

LAPORAN PENELITIAN

PENGARUH VARIASI CAMPURAN RESIN DENGAN SERAT *E-GLASS* DALAM PEMBUATAN SAMPEL UNTUK TIANG RUMAH KOMPOSIT TERHADAP UJI SIFAT MEKANIK DAN BIAYA YANG DIPERLUKAN

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Penyelesaian Jenjang Diploma IV (D-IV)

Program Studi Teknologi Kimia Industri

Sekolah Tinggi Manajemen Industri



Disusun Oleh :

DAHLIA ANGGRAINI 1511028

PUTRI RIZKIA 1511034

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KIMIA INDUSTRI

SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI

KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI

JAKARTA

2015

LAPORAN PENELITIAN

PENGARUH VARIASI CAMPURAN RESIN DENGAN SERAT *E-GLASS* DALAM PEMBUATAN SAMPEL UNTUK TIANG RUMAH KOMPOSIT TERHADAP UJI SIFAT MEKANIK DAN BIAYA YANG DIPERLUKAN

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Penyelesaian Jenjang Diploma IV (D-IV)

Program Studi Teknologi Kimia Industri

Sekolah Tinggi Manajemen Industri



Disusun Oleh :

DAHLIA ANGGRAINI 1511028

PUTRI RIZKIA 1511034

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KIMIA INDUSTRI

SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI

KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI

JAKARTA

2015

LEMBAR PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING
SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI

JUDUL : PENGARUH VARIASI CAMPURAN RESIN DENGAN
SERAT *E- GLASS* DALAM PEMBUATAN SAMPEL UNTUK
TIANG RUMAH KOMPOSIT TERHADAP UJI SIFAT
MEKANIK DAN BIAYA YANG DIPERLUKAN

NAMA/NIM : DAHLIA ANGGRAINI (1511028)
PUTRI RIZKIA (1511034)

PROGRAM STUDI : TEKNOLOGI KIMIA INDUSTRI

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan serta dipertahankan dalam sidang tugas akhir
Sekolah Tinggi Manajemen Industri Kementerian Perindustrian RI

Ketua Program Studi
Teknologi Kimia Industri

Dosen Pembimbing

DR. Ir. Gatot Ibnusantosa, DEA
NIP. 195105021980031003

Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004

**KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA
SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI**

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL TUGAS AKHIR : PENGARUH VARIASI CAMPURAN RESIN DENGAN SERAT E-GLASS
DALAM PEMBUATAN SAMPEL UNTUK TIANG RUMAH KOMPOSIT
TERHADAP UJI SIFAT MEKANIK DAN BIAYA YANG DIPERLUKAN

DISUSUN OLEH :

NAMA/NIM : DAHLIA ANGGRAINI (1511028)
PUTRI RIZKIA (1511034)

PROGRAM STUDI : TEKNOLOGI KIMIA INDUSTRI

Telah diuji oleh Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Program Studi Teknologi Kimia Industri Sekolah Tinggi
Manajemen Industri pada Selasa, 25 Agustus 2015.

Penguji,

Senin, 07 September 2015

Penguji,

Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004
Penguji,

Sakri Widhianto, S.Teks., M.M
NIP. 195303171978031001
Penguji,

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

Dr. Ir. Agus Mundiyo
NIP. 195403281982031003

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya Mahasiswa Program Studi Teknologi Kimia Industri Sekolah Tinggi Manajemen Industri
Kementerian Perindustrian Republik Indonesia :

Nama : Dahlia Anggraini

NIM : 1511028

Program Studi : Teknologi Kimia Industri

Dengan ini menyatakan bahwa hasil karya Tugas Akhir yang saya buat dengan judul :

PENGARUH VARIASI CAMPURAN RESIN DENGAN SERAT *E- GLASS* DALAM PEMBUATAN SAMPEL UNTUK TIANG RUMAH KOMPOSIT TERHADAP UJI SIFAT MEKANIK DAN BIAYA YANG DIPERLUKAN

- Dibuat dan diselesaikan sendiri menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing dan pembimbing di tempat saya melakukan penelitian, melalui tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada Tugas Akhir ini.
- Bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu digunakan referensi pendukung untuk melengkapi informasi.
- Bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya Tugas Akhir saya.

Bila terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah saya nyatakan seperti yang tertera diatas, karya Tugas Akhir saya ini dibatalkan.

Jakarta, 7 September 2015

Yang Membuat Pernyataan

Dahlia Anggraini

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya Mahasiswa Program Studi Teknologi Kimia Industri Sekolah Tinggi Manajemen Industri
Kementerian Perindustrian Republik Indonesia :

Nama : Putri Rizkia

NIM : 1511034

Program Studi : Teknologi Kimia Industri

Dengan ini menyatakan bahwa hasil karya Tugas Akhir yang saya buat dengan judul :

PENGARUH VARIASI CAMPURAN RESIN DENGAN SERAT *E- GLASS* DALAM PEMBUATAN SAMPEL UNTUK TIANG RUMAH KOMPOSIT TERHADAP UJI SIFAT MEKANIK DAN BIAYA YANG DIPERLUKAN

- Dibuat dan diselesaikan sendiri menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing dan pembimbing di tempat saya melakukan penelitian, melalui tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada Tugas Akhir ini.
- Bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu digunakan referensi pendukung untuk melengkapi informasi.
- Bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya Tugas Akhir saya.

Bila terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah saya nyatakan seperti yang tertera diatas, karya Tugas Akhir saya ini dibatalkan.

Jakarta, 7 September 2015

Yang Membuat Pernyataan

Putri Rizkia

KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI
SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI

LEMBAR ABSENSI BIMBINGAN

**JUDUL TUGAS AKHIR : PENGARUH VARIASI CAMPURAN RESIN DENGAN
SERAT E-GLASS DALAM PEMBUATAN SAMPEL
UNTUK TIANG RUMAH KOMPOSIT TERHADAP UJI
SIFAT MEKANIK DAN BIAYA YANG DIPERLUKAN**

DISUSUN OLEH :

NAMA/NIM : DAHLIA ANGGRAINI (1511028)
PUTRI RIZKIA (1511034)

PROGRAM STUDI : TEKNOLOGI KIMIA INDUSTRI

No.	Hari, Tanggal	Bimbingan	Paraf
1.	Selasa, 10 Maret 2015	-Pembahasan BAB I dan BAB II -Revisi BAB I dan BAB II	
2.	Jumat, 13 Maret 2015	- Pembahasan BAB III - Revisi BAB III	
3.	Selasa, 17 Maret 2015	-Pembahasan grafik BAB IV -Pembuatan analisa biaya dengan sifat mekanik sampel	
4.	Jumat, 20 Maret 2015	Lanjutan revisi BAB IV	
5.	Senin, 23 Maret 2015	Revisi ABSTRAK, BAB I –	

		BAB V	
6.	Jumat, 27 Maret 2015	Lanjutan revisi ABSTRAK, BAB I – BAB V	
7.	Senin, 30 Maret 2015	Lanjutan revisi ABSTRAK, BAB I – BAB V	
8.	Senin, 6 April 2015	Revisi ABSTRAK dan DAFTAR PUSTAKA	

Jakarta, 07 September 2015

Ketua Program Studi

Teknologi Kimia Industri

DR.Ir. Gatot Ibnu Santosa, DEA

NIP. 195105021980031003

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang pengaruh variasi campuran resin yang berbeda (*epoxy resin*, *unsaturated polyester resin*, dan *vinyl ester resin*) dengan *fiber E-glass woven roving* dalam pembuatan sampel untuk tiang rumah komposit terhadap uji sifat mekanik dan biaya yang diperlukan. Perbandingan antara resin dengan *fiber* adalah 50 % : 50 % fraksi berat. Pembuatan sampel untuk tiang rumah komposit menggunakan Metode *Hand Lay-Up*. Pengujian yang dilakukan terhadap sampel adalah uji *tensile*, uji *compressive*, uji *shear* dan uji *flexural* dengan menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*). Standard yang digunakan sebagai perbandingan adalah AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) *Specifications for Fiber Reinforcement Polymer Pedestrian Bridges*. Hasil uji menunjukkan bahwa sampel komposit resin *vinyl ester resin* dengan *glass fiber* memiliki nilai sifat mekanik pada uji *tensile*, *compressive*, *shear*, dan *flexural* masing-masing sebesar 134,48 MPa, 64,29 MPa, 186,96 MPa, dan 196,68 MPa dibandingkan dengan sampel komposit resin *epoxy resin* masing-masing sebesar 88,64 MPa, 37,90 MPa, 66,65 MPa dan 125,22 MPa dan *unsaturated polyester resin* masing-masing sebesar 42,13 MPa, 46,17 MPa, 625,65 MPa, dan 45,55 MPa. Berdasarkan hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa masing-masing sampel komposit masih belum sesuai dengan standard AASHTO, yaitu 227,53 MPa untuk uji *tensile*, *compressive*, dan *flexural* sedangkan untuk uji *shear* hanya sampel dengan resin *unsaturated polyester resin* yang telah memenuhi standard 31,03 MPa. Biaya bahan baku yang diperlukan untuk pembuatan sampel dengan resin *vinyl ester resin* lebih murah dibandingkan dengan *epoxy resin*, namun lebih mahal dibandingkan dengan resin *unsaturated polyester resin*. Biaya bahan baku yang dibutuhkan untuk komposit resin *vinyl ester resin* dengan *glass fiber* adalah sebesar Rp 369.700,-, untuk komposit resin *epoxy resin* dengan *glass fiber* adalah sebesar Rp 376.200,-, dan untuk komposit resin *unsaturated polyester resin* dengan *glass fiber* adalah sebesar Rp 222.500,-.

Kata kunci : komposit, sampel, resin, *glass fiber*, *epoxy*, *unsaturated polyester*, *vinyl ester*, *Hand Lay-Up*, sifat mekanik, uji *tensile*, uji *compressive*, uji *shear*, uji *flexural*

ABSTRACT

The research studies about the influence of different composition of resin mixtures (epoxy resin, unsaturated polyester resin, and vinyl ester resin) with E-glass fiber woven roving in the manufacturing of home composite poles, comparing their mechanical properties and their manufacturing costs. The weight comparison between the resin and the fiber is 1:1, using Hand Lay-Up method to make the composite pole samples. The samples then undergo various testing mechanism; tensile test, compressive test, shear test and flexural test using UTM (Universal Testing Machine) to measure their properties. The AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) Specifications for Fiber Reinforcement Polymer Pedestrian Bridges will be used as the standard.

Test results show that a vinyl ester resin resin composite sample with glass fiber has mechanical properties of tensile, compressive, shear, and flexural of 134,48 MPa, 64,29 MPa, 186,96 MPa, and 196,68 Mpa respectively, compared with the sample of epoxy resin resin composite that has mechanical properties of 88,64 MPa, 37,90 MPa, 66,65 MPa and 125,22 MPa respectively, and unsaturated polyester resin with mechanical properties of 42,13 MPa, 46,17 MPa, 625,65 MPa, and 45,55 MPa respectively.

The test results show that each composite samples does not comply with AASHTO standard in tensile, compressive and flexural tests, while only unsaturated polyester resin sample that achieve shear test standard value with result of 31,03 MPa. The cost of the raw materials needed to manufacture samples with resin vinyl ester resins is cheaper compared to epoxy resin, but is more expensive compared to the resin unsaturated polyester resin. The cost of the raw materials needed for resin composite vinyl ester resin with glass fiber, resin composite epoxy resin with glass fiber, and resin composite unsaturated polyester resin with glass fiber is IDR 369.700, IDR 376.200, and IDR 222.500 respectively.

Keywords : composite, sample, resin, glass fiber, epoxy , unsaturated polyester, vinyl ester, Hand Lay-Up, mechanical properties, tensile test, compressive test, shear test, flexural test.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum. Wr. Wb

Puji syukur penyusun panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga pelaksanaan penelitian di Sentra Teknologi Polimer (STP) – BPPT Serpong serta penyusunan laporan ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Kegiatan penelitian ini merupakan salah satu syarat kelulusan Jenjang D-IV Program Studi Teknologi Kimia Industri Sekolah Tinggi Manajemen Industri Kementerian Perindustrian RI. Laporan ini disusun berdasarkan pengamatan selama penelitian yang dilakukan penyusun mulai Tanggal 5 Januari hingga 6 Maret 2015.

Penyusun merasa banyak mendapat saran, bimbingan, serta bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak selama menyelesaikan laporan penelitian ini. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penyusun mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga tercinta atas semua do'a dan dukungan yang diberikan baik secara moril maupun materi yang tak ternilai harganya.
2. DR. Ir. Gatot Ibnusantosa, DEA selaku Ketua Program Studi Teknologi Kimia Industri Sekolah Tinggi Manajemen Industri.
3. Ir. Roosmariharso, MBA selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan, dan nasihat selama proses penyusunan laporan penelitian ini.
4. Drs. Saeful Rahman, MT selaku pembimbing penelitian di STP-BPPT yang telah membimbing dan memberikan pengarahan selama penelitian.
5. Nurul Jamilah, ST selaku asisten pembimbing penelitian yang senantiasa membimbing dan memberi pengarahan langsung di laboratorium dan ruang proses serta terima kasih pula atas kesabarannya dalam melayani pertanyaan-pertanyaan penyusun selama ini.
6. Mas Singgih, Mas Hakim, Fajar, Kang Ade selaku *staff* yang bersedia membantu penyusun dalam mengoperasikan alat pengujian serta menemani keseharian penyusun di ruang kerja.

7. Ibu Retno yang membantu dan memberikan pengarahan awal sebelum memulai aktivitas penelitian di laboratorium dan ruang proses.
8. Bapak Yurrohman selaku manajer teknis yang senantiasa membantu dan memberikan pengarahan kepada penyusun dalam melakukan pengujian.
9. Ibu Frita Yuliati dan Bapak Asep Riswoko yang telah membantu dan mengizinkan penyusun melakukan penelitian di STP-BPPT Serpong.
10. Seluruh *staff* penelitian, *staff* pengujian, operator laboratorium, karyawan kantin, *Office Boy*, dan supir bus jemputan atas kebaikan dan keramahannya melayani penyusun sampai akhir penyusun melakukan penelitian di STP-BPPT.
11. Rekan-rekan Teknologi Kimia Industri angkatan 2011 yang selalu memberikan motivasi, semangat, dan do'a. Tetap semangat dan lanjutkan perjuangan kita bersama.
12. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu selama penelitian dan penyusunan laporan ini.

Penyusun menyadari bahwa laporan penelitian ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan penyusun agar lebih baik lagi di masa yang akan datang. Akhir kata, semoga laporan ini bermanfaat untuk memperluas wawasan dan pengetahuan bagi kita semua.

