandingkan dengan data nilai kelenturan yang didapat oleh peneliti, *range* nilainya 17 MPa – 30 MPa pada 3 perbandingan fraksi volume filler cangkang kelapa sawit 20% didapat sebesar 17,908 MPa, pada 15% didapat 20,423 MPa, dan pada 5% yaitu sebesar 29,396 MPa. Hasil penelitian ini menunjukkan

bahwa nilai kelenturan yang didapatkan berada dalam rentang yang sejalan dengan penelitian sebelumnya, namun dengan beberapa perbedaan dalam detailnya. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nilai kelenturan berkisar antara 15 MPa hingga 37 MPa. Penelitian saat ini menghasilkan nilai kelenturan yang berkisar antara 17 MPa hingga 30 MPa, yang masih berada dalam rentang tersebut, namun lebih sempit.

4.6 Perbandingan Nilai Kekerasan dengan Penelitian yang Sudah Ada

Perbandingan ini memungkinkan untuk menentukan posisi material atau metode pengolahan terhadap yang sudah ada. Peneliti bisa mengetahui apakah material yang dibuat lebih keras, lebih lembut, atau memiliki sifat mekanis yang sebanding dengan material penelitian yang sudah ada. Perbandingan nilai kekerasan dilakukan untuk mengevaluasi dan membandingkan nilai kekerasan yang didapat peneliti dengan nilai kekerasan pada penelitian yang sudah ada. Kekerasan adalah ukuran resistensi suatu material terhadap deformasi permanen, dan ini bisa diukur menggunakan berbagai metode dan skala. Pada penelitian ini digunakan metode *Hardness Rockwell R Scale*.

Tabel 4.12 Nilai Kekerasan Pada Penelitian yang Sudah Ada

No	Nama Peneliti	Fraksi Volume	Hasil Uji Kekerasan
1	Fara, 2022	Serat kulit pinang divariasi dari 2% sampai dengan 14% dengan penambahan setiap 3%.	37-77 HRB
2	Prasetyo, 2019	7 : 3 antara abu dengan resin epoxy	112,14 HV
3	Multazam, 2012	Honda Genuin Parts	95,8 HRF
		Aspira	64 HRF
		Komachi	52,2 HRF

Pengujian kekerasan yang dilakukan peneliti perbandingan nilai rata-rata kekerasan material komposit dengan tiga variasi fraksi volume filler yang berbeda, V1 (20%), V2 (15%), dan V3 (5%). Nilai rata-rata kekerasan untuk variasi V1 (20%) adalah 71,13 HRR, yang merupakan nilai tertinggi di antara ketiga variasi. Untuk variasi V2 (15%), nilai rata-rata kekerasan turun menjadi 62,75 HRR. Sedangkan untuk variasi V3 (5%), nilai rata-rata kekerasan lebih rendah lagi, yaitu 46,43 HRR. Dari data tersebut jika dibandingkan dengan nilai kekerasan kampas rem komersil pada tabel 4.12, hanya sampel V1 dan sampel V2 yang memenuhi karena range nilai kekeras kampas rem komersil sebesar 52 HRF-96 HRF

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat dari penelitian ini dalam menguji sampel komposit kanvas rem yang sudah dibuat sebagai berikut.

1. Jika nilai fraksi volume cangkang kelapa sawit berkurang, nilai kelenturan material komposit meningkat. Perbandingan fraksi volume filler cangkang kelapa sawit 20% didapat sebesar 17,908 MPa, pada 15% didapat 20,423 MPa, dan pada 5% yaitu sebesar 29,396 MPa. Nilai terbesar ada pada sampel V3 karena fraksi volume bambu yang semakin besar meningkatkan sifat kelenturan yang besar. Bambu memiliki sifat mekanik yang baik, termasuk kekuatan lentur yang tinggi. Pada kekerasan nilai rata-rata kekerasan untuk variasi V1 (20%) adalah 71,13 HRR, yang merupakan nilai tertinggi di antara ketiga variasi. Untuk variasi V2 (15%), nilai rata-rata kekerasan turun menjadi 62,75 HRR. Sedangkan untuk variasi V3 (5%), nilai rata-rata kekerasan lebih rendah lagi, yaitu 46,43 HRR. Dibandingkan dengan nilai kekerasan kanvas rem komersil, hanya sampel V1 dan sampel V2 yang memenuhi karena range nilai kekerasan kanvas rem komersil sebesar 52 HRF-96 HRF.
2. Beberapa faktor mempengaruhi hasil pengaruh proporsi filler cangkang kelapa sawit terhadap sifat mekanik, Jumlah filler relatif terhadap matriks mempengaruhi kelenturan dan densitas, Porositas tinggi dalam komposit biasanya mengurangi kekuatan mekanik karena adanya ruang kosong yang dapat bertindak sebagai titik lemah. Cangkang kelapa sawit berpengaruh terhadap kekerasan material komposit karena komposisi yang secara alami keras dan kaku, terdiri dari lignin dan selulosa.

