

LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN
PENGARUH JUMLAH LAPISAN, TEMPERATUR, TEKANAN
DAN WAKTU TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT
***PREPREG* KENAF-POLIPROPILEN**
DI SENTRA TEKNOLOGI POLIMER – BPPT SERPONG
(01 Februari - 10 Mei)



OLEH:

YOSEA PRATAMA	(1512027)
RAFLIANSYAH RIZAL	(1512067)

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN
2016

LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN
PENGARUH JUMLAH LAPISAN, TEMPERATUR, TEKANAN
DAN WAKTU TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT
PREPREG KENAF-POLIPROPILEN
DI SENTRA TEKNOLOGI POLIMER – BPPT SERPONG
(01 Februari – 10 Mei)



OLEH :

YOSEA PRATAMA	(1512027)
RAFLIANSYAH RIZAL	(1512067)

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN
2016

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA
LEMBAR PERSETUJUAN

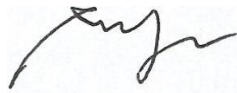
JUDUL : PENGARUH JUMLAH LAPISAN, TEMPERATUR,
TEKANAN DAN WAKTU TERHADAP SIFAT
MEKANIK KOMPOSIT *PREPREG* KENAF-
POLIPROPILEN.

NAMA/NIM : YOSEA PRATAMA /1512027
RAFLIANSYAH RIZAL /1512067

JURUSAN : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan
Dalam Sidang Tugas Akhir
Program Studi Teknik Kimia Polimer
Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian Republik Indonesia

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer



Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Dr. Erfina Oktariani, ST, MT
NIP.198210012014022001

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA

JUDUL : PENGARUH JUMLAH LAPISAN,
TEMPERATUR, TEKANAN DAN WAKTU
TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT
PREPREG KENAF-POLIPROPILEN

DISUSUN OLEH :
NAMA/NIM : YOSEA PRATAMA /1512027
RAFLIANSYAH RIZAL/1512067
PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diuji oleh Tim Penguji Sidang Tugas Akhir
Program Studi Teknik Kimia Polimer
Politeknik STMI Jakarta

Jakarta, 14 November 2016

Penguji,



Dr. Erfina Oktariani, ST, MT
NIP. 198210012014022001

Penguji,



Ir. Parulian Leonard M, MM
NIP. 195702141985031002

Penguji,



Sakri Widhianto, S.Teks, MM
NIP. 195303171978031001

Penguji



Dr. Ir. Agus Mundiyo
NIP. 195403281982031003

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin puji dan syukur yang tiada hentinya penyusun panjatkan kehadiran Allah SWT Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang atas segala berkat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Laporan Penelitian kami yang berjudul "*Pengaruh Jumlah Lapisan, Temperatur, Tekanan, dan Waktu Terhadap Sifat Mekanik Komposit Prepreg Kenaf-Polipropilen*" di Sentra Teknologi Polimer ini dapat terselesaikan dengan tepat pada waktunya. Penyusunan laporan ini bertujuan guna memenuhi salah satu persyaratan kelulusan dari jurusan Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Kementerian Perindustrian, Jakarta.

Pada kesempatan ini, kami ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya atas bimbingan, bantuan, dukungan, dan dorongan semangat yang diberikan hingga terselesaikannya laporan penelitian ini. Dengan selesainya laporan ini, penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Mustofa, ST, MT selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI.
2. Bapak Ir. Roosmariharso, MBA selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta
3. Ibu Dr. Erfina Oktariani, ST, MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan laporan ini.
4. Bapak Hendro Sat Setijo Tomo, M.Sc selaku pembimbing penelitian di Sentra Teknologi Polimer yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama melakukan penelitian.
5. Seluruh karyawan serta staff Sentra Teknologi Polimer yang turut memberikan bimbingan selama pelaksanaan penelitian dan telah memberikan bantuan dalam proses penyelesaian laporan penelitian ini.
6. Seluruh pihak yang membantu hingga selesainya Laporan Penelitian ini.

Penyusun menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kami mengharapkan saran dan kritik yang membangun agar lebih baik lagi untuk kedepannya. Akhir kata, penyusun mengharapkan agar laporan penelitian yang telah dibuat ini dapat bermanfaat untuk memberikan informasi dalam mengembangkan teknologi penggunaan komposit berpenguat serat alam.

Jakarta, November 2016

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
ABSTRAK	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Sejarah Penelitian Pembuatan Material Komposit Termoplastik dengan Serat Alam.....	6
2.2 Komposit.....	20
2.3 Komponen Penyusun Komposit.....	22
2.3.1 Matriks	22
2.3.2 Reinforcement atau Filler	25
2.4 Klasifikasi Material Komposit	26
2.4.1 Komposit Serat (<i>Fiber Composite</i>)	27
2.4.2 Komposit Laminat (<i>Laminated Composite</i>).....	27
2.4.3 Komposit Partikel (<i>Particulated Composite</i>).....	28
2.4.4 Komposit Serpihan (<i>Flake Composite</i>).....	29
2.4.5 Komposit Rangka (Komposit Terisi).....	30
2.5 Komposit Serat.....	30
2.5.1 Keunggulan Serat Alam	31
2.5.2 Tantangan Pemanfaatan Serat Alam	34

2.5.3 Modifikasi Serat Alam	34
2.5.3.1 Alkali.....	34
2.5.3.2 <i>Coupling Agent</i>	35
2.5.4 Polimer	36
2.5.4.1 Polimer Termoset.....	36
2.5.4.2 Polimer Termoplastik.....	37
2.5.5 Serat Kenaf	39
2.5.6 Polipropilen	43
2.6 <i>Prepreg</i>	45
2.6.1 Peranan <i>Prepreg</i>	45
2.6.2 Pembuatan <i>Prepreg</i>	46
2.7 Mesin Ekstruder	47
2.7.1 Tahapan-tahapan Proses Mesin Ekstruder	48
2.7.2 Prinsip Kerja Ekstruder	50
2.8 Karakterisasi atau Pengujian Komposit	51
2.8.1 Pengujian Tarik Komposit	51
2.8.2 Pengujian Lentur Komposit	52
BAB III METODE PENELITIAN	54
3.1 Variabel Penelitian	54
3.2 Langkah-langkah penelitian	55
3.2.1 Persiapan Serat Kenaf	57
3.2.2 Pembuatan Lembaran Polipropilen (PP)	58
3.2.3 Pembuatan spesimen	59
3.3 Tahap Pengujian atau Karakterisasi	60
3.3.1 Kekuatan Tarik	61
3.3.2 Kekuatan Lentur	61
3.4 Jadwal Penelitian	62
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	63
4.1 Pengujian Kekuatan Tarik	63
4.1.1 Pengaruh Jumlah lapisan	64
4.1.2 Pengaruh Temperatur	65

4.1.3 Pengaruh Tekanan	67
4.1.4 Pengaruh Waktu	68
4.2 Pengujian Kekuatan Lentur	70
4.2.1 Pengaruh Jumlah lapisan	71
4.2.2 Pengaruh Temperatur	72
4.2.3 Pengaruh Tekanan	73
4.2.4 Pengaruh Waktu	74
4.3 Perbandingan Hasil Pengujian Kekuatan Tarik dan Kelenturan	76
BAB V PENUTUP	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat dan Kegunaan Polimer	25
Tabel 2.2 Sifat Polimer Termoplastik.....	39
Tabel 2.3 Karakteristik Varietas KR 11	43
Tabel 3.1 Variasi Penelitian	55
Tabel 3.2 Sifat mekanik-fisik polipropilen HE2.0TF	58
Tabel 3.3 Kondisi Operasi Mesin Ekstruder	58
Tabel 3.4 Kondisi Operasi Mesin <i>Hot Press</i>	60
Tabel 3.5 Jadwal Kegiatan Penelitian	62
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik	63
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekuatan Lentur	70
Tabel 4.3 Hasil Perbandingan Pengujian Kekuatan Tarik dan Lentur	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Perkembangan Konsumsi Serat Alam dan Sintetis.....	1
Gambar 2.1 Perbedaan Struktur Rantai Cabang Termoplastik dan Termoset	24
Gambar 2.2 Klasifikasi Komposit.....	26
Gambar 2.3 Mikrostruktur Lamina	28
Gambar 2.4 Tanaman Kenaf	40
Gambar 2.5 Kenaf KR 11.....	42
Gambar 2.6 Simbol Daur Ulang Polipropilen.....	44
Gambar 2.7 Mesin Ekstruder Collin E 30 M	48
Gambar 2.8 Spesimen Uji Tarik ASTM D 638-03	51
Gambar 2.9 Spesimen Uji Lentur ASTM D 790-03	52
Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan Komposit Kenaf-PP	56
Gambar 3.2 Bentuk Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik.....	61
Gambar 3.3 Bentuk Spesimen Pengujian Kekuatan Lentur.....	61
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Jumlah lapisan Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Kenaf-Polipropilen	64
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Kenaf-Polipropilen	65
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Tekanan Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Kenaf-Polipropilen.....	67
Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Waktu Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Kenaf-Polipropilen.....	68
Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Jumlah Lapisan Terhadap Kekuatan Lentur Komposit Kenaf-Polipropilen	71
Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Kekuatan Lentur Komposit Kenaf-Polipropilen	72
Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Tekanan Terhadap Kekuatan Lentur Komposit Kenaf-Polipropilen.....	73
Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Waktu Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Kenaf-Polipropilen.....	74

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Gambar Alat dan Bahan yang Digunakan	xii
Lampiran B	Gambar Proses langkah-langkah penelitian	xvi
Lampiran C	Hasil Uji Kekuatan Tarik.....	xx
Lampiran D	Hasil Uji Kekuatan Lentur/ <i>Bending</i>	xxviii

ABSTRAK

Penggunaan komposit berpenguat serat alam merupakan material ramah lingkungan yang digunakan sebagai alternatif pengganti komposit berpenguat serat sintetis. Kekuatan material komposit serat alam sangat dipengaruhi oleh kekuatan ikatan antara serat dan matrik yang tergantung pada kondisi operasi pembuatan komposit tersebut seperti; temperatur proses, waktu penahanan, tekanan pengepresan dan laju pendinginan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah lapisan, temperatur, tekanan dan waktu serta mendapatkan kombinasi terbaik dari komposit *prepreg* yang memiliki kekuatan tarik dan lentur yang optimal. Adapun metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Material penyusun komposit terdiri atas resin polipropilen sebagai matrik, serat kenaf sebagai pengisi dan *Polypropylene graft Maleic Anhydride* (PPgMA) sebagai bahan pembantu yang mengikat kedua bahan yang memiliki sifat berbeda tersebut sekaligus meningkatkan kekuatan komposit yang dihasilkan. Variasi yang dilakukan dalam penelitian ini: variasi jumlah lapisan, temperatur, tekanan dan waktu. Dalam preparasi bahan, pertama serat kenaf direndam dalam larutan NaOH 5% selama 24 jam dan dikeringkan menggunakan pada oven suhu 60-80°C selama 12 jam dan kedua preparasi pembuatan lembaran polipropilen dengan penambahan PPgMA. Proses pembuatan komposit *prepreg* ini dibuat dengan menggunakan ekstruder dan *calendering* dilanjutkan dengan *hot press* untuk pencetakan spesimen komposit. Hasil dari penelitian didapatkan, semakin banyak jumlah lapisan dapat menurunkan nilai kekuatan tarik dan kelenturannya sedangkan pengaruh temperatur, tekanan dan waktu meningkatkan atau menurunkan kekuatannya tergantung pada kondisi operasi tertentu. Kombinasi terbaik yang memiliki nilai kekuatan tarik dan kelenturan optimal ditemukan pada sampel 6 dengan kondisi jumlah lapisan 3, temperatur 210°C, tekanan 50 bar dan waktu 3 menit dengan nilai kekuatan tarik 62.0 MPa dan nilai kelenturannya sebesar 64,3 MPa.

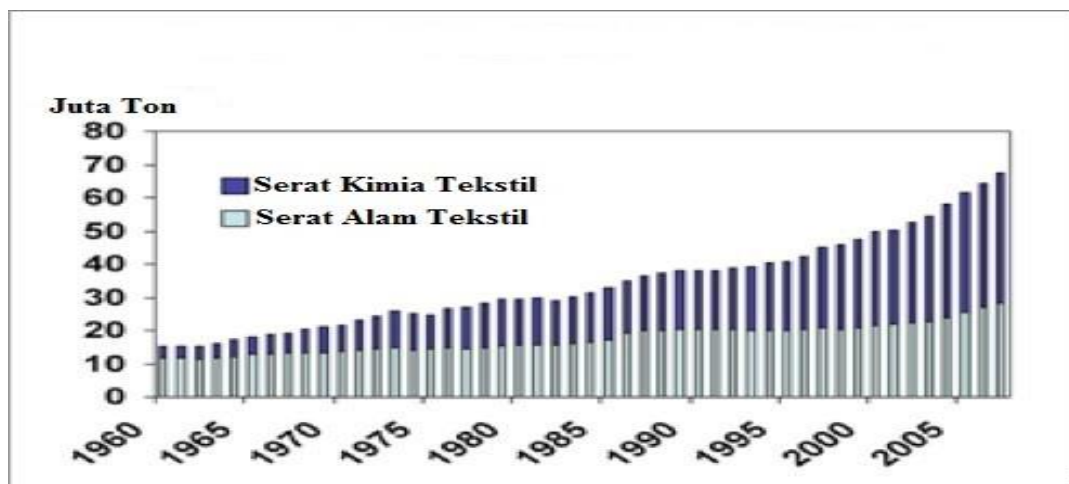
Kata kunci: komposit, *prepreg*, *hot press*, polipropilen, kenaf, PPgMA.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan rekayasa teknologi masa kini tidak hanya bertujuan untuk membantu umat manusia, namun juga harus mempertimbangkan aspek lingkungan [1]. Segala hal yang berkaitan dengan ramah lingkungan kini menjadi topik yang sangat menarik. Seiring dengan perkembangan rekayasa teknologi, perkembangan rekayasa bahan komposit dari alam juga melaju dengan pesat. Hal ini didukung dari sumber daya hayati yang dimiliki oleh Indonesia, serta hasil riset yang menunjukkan bahwa produk-produk berbahan dasar komposit alam mampu bersaing dengan produk-produk berbahan dasar logam dalam hal kekuatan, dan memiliki keunggulan dalam berat [2].



Gambar 1.1 Grafik Perkembangan Konsumsi Serat Alam dan Kimia Tekstil*

*Sumber: IYNF 2009

Gambar 1.1 merupakan grafik hasil presentasi pada deklarasi *International Year of Natural Fibres* 2009 (IYNF 2009), grafik menunjukkan perkembangan konsumsi serat alam dan kimia tekstil dari tahun ke tahun yang mengalami peningkatan. Dalam grafik terlihat perkembangan konsumsi serat kimia tekstil mengalami perkembangan yang signifikan dibandingkan konsumsi serat alam. Penurunan konsumsi serat alam berdasarkan pembahasan dalam deklarasi

International Year of Natural Fibres 2009 (IYNF 2009) dijelaskan bahwa penurunan konsumsi serat alam disebabkan oleh permintaan kebutuhan konsumsi permintaan serat yang berbeda setiap tahunnya. Meskipun terdapat perbedaan konsumsi serat yang relatif antara serat alam dan serat kimia tekstil yang diproduksi, serat alami tetap menjadi masukan penting untuk industri tekstil. Selanjutnya, selain pentingnya dalam produksi tekstil dan berbagai kegunaan industri, serat alami menyediakan lapangan kerja bagi jutaan orang di seluruh dunia, memberikan kontribusi untuk keamanan pangan, dan memberikan kesempatan pengembangan ekonomi banyak negara berkembang dan negara-negara berkembang. Terbentuknya deklarasi *International Year of Natural Fibres 2009* (IYNF 2009) Ide ini datang salah satunya dari *Food and Agriculture Organization* (FAO). Atas permintaan FAO, deklarasi tahun 2009 sebagai Tahun Internasional Alam Serat dibuat oleh Majelis Umum Perserikatan Bangsa-Bangsa pada tanggal 20 Desember 2006 [3].

Kekuatan material komposit serat alam sangat dipengaruhi oleh kekuatan ikatan antar muka dari serat alam dan matrik. Parlevliet Patricia di tahun 2006 mengatakan kekuatan ikatan antara serat dan matrik pada material komposit termoplastik tergantung dari beberapa faktor, seperti sifat morfologi matrik, kondisi permukaan serat, dan adanya tegangan sisa. Sebagian besar karakteristik tersebut ditentukan oleh kondisi proses pembuatan seperti; temperatur proses, waktu penahanan, tekanan pengepresan dan laju pendinginan. Riset pada bidang biomaterial menarik banyak perhatian karena ramah lingkungan. Komposit serat alam menjadi pilihan karena sifat mekaniknya, efisiensi biaya dan proses serta konsumsi energi yang digunakan selama proses pabrikasinya. Komposit kenaf-*Polypropylene* (PP) adalah salah satu jenis komposit serat alam yang banyak digunakan dalam industri [4].

Serat alam memiliki kelebihan yaitu: ringan, kekuatan tarik tinggi, ramah lingkungan dan biaya produksi yang rendah. Jenis – jenis serat alam adalah kenaf, *flax*, jute, rami, *hemp* dan *sisal*. Penggunaan serat alam juga dapat mengurangi emisi CO². Energi yang dibutuhkan untuk memproduksi mat serat *flax* adalah 9.55 MJ/kg. Jumlah tersebut sudah termasuk penanaman, panen dan pemisahan serat.

Energi yang dibutuhkan untuk memproduksi serat gelas adalah 54.7 MJ/kg. Jika dibandingkan dengan serat alam, energi yang dibutuhkan untuk memproduksi serat gelas 82% [5].

Kenaf (*Hibiscus cannabinus*) merupakan jenis tumbuhan berserat yang bisa tumbuh dengan baik di negara beriklim tropis seperti Indonesia. Saat ini kenaf banyak ditanam di daerah Malang, Jawa timur dan Kalimantan timur. Penggunaan serat kenaf saat ini masih sangat terbatas yaitu sebagai bahan dasar pembuatan kertas dan karung goni. Serat kenaf memiliki kandungan 75% selulosa dan 15% lignin dan mempunyai kekuatan tarik 283-800 MPa [6]. Karena memiliki kekuatan tarik yang tinggi, maka serat kenaf berpotensi untuk digunakan sebagai *part* dari otomotif. Sejak tahun 2000, Toyota sudah menggunakan komposit kenaf sebagai *door trim* pada Toyota kijang. Proses pembuatan *door trim* pada Toyota kijang menggunakan *hot press forming* [7].

Komposit serat kenaf biasanya menggunakan polipropilen sebagai matrix. Polipropilen merupakan thermoplastik yang memiliki massa jenis rendah, sifat mekanik yang bagus, tahan terhadap suhu hingga 110°C, dan bisa di daur ulang. Temperatur *melting* dari *polypropylene* adalah 160°-175°C. Temperatur tersebut sangat cocok untuk serat kenaf karena pada suhu diatas 220°C selulosa pada serat kenaf mulai mengalami degradasi dilakukan oleh Mohanty di tahun 2005 [8].

Permasalahan utama dari komposit serat alam adalah, bagaimana peran ikatan antara bahan penguat dan matriks mampu menahan beban atau tekanan yang diberikan. Ikatan yang lemah antara matriks dan bahan penguat jelas membuat kekuatan dari komposit tidak dapat keluar secara maksimal. Sifat mekanik dari serat komposit didapat dari bagaimana cara serat sebagai bahan penguat berikatan dengan matriksnya. Permasalahan yang kedua ialah sifat serat alam dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jenis tanaman dan kondisi serat serta cara mengekstraksi seratnya sehingga untuk mendapatkan sifat mekanik yang sama setelah beberapakali pabrikasi sangatlah sulit [9].

Kekuatan komposit berpenguat serat alam dapat ditingkatkan dengan cara modifikasi serat, modifikasi matrik atau menambahkan *coupling agent*. Proses modifikasi serat pada umumnya menggunakan perlakuan alkali dengan

menggunakan NaOH. Hal yang mempengaruhi kekuatan komposit pada perlakuan alkali adalah konsentrasi larutan NaOH, waktu perendaman dan suhu perendaman. Yuharzi di tahun 2011 melakukan penelitian tentang pengaruh kadar NaOH dan waktu perendaman pada komposit kenaf-polyster. Hasilnya menunjukkan kekuatan tarik komposit dengan perlakuan NaOH lebih tinggi daripada tanpa perlakuan [10].

Komang Trisna Adi di tahun 2014 melakukan penelitian mengenai proses perlakuan alkali pada serat kenaf dilakukan pada saat serat belum dicampurkan dengan matrix dan kandungan serat pada komposit dibawah 50%. Penggunaan kenaf pada interior mobil pada saat ini menggunakan mat kenaf yang sudah tercampur dengan *polypropylene* dengan komposisi 50% - 50%. Serat kenaf tersusun secara acak pada mat dan proses pembuatan komposit dilakukan dengan *hot press forming*. Karena kenaf dan polypropylene sudah tercampur dalam bentuk mat, maka untuk melakukan proses perlakuan alkali dilakukan tanpa pemisahan serat dan matrik. Proses perlakuan alkali pada mat kenaf - PP belum pernah dilakukan sebelumnya. Konsentrasi larutan NaOH akan memberikan pengaruh signifikan pada kekuatan komposit. Perlakuan alkali dengan kadar NaOH yang terlalu tinggi akan menyebabkan degradasi pada selulosa serat kenaf. Diharapkan setelah perlakuan alkali pada mat, kekuatan tarik, lentur dan *impact* komposit akan mengalami peningkatan [11].

Penelitian ini terfokuskan pada penggunaan granul polipropilen dan penguat serat kenaf sebagai pengisi dalam pembuatan komposit yang dilakukan dengan *hot-press* dan mengetahui adanya pengaruh hubungan interaksi antar faktor: lapisan, temperatur, waktu dan tekanan pada saat pengepresan komposit *prepreg*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, permasalahan yang akan diangkat pada penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana pengaruh jumlah lapisan, temperatur, tekanan dan waktu terhadap kekuatan tarik dan lentur dari komposit *prepreg* yang dihasilkan?
2. Bagaimana mendapatkan kombinasi terbaik antara resin polipropilen dan serat kenaf pada pembuatan komposit *prepreg*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui pengaruh jumlah lapisan, temperatur, waktu dan tekanan terhadap kekuatan tarik dan lentur komposit *prepreg*.
2. Mengetahui kombinasi terbaik antara resin polipropilen dan serat kenaf pada pembuatan komposit *prepreg*.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh jumlah lapisan penyusun komposit serta kondisi operasi *hot press* (temperatur, waktu dan tekanan) terhadap kekuatan tarik dan kelenturan komposit *prepreg*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Penelitian Pembuatan Material Komposit Termoplastik dengan Serat Alam

Perkembangan dunia komposit serta penggunaan serat alam sebagai penguat terus mengalami perkembangan dari tahun ke tahun. Indonesia sebagai salah satu negara dengan sumber daya hayati terbesar yang berperan serta menjadi bagian dalam perkembangan bahan baku pembuatan komposit. Sumber hayati digunakan untuk mengurangi efisiensi *cost* yang tinggi terhadap penggunaan material sintetis dan ramah lingkungan. Fokus pemilihan bahan yang tepat untuk suatu konstruksi menuntut sebuah kepastian tentang material penyusun yang tepat pula. Tuntutan fungsi panel saat ini tidaklah hanya sebatas kekuatan mekanik saja, tetapi juga sifat fisisnya [12]. Salah satu langkah untuk meningkatkan sifat mekanik dari serat alam yaitu dengan menambahkan unsur lain untuk meningkatkan adhesi serat tersebut. Penggunaan *coupling agent* merubah permukaan penguat menjadi *hydrophobic* sehingga mampu mengikat *polymer* dengan baik. Terbentuknya ikatan antara gugus hidroksil pada serat alam dan *silane* pada matrik dan kelompok *alkoxyl coupling agent* mengakibatkan ikatan pada permukaan serat dan matrik meningkat dan menunjukkan peningkatan kekerasan serta kekuatan.

Hanafi Ismail di tahun 2002 melakukan penelitian mengenai serat bambu komposit diperkuat karet alam disusun oleh penggabungan beban yang berbeda dari serat bambu. Dua seri komposit dipelajari yaitu komposit dengan dan tanpa kehadiran bahan perekat. Karakteristik perbaikan komposit ditentukan dan komposit yang divulkanisir pada 150°C dengan menggunakan *hot press*. Sifat-sifat komposit seperti kekuatan tarik, modulus tarik, kekuatan sobek, perpanjangan putus dan kekerasan dipelajari. Adhesi antara serat bambu dan karet alam yang ditingkatkan dengan penambahan zat pengikat seperti yang diperagakan oleh permukaan fraktur tarik dari komposit menggunakan mikroskop elektron *scanning* (SEM). Kehadiran bahan perekat juga memberi waktu

perbaikan yang pendek dan sifat mekanik dapat ditingkatkan [13].

Seung Hwan Lee di tahun 2006 melakukan riset mengenai Pengaruh berbasis lisin diisosianat (LDI) sebagai bahan penghubung pada sifat-sifat biokomposit dari poli asam laktat (PLA), poli butilena suksinat (PBS) dan serat bambu. Sifat tarik, tahan air dan adhesi antarmuka dari kedua poli asam laktat (PLA), poli butilena suksinat (PBS) dan serat bambu komposit ditingkatkan dengan penambahan lisin diisosianat (LDI), sedangkan aliran termal menjadi agak sulit karena silang antara matriks polimer dan serat bambu. Suhu kristalisasi dan entalpi di kedua komposit meningkat dan menurun dengan meningkatkan konten lisin diisosianat (LDI), masing-masing. Panas fusi di kedua komposit menurun dengan penambahan lisin diisosianat (LDI), sedangkan tidak ada perubahan signifikan dalam suhu leleh. Suhu degradasi termal dari kedua komposit lebih rendah daripada polimer murni matriks, tapi komposit dengan lisin diisosianat (LDI) menunjukkan suhu degradasi yang lebih tinggi dibandingkan yang tidak menggunakan lisin diisosianat (LDI), biodegradasi enzimatik poli asam laktat (PLA)/serat bambu dan komposit poli butilena suksinat (PBS)/serat kenaf dianalisa tambahan oleh serin enzim protease dan *Lipase Pseudomonas sp*, pada masing-masing. Kedua komposit bisa cepat terurai oleh enzim dan penambahan lisin diisosianat (LDI) tertunda degradasi. Di dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa *coupling agent* yang ditambahkan ke dalam komposit serat bambu mampu meningkatkan kekuatan komposit. Peningkatan kekuatan ini disebabkan oleh peningkatan adhesi antarmuka antara matrik polimer dan serat bambu [14].

Agus Hariyanto di tahun 2013 menyelidiki pengaruh variasi sulfur 25 dan 30 phr (*per hundred rubber*) komposit berpenguat serat kenaf dan peningkatan kekuatan tarik, *bermatrix hard natural rubber*(*Ebonite*). Bahan utama penelitian adalah *compount natural rubber/ebonite*, serat kenaf acak. Komposit dibuat dengan metode cetak tekan panas (*Hot Press Mold*). Komposit tersusun terdiri dari serat kenaf dengan ebonite. Fraksi berat serat kenaf 8%. Spesimen dan prosedur pengujian tarik mengacu pada standart ASTM D 638-02. Hasil penelitian ini menunjukkan pengaruh variasi sulfur 25 dan 30 phr terhadap kekuatan tarik pada komposit berpenguat serat kenaf meningkat. Kekuatan tarik komposit

berpenguat serat kenaf sebesar 12 dan 29MPa. Kekuatan tarik memiliki harga yang paling optimum pada komposit berpenguat serat kenaf dengan variasi sulfur 30 phr [15].

El Sabbagh di tahun 2013 menyatakan bahwa untuk meningkatkan adhesi antara serat alami dan matriks termoplastik, dengan cara menggunakan bahan penghubung dari *maleat anhidrida polypropylene* (MAPP). Dalam literatur, ada pedoman yang berbeda dari persentase optimum pada *maleat anhidrida polypropylene* (MAPP). Oleh karena itu, kerja yang sistematis dilakukan untuk mengoptimalkan persentase *maleat anhidrida polypropylene* (MAPP) pada serat alami. Parameter yang berbeda diselidiki dalam penelitian ini yaitu; *Rasio coupling agent* untuk serat (0, 6.67, 10, 13.3 dan 16.67%), jenis serat (rami dan sisal) dan variasi kadar serat (30% dan 50%). Penelitian ini juga untuk mengetahui *mechanical properties* dari bahan variasi yang dicampurkan *maleat anhidrida polypropylene* (MAPP) optimal untuk rasio serat ditemukan dalam rata-rata berkisar antara 10% dan 13,3% [16].

Jin Gyu Kim di tahun 2011 di dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa perlakuan komposit *aramid/epoxy* yaitu dengan *flame* lima kali dan penambahan *coupling agent* sebesar 0.5% mampu meningkatkan kekuatan sampai 61% lebih dibandingkan komposit tanpa perlakuan [17]. Komposit serat alam memiliki sifat alami yaitu mudah menyerap air pada lingkungan sekitarnya. Dengan adanya kandungan air di dalamnya maka serat cukup sulit berikatan dengan matriks. Meskipun mampu berikatan tetapi menghasilkan ikatan yang kurang baik. Namun dengan penggunaan *coupling agent*, sifat mampu serap dari ikatan antara serat dan matriks komposit tersebut dapat diminimalkan [18].