Wassalamualaikum Wr. Wb

Jakarta, September 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
LEMBAR ABSENSI BIMBINGAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR GRAFIK.....	xviii
ABSTRAK.....	xix
ABSTRACT.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Material Komposit.....	5
2.1.1 Pengertian Komposit.....	5
2.1.2 Klasifikasi Bahan Komposit.....	6
2.1.3 Material Penyusun Komposit	11
2.1.3.1 Matriks.....	11
2.1.3.2 <i>Fiber</i>	13
2.1.3.3 <i>Additive</i>	16
2.1.4 Tipe Komposit <i>Fiber</i>	17
2.1.5 Faktor yang Memengaruhi Sifat Mekanik Komposit.....	18

2.2	Karakterisasi Sampel untuk Tiang Rumah Komposit	21
2.2.1	Pengujian Sifat Mekanik.....	21
2.2.1.1	Uji Tarik (<i>Tensile</i>).....	21
2.2.1.2	Uji Tekan (<i>Compressive</i>).....	22
2.2.1.3	Uji Geser (<i>Shear</i>).....	24
2.2.1.4	Uji Lentur (<i>Flexural</i>).....	25
2.2.2	Analisa Biaya yang Dibutuhkan.....	27
2.3	Metode Pembuatan Sampel (Metode Fabrikasi).....	28
2.3.1	<i>Open Molding Process</i> s (Pencetakan Terbuka).....	28
2.3.2	<i>Close Molding Process</i> (Pencetakan Tertutup).....	30
2.4	Kelebihan dan Kekurangan Komposit.....	32
2.4.1	Kelebihan Komposit.....	32
2.4.2	Kekurangan Komposit.....	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		33
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	33
3.2	Alat dan Bahan.....	34
3.2.1	Alat-alat.....	34
3.2.2	Bahan.....	34
3.2.2.1	<i>Epoxy Resin</i>	35
3.2.2.2	<i>Hardener</i> untuk <i>Epoxy Resin</i>	35
3.2.2.3	<i>Unsaturated Polyester Resin</i>	35
3.2.2.4	Katalis Peroksida.....	36
3.2.2.5	<i>Vinyl Ester Resin</i>	37
3.2.2.6	Promotor untuk <i>Vinyl Ester Resin</i>	37
3.2.2.7	Katalis <i>Methyl Ethyl Peroxide</i> (Mepoxe).....	37
3.2.2.8	<i>E-glass Fiber Woven Roving</i>	38
3.2.2.9	Pelarut Aseton.....	39
3.2.2.10	<i>White Oil</i>	40
3.3	Variabel Penelitian.....	40
3.3.1	Variabel Bebas.....	40

3.3.2	Variabel Terikat.....	40
3.4	Pembuatan Sampel.....	41
3.4.1	Persiapan Bahan dan Pemotongan <i>Fiber</i>	41
3.4.2	Penimbangan Bahan serta Pencampuran Resin dan <i>Additive</i>	41
3.4.3	Pencetakan Resin dan <i>Fiber</i>	47
3.4.4	Pemotongan Sampel Uji.....	49
3.5	Proses Karakterisasi Material Sampel.....	52
3.5.1	Uji <i>Tensile</i>	52
3.5.1.1	Prosedur Uji <i>Tensile</i>	52
3.5.1.2	Perhitungan untuk Uji <i>Tensile</i>	54
3.5.2	Uji <i>Compressive</i>	56
3.5.2.1	Prosedur Uji <i>Compressive</i>	56
3.5.2.2	Perhitungan untuk Uji <i>Compressive</i>	58
3.5.3	Uji <i>Shear</i>	60
3.5.3.1	Prosedur Uji <i>Shear</i>	61
3.5.3.2	Perhitungan untuk Uji <i>Shear</i>	62
3.5.4	Uji <i>Flexural</i>	62
3.5.4.1	Prosedur Uji <i>Flexural</i>	63
3.5.4.2	Perhitungan untuk Uji <i>Flexural</i>	64
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		66
4.1	Hasil Uji Karakterisasi Sampel.....	66
4.1.1	Uji <i>Tensile</i>	66
4.1.2	Uji <i>Compressive</i>	72
4.1.3	Uji <i>Shear</i>	78
4.1.4	Uji <i>Flexural</i>	82
4.2	Analisa Biaya.....	88
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		94
5.1	Kesimpulan.....	94
5.2	Saran.....	96

DAFTAR PUSTAKA.....	97
LAMPIRAN.....	99
Lampiran 1. Hasil Uji <i>Tensile</i>.....	99
Lampiran 2. Hasil Uji <i>Compressive</i>.....	101
Lampiran 3. Hasil Uji <i>Shear</i>.....	103
Lampiran 4. Hasil Uji <i>Flexural</i>.....	105

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Sifat-sifat dari Jenis-jenis <i>Glass Fiber</i>	15
Tabel II.2	Komposisi Senyawa Kimia <i>Glass Fiber</i>	15
Tabel II.3	Kode Jenis-jenis <i>Glass Fiber</i>	15
Tabel II.4	Karakterisasi Sampel Komposit Berdasarkan Standard AASHTO	21
Tabel III.1	Spesifikasi <i>Unsaturated Polyester Resin</i> Yukalac 157 [®] BTQN-EX	36
Tabel III.2	Komposisi Bahan pada Sampel dan Variasi Waktu <i>Curing</i> pada Uji <i>Tensile</i> dan Uji <i>Compressive Unsaturated Polyester Resin</i>	43
Tabel III.3	Komposisi Bahan pada Sampel dan Variasi Waktu <i>Curing</i> pada Uji <i>Shear</i> dan Uji <i>Flexural Unsaturated Polyester Resin</i>	43
Tabel III.4	Komposisi Bahan pada Sampel dan Variasi Waktu <i>Curing</i> pada Uji <i>Tensile</i> dan Uji <i>Compressive Epoxy Resin</i>	44
Tabel III.5	Komposisi Bahan pada Sampel dan Variasi Waktu <i>Curing</i> pada Uji <i>Shear</i> dan Uji <i>Flexural Epoxy Resin</i>	44
Tabel III.6	Komposisi Bahan pada Sampel dan Variasi Waktu <i>Curing</i> pada Uji <i>Tensile</i> dan Uji <i>Compressive Vinyl Ester Resin</i>	45
Tabel III.7	Komposisi Bahan pada Sampel dan Variasi Waktu <i>Curing</i> pada Uji <i>Shear</i> dan Uji <i>Flexural Vinyl Ester Resin</i>	45
Tabel IV.1	Hasil Sampel Uji <i>Tensile</i> Berdasarkan ASTM D-3039	67
Tabel IV.2	Hasil Sampel Uji <i>Compressive</i> Berdasarkan ASTM D-3410.....	73
Tabel IV.3	Hasil Sampel Uji <i>Shear</i> Berdasarkan ASTM D-2344.....	78
Tabel IV.4	Hasil Sampel Uji <i>Flexural</i> Berdasarkan ASTM D-790	83
Tabel IV.5	Perbandingan Hasil Uji Kekuatan Mekanik Komposit dengan Standard AASHT0.....	87
Tabel IV.6	Rincian Biaya Bahan Pembuatan Sampel menggunakan <i>Epoxy Resin</i> dan <i>E-glass Fiber Woven Roving</i>	89
Tabel IV.7	Rincian Biaya Bahan Pembuatan Sampel menggunakan <i>Unsaturated Polyester Resin</i> dan <i>E-glass Fiber Woven Roving</i>	89

Tabel IV.8	Rincian Biaya Bahan Pembuatan Sampel menggunakan <i>Vinyl Ester Resin</i> dan <i>E-glass Fiber Woven Roving</i> Kode Jenis-jenis <i>Glass Fiber</i>	90
Tabel IV.9	Rincian Biaya Pembelian Cetakan	90
Tabel IV.10	Nilai Rata-Rata Sifat Mekanik dari Uji Tarik (<i>Tensile</i>), Uji Tekan (<i>Compressive</i>), Uji Geser (<i>Shear</i>), Uji Lentur (<i>Flexural</i>) dan Harga yang Diperlukan.....	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matriksnya.....	6
Gambar II.2	Model Pengarahan Filamen Satu Arah dalam Komposit (a) Paralel dan (b) Seri.....	10
Gambar II.3	Pembagian Komposit Berdasarkan Penguatnya.....	11
Gambar II.4	Struktur Kimia Resin <i>Epoxy</i>	12
Gambar II.5	Struktur Kimia Poliester Tak Jenuh Hasil Sintesis Propilena Glikol, Asam Maleat, dan Asam Fumarat.....	13
Gambar II.6	Struktur Kimia Resin <i>Vinyl Ester</i>	13
Gambar II.7	Struktur Ikatan Silang Polimer <i>Thermoset</i>	20
Gambar II.8	Perubahan Benda yang Disebabkan oleh Tegangan Tekan Aksial.....	23
Gambar II.9	Skematis Uji <i>Shear</i>	24
Gambar II.10	Skematis Uji <i>Flexural</i>	26
Gambar II.11	Metode <i>Hand Lay-Up</i>	29
Gambar III.1	Diagram Alir Penelitian.....	33
Gambar III.2	<i>Hardener</i> dan <i>Epoxy Resin</i>	35
Gambar III.3	Katalis Peroksida dan <i>Unsaturated Polyester Resin</i>	37
Gambar III.4	Promotor Ex-x, <i>Vinyl Ester Resin</i> , dan Katalis Mepoxe.....	38
Gambar III.5	<i>E-glass Woven Roving</i> 600 China	39
Gambar III.6	<i>Thinner FRP</i>	39
Gambar III.7	<i>White Oil</i>	40
Gambar III.8	Persiapan Alat dan Bahan.....	41
Gambar III.9	Potongan <i>Fiber</i>	41
Gambar III.10.a	Proses Pencampuran.....	46
Gambar III.10.b	Hasil Pencampuran.....	46
Gambar III.11	Timbangan <i>Digital</i>	46

Gambar III.12	Cetakan Kayu.....	48
Gambar III.13	Hasil Proses Pencetakan.....	48
Gambar III.14	Sampel Uji <i>Tensile</i>	49
Gambar III.15	Sampel Uji <i>Compressive</i>	49
Gambar III.16	Sampel Uji <i>Flexural</i>	50
Gambar III.17	Sampel Uji <i>Shear</i>	50
Gambar III.18	Proses Pemotongan Sampel Menggunakan <i>Blade Saw</i>	51
Gambar III.19	Alat Uji <i>Tensile</i>	53
Gambar III.20	Dimensi Sampel untuk Uji <i>Tensile</i>	53
Gambar III.21	Alat Uji <i>Compressive</i>	57
Gambar III.22	Dimensi Sampel untuk Uji <i>Compressive</i>	57
Gambar III.23	Alat Uji <i>Shear</i>	60
Gambar III.24	Dimensi Sampel untuk Uji <i>Shear</i>	61
Gambar III.25	Alat Uji <i>Flexural</i>	63
Gambar III.26	Dimensi Sampel untuk Uji <i>Flexural</i>	64
Gambar IV.1	Sampel Uji <i>Tensile</i> Komposit <i>Glass Fiber</i> dan <i>Epoxy Resin</i> Sebelum dan Sesudah Pengujian.....	71
Gambar IV.2	Sampel Uji <i>Tensile</i> Komposit <i>Glass Fiber</i> dan <i>Unsaturated Polyester Resin</i> Sebelum dan Sesudah Pengujian.....	71
Gambar IV.3	Sampel Uji <i>Tensile</i> Komposit <i>Glass Fiber</i> dan <i>Vinyl Ester Resin</i> Sebelum dan Sesudah Pengujian.....	71
Gambar IV.4	Sampel Uji <i>Compressive</i> Komposit <i>Glass Fiber</i> dan <i>Epoxy Resin</i> Sebelum dan Sesudah Pengujian.....	76
Gambar IV.5	Sampel Uji <i>Compressive</i> Komposit <i>Glass Fiber</i> dan <i>Unsaturated Polyester Resin</i> Sebelum dan Sesudah Pengujian	77
Gambar IV.6	Sampel Uji <i>Compressive</i> Komposit <i>Glass Fiber</i> dan <i>Vinyl Ester Resin</i> Sebelum dan Sesudah Pengujian.....	77
Gambar IV.7	Sampel Uji <i>Shear</i> Komposit <i>Glass Fiber</i> dan <i>Epoxy Resin</i> Sebelum dan Sesudah Pengujian.....	81

Gambar IV.8	Sampel Uji <i>Shear</i> Komposit <i>Glass Fiber</i> dan <i>Unsaturated Polyester Resin</i> Sebelum dan Sesudah Pengujian	81
Gambar IV.9	Sampel Uji <i>Shear</i> Komposit <i>Glass Fiber</i> dan <i>Vinyl Ester Resin</i> Sebelum dan Sesudah Pengujian.....	82
Gambar IV.10	Sampel Uji <i>Flexural</i> Komposit <i>Glass Fiber</i> dan <i>Epoxy Resin</i> Sebelum dan Sesudah Pengujian	86
Gambar IV.11	Sampel Uji <i>Flexural</i> Komposit <i>Glass Fiber</i> dan <i>Unsaturated Polyester Resin</i> Sebelum dan Sesudah Pengujian.....	86
Gambar IV.12	Sampel Uji <i>Flexural</i> Komposit <i>Glass Fiber</i> dan <i>Vinyl Ester Resin</i> Sebelum dan Sesudah Pengujian	87

DAFTAR GRAFIK

Grafik IV.1 Hubungan Nilai <i>Stress</i> dan <i>Strain</i> pada Uji <i>Tensile</i>	68
Grafik IV.2 Hubungan Nilai <i>Stress</i> dan <i>Strain</i> pada Uji <i>Compressive</i>	74
Grafik IV.3 Hubungan Nilai <i>Stress</i> dan <i>Displacement</i> (Jarak) pada Uji <i>Shear</i>	79
Grafik IV.4 Hubungan Nilai <i>Stress</i> dan <i>Displacement</i> (Jarak) pada Uji <i>Flexural</i>	84

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa Bumi merupakan suatu fenomena alam yang tidak dapat dihindari, tidak dapat diketahui kapan terjadinya, dimana lokasinya, dan seberapa besar gempa bumi tersebut terjadi. Indonesia termasuk negara yang berisiko tinggi terkena gempa, oleh sebab itu pengetahuan tentang gempa bumi perlu ditingkatkan dan bangunan yang tahan gempa pun perlu didirikan untuk meminimalisir kerugian ketika terjadi gempa.

Dalam membuat bangunan tahan gempa perlu memperhatikan tiga prinsip utama (Pujiyanto, 2011), yaitu :

1. Memperkuat bangunan terutama pada sambungan sehingga bangunan dapat selamat dari kehancuran meski harus berubah bentuk pada saat terjadinya gempa.
2. Memperingan bangunan sehingga bangunan dapat dibawa dengan mudah.
3. Memberi peredam sehingga meski tanah mengalami percepatan, namun percepatan itu tidak diteruskan ke bangunan di atasnya.

Salah satu hal terpenting dalam menciptakan rumah yang baik dan mampu bertahan dari gempa adalah menggunakan bahan bangunan yang kuat, namun memiliki berat jenis yang ringan. Indonesia yang kaya akan sumber daya alam membuat manusia selalu berinovasi mengoptimalkan nilai efisiensi terhadap suatu produk dan berusaha menciptakan berbagai produk yang terdiri dari gabungan bahan untuk menghasilkan suatu bahan baru yang lebih kuat dari material penyusunnya. Salah satunya adalah pemanfaatan serat (*fiber*) yang memiliki banyak kegunaan dan dapat dicampur dengan resin untuk dijadikan bahan komposit.

Apa itu komposit? Dalam praktiknya, komposit ini merupakan material yang terdiri dari suatu bahan pengikat (resin) dan suatu bahan penguat yang ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan. Bahan penguat ini biasanya dalam bentuk serat (*fiber*). Salah satu aplikasi komposit adalah dalam pembuatan dinding rumah dengan bahan campuran tanah liat dan jerami padi. Tanah liat berperan sebagai bahan penguat (resin) dan jerami sebagai *fiber* (pengisi

dan penguat). Pada umumnya pemilihan bahan resin dan *fiber* memiliki peranan penting dalam menentukan sifat-sifat mekanik dari sifat komposit. Gabungan resin dan *fiber* dapat menghasilkan komposit yang mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi dari bahan konvensional.