5.2 Saran

Adapun saran dari peneliti pada laporan skripsi ini untuk penelitian selanjutnya, dapat dilihat sebagai berikut.

1. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya cetakan dibuat sesuai dengan kebutuhan pengujian agar tidak banyak human error karena pemotongan sampel yang dilakukan peneliti.
2. Sebaiknya eksplorasi berbagai teknik pencampuran (manual, mekanis, ultrasonik) untuk mencapai distribusi filler yang homogen.
3. Untuk kedepannya sebaiknya melakukan uji kinerja jangka panjang untuk mengevaluasi ketahanan material komposit terhadap keausan, keretakan, dan faktor lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, R., dan Hairiyah, N. (2020). Pembuatan Komposit Dari Limbah Plastik Polyethylene Terephthalate (Pet) Berbasis Serat Alam Daun Pandan Laut. *J. Agroindustri*, 10(2), 107-117.
- Bagaskara, A., Widodo, S., dan Pramono, C. (2019). Pengaruh Serbuk Kulit Biji Mangga Sebagai Penguat Komposit Kampas Rem Terhadap Sifat Mekanis. *Jurnal Teknik Mesin MERC (Mechanical Engineering Research Collection)*, 2(2).
- Fachry, H., Afrah, B. D., dan Michael, M. (2011). Pengaruh Penambahan Batubara Lignit Terhadap Kualitas Briket Bioarang Dari Campuran Tandan Kosong Dan Cangkang Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Kimia*, 17(6).
- Fahmi, H. (2015). Analisa kekerasan dan fracture toughness alumina diperkuat serbuk aluminium dan tembaga. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(1), 42-48.
- Ginting, R. A. P. (2019). Pengaruh Komposisi Pengisi Serta Tekanan Hot Press Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Poliester Berpengisi Nano Partikel Zinc Oxide (Zno). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 8(1), 32-36.
- Hao, J., Yi, X., Zong, G., Song, Y., Wang, W., Cheng, H., dan Wang, G. (2021). Fabrication of long bamboo fiber-reinforced thermoplastic composite by extrusion and improvement of its properties. *Industrial Crops and Products*, 173, 114120.
- Institution, B. S. (2019). *Plastics - Determination of flexural properties*. BSI Standard Limited 2019.
- Kristiyanto, K., dan Wijianto, S. (2016). *Analisis komposit dengan penguat serat nanas 40% dan serbuk kayu sengon 60% pada fraksi volume 40%, 50%, 60% bermatrik resin polyester untuk panel akustik Universitas Muhammadiyah Surakarta*].
- Lestari, A., dan Mora, M. (2018). Pengaruh Variasi Massa Batang Pisang dan Cangkang Kelapa Sawit terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Papan Partikel Menggunakan Perak Resin Epoksi. *Jurnal Fisika Unand*, 7(2), 124-129.

