

LAPORAN PENELITIAN
PENGARUH VARIASI BERAT SERAT KENAF DAN *COUPLING AGENT*
TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT HDPE / SERAT KENAF
UNTUK APLIKASI ATAP RUMAH KOMPOSIT

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Menyelesaikan
Program Diploma IV Teknologi Kimia Industri
Sekolah Tinggi Manajemen Industri



Disusun Oleh:

JUNI EDI PURBA

(1611009)

WULAN DWIYANDINI

1611004

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KIMIA INDUSTRI
SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA
JAKARTA
2015

LEMBAR PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA
SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI

JUDUL : PENGARUH VARIASI BERAT SERAT KENAF DAN
COUPLING AGENT TERHADAP SIFAT MEKANIK
KOMPOSIT HDPE/SERAT KENAF UNTUK APLIKASI
ATAP RUMAH KOMPOSIT.

NAMA/NIM : WULAN DWIYANDINI/1611004
JUNI EDI PURBA/1611009

JURUSAN : TEKNOLOGI KIMIA INDUSTRI

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan dan dipertahankan
dalam sidang Tugas Akhir Sekolah Tinggi Manajemen Industri
Kementerian Perindustrian Republik Indonesia

Ketua Jurusan
Teknologi Kimia Industri

Dosen Pembimbing

DR. Ir. Gatot Ibnusantosa, DEA
NIP. 195105021980031003

Ir. Sumingkrat, M.Si
NIP. 195107071984032001

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN PENELITIAN

Mahasiswa/NIM : Wulan Dwiyandini / 1611004
Juni Edi Purba / 1611009

Tempat Penelitian : Sentra Teknologi Polimer, BPPT

Mulai Penelitian : 01 April 2015

Selesai Penelitian : 10 Juni 2015

Judul Penelitian : Pengaruh Variasi Berat Serat Kenaf dan *Coupling Agent* Terhadap Sifat Mekanik Komposit HDPE/Serat Kenaf Untuk Aplikasi Atap Rumah Komposit.

Catatan:

Serpong, Juni 2015

Jakarta, Juni 2015

Ir. Sumingkrat, M.Si

Pembimbing I

Hendro Sat Setijo Tomo, M.Sc

Pembimbing II

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga Laporan Penelitian kami yang berjudul “*Pengaruh Variasi Berat Serat Kenaf dan Coupling Agent Terhadap Sifat Mekanik Komposit HDPE/Serat Kenaf Untuk Aplikasi Atap Rumah Komposit*” di SENTRA TEKNOLOGI POLIMER ini dapat terselesaikan dengan tepat pada waktunya. Penyusunan laporan ini bertujuan guna memenuhi salah satu persyaratan kelulusan dari jurusan Teknologi Kimia Industri Sekolah Tinggi Manajemen Industri-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. Rasa terima kasih kami haturkan kepada:

1. Orang Tua kami tercinta dan saudara/i kami yang tidak lelah memberikan dukungan moril dan materil serta motivasi dan semangat.
2. Drs. Achmad Zawawi, M.A., selaku Ketua Sekolah Tinggi Manajemen Industri, Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.
3. DR. Ir. Gatot Ibusantosa, DEA selaku Ketua Jurusan Teknologi Kimia Industri Sekolah Tinggi Manajemen Industri.
4. Ir. Sumingkrat, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan laporan ini.
5. Bapak Hendro Sat Setijo Tomo, M.Sc selaku pembimbing penelitian di Sentra Teknologi Polimer yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama melakukan penelitian.
6. Seluruh karyawan serta staff Sentra Teknologi Polimer yang turut memberikan bimbingan selama pelaksanaan penelitian dan telah memberikan bantuan dalam proses penyelesaian laporan penelitian ini.
7. Seluruh rekan mahasiswa/i Jurusan Teknologi Kimia Industri angkatan 2011, khususnya rekan-rekan mahasiswa reguler malam.

8. Semua pihak dengan tidak mengurangi rasa terima kasih, yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

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, Juni 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
ABSTRAK	xii
ABSTRACT	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Material Komposit	6
2.1.1 Komponen Penyusun Komposit.....	8
2.1.2 Klasifikasi Material Komposit	9
2.2 Komposit Serat	12
2.2.1 Keunggulan Serat Alam	13
2.2.2 Tantangan Pemanfaatan Serat Alam	13
2.2.3 Modifikasi Serat Alam	14
2.2.4 Polimer	15
2.2.5 Matrik.....	17
2.2.6 Serat Kenaf.....	19
2.2.7 Ekstrusi	21
2.3 Sifat – sifat Material Komposit	25

2.3.1	Sifat Fisik	25
2.3.2	Sifat Mekanik.....	26
2.3.3	Hipotesis	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		33
3.1	Bahan dan Alat Penelitian.....	33
3.2	Variabel Penelitian.....	35
3.3	Prosedur Penelitian.....	36
3.3.1	Tahap Persiapan	37
3.3.2	Tahap Pelaksanaan.....	38
3.3.3	Tahap Pengolahan Data dan Analisis Data	47
3.3.4	Tahap Pengambilan Kesimpulan	48
3.4	Jadwal Penelitian	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		50
4.1	Hasil Pengujian Kekuatan Tarik (<i>Tensile Strength</i>)	50
4.2	Hasil Pengujian Kekuatan Bending (<i>Flexural Strength</i>)	52
4.3	Hasil Pengujian Kekerasan (<i>Hardness</i>).....	53
4.4	Hasil Pengujian Kekuatan Impak (<i>Impact Charpy</i>).....	55
4.5	Pengamatan Permukaan Komposit.....	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		60
5.1	Kesimpulan.....	60
5.2	Saran	61
DAFTAR PUSTAKA.....		62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beberapa Propertis Polimer Termoplastik.....	17
Tabel 2.2 Karakteristik HDPE.....	19
Tabel 2.3 Perbandingan Sifat Antara Serat Alami dengan Serat Gelas	21
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian	33
Tabel 3.2 Variasi Formula dan Jumlah Spesimen Pengujian.....	39
Tabel 3.3 Kondisi Operasi Mesin <i>Hot Press</i>	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi Matriks Pada komposit	8
Gambar 2.2 Ilustrasi <i>Reinforcement</i> Pada Komposit	9
Gambar 2.3 Mikrostruktur Lamina	10
Gambar 2.4 Pembagian Komposit	11
Gambar 2.5 (a) Botol Berbahan HDPE, (b) Simbol <i>Recycle HDPE</i>	18
Gambar 2.6 Tanaman Kenaf	20
Gambar 2.7 Ekstruder Ulir Tunggal (<i>Single Screw</i>)	24
Gambar 2.8 Ekstruder Ulir Ganda (<i>Twin Screw</i>)	24
Gambar 2.9 Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan.....	26
Gambar 2.10 Bentuk Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik.....	27
Gambar 2.11 Skema Pengujian Kekuatan Bending Tiga Titik Lentur	28
Gambar 2.12 (a) <i>Charpy Impact Test</i> , (b) <i>Izod Impact Test</i>	30
Gambar 2.13 Skema Pengujian Kekuatan Impak <i>Charpy</i>	31
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian	33
Gambar 3.2 Diagram Alir Tahap Pengadaan Material.....	38
Gambar 3.3 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian 1 (Pembuatan Komposit)	41
Gambar 3.4 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian 2 (Pembuatan Spesimen Pengujian)	43
Gambar 3.5 Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik	44
Gambar 3.6 Cetakan Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik	44
Gambar 3.7 Bentuk Spesimen Pengujian Kekuatan Bending.....	45
Gambar 3.8 Bentuk Spesimen Pengujian Kekerasan.....	45
Gambar 3.9 Bentuk Spesimen Pengujian Kekuatan Impak	45
Gambar 4.1 Grafik Kekuatan Tarik Komposit HDPE/Serat Kenaf	49
Gambar 4.2 Grafik Regangan Komposit HDPE/Serat Kenaf	50

Gambar 4.3 Grafik <i>Modulus Elasticity</i> Komposit HDPE/Serat Kenaf	51
Gambar 4.4 Grafik Kekuatan Bending Komposit HDPE/Serat Kenaf	52
Gambar 4.5 Grafik Kekerasan Komposit HDPE/Serat Kenaf pada Penetrasi 1'	53
Gambar 4.6 Grafik Kekerasan Komposit HDPE/Serat Kenaf pada Penetrasi 15'	53
Gambar 4.7 Grafik Kekuatan Impak Charpy Komposit HDPE/Serat Kenaf	55
Gambar 4.8 Analisis SEM F005 Dengan Perbesaran 70x	56
Gambar 4.9 Analisis SEM F010 Dengan Perbesaran 70x	57
Gambar 4.10 Analisis SEM F017 Dengan Perbesaran 70x	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Gambar dan Spesifikasi Alat dan Bahan yang Digunakan.....	xiv
Lampiran B	Data Sampling Panjang dan Kadar Air Serat Kenaf	xviii
Lampiran C	Tabel Formulasi Variasi Penelitian	xix
Lampiran D	Gambar Proses Penelitian.....	xx
Lampiran E	Hasil Pengujian Kekuatan Tarik.....	xxvi
Lampiran F	Hasil Pengujian Kekuatan Bending.....	xxvii
Lampiran G	Hasil Pengujian Kekerasan.....	xxviii
Lampiran H	Hasil Pengujian Kekuatan Impak	xxix
Lampiran I	Foto Analisis SEM	xxx
Lampiran J	SNI 1027:2015 Lembaran Semen Rata	xxxiii

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh berat serat kenaf dan *coupling agent* terhadap sifat mekanik *High Density Polyethylene* /serat kenaf untuk aplikasi atap rumah komposit. Sifat mekanik komposit yang diamati yaitu kekuatan tarik (*tensile strength*), kekuatan bending (*flexural strength*), kekerasan (*hardness*), dan kekuatan impak (*impact charpy*). Material komposit terdiri atas serbuk *High Density Polyethylene* sebagai matrik dan serat kenaf sebagai penguat. *Coupling agent* merupakan bahan yang ditambahkan untuk mengatasi masalah perbedaan sifat antara matrik dan serat yang menyebabkan *mechanical bounding* pada komposit menjadi lemah. *Coupling agent* yang digunakan dalam komposit adalah senyawa *vinyl-trimethoxy silane*. Variasi serat kenaf yang dilakukan yaitu 10 %, 20 %, 30 %, dan 40 % berat dari *High Density Polyethylene* yang digunakan. Sedangkan variasi *coupling agent* yang ditambahkan yaitu 0 %, 5 %, 10 %, 15 % berat dari *High Density Polyethylene* yang digunakan. Proses pembuatan komposit dilakukan dengan metode ekstrusi dan pembuatan spesimen dilakukan dengan metode cetak tekan menggunakan alat *hot press*. Pengujian sifat mekanik komposit kekuatan tarik menggunakan standar ASTM D-638, pengujian kekuatan bending dengan standar ASTM D-790, pengujian kekerasan dengan standar ASTM D-2240, dan pengujian kekuatan impak (*impact charpy*) dengan standar ISO/DIS 179-1. Hasil penelitian komposit *High Density Polyethylene*/serat kenaf menunjukkan bahwa penambahan serat kenaf dan penggunaan *coupling agent* yang berbeda-beda akan mempengaruhi sifat mekanik dari komposit tersebut. Variasi optimum yang dapat digunakan untuk aplikasi atap rumah komposit adalah F016 yang menghasilkan nilai kekuatan tarik sebesar 12,110 Mpa, kekuatan bending sebesar 26,7711 MPa, kekerasan 62 dan 55,6, dan kekuatan impak sebesar 8,720 kJ/m².

Kata Kunci: Komposit, HDPE (*High Density Polyethylene*), Serat Kenaf, *Coupling Agent*

ABSTRACT

The aim of the research is to determine the effect of kenaf's weight variation and coupling agent on mechanical properties of High Density Polyethylene/ kenaf fiber composites for rooftop application. The mechanical properties of the composite was observed they are tensile strength, flexural strength, hardness and impact strength (impact charpy). The composite material consists of High Density Polyethylene powder as a matrix and kenaf fiber as reinforcement. Coupling agent is a substance that is added to solved the problem because of the differences characteristics between the matrix and fibers and cause mechanical bounding on the composite decrease. Coupling agent that used in the composite are vinyl-trimethoxy silane. Variations kenaf fiber on this study is 10 %, 20 %, 30 %, and 40 % by weight of High Density Polyethylene are used. While the variation of coupling agent added is 0 %, 5 %, 10 %, 15 % by weight of High Density Polyethylene are used. The composite was made by extrusion process and the specimens was prepared using compression molding by hot press. Mechanical properties of composite were identified by testing the tensile strength according ASTM D-638, bending strength according ASTM D-790, hardness according ASTM D-2240, and impact strength (impact charpy) with standard ISO / DIS 179-1. The research result show that the addition of kenaf fiber and variation usage of coupling agent will affect the mechanical properties of the composites. The optimum variation that can be used for composite roof application is F016 that generate value 12.110 MPa for tensile strength, 26.7711 MPa of bending strength, hardness 62 and 55.6, and the impact strength is 8.720 kJ / m².

Key Words: *Composite, High Density Polyethylene, Kenaf Fiber, Coupling Agent*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu kemajuan teknologi di bidang material adalah pemanfaatan material komposit untuk berbagai keperluan seperti alat transportasi (darat, laut, dan udara), konstruksi (perumahan, instalasi pipa, dan perangkat keras), mesin – mesin industri, dan bahan listrik dan elektronik. Material komposit sendiri didefinisikan sebagai 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 [1].

Maraknya isu lingkungan hidup saat ini menuntut terobosan baru dalam menciptakan material komposit yang berkualitas tinggi dan ramah lingkungan salah satunya adalah komposit berpenguat serat alam. Disamping ramah lingkungan komposit berpenguat serat alam mempunyai berbagai keunggulan diantaranya yaitu harganya yang murah, kemampuan meredam suara, mempunyai massa jenis yang rendah, jumlahnya yang melimpah, ringan dan kemampuan mekanik yang tinggi [2].

Serat kenaf (*Hibiscus Cannabinus L.*) di Indonesia sebagian besar hanya digunakan sebagai bahan baku pembuatan karung goni, tali, dan kerajinan tangan [3] dan belum diolah menjadi produk teknologi. Tingginya produksi serat kenaf di Indonesia serta sifat mekanik serat kenaf yang baik seperti kaku, ringan, dan kuat merupakan potensi yang sangat besar untuk digunakan sebagai penguat komposit sehingga menjadi produk yang memiliki nilai ekonomi dan teknologi tinggi salah satunya sebagai atap rumah yang selama ini banyak menggunakan semen, PVC atau asbes.

Penelitian mengenai penggunaan serat kenaf sebagai pengisi komposit telah banyak dilakukan salah satunya dilakukan oleh (Sumarji dan Yuni Hermawan. 2010) dengan judul penelitian *Aplikasi Komposit Hibrid Sandwich*

Serat Kenaf – Polyester Dengan Inti Kayu Sengon Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Struktur Logam dan menghasilkan tegangan bending maksimum sebesar 30,87 MPa dan tegangan bending minimum 8,55 MPa sedangkan nilai kekuatan impak maksimum sebesar 0,31577 joule/mm² dan nilai kekuatan impak minimum sebesar 0,05726 joule/mm² [3]. Selain itu penelitian penggunaan serat kenaf pada resin termoplastik dilakukan oleh (Holia onggoo dkk, 2005) dengan melakukan analisis termal terhadap komposit polipropilen (PP) berpengisi serat kenaf dan menghasilkan kestabilan termal terbaik sebesar 97,5 % pada komposisi campuran serat kenaf sebesar 40 % dan penambahan MAPP sebesar 1 % sebagai *coupling agent* [4].

Resin yang digunakan dalam penelitian adalah resin termoplastik karena lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan resin termoset yaitu HDPE (*High Density Polyethylene*) yang merupakan salah satu komoditas termoplastik yang paling banyak digunakan pada aplikasi rumah tangga maupun industri. Kelebihan sifat mekanik HDPE (*High Density Polyethylene*) menjadikan material tersebut ideal untuk dibentuk pada aplikasi produk-produk, dan lebih dari itu 100% dapat didaur ulang serta mampu berfungsi baik sebagai matrik komposit. HDPE (*High Density Polyethylene*) memiliki modulus Young's dan kekuatan tarik tinggi tetapi lebih rendah regangan patah, kekerasan, dan kekuatan impaknya jika dipadukan dengan LDPE (*low density polyethylene*) atau LLDPE (*linear low-density polyethylene*) [5].

Serat kenaf mempunyai sifat polar sedangkan HDPE (*High Density Polyethylene*) sebagai matriknya mempunyai sifat nonpolar sehingga komposit yang akan dihasilkan dari keduanya akan mempunyai ikatan yang lemah. Kedua sifat yang berbeda ini menyulitkan dalam pencampuran dan seringkali menjadi penyebab kegagalan penggabungan sehingga menghasilkan komposit dengan kinerja yang lemah. Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut antara lain dengan perlakuan kimiawi [6], *coupling agent* [7], dan asetilasi [8] yang mampu memperbaiki *interface* dan keterbasahan

(*wettability*) antara matrik dan serat sehingga meningkatkan nilai kuat tarik, modulus, serta sifat panas komposit, namun disisi lain nilai kuat impak (*toughness*) komposit serat alam berbanding terbalik dengan nilai kuat tariknya [9].

Dalam penelitian ini, digunakan *vinyl-trimethoxy silane* sebagai *coupling agent* untuk mengatasi permasalahan diatas. *Coupling agent* berfungsi membantu penyebaran serat kenaf dalam HDPE (*High Density Polyethylene*) dan menyebabkan serat melekat pada matrik. Dalam proses, penambahan *coupling agent* akan meningkatkan kekuatan tarik dan lentur, mengurangi absorpsi air, dan memberikan suhu defleksi panas yang tinggi [4]. Variasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah variasi berat baik untuk penambahan serat kenaf ataupun *coupling agent* karena akan lebih memudahkan dalam proses formulasi dan pencampuran bahan dan sifat mekanik yang diamati yaitu kekuatan tarik (*tensile strength*), kekuatan lentur (*flexural strength*), kekuatan impak (*impact charpy*), kekerasan (*hardness*) dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang ingin diketahui dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi berat serat kenaf dan penambahan *coupling agent* terhadap sifat mekanik komposit yang dihasilkan?
2. Berapakah komposisi berat serat kenaf dan *coupling agent* agar menghasilkan komposit untuk aplikasi atap rumah komposit dengan sifat mekanik yang optimal?
3. Bagaimanakah morfologi dan distribusi serat terhadap matrik pada komposit yang dihasilkan dilihat pada skala makro?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini masalah dibatasi sebagai berikut:

1. Ukuran serat kenaf yang digunakan pada penelitian dianggap sama yaitu 5 mm.
2. Kualitas serat kenaf yang digunakan dianggap sama berdasarkan spesifikasi *supplier*.
3. Berat serat kenaf yang digunakan pada penelitian sebesar 10 % sampai 40 % dari berat resin HDPE (*High Density Polyethylene*) yang digunakan.
4. Penambahan *coupling agent* sebesar 5 % sampai 15 % dari berat resin HDPE (*High Density Polyethylene*) yang digunakan.
5. Penambahan bahan aditif dalam proses penelitian tidak divariasi dan dilakukan berdasarkan penelitian sebelumnya.
6. Proses pencampuran antara serat kenaf dan HDPE (*High Density Polyethylene*) dianggap merata.
7. Selama proses *sintering*, distribusi panas dan tekanan mesin *press* dianggap merata pada seluruh luasan cetakan.
8. Tidak membahas biaya yang diperlukan dalam pembuatan komposit untuk aplikasi atap rumah komposit.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Menganalisis pengaruh yang terjadi pada sifat mekanik komposit akibat perubahan komposisi berat serat kenaf dan *coupling agent* yang ditambahkan.
2. Mengetahui komposisi berat serat kenaf dan *coupling agent* yang harus ditambahkan agar menghasilkan komposit dengan sifat mekanik yang optimum.
3. Menganalisis morfologi dan distribusi serat terhadap matrik pada komposit yang dihasilkan dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan bermanfaat antara lain:

1. Secara teoritis dapat dipakai untuk mengetahui sifat mekanik komposit HDPE-serat kenaf yang dihasilkan dari komposisi yang optimum.
2. Mengembangkan model material komposit ramah lingkungan yang terbuat dari resin termoplastik dan serat alam (*natural fiber*).
3. Memberikan alternatif material komposit ramah lingkungan untuk keperluan atap rumah yang selama ini kebanyakan menggunakan semen, PVC, atau asbes.
4. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu bahan pertimbangan dan referensi untuk melakukan penelitian tentang rekayasa komposit serat alam sebagai atap rumah.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

Menurut asal kata bahwa kata komposit (*composite*) berasal dari kata kerja “*to compose*” yang berarti menyusun atau menggabungkan. Komposit adalah struktur material yang terdiri dari dua kombinasi bahan atau lebih yang dibentuk pada skala makroskopik dan menyatu secara fisika [12].