Komposit merupakan teknologi material yang banyak dikembangkan saat ini karena material komposit mampu menggabungkan beberapa sifat material yang berbeda karakteristiknya menjadi sifat yang baru dan dapat dibentuk sesuai dengan keinginan. Salah satu *fiber* sebagai bahan penguat yang banyak digunakan saat ini dalam berbagai hal adalah *glass fiber*. *Glass fiber* dapat digunakan dalam industri otomotif, bahan bangunan, dan peralatan rumah tangga.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh sifat mekanik sampel komposit yang dihasilkan menggunakan variasi campuran resin yang berbeda (*Epoxy*, *Unsaturated Polyester*, dan *Vinyl Ester*) sebagai fase resin dengan *fiber* yang sama (*glass fiber*) terhadap sifat mekanik yang dihasilkan pada sampel untuk tiang rumah komposit?
2. Bagaimana pengaruh sifat sampel komposit yang dihasilkan terhadap biaya bahan baku sampel komposit yang diperlukan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui sifat mekanik yang dihasilkan pada bahan campuran resin yang berbeda (*Epoxy*, *Unsaturated Polyester*, dan *Vinyl Ester*) dengan *glass fiber* sebagai bahan pembuatan sampel untuk tiang rumah komposit.
2. Mengetahui hubungan kualitas produk yang dihasilkan terhadap biaya bahan baku yang diperlukan.

1.4 Ruang Lingkup

Pada penelitian ini, perbandingan komposisi bahan penyusun yang digunakan dalam pembuatan sampel adalah sebagai berikut :

1. Polimer *thermoset*, yaitu *epoxy resin*, *unsaturated polyester resin* dan *vinyl ester resin*. *Epoxy resin* yang digunakan sebesar 50 % fraksi berat dari total komposisi bahan sampel yang digunakan untuk pembuatan sampel tiang rumah komposit dengan perbandingan *epoxy resin* : *hardener* sebesar 50 % : 50 % fraksi berat. *Unsaturated polyester resin* yang digunakan sebesar 50 % dari total komposisi bahan sampel dengan perbandingan berat antara *unsaturated polyester resin* dengan katalis peroksida sebesar 99 % : 1 % fraksi berat, serta *vinyl ester resin* (50 % dari total komposisi bahan sampel) dengan perbandingan berat antara *vinyl ester resin* dengan promotor dan katalis *Methyl Ethyl Peroxide* (Mepoxe) sebesar 99,75 % : 0,5 % : 2 % fraksi berat.
2. Jenis *fiber* yang digunakan adalah *E-glass fiber woven roving* (50 % dari total komposisi bahan sampel yang digunakan untuk pembuatan sampel tiang rumah komposit).
3. Total berat bahan untuk pembuatan sampel dari campuran *epoxy resin* dan *glass fiber* sebesar 190 gr, campuran *unsaturated polyester resin* dan *glass fiber* 188 gr, serta campuran *vinyl ester resin* dan *glass fiber* sebesar 225 gr.
4. Pada proses pengeringan, cetakan didiamkan di dalam ruang proses dengan temperatur 24°C selama 24 jam untuk *epoxy resin*, 5 jam untuk *unsaturated polyester resin*, dan khusus untuk *vinyl ester resin* dijemur menggunakan sinar matahari selama 3 jam sehingga menghasilkan sampel yang siap diuji.
5. Pengujian terhadap sampel dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari sampel yang dihasilkan, yaitu *tensile* (ASTM D-3039), *compressive* (ASTM D-3410), *shear* (ASTM D-2344) dan *flexural* (ASTM D-790).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat digunakan sebagai salah satu bahan pertimbangan dan referensi dalam pembuatan tiang rumah komposit menggunakan resin (*epoxy resin*, *unsaturated polyester resin* dan *vinyl ester resin*) dengan *fiber* jenis *E-glass fiber woven roving* untuk Usaha Kecil Menengah (UKM) bidang bahan bangunan komposit rumah dan juga untuk para peneliti. Selain itu, dari penelitian ini juga dapat memberikan kemudahan untuk memertimbangkan biaya yang harus dikeluarkan dengan kualitas yang dihasilkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

2.1.1 Pengertian Komposit

Komposit merupakan material dengan kombinasi dari dua bahan atau lebih yang tersusun atas fase resin sebagai penyusun dengan fraksi volume terbesar dan fase penguat yang dipilih untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dan lebih baik dibandingkan dengan sifat-sifat bahan komponen penyusunnya. Fase penguat digunakan untuk menahan gaya yang bekerja pada bahan komposit, sedangkan resin berfungsi melindungi dan mengikat fasa penguat agar dapat bekerja dengan baik terhadap gaya-gaya yang terjadi. Oleh sebab itu, pada fase penguat digunakan bahan yang kuat, kaku, dan getas, sedangkan pada fase resin digunakan bahan-bahan yang liat, lunak, dan tahan terhadap perlakuan kimia.

Ada tiga faktor yang dapat menentukan sifat-sifat dari material komposit (Syukur, 2012), yaitu :

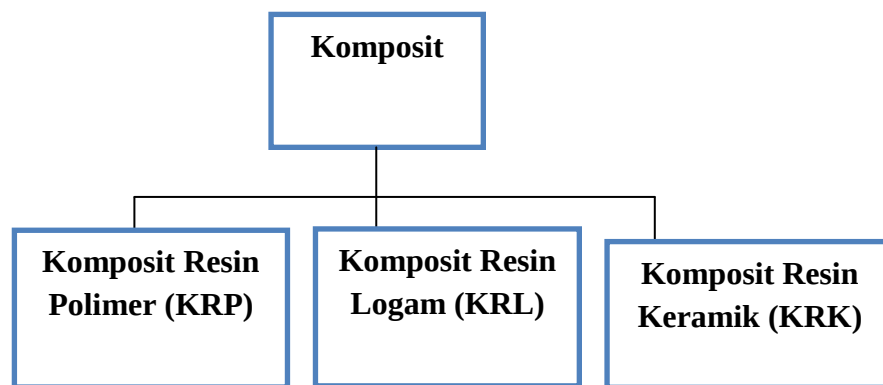
1. Material pembentuk. Sifat-sifat intrinsik material pembentuk memegang peranan yang sangat penting terhadap pengaruh sifat kompositnya.
2. Susunan struktural komponen. Dimana bentuk serta orientasi dan ukuran tiap-tiap komponen penyusun struktur dan distribusinya merupakan faktor penting yang memberi 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.

Aplikasi komposit sangat banyak kita temukan, khususnya untuk rumah hunian, rumah tahan gempa, dan juga rumah tanggap bencana. Semua komponen menggunakan bahan

komposit, salah satunya tiang yang digunakan untuk menopang komponen rumah lainnya dan sering juga disebut dengan tiang rumah komposit.

2.1.2 Klasifikasi Bahan Komposit

Berdasarkan fase resin, komposit dapat diklasifikasikan kedalam tiga kelompok besar, yaitu Komposit Resin Polimer (KRP), Komposit Resin Logam (KRL), dan Komposit Resin Keramik (KRK) (Nayiroh, 2013). Klasifikasi komposit berdasarkan resinnya dapat dilihat pada Gambar II.1.



Gambar II.1 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Resinnya (Nayiroh, 2013)

a. Komposit Resin Polimer (KRP)

Komposit Resin Polimer adalah komposit yang menggunakan polimer sebagai resin. Komposit ini memiliki beberapa kelebihan (Nayiroh, 2013), yaitu :

1. Biaya pembuatan lebih murah
2. Proses pembuatan lebih cepat
3. Lebih ringan
4. Nilai *stiffness* tinggi
5. Nilai *strength* tinggi

Aplikasi KRP dapat digunakan untuk alat-alat rumah tangga, panel pintu kendaraan, peralatan elektronika, untuk kotak penyimpanan air radiator, dan komponen pesawat terbang.

b. Komposit Resin Logam (KRL)

Komposit Resin Logam adalah komposit yang menggunakan logam sebagai resin. Material KRL mulai dikembangkan sejak tahun 1996 (Nayiroh, 2013). Kelebihan KRL dibandingkan dengan KRP adalah memiliki *transfer* tegangan dan regangan yang baik, ketahanan terhadap temperatur tinggi, tidak mudah terbakar, memiliki kekuatan tekan dan geser yang baik, serta memiliki muai *thermal* yang baik. Tidak hanya itu, KRL ini memiliki densitas yang rendah, harga ekonomis, dan nilai modulus elastisitas tinggi. Aplikasi KRL dapat digunakan pada industri otomotif, peralatan militer (sudu turbin, cakram kompresor, dll), *Aircraft* (rak listrik pada pesawat terbang), serta peralatan elektronik (Maisaroh, 2013).

c. Komposit Resin Keramik (KMK)

Komposit Resin Keramik (KRK) merupakan material yang resinnya terbuat dari keramik. Salah satu proses pembuatan KRK adalah dengan proses DIMOX, yakni proses pembentukan komposit dengan reaksi oksidasi leburan logam untuk pertumbuhan resin keramik disekitar daerah penguat. Resin yang sering digunakan pada KRK adalah gelas anorganik, keramik gelas, alumina, dan silikon nitrid (Nayiroh, 2013).

Kelebihan dari KRK adalah sebagai berikut :

1. Dimensinya stabil bahkan lebih stabil daripada logam
2. Sangat tangguh, bahkan hampir sama dengan ketangguhan dari *cast iron*
3. Unsur kimianya stabil pada temperatur tinggi
4. Tahan pada temperatur tinggi
5. Ketahanan terhadap korosi tinggi

Kekurangan dari KRK :

1. Sulit untuk diproduksi dalam jumlah besar
2. Relatif mahal
3. Hanya untuk aplikasi tertentu

Aplikasi KRK dapat digunakan sebagai kombinasi dalam rekayasa whisker SiC/alumina polikristalin untuk perkakas potong, untuk alas cermin laser, dan perekat.

Berdasarkan fase penguatnya, komposit dapat diklasifikasikan kedalam beberapa kelompok (Baliyono, 2013), yaitu :

1. *Fiber composites* adalah gabungan *fiber* dengan resin. Komposit *fiber* merupakan jenis komposit yang menggunakan *fiber* sebagai penguat. *Fiber* yang digunakan biasanya berupa *glass fiber*, *carbon fiber*, dan *aramid fiber*. *Fiber* ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.
2. *Flake composites* adalah gabungan serpih rata dengan resin. Komposit serpihan terdiri atas serpihan-serpihan yang saling menahan dengan mengikat permukaan atau dimasukkan ke dalam resin. Pengertian dari serpihan adalah partikel kecil yang telah ditentukan sebelumnya yang dihasilkan dalam peralatan khusus dengan orientasi *fiber* sejajar permukaannya. Sifat-sifat khusus yang dapat diperoleh dari serpihan adalah bentuknya besar dan datar sehingga dapat disusun dengan rapat untuk menghasilkan suatu bahan penguat dengan luas penampang tertentu.
3. *Particulate composites* adalah komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam resin. Salah satu contoh komposit yang terdiri dari partikel dan resin, yaitu butiran (batu dan pasir) yang diperkuat dengan semen atau lebih dikenal sebagai sebagai beton. Komposit partikel merupakan produk yang dihasilkan dengan menempatkan partikel-partikel dan sekaligus mengikatnya dengan suatu resin bersama dengan satu atau lebih unsur-unsur perlakuan seperti panas, tekanan, kelembaban, katalisator dan lain-lain. Komposit partikel ini berbeda dengan jenis *fiber* acak sehingga bersifat isotropis.

4. *Laminated composites* adalah 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 *fiber* kontinyu, komposit *fiber* anyam, komposit *fiber* acak, dan komposit *fiber* hibrid.

Komposit yang menggunakan *fiber* dapat digolongkan menjadi dua bagian (Syukur, 2012), yaitu :

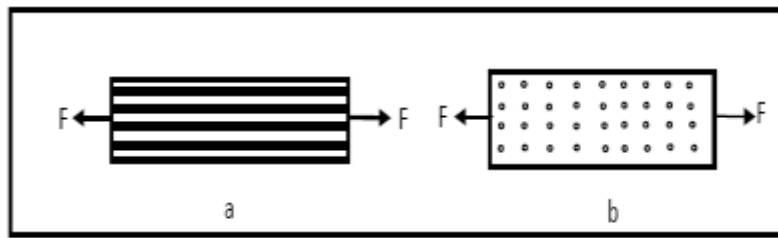
1. Komposit Serat Pendek (*Short Fiber Composite*)

Berdasarkan arah orientasi material komposit yang diperkuat dengan *fiber* pendek dapat dibagi lagi menjadi dua bagian, yaitu *fiber* acak (*inplane random orientation*) dan *fiber* satu arah. Tipe *fiber* acak sering digunakan pada produksi dengan volume besar karena faktor biaya manufakturnya yang lebih murah. Kekurangan dari jenis *fiber* acak adalah memiliki sifat mekanik yang kurang bagus.

2. Komposit serat panjang (*Long Fiber Composite*)

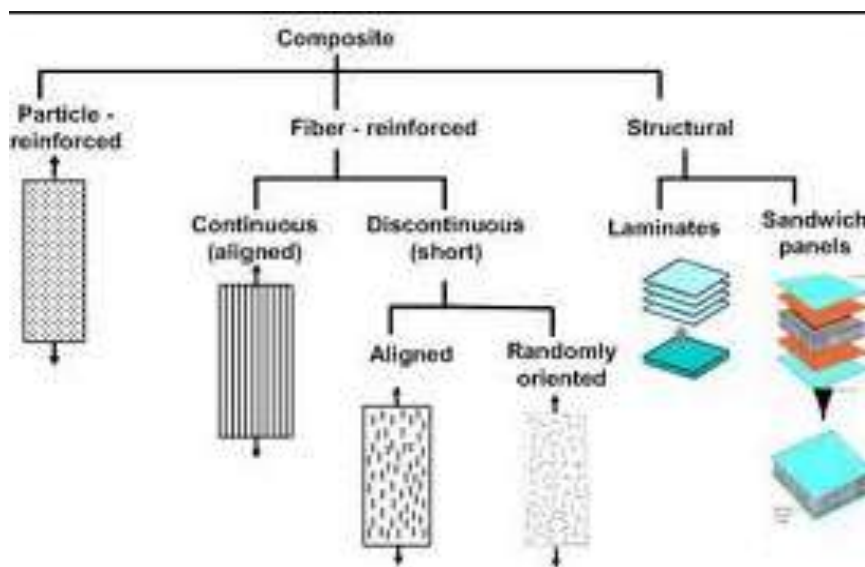
Keistimewaan komposit serat panjang adalah lebih mudah diorientasikan dibandingkan dengan *fiber* pendek. Secara teoritis *fiber* panjang dapat menyalurkan pembebanan atau tegangan dari suatu titik pemakaiannya. Perbedaan *fiber* panjang dan *fiber* pendek, yaitu *fiber* pendek dibebani secara tidak langsung atau kelemahan resin akan menentukan sifat dari produk komposit tersebut yakni jauh lebih kecil dibandingkan dengan besaran yang terdapat pada *fiber* panjang.

Arah orientasi *fiber* merupakan hal penting dalam penguatan komposit, karena arah orientasi berkaitan erat dengan penyebaran gaya yang bekerja pada komposit. Distribusi dari *fiber* paling maksimum jika arah *fiber* paralel dengan arah pebebanan. Kekuatan komposit akan berkurang dengan perubahan sudut *fiber* dan kekuatan akan melemah jika arah keduanya saling tegak lurus. Gambar arah orientasi pada *fiber* dapat dilihat pada pada Gambar II.2a dan II.2b di bawah ini.