- Manuputty, M., dan Berhиту, P. T. (2010). Pemanfaatan material bambu sebagai alternatif bahan komposit pembuatan kulit kapal pengganti material kayu untuk armada kapal rakyat yang beroperasi di daerah Maluku. *Jurnal teknologi*, 7(2), 788-794.
- Matasina, M., Boimau, K., dan Jasron, J. U. (2014). Pengaruh perendaman terhadap sifat mekanik komposit polyester berpenguat serat buah lontar. *LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana*, 1(2), 47-58.
- Materials, A. S. f. T. a. (2004). *Standard Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials*.
- Murugan, S. S. (2020). Mechanical properties of materials: definition, testing and application. *Int. J. Mod. Stud. Mech. Eng*, 6(2), 28-38.
- Perdana, M. (2019). Pengaruh Fraksi Volume Komposit Serbuk Cangkang Kelapa Sawit/Epoksi Terhadap Kekerasan Dan Laju Keausan. *Jurnal Ipteks Terapan*, 13(1), 45-54.
- Perdana, M. (2021). Pengaruh Kecepatan Gesek dan Ukuran Serbuk Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Laju Keausan Material Komposit Alam. *TRAKSI*, 21(1), 1-14.
- Salawati, L. (2016). Penyakit Akibat Kerja oleh Karena Paparan Serat Asbes. *Jurnal Kedokteran Syiah Kuala*, 15(1), 44-50.
- Setiadi, B., dan Sulardjaka, S. (2014). Kajian Sifat Fisis Dan Mekanis Material Komposit Dengan Matrik Alsimg Diperkuat Dengan Serbuk Sic. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(4), 480-487.
- Simanjorang, B. P., Abda, S., Isranuri, I., Syam, B., dan Sabri, M. (2017). Pembuatan dan analisa sifat mekanik komposit dengan penguat abu (fly ash) cangkang sawit untuk bahan kampas rem sepeda motor. *Dinamis*, 5(1).
- Sukamto, S. (2012). Analisis Keausan Kampas Rem Pada Sepeda Motor. *JURNAL TEKNIK*, 2(1).
- Sumiyanto, S., Abdunnaser, A., dan Fajri, A. N. (2019). Analisa Pengujian Gesek, Aus Dan Lentur Pada Kampas Rem Tromol Sepeda Motor. *Bina Teknika*, 15(1), 49-59.
- Syawaluddin, S., dan Setiawan, I. A. (2008). Perbandingan Pengujian Mekanis Terhadap Kampas Rem Asbes Dan Non-Asbestos Dengan Melakukan Uji

Komposisi, Uji Kekerasan, Dan Uji Keausan. *Sintek Jurnal: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 2(2).

Upara, N., dan Laksono, T. B. (2019). Analisis Komparasi Kualitas Produk Kampas Rem Cakram Antara Original dengan After Market. *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa dan Inovasi*, 26-33.

Wijayanti, H. (2012). *Pengaruh Penambahan Bahan Serbuk Tembaga dan Grafit terhadap Sifat Mekanik Unsaturated Polyester Universitas Indonesia*].

Yudhanto, F., Dhewanto, S., dan Yakti, S. (2019). Karakterisasi Bahan Kampas Rem Sepeda Motor Dari Komposit Serbuk Kayu Jati. *Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia*.

Yudistira, I. (2021). *Analisis Pengaruh Variasi Waktu Perlakuan Alkali Terhadap Kekuatan Impact Komposit Polyester Yang Diperkuat Serat Bambu Universitas Pendidikan Ganesha*].

LAMPIRAN

Lampiran A. Perhitungan

1. Perhitungan Volume Sampel

$$\text{Volume Fisis} = P \times L \times T$$

$$\text{Volume Fisis} = 10 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 1.5 \text{ cm}$$

$$\text{Volume Fisis} = 75 \text{ cm}^3$$

Dik :

P = Panjang

L = Lebar

T = Tebal

2. Perhitungan Fraksi Volume

$$\text{massa} = \rho \times v \times \text{fraksi volume}$$

$$\text{massa} = 1.17 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 75 \text{ cm}^3 \times 0.2$$

$$\text{massa} = 17.55 \text{ g}$$

Dik :

ρ = Massa Jenis Bahan

v = Volume

3. Perhitungan Densitas

a. Densitas Aktual

$$\rho_m = \frac{m}{v}$$

$$\rho_m = \frac{14,2}{9}$$

$$\rho_m = 1,78 \text{ g/cm}^3$$

b. Densitas Teoritis

$$\rho_{th} = \rho_{al} \cdot V_{al} + \rho_{gr} \cdot V_{gr} + \rho_{ZnO} \cdot V_{ZnO} + \rho_C \cdot V_C + \rho_B \cdot V_B + \rho_R \cdot V_R$$

$$\rho_{th} = (5,61 \times 0,05) + (0,641 \times 0,1) + (3,99 \times 0,1) + (1,2 \times 0,5)$$

$$+ (0,60 \times 0,1) + (1,17 \times 20)$$

$$\rho_{th} = 1,607 \text{ g/cm}^3$$

4. Perhitungan Porositas

$$\text{Porositas} = \frac{\rho_{th} - \rho_m}{\rho_{th}} \times 100\%$$

$$\text{Porositas} = \frac{1.607 - 1.586}{1.607} \times 100\%$$

$$\text{Porositas} = 1.307 \%$$

5. Perhitungan Daya Serap Air

$$\text{Serapan Air} = \frac{B - A}{A} \times 100\%$$

$$\text{Serapan Air} = \frac{14.48 - 14.27}{14.27} \times 100\%$$

$$\text{Serapan Air} = 1.427\%$$

Keterangan :