Definisi yang lain yaitu, 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. Material komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari pada 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 [13].

Penjelasan tentang komposit juga diutarakan dalam buku *Natural Fibre Composites*, komposit adalah bahan hibrida yang terbuat dari resin polimer diperkuat dengan serat, menggabungkan sifat-sifat mekanik dan fisik [14].

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 [13].

Komposit dan *alloy* memiliki perbedaan dari cara penggabungannya yaitu apabila komposit digabung secara makroskopis sehingga masih kelihatan serat maupun matriknya (komposit serat) sedangkan pada *alloy* / paduan digabung secara mikroskopis sehingga tidak kelihatan lagi unsur-unsur pendukungnya [15].

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 [15]:

- a. kekuatan (*Strength*)
- b. kekakuan (*Stiffness*)
- c. ketahanan korosi (*Corrosion resistance*)
- d. ketahanan gesek/aus (*Wear resistance*)
- e. berat (*Weight*)
- f. ketahanan lelah (*Fatigue life*)
- g. meningkatkan konduktivitas panas
- h. tahan lama

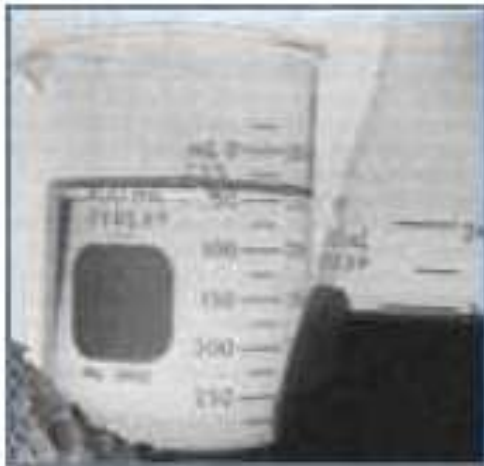
Secara alami kemampuan tersebut diatas tidak ada semua pada waktu yang bersamaan. Karena keuntungan dari komposit adalah ringan, kaku dan kuat, maka komposit banyak digunakan dalam aplikasi kehidupan sehari-hari.

2.1.1 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 matriks dalam struktur komposit bisa berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik. Matriks secara umum berfungsi untuk mengikat serat menjadi satu struktur komposit [16].

2.1.1.1 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).



Gambar 2.1 Ilustrasi Matriks pada Komposit

2.1.1.2 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 [17].

Reinforcement juga berfungsi sebagai penguat atau kerangka dari suatu 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.



Gambar 2.2 Ilustrasi *Reinforcement* Pada Komposit

2.1.2 Klasifikasi Material Komposit

Berdasarkan bahan penguat, material komposit dapat diklasifikasikan menjadi komposit serat, komposit lamina, komposit partikel, komposit serpihan dan komposit rangka [18].

2.1.2.1 Komposit Serat (*Fiber Composite*)

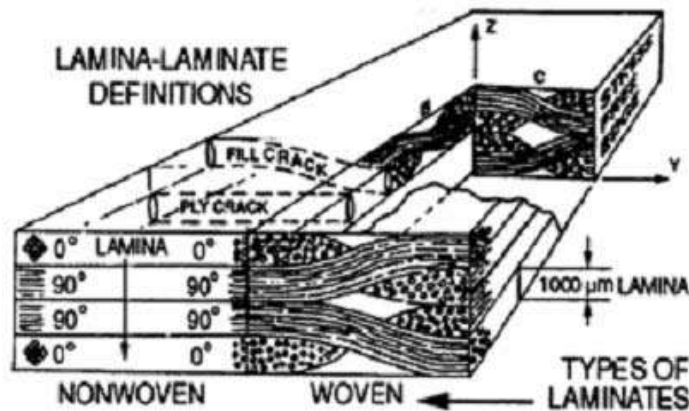
Komposit serat merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguat. Serat yang digunakan biasanya berupa serat gelas, serat karbon, serat aramid, serat alam dan sebagainya. Serat ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks 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*)

2.1.2.2 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. Mikrostruktur lamina dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut ini:



Gambar 2.3 Mikrostruktur lamina [19]

2.1.2.3 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

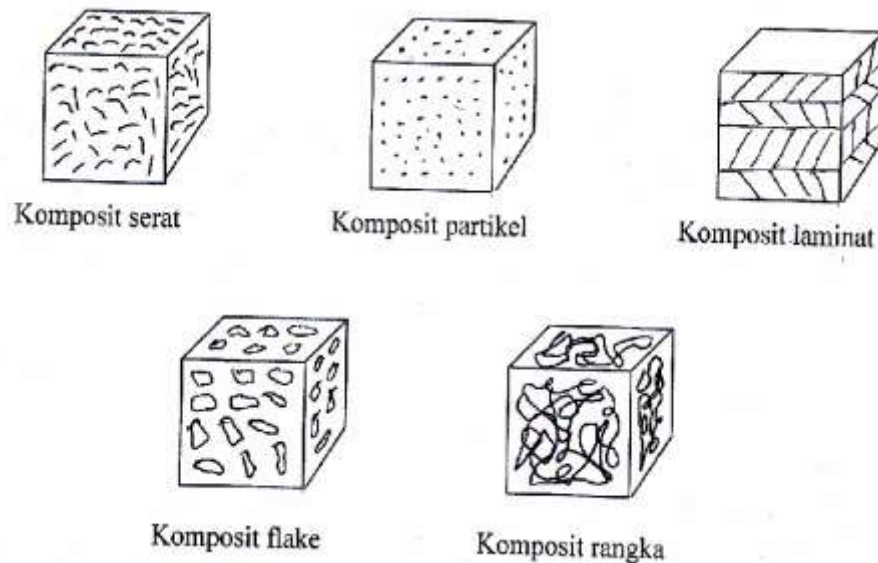
perlakuan seperti panas, tekanan, kelembaban, katalisator dan lain- lain. Komposit partikel ini berbeda dengan jenis serat acak sehingga bersifat isotropis. Kekuatan komposit serat dipengaruhi oleh tegangan koheren di antara fase partikel dan matriks yang menunjukkan sambungan yang baik.

2.1.2.4 Komposit Serpihan (*Flake Composite*)

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.

2.1.2.5 Komposit Rangka (Komposit Terisi)

Komposit rangka (komposit terisi) yang terdiri dari matriks rangka yang terisi dengan bahan kedua.



Gambar 2.4 Pembagian Komposit [18]

Komposit dapat dibagi berdasarkan sifat dan dimensi tersebarnya yaitu:

a. 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 tersebarnya yaitu:

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

b. Makrokomposit

Biasanya dimensi ukuran partikel penyusun makrokomposit memiliki ukuran di atas 10^{-6} . Bahan komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur, yaitu matrik 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*) [20].

2.2 Komposit Serat

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 [18]. 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 (*continuous 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 [21]. Komposit serat pendek dengan orientasi yang benar akan menghasilkan kekuatan yang lebih besar, apabila dibandingkan *continuous 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 [18].

2.2.1 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 *abrasive* pada mesin, tidak membuat iritasi, dapat didaur ulang, *biodegradable*, bahan akustik serta isolasi panas yang baik, *non foodgrade*, jika dibakar sempurna akan menghasilkan gas CO₂ dan H₂O [22].

2.2.2 Tantangan Pemanfaatan Serat Alam

Berikut adalah tantangan terkait penggunaan serat alam, antara lain: nilai dampak 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 °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 dibawah 200 °C) [22].

2.2.3 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:

2.2.3.1 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 [23]. Liu *et.al* menyimpulkan bahwa proses alkali dapat meningkatkan stabilitas panas dari *native grass* [24].

Penelitian tentang proses alkali terhadap serat alam telah banyak dilakukan, salah satunya adalah pengaruh uji FTIR terhadap proses perendaman serat serabut kelapa dengan NaOH 5 % dan didapatkan hasil pengolahan yang optimum selama 2 hari [25].

2.3.3.2 Coupling Agent

Penggunaan *vinyl-trimethoxy silane* sebagai *coupling agent* telah banyak digunakan dalam berbagai studi [10, 11] dan dilaporkan bahwa penggunaan *coupling agent* tersebut dapat meningkatkan sifat-sifat mekanik dari komposit yang dihasilkan. *Coupling agent* memberikan gugus hidrofilik yang dapat berikatan dengan serat alam sedangkan gugus polimer dapat berikatan dengan matrik polimer sehingga terbentuk *interface* diantara serat dengan matrik.

2.2.4 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 elektron [26].

2.2.4.1 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 [27].

2.2.4.2 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.

Karakteristik dan sifat mekanik beberapa polimer termoplastik yang umum digunakan dalam komposit serat alam dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Beberapa Propertis Polimer Termoplastik [28]

Property	PP	LDPE	HDPE	PS
Density (g/cm ³)	0.899 - 0.920	0.910 - 0.925	0.94 - 0.96	1.04 - 1.06
Water Absorbtion 24 hours (%)	0.01 - 0.02	< 0.015	0.01 - 0.2	0.03 - 0.10
Tg (°C)	-10 to -23	-125	-133 to -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 ⁵)	6.8 - 13.5	10	12 – 13	6 - 8
Tensile Strength (Mpa)	26 - 41.4	40 - 78	14.5 – 38	25 - 69
Elastic Modulus (Gpa)	0.95 - 1.77	0.055 - 0.38	0.4 - 1.5	4 - 5
Elongation (%)	15 - 700	90 - 800	2.0 – 130	1 - 2.5
Izod Impact Strength (J/m)	21.4 - 267	> 854	26.7 – 1068	1.1

2.2.5 Matrik

Material komposit terdiri dari matrik dan *filler* (pengisi). Matrik diartikan sebagai material pengikat antara serat atau partikel namun tidak terjadi reaksi kimia dengan bahan pengisi. Secara umum matrik berfungsi sebagai pengikat bahan pengisi, sebagai penahan dan pelindung serat dari efek lingkungan dari kerusakan baik kerusakan secara mekanik maupun kerusakan akibat reaksi kimia, serta untuk mentransfer beban dari luar ke bahan pengisi.

Dalam penelitian ini, matrik yang digunakan adalah HDPE (*High Density Polyethylene*). Plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) termasuk dalam kategori termoplastik, karena memiliki ikatan antar molekul yang linier, sehingga dapat mengalami pelunakan atau perubahan bentuk, dengan kata lain dapat meleleh jika dikenai panas. HDPE (*High Density Polyethylene*) terbentuk dari gabungan molekul-molekul kecil atau monomer yang akan membentuk

makromolekul, maka disebut juga polimer. Proses pembuatan polimer ini disebut polimerisasi, yang melibatkan energi panas dan katalisator untuk memisahkan ikatan dalam suatu molekul agar dapat terjadi ikatan dengan molekul-molekul lain yang sejenis [29].

Sifat-sifat plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) secara umum adalah tahan terhadap zat kimia (minyak, deterjen), ketahanan *impact* yang cukup baik, memiliki ketahanan terhadap suhu, dan plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) stabil terhadap oksidasi udara [30]. HDPE (*High Density Polyethylene*) juga lebih keras dan mampu stabil pada temperatur tinggi ($T_m = 130\text{ }^\circ\text{C}$) [31].

HDPE (*High Density Polyethylene*) berasal dari gabungan monomer jenis *ethylene* (C_2H_4) yang mengalami proses polimerisasi dengan tekanan rendah. Gambar 2.5 adalah botol bekas dari HDPE (*High Density Polyethylene*) dan memiliki simbol nomor 2 yang artinya sekali pakai serta mampu didaur ulang yang dikeluarkan *the society of plastic industry* pada tahun 1998 di Amerika Serikat dan diikuti lembaga-lembaga pengembangan sistem kode, seperti ISO (*international organization for standardization*).



(a)



(b)

Gambar 2.5 (a). Botol berbahan HDPE, (b). Simbol *Recycle* HDPE

Karakteristik HDPE (*High Density Polyethylene*) [30] dapat dilihat pada Tabel 2.2, sebagai berikut:

Tabel 2.2 Karakteristik HDPE (*High Density Polyethylene*)

Properties	Value
Density (gram/cm ³)	0,952
Tensile strength (MPa)	33,10
Compression strength (MPa)	24,82
Flexural strength (MPa)	39,99
Melting point (°C)	130
Izod Impact (J/m ²)	21,351
Water absorption (%)	0,01

2.2.6 Serat Kenaf

Serat kenaf (*Hibiscus Cannabinus L.*) dikenal juga dengan nama Yute Jawa, kata Kenaf berasal dari bahasa Persia dan tanaman ini berasal dari famili *Malvaceae*. Kenaf adalah tumbuhan semak dengan pertumbuhan setahun dan tinggi mencapai 3 meter. Batang tanaman kenaf tidak bercabang dengan sebagian besar gundul dan sebagian lainnya berduri tempel. Batang tanaman ini berbentuk pipih, silindris, dan pada tanaman budidaya tanaman ini tidak bercabang dan gundul, pigmentasi pada tanaman ini seluruhnya hijau atau hijau dengan merah atau ungu ataupun seluruhnya merah. Daun tanaman kenaf berbentuk berseling, stipula filiform dengan panjang 5–8 mm, panjang tangkai daun kenaf 3–30 cm, pada bagian adaksial berambut rata dan pada bagian abaksial berbulu tegak, berwarna hijau hingga merah.

Tanaman kenaf sudah lama dibudidayakan di Indonesia dan mencapai luas 26.000 ha yang tersebar di Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Kalimantan Selatan. Kenaf memiliki keunggulan beradaptasi luas pada berbagai kondisi lahan dan memiliki toleransi yang tinggi terhadap kondisi tanah abiotik seperti genangan air, kekeringan, dan pH tanah yang rendah (masam). Kenaf merupakan tanaman hari pendek berumur 100 - 140 hari dan dikembangkan dengan benih.

Hampir semua bagian tanaman dapat digunakan untuk bahan baku berbagai industri. Daun kenaf mengandung protein kasar 24 % sangat baik untuk pakan ternak unggas dan ruminansia. Biji kenaf mengandung lemak 20 % bagus untuk minyak goreng karena banyak mengandung asam lemak tidak jenuh (Oleat dan Linoleat). Kayu kenaf sangat baik sebagai bahan baku industri *particle board* untuk berbagai keperluan seperti furnitur, pintu, jendela, kusen, pelapis dinding rumah, dll. Serat kenaf dapat ditemukan pada kulit kayu dan inti kayu. Kulit kayu menyumbang 40 % massa batang tanaman, memiliki dinding sel yang tebal (6.3 μm) bahkan lebih tebal dibandingkan dinding sel inti batang yang hanya 3 μm . Serat yang dihasilkan dari kulit batangnya digunakan untuk membuat karung goni atau untuk tali-temali.



Gambar 2.6 Tanaman Kenaf

Serat kenaf banyak digunakan sebagai bahan baku berbagai industri seperti *fibre board*, *geo-textile*, *soil remediation*, *pulp* dan kertas, tekstil, karpet, kerajinan tangan, dll. *Fibre board* dari serat kenaf saat ini digunakan sebagai bahan untuk interior mobil seperti langit-langit, pintu, *dushboard*, dll. Selain itu, *fibre board* juga banyak digunakan pada industri elektronik untuk casing TV, radio, tape, dll. Juga untuk perumahan sebagai pelapis dinding rumah, peredam suara, dll. *Geotextile*, *fibredrain* banyak digunakan oleh para kontraktor pada pembangunan bandara, jembatan, pertambangan, dll. Sebagai bahan untuk pencegahan longsornya tanah dan penyerapan air tanah. *Soil remediation* dengan menggunakan serat kenaf adalah untuk memperbaiki kondisi kesuburan

tanah terutama pada bekas pertambangan sebagai usaha reklamasi. Serat kenaf juga digunakan sebagai bahan suplemen dalam pembuatan tekstil yang diblending dengan serat kapas dan poliester. *Pulp* dari kenaf digunakan untuk industri kertas [32].

Serat kenaf yang merupakan serat alam mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan serat sintetis. Tabel 2.3 menyajikan perbandingan antara sifat-sifat serat alam dan serat gelas.

Tabel 2.3 Perbandingan Sifat Antara Serat Alami dengan Serat Gelas

Uraian	Serat Alam	Serat Gelas
Massa jenis	Rendah	2 x serat alami
Biaya	Rendah	Rendah, lebih tinggi dari serat alam
Terbarukan	Ya	Tidak
Kemampuan daur ulang	Ya	Tidak
Konsumsi energy	Rendah	Tinggi
Distribusi	Luas	Luas
Menetralkan CO ₂	Ya	Tidak
Menyebabkan abrasi	Tidak	Ya
Resiko kesehatan	Tidak	Ya
Limbah	<i>Biodegradable</i>	Tidak <i>Biodegradable</i>

2.2.7 Ekstrusi

Ekstrusi adalah proses secara *continue* pada material sampai meleleh akibat panas dan kemudian dialirkan ke *die* oleh *screw* untuk kemudian dibuat produk sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Teknik ini dapat digunakan untuk memproses sebagian besar polimer termoplastik dan beberapa jenis polimer termoset. Proses ekstrusi ini dapat menghasilkan beberapa produk seperti film, plastik, tali rafia, pipa, peletan, lembaran plastik, fiber, filamen, selubung kabel dan beberapa produk dapat juga dibentuk. Proses pembuatan komposit serat alam dengan termoplastik juga dapat dilakukan dengan proses ekstrusi. Alat untuk proses ekstrusi disebut ekstruder. Ekstruder mampu

melakukan proses pencampuran dengan baik yang bertujuan agar bahan homogen dan terdispersi dengan baik [33].

Prinsip dasar kerja ekstruder adalah memasukkan bahan-bahan mentah yang akan diolah kemudian didorong keluar melalui suatu lubang cetakan *die* dalam bentuk yang diinginkan. Adapun bagian utama dari mesin ekstruder terdiri dari *Hopper/feeder*, *Barrel/screw* dan *Die*.

2.2.7.1 *Hopper*

Semua ekstruder mempunyai masukan untuk bahan biji/pellet plastik yang akan melalui lubang dan nantinya mengalir dalam dinding - dinding ekstruder tersebut. *Hopper* biasanya terbuat dari lembaran baja atau *stainless steel* yang dibentuk untuk menampung sejumlah bahan pelet plastik untuk persediaan beberapa jam selama pemrosesan. *Hopper* ada yang disediakan pemanas awal jika diperlukan proses pellet yang memerlukan pemanasan awal sebelum pellet memasuki ekstruder.

2.2.7.2 *Screw*

Screw adalah jantungnya ekstruder, *screw* mengalirkan polimer dan serat ke kepala *die* setelah mengalami proses pencampuran dan homogenisasi pada lelehan polimer tersebut. Ekstruder pada umumnya terbagi atas dua macam berdasarkan jumlah *screw*nya, yaitu *single screw* dan *twin screw*. Ada beberapa pertimbangan dalam mendesain sebuah *screw* untuk jenis material tertentu, yang paling penting adalah *Depth of Chanel* (kedalaman kanal). Walaupun *screw* memiliki fungsi sama secara umum, namun untuk mendapatkan hasil yang terbaik harus dirancang sesuai tipe material yang digunakan.