Gambar II.2 Model Pengarahan Filamen Satu Arah dalam Komposit (a) Paralel dan (b) Seri (Smallman, 2000)

Adapun pembagian komposit berdasarkan fase penguatnya dapat dilihat pada Gambar II.3



Gambar II.3
Pembagian Komposit Berdasarkan Penguatnya (Nayiroh, 2013)

2.1.3 Material Penyusun Komposit

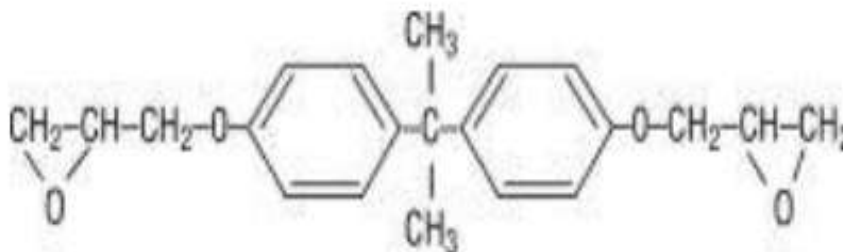
Resin dan *fiber* adalah bahan penyusun dimana *fiber* sangat berperan dalam memberikan kekuatan dan kekakuan komposit. Namun aspek lain yang menjadi sumber kekuatan komposit diperoleh dari resin yang memberikan ketahanan terhadap temperatur tinggi, ketahanan terhadap tegangan geser, dan mampu mendistribusikan beban.

2.1.3.1 Resin

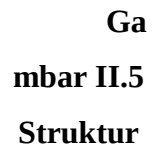
Pada material komposit resin memberikan pengaruh yang lebih besar dalam pengikatan material penyusun selain bertugas untuk mendistribusikan beban dan memberikan perlindungan dari pengaruh lingkungan. Resin mempunyai fungsi sebagai berikut (Nayiroh, 2013) :

1. Mentransfer tegangan ke *fiber*
2. Membentuk ikatan koheren permukaan resin dan *fiber*
3. Melindungi *fiber*
4. Memisahkan *fiber*.
5. Melepas ikatan
6. Tetap stabil setelah proses manufaktur

Unsaturated polyester resin dan *vinyl ester resin* umumnya yang paling banyak digunakan sebagai bahan resin pada komposit dengan resin polimer dan biasanya digunakan untuk pembuatan produk-produk komersial, industri, dan transportasi. Namun bila produk yang dibutuhkan ingin memiliki kekuatan yang lebih tinggi, *epoxy resin* dapat menjadi pilihan sebagai resin. Dalam aplikasinya, *epoxy resin* terbatas terhadap temperatur hingga 120 °C untuk pemakaian jangka panjang, bahkan pada kondisi tertentu temperatur maksimum hanya pada sekitar 80 °C sampai 105 °C (Turnip, 2010). Struktur kimia masing-masing resin dapat dilihat pada Gambar II.4-II.6 di bawah ini.



Gambar II.4 Struktur Kimia Resin Epoxy (Bodja Suwanto, 2013)



a. *Glass Fiber*

Glass fiber merupakan *fiber* yang terdiri atas 50-60 % SiO_2 dan paduan lain, yaitu Al, Ca, Mg, dan Na. Biaya dari penggunaan *glass fiber* relatif lebih murah dibandingkan dengan *fiber* lainnya, namun *fiber* ini memiliki kekuatan yang relatif rendah. *Glass fiber* sering digunakan untuk *tanks*, *boats* dan alat-alat olahraga (Nayiroh, 2013).

Glass Fiber Reinforcement Plastic (GFRP) merupakan suatu tipe material komposit yang merupakan hasil perpaduan dari penyatuan material *glass fiber*, resin, *gel coat*, dan pigmen dengan komposisi tertentu. Sifat-sifat *glass fiber* adalah sebagai berikut (Nayiroh, 2013) :

1. Densitas cukup rendah (sekitar 2,55 g/cc)
2. *Tensile strength* cukup tinggi (sekitar 1,8 GPa)
3. *Stiffness* rendah (70 GPa)
4. Tahan terhadap panas dan tahan korosi

Jenis-jenis dari *glass fiber* adalah *E-glass*, *C-glass*, *S-glass*. Dibawah ini terdapat tabel (Tabel II.1-II.3) yang menunjukkan sifat dari jenis *glass fiber*, komposisi senyawa kimia *glass fiber*, dan kode dari jenis-jenis *glass fiber*.

Tabel II.1 Sifat-sifat dari Jenis-jenis Glass Fiber

No	<i>Jenis serat</i>		
	<i>E-glass</i>	<i>C-glass</i>	<i>S-glass</i>
1	Isolator listrik yang baik	Tahan terhadap korosi	Modulus lebih tinggi
2	Kekakuan tinggi	Kekuatan lebih rendah dari <i>E-glass</i>	Lebih tahan terhadap suhu tinggi
3	Kekuatan tinggi	Harga lebih mahal dari <i>E-glass</i>	Harga lebih mahal dari <i>E-glass</i>

Sumber : Teknologi Material Komposit, 2013

Tabel II.2 Komposisi Senyawa Kimia Glass Fiber

Tipe serat	Komposisi senyawa kimia (%)								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	B_2O_3	K_2O	BaO
<i>E-glass</i>	52.4	14.4	0.2	17.2	4.6	0.8	10.6	-	-
<i>C-glass</i>	64.4	4.1	0.1	13.4	3.3	9.6	4.7	0.4	0.9
<i>S-glass</i>	64.4	4.4	-	-	10.3	0.3	-	-	-

Sumber : Teknologi Material Komposit, 2013

Tabel II.3 Kode Jenis-jenis *Glass Fiber*

Kode	Karakteristik
E (<i>electrical</i>)	<i>Low Electrical Conductivity</i>
S (<i>strength</i>)	<i>High Strength</i>
C (<i>chemical</i>)	<i>High Chemical Durability</i>
M (<i>modulus</i>)	<i>High Stiffness</i>
A (<i>alkali</i>)	<i>High Alkali or Soda Lime Glass</i>
D (<i>dielectric</i>)	<i>Low Dielectric Constant</i>

Sumber : Teknologi Material Komposit, 2013

b. *Carbon Fiber*

Salah satu keunggulan *carbon fiber* adalah sangat baik terhadap ketahanan, tidak rentan terhadap beban perpatahan, dan mempunyai *elastic recovery* yang baik. Aplikasi *carbon fiber* adalah untuk industri penerbangan, produk olahraga, dan berbagai kebutuhan industri lainnya. Sebagai bahan anorganik, *carbon fiber* tidak terpengaruh oleh kelembaban, atmosfer, pelarutan basa, dan *weak acid* pada temperatur kamar. Sifat-sifat *carbon fiber*, yaitu sebagai berikut (Nayiroh, 2013) :

1. Densitas karbon cukup ringan yaitu sekitar 2,3 g/cc
2. Struktur grafit yang digunakan untuk membuat *fiber* berbentuk seperti kristal intan
3. Mempunyai karakteristik yang ringan, kekuatan yang sangat tinggi, kekakuan (modulus elastisitas) tinggi
4. Terdiri atas lebih dari 90 % karbon

c. *Aramid Fiber*

Aramid fiber memiliki kekuatan yang sangat tinggi dibandingkan dengan rasio berat yang dimilikinya. Karena *aramid fiber* relatif fleksibel dan *non-brittle*, maka *aramid fiber* dapat diproses dengan berbagai metode, seperti *twisting*, *weaving*, *knitting*, *carding*, dan *felting*.

Aramid Kevlar terdapat dalam 3 jenis, yaitu Kevlar 29 (*high toughness*), Kevlar 49 (*high modulus*), dan Kevlar 149 (*ultrahigh modulus*). Kevlar memiliki nilai rasio kekuatan dan berat sebesar lima kali lebih kuat dari logam (Turnip, 2010).

2.1.3.3 Additive

Selain resin dan *fiber*, diperlukan juga bahan *additive* agar sampel untuk tiang komposit yang dihasilkan memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi. Penggunaan bahan *additive* ini beraneka ragam tergantung dari fungsinya masing-masing. Bahan *additive* yang digunakan adalah *hardener* yang berfungsi sebagai katalis serta promotor untuk membantu proses pengeringan selain menggunakan katalis. Selain itu, *additive* lain yang dapat digunakan adalah bahan pelunak (*plasticizer*), bahan penstabil (*stabilizer*), bahan pelumas (*lubricant*), bahan pengisi (*filler*), pewarna (*colorant*), *antistatic agent*, *blowing agent*, dan *flame retardant*.

2.1.4 Tipe Komposit Fiber

Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa tipe *fiber* pada komposit, yaitu sebagai berikut (Syukur, 2012) :

a. Continuous Fiber Composite

Tipe ini mempunyai susunan *fiber* panjang dan lurus, membentuk lamina diantara resinnya. Tipe ini mempunyai kelemahan pemisahan antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh resinnya.

b. Woven Fiber Composite (bi-directional)

Komposit ini tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan *fibernya* mengikat antar lapisan. Susunan *fiber* yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan melemah.

c. Discontinuous Fiber Composite

Discontinuous Fiber Composite adalah tipe komposit dengan *fiber* pendek. Komposit dengan tipe *fiber* pendek dapat dibedakan lagi menjadi :

1. *Aligned discontinuous fibers*
2. *Off-axis aligned discontinuous fibers*
3. *Randomly oriented discontinuous fibers*

d. *Hybrid Fiber Composite*

Hybrid Fiber Composite merupakan komposit gabungan antara tipe *fiber* lurus dengan *fiber* acak. Tipe ini digunakan agar dapat menghasilkan sifat yang jauh lebih baik dari masing-masing tipe *fiber* tersebut.

2.1.5 Faktor yang Mempengaruhi Sifat Mekanik Komposit

Komposit yang terdiri atas resin dan *fiber* harus memperhatikan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi sifat mekanik komposit. Faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut (Syukur, 2012) :

a. *Faktor Fiber*

Fiber adalah bahan pengisi resin yang digunakan untuk dapat memperbaiki sifat dan struktur resin yang tidak dimilikinya. Selain itu, *fiber* juga digunakan sebagai bahan penguat resin pada komposit untuk menahan gaya yang terjadi.

b. *Letak Fiber*

Dalam pembuatan komposit tata letak dan arah *fiber* dalam resin menentukan kekuatan mekanik komposit, dimana letak dan arah dapat memengaruhi kinerja komposit tersebut. Menurut tata letak dan arah *fiber* diklasifikasikan menjadi 3 bagian, yaitu:

1. *One dimensional reinforcement* yang mempunyai kekuatan pada arah axis *fiber*
2. *Two dimensional reinforcement* (planar) yang mempunyai kekuatan pada dua arah atau masing-masing arah orientasi *fiber*.
3. *Three dimensional reinforcement* yang mempunyai sifat *isotropic* kekuatannya lebih tinggi dibandingkan dengan dua tipe sebelumnya.

Bila orientasi *fiber* semakin acak (random), sifat mekanik pada 1 arahnya akan melemah. Namun, bila arah tiap *fiber* menyebar, kekuatan *fiber* pun akan menyebar ke segala arah dan kekuatan akan meningkat.

c. Panjang *Fiber*

Panjang *fiber* dalam pembuatan komposit sangat berpengaruh terhadap kekuatan. Ada 2 penggunaan *fiber* dalam campuran komposit, yaitu *fiber* pendek dan *fiber* panjang. *Fiber* panjang lebih kuat dibanding *fiber* pendek. Panjang dan diameter sangat berpengaruh pada kekuatan maupun modulus komposit. Panjang *fiber* berbanding diameter *fiber* sering disebut dengan istilah *aspect ratio*. Bila *aspect ratio* makin besar, makin besar pula kekuatan tarik *fiber* pada komposit tersebut. Pada umumnya, *fiber* panjang lebih mudah penanganannya dibandingkan dengan *fiber* pendek. *Fiber* panjang dapat mengalirkan beban maupun tegangan dari titik tegangan ke arah *fiber* yang lain.

d. Faktor Resin

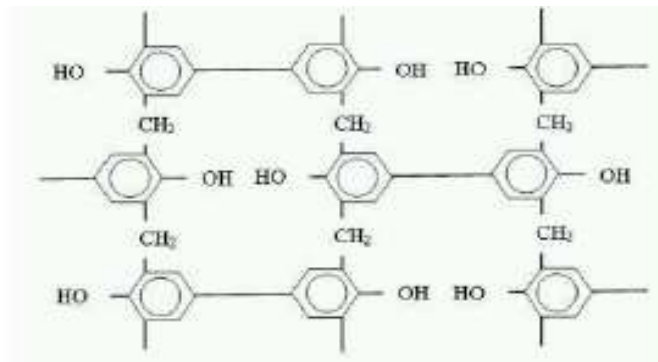
Resin dalam komposit berfungsi sebagai bahan pengikat *fiber* menjadi sebuah unit struktur yang melindungi dari kerusakan eksternal dan meneruskan atau memindahkan beban eksternal pada bidang geser antara *fiber* dan resin sehingga resin dan *fiber* dapat saling berhubungan. Bahan polimer yang sering digunakan sebagai penyusun dalam resin polimer ada dua macam, yaitu *thermoplastic* dan *thermoset*.

1. *Thermoplastic*

Thermoplastic adalah plastik yang dapat dilunakkan berulang kali (*recycle*) dengan menggunakan panas. *Thermoplastic* merupakan polimer yang akan menjadi keras apabila didinginkan. Polimer jenis ini meleleh pada suhu tertentu, melekat mengikuti perubahan suhu, dan dapat kembali mengeras bila didinginkan. Contoh dari *thermoplastic* yaitu *polyester* (PE), *Nylon 66*, *polypropylene* (PP), *poly (tetra fluoro ethylene)* (PTFE), *poly (ethylene terephthalate)* (PET), *poly (ether sulfone)* (PES), dan *poly(ether ether keton)* (PEEK).

2. *Thermoset*

Thermoset adalah jenis polimer yang tidak dapat mengikuti perubahan suhu (*irreversibel*). Bila sekali pengerasan telah terjadi, bahan tidak dapat dilunakkan kembali. Polimer *thermoset* 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. Contoh dari *thermoset*, yaitu *epoxy*, *bismaleimida*, *vinyl ester*, *polyester*. Bentuk struktur ikatan silang diilustrasikan pada Gambar II.7 berikut.



Gambar II.7 Struktur Ikatan Silang Polimer *Thermoset* (Nayiroh,2013)

e. Katalis

Katalis digunakan untuk membantu proses pengeringan (*curing*) dalam suatu komposit. Penambahan katalis pada cairan resin akan mempercepat proses laju pengeringan, namun bila menambahkan katalis terlalu banyak akan menghasilkan komposit menjadi lebih getas. Penggunaan katalis sebaiknya diatur berdasarkan kebutuhan.

2.2 Karakterisasi Sampel untuk Tiang Rumah Komposit

Karakterisasi pada sampel untuk tiang rumah komposit dilakukan untuk mengetahui dan menganalisis campuran resin dengan *fiber*. Karakterisasi ini dilakukan dengan pengujian berdasarkan pada standard AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) untuk FRP *Prefabricated Bridge Specifications* yang meliputi uji tarik (*tensile*), uji tekan (*compressive*), uji geser (*shear*), dan uji lentur (*flexural*). Karakteristik sampel komposit berdasarkan standard AASHTO diperlihatkan pada Tabel II.4 berikut ini.