A = Berat Sampel Sebelum direndam (g)

B = Berat Sampel Sesudah direndam (g)

6. Perhitungan Kompaksi

Dik :

$$A_1 \text{ Luas penampang hidrolis} = 490,874 \text{ mm}^2$$

$$A_2 \text{ Luas penampang komaksi} = 5000 \text{ mm}^2$$

$$P_1 \text{ Tekanan hidrolis} = 40 \text{ bar}$$

$$P = \frac{F}{A}$$

$$F = P \times A$$

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

$$P_2 = \frac{P_1 \times A_1}{A_2}$$

$$P_2 = \frac{40 \times 490.874}{5000}$$

$$P_2 = 3.92 \text{ bar} = 0.392$$

Lampiran B. Dokumentasi Kegiatan

1. Pembuatan Serat Bambu



2. Proses Perhitungan Fraksi untuk pengadukan komposit



3. Proses Kompaksi



4. Proses Penghalusan Permukaan





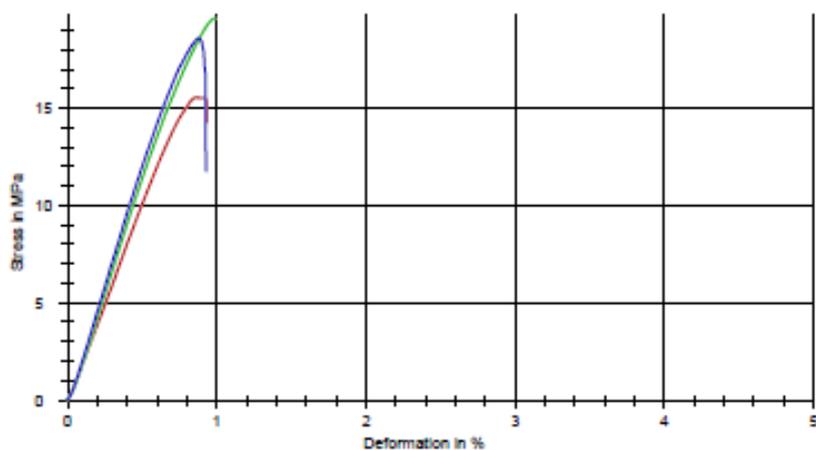
Flexural Test report

Customer : Rahfie Ramadhan
 Test standard : ASTM D 790
 Material : Resin, Alumina, Graphite, ZnO, Cangkang Kelapa Sawit, Serat Bambu
 Notes : V1
 Machine data : Zwick Z020
 Pre-load : 0,2 N
 Test speed : 2 mm/min

Test results:

Legend	No.	Force N	E _{II} MPa	σ _M MPa	ε _r %	ε _b %	σ _B MPa	L mm	d mm	b mm
Red	1	81,51	2060	15,5	0,94	0,94	14,3	80	7,72	10,56
Green	2	95,17	2430	19,6	0,99	0,99	19,6	80	7,4	10,64
Blue	3	85,39	2540	18,6	0,93	0,93	11,8	80	7,24	10,52

Series graph:



Statistics:

Series	Force N	E _{II} MPa	σ _M MPa	ε _r %	ε _b %	σ _B MPa	L mm	d mm	b mm
n = 3									
\bar{x}	87,36	2340	17,9	0,95	0,95	15,2	80	7,453	10,57
s	7,04	253	2,11	0,032	0,032	3,99	0,000	0,2444	0,0611
v [%]	8,06	10,79	11,80	3,35	3,35	26,20	0,00	3,28	0,58