2.2.7.3 *Die*

Salah satu kunci dalam beranekaragamnya hasil produk ekstrusi terletak pada bagian *die*, karena dari sinilah bahan atau sampel akan didorong keluar. Fungsi *die* dalam pembuatan produksi polimer adalah untuk

menghasilkan produk dengan berbagai macam bentuk, kandungan air dan konsistensi [34].

Berdasarkan konstruksi alatnya, ekstruder dibagi menjadi dua jenis yaitu jenis ekstruder ulir tunggal (*Single Screw Extruder/SSE*) dan ekstruder ulir ganda (*Twin Screw Extruder/TSE*).

1. Ekstruder ulir tunggal (*Single Screw Extruder/SSE*)

Bagian ekstruder ulir tunggal (*Single Screw Extruder/SSE*) antara lain:

- a. *Feed section*, suatu bagian dimana bahan-bahan yang akan diekstrusi dimasukkan ke dalam ekstruder melalui suatu lubang masukan (*inlet*).
- b. *Compression section* atau *transition section*, dimana terdapat ulir (*screw*) yang terletak dalam dinding selubung (*barrel*) mesin ekstruder dan pada umumnya memiliki ukuran yang semakin mengecil ke arah bahan keluar (tergantung spesifikasi ekstruder).
- c. *Metering section* yang merupakan bagian yang paling dekat dengan lubang tempat bahan keluar (*die*) dari ekstruder. Seringkali bagian ini memiliki luas jalur yang sempit/kecil yang akan menyebabkan daya tekan mekanis pada bahan berlangsung efektif dan meningkat kemampuannya hingga batas tertentu sesuai dengan tingkat kecepatan putaran dari ulir ekstruder tersebut [35]. Bentuk ekstruder ulir tunggal disajikan pada Gambar 2.7.

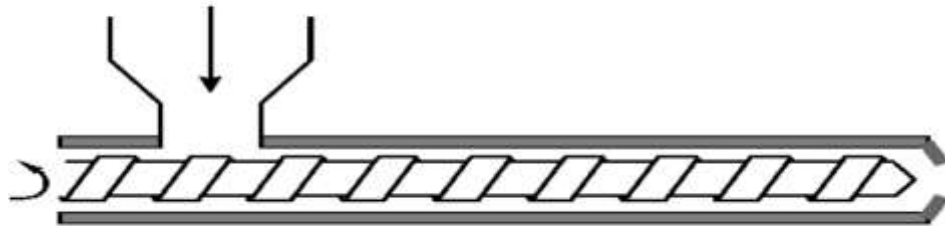
2. Ekstruder ulir ganda (*Twin screw extruder/TSE*)

Bagian ekstruder ulir ulir ganda (*Twin screw extruder/TSE*) antara lain :

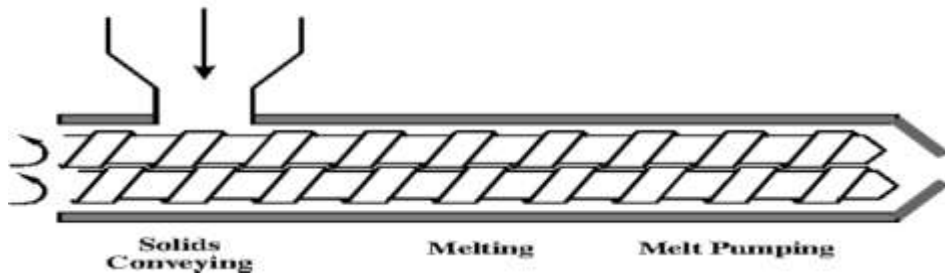
- a. *Feed Zone*, dimulai dengan memasukan bahan ke dalam ekstruder secara terus menerus. Ketika ulir mulai berputar, ekstruder akan menggiling material dan mencampur material secara menyeluruh.
- b. *Cooking Zone*, pada tahap ini campuran diberi perlakuan panas yang diperoleh dari berbagai sumber, tergantung dari hasil produk yang

diinginkan dan spesifikasi mesin. Kepadatan gerigi-gerigi dan jarak ulir, pengaturan arah putaran dan tekanan dapat menghasilkan panas mekanis. Panas konveksi dihantarkan langsung dari dinding *barrel* pada campuran.

- c. *Forming Zone*, merupakan tempat produk akan dibentuk sesuai dengan kebutuhan. Ketika produk keluar dari ekstruder melalui *die*, perubahan dari tekanan atmosfer akan menyebabkan kelembaban di dalam bahan berubah menjadi uap. Hasil yang keluar berupa pellet padat dengan bentuk yang beragam [37]. Bentuk ekstruder ulir ganda disajikan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.7 Ekstruder Ulir Tunggal (*Single Screw*) [36]



Gambar 2.8 Ekstruder Ulir Ganda (*Twin Screw*) [36]

2.3 Sifat – sifat Material Komposit

Sifat mekanik suatu bahan polimer adalah khas dengan kelakuan viskoelastiknya yang dominan, sebagai contoh, pemelaran (*creep*) dan relaksasi mudah terjadi, dan pada pengujian tarik sifat-sifatnya sangat dipengaruhi oleh laju tarikan. Sifat-sifatnya juga berubah karena temperatur, oleh karena itu perlu diperhatikan beberapa hal sebelum bahan polimer digunakan [38].

Pengujian sampel bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat komposit yang dibuat, baik sifat fisik maupun sifat mekanik. Sampel yang diuji akan diketahui kelebihan dan kekurangannya, dan untuk mengetahui kadar kelayakan pemakaian serta kualitasnya. Adapun pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

2.3.1 Sifat Fisik

2.3.1.1 Densitas

Densitas/kepadatan merupakan suatu indikator penting suatu komposit, karena sangat mempengaruhi sifat dari material komposit. Densitas merupakan ukuran kepadatan dari suatu material. Ada dua macam densitas yaitu: *Bulk Density* dan *true density*. *Bulk density* adalah densitas dari suatu sampel yang berdasarkan volume *bulk* atau volume sampel yang termasuk dengan pori – pori atau rongga yang ada pada sampel tersebut. Pengukuran densitas sampel dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

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

Dengan:

ρ = densitas (gr/cm³)

m= Massa sampel (gram)

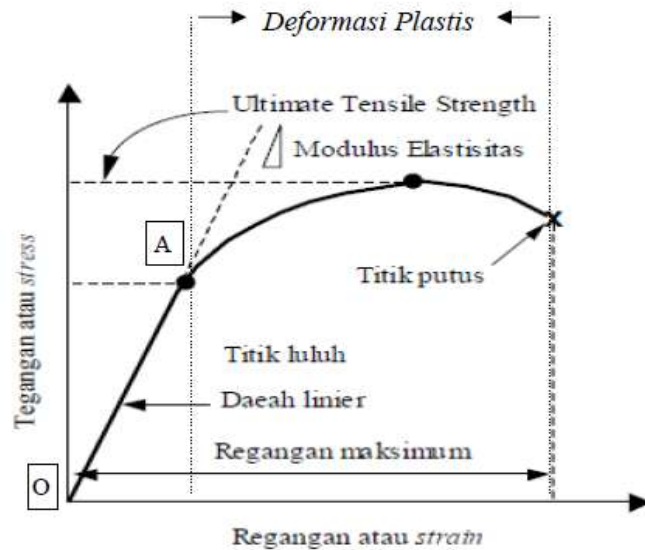
v = volume (cm³)

2.3.2 Sifat Mekanik

2.3.2.1 Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Kekuatan tarik adalah tegangan yang dibutuhkan untuk mematahkan suatu sampel. Kekuatan tarik penting untuk polimer yang akan ditarik, contohnya fiber, harus mempunyai kekuatan tarik yang baik. Kekuatan tarik adalah salah satu sifat dasar dari bahan. Hubungan tegangan-regangan pada tarikan memberikan nilai yang cukup berubah tergantung pada laju tegangan, temperatur, lembaban, dan seterusnya. Kekuatan tarik diukur dengan menarik sekeping sampel dengan dimensi yang seragam.

Kemampuan maksimum bahan dalam menahan beban disebut "*Ultimate Tensile Strength*" disingkat dengan UTS. Untuk semua bahan, pada tahap sangat awal uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau *linearzone*. Di daerah ini, kurva pertambahan panjang vs beban mengikuti aturan Hooke, yaitu rasio tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) adalah konstan.

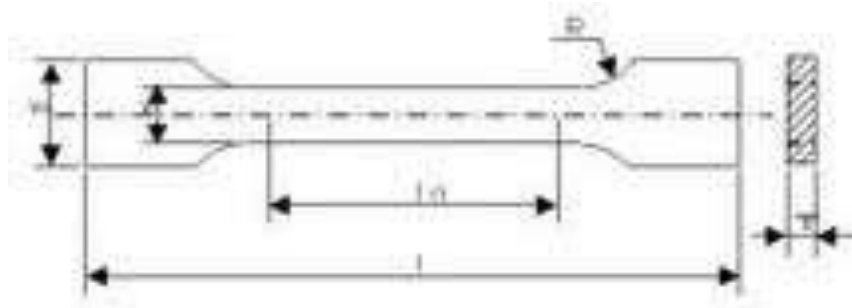


Gambar 2.9 Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan [39]

Kurva pada Gambar 2.9 menunjukkan bahwa, bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya hampir kembali ke kondisi semula) yaitu regangan nol pada titik O. Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum Hooke tidak lagi berlaku dan terdapat perubahan permanen dari bahan tersebut. Terdapat konvensi batas regangan permanen (*permanent strain*) sehingga disebut perubahan elastis yaitu kurang 0.03 %, tetapi sebagian referensi menyebutkan 0.005 % .

Titik luluh atau batas proporsional merupakan titik dimana suatu bahan apabila diberi suatu beban memasuki fase peralihan deformasi elastis ke plastis, yaitu titik sampai di mana penerapan Hukum Hooke masih bisa ditolerir. Dalam praktek, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.

Bentuk spesimen uji yang digunakan untuk uji tarik seperti pada gambar 2.10.

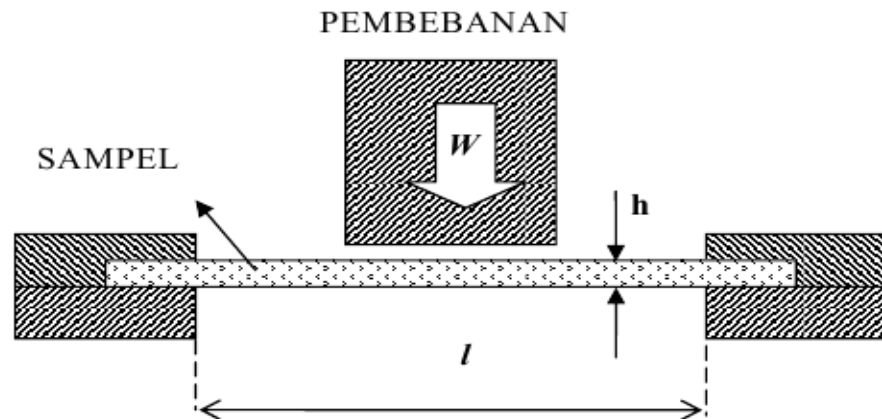


Gambar 2.10 Bentuk Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik

2.3.2.2 Kekuatan Bending (*Flexural Strength*)

Kekuatan bending adalah ketahanan pada bending (*flexing*). Polimer mempunyai *flexural strength* jika tetap kuat saat dibengkokkan. Kekuatan bending suatu material dapat diketahui dengan melakukan pengujian dengan uji bending terhadap material komposit tersebut. Pengujian kekuatan lentur dimaksudkan untuk mengetahui ketahanan polimer terhadap pembebanan.

Pengujian ini juga dimaksudkan untuk mengetahui keelastisan suatu bahan. Kekuatan bending atau kekuatan lengkung adalah tegangan bending terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan. Besar kekuatan bending tergantung pada jenis material dan pembebanan. Akibat pengujian bending bagian atas spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Bagian dalam material komposit mempunyai kekuatan tekan lebih tinggi dari pada kekuatan tariknya. Jika material tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima spesimen tersebut akan patah dan mengakibatkan kegagalan pada pengujian komposit. Prinsip pengujian yang dilakukan menggunakan metoda tiga titik lentur standard ASTM D 790. Gambar 2.11 menunjukkan metode pengujian.



Gambar 2.11 Skema Pengujian Kekuatan Bending Metode Tiga Titik Lentur [39]

2.3.2.3 Elongation

Elongasi merupakan salah satu jenis deformasi. Deformasi merupakan perubahan ukuran yang terjadi saat material di beri gaya. % Elongasi adalah panjang polimer setelah di beri gaya (L) dibagi dengan panjang sampel sebelum diberi gaya (L_0) kemudian dikalikan 100 %. *Elongation-to-break* (*ultimate elongation*) adalah regangan pada sampel pada saat sampel patah. Material elastomer memiliki *ultimate elongation* yang tinggi [40].

2.3.2.4 Modulus

Modulus diukur dengan menghitung tegangan dibagi dengan elongasi. Satuan modulus sama dengan satuan kekuatan (N/cm^2) [40].

2.3.2.5 Kekerasan (*Hardness*)

Uji Kekerasan (*hardness*) merupakan pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan sifat kekerasan dari komposit yang dihasilkan. Pengujian kekerasan yang dilakukan berdasarkan standar ASTM D 2240 dengan menggunakan alat yang disebut durometer. Metode pengujian ini memungkinkan pengukuran kekerasan spesimen pada awal lekukan atau setelah jangka waktu tertentu atau keduanya. Durometer adalah instrumen yang digunakan untuk mengukur kekerasan didasarkan pada mengukur kekuatan perlawanan dari penetrasi jarum ke dalam bahan uji di bawah beban pegas yang diketahui. Material yang diujikan dengan durometer adalah polimer, elastomer, karet dan lain-lain.

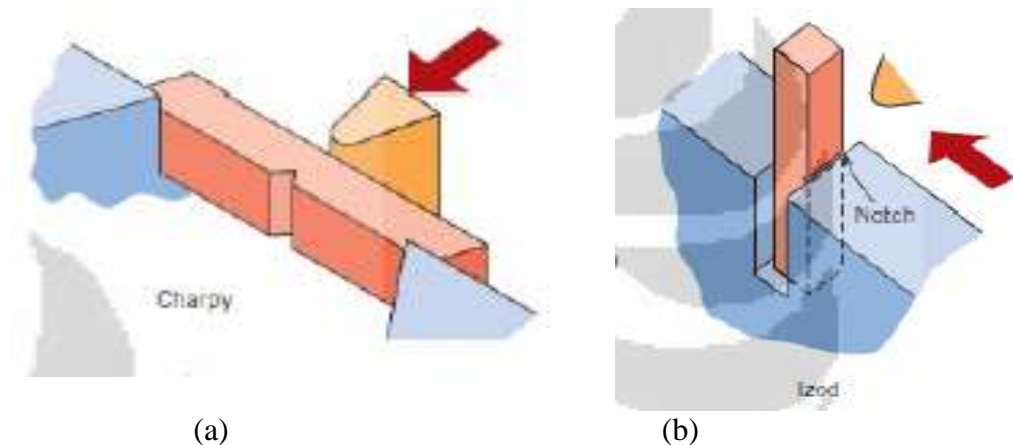
2.3.2.6 Kekuatan Impak

Pengujian impact bertujuan untuk mengukur berapa energi yang dapat diserap suatu material sampai material tersebut patah. Pengujian impact merupakan respon terhadap beban kejut atau beban tiba-tiba (beban impact) [41]. Dalam pengujian impact terdiri dari dua teknik pengujian standar yaitu *Charpy* dan *Izod* [41].

Kekuatan impact adalah suatu kriteria penting untuk mengetahui kegetasan bahan polimer. Sifat material pada umumnya mempunyai nilai impact yang berbanding terbalik dengan nilai kekuatan material tersebut. Umumnya kekuatan impact bahan polimer lebih kecil dibandingkan bahan logam. Sampel dibuat sesuai standar baik dengan cara membuat takik (*notched*) ataupun tanpa takik (*unnotched*) pada komposit, takik ditujukan sebagai pemusatan beban (*stress concentration*). Seperti terlihat pada Gambar 2.12 (a), untuk metode *Charpy*, spesimen dikenakan beban dengan dua buah

penyangga pada dua sisi spesimen. Sedangkan untuk metode *Izod*, penyangga spesimen hanya terdapat pada salah satu sisinya. Gambar 2.12 (b).

Prinsip pengujian dampak ini adalah menghitung energi yang diberikan beban dan menghitung energi yang diserap oleh spesimen. Saat beban dinaikkan pada ketinggian tertentu, beban memiliki energi potensial, kemudian saat menumbuk spesimen energi kinetik mencapai maksimum. Energi yang diserap spesimen akan menyebabkan spesimen mengalami kegagalan. Bentuk kegagalan itu tergantung pada jenis materialnya, apakah patah getas atau patah ulet. Dengan mengetahui besarnya energi potensial yang diserap oleh material maka kekuatan dampak benda uji dapat dihitung (ISO/DIS 179-1).



Gambar 2.12 (a) *Charpy Impact Test*, (b) *Izod Impact Test*

Kekuatan dampak yang dihasilkan (I_s) merupakan perbandingan antara energi serap (E_s) dengan luas penampang (A). Kekuatan dampak dapat dihitung dengan rumus:

$$I_s = \frac{E_s}{A}$$

Dengan:

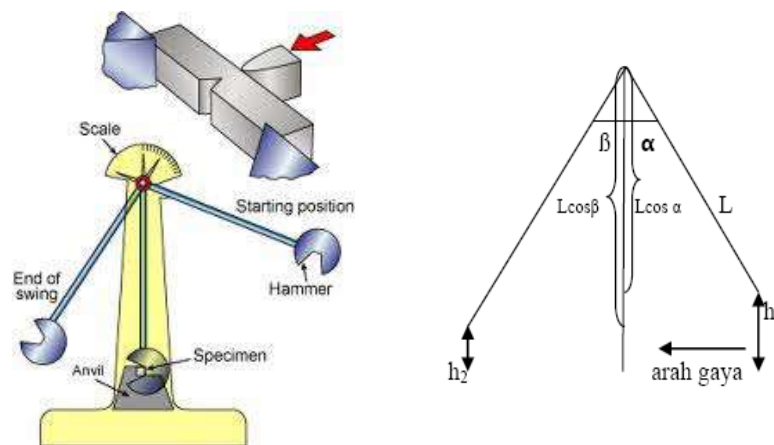
I_s = Kekuatan dampak (kJ/m^2)

E_s = Energi serap (J)

$A = \text{Luas permukaan (mm}^2\text{)}$

Pengujian impak dapat diidentifikasi sebagai berikut :

1. Material yang getas, bentuk patahannya akan bermukaan merata, hal ini menunjukkan bahwa material yang getas akan cenderung patah akibat tegangan normal.
2. Material yang ulet akan terlihat meruncing, hal ini menunjukkan bahwa material yang ulet akan patah akibat tegangan geser.
3. Semakin besar posisi sudut β akan semakin getas, demikian sebaliknya. Artinya pada material getas, energi untuk mematahkan material cenderung semakin kecil, demikian sebaliknya.



Gambar 2.13 Skema Pengujian Kekuatan Impak Charpy

2.3.2.7 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Electron Microscopy (EM) adalah salah satu teknik yang digunakan untuk karakterisasi material komposit. Dua teknik utama EM dibedakan menjadi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Transmission Electron Microscopy* (TEM). SEM merupakan metode yang tepat untuk mengkarakterisasi material komposit dengan batas maksimum resolusi mikroskop elektron 10 nm. Metode mikroskopi dapat secara cepat menunjukkan ukuran nominal dan bentuk serat. Permukaan spesimen yang akan diuji, di-*scan* dengan pancaran berkas elektron dan pantulan dari

elektron ditangkap, kemudian ditampilkan di atas tabung sinar katoda. Bayangan yang tampak diatas layer menampilkan gambaran permukaan dari spesimen.

Teknik SEM pada hakekatnya merupakan pemeriksaan dan analisis permukaan. Data yang diperoleh merupakan data dari permukaan atau lapisan yang tebalnya sekitar 20 μm dari permukaan. Gambar permukaan yang diperoleh merupakan topografi dengan segala tonjolan, lekukan dan lubang pada permukaan. Gambar topografi diperoleh dengan penangkapan elektron sekunder yang dipancarkan oleh spesimen.