Pengisi komposit telah banyak dilakukan salah satunya dilakukan oleh Sumarji dan Yuni Hermawan di tahun 2010 melakukan penelitian merekayasa menjadi produk teknologi andalan nasional sebagai *core* komposit *sandwich*. Dimana rekayasa *core* dapat dilakukan dari kayu utuh ataupun limbah potongan kayu. Serat sebagai elemen penguat sangat menentukan sifat mekanik dari komposit karena meneruskan beban yang didistribusikan oleh matrik. Orientasi ukuran dan bentuk serta material serat adalah faktor-faktor yang mempengaruhi

sifat mekanik dari lamina. Serat kenaf yang dikombinasikan dengan resin sebagai matrik akan dapat menghasilkan komposit alternatif yang dapat menggantikan peran struktur logam. Dengan melakukan penelitian tentang model arah serat komposit laminat diharapkan dapat menghasilkan sifat mekanik komposit yang maksimal untuk mendukung pemanfaatan komposit alternatif. Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu pembuatan dan pengujian komposit. Variabel utama penelitian yaitu perlakuan alkali 5% NaOH serat kenaf (0 & 2 jam) dan tebal *core* (4, 8, 12, 16, 20 mm). Spesimen dan prosedur pengujian bending mengacu pada standard ASTM C 393-94 dan pengujian impak mengacu pada ASTM C 5942. Hasil dari penelitian ini didapatkan pada arah 90°/*woven* pada ketebalan *core* 20 mm dengan perlakuan serat dengan alkali 5% NaOH selama 2 jam mempunyai tegangan bending maksimum sebesar 30,87 Mpa dan tegangan bending minimum pada arah 0°/*woven* pada ketebalan *core* 4 mm tanpa perlakuan alkali 5%NaOH yaitu sebesar 8,55 MPa. Pada pengujian kekuatan Impak didapatkan pada arah 90°/*woven* pada ketebalan *core* 16 mm dengan perlakuan serat dengan alkali 5% NaOH selama 2 jam mempunyai kekuatan impak maksimum sebesar 0,31577 joule/mm² dan kekuatan impak minimum pada arah 0°/*woven* pada ketebalan *core* 4 mm dengan perlakuan alkali 5% NaOH selama 2 jam yaitu sebesar 0,05726 joule/mm². Dari hasil pengamatan mikro mekanisme patahan diawali oleh kegagalan komposit skin bagian tarik, *core* gagal geser dan diakhiri oleh kegagalan skin sisi tekan. Pada bagian daerah batas *core* dan komposit skin menunjukkan adanya kegagalan delaminasi [19].

Selain itu penelitian penggunaan serat kenaf pada resin termoplastik dilakukan oleh Holia Onggo di tahun 2005 melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengevaluasi stabilitas termal dari komposit polipropilen (PP)-kenaf dan komponennya termasuk *filler loading* dan keberadaan *compatibilizer agent*, menggunakan metode *Thermogravimetry Analysis* dan *Differential Thermal Analysis* (TG/DTA). Pengukuran *Thermogravimetry Analysis* dan *Differential Thermal Analysis* (TG/DTA) menggunakan cuplikan sampel dengan berat 6 mg-7 mg, kecepatan pemanasan 10°C/menit dalam atmosfer udara dengan laju alir 260 mL/menit. Hasil analisis *Thermogravimetry Analysis* dan *Differential Thermal*

Analysis (TG/DTA) diketahui bahwa kestabilan termal polipropilen (PP) lebih besar daripada kenaf. Meningkatnya *filler loading* dalam komposit polipropilen (PP)-kenaf menyebabkan stabilitas termal menurun. Modifikasi serat kenaf dengan silicon oil belum dapat digunakan, pemberian *Maleated Anhydrid Polypropilene* (MAPP) dalam campuran sedikit meningkatkan stabilitas termal komposit. Dalam pembuatan komposit polipropilen (PP)-kenaf disarankan suhu *blending* antara 168°C sampai dengan 210°C dan kenaf yang digunakan harus kering [20].

Pemanfaatan teknologi material komposit dengan menggunakan serat alam sebagai penguat (*fiber-reinforced composite*) mempunyai banyak keuntungan bila dibandingkan dengan material yang lainnya. Harga yang ekonomis dan tidak menimbulkan dampak terhadap lingkungan sekitar dan banyak perkembangan teknologi komposit yang menggunakan sumber hayati. Komposit serat alam banyak digunakan sebagai interior mobil, peredam akustik dan panel pintu. Karena dalam penggunaannya dapat mengurangi berat sampai 80% [21].

Syaifa Maulana Altari di tahun 2016 melakukan riset penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi waktu perendaman dengan NaOH 5% terhadap kekuatan tarik serat tunggal. Selain itu untuk mengetahui kekuatan tarik, *izod impact* dan kekerasan pada variasi serat rami 0, 20 dan 40 phr terhadap komposit yang bermatrik ebonit. Meneliti jenis patahan yang dihasilkan oleh pengujian tarik dan *izod impact*. Bahan pembuatan komposit yang digunakan adalah serat rami yang telah divariasi perendaman NaOH 5% selama 0, 2, 4 dan 6 jam dengan standar pengujian serat tarik tunggal ASTM D 3379-75. Pada pembuatan komposit ebonit berpenguat serat rami dengan variasi serat 0, 20 dan 40 phr. Pengujian komposit menggunakan ASTM D 638-02 untuk uji tarik, ASTM D 256-00 untuk uji *izod impact*, SNI 0778 : 2009 untuk uji kekerasan dan foto makro. Hasil penelitian diperoleh kekuatan tarik rata-rata tertinggi pada variasi perendaman NaOH 5% selama 2 jam yaitu 574,031 MPa. Pada komposit ebonit tegangan tertinggi rata-rata diperoleh pada *ebonite* dengan serat rami 20 phr yaitu 6,154 MPa, harga *impact* tertinggi rata-rata pada komposit ebonit serat rami 40 phr 1,499 J/mm² dan kekerasan tertinggi rata-rata pada komposit ebonit tanpa serat

yaitu 91,333 skala *shore A*. Berdasarkan hasil patahan *izod impact* dan pengujian tarik jenis patahan yang terjadi adalah patahan liat [22].

Komposit dengan sifat mekanik yang baik memerlukan ikatan yang kuat antara serat dan matrik. Serat alam terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin (lilin). Adanya lilin pada serat alam mengurangi kekuatan ikatan antarmuka pada komposit. Ikatan antarmuka yang lemah dapat diperbaiki dengan cara menambahkan *coupling agent* atau melakukan modifikasi pada permukaan serat. Selain dari pengaruh *coupling agent* yang dapat meningkatkan kekuatan tarik lebih tinggi dibandingkan komposit tanpa *coupling agent* adalah penggunaan *reinforcement* serat kenaf dilihat dari penggunaan jumlah serat. Serta perlakuan kenaf dengan treatment juga dapat meningkatkan kekuatan dan regangan tarik komposit. Sebelumnya penelitian penggunaan serat *kenaf treatment* sudah dilakukan sebagai berikut:

Siregar J.P di tahun 2010 meneliti modifikasi permukaan serat kenaf secara kimia dapat dilakukan dengan perlakuan alkali. Perlakuan alkali yang sering digunakan adalah menggunakan larutan NaOH. Perlakuan alkali dengan NaOH sering digunakan pada penelitian karena harganya yang ekonomis. Konsentrasi larutan NaOH yang digunakan pada perlakuan alkali berkisar antara 0.5–28%, tetapi peneliti biasanya menggunakan konsentrasi dibawah 10%. Lamanya perendaman dan suhu perendaman berkisar antara 15 menit hingga 48 jam dan pada suhu 20–180°C. Setelah proses perendaman, serat harus dikeringkan pada suhu 20–80°C selama 24– 48 jam [23].

Kuncoro Diharjo di tahun 2006 melakukan penelitian yang membahas mengenai komposit alam (NACO) adalah material yang memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan di Indonesia. Ikatan mekanik komposit yang diperkuat serat alam dapat ditingkatkan dengan perlakuan kimia serat atau menggunakan *coupling agent*. Perlakuan kimia, seperti perlakuan alkali, sering digunakan karena lebih ekonomis. Tujuan penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat tarik komposit berpenguat serat rami kontinyu dengan matrik poliester. Pengamatan visual dilakukan untuk menyelidiki mekanisme perpatahan. Serat rami direndam di dalam larutan alkali (5% NaOH)

selama 0, 2, 4 dan 6 jam. Selanjutnya, serat tersebut dicuci menggunakan air bersih dan dikeringkan secara alami. Matrik yang digunakan dalam penelitian ini adalah resin *unsaturated polyester* 157 BQTN dengan *hardener* MEKPO 1% (v/v). Komposit dibuat dengan metode cetak tekan pada $V_f \approx 35\%$. Semua spesimen dilakukan *post cure* pada suhu 62°C selama 4 jam. Spesimen uji tarik dibuat mengacu pada standar ASTM D-638. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik dan perpanjangan diukur dengan menggunakan *extensometer*. Penampang patahan diselidiki untuk mengidentifikasi mekanisme perpatahannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan dan regangan tarik komposit memiliki harga optimum untuk perlakuan serat 2 jam, yaitu 190.27 MPa dan 0.44%. Komposit yang diperkuat serat yang dikenai perlakuan 6 jam memiliki kekuatan terendah. Penampang patahan komposit yang diperkuat serat perlakuan 0, 2 dan 4 jam diklasifikasikan sebagai jenis patah *slitting in multiple area*. Sebaliknya, penampang patahan komposit yang diperkuat serat perlakuan 6 jam memiliki jenis patah tunggal. Penampang patahan komposit yang diperkuat serat tanpa perlakuan menunjukkan adanya *fiber pull out* [24].

Abu bakar di tahun 2013 melakukan penelitian mengenai komposit polipropilena dengan serat kayu (*fibre wood*) dapat digunakan sebagai pengganti bahan komposit konvensional yang mahal dan kurang bersahabat dengan lingkungan. Komposit polipropilena dengan penguat serat kayu mempunyai kelemahan, seperti: adhesi antarmuka yang rendah, keseimbangan *impact* yang rendah, dispersi serat tidak homogen dan rentan terhadap air. Hal ini dapat diatasi dengan pemakaian *coupling agent* seperti asam maleat anhidrat, isosianat, silena dan lain-lain. Menghasilkan penelitian yaitu komposisi *optimum fibre recovery* (FR) sebagai penguat komposit termoplastik polipropilena (PP) yang diperoleh adalah 10% dengan kekuatan tarik 17,7 MPa. Dengan penambahan asam maleat anhidrat (MAH) sebagai *coupling agent* diperoleh komposisi *fibre recovery* (FR) yang optimum adalah 40% dengan kekuatan tarik 20,9%. Sedangkan dengan penambahan inisiator benzoil peroksida (BPO) diperoleh komposisi *fibre recovery* (FR) yang optimum adalah 30% dengan kekuatan tarik 24,0 MPa. Dan penambahan *coupling agent* asam maleat anhidrat (MAH) mempengaruhi

perubahan adhesi antar muka antara serat dengan matriks sehingga dispersi serat lebih merata dan kompatibel. Sifat mekanik komposit menunjukkan peningkatan dengan penambahan coupling agent dan semakin baik dengan bantuan inisiator benzoil peroksida (BPO). Secara umum, kekuatan tarik komposit polipropilen (PP) dengan pengisi *fibre recovery* (FR) menurun jika dibandingkan dengan polipropilen (PP) murni dari 28,4 MPa menjadi 17,7 MPa. Namun dengan penambahan aditif asam meletat anhidrat (MAH) dan bantuan inisiator benzoil peroksida (BPO) dapat ditingkatkan menjadi 24,0 MPa. Uji *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) membuktikan bahwa komposit PP-FR-MAH-BPO dapat kompatibel secara fisika dan kimia. Dari uji *Differential Thermal Analysis* (DTA) menunjukkan kelebihan bahan ini yakni lebih mudah terdekomposisi di alam [25].

Sunardi di tahun 2013 melakukan penelitian tentang sintesis dan karakterisasi biokomposit polipropilena bekas dengan alang-alang (*Imperata cylindrica*) sebagai agen penguat/*reinforcement*. Pembuatan biokomposit dilakukan dengan mencampurkan serbuk alang-alang kering dengan polipropilena bekas dengan variasi berat serbuk alang-alang sebesar 0, 10, 20 dan 30% dari berat polipropilena bekas. Biokomposit yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer infra merah (FTIR) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Pengujian terhadap sifat fisik dan mekanik biokomposit yang dihasilkan meliputi uji kerapatan, kadar air, porositas, modulus elastisitas (MOE) dan modulus patah (MOR). Berdasarkan hasil karakterisasi dengan menggunakan FTIR, SEM dan uji sifat fisis (kerapatan, kadar air dan porositas) serta uji mekanis (modulus elastisitas dan modulus patah) menunjukkan bahwa biokomposit yang dihasilkan dengan penambahan 10% biomassa alang-alang dapat memperbaiki karakteristik dari komposit polipropilena daur ulang tanpa penguat dengan nilai MOE dan MOR yakni 8818,34 kg/cm² dan 126,98 kg/cm² [26].

Penelitian terhadap pengaruh perlakuan alkali dan *silane* terhadap kekuatan komposit kenaf-*polypropylene* juga dilakukan oleh Asumani di tahun 2012. Pada penelitian ini mat serat kenaf direndam pada larutan NaOH 1% - 8% dan larutan *silane* dengan konsentrasi 1% selama 24 jam pada suhu ruang. Komposit dengan

perlakuan 5% NaOH memiliki kekuatan tarik tertinggi. Ketika kadar NaOH lebih tinggi dari 6% kekuatan komposit menurun karena adanya degradasi pada selulosa. Perlakuan NaOH pada serat kenaf meningkatkan kekuatan serat tersebut [27].

Edeerozey di tahun 2007 menyatakan bahwa pada *unit break* (UB) serat kenaf dengan perlakuan NaOH 6% lebih tinggi dari tanpa perlakuan NaOH. Pada perlakuan NaOH 9%, *unit break* serat kenaf menurun hingga lebih kecil dari tanpa perlakuan. Penurunan kekuatan ini terjadi karena kerusakan pada serat yang diakibatkan oleh terlalu tingginya konsentrasi NaOH [28].

Yuhazri di tahun 2011 melakukan penelitian tentang pengaruh lamanya perendaman dan konsentrasi NaOH terhadap kekuatan komposit kenaf - poliester. Variasi lamanya perendaman adalah 12 jam dan 24 jam. Proses pembuatan komposit menggunakan proses *vacuum infusion*. Hasil penelitian menunjukkan kekuatan tarik komposit tertinggi pada perlakuan NaOH 6% dengan lamanya perendaman 12 jam. Pada waktu perendaman 24 jam, terjadi kerusakan pada selulosa karena terlalu lamanya waktu perendaman [29].

Henry Febryanto di tahun 2013 melakukan penelitian tentang temperatur barrel dan campuran polipropilen dengan serbuk arang kayu dengan perbandingan campuran polipropilen dengan serbuk arang kayu yaitu: 80%:20%; 70%:30% dan 60%:40%. Penelitian ini dilakukan di laboratorium uji bahan dan bengkel produksi, jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang. Dari hasil penelitian didapat bahwa semakin tinggi temperatur barrel maka semakin rendah nilai kekuatan impaknya. Hal ini disebabkan pada saat temperatur *barrel* mencapai 200°C, viskositas yang dihasilkan lebih rendah sehingga udara yang masuk kedalam *barrel* ikut terdorong kedalam rongga cetakan yang mengakibatkan timbul *void* pada spesimen uji impak. Namun, pada penggunaan temperatur *barrel* dari 180°C–190°C, kekuatan impak yang dihasilkan semakin meningkat meskipun masih adanya *void* pada spesimen. Selain itu, semakin tinggi komposisi serbuk arang kayu semakin rendah nilai kekuatan impaknya. Hal ini disebabkan pada saat komposisi serbuk arang kayu 40%, *polypropylene* sebagai pengikat tidak dapat mengikat keseluruhan serbuk arang kayunya, sehingga spesimen menjadi rapuh.

Disimpulkan bahwa Pada penelitian dengan menggunakan komposisi polipropilen (PP) dan *filler* serbuk arang kayu, variabel bebas yang paling tepat untuk mendapatkan kekuatan impak tertinggi adalah pada variabel temperatur *barrel* 190°C dengan komposisi serbuk arang kayu 20% dengan nilai kekuatan impak 6,411 J/mm². Sedangkan nilai terendah yang terjadi pada variabel temperatur *barrel* 200°C dengan komposisi serbuk arang kayu 40% dengan nilai kekuatan impak sebesar 1.602 J/mm² [30]

Purwanto di tahun 2014 melakukan penelitian mengenai perlakuan kimia terhadap karakterisasi morfologi dan struktur mikro telah dilakukan untuk mempelajari karakteristik serat kenaf sebelum dan setelah perlakuan kimia *scouring* dan *bleaching*. Proses *scouring* serat kenaf dilakukan dengan larutan 6% NaOH sedangkan proses *bleaching* dilakukan dengan larutan 10 g/L NaOH dan 100 mL/L H₂O₂. Masing-masing proses diulang hingga 3 kali dengan pengadukan kontinu menggunakan magnetic stirrer. Penggunaan alat yang digunakan yaitu *fourier tranform infrared* (FTIR) spectroscopy digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsional dalam serat. Sementara itu, karakterisasi morfologi dan strukturmikro serat dilakukan dengan *scanning electron microscopy* (SEM). Proses *bleaching* menunjukkan bahwa gugus fungsional yang teridentifikasi sama dengan yang dimiliki selulosa murni, yaitu -CH₂, C-O, C=C, -CH₃, C≡C, dan -OH, C-H. Serat kenaf mentah (bagian tengah) dengan diameter antara 100-150µm terurai (terfibrilasi) menjadi serat yang lebih kecil setelah proses *scouring* (diameter: ~15µm) dan *bleaching* (diameter: ~8 µm). Hasil dilihat secara morfologi bahwa kekasaran permukaan serat cenderung meningkat setelah *scouring* dan kemudian menurun setelah *bleaching*. Dengan demikian, *scouring* dan *bleaching* secara signifikan telah menyebabkan perubahan morfologi dan strukturmikro permukaan serat. Karakterisasi morfologi dan strukturmikro serat kenaf akibat perlakuan kimia menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) menghasilkan beberapa efek. Serat kenaf mentah disebut sebagai *microfiber* yang memiliki diameter rata-rata 100µm. Proses *scouring* dengan NaOH mengakibatkan tingkat kekasaran permukaan yang lebih tinggi akibat terurainya komponen non-selulosa. Setelah itu, penambahan

H₂O₂ pada proses *bleaching* mampu meningkatkan kecerahan serat dan juga memperkecil ukuran diameter serat hingga ~8 µm. Secara umum, perlakuan kimia yang diberikan pada serat kenaf tidak merusak struktur serat (ikatan kimia penyusunnya) dan mampu menghilangkan komponen nonselulosa yang ada pada serat (pembungkus selulosa) [31].

Kord di tahun 2011 dalam penelitiannya didapatkan hasil peningkatan kekuatan yang cukup signifikan antara komposit tanpa *coupling agent* dan dengan *coupling agent*. Peningkatan ini disebabkan oleh penyebaran serat yang lebih seragam yang dihasilkan dari peningkatan kemampuan ikatan serat dan matriks dengan meningkatnya kandungan *coupling agent* yang menghasilkan pergerakan yang lebih seragam dari tegangan yang ditimpakan dan membutuhkan lebih banyak energi untuk *debonding* serat. Selanjutnya *pull out* serat pada komposit disebabkan oleh kegagalan impak pada komposit [32].

Prabowo di tahun 2008 dalam penelitiannya menyebutkan bahwa salah satu jenis komposit yaitu komposit *woven fabric* (komposit serat anyam). Anyaman serat pada mulanya yang dibuat hanya 2 dimensi (2D), tetapi kini telah dikembangkan juga anyaman dengan anyaman 3 dimensi (3D *woven*). Berkat anyaman ini, delaminasi yang terjadi akibat benturan/impak dapat ditekan sampai minimal sehingga kerusakan akan terpusat pada satu titik saja dan tidak menyebar. Anyaman serat mempunyai harga kekuatan tertentu sesuai dengan anyamannya tersebut. Dalam sebuah penelitian, dari empat jenis anyaman serat, jenis AI (*Through-Thickness Angle Interlock*) memiliki kekuatan yang paling besar [33].

Achmad Nurhidayat di tahun 2013 melakukan penelitian tentang pengaruh fraksi *volume* terhadap sifat mekanik dan fisik komposit *high density polypropylene* (HDPE) Limbah-*cantula* yaitu densitas, kekuatan *bending*, kekuatan impak dan jenis perekat optimal *laminat* (laminasi komposit). Material komposit terdiri atas serbuk *high density polypropylene* (HDPE) limbah sebagai matrik dan serat *cantula* sebagai penguat. Variasi fraksi *volume* serbuk *high density polypropylene* (HDPE) dari 10% hingga 90%. Spesimen dicetak dengan cetak tekan *hot press* pada tekanan 30 bar, temperatur 120°C dan waktu *sintering* 10 menit. Sifat fisik dan mekanik komposit diketahui dengan melakukan uji

bending, impak dan geser berturut-turut menurut ASTM D-6272, ASTM D-5941 dan ASTM D-1037. Hasil penelitian komposit *high density polypropylene* (HDPE)-*cantula* menunjukkan semakin tinggi fraksi *volume* serat *cantula* akan menurunkan densitas komposit. Fraksi *volume high density polypropylene* (HDPE) limbah 10%-90% akan menurunkan densitas komposit rata-rata 10,86%. Densitas tertinggi ditemukan pada fraksi *volume* serat 10% sebesar 457,50 kg/m³ dan yang terendah pada fraksi *volume* serat 90% sebesar 167,42 kg/m³. Tegangan *bending* dan kekuatan impak mengalami peningkatan pada fraksi *volume high density polypropylene* (HDPE) limbah 10% sampai dengan 40% dan kekuatan menurun pada fraksi *volume* serat *high density polypropylene* HDPE limbah 50% sampai dengan 90%. Tegangan *bending* dan kekuatan impak tertinggi dimiliki fraksi *volume* serat *cantula* pada 40% masing-masing sebesar 31,02 MPa dan 4996 J/m². Tegangan geser *laminat* paling tinggi dimiliki oleh perekat jenis epoksi sebesar 4,09 MPa [34].

Ahmad Aditiya di tahun 2015 melakukan penelitian tentang *polypropylene* (PP) sampah yang digunakan untuk pembuatan konstruksi perahu alumunium. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: dalam melakukan pembuatan komposit daur ulang limbah plastik *polypropylene* pada pelapisan alumunium dengan fraksi *volume* antara matrik dan penguat yaitu : 64:0:36 (%); 54,4:9,6:36 (%); 44,8:19,2:36 (%); 35,2:28,8:36 (%); dan 25,6:38,4:36 (%), orientasi arah serat acak dan proses menggunakan tangan (*hand lay up*). Dalam mencapai nilai maksimal dari kekuatan komposit menerapkan konsep teoritis pengujian komposit dengan variasi variable dan fraksi masing-masing bahan baku komposit, guna mendapatkan pada fraksi mana komposit menempati kekuatan maksimalnya. Dalam penelitian ini kekuatan *maximal* terletak pada perbandingan fraksi 35,2 : 28,8 : 36 (%), yaitu nilai rata-rata energi *impact* (E) : 1,4118 Joule dan nilai rata-rata energi *impact* persatuan luas (W) adalah : 0,0176 (J/mm²). Dari hasil penelitian ini, bahan bekas dapat dibuat menjadi produk baru jika dimanfaatkan sebagaimana mestinya [35].

Yunanto Andi Prabowo di tahun 2015 melakukan penelitian pembuatan komposit dilakukan dengan *hot press*. Parameter pengolahan yang dipilih adalah

suhu proses 165°C, tekanan proses 50 bar dan waktu penahanan 5 menit. Variasi laju pendinginan yang dilakukan adalah pendinginan dalam *hot press*, pendinginan pada udara ruang, dan pendinginan dengan sirkulasi air. Sifat tarik material komposit diketahui dengan pengujian kekuatan tarik yang sesuai *standard* uji ASTM D 638. Daerah patahan hasil pengujian tarik diamati dengan menggunakan foto makro. Berdasarkan pada data hasil pengujian serta analisa data dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut: Kekuatan tarik tertinggi adalah pada komposit dengan perlakuan laju pendinginan 0,54°C/menit, sedangkan kekuatan tarik terendah adalah pada komposit dengan laju pendinginan 53,19°C/menit dan kekuatan tarik meningkat, sedangkan keuletan menurun dengan perlakuan laju pendinginan yang lebih lambat. Sebaliknya kekuatan menurun sedangkan keuletan meningkat dengan perlakuan laju pendinginan yang lebih cepat [36].

Subasinghe di tahun 2015 melakukan penelitian menganalisis pengurangan panjang serat retensi selama proses ekstrusi dan injeksi *molding* untuk serat kenaf pendek dan panjang komposit diperkuat *polypropylene*. Komposit yang diproduksi dengan menambahkan *maleat anhidrida polypropylene* (MAPP) dan antioksidan (*Irganox*) menggunakan *twin screw* ekstrusi dan injeksi *molding* proses. Sebuah tingkat yang lebih tinggi dari tingkat erosi serat diamati selama *twin screw compounding* dibandingkan dengan yang di *molding injection*. Selama suhu tinggi dengan pencampuran, kedua proses akan mengalami penurunan panjang serat bawah panjang serat penting yang dihitung bersama dengan cukup kerusakan serat. Sifat mekanik dan termal dari komposit yang dihasilkan yang kemudian ditandai. Tes *Cone* kalorimeter menunjukkan bahwa laju pelepasan panas puncak untuk komposit serat kenaf (30 wt %) berkurang 37% dibandingkan dengan *polypropylene* murni (PP). Dalam tes UL-94V, kehadiran lignin di kenaf menyebabkan pembentukan residu arang setelah pembakaran. Meskipun panjang serat yang diperoleh di bawah panjang serat kritis di bawah pengolahan geser tinggi (*Twin screw compounding* dan *injection molding*), dispersi serat yang efektif, orientasi dan pembukaan menyebabkan secara signifikan [37].

Komang di tahun 2014 menyelidiki pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat mekanik komposit berpenguat serat kenaf dengan matrik *polypropylene*. Mat kenaf – PP direndam pada larutan NaOH dengan konsentrasi 4, 5, 6, 7 dan 8% dengan lama perendaman 2 jam. Pembuatan komposit menggunakan *metode hot press*. Suhu pengepresan adalah 180°C selama 15 menit pada tekanan 5 bar. Sifat mekanik komposit yang diuji adalah tarik, *bending* dan *impact*. Hasil pengujian menunjukkan perlakuan 6% NaOH menghasilkan komposit dengan kekuatan tarik dan bending tertinggi sebesar 15,5 MPa dan 15,9 MPa. Kekuatan *impact* komposit menurun setelah mendapat perlakuan alkali. Kekuatan *impact* tertinggi terjadi pada komposit tanpa perlakuan alkali yaitu sebesar 34,7 KJ/m². Patahan *bending* komposit diamati menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM). Hasil pengamatan menunjukkan peningkatan kekuatan tarik dan bending disebabkan oleh ikatan serat dan matrik yang lebih baik. Kekuatan *impact* komposit menurun karena perlakuan alkali menyebabkan komposit sulit meregang sehingga bersifat getas. Kekuatan tarik dan bending komposit dibawah polipropilen (PP) murni karena parameter tekanan pengepresan dan waktu tahan yang belum maksimal [38].

Nabillah sallih di tahun 2013 melakukan penelitian mengenai studi bahan dan proses untuk mengetahui parameter pada sifat mekanik lembaran komposit diekstrusi menggunakan serat kenaf-polipropilen untuk menghasilkan komposit lembaran. Dalam pencampuran kenaf/maleat anhidrida polipropilen (MAPP)/Polipropilen granul. Pertama dilakukan yaitu memotong serat kenaf sampai ukuran 0,58 mm menggunakan pemotong *webner granulator*, kenaf dikeringkan dalam oven dengan suhu 90°C selama 2,5 hari dan polipropilen dan maleat anhidrida polipropilen (MAPP) dicampurkan secara kering menggunakan Phas-o-mec dengan intensitas pencampuran yang tinggi yaitu 21 Hz selama 1-2 menit sampai homogen lalu di masukan dalam *twin screw* ekstruder dengan hasil ketebalan lembaran keluaran yaitu 1-2mm. Didapatkan hasil bahwa penggunaan presentase serat kenaf optimum 40% berat serat dan penggunaan optimum persentase *coupling agent* yaitu 5%wt MAPP dapat menaikkan sifat mekanik kenaf-polipropilen [39].

2.2 Komposit

Bidang material komposit akhir-akhir ini terus mendapat perhatian yang serius dari para ilmuwan, sehingga hampir setiap hari produk baru maupun inovasi dan modifikasi produk yang telah ada terus bermunculan. Hal itu disebabkan material komposit diperlukan di segala bidang, seperti bidang elektronik, transportasi, kedokteran/medis, biologi dan sebagainya. Sehingga para peneliti dituntut untuk terus menghadirkan produk terbaik yang dibutuhkan di pasaran. Material komposit merupakan material yang terbentuk dari kombinasi antara dua atau lebih material pembentuknya melalui pencampuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Jadi komposit adalah perpaduan dari bahan yang dipilih berdasarkan sifat masing-masing bahan penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampur dan terjadi ikatan permukaan masing-masing material penyusun. Berdasarkan definisi tersebut maka kondisi ikatan permukaan sangat berpengaruh terhadap kekuatan komposit.