Tabel II.4 Karakteristik Sampel Komposit Berdasarkan Standard AASHTO

Sifat Mekanik	AASHTO	Satuan
<i>Tensile</i>	227.53	MPa
<i>Compression</i>	227.53	MPa
<i>Shear</i>	31.03	MPa
<i>Bending (Flexural)</i>	227.53	MPa

Sumber : AASHTO *Standard Specifications for Highway Bridges*

2.2.1 Pengujian Sifat Mekanik

2.2.1.1 Uji Tarik (Tensile)

Kekuatan tarik merupakan salah satu sifat bahan polimer yang terpenting dan sering digunakan untuk uji sifat mekanik pada suatu bahan polimer. Penarikan suatu bahan biasanya menyebabkan terjadi perubahan bentuk dimana penipisan pada tebal dan pemanjangan. Kekuatan tarik (*tensile strength*) suatu bahan ditetapkan dengan membagi gaya maksimum dengan luas penampang mula-mula, dimensinya sama dengan tegangan. Uji *tensile* dilakukan berdasarkan ASTM D-3039 “*Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*”.

Persamaan untuk tegangan tarik adalah sebagai berikut :

$$\text{Tegangan Tarik} = \frac{\text{Tegangan (Gaya)}}{\text{Luas Permukaan}}$$

$$\sigma_i = \frac{P_i}{A}$$

Tegangan tarik tergantung pada gaya yang diberikan, waktu, suhu, struktur dan morfologi bahan polimer (non-kristal, semi kristal atau kristal). Jika pada suatu bahan dikenakan beban tarik, bahan tersebut akan mengalami perubahan panjang yang disebut dengan pemanjangan (*elongation*). Persamaan untuk pemanjangan:

$$\epsilon_i = \frac{\delta_i}{L_g}$$

Sementara sifat elastisitas suatu bahan polimer (*Tensile Chord Modulus of Elasticity*) merupakan perbandingan antara tegangan tarik dengan pemanjangan, atau :

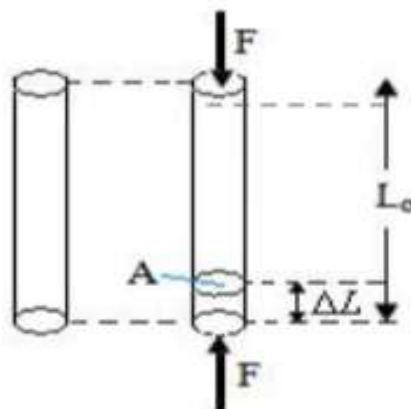
$$E^{\text{chord}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon}$$

Pada peregangan suatu bahan polimer, pemanjangan tidak selalu berbanding lurus dengan beban yang diberikan dan pada penurunan kembali beban sebagian regangannya hilang.

2.2.1.2 Uji Tekan (Compressive)

Tegangan tekan berlawanan dengan tegangan tarik. Bila pada tegangan tarik, arah kedua gaya menjauhi ujung benda (kedua gaya saling berjauhan), sedangkan pada tegangan tekan, arah kedua gaya saling mendekati. Dengan kata lain, benda tidak ditarik tetapi ditekan (gaya-gaya bekerja di dalam benda). Kekuatan tekan material adalah nilai tegangan tekan uniaksial yang mempunyai modulus kegagalan ketika saat pengujian. Perubahan bentuk benda yang disebabkan oleh tegangan tekan dinamakan mampatan. Misalnya, pada tiang-tiang yang menopang beban, seperti tiang bangunan mengalami tegangan tekan.

Kekuatan tekan diperoleh dari percobaan dengan alat uji *compressive*. Uji *compressive* dilakukan berdasarkan ASTM D-3410 “*Standard Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials with Unsupported Gage Section by Shear Loading*”. Perubahan benda yang disebabkan tegangan tekan dapat dilihat pada Gambar II.8.



Gambar II.8 Perubahan Benda yang Disebabkan oleh Tegangan Tekan Aksial (Ismoyo, 1999)

Keterangan :

A = Luas Penampang

F = Gaya yang bekerja sebagai penekanan

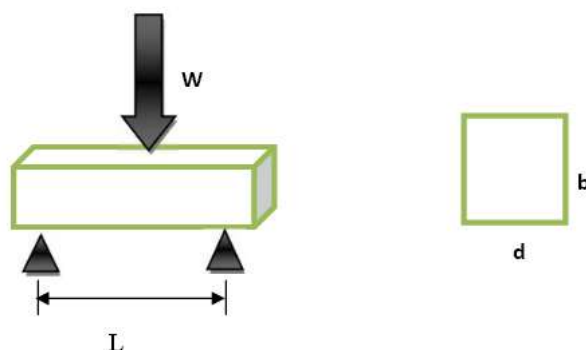
L_0 = Panjang Awal

ΔL = Perubahan panjang, dimana: $\Delta L = L_0 - L_1$

2.2.1.3 Uji Geser (Shear)

Kekuatan geser adalah suatu ukuran kekuatan komposit dalam hal kemampuannya menahan gaya-gaya yang membuat suatu bagian dari komposit tersebut bergeser atau bergelingsir dari bagian lain di dekatnya (Sitepu, 1985). Dalam hubungan ini dibedakan atas 3 macam kekuatan, yaitu kuat geser sejajar arah *fiber*, kuat geser tegak lurus arah *fiber*, dan kuat geser miring. Pengujian ini dirancang untuk mengetahui kekuatan geser komposit, dimana sampelnya diregangkan dalam susunan paralel menjadi *fiber* teratur.

Kekuatan geser komposit didominasi oleh sifat mekanis resin dimana retakan dapat terjadi pada seluruh bidang resin. Bila gaya geser diminimalis pada komposit searah maka sampel menjadi melengkung. Kegagalan geser dipengaruhi oleh panjang sampel. Bentuk *fiber* pendek dipilih agar kegagalan kekuatan geser terjadi sebelum kegagalan *flexure*. Uji *shear* dilakukan berdasarkan standard ASTM D-2344 “*Standard Test Method for Short-Beam Strength of Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates*”. Gambar II.9 dibawah ini menunjukkan skematis uji *shear*.



Gambar II.9 Skematis Uji *Shear* (Sturgeon, 1971)

Persamaan berikut dipakai untuk kekuatan geser (*Short-Beam Strength*) adalah :

$$F^{sbs} = 0.75 \times \frac{P_m}{b \times h}$$

Keterangan :

F^{sbs} = *short-beam strength* (MPa)

P_m = berat maksimum pada saat uji (N)

b = ketebalan sampel (mm)

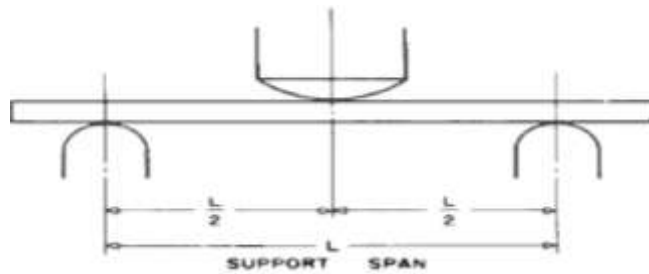
h = lebar sampel (mm)

Alat uji geser yang digunakan merupakan seperangkat peralatan untuk mengetahui seberapa besar ketahanan geser maksimum yang dapat ditahan oleh material pada kondisi tegangan efektif dan pembebanan secara berkelanjutan, sehingga memungkinkan terjadinya *displacement* pada material yang diujikan (Nee, 1998).

2.2.1.4 Uji Lentur (*Flexural*)

Untuk mengetahui kekuatan *flexural* suatu material dapat dilakukan dengan uji *flexural* terhadap material komposit tersebut. Kekuatan *flexural* adalah tegangan *flexural* terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami kegagalan. Besar kekuatan *flexural* tergantung pada jenis material dan pembebanan. Akibat uji ini, bagian atas spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Dalam material komposit kekuatan tekannya lebih tinggi dari pada kekuatan tariknya. Karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima, spesimen tersebut akan patah. Uji *flexural* dilakukan berdasarkan standard ASTM D 790 “*Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and*

Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials”. Gambar II.10 dibawah ini menunjukkan skematis uji *flexural*.



Gambar II.10 Skema Uji *Flexural*

Sumber : ASTM D-790 “*Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*”

Pada perhitungan kekuatan *flexural* ini digunakan persamaan :

$$\sigma_f = \frac{3 PL}{2 bd^2}$$

Keterangan :

σ_f = Tegangan *bending* (MPa)

P = Beban /*Load* (N)

L = Panjang Span / *Support span* (mm)

b = Lebar/ *Width* (mm)

d = Tebal / *Depth* (mm)

Sedangkan untuk mencari modulus elastisitas *flexural* menggunakan rumus:

$$E_B = \frac{L^3 m}{4 bd^3}$$

Keterangan :

E_B = Modulus Elastisitas *Bending* (MPa)

m = Kemiringan kurva tegangan-tegangan

L = Panjang Span / *Support span* (mm)

b = Lebar/ *Width* (mm)

d = Tebal / *Depth* (mm)

Sedangkan untuk mencari besarnya regangan ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\varepsilon_f = \frac{6 Dd}{L^2}$$

Keterangan :

ε_f = *Flexural strain* (regangan)

D = Nilai deformasi maksimum pada *span* tengah

L = Panjang Span / *Support span* (mm)

d = Tebal / *Depth* (mm)

2.2.2 Analisa Biaya yang Dibutuhkan

Dalam membuat komponen rumah berbahan komposit tentunya membutuhkan biaya dalam proses pembuatannya. Biaya ini tentunya sangat dipengaruhi oleh kualitas yang dihasilkan pada sampel komposit. Oleh karena itu, bahan baku yang digunakan harus berkualitas baik dan juga harus lebih memerhatikan parameter-parameter yang digunakan agar dapat menghasilkan kekuatan yang diharapkan (sesuai standard). Dalam penelitian ini dilakukan suatu analisa biaya terhadap pembuatan sampel untuk tiang pada rumah komposit menggunakan campuran resin polimer *thermoset* (*unsaturated polyester resin*, *epoxy resin*, dan *vinyl ester resin*) dengan *E-glass fiber woven roving*.

Total biaya yang diperlukan dalam pembuatan sampel komposit untuk tiang rumah ini terdiri atas biaya bahan-bahan yang digunakan untuk 12 sampel dan biaya pembelian cetakan kayu persegi panjang (untuk uji *Tensile*, *Compressive*, *Shear*, dan *Flexural*).

2.3 Metode Pembuatan Sampel (Metode Fabrikasi)

Material komposit dapat diproduksi dengan berbagai macam metode yang disesuaikan dengan jenis resin penyusun komposit dan bentuk material komposit yang diinginkan sesuai aplikasi selanjutnya. Metode fabrikasi dapat dilakukan dengan *Open Molding Process* (Pencetakan Terbuka) dan *Close Molding Process* (Pencetakan Tertutup) (Darmansyah, 2010).

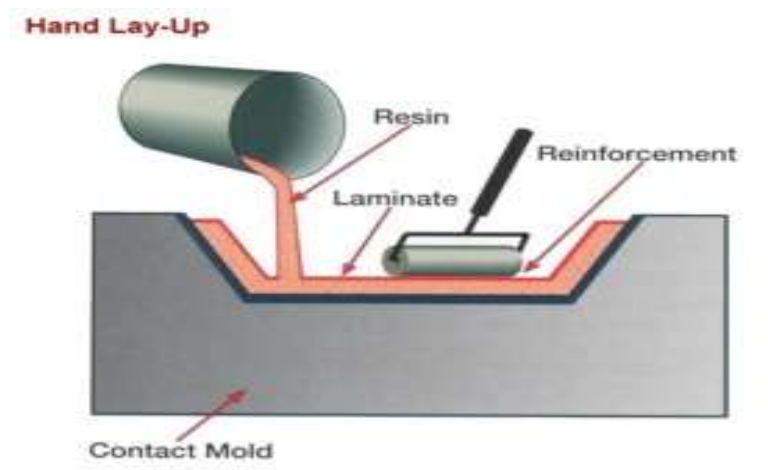
2.3.1 Open Molding Process (Pencetakan Terbuka)

1. Hand Lay-Up Process

Proses ini dilakukan dalam kondisi dingin dan dengan memanfaatkan keterampilan tangan. Serat bahan komposit ditata sedemikian rupa mengikuti bentuk cetakan, kemudian dituangkan resin sebagai pengikat antara satu lapisan serat dengan lapisan yang lain. Demikian seterusnya sehingga sesuai dengan ukuran dan bentuk yang telah ditentukan.

Ada dua cara aplikasi resin (Darmansyah, 2010), yaitu :

- *Manual Resin Application*, yaitu proses pengaplikasian antara resin dan *fiber* dilakukan secara manual dengan tangan.
- *Mechanical Resin Application*, yaitu proses pengaplikasian antara resin dan *fiber* menggunakan bantuan mesin dan berlangsung secara kontinyu.



Gambar II.11 Metode *Hand Lay-Up* (Darmansyah, 2010)

2. Chopped Laminate Process

Proses ini menggunakan alat pemotong *fiber* yang biasanya serat panjang membentuk serat menjadi lebih pendek.

- *Atomized Spray-Up*, pada proses pembuatannya sistem pada metode ini tidak kontinu dan biasanya digunakan untuk membuat material komposit dengan ukuran yang lebih kecil.
- *Non Atomized Application*, untuk metode ini pada pengaplikasiannya menggunakan mesin potong *fiber*, pelaminasi resin dan tekanan dari *roller* yang berjalan kontinu. Metode ini lebih menguntungkan bila digunakan untuk fabrikasi material komposit yang berdimensi besar mengingat prosesnya yang kontinu.

3. Filament Winding Process

Proses ini melalui metode yang memanfaatkan sistem gulungan benang pada sebuah sumbu putar. Serat komposit dibuat dalam bentuk benang digulung pada sebuah mandril yang dibentuk sesuai dengan bentuk rancangan benda teknik, misalnya berbentuk tabung, kemudian resin yang berfungsi sebagai resin dituangkan bersamaan dengan proses penggulungan serat tersebut, sehingga keduanya merekat dan saling mengikat antara satu lapisan gulungan dengan gulungan berikutnya, sampai membentuk benda teknik yang direncanakan.

2.3.2 Close Molding Process (Pencetakan Tertutup)

1. Compression molding

Metode ini menggunakan cetakan yang ditekan pada tekanan tinggi sampai mencapai 1000 psi. Diawali dengan mengalirkan resin dan *reinforcement* dengan viskositas yang tinggi ke dalam cetakan dengan suhu 330-400 °F, kemudian *mold* ditutup dan penekanan terhadap material komposit tersebut, sehingga terjadi perubahan kimia yang menyebabkan mengerasnya material komposit secara permanen mengikuti bentuk cetakan.

2. Pultrusion

Pada metode ini pembentukan material komposit yang menggabungkan antara resin dan *fiber* berlangsung secara kontinu. Proses pultrusi digunakan pada fabrikasi komposit yang berprofil penampang lintang tetap, seperti pada berbagai macam *rods* dan *bar section*, *ladder*

side rails, tool handles dan komponen elektrikal kabel. Adanya panas akan mengaktifkan sistem *curing* sehingga akan mengubah fasa resin menjadi padat.