2.3.3 Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah:

Ho = variasi berat serat kenaf dan *coupling agent* pada komposit diperkirakan tidak akan berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit yang dihasilkan.

H1 = variasi berat serat kenaf dan *coupling agent* pada komposit diperkirakan akan berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit yang dihasilkan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan dan Alat Penelitian

3.1.1 Bahan Penelitian

1. Plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) Titanvene™ grade HD6070EA dan nomor lot 1407A1399 dari PT Lotte Chemical Titan Nusantara, Banten, Indonesia.
2. Serat Kenaf dalam bentuk gulungan besar (*ball*) dari PT Global Agrotek Nusantara, Malang.
3. Natrium Hidroksida (NaOH) pellet dari Avantor Performance Materials, inc, Sweden.
4. Silquest A171 (*vinyl – trimethoxy silane*) nomor lot 11CTEO014 dari PT Rena Haniem Mulia, Jakarta.
5. *White Oil* dari PT Cortico Mulia Sejahtera.
6. *Stearic Acid* dengan nomor lot 8.00673.1000 dari Merck.
7. Antioksidan Indonox P-168 nomor lot IMP-1104003 dari PT Indonox Mitra Pratama.
8. Antioksidan Indonox B-210 nomor lot IMP-1104004 dari PT Indonox Mitra Pratama.

3.1.2 Alat Penelitian

1. Gunting dan mistar untuk memotong serat kenaf
2. Ember sebagai wadah serat kenaf yang sudah dipotong
3. Saringan untuk menyaring serat kenaf pada saat proses pencucian
4. Alat-alat gelas laboratorium
5. Timbangan Digital

Spesifikasi timbangan yang digunakan yaitu:

- Merk : Sartorius
- Tipe : BP4100

- Kapasitas : 4100 gram x 0.1
6. Mesin oven merk Labtech, kapasitas panas maksimum 300 °C.
 7. Mesin Ekstruder *twin screw* merk Collin tipe ZK 25 E dengan suhu maksimum 300 °C dan tekanan maksimum 150 bar untuk proses ekstrusi serat kenaf dengan matriks HDPE.
 8. *Pelletizer* merk Thermo Scientific untuk membentuk pellet – pellet atau granul pada spageti komposit yang keluar dari mesin ekstrusi.
 9. Mesin *Hot Press* untuk proses pembuatan spesimen pengujian dengan metode *press sintering*. Spesifikasi mesin yaitu:
 - Merk : Collin
 - Tipe : P 300 P
 - Tekanan max : 300 kN
 - Kapasitas panas : 2 x 11.6 kW
 10. Alat *Climatic Chamber* untuk proses *conditioning* spesimen sebelum dilakukan pengujian.
 11. *Universal Testing Machine* SHIMADZU tipe AGS-10kNG untuk menguji kekuatan tarik (*tensile strength*) komposit yang dihasilkan.
 12. *Universal Testing Machine* SHIMADZU tipe AG-X *plus* untuk menguji kekuatan bending (*flexural strength*) komposit yang dihasilkan.
 13. Durometer tipe *shore D* untuk menguji kekerasan (*hardness*) komposit yang dihasilkan.
 14. Mesin pengujian *impact charpy* untuk menguji kekuatan impak pada komposit yang dihasilkan.
 15. Mesin pengujian SEM untuk membantu mengetahui dan menganalisa morfologi komposit serta distribusi serat dalam matriks.

Gambar alat dan bahan yang digunakan dapat dilihat pada lampiran A.

3.2 Variabel Penelitian

3.2.1 Variabel Tetap

Variabel tetap yaitu: konsentrasi NaOH yang digunakan sebagai media perendam serat kenaf, waktu perendaman serat kenaf dalam NaOH, suhu dan lama pengeringan serat pada oven, waktu yang dibutuhkan untuk *mixing* masing – masing campuran, jumlah matriks yang digunakan, jumlah aditif yang ditambahkan dalam campuran, tekanan, suhu dan lama pengeringan spesimen (komposit) pada oven, panjang serat kenaf, jumlah spesimen pengujian dan jenis perlakuan pengujian yang dilakukan.

3.2.2 Variabel Berubah

Variabel berubah yaitu: presentase berat serat kenaf yang ditambahkan pada matriks yaitu 10 %, 20 %, 30 %, dan 40 % berat dari jumlah matriks, presentasi *coupling agent* 0 %, 5 %, 10 %, dan 15 % berat dari jumlah matriks yang digunakan.

3.2.3 Variabel Respon

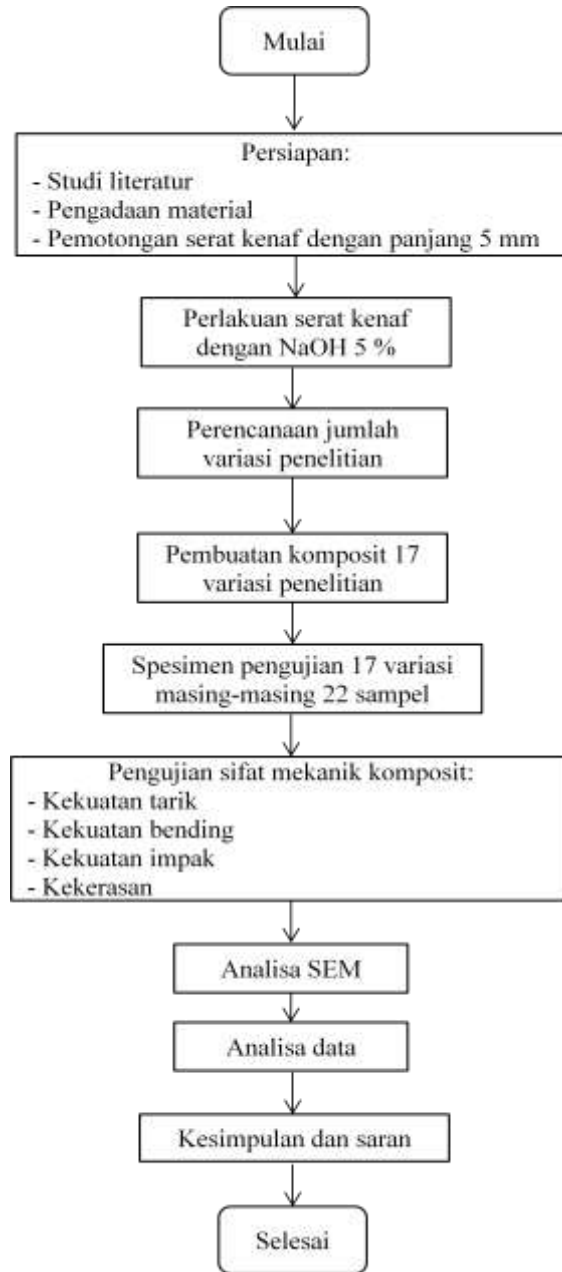
Variabel respon yaitu: nilai kekuatan tarik, kekuatan bending, kekuatan dampak, kekerasan, struktur mikro permukaan, struktur mikro perpatahan dan jenis/model patahan yang terjadi dari komposit.

3.2.4 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol yaitu: kadar air serat kenaf, kondisi operasi proses ekstrusi, kondisi operasi proses *hot press*, ukuran dan bentuk spesimen pengujian, suhu dan kelembapan udara ruang pengujian.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu tahap persiapan, tahap perencanaan dan pelaksanaan, tahap pengolahan dan analisis data, serta tahap pengambilan kesimpulan.mulai. Prosedur penelitian disajikan dalam bentuk *flow chart* sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Tahap Persiapan

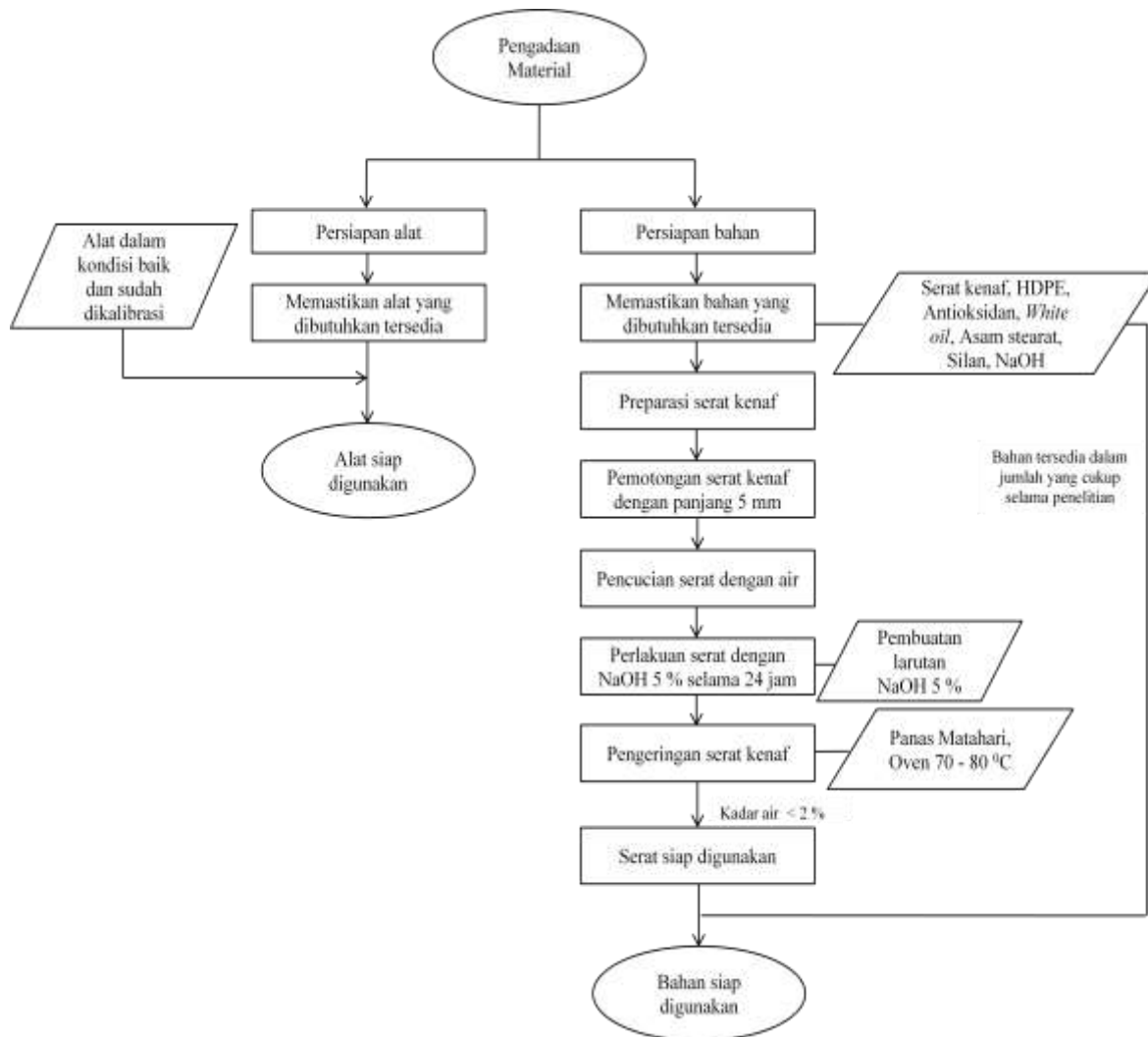
Tahap persiapan penelitian meliputi studi literatur dan persiapan pengadaan material.

3.3.1.1 Studi literatur

Literatur – literatur yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari berbagai sumber, seperti misalnya jurnal yang terdapat di internet, buku-buku yang terdapat di perpustakaan STMI ataupun perpustakaan Sentra teknologi Polimer (STP), serta dari tugas akhir atau skripsi penelitian terdahulu.

3.3.1.2 Pengadaan material

Material yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Sentra Teknologi Polimer. Pengadaan material meliputi persiapan alat dan perlakuan serat kenaf yang akan digunakan sebagai *reinforcement* pada komposit yang akan dibuat. Serat kenaf yang sudah dipotong – potong dengan panjang 5 mm (lampiran B) terlebih dahulu diberi perlakuan dengan NaOH 5 % selama 24 jam sebelum digunakan. Diagram alir tahap pengadaan material dapat dilihat pada Gambar 3.2. Serat kenaf yang sudah dipisahkan dari pengotor seperti tanah, dan partikel-partikel besar lainnya kemudian dipotong – potong manual dengan menggunakan gunting dengan panjang 5 mm. Serat yang sudah dipotong kemudian dicuci dengan air untuk menghilangkan pengotor kecil yang masih terbawa. Selanjutnya, serat kenaf diberi perlakuan dengan NaOH 5 % selama 24 jam. Serat yang telah diberi perlakuan dengan NaOH kemudian dicuci kembali dengan air hingga bersih. Kemudian serat dikeringkan di dalam oven dengan suhu 70 – 80 °C hingga kadar air serat kurang dari 2 % (lampiran B).



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahap Pengadaan Material

3.3.2 Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan penelitian terdiri dari perencanaan variasi penelitian, pelaksanaan penelitian 1 (pembuatan komposit), pelaksanaan penelitian 2 (pembuatan spesimen pengujian), dan pelaksanaan penelitian 3 (pengujian sampel komposit). Perencanaan variasi penelitian dibuat untuk mengetahui jumlah variasi formula komposit yang akan dibuat berdasarkan variabel berubah yang dipilih yaitu komposisi berat serat kenaf dan *coupling agent*. Tabel variasi

penelitian dan jumlah spesimen yang dibutuhkan untuk pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Variasi Formula dan Jumlah Spesimen Pengujian

Kode	Filler (serat kenaf) % b/b	Coupling Agent (silane) % b/b	Jumlah Spesimen				Jumlah
			Uji Tarik	Uji Bending	Kekuatan Impak	Kekerasan	
F001	0	0	5	5	10	2	22
F002	10	0	5	5	10	2	22
F003	20	0	5	5	10	2	22
F004	30	0	5	5	10	2	22
F005	10	5	5	5	10	2	22
F006	20	5	5	5	10	2	22
F007	30	5	5	5	10	2	22
F008	10	10	5	5	10	2	22
F009	20	10	5	5	10	2	22
F010	30	10	5	5	10	2	22
F011	10	15	5	5	10	2	22
F012	20	15	5	5	10	2	22
F013	30	15	5	5	10	2	22
F014	40	5	5	5	10	2	22
F015	40	10	5	5	10	2	22
F016	40	15	5	5	10	2	22
F017	40	0	5	5	10	2	22
Total							374

Untuk tabel formulasi penelitian pada masing-masing variasi, dapat dilihat pada lampiran C.

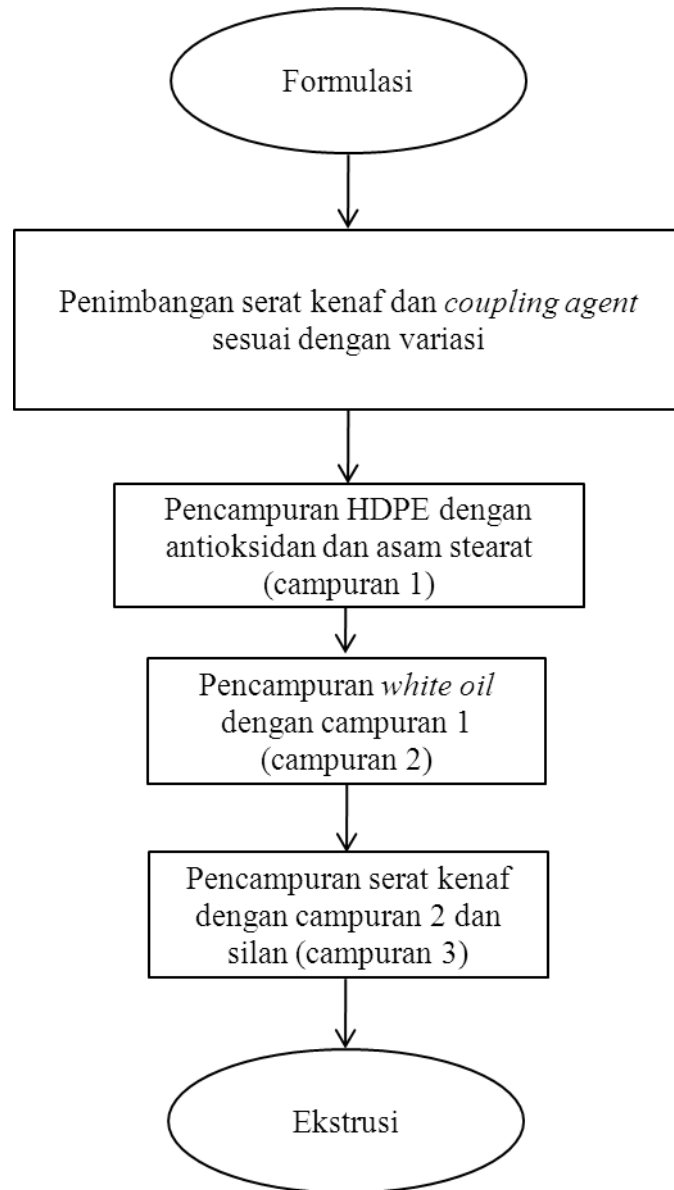
3.3.2.1 Pelaksanaan penelitian 1

Pelaksanaan penelitian 1 atau proses pembuatan komposit serat kenaf-HDPE (*High Density Polyethylene*) dimulai dengan melakukan proses formulasi bahan-bahan yang akan dicampur menjadi satu. Variabel berubah dalam penelitian ini adalah jumlah berat serat kenaf yang digunakan dan penambahan *coupling agent*. Variasi serat kenaf dalam penelitian ini yaitu 10 %, 20 %, 30 %, dan 40 % berat dari resin HDPE (*High Density Polyethylene*) yang digunakan. Serat kenaf yang sudah diberi perlakuan NaOH dan ditimbang sesuai dengan variasi kemudian diperlakukan dengan *coupling agent* dengan jumlah yang bervariasi sebelum dikompon dengan matriksnya yaitu HDPE (*High Density Polyethylene*). Variasi *coupling agent* yang dipilih dalam hal ini yaitu sebanyak 0 %, 5 %, 10 %, 15 % berat dari resin HDPE (*High Density Polyethylene*).

Proses yang dilakukan dalam pembuatan komposit ini adalah proses ekstrusi. Untuk membantu proses ekstrusi komposit ini, ditambahkan sejumlah bahan aditif dengan jumlah yang tetap terhadap masing – masing formula. Bahan aditif tersebut yaitu asam stearat sebagai *processing aid* sebanyak 5 % berat dari HDPE (*High Density Polyethylene*) yang digunakan. Selain itu digunakan *white oil* sebanyak 5 % berat dari HDPE (*High Density Polyethylene*) untuk membantu proses menempelnya serat pada resin yang berbentuk *pellet*. Karena serat yang digunakan merupakan serat alam yang mudah terdegradasi akibat adanya panas, maka ditambahkan pula antioksidan Indonox P-168 dan Indonox B-210 sebanyak 5 % berat dari HDPE (*High Density Polyethylene*) dengan perbandingan keduanya sebesar 1:1 [42].

Proses pencampuran dilakukan menjadi tiga tahap dimana masing-masing proses pencampuran dikocok secara manual selama 5 menit sebelum memasuki proses inti yaitu ekstrusi. Bahan pertama yang dicampurkan adalah HDPE (*High Density Polyethylene*) dengan antioksidan dan asam stearat yang selanjutnya disebut sebagai campuran 1. Pencampuran selanjutnya yaitu

antara *white oil* dan campuran 1 menghasilkan campuran 2. Dan pencampuran yang terakhir yaitu pencampuran serat kenaf dengan campuran 2 dan silan yang selanjutnya disebut sebagai campuran 3.