Menurut Matthews di tahun 1993, komposit itu merupakan suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya [40]. Material komposit mempunyai sifat dari material konvensional pada umumnya dari proses pembuatannya melalui pencampuran yang tidak homogen, sehingga kita leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan jalan mengatur komposisi dari material pembentuknya. Komposit merupakan sejumlah sistem multi fasa sifat dengan gabungan, yaitu gabungan antara bahan matriks atau pengikat dengan penguat.

Persyaratan dasar kekuatan komposit terletak pada kekuatan antar muka matrik dan penguat. Ikatan antar muka inilah yang menjadi jembatan transmisi tegangan luar yang diberikan dari matrik menuju partikel penguat. Jika ikatan antarmuka terjadi dengan baik maka transmisi tegangan ini dapat berlangsung dengan baik pula. Material komposit tersusun atas 2 (dua) bagian yang berbeda

yaitu matrik dan penguat. Matrik merupakan fasa utama dan kontinu, berfungsi menahan fasa penguat dan meneruskan beban. Sedangkan penguat merupakan fasa kedua dan diskontinu yang dimasukkan kedalam matrik. Material komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus daripada logam, memiliki kekuatan bisa diatur yang tinggi (*tailorability*), memiliki kekuatan lelah (*fatigue*) yang baik, memiliki kekuatan jenis (*strength/weight*) dan kekakuan jenis (*modulus Young/density*) yang lebih tinggi daripada logam, tahan korosi, memiliki sifat isolator panas dan suara serta dapat dijadikan sebagai penghambat listrik yang baik dan dapat juga digunakan untuk menambal kerusakan akibat pembebanan dan korosi.

Penjelasan lain tentang komposit juga diutarakan buku *Natural Fibre Composites*, oleh Van Rijswijk, M.Sc di tahun 2001 mengenai komposit bahan hibrida yang terbuat dari resin polimer diperkuat dengan serat, menggabungkan sifat-sifat mekanik dan fisik [41].

Ada tiga faktor yang menentukan sifat-sifat dari material komposit, yaitu:

1. Material pembentuk. Sifat-sifat intrinsik material pembentuk memegang peranan yang sangat penting terhadap pengaruh sifat kompositnya.
2. Susunan struktural komponen. Dimana bentuk serta orientasi dan ukuran tiap-tiap komponen penyusun struktur dan distribusinya merupakan faktor penting yang memberi kontribusi dalam penampilan komposit secara keseluruhan.
3. Interaksi antar komponen. Karena komposit merupakan campuran atau kombinasi komponen-komponen yang berbeda baik dalam hal bahannya maupun bentuknya, maka sifat kombinasi yang diperoleh pasti akan berbeda.

Secara umum material komposit tersusun dari dua komponen utama yaitu matrik (bahan pengikat) dan *filler* (bahan pengisi). *Filler* adalah bahan pengisi yang digunakan dalam pembuatan komposit, biasanya berupa serat atau serbuk. Sedangkan matrik dalam struktur komposit bisa berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik. Matrik secara umum berfungsi untuk mengikat serat menjadi satu struktur komposit [42].

2.3 Komponen Penyusun Komposit

Secara umum material komposit tersusun dari dua komponen utama yaitu matriks (bahan pengikat) dan *filler* (bahan pengisi). *Filler* adalah bahan pengisi yang digunakan dalam pembuatan komposit, biasanya berupa serat atau serbuk. Sedangkan matrik dalam struktur komposit bisa berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik. Matrik secara umum berfungsi untuk mengikat serat menjadi satu struktur komposit dengan bantuan bahan penunjang yaitu *coupling agent* [43].

2.3.1 Matriks

Matriks berfungsi untuk menjaga *reinforcement* agar tetap pada tempatnya di dalam struktur, membantu distribusi beban, melindungi filamen di dalam struktur, mengendalikan sifat elektrik dan kimia dari komposit, serta membawa regangan interlaminer. Matriks yang paling umum dipakai adalah logam, keramik dan polimer, baik polimer termoset, maupun polimer termoplastik. Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matriks polimer biasanya digunakan dalam pembuatan komposit.

Menurut Gibson di tahun 1994, bahwa matrik dalam struktur komposit dapat berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik. Syarat pokok matrik yang digunakan dalam komposit adalah matrik harus bisa meneruskan beban, sehingga serat harus bisa melekat. Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu [44]:

1. Penguat (*reinforcement*), yang mempunyai sifat kurang *ductile* tetapi lebih *rigid* serta lebih kuat.
2. Matrik, umumnya lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah.

Pada material komposit sifat unsur pendukungnya masih terlihat dengan jelas, sedangkan pada *alloy* paduan sudah tidak kelihatan lagi unsur-unsur pendukungnya. Salah satu keunggulan dari material komposit bila dibandingkan dengan material lainnya adalah penggabungan unsur-unsur yang unggul dari masing-masing unsur pembentuknya tersebut. Sifat material hasil penggabungan ini diharapkan dapat saling melengkapi kelemahan-kelemahan yang ada pada

masing-masing material penyusunnya.

Sifat-sifat yang dapat diperbaharui antara lain [45] :

- a. kekuatan (*strength*).
- b. ketahanan korosi (*corrosion resistance*).
- c. ketahanan gesek/aus (*wear resistance*).
- d. berat (*weight*).
- e. ketahanan lelah (*fatigue life*).
- f. Meningkatkan konduktivitas panas.
- g. Tahan lama.

Secara alami kemampuan tersebut, tidak ada semua pada waktu yang bersamaan. Sekarang ini perkembangan teknologi komposit mulai berkembang dengan pesat. Komposit sekarang ini digunakan dalam berbagai variasi komponen antara lain untuk otomotif, pesawat terbang, pesawat luar angkasa, kapal dan alat-alat olah raga seperti ski, *golf*, raket tenis dan lain-lain, Pada matrik dan kompatibel antara serat dan matrik. Umumnya matrik dipilih yang mempunyai ketahanan panas yang tinggi [46].

Matrik yang digunakan dalam komposit adalah harus mampu meneruskan beban sehingga serat harus bisa melekat pada matrik dan kompatibel antara serat dan matrik artinya tidak ada reaksi yang mengganggu. Menurut Diharjo, pada bahan komposit matrik mempunyai kegunaan yaitu sebagai berikut [47]:

1. Matrik memegang dan mempertahankan serat pada posisinya.
2. Pada saat pembebanan, merubah bentuk dan mendistribusikan tegangan ke unsur utamanya yaitu serat.

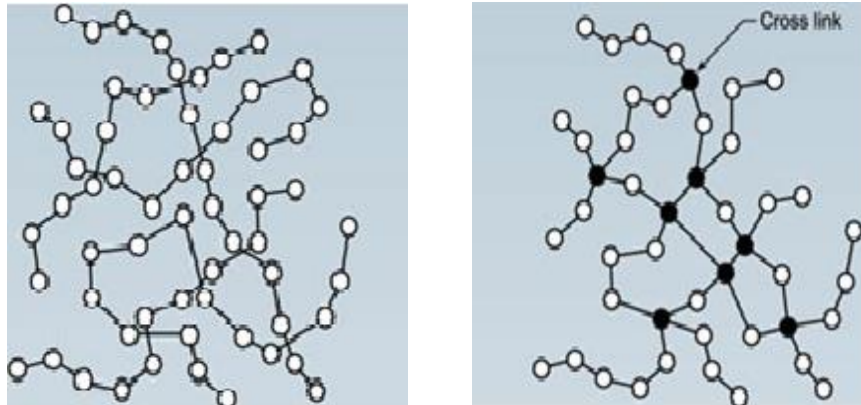
Berdasarkan sifat terhadap pemanasan matriks polimer dibedakan menjadi 2 yaitu [48]:

1) Termoplastik

Termoplastik adalah polimer yang bersifat kenyal atau jika dipanaskan akan meleleh, akan mengeras jika didinginkan dan dapat dibentuk menurut pola yang diinginkan melalui pemanasan ulang. Setelah dingin, polimer menjadi keras dan kehilangan sifat kekenyalannya. Contoh : polietilen, PVC, seluloid, polistiren, polipropilen, asetal, vinil, nilon dan *Perspex*.

2) Termoset

Polimer termoset adalah polimer yang apabila dipanaskan bersifat kenyal saat dipanaskan, tetapi setelah dingin tidak dapat dilunakkan kembali. Jika pecah, polimer tersebut tidak dapat disambungkan kembali dengan pemanasan. Contoh : bakelit, uretana, epoksi, polyester, *phenol formaldehyde* dan formika.



(a) Termoplastik

(b) Termoset

Gambar 2.1 Perbedaan Struktur Rantai Cabang Termoset dan Termoplastik

*Sumber: Supardi, 2011

Dijelaskan bahwa struktur (a) Termoplastik terdiri dari rantai panjang yang dihasilkan oleh penggabungan monomer. Polimer ini diperlunak dan dibentuk dengan aliran viskous pada temperatur tinggi sifatnya fleksibel. (b) Termoset: terdiri dari rantai panjang yang mempunyai struktur *cross-linked*, yaitu polimer yang terbentuk karena beberapa rantai polimer saling berikatan satu sama lain pada rantai utamanya. Jika sambungan silang terjadi ke berbagai arah maka akan terbentuk sambung silang tiga dimensi yang sering disebut polimer jaringan memiliki Sifat : lebih rigid, kuat tetapi getas dibanding bahan termoplastik

Tabel 2.1 Sifat Dan Kegunaan Polimer*

No. Polimer	Monomer	Sifat	Kegunaan
1. Polieten	Etilen	Lentur	Botol semprot, tas plastik, kabel, ember, tempat sampah dan film plastik
2. Polipropilen	Propilen	Keras dan titik leleh tinggi	Karpet, tali dan wadah plastik
3. Polivinil klorida	Vinil klorida	Kaku dan keras	Pipa air dan pipa kabel listrik
4. Polistirena Polifenil etena	Fenil etena	Tahan terhadap tekanan tinggi	Plastik pada kendaraan dan pesawat terbang, genting <i>etc</i>
5. Poliamida (nilon)	Asam adipat dan heksametilen diamine	Kuat (tidak cepat rusak) dan halus	Pakaian, peralatan camping, laboratorium, rumah tangga, dapur, parasut, layar perahu
6. PolitetrafluoroEtena (PTFE) atau Teflon	Tetrafluoro etena	Keras, kaku, tahan panas dan bahan kimia	Pelapis dan wajan anti lengket
7. Bakelit	Formaldehid dan fenol	Termoset	Peralatan listrik (saklar), perlengkapan radio, telepon, kamera, piring, dan gelas

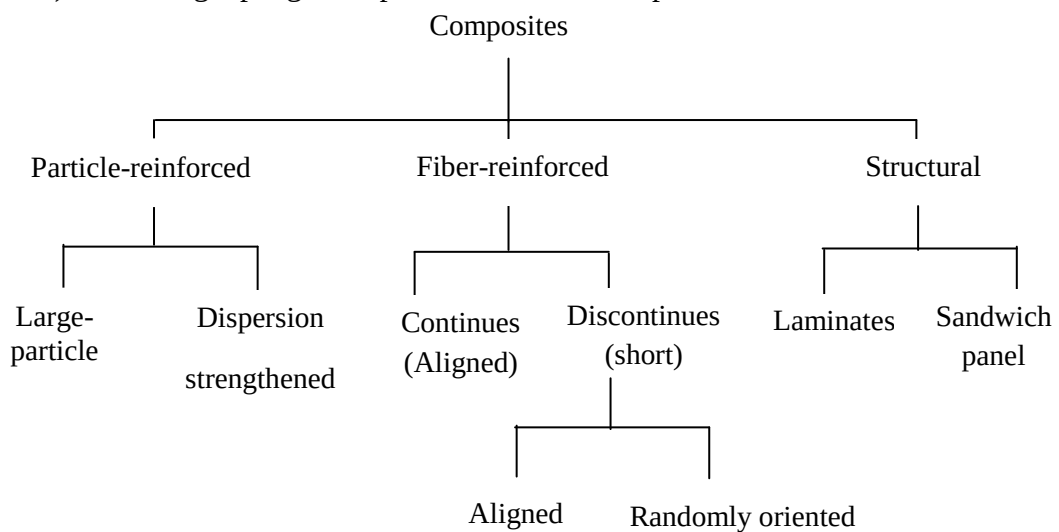
* Sumber: Supardi, 2011

2.3.2 Reinforcement atau Filler

Salah satu bagian utama dari komposit adalah *reinforcement* (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit. Semakin kecil bahan (diameter *filler* mendekati ukuran kristal) maka semakin kuat bahan tersebut, karena minimnya cacat pada material. *Reinforcement* juga berfungsi sebagai penguat atau kerangka darisuatu komposit. Biasanya *reinforcement* ini berupa fiber atau logam yang memiliki fase diskontinyu. Berikut ini adalah beberapa *reinforcement* yang paling banyak digunakan antara lain: *fiber glass*, kertas, katun atau linen, fiber organik, aramid dan lain-lain. *Filler* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari sumber hayati yaitu tanaman kenaf.

2.4 Klasifikasi Material Komposit

Berdasarkan penguatan yang digunakan, material komposit dapat dibagi atas tiga kelas, yaitu: (1) komposit serat (*fibrous composites*), (2) komposit partikel (*particulate composites*), dan (3) structural (lihat Gambar 1). Komponen komposit terdiri dari matriks (bahan pengikat) yang berjenis *metal matrix composites* (MMC), *ceramic matrix composites* (CMC), dan *polymer matrix composites* (PMC); dan sebagai penguat dapat berupa serat atau partikel atau struktur.



Gambar 2.2 Klasifikasi Komposit*

*Sumber : Calister, 2000

Gambar 2.2 di atas material komposit dapat digolongkan ke dalam jenis berdasarkan struktur penguatnya yaitu: a) *Particle reinforced* merupakan jenis Komposit yang menggunakan partikel/butiran sebagai *filler* (pengisi). Partikel berupa logam atau non logam dapat digunakan sebagai *filler*. Partikel *filler* sebagai penguat dalam komposit dibedakan berdasarkan besar kecilnya ukuran juga dispersinya di dalam komposit itu sendiri. b) *Fiber-reinforced* (komposit serat) merupakan komposit yang terdiri dari dua komponen penyusun yaitu matriks dan serat. Serat yang ada di dalam komposit ini dapat berupa serat *continue* lurus memanjang atau secara *discontinue* dengan orientasi teratur maupun acak dan c) *Structural Composite*, komposit ini terdiri dari sekurang-kurangnya dua material berbeda yang direkatkan bersama-sama. Proses pelapisan dilakukan dengan mengkombinasikan aspek terbaik dari masing-masing lapisan

untuk memperoleh bahan yang berguna.

2.4.1 Komposit Serat (*Fiber Composite*)

Komposit serat merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguat. Dimana komposit yang terdiri dari serat dan bahan dasar yang diproduksi secara fabrikasi, misalnya serat + resin sebagai bahan perekat, sebagai contoh adalah FRP (*Fiber Reinforce Plastic*) plastik diperkuat dengan serat dan banyak digunakan, yang sering disebut *fiber glass*. Serat yang digunakan biasanya berupa serat gelas, serat karbon, serat aramid, serat alam dan sebagainya. Serat ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.

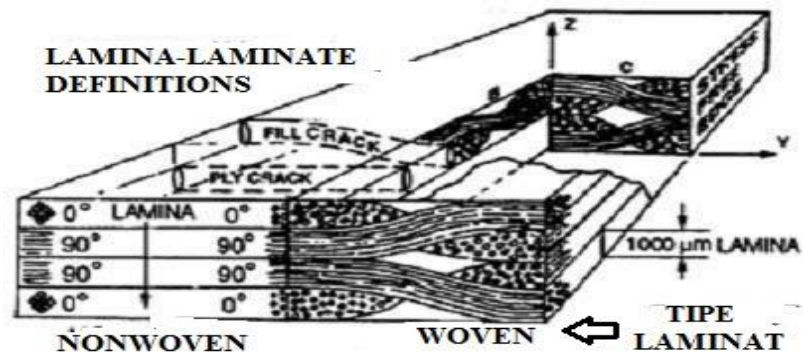
Komposit yang diperkuat dengan serat dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu:

- a. Komposit serat pendek (*short fiber composite*)
- b. Komposit serat panjang (*long fiber composite*)

2.4.2 Komposit Laminat (*Laminated Composite*)

Komposit laminat merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabungkan menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik khusus. Komposit laminat ini terdiri dari empat jenis yaitu komposit serat kontinyu, komposit serat anyam, komposit serat, acak dan komposit serat hibrid. Proses pembentukan *lamina* menjadi *laminat* dinamakan proses *la-minai*. Sebagai elemen dari sebuah struktur, *lamina* yang serat penguatnya searah saja (*unidirectional lamina*) pada umumnya tidak menguntungkan karena memiliki sifat yang buruk. Untuk itulah struktur komposit dibuat dalam bentuk *laminat* yang terdiri dari beberapa macam lamina atau lapisan yang diorientasikan dalam arah yang diinginkan dan digabungkan bersama sebagai sebuah unit struktur.

Mikrostruktur lamina dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut ini:



Gambar 2.3 Mikrostruktur Lamina*

*Sumber : Courtney, 1999

Menurut Courtney, 1999 terdapat beberapa lamina, yaitu [49]:

A). *Continuous fiber laminate*, laminajenis ini mempunyai lamina penyusun dengan serat yang tidak terputus hingga mencapai ujung-ujung lamina. *Continuous fiber laminate* terdiri dari :

1. *Unidirectional laminate* (satu arah), yaitu bentuk *laminate* dengan tiap lamina mempunyai arah serat yang sama. Kekuatan terbesar dari komposit lamina ini adalah arah seratnya.
2. *Crossplied quasi-isotropic* (silang) lamina ini mempunyai susunan serat yang saling silang tegak lurus satu sama lain antara lamina.
3. *Random/woven fiber composite*, lamina ini mempunyai susunan serat yang tidak beraturan satu sama lain.

B). *Discontinuous fiber composite*, berbeda dengan jenis sebelumnya maka *laminate* ini pada masing-masing lamina terdiri dari potongan serat pendek yang terputus dan mempunyai dua jenis yaitu:

1. *Short Aligned Fiber*, potongan serat tersusun dalam arah tertentu, sesuai dengan keperluan setiap lamina.
2. *In-Plane Random Fiber*, potongan serat disebarkan secara acak atau arahnya tidak teratur.

2.4.3 Komposit Partikel (*Particulated Composite*)

Komposit partikel merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriks. Komposit yang terdiri dari partikel dan matriks yaitu butiran (batu, pasir) yang

diperkuat semen yang kita jumpai sebagai beton, senyawa kompleks ke dalam senyawa kompleks. Komposit partikel merupakan produk yang dihasilkan dengan menempatkan partikel-partikel dan sekaligus mengikatnya dengan suatu matriks bersama-sama dengan satu atau lebih unsur-unsur perlakuan seperti panas, tekanan, kelembaban, katalisator dan lain-lain. Komposit partikel ini berbeda dengan jenis serat acak sehingga bersifat isotropis. Kekuatan komposit serat dipengaruhi oleh tegangan koheren di antara fase partikel dan matriks yang menunjukkan sambungan yang baik. Pada umumnya komposit mengandung serat, baik serat pendek maupun serat panjang yang dibungkus dengan matriks. Fungsi daripada serat adalah menahan bahan yang diberikan sedang fungsi matriks adalah membungkus serat sekaligus melindunginya dari kerusakan baik mekanis maupun kimia. Selain daripada itu matriks mendistribusikan beban kepada serat. Jenis-jenis serat dan contoh bahannya yang dapat digunakan sebagai penguat pada material komposit secara umum yaitu :

1. Serat Organik, contoh : Selulosa, Polypropilena, High Modulus Polythylena, Grafit Karbon, Sabut Kelapa, Ijuk, Sabut Kelapa Sawit dan lain-lain.
2. Serat Anorganik, contoh : Asbes, Gelas, Metal, Keramik, Boron dan lain-lain. Aplikasi dan pemakaian bahwa komposit yang diperkuat dengan serat secara luas dipakai industri otomotif, industri kapal terbang, industri kapal laut, peralatan militer dan industri perabotan rumah tangga. Hal ini menunjukkan perkembangan pesat dari material komposit, karena mempunyai sifat yang lebih unggul, antara lain sebagai isolator yang baik. Ketahanannya baik terhadap air dan zat kimia. Dengan demikian bahan komposit tidak dapat berkarat, anti rayap dan tahan lembab. Bahan komposit alam umumnya berharga murah. Bahan komposit termasuk bahan yang ringan dan kuat.

2.4.4 Komposit Serpihan (*Flake Composite*)

Pengertian dari serpihan adalah partikel kecil yang telah ditentukan sebelumnya yang dihasilkan dalam peralatan yang khusus dengan orientasi serat sejajar permukaannya. Komposit serpihan terdiri atas serpihan-serpihan yang saling menahan dengan mengikat permukaan atau dimasukkan ke dalam matriks. Sifat- sifat khusus yang dapat diperoleh dari serpihan adalah bentuknya besar dan

datar sehingga dapat disusun dengan rapat untuk menghasilkan suatu bahan penguat yang tinggi untuk luas penampang lintang tertentu. Pada umumnya serpihan-serpihan saling tumpang tindih pada suatu komposit sehingga dapat membentuk lintasan fluida ataupun uap yang dapat mengurangi kerusakan mekanis karena penetrasi atau perembesan.

2.4.5 Komposit Rangka (Komposit Terisi)

Komposit rangka (komposit terisi) yang terdiri dari matriks rangka yang terisi dengan bahan kedua. Komposit dapat dibagi berdasarkan sifat dan dimensi tersebarannya yaitu:

Mikrokomposit

Dimensi ukuran partikel penyusun mikrokomposit memiliki ukuran antara 10^{-8} - 10^{-6} m. Mikrokomposit ini dapat dibagi atas tiga bagian berdasarkan ukuran dan bentuk tersebarannya yaitu:

- 1). Mikrokomposit menggunakan penguat sebaran.
- 2). Mikrokomposit menggunakan penguat partikel.
- 3). Mikrokomposit menggunakan penguat serat.

Makrokomposit

Biasanya dimensi ukuran partikel penyusun makrokomposit memiliki ukuran di atas 10^{-6} m. Bahan komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur, yaitu matriks yang berfungsi sebagai pengikat serat dan serat yang berfungsi sebagai penguat. Matriks harus memiliki kecocokan yang baik dengan serat. Beberapa jenis matriks polimer yang sering digunakan ialah matriks termoset (polyester, epoxy, phenolics, dan polyamids) dan matriks termoplastik (*polyethylene*, *polypropylene*, nilon, *polycarbonate* dan *polyether-ether keton*) [50].

2.5 Komposit Serat

Serat alam merupakan alternatif filler komposit untuk berbagai komposit polimer karena keunggulannya dibanding serat sintetis. Serat alam mudah didapatkan dengan harga yang murah, mudah diproses, densitasnya rendah, ramah lingkungan dan dapat diuraikan secara biologi. Akhir-akhir ini, pemanfaatan serat alam sebagai *filler* komposit telah diaplikasikan secara komersial di berbagai

bidang seperti bidang otomotif dan konstruksi. Serat secara umum terdiri dari dua jenis yaitu serat alam dan serat sintetis. Serat sintetis mempunyai beberapa kelebihan yaitu sifat dan ukurannya yang relatif seragam, kekuatan serat dapat diupayakan sama sepanjang serat. Serat sintetis yang telah banyak digunakan antara lain serat gelas, serat karbon, *kevlar*, *nylon* dan lain-lain [51]. Serat alam adalah serat yang dapat langsung diperoleh dari alam yang diperoleh dari tumbuh-tumbuhan dan binatang. Serat alam yang banyak digunakan oleh manusia diantaranya adalah kapas, wol, sutera, pelepah pisang, sabut kelapa, ijuk, bambu, nanas, rami, kenaf dan serat *cantula*. Serat alam memiliki kelemahan yaitu ukuran serat yang tidak seragam dan kekuatan serat sangat dipengaruhi oleh usia.

Komposit serat mempunyai banyak keunggulan, sehingga paling banyak dipakai bahan produk. Bahan komposit serat terdiri dari dua macam, yaitu serat panjang (*continuos fiber*) dan serat pendek (*short fiber* atau *whisker*). Penggunaan bahan komposit serat efisien dalam menerima beban dan gaya apabila dibebani serat searah, sebaliknya sangat lemah jika dibebani dalam arah tegak lurus serat.

Komposit serat pendek dengan orientasi yang benar akan menghasilkan kekuatan yang lebih besar, apabila dibandingkan *continous fiber*. Hal ini karena dapat diproduksi dengan cacat permukaan yang rendah, sehingga kekuatannya dapat mencapai kekuatan teoritisnya. Faktor yang mempengaruhi variasi panjang serat *chopped fiber composites* adalah *critical length* (panjang kritis) yaitu panjang serat minimum pada diameter serat yang dibutuhkan terhadap tegangan, untuk mencapai tegangan saat patah yang tinggi [52].

2.5.1 Keunggulan Serat Alam

Kelebihan serat alam jika digunakan sebagai penguat dalam matriks polimer antara lain: berat jenisnya yang rendah sehingga akan menghasilkan komposit yang ringan dan kompetitif pada sifat mekaniknya, *renewable* dan tersedia dalam jumlah yang melimpah, investasi yang lebih murah, proses produksi yang lebih ramah lingkungan, tidak abrasif pada mesin, tidak membuat iritasi, dapat didaur ulang, *biodegradable*, bahan akustik serta isolasi panas yang baik dan *non foodgrade*. Jika dibakar sempurna akan menghasilkan gas CO₂ dan H₂O [53].

Serat alam sebagai *filler* komposit polimer mulai banyak digunakan sebagai pengganti *filler* sintetik dalam kehidupan sehari-hari, mengingat serat alam ini mempunyai banyak kelebihan dibanding serat buatan. Kelebihan-kelebihan utama menggunakan serat alam sebagai *filler* yaitu densitasnya rendah, mudah diuraikan alam, sehingga menghasilkan sifat kekakuan yang tinggi, tidak mudah patah, jenis dan variasinya banyak, hemat energi dan murah [54].

Terdapat beberapa alasan menggunakan serat alam sebagai penguat komposit, diantaranya sebagai berikut: lebih ramah lingkungan dan *biodegradable* dibandingkan serat sintetik, massa jenis serat alam lebih kecil. Pada beberapa jenis serat alam mempunyai rasio berat modulus lebih baik dari serat *E-glass*. Komposit serat alam mempunyai daya redam akustik lebih tinggi dibanding komposit serat glass dan serat karbon dan serat alam lebih ekonomis dibanding serat glass dan serat karbon [55]. Kenaf merupakan salah satu tanaman semusim penghasil serat selain tanaman sejenis lainnya seperti rami, rosella, dan yute. Serat yang dihasilkan merupakan serat alam yang ramah lingkungan. Serat kenaf biasa digunakan untuk industri karung goni, interior mobil, *fiber drain*, *soil safer*, *geo textile*, *pulp* dan kertas.

Sejak tahun 1978, kenaf dikenal masyarakat Indonesia melalui program Iskara (Intensifikasi serat karung rakyat). Pada saat itu PTPN XVII ditunjuk oleh pemerintah sebagai pengelola dengan wilayah meliputi Jawa Tengah, Jawa Timur dan Kalimantan Selatan. Dan pada tahun 1986 merupakan puncak penanaman yaitu seluas 26.000 Ha dengan produktivitas rata-rata 0,9 – 1,2 ton/ha serat kering. Provinsi Riau pada tahun 2014 mengembangkan kenaf sebagai tanaman sela untuk pengembangan tanaman karet dan kelapa sawit. Pemilihan kenaf sebagai tanaman sela tersebut dikarenakan prospek dan nilai ekonomis yang tinggi, kontur tanah di Provinsi Riau yang cocok untuk pengembangan kenaf serta adanya perusahaan yang telah bersedia menerima hasil panen petani.

Tanaman kenaf merupakan tanaman herba semusim dengan tipe pertumbuhan berbentuk semak tegak. Termasuk dalam tanaman hari pendek dan akan cepat berbunga bila panjang penyinaran matahari kurang dari 12 jam. Pada keadaan normal, pertumbuhan optimal kenaf berkisar pada umur 60 – 90 hari dan

bisa mencapai tinggi 4 m untuk tanaman yang tumbuh subur, namun tergantung dari varietas, kesuburan tanah, serta teknik budidayanya. Warna batang dibedakan menjadi 3 (tiga) kategori yaitu hijau, merah dan merah atau hijau tidak teratur. Warna dan kehalusan batang merupakan penciri utama suatu akses/varietas. Daun terletak berselang-seling (*alternate*) dan mempunyai bentuk dan warna yang bervariasi tergantung subspeciesnya.

Sejak tahun 1995–2007 Balittas telah menghasilkan sebanyak 11 varietas unggul kenaf, diantaranya KR 11 untuk lahan bonorowo; KR 14 dan KR 15 untuk lahan podsolik merah kuning (PMK); dan KR 9 dan KR 12 untuk lahan kering. Varietas–varietas tersebut dapat ditanam pada semua musim karena kurang terpengaruh oleh panjang penyinaran sinar matahari.