3. Resin Transfer Molding (RTM)

Pada proses ini resin ditransfer atau diinjeksikan ke dalam suatu tempat yang berisi *fiber*. Metode ini termasuk *closed mold process* dimana *fiber* diletakkan di antara dua permukaan cetakan. Cetakan tersebut lalu ditutup, diberi klem, lalu resin *thermoset* berviskositas rendah diinjeksikan pada tekanan 50-100 psi ke dalam lubang cetakan melalui *port* injeksi. Resin diinjeksikan sampai memenuhi seluruh rongga cetakan hingga meresap dan membasahi seluruh material *fiber*.

4. Vacuum Bag Molding

Metode ini merupakan pengembangan metode *close mold* yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik dengan cara meminimalisir jumlah udara yang terperangkap dalam proses pembuatannya. Selain itu dengan berkurangnya tekanan di dalam *vacuum bag molding*, tekanan udara atmosferik dari luar akan digunakan sebagai gaya untuk menghilangkan kelebihan resin yang ada dalam laminasi sehingga menghasilkan kandungan *fiber* yang tinggi. Bentuk cetakan yang digunakan disesuaikan dengan bentuk produk yang ingin dibuat.

5. Prepreg

Metode ini merupakan metode *advance* dalam pembuatan komposit dengan adanya pemanasan atau cetakan yang diletakan pada *autoclave* setelah campuran komposit dimasukkan. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan gaya tekan dari luar. Teknik menggunakan *prepreg-vacuum bag-autoclave* banyak dimanfaatkan untuk pembuatan peralatan pesawat terbang dan perlengkapan militer.

6. Vacuum Infusion Processing

Metode ini adalah variasi dari *vacuum bag molding* dimana resin yang dituang dalam ruang hampa masuk ke dalam cetakan dan membentuk laminasi. Pada metode ini tekanan dalam rongga cetakan lebih rendah dibandingkan tekanan atmosferik udara. Setelah cetakan dipenuhi resin kemudian dilapisi dengan *fiber* dapat menggunakan tangan yang disebut dengan istilah *lay-*

up dry, kemudian resin diinfusikan kembali ke dalam cetakan untuk menyempurnakan sistem laminasi komposit sehingga tidak terdapat ruang untuk kelebihan resin.

Rasio resin yang sangat tinggi terhadap *glass fiber* yang digunakan memungkinkan penggunaan metode *vacuum Infusion* yang menghasilkan sifat mekanik sistem laminasi yang sangat baik. *Vacuum Infusion Processing* dapat digunakan untuk pencetakan dengan struktur yang besar dan tidak dianjurkan untuk proses dengan volume yang rendah.

2.4 Kelebihan dan Kekurangan Komposit

2.4.1 Kelebihan Komposit

a. Sifat-sifat mekanik dan fisik

Pada umumnya pemilihan bahan resin dan *fiber* memiliki peranan penting dalam menentukan sifat-sifat mekanik dari komposit. Material komposit dapat menghasilkan beberapa kelebihan yang lebih baik dari bahan konvensional, yaitu :

1. Bahan komposit mempunyai densitas yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan bahan konvensional
2. Lebih kuat dan lebih ringan
3. Lebih kaku (*stiff*), ulet (*tough*) dan tidak getas
4. Koefisien pemuaian rendah
5. Tahan terhadap cuaca
6. Tahan terhadap korosi
7. Mudah diproses (dibentuk)

b. Biaya

Faktor biaya juga memiliki peranan yang sangat penting dalam membantu perkembangan material komposit. Biaya yang berkaitan erat dengan suatu produk harus mempertimbangkan beberapa aspek seperti, biaya bahan baku, biaya pemrosesan, tenaga manusia, dan sebagainya (Nayiroh, 2013).

2.4.2 Kekurangan Komposit

Beberapa kekurangan dari material komposit (Nayiroh, 2013), yaitu :

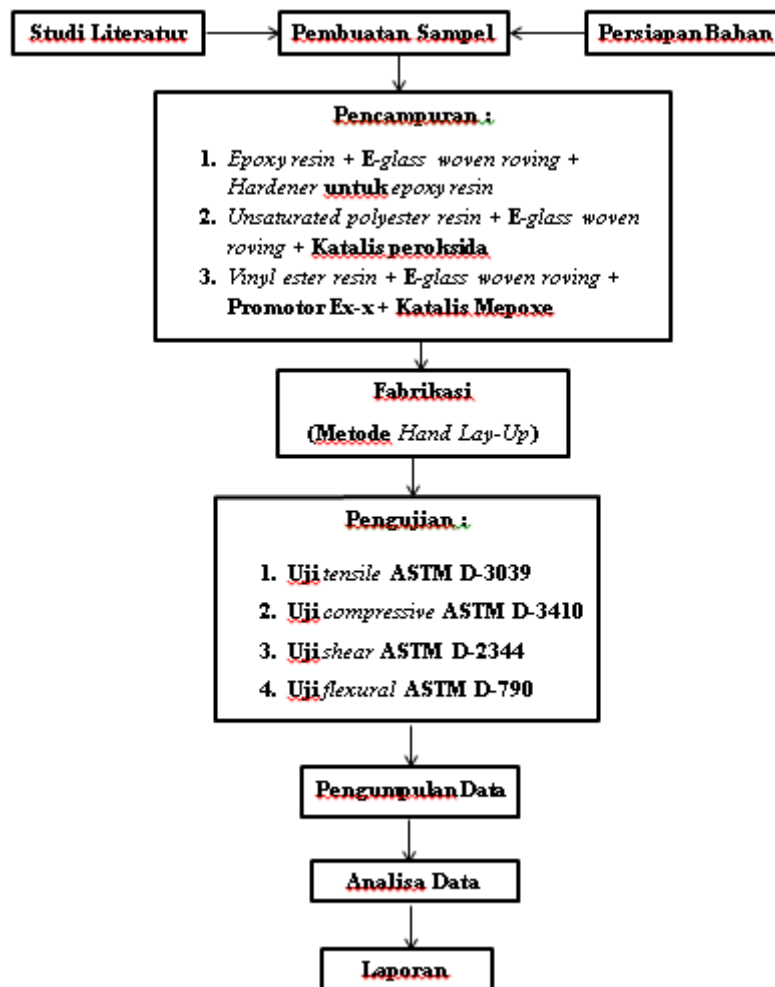
- a. Tidak tahan terhadap beban kejut dan *crash* (tabrak) dibandingkan dengan metal
- b. Kurang elastis
- c. Lebih sulit dibentuk

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi beberapa tahapan yang di uraikan pada Gambar III.1 sebagai berikut.



Gambar III.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat-alat

Berikut ini adalah alat-alat yang digunakan pada penelitian untuk menghasilkan sampel serta pengujian sifat mekanik terhadap sampel tersebut :

1. Cetakan kayu persegi panjang ukuran 25 cm x 20 cm (*frame* dan papan plastik)
2. Timbangan *digital*
3. Gelas plastik
4. Sendok
5. *Blade Saw* sebagai alat potong
6. Masker
7. Sarung tangan
8. Penggaris
9. Gunting
10. Lakban Bening Besar
11. Jangka Sorong
12. Kuas
13. Alat UTM (*Universal Testing Machine*) Tipe : Shimadzu AG-X plus 50 kN (untuk uji *tensile*, uji *compressive*, uji *shear*, dan uji *flexural*)

3.2.2 Bahan

Pada penelitian ini digunakan *epoxy resin*, *unsaturated polyester resin*, dan *vinyl ester resin* sebagai fase resin serta *E-glass fiber woven roving* sebagai fase penguat. Selain itu, terdapat *additive* yang ditambahkan dalam pembuatan sampel, yaitu katalis peroksida, katalis *methyl ethyl peroxide* (Mepoxe), *hardener* untuk *epoxy resin*, dan promotor untuk *vinyl ester resin*. Adapun jumlah dari berat bahan baku yang digunakan sesuai dengan perbandingan tiap bahan pada masing-masing komposisi dan jumlah sampel yang dibutuhkan untuk pengujian.

3.2.2.1 Epoxy Resin

Dalam penelitian ini, *epoxy resin* yang digunakan sebagai resin pada pembuatan sampel adalah *epoxy resin* dengan merek dagang Eposchon A (*Bisphenol Aepichlorohydrin*). Secara

keseluruhan perbandingan *epoxy resin* yang digunakan adalah 50 % berat dari total komposisi bahan yang digunakan pada pembuatan sampel.

3.2.2.2 Hardener untuk Epoxy Resin

Epoxy resin memerlukan sebuah *coupling agent* sebagai stimulan terjadinya proses polimerisasi dengan baik pada suhu ruang. Oleh karena itu, digunakan *hardener* untuk *epoxy resin* dengan merek dagang Eposchon B (*Polyaminoamide*). Pada penelitian ini digunakan *epoxy resin* dan *hardener* dengan perbandingan berat 50 % : 50 %. *Hardener* dan *epoxy resin* dapat dilihat pada Gambar III.2 di bawah ini.



Gambar III.2 Hardener dan Epoxy Resin

3.2.2.3 Unsaturated Polyester Resin

Unsaturated Polyester Resin (UPR) merupakan sebuah makromolekul dengan adanya gugus poliester dan tergolong dalam kategori polimer *thermoset* dimana resin ini merupakan produk dari reaksi tahap demi tahap (*step-growth*) antara asam jenuh, seperti asam *phtalat* atau *isophtalat* dengan asam tidak jenuh, seperti asam maleat atau fumarat yang dikondensasikan dengan alkohol dihidris. *Unsaturated polyester resin* ini berupa resin cair dengan viskositas yang cukup rendah dan mengeras pada suhu kamar dengan penggunaan katalis tanpa menghasilkan gas.

Unsaturated polyester resin yang digunakan dalam penelitian ini adalah Seri Yukalac 157[®] BQTN-EX Series dimana memiliki beberapa spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel III.1.

Tabel III.1 Spesifikasi *Unsaturated Polyester Resin* Yukalac 157[®] BTQN-EX

Item	Satuan	Nilai Tipikal	Catatan
Berat Jenis	-	1,215	25 ⁰ C
Kekerasan	—	40	Barcol/GYZJ 934-1
Suhu distorsi panas	°C	70	
Penyerapan air (suhu ruang)	%	0,188	24 jam
	%	0,466	7 hari
Kekuatan Fleksural	MPa	±90	—
Modulus Fleksural	kg/mm ²	300	—
Daya Rentang	kg/mm ²	5,5	—
Modulus Rentang	kg/mm ²	300	—
Elongasi	%	7	—

Sumber : PT. Justus Kimia Raya, 2001

3.2.2.4 Katalis Peroksida

Katalis peroksida digunakan untuk mempercepat proses pengeringan (*curing*) pada bahan resin suatu komposit. Pada penelitian ini digunakan *unsaturated polyester resin* dan katalis peroksida dengan perbandingan berat 99 % : 1 %. Katalis peroksida dan *unsaturated polyester resin* dapat dilihat pada Gambar III.3 dibawah ini.



Gambar III.3 Katalis Peroksida dan *Unsaturated Polyester Resin*

3.2.2.5 *Vinyl Ester Resin*

Vinyl ester resin adalah resin yang dihasilkan dari proses esterifikasi suatu *epoxy resin* dengan asam monokarboksilat jenuh. Produk reaksi kemudian dilarutkan dalam pelarut reaktif, seperti stirena dengan 35-45 % berat. *Vinyl ester resin* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Seri Ripoxy Resin R-802 EX-1 dengan perbandingan 50 % berat dari total komposisi bahan yang digunakan dalam pembuatan sampel tiang komposit.

3.2.2.6 Promotor untuk *Vinyl Ester Resin*

Pada penelitian ini digunakan promotor pada *vinyl ester resin* untuk membantu proses pengeringan (*curing*) selain dengan menggunakan katalis. Promotor yang digunakan adalah Seri Yukalac Promotor E-Ex.

3.2.2.7 Katalis *Methyl Ethyl Peroxide* (Mepoxe)

Metil etil peroksida adalah suatu bahan kimia yang dikenal dengan sebutan katalis. Katalis ini termasuk senyawa polimer dengan bentuk cair dan berwarna bening. Fungsi dari katalis adalah mempercepat proses pengeringan (*curing*) pada bahan resin suatu komposit. Semakin banyak katalis yang dicampurkan pada cairan resin akan mempercepat proses laju pengeringan, namun bila mencampurkan katalis terlalu banyak akan membuat komposit menjadi getas. Pada penelitian ini digunakan *vinyl ester resin*, katalis Mepoxe, dan promotor dengan

perbandingan berat 97,5 % : 2 % : 0,5 %. Promotor Ex-x, *vinyl ester resin*, dan Katalis Mepoxe dapat dilihat pada Gambar III.4 di bawah ini.



Gambar III.4 Promotor Ex-x, Vinyl Ester Resin, dan Katalis Mepoxe

3.2.2.8 E-glass Fiber Woven Roving

Fiber jenis anyaman (*woven roving*) mempunyai bentuk seperti anyaman tikar. *Fiber* yang teranyam dibuat saling bertindih secara selang seling ke arah vertikal dan horisontal (0° dan 90°). Dalam Penelitian ini digunakan jenis *E-glass Fiber Woven Roving* 600 China yang artinya adalah *Woven Roving* dengan kepadatan 600 gram per meter persegi ($600 \frac{\text{gr}}{\text{m}^2}$). Gambar E-glass

Woven Roving

dapat dilihat pada Gambar III.5.



Gambar III.5 E-glass Woven Roving 600 China

3.2.2.9 Pelarut Aseton

Aseton merupakan keton yang paling sederhana dan digunakan sebagai pelarut polar dalam kebanyakan reaksi organik. Aseton dikenal juga sebagai dimetil keton, 2-propanon, atau propan-2-on. Aseton adalah senyawa berbentuk cairan yang tidak berwarna, mudah terbakar, dan dapat digunakan untuk membersihkan peralatan yang kotor. Pada penelitian ini digunakan aseton Seri *Thinner* FRP yang ditunjukkan pada Gambar III.6



Gambar III.6 Thinner FRP

3.2.2.10 White Oil

Dalam penelitian ini kegunaan dari *white oil* adalah agar resin tidak menempel pada cetakan. *White Oil* dapat dilihat pada Gambar III.7 dibawah ini.



Gambar III.7 White Oil

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel *independent* (bebas) adalah variabel yang menyebabkan atau memengaruhi, yaitu faktor-faktor yang diukur, dimanipulasi, atau dipilih untuk menentukan hubungan antara fenomena yang diobservasi. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah variasi penggunaan resin, yaitu *Unsaturated Polyester Resin* sebesar 99 %, *Epoxy Resin* sebesar 50 %, dan *Vinyl Ester Resin* sebesar 97,5 % serta penambahan *E-glass fiber woven roving* sebesar 50 %

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel *dependent* (terikat) adalah faktor-faktor yang diobservasi dan diukur untuk menentukan adanya pengaruh variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah Kekuatan Tarik (*Tensile*), Kekuatan Tekan (*Compressive*), Kekuatan Geser (*Shear*), dan Kekutan Lentur (*Flevural*) pada tiang untuk rumah komposit.

3.4 Pembuatan Sampel

3.4.1 Persiapan Bahan dan Pemotongan Fiber

Dalam pembuatan sampel dicampurkan resin polimer *thermoset* dengan *fiber*. Pertama, *fiber* berbentuk anyaman ini dipotong sesuai cetakan, yaitu 20 cm x 25 cm. Setelah serat selesai dipotong sesuai ukuran, siapkan resin yang akan digunakan, yaitu *epoxy*, *unsaturated polyester*,

dan *vinyl ester*. Persiapan bahan dan *fiber* yang telah dipotong dapat dilihat pada Gambar III.8 dan III.9.