Gambar 3.3 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian 1 (Pembuatan Komposit)

Campuran 3 kemudian dikompon dengan menggunakan *extruder*. Jenis *extruder* yang digunakan adalah *laboratory extruder twin screw* tipe ZK 25 E dari DrCollinGmbH, dengan diameter *screw* 2 x 25 mm, dan panjang 36

kali diameternya. Dalam penelitian kali ini, *die* yang dipasang pada ujung *extruder* menggunakan *die* untuk *pellet* dengan keluaran 3 mm. *Extruder* ini digerakkan oleh motor dengan kekuatan 7 kW dengan torsi maksimum 65 Nm. *Barrel* dipanaskan dengan tujuh buah *heater band* dengan setting temperaturnya adalah 40 °C, 140 °C, 150 °C, 155 °C, 160 °C, 165 °C, 170 °C dimulai dari bagian *hopper*, sedangkan pada bagian *die* dipanaskan dengan sebuah *heater band* dengan suhu 175 °C. Kecepatan putar *screw* diatur pada putaran 80 rpm dengan putaran pada *hopper* 60 rpm. Setelah keluar dari *extruder*, kompon serat kenaf dan HDPE (*High Density Polyethylene*) yang berbentuk spageti didinginkan dengan air untuk kemudian dibuat menjadi bentuk granul dengan menggunakan *pelletizer*. Setelah itu granul yang terbentuk dikeringkan didalam oven selama 2 jam pada suhu 80 °C [42] sebelum dibuat spesimen pengujian dengan metode *press sintering* menggunakan mesin *hot press*.

3.3.2.2 Pelaksanaan penelitian 2

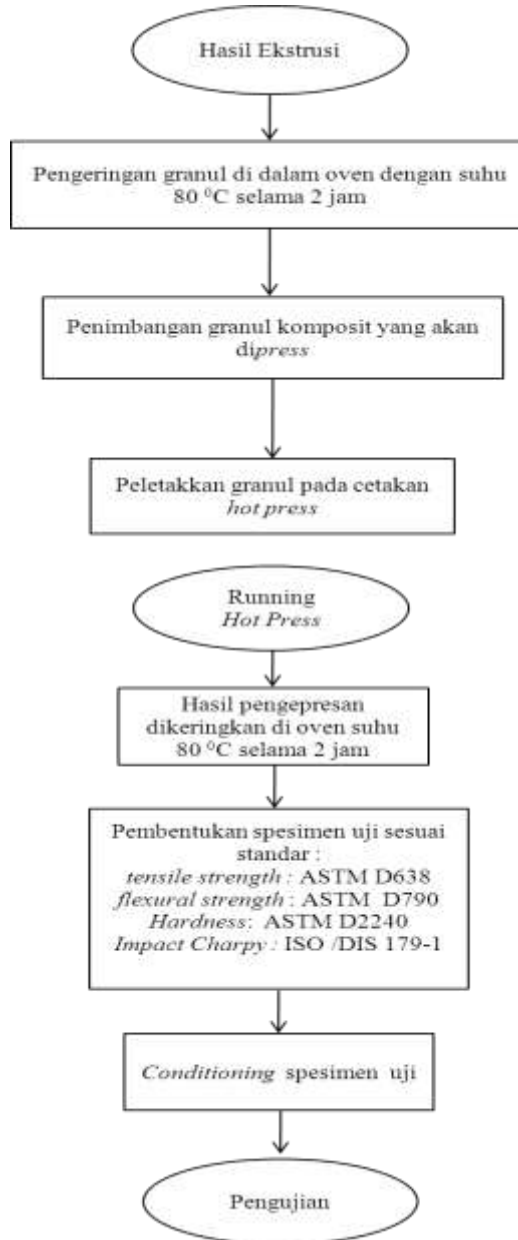
Pelaksanaan penelitian 2 atau pembuatan spesimen untuk pengujian dilakukan dengan metode *press sintering* dengan alat *hot press*. Pada penelitian ini, alat *hot press* yang digunakan adalah tipe P 300 P dari Collin dengan tekanan maksimum 300 kN dan kapasitas panas sebesar 2 x 11.6 kW. Proses pengepresan dilakukan dengan 4 *stage* pemanasan dan 1 *stage* pendinginan. Kondisi operasi mesin *disetting* seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Kondisi Operasi Mesin *Hot Press*

Kondisi	<i>Stage</i> 1	<i>Stage</i> 2	<i>Stage</i> 3	<i>Stage</i> 4	<i>Stage</i> 5
T (°C)	180	180	180	180	40
P (bar)	0	0	0	0	1
t (min)	5	5	5	5	15

Jumlah berat sampel yang akan di *press* terlebih dahulu dihitung dengan mengukur densitas granul agar didapatkan ketebalan sesuai dengan yang diperlukan yaitu 2 mm.

Granul hasil ekstrusi yang sudah dikeringkan di dalam oven dengan suhu 80 °C selama 2 jam kemudian dilakukan pengepresan sesuai dengan



Gambar 3. 4 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian 2 (Pembuatan Spesimen Pengujian)

kondisi operasi pada Tabel 3.3. Hasil pengepresan kemudian dikeringkan kembali di dalam oven pada suhu 80 °C selama 2 jam sebelum dilakukan pencetakan spesimen. Seluruh gambar proses pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada lampiran D.

Bentuk dan ukuran spesimen pengujian dicetak berdasarkan standar pengujian yang dilakukan, yaitu:

- Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik (*tensile strength*)

Spesimen pengujian kekuatan tarik dibuat dengan mengacu terhadap standar ASTM D 638 tipe IV seperti pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Bentuk Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik

Spesimen dibuat dengan menggunakan alat cetak untuk pengujian kekuatan tarik, dengan ketebalan spesimen yaitu 2 mm.



Gambar 3.6 Cetakan Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik

- Spesimen Pengujian Kekuatan Bending (*flexural strength*)

Spesimen pengujian kekuatan bending dibuat dengan mengacu terhadap standar ASTM D 790 seperti pada Gambar 3.7. Ketebalan spesimen 2 mm dengan panjang spesimen minimal 16 kali ketebalan spesimen ditambah dengan 10 % *support span* pada tiap ujung-ujung spesimen.



Gambar 3.7 Bentuk Spesimen Pengujian kekuatan Bending

- Spesimen Pengujian Kekerasan (*hardness*)

Spesimen Pengujian kekerasan dibuat dengan mengacu terhadap standar ASTM D 2240 seperti pada Gambar 3.8. Ketebalan minimal spesimen 4 mm, spesimen dapat dibuat dengan bentuk persegi dengan ukuran 50 x 50 mm.



Gambar 3.8 Bentuk Spesimen Pengujian Kekerasan

- Spesimen Pengujian Kekuatan Impak (*impact charpy*)

Spesimen pengujian kekuatan impak dibuat dengan mengacu terhadap standar ASTM D 790 seperti pada Gambar 3.9. Ketebalan spesimen 2 mm dengan panjang 80 mm dan lebar 10 mm.



Gambar 3.9 Bentuk Spesimen Pengujian Kekuatan Impak

3.3.2.3 Pelaksanaan penelitian 3

Pelaksanaan penelitian 3 merupakan pengujian sifat mekanik sampel komposit yang telah dibuat. Sebelum dilakukan pengujian, spesimen terlebih dahulu di *conditioning*. *Conditioning* dilakukan di dalam *climatic chamber* dengan suhu udara 23 ± 2 °C dan kelembapan udara 50 ± 2 % selama 48 jam untuk pengujian kekuatan tarik, pengujian kekuatan bending, dan kekerasan serta 16 jam untuk pengujian kekuatan impak. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode standar ASTM dan ISO/DIS disesuaikan dengan peralatan yang tersedia pada tempat dilaksanakannya penelitian, yaitu:

- Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Pengujian kekuatan tarik (*tensile strength*) dilakukan berdasarkan ASTM D 638. 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.

- Kekuatan Bending (*Flexural Strength*)

Pengujian kekuatan bending (*flexural strength*) dilakukan berdasarkan ASTM D 790. 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.

- Kekerasan (*Hardness*)

Pengujian kekerasan (*hardness*) dilakukan berdasarkan ASTM D 2240 dengan instrumen durometer dengan tipe *shore D* dan *load* 5 Kg. Pengujian dilakukan dengan penetrasi selama satu detik dan 15 detik pada 5 titik (jarak antar titik 1 cm) pada satu spesimen pengujian. Ketebalan minimum spesimen untuk pengujian kekerasan adalah 4 mm.

- Kekuatan Impak (*Impact Charpy*)

Pengujian kekuatan impak (*impact charpy*) dilakukan berdasarkan ISO/DIS 179-1 menggunakan instrumen pengujian impak dengan kekuatan pendulum sebesar 1 Joule.

- SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Analisa dengan menggunakan SEM (*scanning electron microscopy*) bertujuan untuk mengetahui morfologi komposit dan distribusi serat terhadap matriks. Pengujian dilakukan dengan menggunakan spesimen hasil patahan pengujian kekuatan tarik dengan perbesaran 70 x dan 500 x pada tiga titik yang berbeda pada masing-masing spesimen.

3.3.3 Tahap Pengolahan Data dan Analisis Data

Teknik yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik pengolahan data kuantitatif terhadap variabel respon yaitu sifat mekanik komposit yang dilakukan saat pelaksanaan penelitian 1 sampai dengan pelaksanaan penelitian 3. Pengolahan data ini dilakukan setelah data terkumpul yang diperoleh dari seluruh instrumen penelitian hasil observasi, catatan lapangan, lembar pengujian, dan data hasil tersebut kemudian dibaca, dipelajari dan ditelaah. Langkah pengolahan data yang dilakukan melalui tiga langkah, yaitu:

3.3.3.1 Pengumpulan Data

Data-data yang diperoleh di lapangan dicatat atau direkam dalam bentuk naratif, yaitu uraian data yang diperoleh dari lapangan apa adanya tanpa adanya komentar atau catatan kaki. Perolehan data diambil dari seluruh instrumen penelitian yang digunakan seperti hasil observasi, catatan lapangan, dan lembar pengujian sifat mekanik komposit.

3.3.3.2 Reduksi Data

Reduksi data merupakan prosedur pemilihan, pemusatan perhatian pada penyederhanaan, pengabstrakan dan transformasi data kasar yang muncul dari seluruh instrumen penelitian menjadi informasi hasil tindakan.

3.3.3.3 Penyajian Data

Pada langkah ini penyajian data yang digunakan adalah dalam bentuk paparan naratif dan representatif *line chart*.

Berdasarkan data yang sudah disajikan tersebut kemudian dilakukan analisis data. Analisis data biasanya dilakukan pada tahap akhir penelitian untuk menjawab pertanyaan penelitian, namun demikian untuk kepentingan tertentu analisis data dapat dilaksanakan beriringan dengan pengolahan data di setiap selesainya pengujian sifat mekanik komposit tersebut.

3.3.4 Tahap Pengambilan Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan merupakan upaya memaknai data yang disajikan dengan mencermati pola-pola keteraturan penjelasan, konfigurasi, dan hubungan sebab akibat. Dalam melakukan penarikan kesimpulan, perlu diamati data-data yang disajikan dan penjelasan terkait dari literatur yang diperoleh seperti karakteristik material yang digunakan dan kondisi operasi optimum yang dilakukan. Kesimpulan awal yang dikemukakan masih bersifat awal, karena berubah atau tidaknya kesimpulan bergantung pada bukti di lapangan.

Format kesimpulan yang diambil dalam bentuk analisis kuantitatif nilai maksimum dan minimum masing-masing pengujian yang berasal dari sajian data, hal ini dimaksudkan untuk mendukung analisis data sehingga dapat diketahui pengaruh yang terjadi terhadap sifat mekanik komposit yang dihasilkan akibat variasi berat serat kenaf dan *coupling agent* yang ditambahkan. Dijabarkan pula nilai optimum yang dapat digunakan sebagai aplikasi tujuan pembuatan komposit tersebut.

3.4 Jadwal Penelitian

Penelitian dilakukan di Sentra Teknologi Polimer, Balai Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Puspiptek, Serpong. Penelitian ini berlangsung dari bulan April sampai dengan bulan Juni 2015.

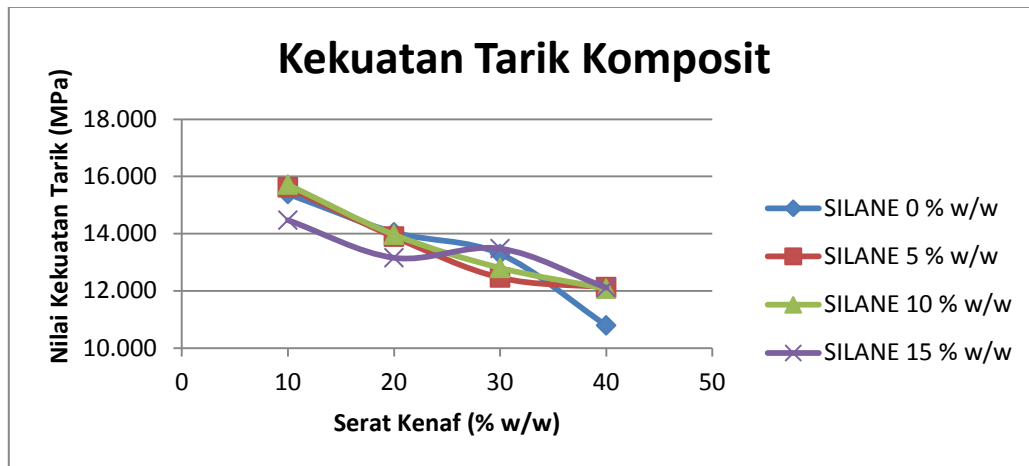
Tabel 3.3 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Uraian	April				Mei				Juni		
		Minggu ke-										
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
1	Persiapan Penelitian	■	■	■	■							
2	Perencanaan Variasi Penelitian				■							
3	Pelaksanaan Penelitian I (pembuatan komposit)					■	■	■				
4	Pelaksanaan Penelitian II (pembuatan spesimen pengujian)							■				
5	Pelaksanaan Penelitian III (pengujian sampel komposit)								■			
6	Pengolahan Data dan Analisis Data									■		
7	Penyusunan Laporan										■	■

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan standar uji ASTM D 638. Hasil pengujian tarik menunjukkan terjadi penurunan nilai kekuatan tarik komposit seiring dengan bertambahnya jumlah serat yang digunakan dalam komposit tersebut. Sedangkan nilai kekuatan tarik akan mengalami peningkatan dengan adanya peningkatan penambahan jumlah *coupling agent* dalam komposit tersebut. Nilai kekuatan tarik maksimum dicapai pada formula F008 dengan penambahan serat kenaf sebesar 10 % berat HDPE (*High Density Polyethylene*) dan penggunaan *coupling agent* sebesar 10 % berat HDPE (*High Density Polyethylene*) yang digunakan yaitu sebesar 15,716 MPa. Penambahan serat kenaf lebih dari 10 % berat HDPE (*High Density Polyethylene*) akan menyebabkan nilai kekuatan tarik terus mengalami penurunan karena semakin berkurangnya matrik yang berfungsi mengikat serat kenaf sehingga ikatan *bonding* antara serat dengan matrik semakin rendah.

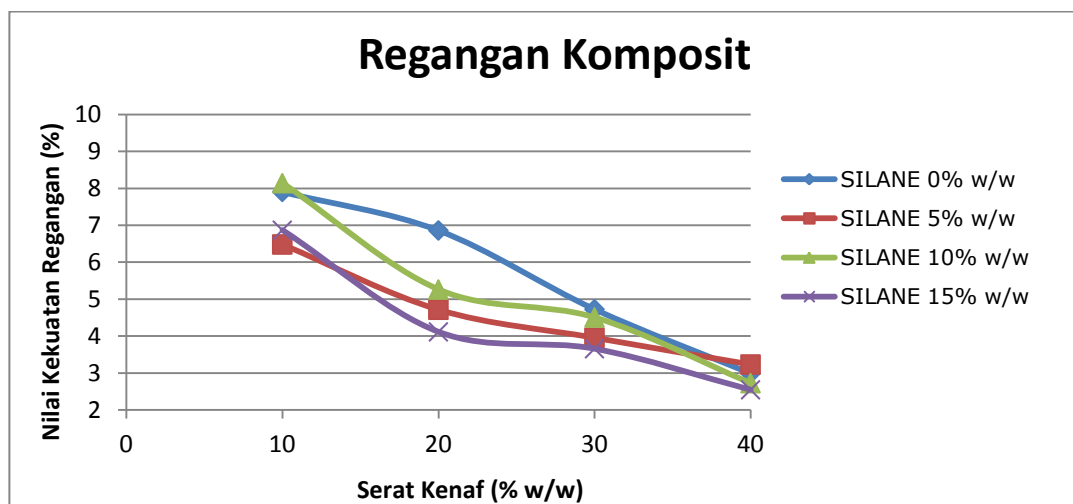


Gambar 4.1 Grafik Kekuatan Tarik Komposit HDPE/Serat Kenaf

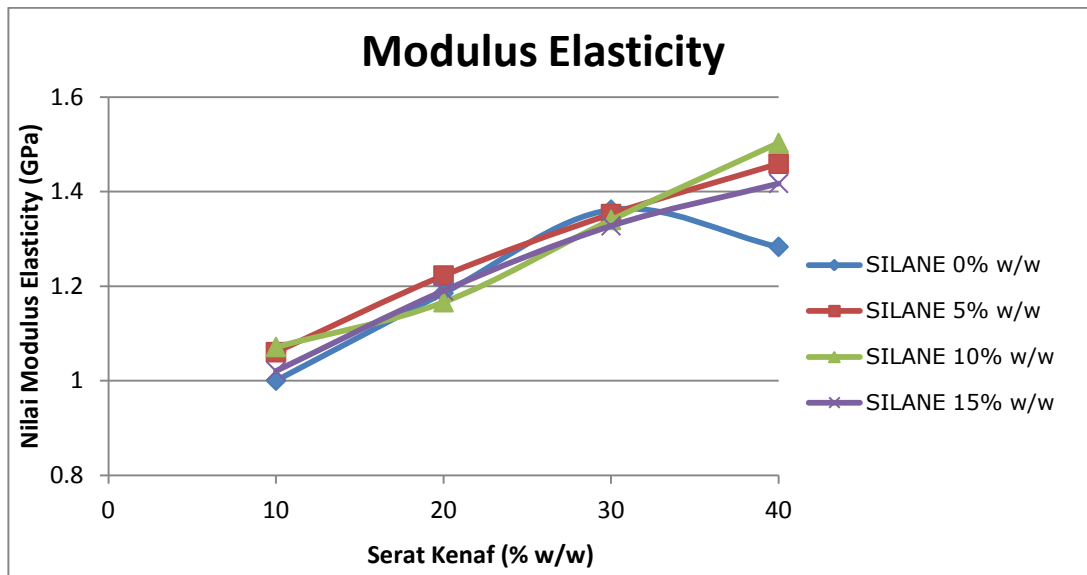
Pada Gambar 4.1 diatas dapat dilihat bahwa nilai minimum kekuatan tarik komposit terjadi pada F017 dengan penambahan serat kenaf sejumlah 40 % tanpa adanya penambahan *coupling agent* yaitu sebesar 10,790 MPa. Nilai kekuatan

komposit yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai kekuatan tarik *single matrix* atau HDPE (*High Density Polyethylene*) tanpa penambahan serat yaitu F001 sebagai acuan dengan nilai kekuatan tarik sebesar 28.800 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai kekuatan tarik pada komposit jika dibandingkan dengan HDPE (*High Density Polyethylene*) murni karena penambahan serat akan menambah tingkat kegetasan komposit dan menurunkan nilai kekuatan tarik. Hasil pengujian kekuatan tarik dapat dilihat pada lampiran E.