Perbanyak kenaf umumnya secara generatif menggunakan biji. Biji kenaf biasanya berbentuk ginjal berdiameter sekitar 0,3 – 0,5 cm berwarna kelabu agak kecoklatan. Benih kenaf termasuk ke dalam benih ortodoks karena relatif toleran/tahan terhadap pengeringan sampai kadar air 5–6 % dan dapat disimpan pada suhu yang rendah. Benih kenaf dihasilkan dari kebun benih dengan persyaratan lahan harus subur, dekat sumber air, drainase baik, bebas dari organisme pengganggu tumbuhan (OPT). Tidak seperti tanaman lain, waktu tanam dan cara budidaya kenaf untuk produksi serat dan benih berbeda, sehingga memerlukan perlakuan dan penanganan yang berbeda mulai dari pemilihan/persiapan lahan sampai dengan panen dan pascapanen. Tanaman Kenaf mulai berbunga 12 minggu setelah tanam. Periode pembungaan dan pembuahan berlangsung tidak serempak. Untuk panen benih yang baik dan efisien maka dilakukan apabila sekitar 75% dari populasi tanaman kenaf buahnya sudah kering. Tiap tanaman dapat menghasilkan 15–100 kapsul tergantung pada varietas, kondisi iklim tanah dan cara bercocok tanam. Tiap kapsul berisi 15–25 biji.

Benih kenaf yang telah dipanen dan digunakan sebagai bahan tanam harus melalui proses pengolahan yang meliputi penjemuran (batangan/pocokan), perontokan benih, pembersihan benih, sortasi, pengeringan dan pengemasan. Kebutuhan serat kenaf akan semakin meningkat terutama karena sifat seratnya yang ramah lingkungan dan sangat adaptif di berbagai lingkungan tumbuh seperti

lahan tadah hujan, lahan banjir dan lahan gambut, sehingga pengembangan kenaf masih menguntungkan. Produktivitas kenaf yang tinggi harus didukung dengan penggunaan varietas unggul yang telah dilepas dan penggunaan benih yang bermutu [56].

2.5.2 Tantangan Pemanfaatan Serat Alam

Berikut adalah tantangan terkait penggunaan serat alam, antara lain: nilai impak yang rendah, daya serap air yang tinggi, stabilitas dimensi terhadap air rendah, kualitas serat yang bervariasi, daya tahan (*durability*) terhadap cuaca dan jamur/mikroorganisme rendah, resistensi terhadap api rendah, serta temperatur proses produksi menjadi hanya $< 200^{\circ}\text{C}$ karena di atas suhu tersebut senyawa lignoselulosa mulai mengalami degradasi hal ini juga membatasi terhadap polimer yang digunakan (terbatas pada polimer-polimer dengan suhu pelelehan di bawah 200°C [57].

2.5.3 Modifikasi Serat Alam

Modifikasi serat alam ditujukan untuk meningkatkan daya rekat antara matriks dan serat. Beberapa proses yang banyak dilakukan untuk memodifikasi serat alam, antara lain:

2.5.3.1 Alkali

Proses alkali merupakan perlakuan serat alam dengan penambahan alkali (NaOH) dengan variasi konsentrasi tertentu, pada konsentrasi 10% NaOH dapat menyebabkan kerusakan pada struktur serat. Senyawa alkali akan melarutkan senyawa *amorph* seperti hemiselulosa, lignin dan *wax*. Sehingga diperoleh serat alam dengan kekasaran yang meningkat menyebabkan terbentuknya mekanisme perekatan *mechanical interlocking* pada komposit. Jacob M di tahun 2005 mempelajari tentang karakteristik permukaan serat sebagai *lignocellulosic fiber* komposit dan menyimpulkan bahwa proses alkali dapat meningkatkan stabilitas panas dari *native grass*. Penelitian tentang proses alkali terhadap serat alam telah banyak dilakukan, salah satunya adalah pengaruh uji *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), dimana digunakan untuk melakukan analisa kualitatif yaitu untuk mengetahui ikatan kimia yang dapat ditentukan dari spektra vibrasi yang

dihasilkan oleh suatu senyawa pada panjang gelombang tertentu. Selain itu digunakan juga untuk analisa kuantitatif yaitu melakukan perhitungan tertentu dengan menggunakan intensitas. Karakterisasi menggunakan FTIR dapat dilakukan dengan menganalisis spektra yang dihasilkan sesuai dengan puncak-puncak yang dibentuk oleh suatu gugus fungsi, karena senyawa tersebut dapat menyerap radiasi elektromagnetik pada daerah inframerah dengan panjang gelombang antara 0.78–1000 μm . Terhadap proses perendaman serat serabut kelapa dengan NaOH 5 % dan didapatkan hasil pengolahan yang optimum selama 2 hari [58].

2.5.3.2 *Coupling Agent*

Coupling agent adalah bahan yang digunakan untuk memberikan ikatan antara partikel bahan pengisi anorganik dengan matriks resin. Komponen penting yang terdapat pada komposit resin yang banyak dipergunakan pada saat ini adalah *coupling agent*. Resin akrilik yang awal digunakan tidak berfungsi dengan baik karena ikatan antara matriks dan *filler* adalah tidak kuat. Melapiskan partikel *filler* dengan *coupling agent* contohnya *vinyl silane* memperkuat ikatan antara *filler* dan matriks. *Coupling agent* memperkuat ikatan antara *filler* dan matriks resin dengan cara bereaksi secara kimia dengan keduanya. Ini membolehkan lebih banyak matriks resin memindahkan tekanan kepada partikel *filler* yang lebih kaku. Kegunaan *coupling agent* tidak hanya untuk memperbaiki sifat kimia dari komposit tetapi juga meminimalisasi kehilangan awal dari partikel *filler* diakibatkan dari penetrasi oleh cairan diantara resin dan *filler* [59].

Fungsi bagi *coupling agent* adalah:

1. Memperbaiki sifat fisik dan mekanis dari resin
2. Mencegah cairan dari penetrasi kedalam *filler resin*

Grafting kopolimer adalah suatu polimer yang terdiri dari molekul-molekul dengan satu atau lebih jenis dari monomer yang terhubung pada sisi rantai utama. *Grafting* kopolimer dapat juga disiapkan oleh proses kopolimerisasi cabang dengan monomer yang akan membentuk rantai utama. *Grafting maleat* anhidrida polipropilena yaitu (PP-g-MA) saat ini merupakan menjadi daya tarik industri yang sedang sangat berkembang dan patut untuk dipertimbangkan dan

dikembangkan, karena dapat menghasilkan keselarasan dan peningkatan kereaktifan.

Fungsionalisasi terhadap polipropilena oleh monomer-monomer polar yang merupakan suatu cara yang efektif untuk meningkatkan kepolaran dari polipropilen (PP) tersebut, dengan cara meng*grafting* maleat anhidrat pada polipropilen (PP). Dan kenyataannya berbagai jenis dari polimer-polimer yang *tergrafting* telah digunakan secara luas untuk memperbaiki adhesi permukaan antara komponen pada campuran polimer. Modifikasi dari polipropilen (PP) juga digunakan secara luas untuk meningkatkan penggunaan dari bahan-bahan mekanik dari komposit yang berbahan dasar polipropilena dan juga meningkatkan kekuatan dari komposit tersebut.

2.5.4 Polimer

Polimer merupakan molekul besar yang terbentuk dari unit-unit berulang sederhana. Polimer mempunyai berat molekul di atas 10.000. Bahan dengan berat molekul yang besar ini, mempunyai struktur dan sifat yang rumit disebabkan oleh jumlah atom pembentuk yang lebih besar dibandingkan senyawa yang berat atomnya rendah. Umumnya polimer dibangun oleh satuan struktur tersusun secara berulang diikat oleh gaya tarik-menarik yang disebut ikatan kovalen, dimana ikatan setiap atom dari pasangan menyumbangkan satu elektron untuk membentuk sepasang electron [60]. Produk polimer dapat dibuat melalui sintesa bahan kimia maupun alami melalui reaksi polimerisasi. Proses pembuatan polimer buatan yang dapat dimanipulasi berdasarkan ikatan dan monomer menjadikan terdapat berbagai jenis polimer. Setiap jenis polimer juga memiliki sifat sifat khas yang membedakan antara masing masing polimer. Salah satu peran penting industri petrokimia adalah penghasil polimer bahan baku plastik seperti polipropilen (PP) yang merupakan penghasil plastik.

2.5.4.1 Polimer Termoset

Polimer termoset adalah polimer yang mempunyai sifat tahan terhadap panas. Jika polimer ini dipanaskan, maka tidak dapat meleleh sehingga tidak dapat dibentuk ulang kembali. Susunan polimer ini bersifat permanen pada bentuk cetak

pertama kali (pada saat pembuatan). Bila polimer ini rusak/pecah, maka tidak dapat disambung atau diperbaiki lagi.

Polimer termoset memiliki ikatan–ikatan silang yang mudah dibentuk pada waktu dipanaskan. Hal ini membuat polimer menjadi kaku dan keras. Semakin banyak ikatan silang pada polimer, maka semakin kaku dan mudah patah. Bila polimer ini dipanaskan untuk kedua kalinya, maka akan menyebabkan rusak atau lepasnya ikatan silang antar rantai polimer.

Sifat polimer termoset sebagai berikut :

- a. Keras dan kaku (tidak fleksibel)
- b. Jika dipanaskan akan mengeras
- c. Tidak dapat dibentuk ulang (sukar didaur ulang)
- d. Tidak dapat larut dalam pelarut apapun
- e. Jika dipanaskan akan meleleh
- f. Tahan terhadap asam basa
- g. Mempunyai ikatan silang antar rantai molekul.

Termoset merupakan jenis plastik yang tidak dapat didaur ulang karena plastik jenis ini akan langsung mengeras dan menjadi arang jika dipanaskan. Plastik *thermosetting* meliputi *Phenol Formaldehyde* (PF), *Urea Formaldehyde* (UF), *Melamine Formaldehyde* (MF), *Alkyds*, *Epoxy resin* (EP), *Polyurethane* (PUR), *Silicones* serta *Acrylic*, *Polycarbonat* (PC), teflon, PVC, *nylon*, *cellulosics*, *polyfluorocarbon*, *Stryrene Acrylonitrile* (SAN), acetal.

2.5.4.2 Polimer Termoplastik

Polimer termoplastik adalah polimer yang mempunyai sifat tidak tahan terhadap panas. Jika polimer jenis ini dipanaskan, maka akan menjadi lunak dan jika didinginkan akan kembali mengeras. Proses tersebut dapat terjadi berulang kali, sehingga dapat dibentuk ulang dalam berbagai bentuk melalui cetakan yang berbeda untuk mendapatkan produk polimer yang baru. Tidak seperti polimer jenis termoset, polimer jenis ini tidak memiliki ikatan silang antara rantai polimernya, melainkan dengan struktur molekul linear atau bercabang.

Polimer termoplastik memiliki sifat – sifat khusus sebagai berikut:

- a. Berat molekul kecil
- b. Tidak tahan terhadap panas
- c. Jika dipanaskan akan melunak
- d. Jika didinginkan akan mengeras
- e. Mudah untuk diregangkan
- f. Fleksibel
- g. Titik leleh rendah
- h. Dapat dibentuk ulang (daur ulang)
- i. Mudah larut dalam pelarut yang sesuai
- j. Memiliki struktur molekul linear/bercabang

Contoh polimer ini : polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorida (PVC), nilon, dan poliester. Penggunaan yang digunakan dalam penelitian komposit *prepreg* kenaf-polipropilen yaitu polipropilen (PP) sebagai matik. polipropilen merupakan polimer termoplastik yang telah digunakan secara luas pada berbagai aplikasi seperti pengepakan, tekstil, tempat penyimpanan, peralatan laboratorium, *loadspeakers* dan komponen *automotif*. Polipropilen disusun dari reaksi addisi monomer propilene. Polipropilen komersial umumnya bersifat isotaktik dan mempunyai tingkat kristalin *intermediet* antara *low density polyethylene* (LDPE) dan *high density polyethylene* (HDPE). Polipropilen (PP) secara umum kuat dan fleksibel, khususnya jika dikopolimerisasi dengan *ethylene*. Polipropilen (PP) adalah produk antara dalam industri petrokimia, yang merupakan turunan dari *olefin* melalui proses yang disebut *propylene polymerization*. Propilen berasal dari naphta atau gas alam yang melalui proses pemecahan atau *cracking* pada molekul-molekul hidrokarbonnya. Polipropilen digunakan sebagai bahan baku berbagai jenis produk plastik dengan berbagai karakteristik yang dibedakan menurut proses kristalisasi, kemurnian, kekakuan serta titik leburnya. Dalam penelitian ini menggunakan polipropilen jenis granulat yang didapatkan dari PT Chandra Asri Petrokimia Tbk. PT Chandra Asri Petrochemical Tbk. (*Polypropylene Plant*) merupakan produsen polipropilen resin terbesar di Indonesia dengan kapasitas produksi sebesar 480.000 ton/tahun, yang

dimulai pada bulan Maret 2011 dari sebelumnya yakni 360.000 ton/tahun [61].

Karakteristik dan sifat mekanik beberapa polimer termoplastik yang umum digunakan dalam komposit serat alam disajikan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sifat Polimer Termoplastik*

Karakteristik	PP	LDPE	HDPE	PS
Density (g/cm ³)	0.890 – 0.920	0.910 – 0.925	0.94 – 0.96	1.04 – 1.06
Water Absorbtion hours (%)	0,01 – 0.02	0.015	0.01 – 0.2	0.03 – 0.10
Tg (°C)	-10 – 23	-125	-133 – 100	-
Tm (°C)	160 – 176	105 – 116	120 – 140	110 – 135
Heat Deflection Temp (°C)	50 – 63	32 – 50	43 – 60	Max. 220
Coeff Of Thermal Expansion (mm/mm/°C x 10 ³)	6.8 – 13.5	10	12 – 13	6 – 8
Kekuatan Tarik (MPa)	26 – 41.4	40 – 78	14.5 – 38	25 – 69
Elastic Modulus (Gpa)	0.95 – 1.77	0.055 – 0.3	0.4 – 1.5	4 – 5
Elongation (%)	15 – 700	90 – 800	2.0 – 130	1 – 2.5
Head Impact Strength (J/m)	21.4 – 267	-854	26.7 – 1068	1.1

*Sumber: Holbery J dan Houtson D, 2016

2.5.5 Serat Kenaf

Kenaf merupakan salah satu tanaman semusim penghasil serat selain tanaman sejenis lainnya seperti rami, rosella dan jute. Serat yang dihasilkan merupakan serat alam yang ramah lingkungan. Serat kenaf biasa digunakan untuk industri karung goni, interior mobil, *fiber drain*, *soil safer*, *geo textile* dan kertas. Sejak tahun 1978, kenaf dikenal masyarakat Indonesia melalui program ISKARA (Intensifikasi Serat Karung Rakyat). PTPN XVII ditunjuk oleh pemerintah sebagai pengelola dengan wilayah meliputi Jawa Tengah, Jawa Timur dan Kalimantan Selatan. Dan pada tahun 1986 merupakan puncak penanaman yaitu seluas 26.000 Ha dengan produktivitas rata-rata 0,9 – 1,2 ton/ha serat kering. Provinsi Riau pada tahun 2014 mengembangkan kenaf sebagai tanaman sela untuk pengembangan tanaman karet dan kelapa sawit. Pemilihan kenaf sebagai tanaman sela tersebut dikarenakan prospek dan nilai ekonomis yang tinggi, kontur tanah di Provinsi Riau yang cocok untuk pengembangan kenaf serta adanya

perusahaan yang telah bersedia menerima hasil panen petani.



Gambar 2.4 Tanaman Kenaf*

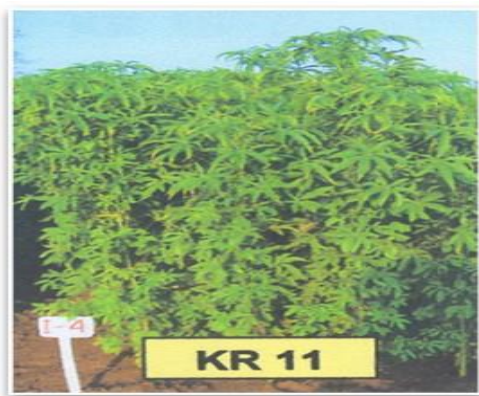
*Sumber : balittas.litbang.pertanian.go.id

Gambar 2.4 Tanaman kenaf merupakan tanaman herba semusim dengan tipe pertumbuhan berbentuk semak tegak. Termasuk dalam tanaman hari pendek dan akan cepat berbunga bila panjang penyinaran matahari kurang dari 12 jam. Pada keadaan normal, pertumbuhan optimal kenaf berkisar pada umur 60–90 hari dan bisa mencapai tinggi 4 m untuk tanaman yang tumbuh subur, namun tergantung dari varietas, kesuburan tanah dan teknik budidayanya. Warna batang dibedakan menjadi 3 (tiga) kategori yaitu hijau, merah dan merah atau hijau tidak teratur. Warna dan kehalusan batang merupakan penciri utama suatu aksesori/varietas. Daun terletak berselang-seling (*alternate*) dan mempunyai bentuk dan warna yang bervariasi tergantung sub spesiesnya. Sejak tahun 1995–2007 Balittas telah menghasilkan sebanyak 11 varietas unggul kenaf, diantaranya KR 11 untuk lahan bonorowo; KR 14 dan KR 15 untuk lahan podsolik merah kuning (PMK); dan KR 9 dan KR 12 untuk lahan kering. Varietas–varietas tersebut dapat ditanam pada semua musim karena kurang terpengaruh oleh panjang penyinaran sinar matahari. Perbanyak kenaf umumnya secara generatif menggunakan biji. Biji kenaf biasanya berbentuk ginjal berdiameter sekitar 0,3–0,5 cm berwarna kelabu agak kecoklatan. Benih kenaf termasuk ke dalam benih ortodoks karena relatif toleran/tahan terhadap pengeringan sampai kadar air 5–6 % dan dapat

disimpan pada suhu yang rendah. Benih kenaf dihasilkan dari kebun benih dengan persyaratan lahan harus subur, dekat sumber air, drainase baik, bebas dari organisme pengganggu tumbuhan (OPT). Tidak seperti tanaman lain, waktu tanam dan cara budidaya kenaf untuk produksi serat dan benih berbeda, sehingga memerlukan perlakuan dan penanganan yang berbeda mulai dari pemilihan/persiapan lahan sampai dengan panen dan pascapanen. Tanaman Kenaf mulai berbunga 12 minggu setelah tanam. Periode pembungaan dan pembuahan berlangsung tidak serempak. Untuk panen benih yang baik dan efisien maka dilakukan apabila sekitar 75% dari populasi tanaman kenaf buahnya sudah kering. Tiap tanaman dapat menghasilkan 15–100 kapsul tergantung pada varietas, kondisi iklim tanah dan cara bercocok tanam. Tiap kapsul berisi 15–25 biji. Benih kenaf yang telah dipanen dan digunakan sebagai bahan tanam harus melalui proses pengolahan yang meliputi penjemuran (batangan/pocokan), perontokan benih, pembersihan benih, sortasi, pengeringan dan pengemasan. Kebutuhan serat kenaf akan semakin meningkat terutama karena sifat seratnya yang ramah lingkungan dan sangat adaptif di berbagai lingkungan tumbuh seperti lahan tadah hujan, lahan banjir dan lahan gambut, sehingga pengembangan kenaf masih menguntungkan. Produktivitas kenaf yang tinggi harus didukung dengan penggunaan varietas unggul yang telah dilepas dan penggunaan benih yang bermutu. Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat (Balittas) adalah unit pelaksana teknis (UPT) dari Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian yang lahir seiring organisasi induknya. Perkembangan Balittas dengan mandat komoditasnya dimulai dari berdirinya Algemeen Proefstation Voor Den Landbou (APL) pada tahun 1920 yang mengkoordinir balai-balai penelitian pada zaman Hindia-Belanda, diantaranya Balai Penyelidikan Teknik Pertanian (BPTP). Perkembangan selanjutnya pada tahun 1957 didirikan Balai Besar Penyelidikan Pertanian Cabang Malang dan tahun 1958 didirikan pula Perwakilan Balai Penyelidikan Teknik Pertanian Malang. Kemudian pada tahun 1962 kedua balai tersebut dilebur menjadi Lembaga Penelitian Tanaman Serat Perwakilan Jawa Timur (LPTS Perwakilan Jawa Timur). Setelah mengalami beberapa kali reorganisasi, pada tahun 1984 institusi penelitian tersebut berubah menjadi Balai

Penelitian Tembakau dan Tanaman Serat (Balittas) dan pada tahun 2002 namanya berubah menjadi Balai Penelitian Tanaman Tembakau dan Serat (Balittas). Pada tahun 2011 sesuai dengan Surat Keputusan nomor 63/Permentan/OT.140/10/2011 tanggal 12 Oktober 2011, nama Balittas berubah menjadi Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat. Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat adalah Unit Pelaksanaan Teknis di bidang penelitian dan pengembangan yang berada di bawah naungan Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan perkebunan.

Balittas mempunyai tugas pokok melaksanakan penelitian tanaman pemanis, serat, tembakau dan minyak industri. Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat (BALITTAS) mempunyai beberapa kebun percobaan yaitu : KP Asembagus, KP Sumberrejo, KP Karangploso dan KP Pasuruan di Jawa Timur dan KP Muktiharjo di Jawa Tengah [62]. Berikut ini adalah contoh jenis tanaman BALITAS kenaf KR 11 yang merupakan varietas unggul :



Gambar 2.5 Kenaf KR 11*

*Sumber : balittas.litbang.pertanian.go.id

Tabel 2.3 Karakteristik Varietas KR 11*

Spesifikasi	Karakteristik
Permukaan Batang	Berduri sedikit
Warna Batang	Hijau
Percabangan	Rudimeter(siwilan) banyak
Bentuk Dalam	Menjari
Umur Berbunga	87-95 Hari
Warna bunga	Kuning Krem
Umur panen	130-140 Hari(umur panjang)
Tinggi tanaman	278-420 cm
Diameter batang	1,60-3,20 cm
Potensi hasil	2,75-4,20 cm
Berat 100 biji	23,66-26,24 cm
Kekuatan serat	24,46-29,60 g.tex

* Sumber : balittas.litbang.pertanian.go.id

Penggunaan *reinforcement* pada penelitian ini adalah kenaf campur dari hasil kebun BALITTAS. Peningkatan untuk varietas unggul tanaman kenaf dibutuhkan upaya untuk menciptakan teknologi dan budidaya untuk serat yang berkualitas optimal, sehingga mendapatkan varietas yang unggul dan juga mempunyai daya saing yang tinggi untuk mengatasi ketertinggalan produktivitas serat untuk petani kedepannya. Tanaman kenaf BALITTAS di Indonesia terdapat beberapa jenis varietas yaitu KR 1, KR 2, KR 3, KR 4, KR 5, KR 6, KR 9, KR 11, KR 12, KR 14 dan KR 15.

2.5.6 Polipropilen

Salah satu polimer yang sering kita jumpai pengaplikasiannya yakni polimer jenis polipropilen. Polimer ini terbentuk dari pengulangan satu unit propilen dengan panjang tertentu. Setiap molekul propilen ini terikat satu sama lain dengan ikatan kovalen. Polipropilen merupakan sebuah polimer termo-plastik yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti bahan pengemas, tekstil, alat tulis, berbagai tipe wadah terpakaiakan ulang, perlengkapan laboratorium, pengeras suara, komponen otomotif, serta uang kertas polimer. Polimer jenis ini memiliki karakteristik yang akan berubah menjadi bentuk cair apabila dipanaskan dan akan berbentuk padat apabila didinginkan. Propilen pertama kali dipolimerisasikan oleh Dr. Karl Rehn di Hoechst AG, Jerman pada 1951. Selanjutnya ditemukan kembali pada 11 Maret 1954 oleh Giulio Natta yang mengawali perkembangan polimer polipropilen hingga saat ini. Polimer jenis ini

pada dasarnya dapat di daur ulang, dengan symbol ulangnya dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.6 Simbol Daur Ulang Polipropilen

Polipropilen tidak mudah larut dalam air, pelarut organik polar, dan pelarut golongan alkali. Namun jika dilarutkan dalam pelarut organik non polar seperti benzena, karbon tetraklorid, dan petroleum eter, polipropilen dapat kehilangan kekuatan renggang dan fleksibilitasnya. Polipropilen direduksi oleh zat-zat oksidator kuat seperti asam klorosulfonik, oleum 100%, gas asam nitrit, dan gas halogen. Kepekaan polipropilen yang sangat besar terhadap kerusakan karena fotooksida disebabkan oleh adanya sejumlah besar atom hidrogen tersier di dalam molekul polipropilen. Sementara ketahanannya dapat diperbaiki dengan zat-zat antioksidan dan penyerap radiasi atau penstabil sinar UV.

MFR (*Melt Flow Rate*) maupun MFI (*Melt Flow Index*) merupakan suatu indikasi berat molekul polipropilen yang menentukan seberapa banyak polipropilen yang dapat meleleh per satuan waktu. MFR polipropilen yang lebih tinggi akan mengisi cetakan plastik dengan lebih mudah selama berlangsungnya proses produksi pencetakan suntik (*injection molding*) maupun pencetakan tiup. Tetapi ketika *melt flow* meningkat, maka beberapa sifat fisik sebagai contoh kuat tarik akan menurun.

Berdasarkan jenis monomer penyusunnya, terdapat tiga jenis polipropilen yaitu:

1. PP Homopolimer

PP Homopolimer yaitu PP yang disusun hanya oleh monomer propilena. Sifat utama PP ini adalah kekakuannya, yang bahkan juga dimiliki pada temperature tinggi. Jenis PP ini memiliki temperature transisi gelas 0°C , sehingga jenis PP ini bersifat getas pada temperature rendah. Pada sifat optis, jenis PP ini memiliki tingkat kebeningan sedang (*translucent*).

2. PP Kopolimer Random

PP kopolimer random yakni PP yang disusun oleh monomer propilena dan etilena yang disusun acak dalam rantai PP. *Random copolymer* dikenali terutama dari kebeneningannya dan kelenturannya yang tinggi. Namun kekuatan dan kekerasannya kurang jika dibandingkan oleh PP homopolimer.

3. PP Kopolimer Impak (*Impact copolymer*)

PP kopolimer impak yakni PP yang disusun oleh monomer propilena dan etilena yang terusun dalam dua blok fasa, yaitu PP *homopolymer* dan *ethylene-propylene-rubber* (EPR). Kopolimer impak menawarkan variasi sifat yang besar, namun terutama dapat dikenali dari sifatnya yang memiliki ketahanan pembebanan kejut yang sangat baik, termasuk pada temperature rendah (memiliki temperature transisi gelas -30°C). dan berwarna putih susu doff, berbeda dengan PP *homopolymer* atau juga PP *random copolymer*.

2.6 Prepreg

Prepreg adalah pra-rekayasa bahan pelapisan untuk pembuatan komposit berpenguat serat. *Prepreg* dari kata *pre – impregnated* merupakan suatu bahan setengah jadi. Bahan ini merupakan bahan perantara dalam pembuatan suatu komposit. Secara umum suatu prepreg terdiri dari serat yang dikombinasikan resin matriks yang bersesuaian.

Ada beberapa Faktor yang membedakan *prepreg* dari komposit sejenisnya :

1. Kombinasi yang tepat antara serat sebagai penguat dan matriks sebagai pengikat. Untuk mencapai kemampuan terbaik dari komposit yang dihasilkan. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan: interaksi yang optimum antara ketebalan lapisan, muatan serat dan muatan resin adalah hal yang mendasar.
2. Penggunaan alat secara khusus dikembangkan untuk memastikan resin dapat membasahi atau melapisi serat.
3. Penambahan bahan kimia pengikat pada tahap awal, setelah itu *prepreg* dapat ditangani oleh perekayasa berbasis teknik.

2.6.1 Peranan *Prepreg*

Prepreg adalah pra rekayasa pelapisan bahan komposit yang berpenguat serat. Jadi *Prepreg (pre-impregnated)* merupakan suatu bahan setengah siap atau

setengah jadi. Bahan ini merupakan bahan perantara dalam pembuatan suatu komposit. Secara umum suatu *prepreg* terdiri dari serat yang dikombinasikan resin matriks.

2.6.2 Pembuatan *Prepreg*

Perkembangan resin sebagai pengikat menjadi sangat kompleks dengan ditemukan formulasi multi-bahan dalam upaya untuk mendapatkan manfaat maksimal dari sifat karakteristik serat.

Menurut Molyneux, 1983 terdapat empat metode impregnasi, yaitu [63]:

1. Larutan celup

Resin dilarutkan dalam pelarut, dimana padatan yang telah ditentukan yaitu 40-50% berat serat. Serat dalam bentuk benang atau kain, dilewatkan melalui pencelupan dan '*picks up*' diberikan dalam padatan tergantung pada kecepatan dan tingkat kepadatan.

2. Larutan semprot

Dengan larutan semprot, jumlah resin dan serat diformulasikan ukurannya. Serat disemprotkan hingga larutan meresap kedalam serat dan kemudian dimasukkan melalui siklus panas untuk menghilangkan pelarut dan reaksi kimia dalam resin untuk memberikan penambahan nilai kekuatan komposit.