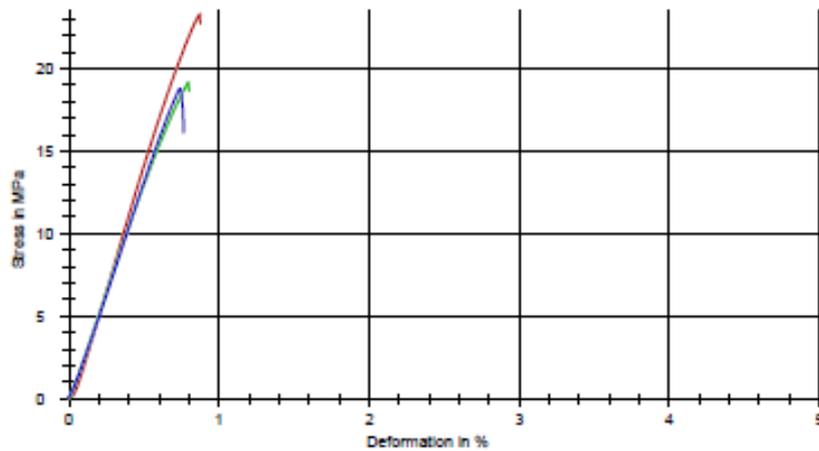
Flexural Test report

Customer : Rahfe Ramadhan
 Test standard : ASTM D 790
 Material : Resin, Alumina, Graphite, ZnO, Cangkang Kelapa Sawit, Serat Bambu
 Notes : V2
 Machine data : Zwick Z020
 Pre-load : 0,2 N
 Test speed : 2 mm/min

Test results:

Legend	No.	Force N	E ₁₁ MPa	σ _M MPa	ε _r %	ε _b %	σ _B MPa	L mm	d mm	b mm
Red	1	103,70	3060	23,3	0,87	0,87	22,7	80	6,88	11,28
Green	2	88,29	2690	19,2	0,80	0,80	18,7	80	7,12	10,9
Blue	3	86,08	2700	18,8	0,76	0,76	16,2	80	7	11,22

Series graph:



Statistics:

Series	Force N	E ₁₁ MPa	σ _M MPa	ε _r %	ε _b %	σ _B MPa	L mm	d mm	b mm
n = 3									
ȳ	92,69	2820	20,4	0,81	0,81	19,2	80	7	11,13
s	9,60	213	2,50	0,057	0,057	3,32	0,000	0,12	0,2043
v [%]	10,35	7,58	12,26	6,98	6,98	17,30	0,00	1,71	1,83



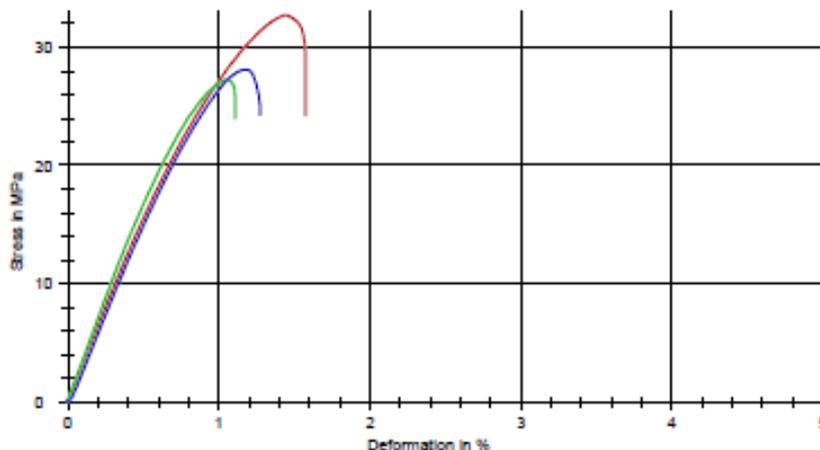
Flexural Test report

Customer : Rahfe Ramadhan
 Test standard : ASTM D 790
 Material : Resin, Alumina, Graphite, ZnO, Cangkang Kelapa Sawit, Serat Bambu
 Notes : V3
 Machine data : Zwick Z020
 Pre-load : 0,2 N
 Test speed : 2 mm/min

Test results:

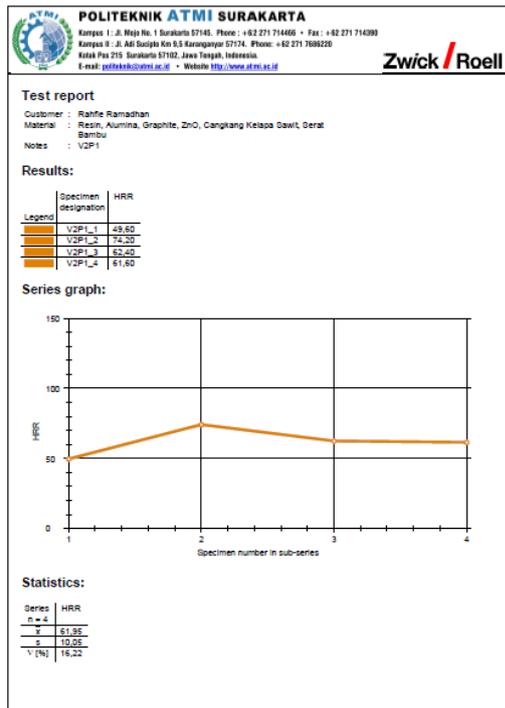
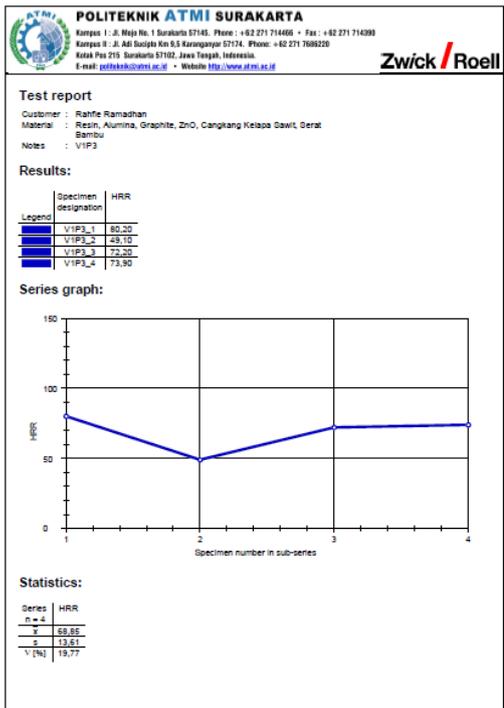
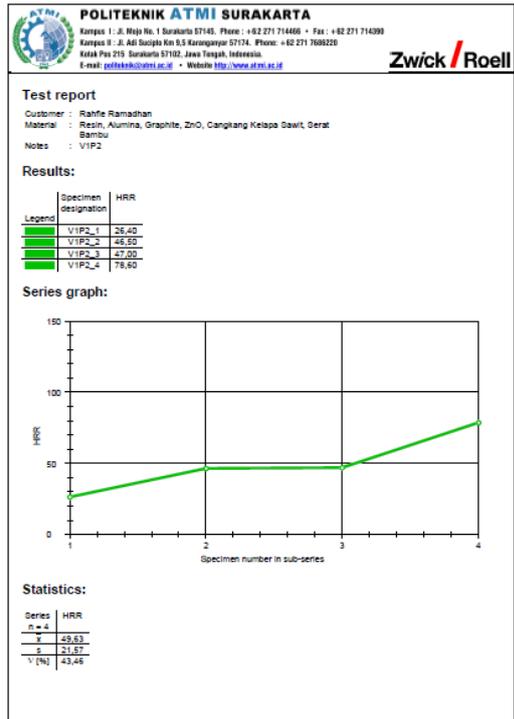
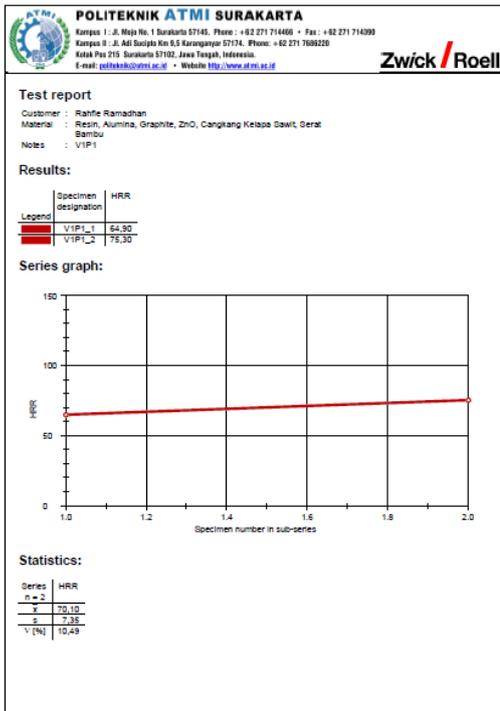
Legend	No.	Force N	E _{II} MPa	σ _M MPa	ε _r %	ε _b %	σ _b MPa	L mm	d mm	b mm
Red	1	113,69	3150	32,7	1,6	1,6	24,2	80	6,3	10,5
Green	2	99,27	3410	27,3	1,1	1,1	24,0	80	6,5	10,32
Blue	3	106,27	3150	28,1	1,3	1,3	24,3	80	6,54	10,6