Demikian halnya dengan regangan yang terjadi terhadap komposit HDPE/serat kenaf ini. Regangan terbesar terjadi pada formula yang sama yaitu F008 dengan nilai sebesar 8,140 %. Nilai ini lebih besar dibandingkan dengan acuan F001 dengan nilai 7.080 %. Hal ini dapat terjadi dikarenakan penambahan serat yang ulet kedalam matriks dapat meningkatkan tingkat keuletan pada komposit. Sedangkan untuk nilai *modulus elasticity* mengalami peningkatan seiring bertambahnya berat serat kenaf dan *coupling agent* yang digunakan dan didapatkan hasil maksimum modulus pada formula F015 dengan nilai sebesar 1.503 GPa. Dengan demikian dapat diketahui adanya hubungan yang berbanding terbalik antara serat kenaf terhadap kekuatan tarik, serat kenaf terhadap regangan, dan hubungan yang *linier* antara serat kenaf dan modulus. Grafik regangan dan *modulus elasticity* dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.2 Grafik Regangan Komposit HDPE/Serat Kenaf

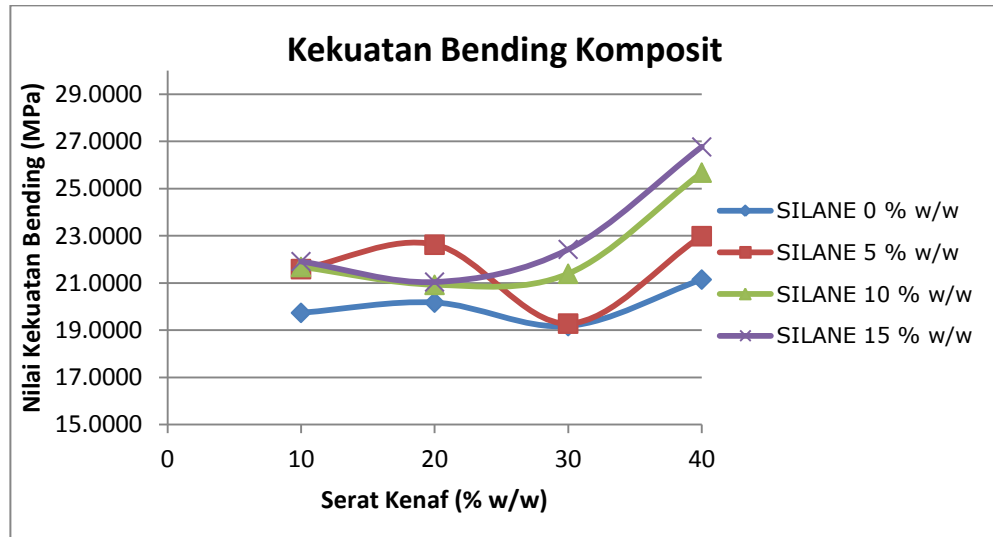


Gambar 4.3 Grafik *Modulus Elasticity* Komposit HDPE/Serat Kenaf

4.2 Hasil Pengujian Kekuatan Bending (*Flexural Strength*)

Pengujian bending dilakukan dengan menggunakan standar uji ASTM D790. Nilai kekuatan bending maksimum dicapai pada formula F016 dengan penggunaan serat kenaf sebesar 40 % berat HDPE (*High Density Polyethylene*) dan *coupling agent* sebesar 15 % yaitu sebesar 26,7711 MPa. Sedangkan untuk nilai minimum didapatkan oleh F004 dengan serat kenaf 30 % berat HDPE (*High Density Polyethylene*) tanpa adanya penambahan *coupling agent* yaitu sebesar 19,1760 MPa. Semakin tinggi penambahan serat kenaf, maka akan semakin tinggi sifat keuletan yang diberikan oleh serat kenaf sehingga akan meningkatkan nilai kelenturan (bending) dari komposit tersebut. Penambahan *coupling agent* yang semakin tinggi akan meningkatkan ikatan antara serat dan matriks sehingga akan terbentuk *mechanical bonding* yang baik dan berperan meningkatkan nilai kekuatan bending. Nilai kekuatan bending yang dihasilkan komposit dibandingkan juga dengan acuan F001 yaitu sebesar 13.7115 MPa. HDPE (*High Density Polyethylene*) murni atau tanpa penambahan serat mempunyai nilai kekuatan bending yang lemah. Sebagai acuan standar, digunakan Standar Nasional Indonesia untuk aplikasi atap rumah yaitu SNI 1027:2015 Lembaran

Semen Rata dengan syarat mutu sifat mekanik yaitu kuat lentur sebesar minimal 130 kg/cm^2 atau $12,7485 \text{ MPa}$. Grafik kekuatan bending dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Kekuatan Bending Komposit HDPE/Serat Kenaf

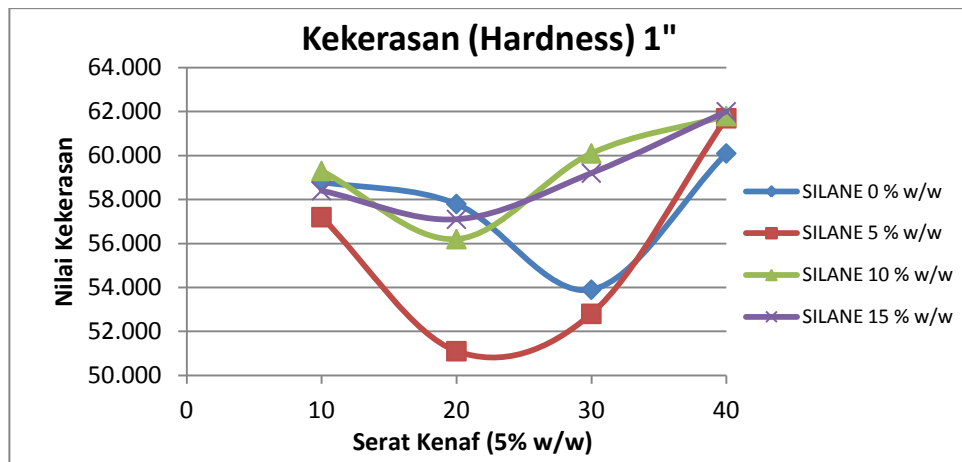
Selain kekuatan bending, diperoleh pula nilai *elastic strain* dan diperoleh nilai maksimum pada formula yang sama yaitu F016 sebesar 1.33789 GPa dan nilai minimum pada F002 dengan penambahan serat sebesar 10 % berat HDPE (*High Density Polyethylene*) tanpa adanya penambahan *coupling agent*. Sedangkan untuk acuan F001 mempunyai nilai yang rendah yaitu 0.36059 GPa (lampiran F). Dengan demikian dapat diketahui bahwa adanya hubungan yang linier antara kekuatan bending dengan *elastic strain* suatu komposit. Atau dengan kata lain, sampai penambahan serat sebesar 40 % berat HDPE (*High Density Polyethylene*) dan penambahan *coupling agent* sampai dengan 15 % berat HDPE nilai kekuatan bending dan *elastic strain* akan mengalami peningkatan.

4.3 Hasil Pengujian Kekerasan (*Hardness*)

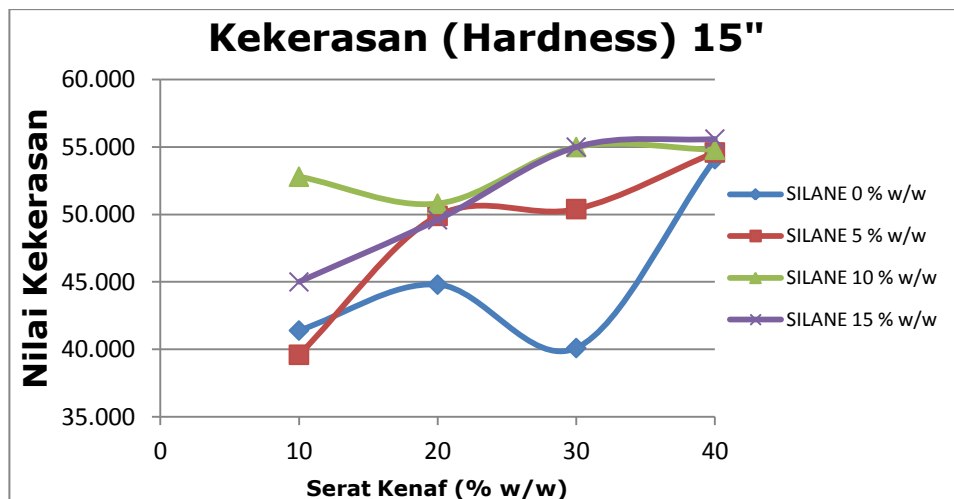
Pengujian kekerasan (*hardness*) dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D2240. Instrumen yang digunakan dalam pengujian ini adalah durometer dengan tipe *shore D* yang digunakan untuk plastik baik berpenguat ataupun tidak

berpenguat, dengan load sebesar 5 Kg. Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen dengan ketebalan minimum 4 mm dan dilakukan pada lima titik dalam satu spesimen dengan jarak antar yaitu 10 mm. Pengujian dilakukan dengan 2 jenis waktu penetrasi jarum durometer kepada spesimen yaitu penetrasi 1 detik dan 15 detik.

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan terjadinya peningkatan seiring dengan penambahan serat kedalam matriks.



Gambar 4.5 Grafik Kekerasan Komposit HDPE/Serat Kenaf pada Penetrasi 1'



Gambar 4.6 Grafik Kekerasan Komposit HDPE/Serat Kenaf pada Penetrasi 15'

Nilai kekerasan maksimum dicapai oleh F016 pada penetrasi selama 1 detik dan 15 detik yaitu sebesar 62 dan 55,6 (lampiran G). Sedangkan untuk nilai minimum kekerasan didapatkan oleh F006 pada penetrasi 1 detik yaitu sebesar 51.1 dan oleh F005 pada penetrasi selama 15 detik. Hasil acuan pada F001 menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan masing-masing variasi formula komposit yang dibuat yaitu sebesar 39 pada penetrasi selama 1 detik dan 35 pada penetrasi selama 15 detik. Hal ini disebabkan karena sifat kekakuan dan kekerasan serat yang turut berperan dalam kekerasan komposit, sedangkan pada F001 tidak ditambahkan serat melainkan hanya HDPE (*High Density Polyethylene*) murni sehingga strukturnya lebih lunak.

4.4 Hasil Pengujian Kekuatan Impak (*Impact Charpy*)

Pengujian kekuatan impak (*impact charpy*) dilakukan dengan menggunakan standar ISO/DIS 179-1. Jumlah spesimen minimal untuk melakukan pengujian ini adalah 10 spesimen. Spesimen diletakkan secara horizontal dan dikenakan beban oleh pendulum atau *hammer*. Energi yang terserap oleh spesimen tersebut kemudian dihitung sebagai kekuatan impak spesimen tersebut. Kekuatan impak dihitung dengan cara:

$$a_{cU} = \frac{E_c}{h \cdot b} \times 10^3$$

Dimana:

A_{cU} : Kekuatan Impak Charpy dengan satuan kJ/m^2

E_c : Energi terkoreksi dengan satuan Joule

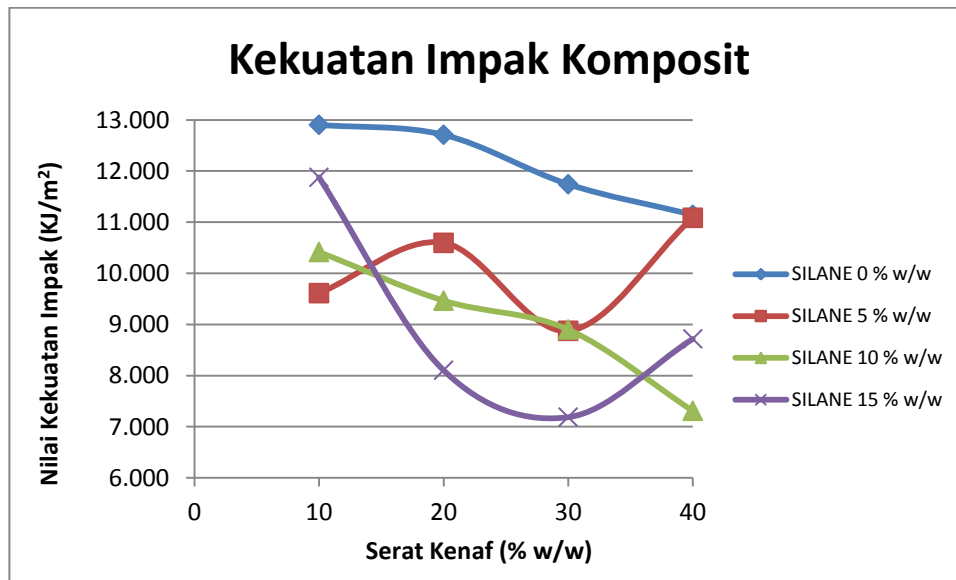
h : Ketebalan spesimen dengan satuan mm

b : Lebar dengan satuan mm

Hasil pengujian kekuatan impact menunjukkan terjadinya penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah serat didalam komposit. Semakin getas komposit tersebut, maka nilai impactnya akan semakin kecil. Begitu juga sebaliknya, semakin ulet komposit tersebut maka nilai impactnya akan semakin besar.

Kekuatan impact adalah suatu kriteria penting untuk mengetahui kegetasan bahan polimer. Sifat material pada umumnya mempunyai nilai impact yang berbanding terbalik dengan nilai kekuatan material tersebut.

Nilai maksimum kekuatan impact dicapai oleh F002 dengan jumlah serat sebesar 10 % berat dari HDPE tanpa adanya penambahan *coupling agent* yaitu sebesar $12,906 \text{ kJ/m}^2$ dan nilai minimum kekuatan impact pada F013 dengan jumlah serat kenaf sebesar 30 % berat dari HDPE dan *coupling agent* sebesar 15 % berat dari HDPE (*High Density Polyethylene*) yaitu sebesar $7,189 \text{ kJ/m}^2$. Sedangkan untuk acuan pada F001 nilai kekuatan impact yang diperoleh cukup tinggi yaitu sebesar $12,939 \text{ kJ/m}^2$ (lampiran H). Hal ini dikarenakan HDPE (*High Density Polyethylene*) murni tergolong lebih ulet tanpa adanya penambahan serat.



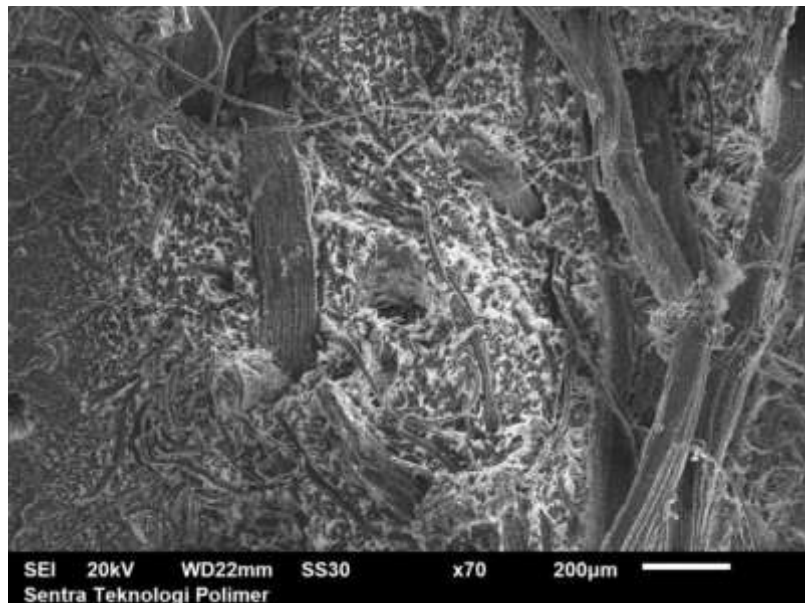
Gambar 4.7 Grafik Kekuatan Impact Charpy Komposit HDPE/Serat Kenaf

Pengujian impact dapat diidentifikasi sebagai berikut :

1. Material yang getas, bentuk patahannya akan bermukaan merata, hal ini menunjukkan bahwa material yang getas akan cenderung patah akibat tegangan normal.
2. Material yang ulet akan terlihat meruncing, hal ini menunjukkan bahwa material yang ulet akan patah akibat tegangan geser.

4.5 Pengamatan Permukaan Komposit

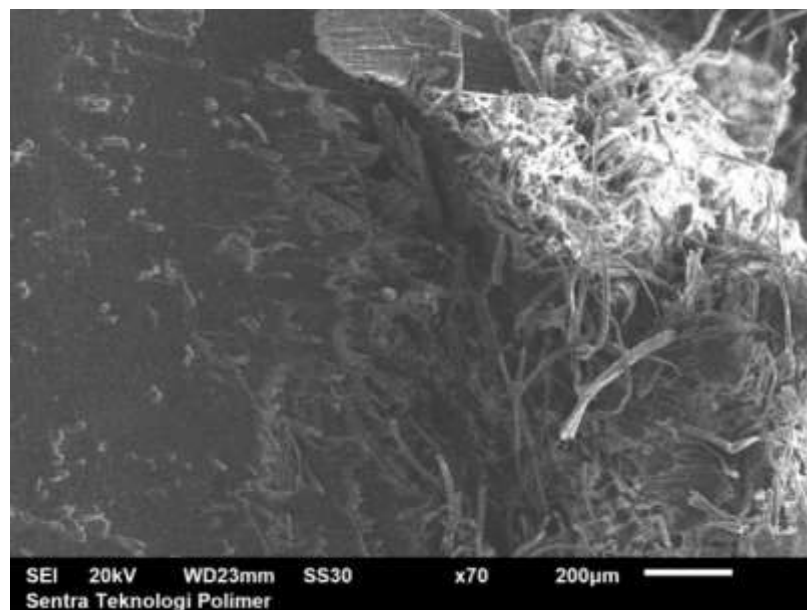
Pengamatan permukaan patahan komposit dilakukan dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Spesimen yang digunakan untuk pengamatan ini adalah hasil patahan pengujian kekuatan tarik minimum yaitu F017, hasil patahan pengujian kekuatan tarik maksimum yaitu F005, dan nilai tengah kekuatan tarik yaitu F010. Pengamatan dilakukan untuk mengetahui morfologi dan distribusi serat terhadap matriks serta mengetahui patahan yang terjadi pada saat dilakukan proses pengujian kekuatan tarik. Sebelum diamati, spesimen terlebih dahulu diberi *plasticine* untuk mempermudah pengamatan. Pengamatan dilakukan dengan perbesaran 70x dan 500x di tiga titik yang berbeda pada masing-masing spesimen (lampiran I).



Gambar 4.8 Analisis SEM F005 dengan Perbesaran 70x

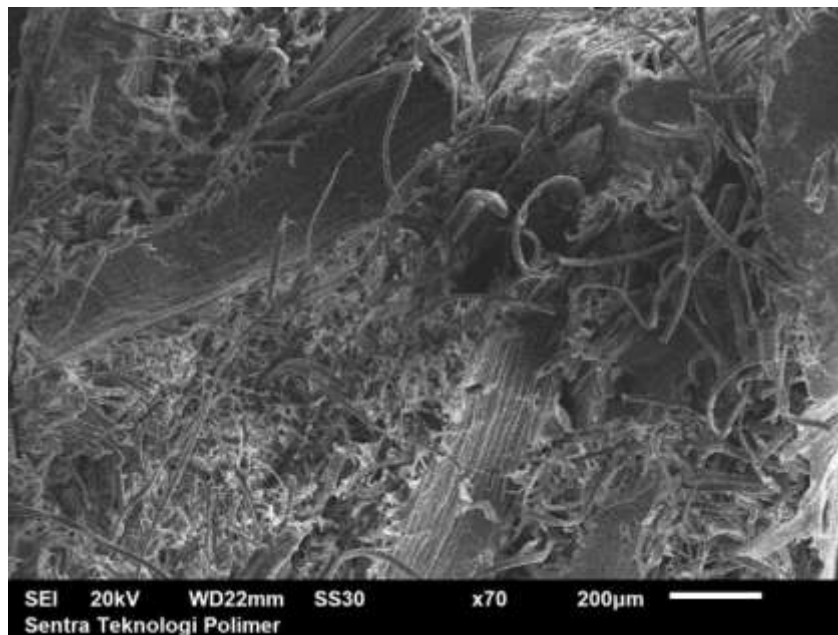
Pada Gambar 4.8 dapat dilihat pada analisis SEM bahwa persebaran serat dan matriks merata dengan jumlah matriks yang masih cukup banyak karena jumlah serat hanya 10 % berat dari matriks. Hal ini yang menyebabkan tingginya nilai kekuatan tarik pada spesimen tersebut karena *mechanical bonding* antara matriks dan serat sangat baik. Terlihat juga adanya morfologi patahan pada serat kenaf pada saat dilakukan pengujian kekuatan tarik. Patahan ini menunjukkan adanya penarikan yang berlawanan arah dengan arah serat sehingga terjadi pemutusan serat.