3. Mantel *direct hot-melt*

Dalam lelehan mantel *direct hot-melt*, formulasi resin dicampur pada suhu tinggi, Suhu tinggi berfungsi untuk mengurangi viskositas formulasi untuk mengetahui tingkat cairan, sehingga dapat mengetahui tingkat kebasahan serat. Campuran biasanya dilakukan pada tahapan pertama berupa kertas rilis dalam bentuk lembaran, sebelum dibawa ke dalam kontak dengan serat. Akhirnya, formulasi resin dapat dibentuk dalam lembaran, dimana harus pada diperhatikan faktor lelehan panas. Kemudian, dalam proses pemisahan, penguat serat berada terjepit antara dua *trim* dan *calendered* sehingga film ini bekerja ke dalam serat. Penggunaan metode tergantung pada beberapa faktor penunjang. Proses pelelehan lebih cepat dan lebih murah, tetapi formulasi resin tertentu tidak dapat menggunakan cara ini. Mesin-mesin yang diperlukan untuk mencapai prosedur ini banyak dan beragam. Untuk *prepreg*

searah, sebuah *creel* memiliki 300 kumparan *crosswound* sehingga mampu berputar cepat dimulai dari titik awal pertama. Serat masing-masing kumparan membentuk pita *collimated*, jarak dari serat harus disesuaikan.

4. Lembaran *calendering*

Calendering adalah sebuah proses dimana lembaran-lembaran dari material termoplastik dibuat dengan cara melewati polimer halus yang dipanaskan diantara dua buah *roll* atau lebih. Biasanya *roll* untuk pengerjaan lembaran ini terdiri dari 4-5 *roll* utama.

2.7 Mesin Ekstruder

Mesin untuk melakukan proses ekstrusi meliputi pencampuran bahan, pemasakan, dan pencetakan. Ekstrusi sendiri adalah perlakuan kombinasi dari proses tekanan, gesekan, dan suhu dalam suatu ulir yang bergerak dalam waktu yang bersamaan. Proses Ekstrusi adalah suatu proses dimana bahan dipaksakan oleh sistem ulir untuk mengalir dalam suatu ruangan yang sempit sehingga akan mengalami pencampuran dan pemasakan sekaligus. Sumber panas utama dalam proses ekstrusi berasal dari konversi energi mekanik (gesekan) yaitu akibat gesekan antar bahan dan gesekan antar bahan dengan ulir. Kerja ulir tersebut juga menghasilkan akumulasi tekanan dalam sistem *barrel* ekstruder, bahan dipaksakan keluar melalui cetakan (*die*) yang kecil ukurannya dan kembali ke tekanan normal (atmosfer) secara seketika yaitu ketika produk melewati *die* [64]. Terdapat ada 2 macam ekstruder, yaitu ekstruder ulir tunggal (*single screw extruder*) dan ekstruder ulir ganda (*double screw extruder*). Bagian penting dalam mesin ekstruder adalah batang ulir(*screw*) dan selubung silinder(*barrel*). Pada penelitian kami menggunakan ekstruder jenis ekstruder ulir tunggal (*single screw extruder*) tipe ekstruder COLLIN E 30 M.



Gambar 2.7 Mesin Ekstruder COLLIN E 30 M

2.7.1 Tahapan-Tahapan Proses Mesin Ekstruder

Pembagian tahap-tahap pengolahan ekstrusi dapat dilihat dari berbagai segi. Ada yang menggolongkannya berdasarkan pada kebutuhan pengolah, spesifikasi mesin dan jenis proses yang terjadi. Disini akan dijelaskan beberapa tahap dengan berbagai dasar yang digunakan. Beberapa pengolah membagi proses pengolahan ekstrusi menjadi tiga tahap yaitu pra ekstrusi, ekstrusi dan tahap setelah ekstrusi (*post-extrusion*), tetapi hal ini sangat bergantung pada kebutuhan pengolah, jenis produk yang akan dihasilkan dan proses pengolahan apa saja yang akan dilakukan.

A). Tahap Pra Ekstrusi melibatkan dua langkah utama yaitu :

1. Pencampuran (*Blending*) : Pencampuran dari berbagai komponen bahan yang akan diekstrusi sesuai dengan formulasi yang telah ditentukan merupakan salah satu syarat penting dalam proses ekstrusi. Selain harus memperhatikan ukuran bahan yang akan dicampur, cara mencampur komponen yang benar juga penting untuk diketahui.
2. Penambahan air (*Moisturizing*): Jumlah penambahan kandungan air pada tahap pencampuran bahan ekstrusi ini biasanya berkisar diantara 4% hingga 8%. Hal ini tentu saja bergantung pada banyak faktor, seperti tingkat kelembaban bahan saat pencampuran awal dan tekstur produk akhir yang diinginkan. Cara penambahan kandungan air ini harus dapat menjamin

penyebaran kelembaban yang merata pada campuran adonan bahan mentah. Ketidakteraturan penyebaran air bahan akan mengakibatkan kondisi ekstrusi yang sukar diprediksi, akibatnya produk ekstrusi yang dihasilkan juga menjadi tidak konsisten.

Mesin yang umum digunakan pada tahap pra ekstrusi terdiri dari *mixer* dan *moisturiser*. *Mixer* disini berfungsi untuk proses pencampuran bahan awal sebelum dimasukkan ke ekstruder. Pada umumnya ekstruder yang diproduksi sekarang, terutama ekstruder ulir ganda, telah dapat melakukan pengaturan proses pencampuran dan penambahan kadar air ini di dalam alat itu sendiri. Bahan mentah hanya tinggal dimasukkan kedalam *feeder* (tempat bahan masuk yang terletak pada bagian atas ekstruder), lalu kandungan air dapat ditambahkan melalui suatu lubang *inject* pada ekstruder sesuai dengan kebutuhan kelembaban produk akhir yang dihasilkan [65].

B). Tahap kedua yaitu proses ekstrusi

Mesin yang digunakan ialah berbagai jenis ekstruder dan beragam aksesorisnya sesuai kebutuhan pengolah. Produk yang keluar dari tahap ini disebut ekstrudat dan tergantung dari kebutuhan kita atau jenis ekstruder yang digunakan, ekstrudat ini dapat merupakan produk akhir ekstrusi ataupun juga produk yang harus diolah lagi lebih lanjut.

C). Tahap terakhir adalah proses setelah ekstrusi (*post extrusion*).

Mesin yang tersedia untuk proses ini ialah mesin pengering, *flavouring*, pemanggang, pelapis dan pendingin yang semuanya disesuaikan dengan kebutuhan pengolah. Sebagai akibat dari perkembangan teknologi di bidang ekstrusi yang pesat akhir-akhir ini, maka selain dapat berfungsi sendiri terpisah dari ekstruder, mesin-mesin tersebut juga dapat dipasangkan pada ekstruder.

2.7.2 Prinsip Kerja Ekstruder

Prinsip kerja ekstruder adalah proses memanaskan biji plastik/*pellet* hingga menjadi lelehan plastik serta dibentuk dalam pengaruh tekanan tinggi dan keluar melalui pencetak (*die*) dan proses pemasakan ekstrusi termasuk proses pemasakan modern baik *high temperature short time*/ suhu tinggi waktu pendek. Bentuk dan ukuran *die* menentukan bentuk geometris ekstrudat yang dihasilkan. Menurut Linko, 1982 Prinsip ekstruder meliputi [66]:

1. Bahan mentah dimasukkan kedalam *hopper*.
2. Ulir akan membawa bahan tersebut sepanjang *barel*.
3. Diujung *barel*, bahan akan memenuhi *barel* dan ruangan diantara *barel* dan ulir akan terkompres.
4. Ketika bahan melewati *barel*, ulir akan mengadoni bahan sehingga menjadi massa yang semi padat dan plastis.
5. Jika bahan dipanaskan $> 100^{\circ}\text{C}$, maka prosesnya disebut pemasakan ekstrusi.
6. Pemanasan menyebabkan terjadinya kenaikan suhu dengan cepat, jadi ketika bahan pangan dilewatkan kebagian *barel* yang mempunyai pengaliran lebih kecil maka tekanannya meningkat.
7. Ketika bahan keluar dari *die* dengan pengaruh tekanan maka terjadi pengembangan ukuran dan pendinginan karena airnya telah keluar dalam bentuk uap air.

Fungsi tekanan adalah:

1. Menghasilkan gaya '*shear*' dan mengalirkan bahan sepanjang ruang ekstrusi.
2. Mengeluarkan dan mengembangkan produk menjadi bentuk *puffing*.
3. Tekanan pada ujung ekstruder (4–6 atm)

Fungsi suhu tinggi adalah:

1. Memasak
2. Sterilisasi
3. Penguapan air

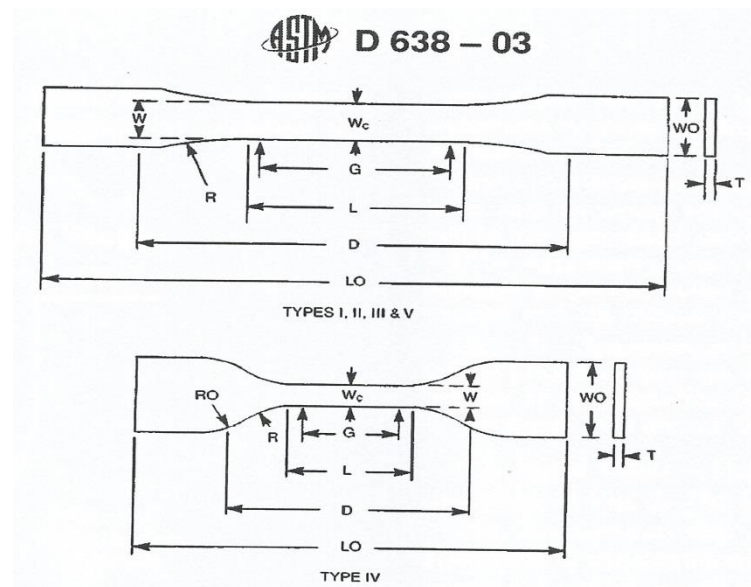
Pada saat bahan keluar dari lubang pencetak maka dalam alat ekstruder akan mengalami: Suhu mengalami penurunan, tekanan turun tiba-tiba dan ekspansi uap air. Mengakibatkan bahan menjadi mengembang, proses pengeringan dan proses

pendinginan adiabatik. Dalam perbaikan mesin ekstruder, setiap mesin agar dapat berjalan maksimal perlu dilakukan dan perawatan, karena mesin dapat mengalami aus, korosi atau karena hal lain. Untuk mesin ekstruder, perbaikan dapat dilakukan dengan pengelasan dan menggunakan kawat las. Kawat las selalu memberikan pelayanan terbaik dengan produk berkualitas dan penyampaian produk tepat waktu.

2.8 Karakterisasi atau Pengujian Komposit

2.8.1 Pengujian Tarik Komposit

Pengujian tarik (*tensile test*) adalah pengujian mekanik secara statis dengan cara sampel ditarik dengan pembebanan pada kedua ujungnya dimana gaya tarik yang diberikan sebesar P. Tujuannya untuk mengetahui sifat-sifat mekanik tarik dari komposit yang diuji. Pertambahan panjang (Δl) yang terjadi akibat gaya tarikan yang diberikan pada sampel uji disebut deformasi. Uji tarik ini menggunakan ASTM D 638. Spesimen uji tarik pada ASTM D 638 menggunakan bentuk tulang anjing (*dogbone*) dengan ukuran standar seperti pada gambar 2.7



Gambar 2.8 Spesimen Uji Tarik ASTM D 638-03*

*Sumber: ASTM (2004)

Besarnya nilai kekuatan tarik komposit dapat dihitung dengan persamaan:

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

menghitung tegangan bending adalah :

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

σ_f = tegangan *bending* (MPa)

P = beban *bending* maksimal, N

L = panjang span, mm

b = lebar spesimen, mm

d = tebal spesimen, mm

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Komposit kenaf-polipropilen diproduksi dengan proses *prepreg* atau lapisan. Dari penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan diperoleh beberapa variabel optimal seperti fraksi berat serat yang ditambahkan yaitu 40% [39], fraksi berat bahan pengikat (*coupling agent*) yaitu *Polypropylene graft Maleic Anhydride* (PP-g-MA 5%wt) [39] serta larutan NaOH dengan konsentrasi 5% pada saat proses delignifikasi serat kenaf dengan cara direndam pada larutan NaOH selama 24 jam. Sehingga pada penelitian ini akan lebih difokuskan pada variabel lain seperti jumlah lapisan dan parameter-parameter seperti temperatur, tekanan dan waktu pada proses pembuatan spesimen komposit menggunakan *hot press*.

3.1 Variabel Penelitian

Variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah jumlah lapisan penyusun dan kondisi proses alat pengepresan (*Hot press*) seperti temperatur, tekanan dan waktu pengepresan. Variasi dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variasi Penelitian

Sampel	Jml Lapisan	Temperatur (°C)	Waktu (Menit)	Tekanan (Bar)
1	3	190	3	40
2	3	190	3	50
3	3	190	5	40
4	3	190	5	50
5	3	210	3	40
6	3	210	3	50
7	3	210	5	40
8	3	210	5	50
9	5	190	3	40
10	5	190	3	50
11	5	190	5	40
12	5	190	5	50
13	5	210	3	40
14	5	210	3	50
15	5	210	5	40
16	5	210	5	50

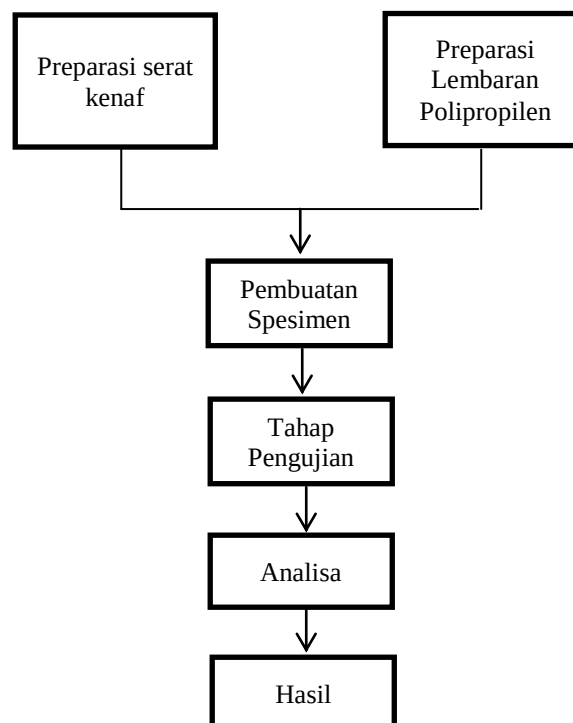
Variabel tetap dalam penelitian ini seperti yang dijelaskan sebelumnya pada metode penelitian diatas. Untuk mengetahui pengaruh jumlah lapisan dan kondisi proses mesin *hot press* terhadap kekuatan sifat mekanik komposit yang dihasilkan maka dilakukan variasi antara kondisi terendah dan tertinggi. Adapun kondisi yang divariasikan yaitu pada jumlah lapisan 3 dan 5, temperatur 190 dan 210°C, tekanan pada 40 dan 50 bar dan waktu yang digunakan 3 dan 5 menit serta variabel-variabel yang diusahakan terkontrol adalah kadar air atau kelembapan serat kenaf, kondisi operasi alat ekstruder dan *calendering*, ukuran dan bentuk spesimen pengujian dan kondisi spesimen serta udara ruang pengujian. Sedangkan yang menjadi variabel responnya adalah kekuatan sifat mekanik dari komposit yang dihasilkan seperti kekuatan tarik dan kekuatan lentur komposit.

3.2 Langkah-langkah penelitian

Langkah-langkah pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap yaitu preparasi serat kenaf, preparasi lembaran polipropilen (PP), pembuatan spesimen atau pencetakan komposit dan karakterisasi atau pengujian komposit. Serat kenaf disini sebagai pengisi (*filler*) atau penguat dari matriks polipropilen. Resin polipropilen dengan jenis homopolimer dibuat menjadi bentuk lembaran-lembaran melalui ekstruder dan *calendering* dengan penambahan bahan pengikat (PP-g-MA). Kemudian serat kenaf yang sudah dipreparasi dan plastik lembaran Polipropilen (PP) yang sudah jadi, disusun sesuai dengan variasi penelitian. Setelah itu susunan serat kenaf dan plastik lembaran polipropilen dicetak dengan cara pengepresan menggunakan alat *hot press* untuk dijadikan spesimen pengujian. Sebelumnya lembaran polipropilen dipotong sesuai ukuran cetakan kemudian disusun bersama serat kenaf menjadi lapisan-lapisan kemudian diletakkan di dalam mesin *hot press* untuk kemudian dicetak menjadi spesimen komposit.

Bahan yang digunakan untuk penelitian adalah serat kenaf yang diperoleh dari perkebunan Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat (BALITTAS), Bojonegoro, Jawa Timur. Resin Polipropilen jenis Homopolimer dengan *grade Extrusion*, densitas 0.903 gr/cm³, *melt index* (MI = 2.4 gr/10 min) didapat dari PT Chandra Asri. *Polypropylene-graft-maleic anhydride* (PP-g-MA) dari Sigma

Aldrich dipilih sebagai bahan pengikat untuk memodifikasi sifat fisik dari polipropilen. Natrium Hidroksida (NaOH) berupa pellet untuk penggunaan analisis sebagai media untuk perendaman serat kenaf dalam proses delignifikasi. Alat yang digunakan adalah mesin ekstruder *single screw*. Mesin ekstruder *single screw* merk Collin GMBH D-85560 tipe 30 X 25 D dengan suhu maksimum 300°C dan tekanan maksimum 150 bar yang digunakan untuk membuat plastik lembaran polipropilen. Mesin *Hot Press* merk Collin tipe P 300 P dengan tekanan maksimum 300 kN dan kapasitas panas 2 x 11.6 kW yang digunakan dalam pembuatan spesimen komposit. Mesin *oven* merk Labtech, kapasitas panas maksimum 300°C yang digunakan untuk mengurangi kadar air dalam serat kenaf setelah proses perendaman dan sebelum proses pengepresan. Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa NaOH yang akan dilarutkan, massa bahan pengikat yang ditambahkan dan massa serat kenaf. Timbangan yang digunakan merk Sartorius tipe BP4100 dengan kapasitas 4100 gram x 0.1 Adapun gambar alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada lampiran A.



Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan Komposit Kenaf-Polipropilen

Gambar 3.1 diagram alir pembuatan komposit kenaf-polipropilen terbagi dalam beberapa tahap yaitu tahap persiapan serat kenaf, tahap preparasi lembaran Polipropilen (PP), tahap pembuatan spesimen dan tahap pengujian atau karakterisasi. Tahap-tahap tersebut akan dijelaskan dalam langkah-langkah penelitian di bawah ini. Adapun gambar proses yang lebih rinci lagi mengenai langkah-langkah penelitian dapat dilihat pada lampiran B.

3.2.1 Persiapan Serat Kenaf

Serat kenaf yang digunakan dalam bentuk serat panjang dengan usia tanaman 3 sampai 4 bulan saat panen yang diperoleh dari perkebunan Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat (BALITTAS), Bojonegoro, Jawa Timur. Dalam rangka untuk meningkatkan pembentukan ikatan antarmuka (*interface*) yang baik antara serat kenaf dan matrik polipropilen maka serat kenaf direndam dalam larutan alkali (NaOH 5%, 24 jam) untuk proses delignifikasi. Serat kenaf yang sudah dipotong-potong pendek (*chopped*) secara manual dengan alat pemotong kertas dengan ukuran panjang serat ± 20 mm kemudian dibersihkan dari pengotor-pengotor kecil yang masih ikut terbawa menggunakan air. Baru kemudian serat yang sudah bersih direndam dalam larutan alkali (NaOH) 5% selama 24 jam (Asumani, 2012). Setelah proses perendaman selesai kemudian serat kenaf disaring dan dicuci dengan air bersih yang mengalir sampai hilang alkalinitas-nya atau sampai air bilasan bersifat netral. Setelah proses pencucian, serat dijemur dibawah sinar matahari sampai kering dilanjutkan dengan pengeringan di dalam oven dengan suhu $60 - 80^{\circ}\text{C}$ selama 12 jam atau lebih hingga serat dalam keadaan benar-benar kering. Mesin oven merk Labtech, kapasitas panas maksimum 300°C . Oven digunakan untuk mengurangi kadar air dalam serat kenaf setelah proses perendaman dan sebelum proses pengepresan. Setelah itu serat alam disimpan dalam wadah kedap udara (*desicator*) untuk menjaga kadar airnya tetap sedikit. Proses alkali ini bertujuan untuk proses delignifikasi atau akan melarutkan senyawa amorph seperti hemiselulosa, wax dan lignin. Proses alkali dapat meningkatkan kekasaran permukaan serat sehingga dapat terbentuknya mekanisme perekatan ikatan antarmuka (*interface*) serat dan matriks pada susunan komposit.

3.2.2 Preparasi Lembaran Polipropilen

Resin polipropilen yang digunakan sebagai matriks yaitu jenis Homopolier untuk aplikasi ekstrusi HE2.0TF, dengan 0.903 gr/cm^3 , *melt index* /MI = 2.4 gr/10 min yang diperoleh dari PT Chandra Asri. Sifat mekanik-fisik polipropilen Homopolimer diperlihatkan dalam *technical datasheet* dari perusahaan produsen pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Sifat mekanik-fisik polipropilen HE2.0TF

Sifat Fisik	Nilai
<i>Melt flow rate (g/10 min)</i>	2.4
<i>Density at 23°C (g/cm³)</i>	0.903
<i>Tensile Strength at yield (MPa)</i>	36
<i>Tensile elongation at yield (%)</i>	14
<i>Flexural modulus (GPa)</i>	1.29
<i>Melting Temperature (°C)</i>	161

Pembuatan lembaran plastik PP pada penelitian ini menggunakan mesin ekstruder. Mesin ekstruder yang digunakan adalah Collin E 30 M, tipe *single screw*. Pada ujung keluaran/*die* ekstruder disambungkan dengan alat *calendering* untuk menjadikan lelehan polipropilen menjadi bentuk lembaran-lembaran. Kecepatan putar *screw* diatur pada putaran (n1) 90 rpm. Ekstruder ini digerakkan oleh motor dengan kekuatan 27 kW, 3 x 50 A, 3 x 400/230 V, dan 50/60 HZ, dengan suhu maksimum 300°C dan tekanan maksimum 150 bar. Proses pemanasan hasil putaran *screw* dalam ekstruder dilakukan bertahap dalam 10 zona. Temperatur barel dari ekstruder dibuat bertahap dan ditetapkan, hal ini bertujuan agar pemanasan bahan dapat berjalan dengan baik sehingga didapat produk yang diinginkan. Kondisi operasi mesin ekstruder diatur seperti pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Kondisi Operasi Mesin Ekstruder

Kondisi	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8	Zona 9	Zona 10
T (°C)	200	210	220	230	230	240	240	250	250	250
n1(rpm)	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90

Pada umumnya zona operasi pada mesin ekstruder *single screw* atau ulir tunggal terbagi menjadi tiga bagian yaitu (tergantung spesifikasi mesin):

a. *Solid transport zone*

Zona ini yang terletak di bawah hopper/feeder (zona 1 dan zona 2). Resin digerakkan dalam bentuk bubuk atau granula. Pada zona ini temperatur barel tidak boleh terlalu tinggi atau belum sampai pada *melting point* dari resin polipropilen (PP). Hal ini bertujuan agar proses didalam ekstruder tidak terganggu sampai pada mendapatkan produk yang diinginkan.

b. *Melting zone*

Pada zona ini resin akan dipanaskan hingga mencapai titik lelehnya. Berdasarkan keterangan yang ada pada *Technical Data Sheet* (TDS) produk polipropilen homopolimer PT Chandra Asri, rekomendasi kondisi proses temperatur leleh dari PP homopolimer pada temperatur 220-240°C.

c. *Pump zone*

Pada bagian pertama zona ini, tinggi saluran berkurang disebabkan oleh peningkatan diameter dari ulir. Pada zona ini material resin mengalami tekanan untuk mengurangi jumlah ruang-ruang kosong pada bahan. Pada bagian kedua zona ini yang disebut juga sebagai *metering zone*, resin digerakkan dan dihomogenisasi lebih lanjut. Pada beberapa ekstruder peningkatan tekanan terjadi di zona ini. Sehingga lelehan propilen dapat keluar melalui lubang/die.

Pada resin polipropilen sebelumnya ditambahkan *polypropylene graft maleic anhydride* (PP-g-MA) sebanyak 5%wt dari berat total resin polipropilen yang akan dibuat menjadi lembaran. *Polypropylene graft maleic anhydride* (PP-g-MA) berfungsi sebagai bahan pengikat dengan cara memodifikasi sifat dari resin polipropilen. PP-g-MA memberikan gugus hidrofilik yang dapat berikatan dengan serat alam sedangkan gugus polimer dapat bertautan dengan matrik polimer sehingga terbentuk ikatan antara serat dan matrik.

3.2.3 Pembuatan Spesimen

Proses *hot press* digunakan untuk membuat material komposit kenaf-polipropilen. Serat kenaf dan lembaran PP yang telah dipotong sesuai ukuran cetakan kemudian disusun bersama serat kenaf menjadi lapisan-lapisan kemudian

diletakkan di dalam mesin *hot press* untuk membuat spesimen. Spesimen yang dihasilkan memiliki diameter 14 cm, ketebalan bervariasi tergantung parameter proses yang digunakan. Mesin *Hot Press* yang digunakan adalah merk Collin tipe P 300 P dengan tekanan maksimum 300 kN dan kapasitas panas 2 x 11.6 kW. Mesin *Hot Press* terbagi menjadi 5 *stage*. Kondisi operasi mesin disetting berdasarkan variasi penelitian seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Kondisi Operasi Mesin *Hot Press*

Kondisi	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5
T (°C)	190	190	190	190	30
P (bar)	0	40	40	40	40
t (min)	10	3	3	3	25

Proses pada mesin *hot press* terdiri dari 5 *stage* atau fase, yaitu; pemanasan awal (*pre-heating*), pembasahan serat (*fibre impregnated*), pengepresan, *release of the compression load* dan pendinginan. Pada fase pertama, belum diberikan tekanan untuk melepaskan uap-uap hasil pemanasan. Pada fase selanjutnya tekanan sudah diberikan untuk pembasahan serat (*fibre impregnated*) dan pembentukan komposit.

Kenaf dan lembaran polipropilen sebelumnya disusun berdasarkan jumlah lapisan yang ingin divariasikan, terlebih dahulu ditimbang untuk menghitung komposisi masing-masing dari setiap bahan. Setelah itu diletakkan pada cetakan logam, kemudian ditekan dengan tekanan, temperature, dan waktu sesuai dengan variasi penelitian. Hasil Pengepresan kemudian dikeringkan kembali di dalam oven pada suhu 80 °C selama 2 jam sebelum dilakukan pencetakan spesimen. Seluruh gambar alat proses dalam langkah-langkah penelitian dapat dilihat pada lampiran B.

3.3 Tahap Pengujian atau Karakterisasi

Sifat mekanik yang diuji pada penelitian ini adalah kekuatan tarik dan kekuatan *bending* atau kelenturan. Persiapan spesimen karakterisasi disesuaikan dengan kebutuhan alat dan prosedur pengujian. Pengujian tarik dan bending dilakukan menggunakan mesin *Universal Testing Machine* (UTM) SHIMADZU tipe AGS-10kNG dan tipe AG-X *plus*.

3.3.1 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik komposit diuji berdasarkan standar ASTM D638. Spesimen pengujian mengikuti alat pencetak spesimen tipe IV dengan panjang dimensi 75 mm, lebar 6 mm seperti pada gambar 3.2. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat *universal testing machine* SHIMADZU tipe AGS-10kNG dengan kecepatan pengujian sebesar 5 mm/min, panjang *gripped* sebesar 65 mm dan *pretension* 0.5 Mpa. Spesimen dibuat dengan menggunakan alat cetak atau *punchure* untuk pengujian kekuatan tarik, kemudian ditekan menggunakan alat *minitest press*. Banyaknya spesimen yang diuji ada 5 untuk memperoleh nilai rata-rata dari kekuatan tarik.



Gambar 3.2 Bentuk Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik

3.3.2 Kekuatan Lentur

Pengujian kekuatan lentur yang dilakukan mengacu pada standar ASTM D790 menggunakan *three point bending*. Ketebalan spesimen 2 mm dengan panjang spesimen minimal 16 kali ketebalan spesimen ditambah dengan 10 % *support span* pada tiap ujung-ujung spesimen. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat *universal testing machine* SHIMADZU tipe AG-X *plus* dengan tipe pengujian tiga titik lentur (*three point bend*). Kecepatan pengujian disesuaikan terhadap ketebalan spesimen yang akan diuji. Banyaknya spesimen yang diuji ada 5 untuk memperoleh nilai rata-rata dari kekuatan lentur.



Gambar 3.3 Bentuk Spesimen Pengujian kekuatan Bending

Spesimen dibuat sendiri secara manual dengan ukuran tebal dan panjang sesuai standar ASTM D 790. Kemudian dipotong-potong menggunakan mesin gerinda.

3.4 Jadwal Penelitian

Penelitian dilakukan di Sentra Teknologi Polimer, Balai Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Puspiptek, Serpong. Penelitian ini berlangsung dari bulan Februari sampai dengan bulan Mei 2016.