Gambar III.8 Persiapan Alat dan Bahan



Gambar III.9 Potongan *Fiber*

3.4.2 Penimbangan Bahan serta Pencampuran Resin dan *Additive*

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah resin polimer *thermoset* sebagai resin dengan *glass fiber*. Resin yang digunakan dalam pembuatan sampel dicampur dengan *additive* (*hardener*/katalis/promotor) agar resin cepat mengering. Perbandingan resin dan *additive* yang digunakan masing-masing adalah *epoxy resin* (50 % fraksi berat) dengan *hardener* untuk *epoxy resin* (50 % fraksi berat), *unsaturated polyester resin* (99 % fraksi berat) dengan katalis peroksida (1 % fraksi berat), dan *vinyl ester resin* (97,5 % fraksi berat) dengan promotor (0,5 % fraksi berat) dan katalis *methyl ethyl peroxide* (Mepoxe) (2 % fraksi berat). Namun, sebelum dilakukan proses pencampuran, resin dan *additive* tersebut ditimbang terlebih dahulu. Tidak hanya itu, *fiber* juga ditimbang sesuai dengan formula menggunakan timbangan *digital*. Perbandingan berat antara *fiber* dengan resin adalah 50 % : 50%. Langkah-langkah yang dilakukan pada proses ini adalah sebagai berikut:

1. Hitung volume cetakan terlebih dahulu serta hitung massa resin dari volume cetakan dan densitas masing-masing resin yang telah diketahui.
2. Setelah diperoleh massa resin sesuai dengan perhitungan, masukkan resin ke dalam gelas plastik dan timbang menggunakan timbangan *digital* agar diperoleh takaran yang sesuai.

3. Masukkan *additive* ke dalam resin tersebut sesuai dengan perbandingan yang telah dihitung sebelumnya
4. Setelah resin dan *additive* dimasukkan ke dalam gelas sesuai dengan perbandingan, aduk selama ± 3 menit menggunakan sendok hingga terjadi proses pencampuran antara resin dan *additive*.

Hasil volume pada uji *tensile* dan *compressive* berbeda dengan volume pada uji *shear* dan *flexural* untuk masing-masing resin sehingga akan memengaruhi ketebalan pada sampel. Komposisi bahan pada sampel komposit yang telah ditimbang berdasarkan perhitungan dan variasi waktu *curing* sampel dapat dilihat pada Tabel III.2-III.7.

Tabel III.2 Komposisi Bahan pada Sampel dan Variasi Waktu *Curing* pada Uji *Tensile* dan Uji *Compressive Unsaturated Polyester Resin*

Kode Sampel	Sampel (100% wt = 188 gr)			
	<i>E-glass Fiber Woven Roving</i> (50% wt)	Resin Polimer (50% wt = 94 gr)		Waktu <i>curing</i> (jam)
		<i>Unsaturated Polyester Resin</i> (99%wt)	Katalis Peroksida (1%wt)	
A	94 gr	93,06 gr	0,94 gr	5 jam
B				
C				
D				
E				

Tabel III.3 Komposisi Bahan pada Sampel dan Variasi Waktu *Curing* pada Uji *Shear* dan Uji *Flexural Unsaturated Polyester Resin*

Kode Sampel	Sampel (100% wt = 236 gr)			
	<i>E-glass Fiber Woven Roving</i> (50% wt)	Resin Polimer (50% wt = 118gr)		Waktu <i>curing</i> (jam)
		<i>Unsaturated Polyester Resin</i> (99%wt)	Katalis Peroksida (1%wt)	
A	118 gr	116,82 gr	1,18 gr	5 jam
B				

C				
D				
E				

Tabel III.4 Komposisi Bahan pada Sampel dan Variasi Waktu Curing pada Uji Tensile dan Uji Compressive Epoxy Resin

Kode Sampel	Sampel (100% wt = 190 gr)			
	<i>E-glass Fiber Woven Roving</i> (50% wt)	Resin Polimer (50% wt = 95 gr)		Waktu curing (jam)
		<i>Epoxy Resin</i> (50%wt)	<i>Hardener untuk Epoxy Resin</i> (50%wt)	
A	95 gr	47,50 gr	47,50 gr	24 jam
B				
C				
D				
E				

Tabel III.5 Komposisi Bahan pada Sampel dan Variasi Waktu Curing pada Uji Shear dan Uji Flexural Epoxy Resin

Kode Sampel	Sampel (100% wt = 380 gr)			
	<i>E-glass Fiber Woven Roving</i> (50% wt)	Resin Polimer (50% wt = 190 gr)		Waktu curing (jam)
		<i>Epoxy Resin</i> (50%wt)	<i>Hardener untuk Epoxy Resin</i> (50%wt)	
A	190 gr	95 gr	95 gr	24 jam
B				
C				
D				
E				

Tabel III.6 Komposisi Bahan pada Sampel dan Variasi Waktu Curing pada Uji *Tensile* dan Uji *Compressive Vinyl Ester Resin*

Kode Sampel	Sampel (100% wt = 225 gr)				
	<i>E-glass Fiber Woven Roving</i> (50% wt)	Resin Polimer (50% wt = 112.5 gr)			Waktu curing (jam)
		<i>Vinyl Ester Resin</i> (97.5%wt)	Katalis Mepoxe (2%wt)	Promotor Ex-x (0.5%wt)	
A	112,5 gr	109,68 gr	2,25 gr	0,56 gr	3 jam
B					
C					
D					
E					

Tabel III.7 Komposisi Bahan pada Sampel dan Variasi Waktu Curing pada Uji *Shear* dan Uji *Flexural Vinyl Ester Resin*

Kode Sampel	Sampel (100% wt = 450 gr)				
	<i>E-glass Fiber Woven Roving</i> (50% wt)	Resin Polimer (50% wt = 225 gr)			Waktu curing (jam)
		<i>Vinyl Ester Resin</i> (97.5%wt)	Katalis Mepoxe (2%wt)	Promotor Ex-x (0.5%wt)	
A	225 gr	219,37 gr	4,5 gr	1,12 gr	3 jam
B					
C					
D					
E					

Proses dan hasil dari pencampuran dapat dilihat pada Gambar III.10 di bawah ini. Gambar III.10a menunjukkan resin dan *additive* yang dicampur menggunakan sendok sedangkan hasilnya dapat dilihat pada Gambar III.10b. Selain itu, timbangan *digital* yang digunakan pada proses penimbangan dapat dilihat pada Gambar III.11 dibawah ini.



Gambar III.10a Proses Pencampuran



Gambar III.10b Hasil Pencampuran



Gambar III.11 Timbangan *Digital*

3.4.3 Pencetakan Resin dan *Fiber*

Resin dan *additive* yang telah dicampur dimasukan ke dalam cetakan yang terbuat dari kayu dengan ukuran 25 x 20 x 0,2 cm, lalu ratakan menggunakan kuas ukuran 2,5 inchi. Prosedur pencetakan antara resin dengan *fiber* adalah sebagai berikut :

1. Bersihkan cetakan dari kotoran (debu) yang menempel dan oleskan dengan *white oil* bersih secara merata pada bagian dalam cetakan.
2. Tuang hasil campuran resin dan *additive* ke dalam cetakan dan ratakan menggunakan kuas.
3. Letakkan *fiber* yang telah dipotong sesuai dengan ukuran cetakan diatas resin yang telah dituang.
4. Oleskan kembali campuran resin dan *additive* diatas *fiber* hingga merata.
5. Letakkan kembali *fiber* yang telah dipotong untuk yang kedua kalinya.
6. Ulangi langkah tersebut dan letakkan *fiber* hingga mencapai ketebalan tertentu sesuai dengan ketebalan sampel yang akan diuji berdasarkan standard dari masing-masing pengujian.
7. Setelah rata hasil cetakan dan telah sesuai dengan ketebalan yang diinginkan, diamkan hasil cetakan tersebut hingga mengering.

Gambar di bawah ini (Gambar III.12 dan III.13) merupakan cetakan dan hasil dari proses pencetakan tersebut.



Gambar III.12 Cetakan Kayu



Gambar III.13

Hasil Proses pencetakan

Setelah cetakan mengering berdasarkan waktu *curing* dari masing-masing resin tersebut, barulah dilakukan pemotongan sampel agar mendapatkan ketebalan sampel yang sesuai dengan standard pengujian (uji *tensile*, uji *compressive*, uji *shear* dan uji *flexural*).

3.4.4 Pemotongan Sampel Uji

Cetakan resin dan *fiber* yang telah kering kemudian dilanjutkan dengan pemotongan sampel untuk empat pengujian, yaitu sebagai berikut :

1. Untuk uji *tensile* dan uji *compressive*, sampel dibuat dengan ukuran 17,5 cm x 2,5 cm sebanyak 3 buah. Masing – masing sampel di amplas agar sisinya rata dan meminimalisir *initial crack* sehingga akan dihasilkan nilai kekuatan *tensile* dan *compressive* yang lebih akurat. Sampel uji *tensile* dan uji *compressive* dapat dilihat pada gambar III.14 dan III.15.



Gambar III.14 Sampel Uji *Tensile*



Gambar III.15 Sampel Uji *Compressive*

2. Untuk uji *flexural*, sampel yang dibutuhkan berjumlah 3 buah untuk masing – masing resin dengan ukuran 12 cm x 1,3 cm. Sampel uji *flexural* dapat dilihat pada Gambar III.16 dibawah ini.



Gambar III.16 Sampel Uji *Flexural*

3. Untuk uji *shear*, sampel dibuat dengan ukuran kecil, yaitu 3,6 cm x 1,7 cm berjumlah 3 buah dan sampel juga di amplas agar sisinya rata dan Gambar III.17 menunjukkan gambar sampel uji *shear*.



Gambar III.17 Sampel Uji *Shear*

Setelah seluruh sampel dipotong menggunakan *blade saw*, barulah dilakukan pengujian. Gambar III.18 dibawah ini adalah proses pemotongan sampel menggunakan *blade saw*.



Gambar III.18 Proses Pemotongan Sampel Menggunakan *Blade Saw*

3.5 Proses Karakterisasi Material Sampel

3.5.1 Uji *Tensile*

Uji ini bertujuan untuk mendapatkan sifat mekanik material sampel diantaranya *tensile strength*, *tensile strain*, serta modulus elastisitas dan melihat bagaimana sampel tersebut bereaksi terhadap beban tarikan.

3.5.1.1 Prosedur Uji *Tensile* (Uji Tarik)

Uji ini dilakukan berdasarkan ASTM D-3039 dengan prosedur sebagai berikut :

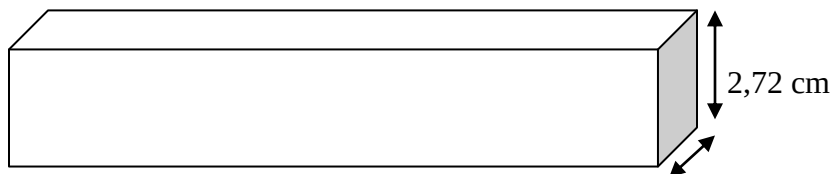
1. Sampel dilakukan proses kondisioning terlebih dahulu dalam ruangan selama 40 jam dengan temperatur 23,4 °C dan kelembaban 56,4 %
2. Setelah dilakukan proses kondisioning, siapkan sampel uji *tensile*
3. Ukur lebar dan ketebalan sampel , lalu catat dalam lembaran analisa
4. Panaskan alat UTM AG-X *plus* 50 kN terlebih dahulu selama 30 menit
5. Setelah dipanaskan, letakkan sampel uji diantara permukaan mesin uji *tensile*, pastikan sampel dalam kondisi lurus dan berada tepat di tengah area pembebanan

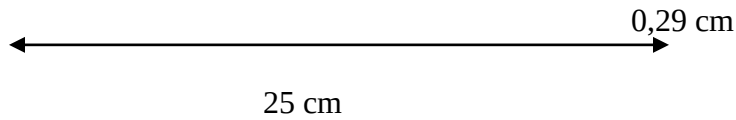
6. Atur permukaan alat tarik pada mesin hingga bersentuhan dengan permukaan sampel
7. Berikan beban tarik pada material hingga material patah
8. Lakukan pengujian tarik ini dengan kecepatan 2 mm/menit sesuai dengan standard ASTM D-3039

Alat uji *tensile* dan dimensi sampel pengujiannya dapat dilihat pada Gambar III.19 dan Gambar III.20.



Gambar III.19 Alat Uji *Tensile*





Gambar III.20 Dimensi Sampel untuk Uji *Tensile*

Keterangan:

- Lebar keseluruhan (W_o) = 2,72 cm
- Panjang keseluruhan (L_o) = 25 cm
- Panjang ukur (G) = 11,3 cm

3.5.1.2 Perhitungan untuk Uji *Tensile*

Pada uji *tensile* berdasarkan ASTM D-3039 diperoleh nilai-nilai sebagai berikut :

a) *Tensile Stress*

Merupakan nilai maksimum tegangan tarik (*tensile stress*) dari sampel uji pada saat pengujian. Nilai maksimum tegangan tarik diperoleh menggunakan persamaan :

$$\sigma_i = \frac{P_i}{A}$$

Keterangan:

σ_i = Tegangan *tensile* (MPa)

P_i = Beban /*Load* (N)

A = Luas penampang sampel (mm^2)

b) *Tensile Strength*

Merupakan nilai maksimum kekuatan tarik yang dapat diterima oleh area penampang terkecil sampel selama pengujian dalam satuan MPa dan diperoleh menggunakan persamaan :

$$F^{tu} = \frac{P^{max}}{A}$$

Keterangan:

F^{tu} = *Tensile strength* (MPa)

P^{max} = Maksimum beban tekan sebelum gagal (N)

A = Luas penampang (mm^2)

c) *Tensile Strain*

Merupakan nilai regangan material komposit dalam satuan (mm/mm). Nilai regangan diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{\delta_i}{L_g}$$

Keterangan:

ϵ = *tensile strain* ($\mu\epsilon$)

δ_i = *Extensometer displacement* (mm)

L_g = *Extensometer gage length* (mm)

d) *Modulus Elastisitas*

Modulus elastisitas atau *young modulus* didefinisikan sebagai tegangan dibagi regangan.

$$E^{chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon}$$

Keterangan:

E^{chord} = *Modulus Elastisitas Tensile* (MPa)

$\Delta\sigma$ = Perbedaan *tensile stress* (MPa)

$\Delta\epsilon$ = Perbedaan rata-rata *tensile strain* (MPa)

3.5.2 Uji *Compressive* (Uji Tekan)

Uji ini dilakukan untuk mempelajari sifat mekanik dari sampel saat diberikan tekanan pada regangan yang relatif kecil. Biasanya dilakukan pada material yang diaplikasikan pada struktur yang mengalami beban tekan. Pada uji ini material diberikan beban tekan hingga mengalami patah. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini adalah *compressive strength*, *compressive strain*, serta modulus elastisitas.