Pada Gambar 4.9 merupakan analisis SEM pada spesimen F010 dengan nilai kekuatan tarik merupakan nilai tengah terlihat bahwa jumlah serat yang digunakan lebih banyak yaitu 30 % berat dari HDPE (*High Density Polyethylene*) yang digunakan dan adanya penambahan *coupling agent* sebesar 10 % berat HDPE (*High Density Polyethylene*) sehingga terlihat persebarannya pada matriks yang masih cukup baik. Dari gambar juga dapat dilihat bahwa arah serat merupakan arah acak tetapi sebagian besar searah dengan arah pengujian tarik. Kondisi persebaran ini menyebabkan sifat mekanik spesimen yang masih cukup baik karena terlihat bahwa serat masih terselimuti dengan baik oleh matriks.



Gambar 4.9 Analisis SEM F010 dengan Perbesaran 70x

Pada Gambar 4.10 merupakan spesimen F017 yang mempunyai nilai kekuatan tarik minimum. Dapat dilihat bahwa jumlah serat yang lebih banyak yaitu sebesar 40 % berat HDPE (*High Density Polyethylene*) menyebabkan serat tidak terdistribusi dengan baik oleh matriksnya sehingga tidak terbentuk *mechanical bonding* yang baik karena matriks yang tidak cukup menyelimuti serat kenaf tersebut. Disamping itu, formula ini juga merupakan formula yang tidak menggunakan *coupling agent* sehingga menyebabkan nilai kekuatan tarik menjadi paling kecil dibandingkan dengan formula yang lainnya. Terlihat pula patahan yang terjadi pada spesimen sebagian besar pada serat kenaf acak yang tidak terselimuti oleh matriks.



Gambar 4.10 Analisis SEM F017 dengan Perbesaran 70x

Hasil pengujian sifat mekanik dan analisis SEM yang telah dilakukan pada komposit menjawab hipotesis yang dijabarkan oleh penulis. Hipotesis yang diterima pada penelitian ini yaitu H1 bahwa variasi berat serat kenaf dan *coupling agent* pada komposit berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit yang dihasilkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Penambahan serat kenaf dan *coupling agent* memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik komposit yang dihasilkan.
 - Nilai kekuatan tarik maksimum dihasilkan oleh F008 sebesar 15,716 MPa dan minimum oleh F017 sebesar 10,790 MPa.
 - Nilai kekuatan bending maksimum dihasilkan oleh F016 sebesar 26,7711MPa dan minimum oleh F004 sebesar 19,1760 MPa.
 - Nilai kekerasan maksimum dihasilkan oleh F016 yaitu 62 (penetrasi 1 detik) dan 55.6 (penetrasi 15 detik) dan minimum dihasilkan oleh F006 yaitu 51.1 (penetrasi 1 detik) dan oleh F005 yaitu 39.6 (penetrasi 15 detik).
 - Nilai kekuatan impak maksimum dihasilkan oleh F002 yaitu 12,906 kJ/m² dan minimum oleh F013 yaitu 7,189 kJ/m².
2. Formula optimal untuk aplikasi atap rumah komposit adalah F016 (Komposisi serat kenaf 40 % dan *coupling agent* 15 %) karena memenuhi beberapa persyaratan terutama pada kekuatan bending yang cukup besar dihasilkan yaitu 26,7711 MPa.
3. Analisis morfologi dan distribusi serat terhadap matriks dengan menggunakan SEM menunjukkan bahwa *mechanical bonding* terbaik antara serat dengan HDPE terjadi pada konsentrasi serat terkecil yaitu 10 % (Formula F005).

5.2 Saran

Beberapa saran terkait pelaksanaan penelitian yaitu:

1. Untuk penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan menambah variasi berat serat kenaf sampai dengan 80 % dengan kondisi *coupling agent* tetap.
2. Jika dilakukan penelitian lanjutan tentang komposit dengan serat alam, perlu diperhatikan metode pemotongan serat agar lebih mudah dan ukuran serat menjadi lebih seragam.
3. Pada proses ekstrusi campuran yang terdiri dari dua jenis material yang berbeda sebaiknya diperhatikan kondisi operasi optimal untuk matrik yang digunakan (HDPE).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sirait, D. H., (2010, September 22), *Material Komposit Berbasis Polimer Menggunakan Serat Alami*, Dipetik Februari 24, 2015, dari <http://dedyharianto.wordpress.com>
- [2] Raharjo, W.W., 2002, *Pengaruh Waktu Perendaman pada Sifat Mekanik Komposit Unsaturated Polyester yang Diperkuat Serat Cantula*, Simposium Nasional I RAPI, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [3] Sumarji, Hermawan Y., 2010, *Aplikasi Komposit Hibrid Sandwich Serat Kenaf – Polyester Dengan Inti Kayu Sengon Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Struktur Logam*, Penelt.Hibah Bersaing, Dikti, Jember.
- [4] Onggo H., Subowo W., dan Sudirman, 2005, *Analisis Sifat Termal Komposit Polipropilen-Kenaf*, Prosiding Simposium Nasional Polimer V, Pusat Penelitian Fisika (P2F) LIPI, Bandung.
- [5] Gnauck, B., and Frundt, P., 1991, *Properties Hight Density Polyethylene*, Modern Plastic Encyclopedia 99, p.198.
- [6] Bisanda, ETN., 2001, *The Effect of Alkali Treatment on The Adhesion Caractheristic of Sisal Fibers*, Applied Composite Material 7, 331 – 339.
- [7] Keener TJ., Stuart RK., Brown TK., 2004, *Maleated Coupling Agent For Natural Fiber Composites*, Composites: Part A, 35, 357 – 362.
- [8] Hill CAS, Khalil HPSA, Hale MD, 1998, *A Study of The Potential of Acetylation to Improve The Properties of Plant Fibers*, Industrial Crops and Products, 8, 53 – 63.
- [9] Wambua P., Ivens J., Verpoest I., 2003, *Natural Fibres: Can They Replace Glass Fibre Reinforce Plastic?*, Composites Science and Technology, 63, 1259 – 1264.
- [10] J. WU, D.YU, C. CHAN, J.KIM, and Y.MAI, 2000, *Effect of Fiber Pretreatment Conditioning on Interfacial Strength and Mechanical Properties of Wood Fiber/PP Composites*, Journal of Applied Polymer Science, 76.
- [11] W.LU, J.A. YOUNGQUIST, N.M, STARK, and Q.LI, 1998, *Injection-Molded Composites from Kenaf and Recycled Plastic*, Proceedings of 1 Annual American Kenaf Society Meeting, San Antonio.
- [12] Kaw, A.K., 1997, *Mechanics of Composite material*, CRC. Press, New York, pp. 15.
- [13] Sirait, D. H., (2010, September 22), *Material Komposit Berbasis Polimer Menggunakan Serat Alami*, Dipetik Februari 24, 2015, dari <http://dedyharianto.wordpress.com>

- [14] K. van Rijswijk, M.Sc, et.al. 2001. *Natural Fibre Composites Structures and Materials*. Laboratory Faculty of Aerospace Engineering Delft University of Technology.
- [15] Jones, M. R., 1975. *Mechanics of Composite Material*, Mc Graw Hill Kogakusha,Ltd.
- [16] Gibson, R. F. (1984). *Principle of Composite Material Mechanics*.New York: Mc Graw Hill.
- [17] Diharjo, K., dan Triyono, T., 2003, *Buku Pegangan Kuliah Material Teknik*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [18] Schwartz, 1984, *Composite Materials Handbook*, New York: McGraw Hill Inc.
- [19] Widodo, B., (2008), *Analisa Sifat Mekanik Komposit Epoksi dengan Penguat Serat Pohon Aren (Ijuk) model Lamina Berorientasi Sudut Acak (Random)*, Jurnal Teknologi TECHNOSCINTIA , Vol. 1 No. 1.
- [20] Moncrief. R.W., 1975, *Manufacture of Polyesters and ist Properties*, *Man Made Fiber*, Newness Butterworth & Co. Ltd. London, 6th.Ed., p. 434.
- [21] Hadi, K.B., 2000, *Mekanika Struktur Komposit*, Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta, hal. 29-30.
- [22] Jacob M, Joseph S, Pothan LA, Thomas S., 2005, *A Study of Advances in Charecterization of Interfaces and Fiber Surfaces in Lignocellulosic Fiber-Reinforced Composites*, *Composites Interfaces*, 12(1-2), 95-124
- [23] Bisanda ETN, 2001, *The Effect of Alkali Treatment on The Adhesion Characteristics of Sisal Fibers*, *Applied Composite Materials* 7, 331-339
- [24] Liu W, Mohanty AK, Drzal LT, Askel P, Misra M, 2004, *Effects of Alkali Treatment on The Structure, Morphology, and Thermal Properties off Native Grass Fibers as Reinforcement for Polymer Matrix Composites*, *Journal of Materials Science*, 39, 1051-1054
- [25] Rohatgi, P. K, *Alkali Treatment for Coir Fibres for Coir-Polyester Composites*, India, 1983.
- [26] Surdia, T., (1995), *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta: Pradnya Paramita.
- [27] Haryono, U., (2010, Januari 30), *Polimer Termoplastik dan Termoset*, Dipetik Juni 2015, dari www.chem-is-try.org
- [28] Holbery J dan Houston D., 2006, *Natural Fiber Reinforced Polymer Composites in Automotive Applications*, *Journal of The Minerals, Metals and Materials Society*, 58(11), 80-86.
- [29] Billmeyer, F., 1994. *Text Book of Polymer Science*, John Wiley and sons (SEA), pp. 270-271.
- [30] Corneliusse, R.D., 2002, *Property High Density Polyethylene*, modern plastic encyclopedia 99, p. 198.

- [31] Wang, M.W., Tze-Chi H., and Jie-Ren Z., 2009, *Sintering Process and Mechanical Property of MWCNTs/HDPE Bulk Composite*, Department of Mechanical Engineering, Oriental Institute of Technology, Pan-Chiao, Taipei Hsien, Taiwan, pp. 821-826.
- [32] Mengenal Tanaman Kenaf (*Hibiscus Cannabinus L*) dan Bahan Tanamnya, Kementerian Pertanian RI, diakses 04 Juni 2015.
- [33] Frame, N.D., *The Technology of Extrusion Cooking*, Spring Publisher, diakses pada 04 Juni 2015. <http://books.google.com>
- [34] Holmes, Z.A., 2007, *Ekstrusion*, Food Resource Oregon State University Website, U.S., food.oregonstate.edu/g/extrusion, diakses pada 04 Juni 2015.
- [35] Baianu, I.C., 1992, *Basic Aspect of Food Extrusion*, di dalam: Baianu, I.C (ed) *Physical Chemistry of Food Process: Principle, Techniques and Application*, Textbook VNR Vol. 1, New York, <http://fs512.fshn.uiuc.edu>. (04 Juni 2015).
- [36] Ariyanto, Novri, 2009, *Prinsip-prinsip Ekstrusi*, <http://rewisa.files.wordpress.com/2010/12/esktrusi/diakses> pada 04 Juni 2015
- [37] Janssen, P.B.M, 1978, *Twin Screw Extrusion*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- [38] Surdia, T. (1995). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [39] Nurmaulita. (2010). *Pengaruh Orientasi Serat Sabut Kelapa dengan Resin Poliester Karakteristik Papan Lembaran*. Tesis, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- [40] Saptono, Rahmat, 2007, *Pengetahuan Bahan*, Jakarta : Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- [41] Callister, W. D., 2007, *Material Science and Engineering, An Introduction 7ed*, Department of Metallurgical Engineering The University of Utah, John Willey and Sons, Inc.
- [42] Suratno, R., Basuki, 2004, *Pengaruh Kondisi Perlakuan Serat Kayu Terhadap Sifat Mekanik dari Komposit Serat Kayu/Polipropilena*, Prosiding Simposium Nasional Polimer IV, Sentra Teknologi Polimer (STP)-BPPT, Serpong.

Lampiran A
Gambar dan Spesifikasi yang Digunakan



Gambar A.1 Mesin Ekstruder *Twin Screw*



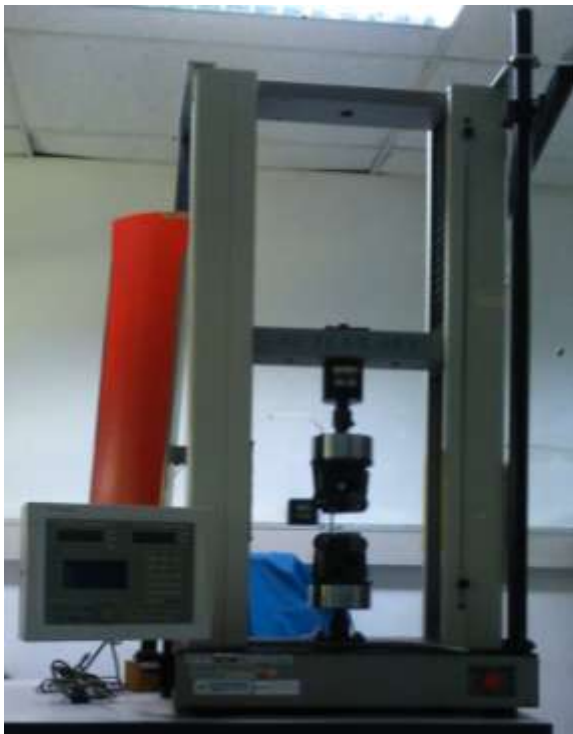
Gambar A.2 Mesin *Pelletizer*



Gambar A.3 Mesin Oven



Gambar A.4 Mesin *Hot Press* (kiri) dan *climatic chamber* (kanan)



Gambar A.5 Mesin Pengujian Kekuatan Tarik



Gambar A.6 Mesin Pengujian Kekuatan Bending



Gambar A.7 Mesin Pengujian Kekuatan Impak (*Charpy's Impact*)



Gambar A.8 Mesin Pengujian Kekerasan



Gambar A.9 Mesin Pengujian SEM



Gambar A.10 HDPE Titanvene™ Grade 6070EA

Lampiran B

Data Sampling Panjang dan Kadar Air Serat kenaf

Tabel B.1 Data Sampling Panjang Serat Kenaf

No	Tanggal Sampling	Panjang Serat Kenaf (mm)					Rata-Rata
		1	2	3	4	5	
1	8/4/2015	5	5.1	4.8	5	4.9	4.96
2	15/04/2015	4.8	4.8	4.9	4.7	5	4.84
3	22/04/2015	5	5.1	5.2	4.9	4.8	5
4	24/04/2015	5	5	5.2	5.1	4.8	5.02
5	28/04/2015	4.9	5	4.8	5	5.1	4.96
6	6/5/2015	4.8	4.8	4.9	5	5.2	4.94

Tabel B.2 Data Sampling Kadar Air Serat Kenaf

No	Tanggal Sampling	Kadar Air Serat Kenaf (%)					Rata-Rata
		1	2	3	4	5	
1	8/4/2015	1	0.9	0.8	1	1	0.94
2	15/04/2015	1.2	0.9	0.9	0.8	1	0.96
3	22/04/2015	1.1	0.8	0.9	0.9	1	0.94
4	24/04/2015	1	1	0.8	0.9	1.1	0.96
5	28/04/2015	0.9	0.9	1.2	1	1.1	1.02
6	6/5/2015	0.9	1	1.2	1.1	1	1.04

Lampiran C

Tabel C.1 Formulasi Variasi Penelitian

No.	Komposisi	Uom	F001	F002	F003	F004	F005	F006	F007	F008	F009	F010	F011	F012	F013	F014	F015	F016	F017
1	HDPE	g	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	Serat Kenaf	g	0	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	40	40	40	40
3	Silan	g	0	0	0	0	5	5	5	10	10	10	15	15	15	5	10	15	0
4	Mineral Oil	g	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	Asam Stearat	g	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	Antioksidan	g																	
	P-168		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	B-210		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	JUMLAH	g	115.0	125.0	135.0	145.0	130.0	140.0	150.0	135.0	145.0	155.0	140.0	150.0	160.0	160.0	165.0	170.0	155.0

Lampiran D Gambar Proses Penelitian



Gambar D.1 Perendaman Serat kenaf



Gambar D.2 Pencucian Serat Kenaf



Gambar D.4 Proses Pembuatan Pelet/Granul



Gambar D.3 Proses Ekstrusi Serat Kenaf & HDPE



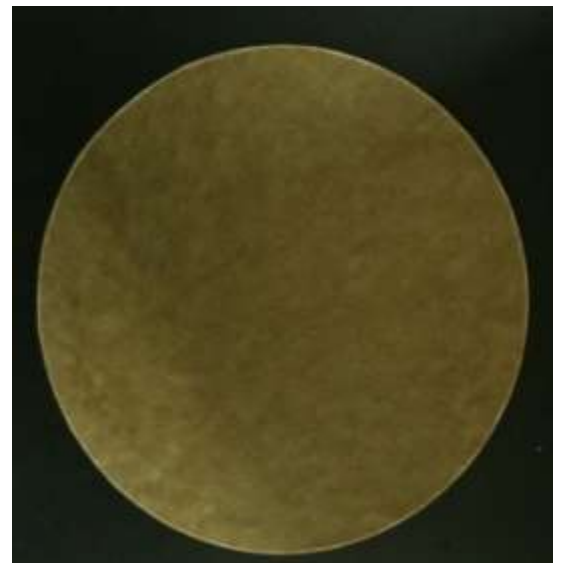
Gambar D.5 Proses Pengepresan



Gambar D.6 Spesimen dalam Cetakan *Hot Press*



Gambar D.7 Proses Pengeluaran Spesimen dari Cetakan



Gambar D.8 Spesimen Hasil Pengepresan



Gambar D.9 Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik sebelum Dilakukan Pengujian



Gambar D.10 Proses Pengujian Kekuatan Tarik



Gambar D.11 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik



Gambar D.12 Spesimen Pengujian Kekuatan Bending Sebelum Dilakukan Pengujian



Gambar D.13 Proses Pengujian Kekuatan Bending



Gambar D.14 Hasil Pengujian Kekuatan Bending



Gambar D.15 Spesimen Pengujian Kekuatan Impak Sebelum Dilakukan Pengujian



Gambar D.16 Hasil Pengujian Kekuatan Impak

Lampiran E

Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Tabel E.1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

No	Kode Formula	a (mm)	b (mm)	Fmax (N)	"M (Mpa)	"B (%)	E (Gpa)
1	F001	2.320	5.724	231.700	28.800	7.080	1.368
2	F002	1.988	5.822	178.040	15.384	7.905	1.000
3	F003	2.016	5.804	164.340	14.044	6.860	1.185
4	F004	1.930	5.752	147.620	13.286	4.724	1.362
5	F005	2.040	5.782	184.200	15.618	6.480	1.060
6	F006	2.052	5.802	165.360	13.894	4.714	1.222
7	F007	1.924	5.748	137.740	12.466	3.953	1.352
8	F008	1.924	5.834	176.380	15.716	8.140	1.071
9	F009	2.006	5.830	163.260	13.962	5.260	1.166
10	F010	1.936	5.810	143.940	12.802	4.504	1.340
11	F011	2.028	5.806	170.400	14.470	6.867	1.020
12	F012	1.978	5.790	150.600	13.156	4.113	1.190
13	F013	1.978	5.832	155.220	13.476	3.657	1.328
14	F014	1.838	5.818	129.700	12.126	3.230	1.459
15	F015	1.730	5.848	122.100	12.076	2.726	1.503
16	F016	1.804	5.900	128.900	12.110	2.545	1.417
17	F017	1.880	5.832	118.200	10.790	2.987	1.283
	Rata-rata				14.363	5.044	1.255
	Min				10.790	2.545	1.000
	Max				15.716	8.140	1.503