Tabel 3.5 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Uraian	Februari				Maret				April				Mei				Juni		
		Minggu ke-																		
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
1	Persiapan dan pengadaan material																			
2	Perencanaan Variasi Penelitian																			
3	Proses Alkali pada serat Kenaf																			
4	Pembuatan Lembaran Plastik PP (Ekstruder)																			
5	Pencetakan Komposit (Hot Press)																			
6	Pengujian Specimen																			
7	Pengolahan Data																			
8	Penyusunan Laporan																			

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposit yang dihasilkan pada penelitian ini diuji dengan beberapa pengujian untuk mengetahui karakteristik komposit kenaf polipropilen. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekuatan tarik dan uji kekuatan lentur.

4.1 Pengujian Kekuatan Tarik

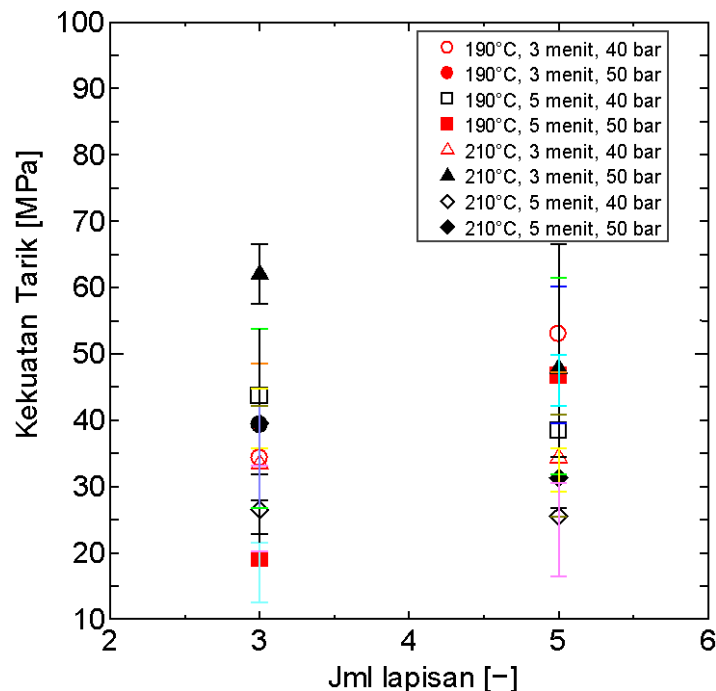
Kekuatan tarik adalah salah satu sifat dasar dari suatu bahan.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Sampel	Jumlah Lapisan	Temperatur (°C)	Waktu (Menit)	Tekanan (Bar)	Kekuatan Tarik (MPa)
1	3	190	3	40	34.3
2	3	190	3	50	39.3
3	3	190	5	40	43.7
4	3	190	5	50	19.1
5	3	210	3	40	33.4
6	3	210	3	50	62.0
7	3	210	5	40	26.5
8	3	210	5	50	39.5
9	5	190	3	40	53.0
10	5	190	3	50	46.7
11	5	190	5	40	38.4
12	5	190	5	50	46.7
13	5	210	3	40	34.3
14	5	210	3	50	47.8
15	5	210	5	40	25.5
16	5	210	5	50	31.3

Tabel 4.1 menunjukkan nilai kekuatan tarik komposit dari setiap masing-masing variasi. Nilai kekuatan tarik yang dihasilkan adalah nilai rata-rata dari 5 spesimen yang diuji. Adapun hasil uji kekuatan tarik yang lebih rinci lagi dapat dilihat pada lampiran C. Kemudian data hasil uji kekuatan tarik dianalisa berdasarkan pengaruh dari setiap masing-masing variasi, seperti pengaruh jumlah lapisan, temperatur, tekanan dan waktu dalam bentuk grafik.

4.1.1 Pengaruh Jumlah Lapisan

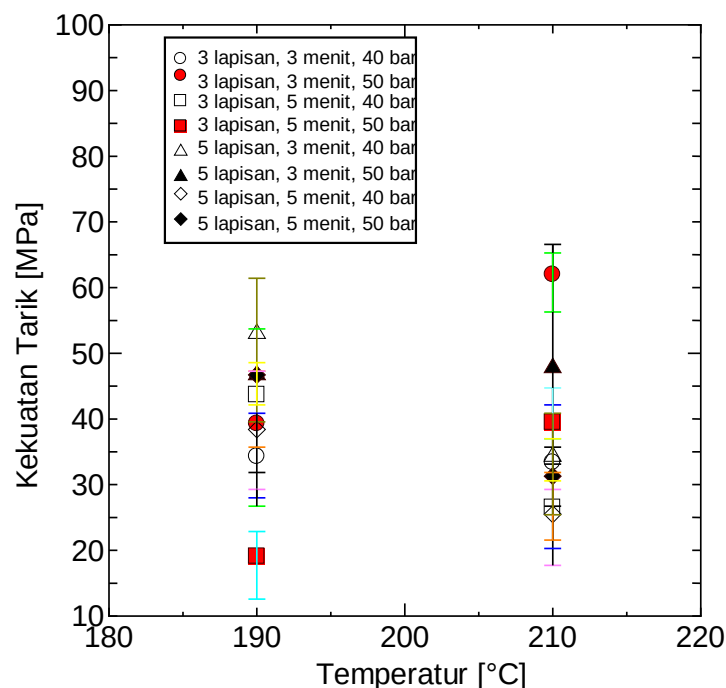


Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Jumlah Lapisan Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Kenaf-Polipropilen

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa pengaruh jumlah lapisan terhadap kekuatan tarik komposit kenaf-polipropilen mengalami peningkatan dan penurunan pada kondisi operasi tertentu. Meningkatnya nilai kekuatan tarik banyak ditemukan pada kondisi (190°C, 3 menit, 50 bar). Dan juga ditemukan pada kondisi operasi (210°C, 5 menit, 40 bar). Peningkatan nilai kekuatan tarik tersebut disebabkan oleh semakin banyaknya jumlah lapisan penyusun komposit yang digunakan sehingga ikatan yang terbentuk antara serat kenaf dan matrik polipropilen semakin kuat. Didukung dengan kondisi operasi yang sesuai dengan karakteristik bahan penyusun komposit tersebut. Temperatur, tekanan dan waktu yang digunakan saat proses pengepresan menyebabkan laju alir lelelehan polipropilen dapat menyebar dan mengisi ruang antar serat. Kemudian membentuk ikatan yang kuat antara serat dan matriks polipropilen sehingga meningkatkan nilai kekuatan tarik komposit. Serat alam yang digunakan sebagai pengisi sekaligus penguat dari matrik polipropilen masih mampu menerima kondisi operasi tersebut. Berdasarkan studi yang pernah dilakukan sebelumnya bahwa serat alam mulai terdegradasi pada suhu 220°C [43]. Sedangkan penurunan nilai kekuatan tarik

banyak ditemukan pada kondisi operasi (210°C, 5 menit, 50 bar) dan juga pada kondisi operasi (190°C, 5 menit, 40 bar). Penurunan tersebut dikarenakan pada kondisi operasi yang tinggi yaitu temperatur 210°C, lamanya waktu pengepresan yaitu 5 menit dan tekanan 50 bar, dapat menyebabkan serat alam mengalami kerusakan atau degradasi *thermal* sehingga menurunkan nilai kekuatan tarik komposit. Berdasarkan grafik diatas nilai kekuatan tarik terbaik ditemukan pada kondisi 3 lapisan, temperatur 210°C, 3 menit, dan tekanan 50 bar dengan nilai yang dihasilkan yaitu sebesar 62.0 MPa.

4.1.2 Pengaruh Temperatur

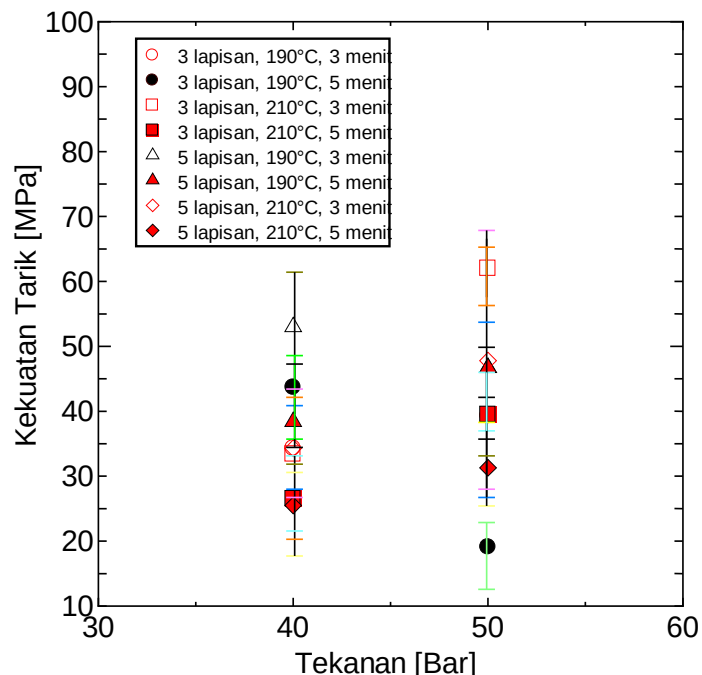


Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Kenaf-Polipropilen

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa pengaruh temperatur terhadap kekuatan tarik komposit kenaf-polipropilen mengalami peningkatan dan penurunan pada kondisi operasi tertentu. Peningkatan nilai kekuatan tarik terjadi pada kondisi (3 lapisan, 3 menit, 50 bar) dan (3 lapisan, 5 menit, 50 bar). Hal ini dipengaruhi oleh temperatur yang tinggi sehingga polipropilen mudah meleleh sehingga mampu membasahi dan mengikat serat kenaf. Selain itu tekanan pengepresan yang lebih besar juga menyebabkan komposit yang dihasilkan lebih homogen, ikatan

pembentukan antara serat kenaf dan matrik polipropilen lebih kuat akhirnya meningkatkan nilai kekuatan tariknya. Apabila tekanan dinaikkan maka tebal komposit yang dihasilkan akan mengecil dan penurunan temperatur semakin kecil. Oleh karena itu, parameter temperatur selama pengepresan dibuat lebih besar sehingga dapat menghasilkan komposit yang memiliki ikatan pembentukan yang kuat antara lapisan penyusunnya. Sedangkan penurunan nilai kekuatan tarik ditemukan pada kondisi (5 lapisan, 5 menit, 50 bar), (5 lapisan, 5 menit, 40 bar), (5 lapisan, 3 menit, 50 bar), (5 lapisan, 3 menit, 40 bar), (3 lapisan, 3 menit, 40 bar) dan (3 lapisan, 5 menit, 40 bar). Penurunan nilai kekuatan tarik disebabkan oleh semakin tingginya temperatur yang pada kondisi tertentu dapat merusak serat kenaf sebagai penguat dari susunan komposit tersebut. Selain itu juga pada jumlah lapisan 5 banyak mengalami penurunan nilai kekuatan tarik. Hal ini disebabkan tidak terbentuknya ikatan yang kuat antara matrik polipropilen dan serat kenaf. Pada kondisi ini lelehan polipropilen tidak dapat membasahi atau menembus bagian dalam seluruh bagian serat, yang terjadi hanya pada bagian permukaannya saja dan membentuk lapisan-lapisan pada bagian dalam komposit yang tidak berikatan, hal ini dapat dilihat langsung secara kasat ketika komposit tersebut dibelah menjadi dua bagian menggunakan mesin gerinda. Komposit hasil potongan mesin gerinda memperlihatkan pada susunan komposit tersebut masih berbentuk lapisan-lapisan, dan pada bagian tertentu terbentuknya rongga kosong yang tidak terisi oleh serat kenaf, sehingga ikatan pembentukan komposit antara matriks polipropilen dan serat kenaf tidak kuat. Ikatan yang tidak kuat dapat mempengaruhi penurunan nilai kekuatan tarik komposit. Berdasarkan grafik diatas nilai kekuatan tarik terbaik yang dihasilkan pada kondisi 3 lapisan, temperatur 210°C, 3 menit, dan tekanan 50 bar dengan nilai yaitu sebesar 62.0 MPa.

4.1.3 Pengaruh Tekanan

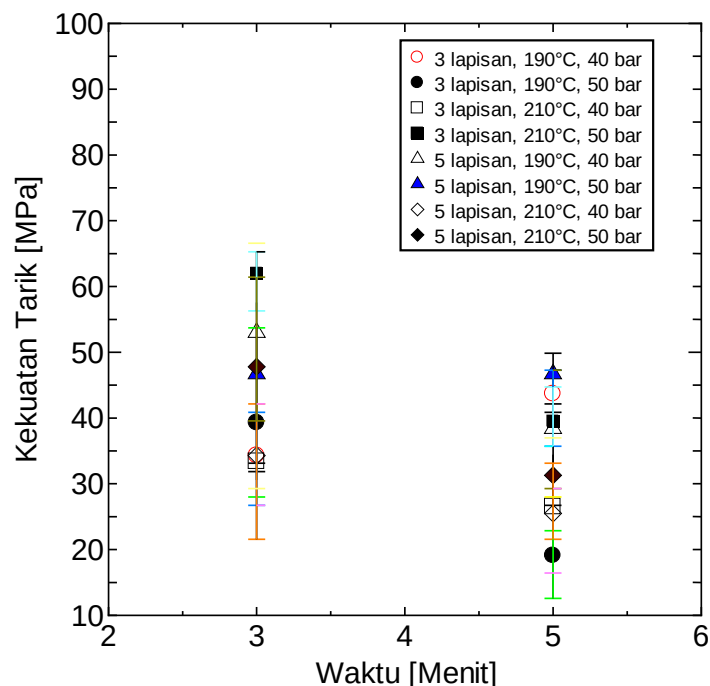


Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Tekanan Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Kenaf-Polipropilen

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa pengaruh tekanan terhadap kekuatan tarik komposit kenaf-polipropilen mengalami peningkatan dan penurunan pada kondisi operasi tertentu. Meningkatnya nilai kekuatan tarik banyak ditemukan pada kondisi (3 lapisan, 210°C, 3 menit). Dan juga ditemukan pada kondisi (5 lapisan, 210°C, 5 menit). Hal ini dipengaruhi oleh pengaruh tekanan yang diberikan semakin besar. Semakin besar tekanan yang diberikan mampu mencetak komposit lebih homogen antara lapisan penyusunnya sehingga ikatan pembentukan antara serat kenaf dan matrik polipropilen lebih kuat. Selain itu juga dipengaruhi oleh lama waktu pengepresan yang lebih lama. Semakin lama waktu pengepresan dan temperatur yang tinggi yaitu 210°C, lelehan polipropilen dapat membasahi serat kenaf dan akhirnya dapat terbentuk ikatan antara matriks polipropilen dan serat kenaf. Sedangkan penurunan nilai kekuatan tarik ditemukan pada kondisi (3 lapisan, 190°C, 5 menit) dan pada kondisi (5 lapisan, 190°C, 3 menit). Hal ini disebabkan oleh pengaruh tekanan yang lebih besar dan pengaruh waktu pengepresan. Pada tekanan 50 bar, waktu pengepresan 3 menit dan temperatur 190°C lelehan polipropilen belum dapat membasahi serat kenaf dan karena

tekanan yang besar distribusi serat kenaf menjadi tidak merata atau membentuk ruang kosong (*void*). *Void* dalam komposit kenaf-polipropilen terbentuk karena adanya gas yang terjebak dalam komposit, laju alir lelehan polipropilen di dalam lapisan penyusun komposit yang tidak merata dan Apabila komposit tersebut menerima beban, maka daerah tegangan akan berpindah ke daerah ruang kosong (*void*) sehingga akan mengurangi kekuatan komposit tersebut (Schwartz, 1984). Pada bagian tertentu terdapat bagian serat yang tidak menyelimuti serat kenaf secara sempurna dan membuntuk ruang kosong. Selain itu juga faktor serat kenaf yang mempunyai kadar air, sehingga pada saat proses *hot press* kadar air dalam serat menguap membentuk gelembung. Faktor-faktor tersebut yang akhirnya membentuk ikatan yang lemah antar penyusun komposit tersebut dan pada dapat menurunkan nilai kekuatan tarik komposit yang dihasilkan. Berdasarkan grafik diatas nilai kekuatan tarik terbaik yang dihasilkan ditemukan pada kondisi 3 lapisan, temperatur 210°C, 3 menit, dan tekanan 50 bar dengan nilai yang yaitu sebesar 62.0 MPa.

4.1.4 Pengaruh Waktu



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Waktu Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Kenaf-Polipropilen

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pengaruh waktu terhadap kekuatan tarik komposit kenaf-polipropilen mengalami peningkatan, penurunan dan ada yang konstan pada kondisi operasi tertentu. Nilai kekuatan tarik meningkat pada kondisi (3 lapisan, 190°C, 40 bar). Hal ini disebabkan oleh pengaruh waktu yang lebih lama dapat membentuk ikatan yang kuat antara serat kenaf dan matriks polipropilen namun serat kenaf belum mengalami penurunan kekuatan atau degradasi termal. Dengan kata lain, semakin lama waktu pengepresan maka akan semakin kuat juga kekuatan tariknya. Penambahan waktu pengepresan dari 3 menit ke 5 menit menyebabkan lelehan polipropilen lebih merata membasahi serat kenaf dan menutupi pori-pori sehingga ikatan antarmuka (*interface*) antara serat kenaf dan polipropilen akan semakin mengikat dengan baik. Sedangkan penurunan nilai kekuatan tarik banyak ditemukan pada kondisi (3 lapisan, 210°C, 50 bar) dan juga pada kondisi (5 lapisan, 210°C, 40 bar). Hal ini disebabkan oleh pengaruh waktu dan tekanan. Semakin lama waktu pengepresan dan tekanan yang diberikan juga besar dapat menyebabkan kerusakan atau degradasi termal pada serat kenaf dan menurunkan kekuatan dari serat kenaf. Dan pada saat kondisi operasi (5 lapisan, 190°C, 50 bar) nilai kekuatan tarik yang dihasilkan tidak mengalami perubahan atau konstan. Fenomena tersebut terjadi karena pada kondisi tersebut dipengaruhi oleh tidak terbentuknya ikatan yang kuat antara serat kenaf dan matrik polipropilen dan material komposit yang dihasilkan tidak homogen. Berdasarkan data diatas peningkatan atau penurunan nilai kekuatan tarik. Artinya lama waktu pengepresan 3 menit atau 5 menit tidak berpengaruh pada kondisi tersebut. Berdasarkan grafik diatas nilai kekuatan tarik terbaik yang dihasilkan ditemukan pada kondisi operasi 3 lapisan, temperatur 210°C, 3 menit, dan tekanan 50 bar dengan nilai kekuatan tarik yaitu sebesar 62.0 MPa.

4.2. Pengujian Kelenturan/Kuat Lentur

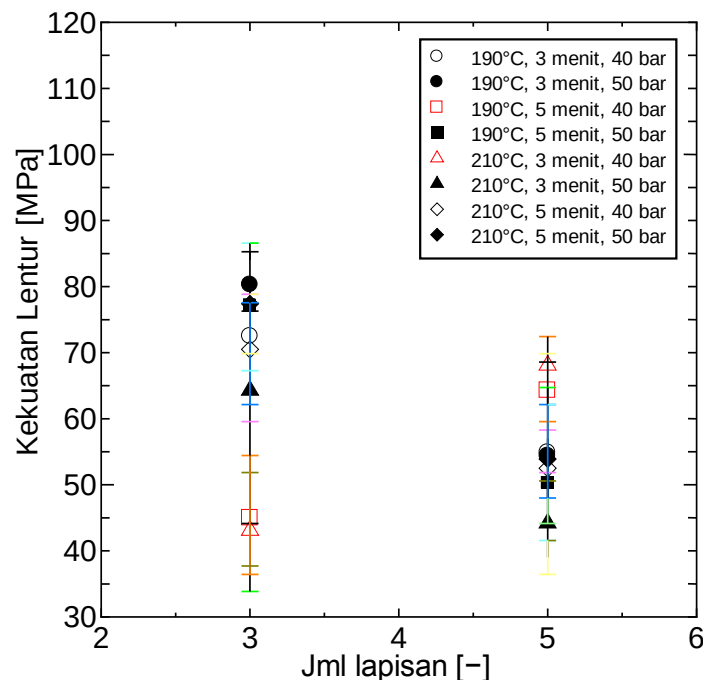
Kekuatan lentur suatu material dapat diketahui dengan melakukan pengujian dengan uji bending atau *flexural* terhadap material komposit tersebut. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui keelastisan suatu bahan dengan pemberian beban tertentu. Akibat pengujian bending bagian atas spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekuatan Lentur

Sampel	Jumlah lapisan	Temperatur (°C)	Waktu (Menit)	Tekanan (Bar)	Kekuatan Lentur (MPa)
1	3	190	3	40	72.5
2	3	190	3	50	80.3
3	3	190	5	40	45.0
4	3	190	5	50	77.2
5	3	210	3	40	43.1
6	3	210	3	50	64.3
7	3	210	5	40	70.5
8	3	210	5	50	77.4
9	5	190	3	40	54.9
10	5	190	3	50	54.4
11	5	190	5	40	64.3
12	5	190	5	50	50.3
13	5	210	3	40	68.1
14	5	210	3	50	44.2
15	5	210	5	40	52.5
16	5	210	5	50	53.9

Tabel 4.2 menunjukkan nilai kekuatan lentur komposit dari setiap masing-masing variasi. Nilai kekuatan lentur yang dihasilkan merupakan nilai rata-rata dari 5 spesimen yang diuji. Adapun hasil uji kekuatan lentur yang lebih rinci lagi dapat dilihat pada lampiran D. Kemudian data hasil uji kekuatan lentur dianalisa berdasarkan pengaruh dari setiap masing-masing variasi, seperti pengaruh jumlah lapisan, temperatur, tekanan dan waktu dalam bentuk grafik.

4.2.1 Pengaruh Jumlah Lapisan

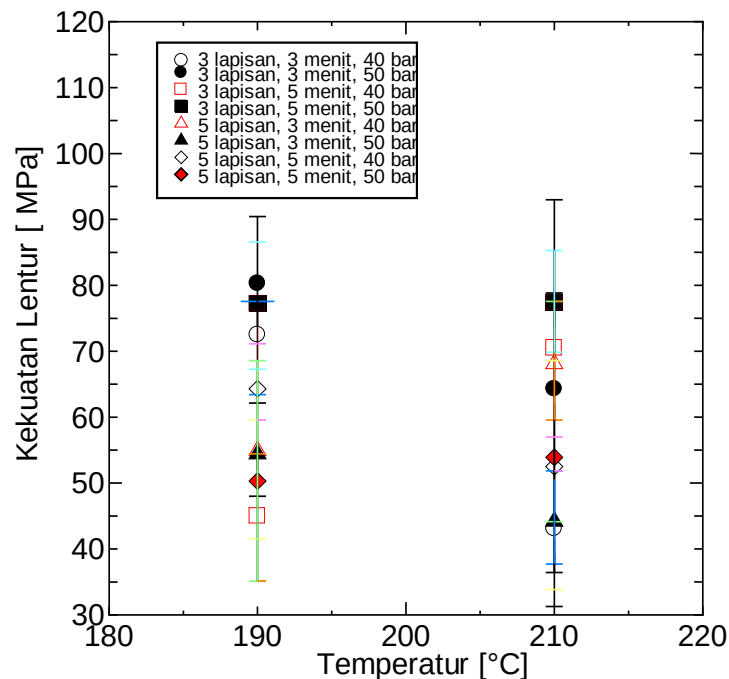


Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Jumlah Lapisan Terhadap Kekuatan Lentur Komposit Kenaf-Polipropilen

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa pengaruh jumlah lapisan terhadap kekuatan lentur komposit kenaf-polipropilen mengalami peningkatan dan penurunan pada kondisi operasi tertentu. Nilai kekuatan lentur meningkat pada kondisi operasi (190°C, 5 menit, 40 bar) dan juga pada kondisi (210°C, 3 menit, 40 bar). Peningkatan nilai kekuatan lentur tersebut disebabkan oleh semakin banyaknya jumlah lapisan penyusun komposit yang digunakan sehingga ikatan yang terbentuk antara serat kenaf dan matriks polipropilen semakin kuat. Dimana pada saat kondisi operasi tersebut terbentuknya ikatan yang kuat antara serat kenaf dan matriks polipropilen sehingga komposit yang dihasilkan mampu menahan beban yang lebih besar. Sedangkan penurunan nilai kekuatan lentur banyak ditemukan pada kondisi operasi (190°C, 3 menit, 50 bar) dan pada kondisi (210°C, 5 menit, 50 bar). Hal ini disebabkan oleh pengaruh jumlah lapisan, tekanan yang besar diberikan. Selain itu disebabkan oleh penambahan waktu dan suhu pengepresan menjadi 5 menit dengan temperatur 210°C, semakin lamanya waktu pengepresan maka serat kenaf mengalami kerusakan atau degradasi sehingga dapat menurunkan nilai kekuatan lentur. Nilai kekuatan lentur terbaik ditemukan pada

kondisi operasi jumlah lapisan 3, temperatur 190°C, waktu 3 menit dan tekanan 50 bar dengan nilai kekuatan lentur sebesar 80.3 MPa

4.2.2 Pengaruh Temperatur

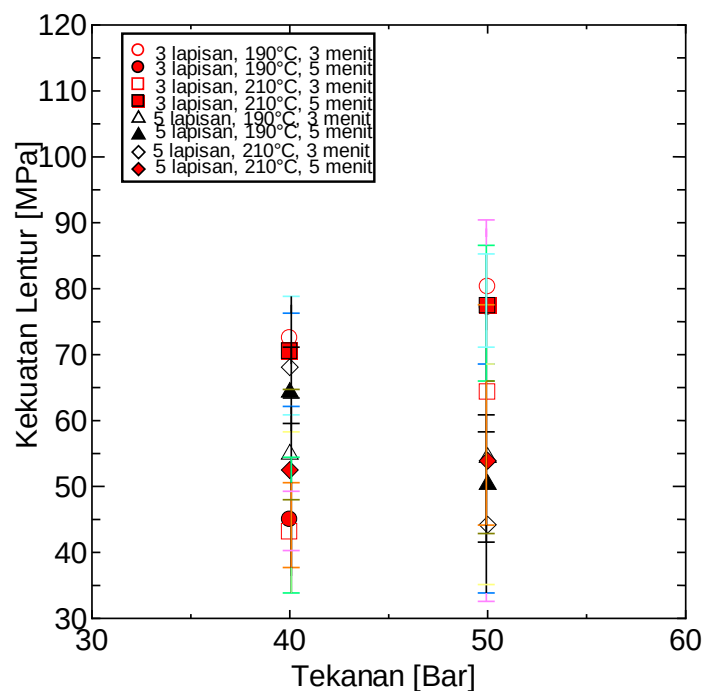


Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Kekuatan Lentur Komposit Kenaf-Polipropilen

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pengaruh temperatur terhadap kekuatan lentur komposit kenaf-polipropilen mengalami peningkatan dan penurunan pada kondisi operasi tertentu. Peningkatan nilai kekuatan lentur banyak ditemukan pada kondisi operasi (5 lapisan, 5 menit, 50 bar) dan juga ditemukan pada kondisi operasi (3 lapisan, 5 menit, 40 bar). Hal ini disebabkan oleh temperatur yang tinggi maka pelelehan polipropilen sudah membasahi serat kenaf, yang dapat meningkatkan nilai kekuatan lentur. Dan adanya faktor tekanan dimana pelelehan polipropilen dalam membasahi serat kenaf lebih merata dan mendapatkan tekanan yang besar sehingga pada saat proses pengepresan komposit yang dihasilkan lebih homogen dan mampu menahan beban lebih besar sehingga nilai kekuatan tarik yang dihasilkan meningkat. Sedangkan penurunan nilai kekuatan lentur banyak ditemukan pada kondisi operasi (3 lapisan, 3 menit, 50 bar), (5 lapisan, 5 menit, 40 bar) dan (5 lapisan, 3 menit, 50 bar). Hal ini disebabkan oleh pengaruh temperatur yang tinggi dimana serat kenaf yang berada pada lapisan atas

mengalami degradasi termal sehingga menyebabkan menurunnya kekuatan dari serat kenaf tersebut. Kemudian pada waktu pengepresan 3 menit belum terbentuknya ikatan anatara serat kenaf dan matriks polipropilen pada komposit dengan jumlah lapisan yang lebih banyak. Pada bagian tengah komposit, masih terlihat kenaf yang tidak terbasahi merata yang dapat mengurangi nilai kekuatan lentur. Nilai kekuatan lentur terbaik ditemukan pada kondisi operasi jumlah lapisan 3, temperatur 190°C, waktu 3 menit dan tekanan 50 bar dengan nilai kekuatan lentur sebesar 80.3 MPa.