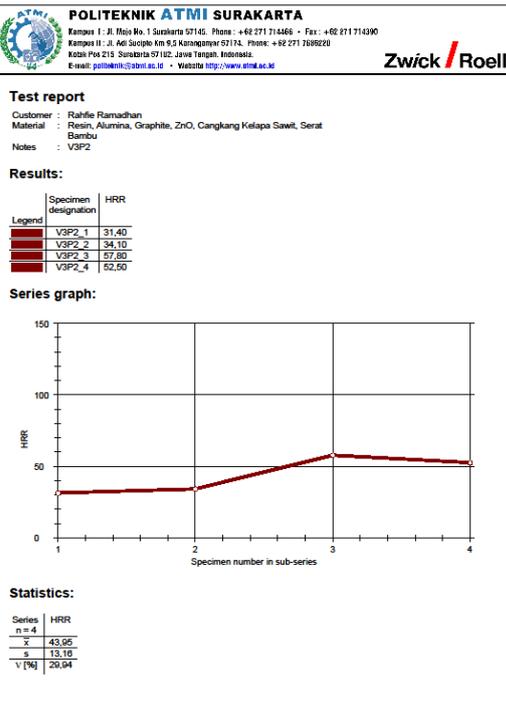
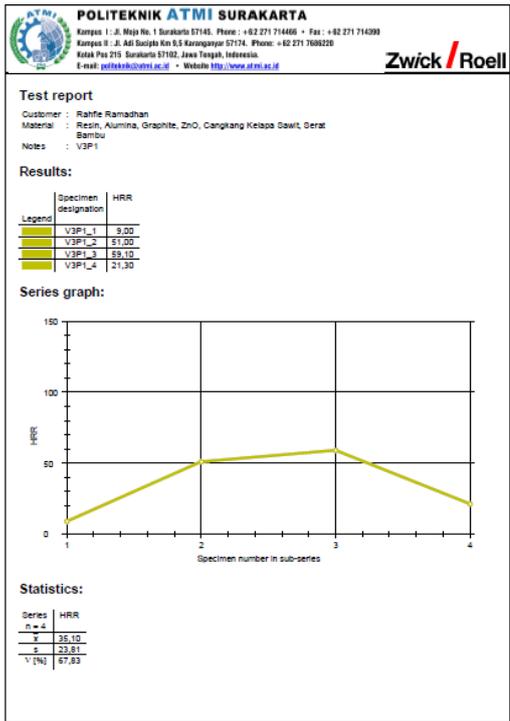
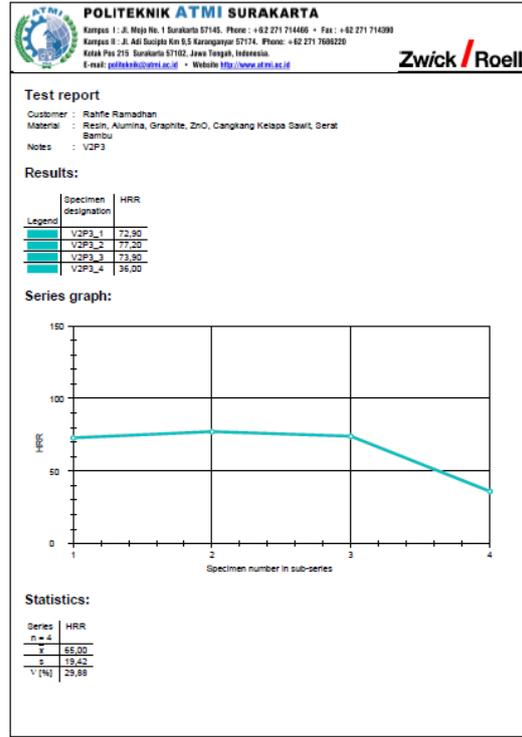
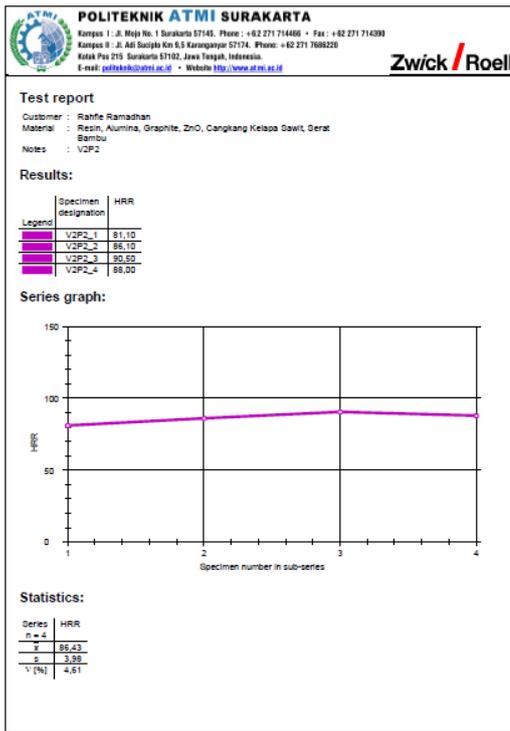
Series graph:



Statistics:

Series	Force N	E _{II} MPa	σ _M MPa	ε _r %	ε _b %	σ _b MPa	L mm	d mm	b mm
n = 3									
ȳ	106,41	3230	29,4	1,3	1,3	24,2	80	6,447	10,47
s	7,21	149	2,92	0,24	0,24	0,199	0,000	0,1286	0,1419
v [%]	6,78	4,62	9,94	17,91	17,91	0,66	0,00	1,99	1,35







POLITEKNIK ATMI SURAKARTA

Kampus I : Jl. Mojo No. 1 Surakarta 57145. Phone : +62 271 714466 • Fax: +62 271 714390
Kampus II : Jl. Adi Sucipto Km 9,5 Karanganyar 57174. Phone: +62 271 7686220
Kotak Pos 215 Surakarta 57102, Jawa Tengah, Indonesia.
E-mail: politeknik@abnl.ac.id • Website <http://www.atmi.ac.id>

Zwick / Roell

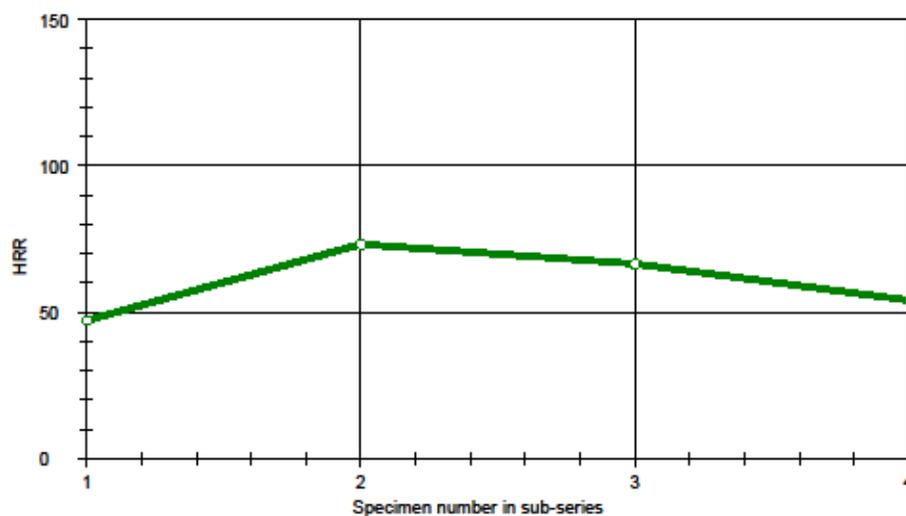
Test report

Customer : Rahfie Ramadhan
Material : Resin, Alumina, Graphite, ZnO, Cangkang Kelapa Sawit, Serat
Bambu
Notes : V3P3

Results:

Legend	Specimen designation	HRR
■	V3P3_1	47,20
■	V3P3_2	73,20
■	V3P3_3	66,60
■	V3P3_4	54,00

Series graph:



Statistics:

Series	HRR
n = 4	
\bar{x}	60,25
s	11,80
v [%]	19,58