Lampiran F

Hasil Pengujian Kekuatan Bending

Tabel F.1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kekuatan Bending

No	Kode Formula	Thickness (mm)	Width (mm)	Elastic Strain (Gpa)	Max.Stress (Mpa)	Max. Strain (%)	Kecepatan (mm/min)
1	F001	2.4160	12.9860	0.36059	13.7115	12.5400	1.135
2	F002	2.1180	13.2020	0.67886	19.7368	8.06696	0.930
3	F003	2.0600	12.7520	0.94426	20.1712	8.57870	0.917
4	F004	1.9980	13.8100	0.98144	19.1760	7.25412	0.883
5	F005	2.0620	13.5920	0.73315	21.5920	8.13553	0.875
6	F006	2.0600	14.5340	1.07564	22.6267	8.03986	0.875
7	F007	2.0540	13.2620	1.01172	19.2819	7.37476	0.875
8	F008	1.9840	13.8820	0.93094	21.6829	7.98102	0.875
9	F009	2.0320	13.8000	0.86054	20.9252	7.78263	0.862
10	F010	1.9700	14.1380	0.87465	21.3947	7.66499	0.862
11	F011	1.9120	13.0840	0.89990	21.9131	7.17371	0.785
12	F012	2.0900	13.2600	0.99144	21.0450	6.86573	0.870
13	F013	1.8800	15.0740	1.07806	22.4271	5.95218	0.836
14	F014	1.8820	13.7620	1.25477	22.9868	6.59507	0.789
15	F015	1.8940	13.9720	1.16076	25.6824	6.66939	0.845
16	F016	1.8280	13.8200	1.33789	26.7711	6.34610	0.777
17	F017	1.9700	13.5400	1.11758	21.1478	6.61385	0.890
	Min	1.8280	12.7520	0.6789	19.1760	5.9522	0.7770
	Max	2.4160	15.0740	1.3379	26.7711	12.5400	1.1350

Lampiran G

Hasil Pengujian Kekerasan

Tabel G.1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kekerasan

No	Kode Formula	1'	2'
1	F001	39.000	35.000
2	F002	58.800	41.400
3	F003	57.800	44.800
4	F004	53.900	40.100
5	F005	57.200	39.600
6	F006	51.100	49.900
7	F007	52.800	50.400
8	F008	59.300	52.800
9	F009	56.200	50.800
10	F010	60.100	55.000
11	F011	58.400	45.000
12	F012	57.100	49.600
13	F013	59.200	55.000
14	F014	61.700	54.600
15	F015	61.800	54.800
16	F016	62.000	55.600
17	F017	60.100	54.100
Min		51.100	39.600
Max		62.000	55.600

Lampiran H

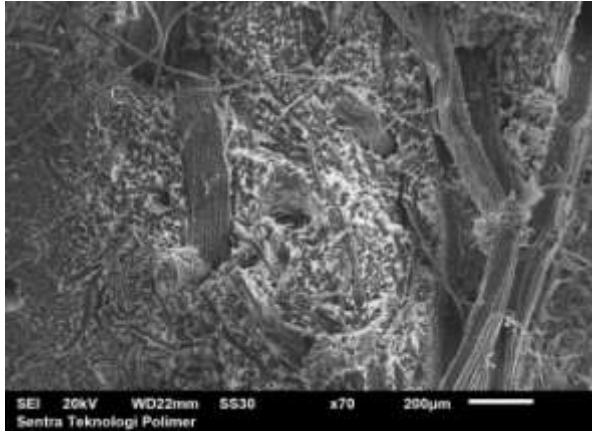
Hasil Pengujian Kekuatan Impak

Tabel H.1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kekuatan Impak

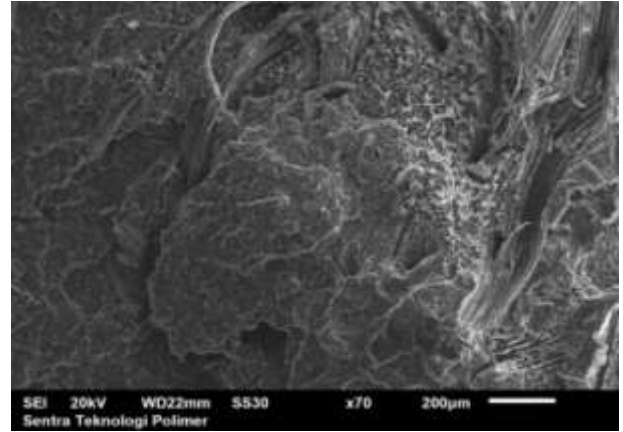
No	Kode Formula	t (mm)	w (mm)	E (J)	Joule impact (J)	Fk (J)	Kekuatan Impak (KJ)
1	F001	2.076	11.072	0.296	1.000	0.004	12.939
2	F002	1.998	9.980	0.261	1.000	0.004	12.906
3	F003	2.150	10.050	0.281	1.000	0.004	12.711
4	F004	2.009	10.087	0.243	1.000	0.004	11.743
5	F005	2.119	9.981	0.210	1.000	0.006	9.613
6	F006	2.120	9.793	0.226	1.000	0.006	10.596
7	F007	2.020	9.868	0.183	1.000	0.006	8.876
8	F008	1.898	10.087	0.207	1.000	0.006	10.418
9	F009	2.103	11.475	0.235	1.000	0.004	9.465
10	F010	2.069	11.824	0.223	1.000	0.004	8.903
11	F011	1.995	10.140	0.241	1.000	0.004	11.879
12	F012	2.084	9.920	0.172	1.000	0.004	8.106
13	F013	2.117	9.949	0.154	1.000	0.004	7.189
14	F014	1.864	9.838	0.204	1.000	0.004	11.086
15	F015	1.948	10.593	0.156	1.000	0.004	7.312
16	F016	1.917	11.523	0.194	1.000	0.004	8.720
17	F017	1.989	11.423	0.256	1.000	0.004	11.145
Min		1.864	9.793	0.154	1.000	0.004	7.189
Max		2.150	11.824	0.281	1.000	0.006	12.939

Lampiran I

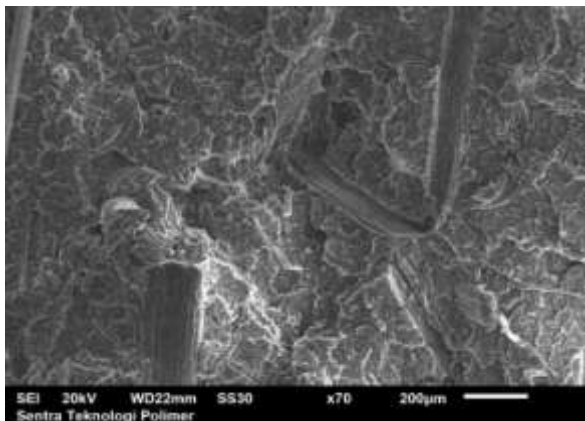
Foto Analisis SEM



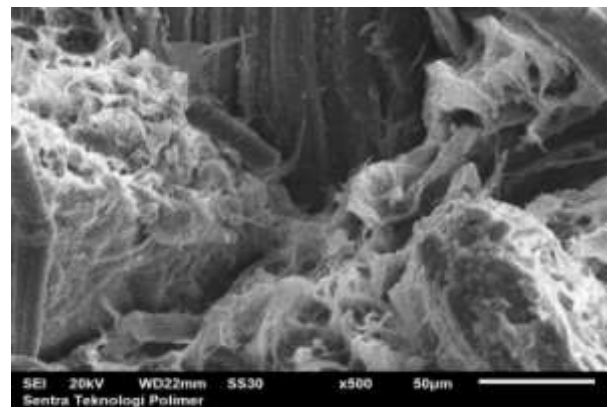
Gambar I.1 Sampel F005-70x Titik 1



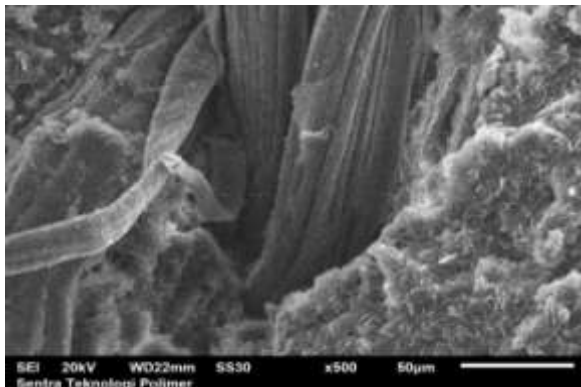
Gambar I.2 Sampel F005-70x Titik 2



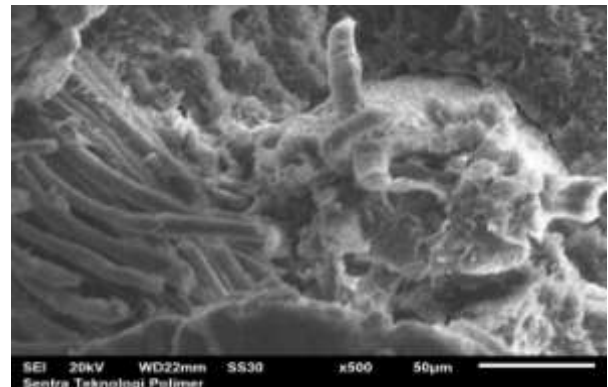
Gambar I.3 Sampel F005-70x Titik 3



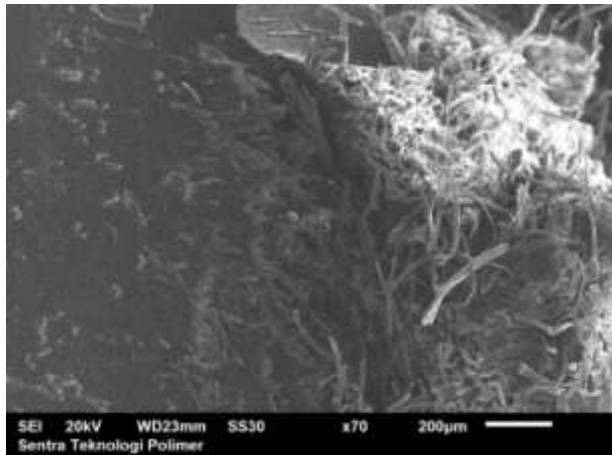
Gambar I.4 Sampel F005-500x Titik 1



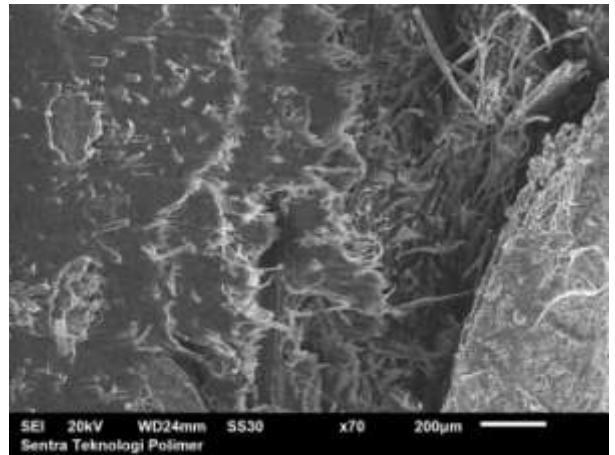
Gambar I.5 Sampel F005-500x Titik 2



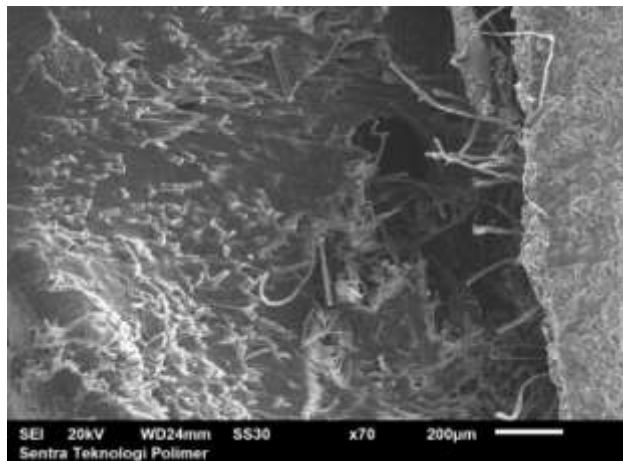
Gambar I.6 Sampel F005-500x Titik 3



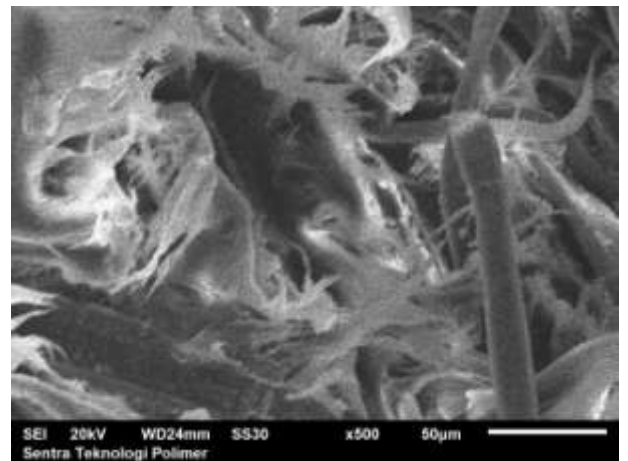
Gambar I.7 Sampel F010-70x Titik 1



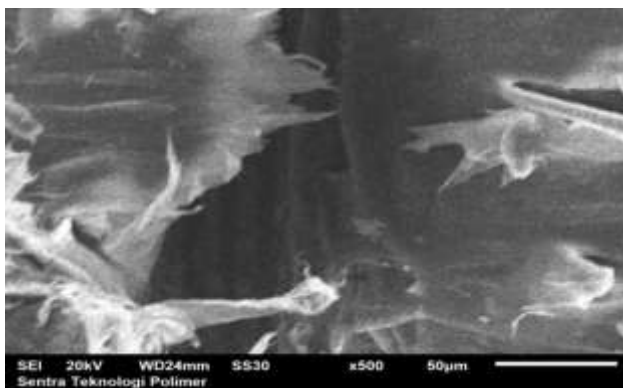
Gambar I.8 Sampel F010-70x Titik 2



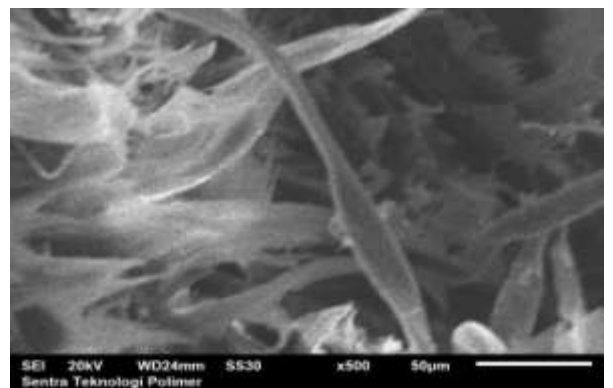
Gambar I.9 Sampel F010-70x Titik 3



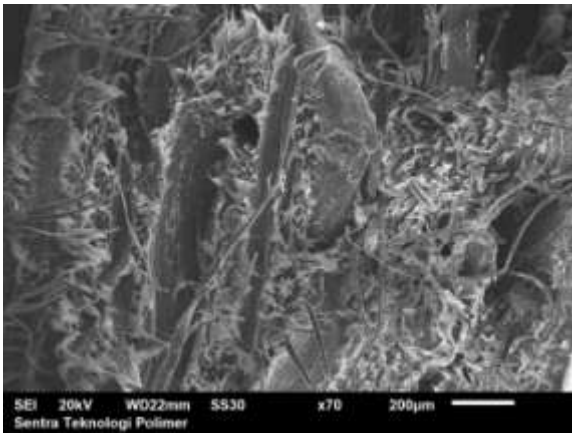
Gambar I.10 Sampel F010-500x Titik 1



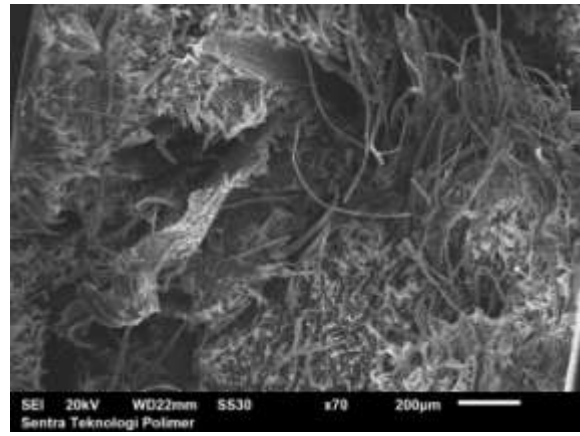
Gambar I.11 Sampel F010-500x Titik 2



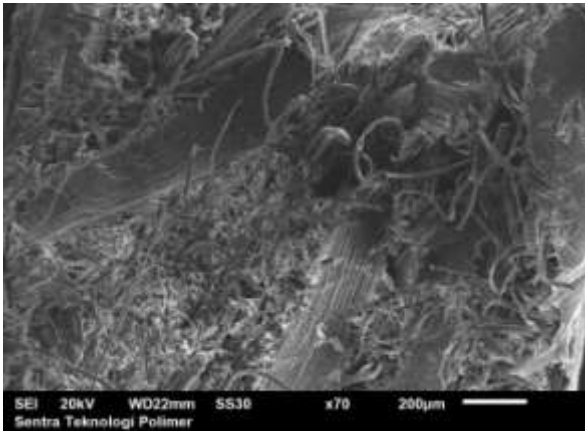
Gambar I.12 Sampel F010-500x Titik 3



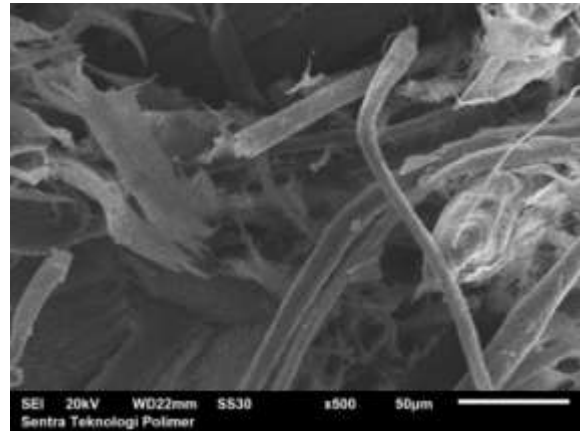
Gambar I.13 Sampel F017-70x Titik 1



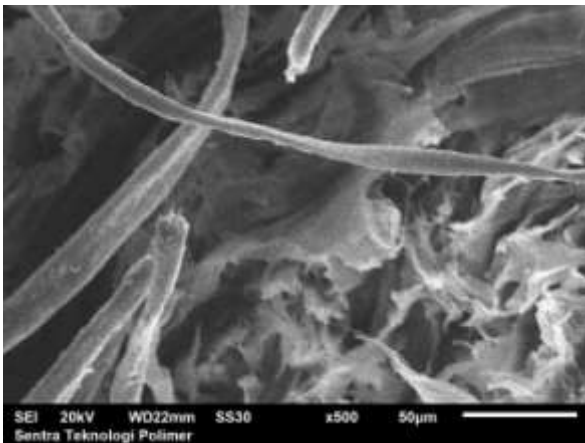
Gambar I.14 Sampel F017-70x Titik 2



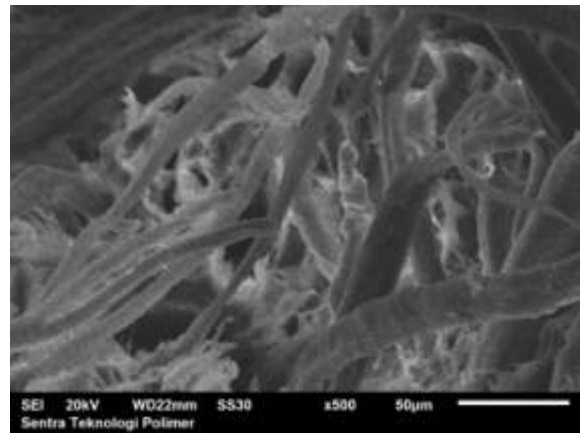
Gambar I.15 Sampel F017-70x Titik 3



Gambar I.16 Sampel F017-500x Titik 1



Gambar I.17 Sampel F017-500x Titik 2



Gambar I.18 Sampel F017-500x Titik 3