4.2.3 Pengaruh Tekanan

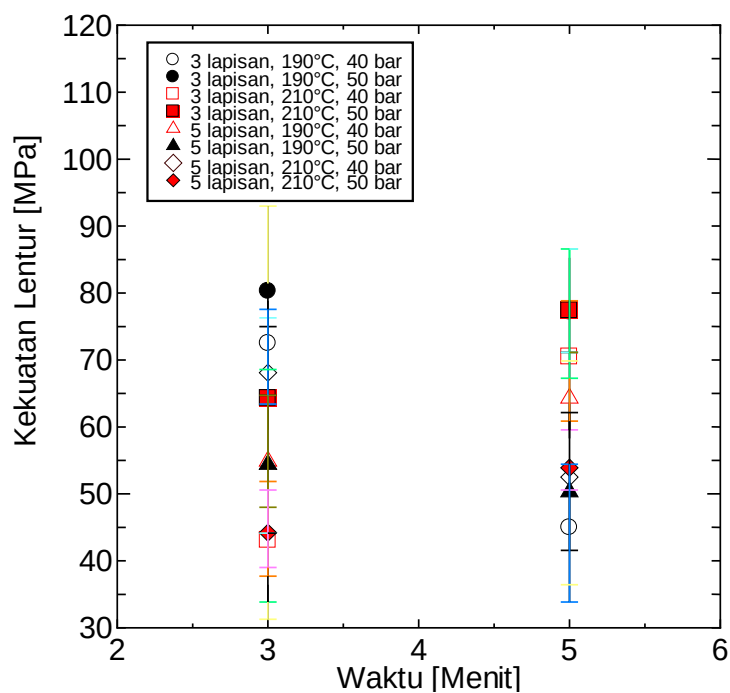


Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Tekanan Terhadap Kekuatan Lentur Komposit Kenaf-Polipropilen

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa pengaruh tekanan terhadap kekuatan lentur komposit kenaf-polipropilen mengalami peningkatan dan penurunan pada kondisi operasi tertentu. Peningkatan nilai kekuatan tarik banyak ditemukan pada kondisi operasi (3 lapisan, 210°C, 5 menit). Dan juga ditemukan pada kondisi operasi (5 lapisan, 210°C, 5 menit). Hal ini disebabkan oleh pengaruh tekanan yang lebih besar, semakin besar tekanan maka komposit yang dihasilkan lebih seragam atau homogen. Selain itu juga dipengaruhi oleh temperatur yang tinggi yaitu 210°C

dimana pada pengepresan pelelehan polipropilen untuk membasahi kenaf lebih merata dan membentuk ikatan pembentukan antar keduanya sehingga komposit yang dihasilkan dapat menerima beban yang besar dan nilai kekuatan lentur yang dihasilkan meningkat. Sedangkan penurunan nilai kekuatan lentur banyak ditemukan pada kondisi operasi (5 lapisan, 190°C, 5 menit) dan juga ditemukan pada kondisi operasi (5 lapisan, 210°C, 3 menit). Hal ini dipengaruhi oleh semakin banyaknya jumlah lapisan yang digunakan namun ikatan yang terbentuk antara serat kenaf dan matriks polipropilen tidak kuat sehingga menurunkan nilai kekuatan lentur komposit. Nilai kekuatan lentur terbaik ditemukan pada kondisi operasi jumlah lapisan 3, temperatur 190°C, waktu 3 menit dan tekanan 50 bar dengan nilai kekuatan lentur sebesar 80.3 MPa.

4.2.4 Pengaruh Waktu



Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Waktu Terhadap Kekuatan Lentur Komposit Kenaf-Polipropilen

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa pengaruh waktu terhadap kekuatan lentur komposit kenaf-polipropilen mengalami peningkatan dan penurunan pada kondisi operasi tertentu. Nilai kekuatan lentur naik pada kondisi operasi (3 lapisan, 210°C, 50 bar) dan juga pada kondisi operasi (5 lapisan, 210°C, 40 bar). Hal ini

disebabkan oleh pengaruh waktu yang lebih lama yaitu 5 menit yang dapat mempengaruhi pembentukan ikatan antara serat kenaf dan matriks polipropilen. Selain itu dipengaruhi oleh temperatur yang tinggi yang membuat pelelehan polipropilen semakin bagus untuk membasahi serat sehingga terbentuk ikatan pembentukan komposit yang kuat. Dan komposit yang dihasilkan mampu menahan beban yang lebih besar dan nilai kekuatan lentur yang dihasilkan lebih besar. Sedangkan penurunan nilai kekuatan lentur banyak ditemukan pada kondisi operasi (3 lapisan, 190°C, 50 bar) dan pada kondisi operasi (5 lapisan, 210°C, 40 bar). Hal ini dapat dikaitkan dengan lemahnya ikatan yang terbentuk antara serat kenaf dan matriks polipropilen pada kondisi tersebut. Lemahnya ikatan pembentukan disebabkan oleh terbentuk ruang kosong (*void*). *Void* dapat terjadi karena kandungan air yang terdapat dalam serat kenaf. Pada saat proses pengepresan kadar air yang terdapat dalam serat menguap. Kemudian uap yang terbentuk terjebak dan menyebabkan distribusi serat menjadi tidak merata sehingga tidak adanya interaksi ikatan pembentukan dalam susunan komposit dan menurunkan nilai kekuatan lentur komposit tersebut. Nilai kekuatan lentur terbaik ditemukan pada kondisi operasi jumlah lapisan 3, temperatur 190°C, waktu 3 menit dan tekanan 50 bar dengan nilai kekuatan lentur sebesar 80.3 MPa.

4.3 Perbandingan Hasil Pengujian Kekuatan Tarik dan Kelenturan

Hasil pengujian kekuatan tarik dan kelenturan komposit *prepreg* yang diperoleh pada penelitian ini kemudian dibandingkan untuk memperoleh sampel yang memiliki nilai kekuatan tarik dan kelenturan yang optimal.

Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Pengujian Kekuatan Tarik dan Kelenturan

Sampel	Jumlah Lapisan	Temperatur (°C)	Waktu (Menit)	Tekanan (Bar)	Kekuatan Tarik (MPa)	Kekuatan Lentur (MPa)
1	3	190	3	40	34.3	72.5
2	3	190	3	50	39.3	80.3
3	3	190	5	40	43.7	45
4	3	190	5	50	19.1	77.2
5	3	210	3	40	33.4	43.1
6	3	210	3	50	62	64.3
7	3	210	5	40	26.5	70.5
8	3	210	5	50	39.5	77.4
9	5	190	3	40	53	54.9
10	5	190	3	50	46.7	54.4
11	5	190	5	40	38.4	64.3
12	5	190	5	50	46.7	50.3
13	5	210	3	40	34.3	68.1
14	5	210	3	50	47.8	44.2
15	5	210	5	40	25.5	52.5
16	5	210	5	50	31.3	53.9

Tabel 4.3 menunjukkan perbandingan nilai kekuatan tarik dan kelenturan dari seluruh sampel. Diperoleh nilai kekuatan tarik dan kelenturan optimal pada sampel nomor 6, dengan jumlah lapisan 3 serta kondisi operasi temperatur 210°C, waktu penahanan 3 menit dan tekanan pengepresan 50 Bar. Nilai kekuatan tarik yang diperoleh yaitu 62 MPa dan nilai kelenturannya yaitu 64,3 MPa.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada data hasil pengujian serta analisa data dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Jumlah lapisan mempengaruhi nilai kekuatan tarik dan lentur komposit, semakin banyak jumlah lapisan dapat menurunkan kekuatan komposit tersebut. Temperatur, tekanan dan waktu memiliki pengaruh meningkatkan serta menurunkan kekuatan tarik dan lentur komposit *prepreg* kenaf-polipropilen tergantung kepada kondisi operasi tertentu.
2. Kombinasi terbaik yang memiliki nilai kekuatan tarik dan kelenturan optimal ditemukan pada sampel 6, dengan nilai kekuatan tarik sebesar 62,0 MPa dan nilai kelenturannya sebesar 64,3 MPa.

5.2 Saran

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi penulis menyarankan terkait pelaksanaan penelitian yaitu:

1. Digunakan ukuran serat kenaf yang lebih pendek dan resin polipropilen yang digunakan sebagai matriks berbentuk *powder* untuk dibuat mat kenaf-polipropilen agar pencampuran antara kedua bahan tersebut bisa lebih baik.
2. Pada proses pencetakan komposit sebaiknya menggunakan alat yang lebih stabil, seperti *injection molding*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Darda.2009. Pengembangan Teknologi Pengendalian Getah Kuning pada Buang Manggis.Institut Pertanian Bogor
2. Hendra, Ginting.2002.Pengendalian Bahan Komposit.Teknik Kimia.Universitas Sumatera Utara
3. Salahuddin, Junus.2012.Penggunaan Serat Alam Sebagai Bahan Komposit.Teknik Mesin.Universitas Jember
4. Parlevliet, Patricia P, Bersee, Harald E.N, Beukers and Ardian.2006.*Residual stresses in thermoplastic composite-A study of the literature-Part I: Formation of residual stresses*.Composites: Part A 37, 1847-1857 John, M.J and Thomas, S., 2008. Biofibers andbiocomposites, *Carbohydrate Polymers*.71: 343-364
5. Nishino, T.2004.*Natural Fiber Sources*. In: Baillie (Ed.): *Green Composites: Polymer Composites and the Environment*.Woodhead Publishing Ltd: 49-80
6. Nur Asilah and Che Aziz.2011.*Mechanical Perfomance Of Kenaf Fibre Reinforced Thermoplastic Composite*.Universitas Malaysia Pahang
7. Nushimura N.2002.*Structural Characterization Of Kenaf Lignin: Differences Among Kenaf Varieties*.Ind Crops Prod 15(2): 115-122
8. Mohanty AK, Misra M, Drzal L, Berglund L.2005.*Natural Fibers, Biopolymers and Bicomposites*.CRC Press Boca Raton: 802-832
9. Anonim. (2009). <http://www.naturalfibres2009.org/en/index.html>, 28 Juni 2016
10. Yuhazri Mohd Y, Phongsakorn, P.T, Haeryip Sihombing, Jeefferie A.R and Puvanasvaran.2011.*Mechanical Properties of Kenaf/Polyster Composites*. *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS* Vol.11 No 01
11. Komang Trisna Adi Putra.2014.Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Sifat Mekanik Komposit Kenaf-Polypropylene
12. Mohanty A.K, Misra M and Drzal L.T.2001.*Surface Modifications Of Natural Fibers And Performance Of The Resulting Biocomposites: An Overview*.Composite Interfaces. 8: 313-343.

13. Ismail, H, Suhelmy S and Edyham M.R.2002.*The Effect Of Silane Coupling Agent On Curing Characteristics and Mechanical Properties Of Bamboo Fibre Filled Natural Rubber Composites*.European Polymer Journal Vol.38: 39-47.Universiti Sains Malaysia, Penang, Malaysia.
14. Lee, S.H, Siquin W.2006.*Biodegradable Polymers/Bamboo Fiber Biocomposite With Bio-Based Coupling Agent*.Composites Part A Vol. 37: 80–91.University of Tennessee, Knoxville, USA.
15. Agus Hariyanto.2013.*Hard Rubber Composite Serat Kenaf Berpenguat Untuk Panel*.Media Mesin, Vol 14, No. 2, juli 2013: 68-72.
16. El-Sabbagh.2013.*Effect Of Coupling Agent On Natural Fibre in natural fibre/polypropylene composites on mechanical and thermal behaviour*. Composite Part B-Eng 2014;57:126-35.
17. Kim, J.G, Ilbeum C and Dai G.L.2011.*Flame and Silane Treatments For Improving The Adhesive Bonding Characteristics Of Aramid/Epoxy Composites*.Composite Structures Vol. 93: 2696–2705.School of Mechanical Aerospace & System Engineering, Daejeon, Republic of Korea.
18. Xie, Y, Callum A.S.H, Zefang X, Holger M. and Carsten M..2010.*Silane Coupling Agents Used for Natural Fiber/Polymer Composites: A Review*. Composites Part A Vol. 41: 806–819, Burckhardt-Institute, Germany.
19. Sumarji dan Hermawan, Yuni. 2009.*Aplikasi Komposit Hibrid Sandwich Serat Kenaf –Polyester Dengan Inti Kayu Sengon Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Struktur Logam*. Fakultas Teknik Universitas Jember.
20. Holia Onggo, Wiwiek Subowo dan Sudirman.2005.*Analisis Sifat Thermal Komposit-Polipropilen*. Pusat Penelitian Fisika(P2F)-LIPI, Bandung.
21. Schuh, T.G.1999.*Renewable Materials for Automotive Applications*.Daimler Chrysler AG, Stuttgart.
22. Syaifa Maulana. A, Joko Sedyono dan Agus Hariyanto.2016.*Pengembangan Komposit Dari Karet Eboni Dengan Penguat Serat Rami Untuk Komponen Otomotif Penutup Spion Sepeda Motor*. Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta
23. Siregar, Charles J.P.2010.*Teknologi Farmasi Sediaan Tablet Dasar-Dasar Praktis*. Jakarta: ECG: 33

24. Diharjo K dan Nuri S.H.2006.Studi Sifat Tarik Bahan Komposit Berpenguat Serat Rami Dengan Matrik Unsaturated Poliester, Proseding Seminar Nasional, Teknik Mesin FT Univ. Petra-Surabaya.
25. Abubakar.2013.Preparasi Dan Karakterisasi Bahan Kompsoit Polipropilena Dengan Pengisis Serat Limbah Padat(Fibre Recovery) Dari Pabrik Pulp Dan Kertas.Logaritma Vol 1 No.1
26. Sunardi, Lin Noor Fitriana dan Totok Wianto.2013.Sifat Mekanik Biokomposit Polipropilena Daur Ulang Menggunakan Serat Alang-Alang(Imperata Cylandria).Kimia, FMIPA.Universitas Lambung Mangkurat
27. Asumani O.M.L, R.G. Reid and R. Paskaramoorthy. 2012. *The Effect of alkali-Silane Treatment On The Tensile and Flexural Properties Of Short Fibre Non-Woven Kenaf Reinforced Polypropylene Composites*.International Journal of Composites Part A 4: 1431-1440.
28. Mohd Edeerozey, A.M, Akil, H.M, Azhar, A.B and Zainal Ariffinn, M.I. (2007). *Chemical Modification Of Kenaf Fibres*. School of Renewable Natural Resources
29. Yuhazri Mohd Y, Phongsakorn, P.T, Haeryip Sihombing, Jeefferie A. R and Puvanasvaran.2011.*Mechanical Properties of Kenaf/Polyster Composites. International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS* Vol.11 No 01
30. Febryanto, Hanry.2013.Pengaruh Variasi Temperatur Dan Paduan Polipropilen Dengan Serbuk Arang Kayu Terhadap Kekuatan Impact Pada Proses *Injection Molding*.Teknik Mesin, Universitas Jember
31. Purwanto, Wijyanti D.A, Harini S dan Kuwat T.2013.Karakteristik Morfologi dan Strukturmikro Serat Kenaf (*Hibiscus Cannabinus L.*) Akibat Perlakuan Kimia. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 55281, Indonesia.
32. Kord, B.2011.*Influence of Maleic Anhydride on the Flexural, Tensile and Impact Characteristics of Sawdust Flour Reinforced Polypropylene Composite*.World Applied Sciences Journal 12 (7): 1014-1016.Department of Wood Science and Paper Technology, Islamic Azad University, Mazandaran, Iran.
33. Prabowo, A.P.2008.Pengaruh Variasi Struktur Anyaman Serat Cantula 3D Terhadap Karakteristik Mekanik Komposit Uprs, Skripsi, Universitas Sebelas Maret Surakarta.

34. Nurhidayat, Ahmad.2013.Pengaruh Fraksi Volume Pada Pembuatan Komposit HDPE Limbah-Cantula Dan Berbagai Jenis Perekat Dalam Pembuatan Laminat.Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret
35. Ahmad Aditya F.2015.Analisa Kekuatan Serat Kaca Dan Polypropylene Pada Konstruksi Perahu Alumunium.Teknik Mesin.Universitas Sriwijaya.
36. Yunanto, A.P, Wijang, W.R, Heru dan Sukanto.2015.Pengaruh Laju Pendinginan Terhadap Sifat Tarik Komposit Kenaf-Polipropilen. Jurusan Teknik Mesin, FT.Universitas Sebelas Maret,Surakarta.
37. A.D.L Subangsinghe, R.Das dan D. Bhattacharyya.2015.*Fiber Dispersion Durin Compounding/Injection Molding Of PP/Kenaf Composites: Flammability And Mechanical Properties*.Material And Design: Elsevier.
38. Komang Trisna Adi Putra.2014.Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Sifat Mekanik Komposit Kenaf-Polypropylene.
39. Sallih N, Lescher P dan Bhattacharyya.2013.*Factorial Study Of Material And Process Parameters On The Mechanical Properties Of Extruded Kenaf Fibre/Polypropylene Composite Sheets*.Departement Of Mechanical Engineering, University Of Auckland.
40. Matthews, F.L dan Rawlings, RD.1993.*Composite Material Engineering And Science*, Imperial College Of Science, Technology And Medicine, London, UK.
41. K. van Rijswijk, M.Sc, et.al.2001.*Natural Fibre Composites Structures and Materials*. Laboratory Faculty of Aerospace Engineering Delft University of Technology
42. Kim, J.G, Ilbeum C and Dai G.L..2011.*Flame and Silane Treatments For Improving The Adhesive Bonding Characteristics Of Aramid/Epoxy Composites, Composite Structures Vol. 93* 2696–2705. School of Mechanical Aerospace & System Engineering, Daejeon, Republic of Korea.
43. Shinichi Shibata, Yong Cao, Takuya Kamiyam and Isao Fukumoto.2006. *Lightweight Laminate Composite Made From Kenaf and Polypropylene Fibers*.Faculty of Engineering Department of Mechanical Systems Engineering. University of the Ryukyus.
44. Gibson, Ronald, 1994. Principles Of Composite Material Mechanics. New York : Mc Graw Hill,Inc.

45. Trisna, Komang A.P.2013.Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Sifat Mekanik Komposit Kenaf Poplilpropilen. Teknik Mesin, Universitas Negeri Surakarta.
46. Matthews, F.L., Rawlings, RD., 1993, *Composite Material Engineering And Science*, Imperial College Of Science, Technology And Medicine, London, UK.
47. Diharjo, Kuncoro.2007.Rekayasa dan Manufaktur Bahan Komposit Sandwich Berpenguat Serat Kenaf Dengan Care Limbah Kayu Sengon Laut Untuk Komponen Gerbong Kereta Api.UNS, Surakarta.
48. Bisanda ETN. 2001. *The Effect Of Alkali Treatment On The Adhesion Characteristics Of Sisal Fibres*, Applied Composite Materials 7.
49. Courtney, TH., 1999, Mechanical Behavior Of Material, Mc. Graw, Hill International Engineering, Material Science/Metallurgy Series.
50. R.M. Jones, 1975,*Mechanics of Composite Material*, McGraw-Hill kogakusha,LTD,Wangingthon D.C.
51. Gibson, Ronald, 1994. Principles Of Composite Material Mechanics. New York : Mc Graw Hill,Inc.
52. Mahmuda E, Savetlana S dan Sugiyanto.2013.Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Ijuk Dengan Matrik Epoxy.Fakultas Teknik, Universitas Lampung
53. Masruchin, Nanang.2012.Pengembangan Komposit Propilena Berpenguat Serat Sisal Dan Serat Sabut Kelapa Untuk Material Komponen Otomotif.Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
54. Sanadi, A. R., Caulfield, D. F., Jacobson, R. E dan Rowell, R. M. 1995. *Renewable Agricultural Fibers as Reinforcing Fillers in Plastics: Mechanical Properties of Kenaf Fiber–Polypropylene Composites*. Ind. Eng. Chem. Res. 34 (5): pp. 1889- 1896
55. Yudo, Hrtono dan Sukanto Jatmiko.2008.Analsis Teknis Kekuatan Mekanis Material Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu (Baggase) Ditinjau Dari Kekuatan Tarik Dan Impak. Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
56. <http://ditjenbun.pertanian.go.id/tansim/berita-211-mengenal-tanaman-kenaf-hibiscus-cannabinus-l--dan-bahan-tanamnya.html> diakses pada tanggal 09 juli 2016

57. Muin M, Arif A dan Syahidah.2008.Deteriorasi Dan Perbaikan Sifat Kayu.Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanudin
58. Jacob M, Joseph S, Pothan LA, Thomas S.2005.*A Study Of Characterization Of Interfaces And Fiber Surfaces In Lignocellulosic Fiber Reinforced composites*, Composite Interfaces.
59. Rowell, R. M., Young, R. A., Roell, J. K.1997.*Paper and Composites from Agro-Based Resources*, Lewis Publishers, London.
60. Mallick, P.K.2007.*Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design 3rd ed*. CRC Press Taylor & Francis Group
61. PT Chandra Asri Petrokimia http://124.195.5.8/product_types.php diakses pada 27 Juni 2016
62. Balai Penelitian Tembakau dan Tanaman Serat.2009.Monograf Balittas : KENAF (*Hibiscus cannabinus* L.).Malang
63. Molyneux M.1983.Pregreg, Tape And Fabric Technology For Advanced Composites.Composites Vol.14 No.2.Butterworth & Co Ltd
64. Oktavia, D.A. 2007. Kajian SNI 01-2886-2000 makanan ringan ekstrudat. Jurnal Standardisasi Vol. 9. No. 1. Tahun 2007. P 1 – 9
65. Schaaf Technologie GmbH. 2007. Machine Systems, Pre-Extrusion Systems, Extrusion Systems, Post Extrusion Systems, Special Accesories and Machines diambil dari <http://www.schaaf-technologie.de/machines.html> diakses pada 09 Juli 2016
66. Linko, P., Y.Y.Linko, J. Olkku. 1982. Extrusion Cooking and Bioconversions dalam Ronald Jowitt (edt.). Extrusion Cooking Technology. ElsevierApplied Science Publishers , London.

Lampiran A

Gambar Alat dan Bahan yang Digunakan



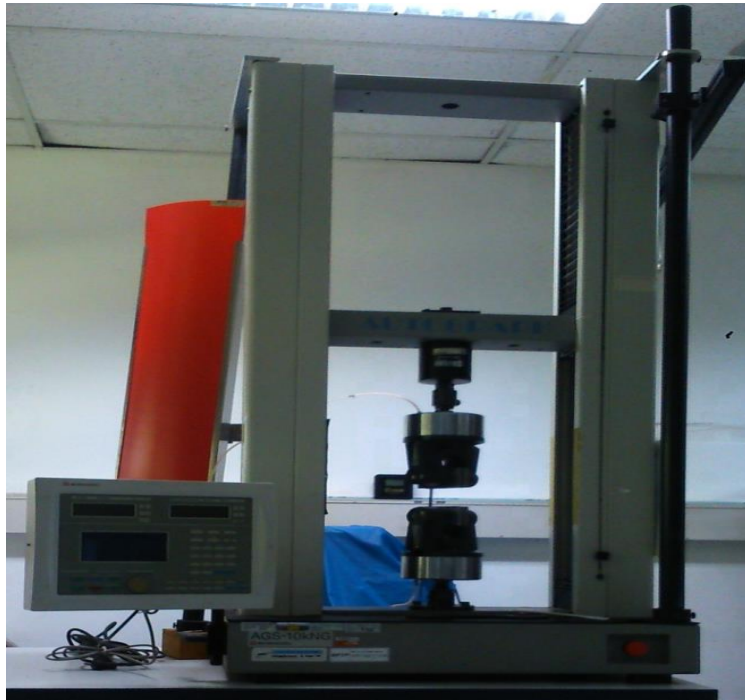
Mesin Ekstruder *Single Screw* dan *Callendering*



Oven



Mesin *Hot Press*



Alat Uji Kekuatan Tarik



Alat Uji Kekuatan Bending/lentur



Mesin *minitest press*



Alat cetak spesimen *tensile*



Alat pemotong/Gerinda



Serat Kenaf Sebelum Perendaman



Resin Polipropilen (PP)



Serat Kenaf Sesudah Perendaman



Coupling Agent (PP-g-MA)



Natrium Hidroksida (NaOH)

Lampiran B

Gambar Proses Penelitian



Perendaman Serat Kenaf



Pembuatan PP Sheet



Penyusunan lapisan komposit



Sampel Komposit



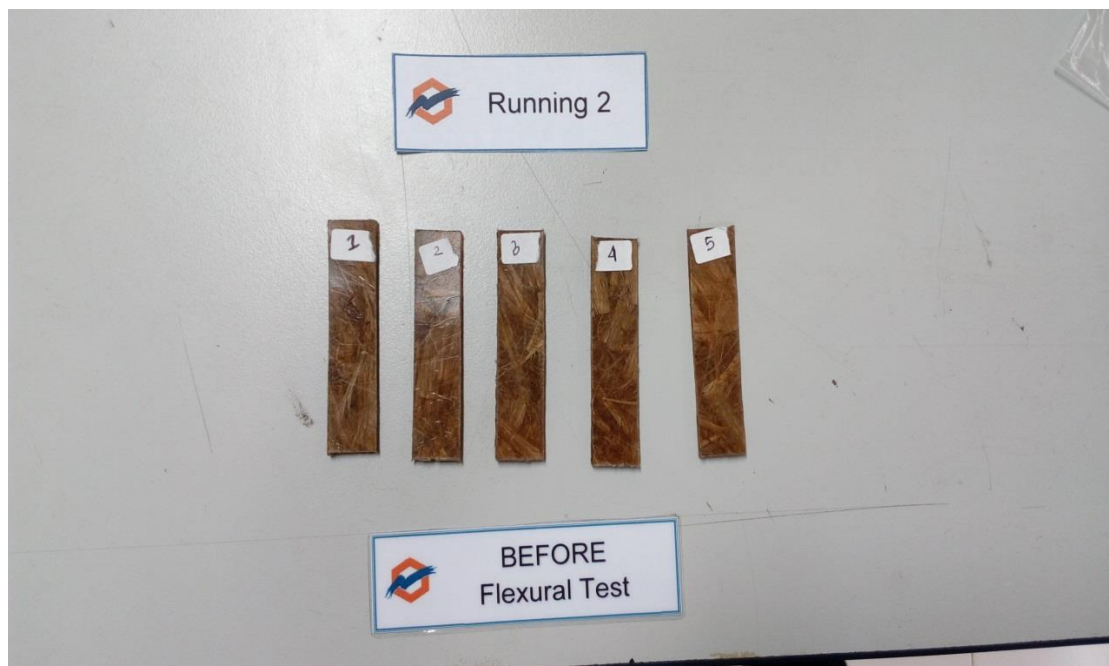
Spesimen Uji Kekuatan Tarik Sebelum Dilakukan Pengujian



Proses Uji Kekuatan Tarik



Spesimen Uji Kekuatan Tarik Sesudah Dilakukan Pengujian



Spesimen Uji Kekuatan Lentur Sebelum Dilakukan Pengujian



Proses Pengujian Kekuatan Lentur



Spesimen Uji Kekuatan Lentur Setelah Dilakukan Pengujian

Lampiran C

Hasil Uji Kekuatan Tarik

E.....E-Modulus
 "M.....Tensile Strength
 "M Strain at tensile strength

Kondisi:
 3 Lapisan, 190°C, 40 Bar
 3 Menit

Sample Name tandard	Sampel 1 ASTM 638 Type IV	Pretension Gripped length	0.5 MPa 65 mm	Test speed Test Cond.	0%->5 mm/min 22.5 °C&56.9%RH
------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------	--------------------------	---------------------------------

No	Sampel	Tebal (mm)	Lebar (mm)	E (Gpa)	"M (Mpa)	"M (%)
1	Specimen 1	2.510	5.980	2.375	27.48	1.256
2	Specimen 2	2.510	5.980	4.151	33.81	1.552
3	Specimen 3	2.350	5.700	4.076	28.37	0.843
4	Specimen 4	2.280	5.800	4.567	40.08	1.174
5	Specimen 5	2.500	5.830	3.030	41.51	1.496
Rata-rata		2.430	5.858	3.640	34.25	1.264
Std.dev		0.108	0.121	0.906	6.467	0.284

E.....E-Modulus
 "M.....Tensile Strength
 "M Strain at tensile strength

Kondisi:
 3 Lapisan, 190°C, 50 Bar
 3 Menit

Sample Name tandard	Sampel 2 ASTM 638 Type IV	Pretension Gripped length	0.5 MPa 65 mm	Test speed Test Cond.	0%->5 mm/min 22.5 °C&56.9%RH
------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------	--------------------------	---------------------------------

No	Sampel	Tebal (mm)	Lebar (mm)	E (Gpa)	"M (Mpa)	"M (%)
1	Specimen 1	2.760	5.760	4.313	27.21	0.792
2	Specimen 2	2.770	5.930	4.395	29.98	0.936
3	Specimen 3	2.580	5.740	5.280	49.63	1.328
4	Specimen 4	2.180	5.670	4.859	54.00	1.654
5	Specimen 5	2.780	5.860	4.388	35.60	1.236
Rata-rata		2.614	5.792	4.647	39.28	1.189
Std.dev		0.256	0.103	0.415	11.93	0.339

E.....E-Modulus

Kondisi:

“M.....Tensile Strength

3 Lapisan, 190°C, 40 Bar

"M Strain at tensile strength

5 Menit

Sample Name	Sampel 3	Pretension	0.5 MPa	Test speed	0%->5 mm/min
tandard	ASTM 638 Type IV	Gripped length	65 mm	Test Cond.	22.5 °C&56.9%RH

No	Sampel	Tebal (mm)	Lebar (mm)	E (Gpa)	“M (Mpa)	"M (%)
1	Specimen 1	2.313	5.823	2.459	36.38	1.389
2	Specimen 2	2.280	5.873	4.051	47.61	1.225
3	Specimen 3	2.280	5.833	4.176	47.94	1.609
4	Specimen 4	2.276	5.836	3.067	42.72	1.464
5	Specimen 5	2.276	5.836	3.630	43.85	1.358
Rata-rata		2.285	5.840	3.854	43.70	1.409
Std.dev		0.016	0.019	1.126	4.686	0.141

E.....E-Modulus

Kondisi:

“M.....Tensile Strength

3 Lapisan, 190°C, 50 Bar

"M Strain at tensile strength

5 Menit

Sample Name	Sampel 4	Pretension	0.5 MPa	Test speed	0%->5 mm/min
tandard	ASTM 638 Type IV	Gripped length	65 mm	Test Cond.	22.5 °C&56.9%RH

No	Sampel	Tebal (mm)	Lebar (mm)	E (Gpa)	“M (Mpa)	"M (%)
1	Specimen 1	2.156	5.633	1.823	22.85	1.253
2	Specimen 2	2.083	5.780	1.716	20.56	1.287
3	Specimen 3	1.733	5.640	1.387	12.53	0.850
4	Specimen 4	1.740	5.706	1.515	15.86	1.036
5	Specimen 5	2.046	5.723	1.978	23.49	1.365
Rata-rata		1.952	5.696	1.884	19.06	1.158
Std.dev		0.200	0.061	0.538	4.720	0.211

E.....E-Modulus
 “M.....Tensile Strength
 "M Strain at tensile strength

Kondisi:
 3 Lapisan, 210°C, 40 Bar
 3 Menit

Sample Name	Sampel 5	Pretension	0.5 MPa	Test speed	0%->5 mm/min
tandard	ASTM 638 Type IV	Gripped length	65 mm	Test Cond.	22.5 °C&56.9%RH

No	Sampel	Tebal (mm)	Lebar (mm)	E (Gpa)	“M (Mpa)	"M (%)
1	Specimen 1	2.240	5.793	3.123	34.10	2.077
2	Specimen 2	2.190	5.793	3.816	38.43	2.185
3	Specimen 3	1.530	5.893	4.387	42.82	1.548
4	Specimen 4	1.756	5.686	2.915	30.55	1.400
5	Specimen 5	2.243	5.766	1.978	21.26	1.449
Rata-rata		1.992	5.786	3.638	33.35	1.732
Std.dev		0.329	0.074	0.848	8.103	0.370

E.....E-Modulus
 “M.....Tensile Strength
 "M Strain at tensile strength

Kondisi:
 3 Lapisan, 210°C, 50 Bar
 3 Menit

Sample Name	Sampel 6	Pretension	0.5 MPa	Test speed	0%->5 mm/min
tandard	ASTM 638 Type IV	Gripped length	65 mm	Test Cond.	22.5 °C&56.9%RH

No	Sampel	Tebal (mm)	Lebar (mm)	E (Gpa)	“M (Mpa)	"M (%)
1	Specimen 1	2.530	5.826	4.949	65.81	2.056
2	Specimen 2	2.573	5.876	4.751	64.16	2.089
3	Specimen 3	2.593	5.766	4.676	58.52	1.426
4	Specimen 4	2.593	5.766	4.841	65.04	1.470
5	Specimen 5	2.506	5.763	4.123	56.26	1.362
Rata-rata		2.559	5.799	4.769	61.96	1.681
Std.dev		0.039	0.050	0.964	4.286	0.360

E.....E-Modulus
 “M.....Tensile Strength
 "M Strain at tensile strength

Kondisi:
 3 Lapisan, 210°C, 40 Bar
 5 Menit

Sample Name	Sampel 7	Pretension	0.5 MPa	Test speed	0%->5 mm/min
tandard	ASTM 638 Type IV	Gripped length	65 mm	Test Cond.	22.5 °C&56.9%RH

No	Sampel	Tebal (mm)	Lebar (mm)	E (Gpa)	“M (Mpa)	"M (%)
1	Specimen 1	2.630	5.716	3.823	32.93	1.191
2	Specimen 2	2.140	5.910	3.316	28.27	1.321
3	Specimen 3	2.113	5.756	3.287	21.38	0.976
4	Specimen 4	2.646	5.820	3.695	25.16	0.856
5	Specimen 5	2.246	5.693	3.597	24.83	1.139
Rata-rata		2.355	5.779	3.786	26.51	1.097
Std.dev		0.263	0.088	0.899	4.338	0.183

E.....E-Modulus
 “M.....Tensile Strength
 "M Strain at tensile strength

Kondisi:
 3 Lapisan, 210°C, 50 Bar
 5 Menit

Sample Name	Sampel 8	Pretension	0.5 MPa	Test speed	0%->5 mm/min
tandard	ASTM 638 Type IV	Gripped length	65 mm	Test Cond.	22.5 °C&56.9%RH

No	Sampel	Tebal (mm)	Lebar (mm)	E (Gpa)	“M (Mpa)	"M (%)
1	Specimen 1	2.556	5.726	2.854	36.73	1.318
2	Specimen 2	2.583	5.836	4.051	45.44	1.436
3	Specimen 3	2.660	5.636	4.176	40.36	1.363
4	Specimen 4	2.576	5.626	3.756	38.99	1.602
5	Specimen 5	2.570	5.663	3.630	36.07	1.128
Rata-rata		2.589	5.697	3.500	39.52	1.369
Std.dev		0.041	0.087	0.324	3.732	0.173

E.....E-Modulus
 “M.....Tensile Strength
 "M Strain at tensile strength

Kondisi:
 5 Lapisan. 190°C, 40 Bar
 3 Menit

Sample Name	Sampel 9	Pretension	0.5 MPa	Test speed	0%->5 mm/min
tandard	ASTM 638 Type IV	Gripped length	65 mm	Test Cond.	22.5 °C&56.9%RH

No	Sampel	Tebal (mm)	Lebar (mm)	E (Gpa)	“M (Mpa)	"M (%)
1	Specimen 1	3.430	5.616	2.581	38.93	1.909
2	Specimen 2	3.480	5.696	2.656	50.83	1.945
3	Specimen 3	3.433	5.536	2.875	54.59	2.339
4	Specimen 4	3.380	5.783	2.951	58.96	2.094
5	Specimen 5	3.486	5.566	3.378	61.46	2.234
Rata-rata		3.442	5.639	2.979	52.95	2.104
Std.dev		0.043	0.101	0.599	8.836	0.184

E.....E-Modulus
 “M.....Tensile Strength
 "M Strain at tensile strength

Kondisi:
 5 Lapisan. 190°C, 50 Bar
 3 Menit

Sample Name	Sampel 10	Pretension	0.5 MPa	Test speed	0%->5 mm/min
tandard	ASTM 638 Type IV	Gripped length	65 mm	Test Cond.	22.5 °C&56.9%RH

No	Sampel	Tebal (mm)	Lebar (mm)	E (Gpa)	“M (Mpa)	"M (%)
1	Specimen 1	3.876	5.920	2.459	32.79	1.639
2	Specimen 2	4.050	5.726	2.581	46.25	2.257
3	Specimen 3	3.970	5.666	3.176	61.79	2.267
4	Specimen 4	3.970	5.733	3.107	50.86	2.194
5	Specimen 5	3.890	5.746	3.374	41.61	2.163
Rata-rata		3.951	5.758	2.641	46.66	2.104
Std.dev		0.070	0.096	0.438	10.78	0.264

E.....E-Modulus
 “M.....Tensile Strength
 "M Strain at tensile strength

Kondisi:
 5 Lapisan, 190°C, 40 Bar
 5 Menit

Sample Name	Sampel 11	Pretension	0.5 MPa	Test speed	0%->5 mm/min
tandard	ASTM 638 Type IV	Gripped length	65 mm	Test Cond.	22.5 °C&56.9%RH

No	Sampel	Tebal (mm)	Lebar (mm)	E (Gpa)	“M (Mpa)	"M (%)
1	Specimen 1	3.483	6.020	2.823	47.22	2.064
2	Specimen 2	3.340	5.613	2.326	40.14	1.896
3	Specimen 3	3.446	5.526	1.879	35.18	2.101
4	Specimen 4	3.723	5.756	1.515	29.17	1.795
5	Specimen 5	3.576	5.690	2.478	40.30	1.936
Rata-rata		3.514	5.721	2.248	38.40	1.958
Std.dev		0.144	0.188	0.464	6.708	0.125

E.....E-Modulus
 “M.....Tensile Strength
 "M Strain at tensile strength

Kondisi:
 5 Lapisan, 190°C, 50 Bar
 5 Menit

Sample Name	Sampel 12	Pretension	0.5 MPa	Test speed	0%->5 mm/min
tandard	ASTM 638 Type IV	Gripped length	65 mm	Test Cond.	22.5 °C&56.9%RH

No	Sampel	Tebal (mm)	Lebar (mm)	E (Gpa)	“M (Mpa)	"M (%)
1	Specimen 1	3.076	5.590	3.459	49.58	2.092
2	Specimen 2	2.973	5.660	2.651	44.42	1.924
3	Specimen 3	3.133	5.553	3.116	48.71	1.666
4	Specimen 4	3.026	5.630	2.876	47.84	1.769
5	Specimen 5	2.990	5.596	2.638	42.73	2.005
Rata-rata		3.040	5.606	2.827	46.66	1.891
Std.dev		0.065	0.041	0.808	2.940	0.173

E.....E-Modulus
 “M.....Tensile Strength
 "M Strain at tensile strength

Kondisi:
 5 Lapisan, 210°C, 40 Bar
 3 Menit

Sample Name tandard	Sampel 13 ASTM 638 Type IV	Pretension Gripped length	0.5 MPa 65 mm	Test speed Test Cond.	0%->5 mm/min 22.5 °C&56.9%RH
------------------------	-------------------------------	------------------------------	------------------	--------------------------	---------------------------------

No	Sampel	Tebal (mm)	Lebar (mm)	E (Gpa)	“M (Mpa)	"M (%)
1	Specimen 1	3.116	5.700	3.542	51.24	1.808
2	Specimen 2	3.080	5.596	3.617	51.93	1.914
3	Specimen 3	3.156	5.790	3.274	40.22	1.418
4	Specimen 4	3.230	5.783	3.766	66.92	1.984
5	Specimen 5	2.600	5.769	2.978	28.83	1.229
Rata-rata		3.036	5.728	3.380	47.83	1.671
Std.dev		0.250	0.082	0.366	14.25	0.330

E.....E-Modulus
 “M.....Tensile Strength
 "M Strain at tensile strength

Kondisi:
 5 Lapisan, 210°C, 50 Bar
 3 Menit

Sample Name tandard	Sampel 14 ASTM 638 Type IV	Pretension Gripped length	0.5 MPa 65 mm	Test speed Test Cond.	0%->5 mm/min 22.5 °C&56.9%RH
------------------------	-------------------------------	------------------------------	------------------	--------------------------	---------------------------------

No	Sampel	Tebal (mm)	Lebar (mm)	E (Gpa)	“M (Mpa)	"M (%)
1	Specimen 1	4.356	5.686	2.333	34.62	1.737
2	Specimen 2	4.476	5.466	2.498	42.71	2.408
3	Specimen 3	4.540	5.603	2.456	40.88	2.405
4	Specimen 4	4.386	5.793	2.224	27.75	1.652
5	Specimen 5	4.550	5.603	2.135	25.50	1.304
Rata-rata		4.462	5.630	2.388	34.29	1.901
Std.dev		0.088	0.120	0.165	7.656	0.489

E.....E-Modulus
 “M.....Tensile Strength
 "M Strain at tensile strength

Kondisi:
 5 Lapisan, 210°C, 40 Bar
 5 Menit

Sample Name	Sampel 15	Pretension	0.5 MPa	Test speed	0%->5 mm/min
tandard	ASTM 638 Type IV	Gripped length	65 mm	Test Cond.	22.5 °C&56.9%RH

No	Sampel	Tebal (mm)	Lebar (mm)	E (Gpa)	“M (Mpa)	"M (%)
1	Specimen 1	3.530	5.750	3.542	34.12	1.894
2	Specimen 2	3.603	5.813	3.977	37.24	1.137
3	Specimen 3	3.656	5.703	3.245	30.46	1.088
4	Specimen 4	3.740	5.640	3.166	26.19	0.772
5	Specimen 5	3.810	5.760	3.278	28.59	1.068
Rata-rata		3.668	5.733	3.755	31.32	1.192
Std.dev		0.110	0.065	0.741	4.399	0.418

E.....E-Modulus
 “M.....Tensile Strength
 "M Strain at tensile strength

Kondisi:
 5 Lapisan, 210°C, 50 Bar
 5 Menit

Sample Name	Sampel 16	Pretension	0.5 MPa	Test speed	0%->5 mm/min
tandard	ASTM 638 Type IV	Gripped length	65 mm	Test Cond.	22.5 °C&56.9%RH

No	Sampel	Tebal (mm)	Lebar (mm)	E (Gpa)	“M (Mpa)	"M (%)
1	Specimen 1	3.660	5.760	2.933	19.57	0.818
2	Specimen 2	3.936	5.543	2.809	17.30	0.956
3	Specimen 3	3.720	5.676	3.256	30.07	1.244
4	Specimen 4	4.000	5.540	3.422	34.30	1.270
5	Specimen 5	3.820	5.580	2.835	26.04	1.099
Rata-rata		3.827	5.620	3.182	25.46	1.077
Std.dev		0.142	0.096	0.403	7.089	0.192

Lampiran D

Hasil Uji Kekuatan Lentur

Kondisi:
3 Lapisan, 190°C, 40 bar
3 menit

Product Name	Sampel 1	Method File Name	ASTM D 790.xmak
Temperature	23.6°C	Humidity	59.3%
Test Type	3 Point Bending	Speed	0.965 mm/min

Name Parameter	Thickness	Width	Elastic Strain 0.05- 0.25%	Max.Stress Calc. at Entire Areas	Secant Strain 1%
Unit	(mm)	(mm)	(GPa)	(MPa)	(GPa)
Specimen 1	2.3000	15.6800	1.82335	70.5524	1.85466
Specimen 2	2.2200	14.6000	2.55231	77.1072	2.65780
Specimen 3	2.2900	14.0600	2.69640	63.0305	2.22229
Specimen 4	2.2800	13.6200	1.96778	75.6893	1.65647
Specimen 5	2.2860	14.3160	2.48897	76.2770	3.18876
Average	2.2752	14.3160	2.30576	72.5313	2.31600
Std.Deviation	0.03170	0.86249	0.38533	5.89753	0.61950

Kondisi:
3 Lapisan, 190°C, 50 bar
3 menit

Product Name	Sampel 2	Method File Name	ASTM D 790.xmak
Temperature	23.4°C	Humidity	57.4%
Test Type	3 Point Bending	Speed	0.924 mm/min

Name Parameter	Thickness	Width	Elastic Strain 0.05- 0.25%	Max.Stress Calc. at Entire Areas	Secant Strain 1%
Unit	(mm)	(mm)	(GPa)	(MPa)	(GPa)
Specimen 1	2.1600	13.5000	0.87108	56.9643	0.84729
Specimen 2	2.1600	13.1700	1.71424	34.8182	0.48504
Specimen 3	2.2100	13.5100	1.74020	51.5518	0.79110
Specimen 4	2.1600	13.1400	1.67493	68.9229	0.77101
Specimen 5	2.1300	13.4400	0.92532	50.3280	0.29885
Average	2.1640	13.3520	4.04298	80.3320	4.21676
Std.Deviation	0.02881	0.18213	0.57730	7.60178	0.75086

Kondisi:

3 Lapisan, 190°C, 40 bar
5 menit

Product Name	Sampel 3	Method File Name	ASTM D 790.xmak
Temperature	22.6°C	Humidity	57.8%
Test Type	3 Point Bending	Speed	0.952 mm/min

Name Parameter	Thickness	Width	Elastic Strain 0.05- 0.25%	Max.Stress Calc. at Entire Areas	Secant Strain 1%
Unit	(mm)	(mm)	(GPa)	(MPa)	(GPa)
Specimen 1	2.2100	14.6900	1.18558	34.4693	0.94881
Specimen 2	2.1800	14.0100	1.14788	36.4211	0.85111
Specimen 3	2.1900	13.8400	1.85702	47.8826	1.61081
Specimen 4	2.2000	13.5600	1.16780	54.7806	1.05045
Specimen 5	2.6200	14.4600	2.31039	51.6343	2.25680
Average	2.2800	14.1120	1.53373	45.0376	1.34360
Std.Deviation	0.19039	0.45942	0.52719	9.11687	0.58942

Kondisi:

3 Lapisan, 190°C, 50 bar
5 menit

Product Name	Sampel 4	Method File Name	ASTM D 790.xmak
Temperature	22.4°C	Humidity	57.1%
Test Type	3 Point Bending	Speed	0.835 mm/min

Name Parameter	Thickness	Width	Elastic Strain 0.05- 0.25%	Max.Stress Calc. at Entire Areas	Secant Strain 1%
Unit	(mm)	(mm)	(GPa)	(MPa)	(GPa)
Specimen 1	1.8800	13.2900	3.59958	66.6822	3.20875
Specimen 2	2.0100	13.6100	4.89221	77.6575	4.27121
Specimen 3	1.9900	13.3500	3.45664	76.0384	5.20800
Specimen 4	1.9700	13.7900	3.66739	87.5029	6.89528
Specimen 5	1.9500	13.4500	3.37631	78.1411	4.47091
Average	1.9600	13.4980	3.79843	77.2044	4.81083
Std.Deviation	0.05000	0.20327	0.62211	7.40301	1.36712

Kondisi:

3 Lapisan, 210°C, 40 bar

3 menit

Product Name	Sampel 5	Method File Name	ASTM D 790.xmak
Temperature	23.1°C	Humidity	56.2%
Test Type	3 Point Bending	Speed	1.03 mm/min

Name Parameter	Thickness	Width	Elastic Strain 0.05- 0.25%	Max.Stress Calc. at Entire Areas	Secant Strain 1%
Unit	(mm)	(mm)	(GPa)	(MPa)	(GPa)
Specimen 1	2.4800	13.3100	1.94355	37.0216	1.92458
Specimen 2	2.4900	13.4400	2.12367	42.6716	1.98652
Specimen 3	2.3200	13.4400	2.53585	39.2960	1.92368
Specimen 4	2.4600	13.5400	2.28024	51.5771	2.13738
Specimen 5	2.1400	13.2600	1.26793	45.1221	1.54170
Average	2.3780	13.3980	2.03025	43.1377	1.90277
Std.Deviation	0.14973	0.11234	0.47841	5.64677	0.21985

Kondisi:

3 Lapisan, 210°C, 50 bar

3 menit

Product Name	Sampel 6	Method File Name	ASTM D 790.xmak
Temperature	22.6°C	Humidity	55.4%
Test Type	3 Point Bending	Speed	1.025 mm/min

Name Parameter	Thickness	Width	Elastic Strain 0.05- 0.25%	Max.Stress Calc. at Entire Areas	Secant Strain 1%
Unit	(mm)	(mm)	(GPa)	(MPa)	(GPa)
Specimen 1	2.3100	15.6900	2.17476	78.7381	3.90883
Specimen 2	2.4500	15.0400	1.93753	69.0979	3.18917
Specimen 3	2.4700	16.1700	1.97286	44.8328	2.03230
Specimen 4	2.4100	14.5100	2.47409	62.2836	2.45863
Specimen 5	2.3700	14.4000	2.59638	66.7639	2.51159
Average	2.4020	15.1620	2.23112	64.3433	2,82010
Std.Deviation	0.06419	0.76084	0.29518	12.4557	0.73621

Kondisi:
3 Lapisan, 210°C, 40 bar
5 menit

Product Name	Sampel 7	Method File Name	ASTM D 790.xmak
Temperature	22.4°C	Humidity	57.1%
Test Type	3 Point Bending	Speed	0.926 mm/min

Name Parameter	Thickness	Width	Elastic Strain 0.05- 0.25%	Max.Stress Calc. at Entire Areas	Secant Strain 1%
Unit	(mm)	(mm)	(GPa)	(MPa)	(GPa)
Specimen 1	2.1800	13.3400	3.38631	75.4045	4.46959
Specimen 2	2.3000	13.4000	4.23516	76.6220	4.62698
Specimen 3	2.1000	13.2100	1.98951	59.9343	2.11610
Specimen 4	2.1400	13.4000	3.95532	79.1447	3.88473
Specimen 5	2.2400	13.3100	2.71768	61.6262	3.01882
Average	2.1920	13.3320	3.25680	70.5465	3.62324
Std.Deviation	0.07950	0.07855	0.91632	9.03660	1.05226

Kondisi:
3 Lapisan, 210°C, 50 bar
5 menit

Product Name	Sampel 8	Method File Name	ASTM D 790.xmak
Temperature	22.8°C	Humidity	54.7%
Test Type	3 Point Bending	Speed	1.079 mm/min

Name Parameter	Thickness	Width	Elastic Strain 0.05- 0.25%	Max.Stress Calc. at Entire Areas	Secant Strain 1%
Unit	(mm)	(mm)	(GPa)	(MPa)	(GPa)
Specimen 1	2.6000	16.2900	1.93508	78.2862	2.06250
Specimen 2	2.5100	13.9800	2.80434	85.5078	2.57420
Specimen 3	2.5700	15.5200	2.01662	70.1895	1.51713
Specimen 4	2.4700	15.8700	2.45665	73.9313	2.16993
Specimen 5	2.4100	13.7000	2.14040	79.1315	2.45087
Average	2.5120	15.0720	2.27062	77.4093	2.15493
Std.Deviation	0.07629	1.16145	0.35830	5.77803	0.41198

Kondisi:

5 Lapisan, 190°C, 40 bar

3 menit

Product Name	Sampel 9	Method File Name	ASTM D 790.xmak
Temperature	23.6°C	Humidity	56.3%
Test Type	3 Point Bending	Speed	1.456 mm/min

Name Parameter	Thickness	Width	Elastic Strain 0.05- 0.25%	Max.Stress Calc. at Entire Areas	Secant Strain 1%
Unit	(mm)	(mm)	(GPa)	(MPa)	(GPa)
Specimen 1	3.3500	13.0900	2.10859	48.2367	2.26800
Specimen 2	3.3400	13.4800	2.64919	49.4300	2.55859
Specimen 3	3.5600	13.0800	2.57563	50.3413	2.61641
Specimen 4	3.3500	13.2900	2.92123	64.3430	2.97929
Specimen 5	3.4600	13.1100	2.55479	62.1688	2.34498
Average	3.4120	13.2100	2.56189	54.9040	2.55345
Std.Deviation	0.09628	0.17364	0.29260	7.69915	0.27851

Kondisi:

5 Lapisan, 190°C, 50 bar

3 menit

Product Name	Sampel 10	Method File Name	ASTM D 790.xmak
Temperature	22.7°C	Humidity	54.1%
Test Type	3 Point Bending	Speed	1.649 mm/min

Name Parameter	Thickness	Width	Elastic Strain 0.05- 0.25%	Max.Stress Calc. at Entire Areas	Secant Strain 1%
Unit	(mm)	(mm)	(GPa)	(MPa)	(GPa)
Specimen 1	3.8000	13.1800	1.54175	55.7002	2.24248
Specimen 2	4.0100	14.5500	0.90540	43.9885	2.20195
Specimen 3	3.8600	15.2500	2.44472	55.6797	2.62064
Specimen 4	3.8700	13.8500	1.06809	51.3423	2.38408
Specimen 5	3.7800	15.1000	1.22833	65.1054	1.80933
Average	3.8640	14.3860	1.43766	54.3632	2.25170
Std.Deviation	0.09017	0.86961	0.61006	7.67587	0.29660

Kondisi:

5 Lapisan, 190°C, 40 bar

5 menit

Product Name	Sampel 11	Method File Name	ASTM D 790.xmak
Temperature	22.4°C	Humidity	57.1%
Test Type	3 Point Bending	Speed	1.449 mm/min

Name Parameter	Thickness	Width	Elastic Strain 0.05- 0.25%	Max.Stress Calc. at Entire Areas	Secant Strain 1%
Unit	(mm)	(mm)	(GPa)	(MPa)	(GPa)
Specimen 1	3.3900	12.8700	2.43629	65.6938	3.28507
Specimen 2	3.3900	12.9700	3.52752	62.2287	3.86842
Specimen 3	3.3800	13.0100	3.07991	71.5161	3.79205
Specimen 4	3.4400	12.8800	2.80504	59.3291	2.92688
Specimen 5	3.4800	13.1500	3.82412	62.9781	3.58730
Average	3.4160	12.9760	3.13458	64.3492	3.49194
Std.Deviation	0.04278	0.11393	0.55432	4.60299	0.38826

Kondisi:

5 Lapisan, 190°C, 50 bar

5 menit

Product Name	Sampel 12	Method File Name	ASTM D 790.xmak
Temperature	22.6°C	Humidity	53.3%
Test Type	3 Point Bending	Speed	1.225 mm/min

Name Parameter	Thickness	Width	Elastic Strain 0.05- 0.25%	Max.Stress Calc. at Entire Areas	Secant Strain 1%
Unit	(mm)	(mm)	(GPa)	(MPa)	(GPa)
Specimen 1	3.1400	12.9300	1.79148	60.8798	1.61229
Specimen 2	3.2300	14.2900	2.0633	43.4722	1.82267
Specimen 3	2.9700	14.1900	2.25423	55.2685	1.97661
Specimen 4	2.3800	14.8700	1.02278	41.9836	0.78681
Specimen 5	2.6400	14.4800	1.56385	49.8003	1.01422
Average	2.8720	14.1520	1.73913	50.2809	1.44252
Std.Deviation	0.35549	0.73090	0.47881	7.94744	0.51768

Kondisi:

5 Lapisan, 210°C, 40 bar

3 menit

Product Name	Sampel 13	Method File Name	ASTM D 790.xmak
Temperature	22.4°C	Humidity	57.1%
Test Type	3 Point Bending	Speed	1.359 mm/min

Name Parameter	Thickness	Width	Elastic Strain 0.05- 0.25%	Max.Stress Calc. at Entire Areas	Secant Strain 1%
Unit	(mm)	(mm)	(GPa)	(MPa)	(GPa)
Specimen 1	3.1500	12.9700	2.54601	50.3874	2.30438
Specimen 2	3.1300	13.8000	2.17928	39.1856	2.15345
Specimen 3	3.1900	13.3000	3.26434	48.1389	2.99731
Specimen 4	3.3000	13.6800	2.34925	41.0462	2.17963
Specimen 5	3.1500	13.3800	2.10245	42.1909	2.05392
Average	3.1840	13.4260	2.48827	44.1898	2.33774
Std.Deviation	0.06841	0.32799	0.46618	4.81989	0.37936

Kondisi:

5 Lapisan, 210°C, 50 bar

3 menit

Product Name	Sampel 14	Method File Name	ASTM D 790.xmak
Temperature	22.5°C	Humidity	52.6%
Test Type	3 Point Bending	Speed	1.777 mm/min

Name Parameter	Thickness	Width	Elastic Strain 0.05- 0.25%	Max.Stress Calc. at Entire Areas	Secant Strain 1%
Unit	(mm)	(mm)	(GPa)	(MPa)	(GPa)
Specimen 1	4.1700	13.8500	0.28938	85.4327	4.29759
Specimen 2	4.1600	13.2300	1.19777	54.8776	2.72892
Specimen 3	4.1800	15.1800	1.17019	32.8340	1.66876
Specimen 4	4.2200	14.4200	0.01013	93.2480	4.94675
Specimen 5	4.0900	14.1200	0.58792	74.0867	1.37225
Average	4.1640	14.1600	0.65108	68.0958	3.00285
Std.Deviation	0.04722	0.71948	0.52773	24.4295	1.57.867

Kondisi:

5 Lapisan, 210°C, 40 bar

5 menit

Product Name	Sampel 15	Method File Name	ASTM D 790.xmak
Temperature	23.6°C	Humidity	56.3%
Test Type	3 Point Bending	Speed	1.475 mm/min

Name Parameter	Thickness	Width	Elastic Strain 0.05- 0.25%	Max.Stress Calc. at Entire Areas	Secant Strain 1%
Unit	(mm)	(mm)	(GPa)	(MPa)	(GPa)
Specimen 1	3.5000	12.9200	3.26898	52.2770	2.95466
Specimen 2	3.4400	13.4200	3.12726	51.4179	2.95605
Specimen 3	3.4600	13.0500	3.14954	52.4307	2.93412
Specimen 4	3.4300	13.3900	3.56270	58.7350	3.18616
Specimen 5	3.4500	13.2400	2.38059	54.4629	2.55462
Average	3.4560	13.2040	3.09781	53.8647	2.91712
Std.Deviation	0.02702	0.21617	0.43686	2.94286	0.22749

Kondisi:

5 Lapisan, 210°C, 50 bar

5 menit

Product Name	Sampel 16	Method File Name	ASTM D 790.xmak
Temperature	22.3°C	Humidity	53.7%
Test Type	3 Point Bending	Speed	1.624 mm/min

Name Parameter	Thickness	Width	Elastic Strain 0.05- 0.25%	Max.Stress Calc. at Entire Areas	Secant Strain 1%
Unit	(mm)	(mm)	(GPa)	(MPa)	(GPa)
Specimen 1	3.8700	14.3900	0.87108	56.9643	0.84729
Specimen 2	3.7100	15.2100	1.71424	34.8182	0.48504
Specimen 3	3.8400	14.0200	1.74020	51.5518	0.79110
Specimen 4	3.8500	14.0000	1.67493	68.9229	0.77101
Specimen 5	3.7600	16.2600	0.92532	50.3280	0.29885
Average	3.8060	14.7760	1.38515	52.5170	0.63866
Std.Deviation	0.06804	0.96350	0.44555	12.3278	0.23630