3.5.2.1 Prosedur Uji *Compressive*

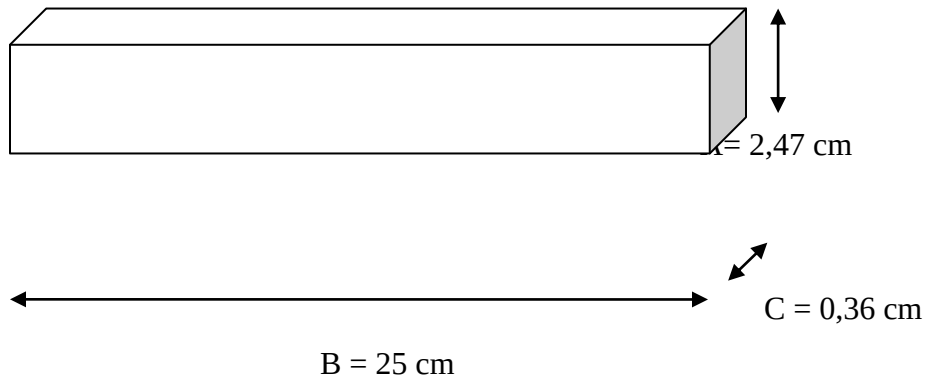
Uji ini dilakukan berdasarkan ASTM D-3410 dengan prosedur sebagai berikut:

1. Sampel dilakukan proses kondisioning terlebih dahulu dalam ruangan selama 40 jam dengan temperatur 23,9 °C dan kelembaban 53,9 %
2. Setelah dilakukan proses kondisioning, siapkan sampel uji *compressive*
3. Ukur lebar dan ketebalan sampel, lalu catat nilai minimal panjang sampel
4. Panaskan alat UTM AG-X *plus* 50 kN terlebih dahulu selama 30 menit
5. Setelah dipanaskan, letakkan sampel diantara permukaan mesin uji *compressive*, pastikan sampel dalam kondisi lurus dan berada tepat di tengah area pembebanan
6. Atur permukaan alat penekan pada mesin hingga bersentuhan dengan permukaan sampel
7. Berikan beban tekan pada material hingga material patah
8. Lakukan pengujian tarik ini dengan kecepatan 1,5 mm/menit sesuai dengan standard ASTM D 3410

Alat uji *compressive* dan dimensi sampel pengujiannya dapat dilihat pada Gambar III.21 dan Gambar III.22.



Gambar III.21 Alat Uji *Compressive*



Gambar III.22 Dimensi Sampel untuk Uji *Compressive*

3.5.2.2 Perhitungan untuk Uji *Compressive*

Pada uji *compressive* berdasarkan ASTM D-3410 dapat diperoleh nilai-nilai sebagai berikut :

a) *Compressive Stress*

Merupakan nilai maksimum tegangan tekan (*compressive stress*) dari sampel uji pada saat pengujian. Nilai maksimum tegangan tekan diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$\sigma_i^c = \frac{P_i}{A}$$

Keterangan:

σ_f^c = Tegangan *compressive* (MPa)

P_i = Beban /Load (N)

A = Luas penampang sampel (mm²)

b) *Compressive Strength*

Merupakan nilai maksimum kekuatan tekan yang dapat diterima oleh area penampang terkecil sampel selama pengujian dalam satuan MPa menggunakan persamaan :

$$F^{cu} = \frac{P^{max}}{A}$$

Keterangan:

F^{cu} = *Compressive strength* (MPa)

P^{max} = Maksimum beban tekan sebelum gagal (N)

A = Luas penampang (mm²)

c) *Compressive Strain*

Merupakan nilai regangan material komposit dalam satuan (mm/mm). Nilai regangan diperoleh dengan cara membagi pengurangan panjang sampel dengan panjang awal.

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} = \frac{\Delta l}{l_o}$$

Keterangan:

ε = Regangan (mm/mm)

l_i = Deformasi (mm)

l_o = Panjang awal (mm)

Δl = Pertambahan panjang (mm)

d) Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas atau *young modulus* didefinisikan sebagai tegangan dibagi regangan.

$$E^{\text{chord}} = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon}$$

Keterangan:

E^{chord} = Modulus Elastisitas *Compressive* (MPa)

$\Delta \sigma$ = Perbedaan *compressive stress* (MPa)

$\Delta \epsilon$ = Perbedaan rata-rata *compressive strain* (MPa)

3.5.3 Uji *Shear* (Uji Geser)

Uji ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan geser pada sampel. Kekuatan komposit didominasi oleh sifat mekanis resin dimana retakan dapat terjadi pada seluruh bidang resin. Kegagalan bermula dari patahan yang terjadi pada sampel yang mengalami tekanan karena disitulah terjadi momen lengkung dan gaya geser terbesar, setelah itu retakan akan merambat pada daerah yang memiliki nilai modulus lengkung yang lebih tinggi dari daerah retakan

sebelumnya. Retakan baru akan berhenti bila dalam perambatannya telah menemui daerah yang tegangan dan modulus lengkungnya maksimum. Alat uji *shear* dapat dilihat pada Gambar III.23.



Gambar III.23

Alat Uji *Shear*

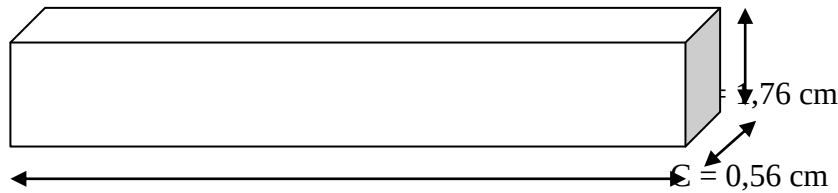
3.5.3.1 Prosedur Uji *Shear*

Uji ini dilakukan berdasarkan ASTM D-2344 dengan prosedur sebagai berikut :

1. Sampel dilakukan proses kondisioning terlebih dahulu dalam ruangan selama 40 jam dengan temperatur 23,6 °C dan kelembaban 52,2 %
2. Setelah dilakukan proses kondisioning, siapkan sampel uji *shear*
3. Lakukan pengukuran sampel dengan jangka sorong digital
4. Catat dalam lembaran analisa
5. Panaskan alat UTM AG-X *plus* 50 kN terlebih dahulu selama 30 menit
6. Setelah dipanaskan, letakkan sampel uji di sebuah *support span* dengan ketentuan perbandingan antara ketebalan (*sampel depth*) dengan *support span* (L) adalah 1 : 4
7. Aplikasikan beban di tengah-tengah dengan pembebanan pada 3 titik
8. Atur laju tekan

9. Catat kecepatan pembebanan dan defleksi maksimum dari pengujian

Pada penelitian ini digunakan sampel dengan dimensi 1,76 cm x 3,36 cm dan dengan ketebalan 0,56 cm. Dimensi sampel untuk uji *shear* dapat dilihat pada Gambar III.24.



$$B = 3,36 \text{ cm}$$

Gambar III.24 Dimensi sampel untuk Uji *Shear*

3.5.3.2 Perhitungan untuk Uji *Shear*

Pada uji *shear* berdasarkan ASTM D-2344 dapat diperoleh nilai *Short-Beam Strength* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$F^{sbs} = 0,75 \times \frac{P_m}{b \times h}$$

Keterangan:

F^{sbs} = short-beam strength (MPa)

P_m = maksimum beban selama uji (N)

b = lebar (mm)

h = tinggi (mm)

3.5.4 Uji *Flexural* (Uji Lentur)

Uji *flexural* mengukur kekuatan yang dibutuhkan untuk membengkokkan sebuah sampel yang diberi beban pada 3 titik. Data tersebut terkadang digunakan untuk memilih material untuk *parts* (bagian) yang akan menerima beban tanpa mengalami pembengkokan (*flexing*). *Flexural*

modulus digunakan sebagai indikasi untuk kekakuan material ketika dibengkokkan. Alat uji *flexural* dapat dilihat pada Gambar III.25.



Gambar III.25 Alat Uji *Flexural*

Pembebanan maksimal akan tercatat pada komputer dan membentuk *peak* pada grafik hasil pengujian. Pembebanan dilakukan untuk membuat sampel patah.

3.5.4.1 Prosedur Uji *Flexural*

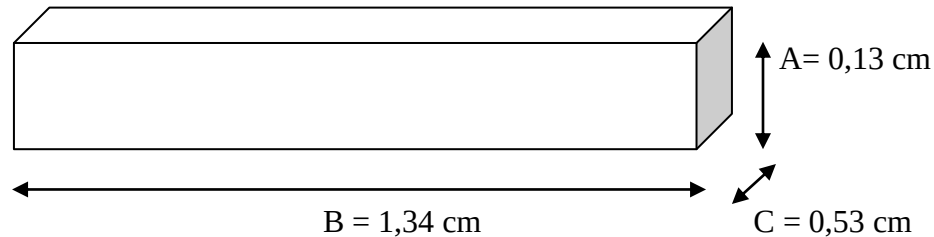
Uji ini dilakukan berdasarkan ASTM D-790 dengan prosedur sebagai berikut:

1. Sampel dilakukan proses kondisioning terlebih dahulu dalam ruangan selama 40 jam dengan temperatur 23,9 °C dan kelembaban 53,9 %
2. Setelah dilakukan proses kondisioning, siapkan sampel uji *flexural*
3. Lakukan pengukuran sampel dengan jangka sorong digital
4. Catat dalam lembaran analisa
5. Panaskan alat UTM AG-X *plus* 50 kN terlebih dahulu selama 30 menit
6. Setelah di panaskan, letakkan sampel uji di sebuah *support span* dengan ketentuan perbandingan antara ketebalan (*sampel depth*) dengan *support span* (L) adalah 1 : 16.
7. Aplikasikan beban di tengah-tengah dengan pembebanan pada 3 titik

8. Atur laju tekan

9. Catat kecepatan pembebanan dan defleksi maksimum dari pengujian

Pada penelitian ini digunakan sampel dengan dimensi 0,13 cm x 1,34 cm dengan ketebalan 0,53 cm. Dimensi sampel untuk uji *flexural* dapat dilihat pada Gambar III.26 dibawah ini.



Gambar III.26 Dimensi Sampel untuk Uji *Flexural*

3.5.4.2 Perhitungan untuk Uji *Flexural*

Hasil yang dapat kita peroleh dari pengujian ini adalah :

a) *Flexural Stress*

Merupakan nilai maksimum tegangan tekuk (*flexural stress*) dari sampel uji pada saat pengujian. Nilai maksimum tegangan tekuk didapatkan dengan menggunakan persamaan :

$$\sigma_f = \frac{3 PL}{2 bd^2}$$

Keterangan:

σ_f = Tegangan *flexural* (MPa)

P = Beban /*Load* (N)

L = Panjang Span / *Support span* (mm)

b = Lebar/ *Width* (mm)

d = Tebal / *Depth* (mm)

b) *Flexural Strain*

Merupakan nilai regangan yang terjadi pada material komposit saat mengalami beban tekuk. Pada pengujian *flexural* besarnya regangan ditentukan menggunakan persamaan :

$$\varepsilon_f = \frac{6 Dd}{L^2}$$

Keterangan:

ε_f = *Flexural strain* (regangan)

D = Nilai deformasi maksimum pada *span* tengah

L = Panjang Span / *Support span* (mm)

d = Tebal / *Depth* (mm)

c) Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas atau *young modulus* didefinisikan sebagai tegangan dibagi regangan. Semakin besar harga modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi atau dapat dikatakan material tersebut semakin kaku (*stiff*).

$$E_B = \frac{L^3 m}{4 b d^3}$$

Keterangan:

E_B = Modulus Elastisitas *Flexural* (MPa)

m = Kemiringan kurva tegangan-tegangan

L = Panjang Span / *Support span* (mm)

b = Lebar/ *Width* (mm)

d = Tebal / *Depth* (mm)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

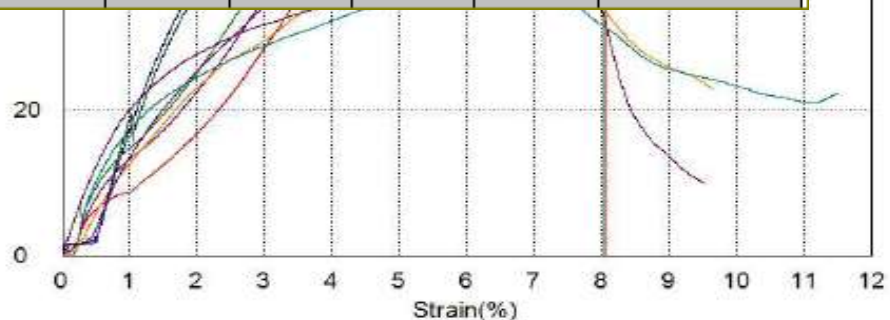
4.1 Hasil Uji Karakterisasi Sampel Uji

4.1.1 Uji *Tensile*

Kekuatan tarik merupakan salah satu sifat bahan polimer yang terpenting dan sering digunakan untuk uji sifat mekanik pada suatu bahan polimer. Pengujian dilakukan terhadap komposit dengan variasi campuran resin polimer termoset (*unsaturated polyester resin*, *vinyl ester resin*, dan *epoxy resin*) dan lapisan *glass fiber*. Jika pada suatu bahan dikenakan beban tarik, bahan tersebut akan mengalami perubahan panjang yang disebut dengan pemanjangan (*elongation*). Pada uji *tensile* berdasarkan ASTM D-3039 “*Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*” diperoleh nilai-nilai *tensile stress*, *tensile strain*, dan modulus elastisitas. Modulus elastisitas pada uji tarik menggambarkan ukuran ketahanan terhadap tegangan tarik. Selain itu, kita juga dapat mengetahui standard deviasi dari masing-masing resin. Dibawah ini terdapat tabel (Tabel IV.1) dan grafik (Grafik IV.1) yang menunjukkan data hasil uji *tensile* dari masing-masing resin.

Tabel IV.1 Hasil Sampel Uji *Tensile* Berdasarkan ASTM D-3039

Name Parameters Unit	Thickness (mm)	Width (mm)	Gauge Length (mm)	Max Force Calc. at Entire Areas (N)	Max Stress Calc. at Entire Areas (MPa)	Max Strain Calc. at Entire Areas (%)	Chord Modulus of Elasticity Force 10-20 N (N/mm ²)
Epoxy Resin							
Epoxy_1	3,01	26,91	113,00	7794,39	96,22	8,53	3507,57
Epoxy_2	2,90	27,69	113,00	6834,39	85,11	8,58	3204,97
Epoxy_3	3,15	26,68	113,00	7108,69	84,58	10,28	3547,96
Average	3,02	27,09	113,00	7245,82	88,64	9,13	3420,17
Standard Deviation	0,12	0,53	0,00	494,74	6,57	0,99	187,46
Unsaturated Polyester Resin							
UP_1	3,75	26,69	113,00	4579,08	45,75	5,99	1904,60
UP_2	4,80	25,00	113,00	4609,96	38,42	6,74	2796,16
UP_3	4,76	26,51	113,00	5330,05	42,24	6,94	2655,92
Average	4,47	26,07	113,00	4839,70	42,13	6,56	2452,23
Standard Deviation	0,59	0,93	0,00	424,94	3,67	0,49	479,41
Vinyl Ester Resin							
Vinyl Ester_1	3,14	23,70	113,00	9787,58	131,52	8,07	793,63
Vinyl Ester_2	3,17	25,81	113,00	11351,1	138,74	8,38	1081,48
Vinyl Ester_3	3,54	24,64	113,00	11615,8	133,17	8,03	958,09
Average	3,28	24,72	113,00	10918,2	134,48	8,16	944,40
Standard Deviation	0,22	1,06	0,00	988,01	3,78	0,19	144,41
Total Average	3,58	26,96	113,00	7667,89	88,48	7,95	2272,27
Total Standard Deviation	0,73	1,28	0,00	2716,29	40,21	1,26	1113,08



Grafik IV.1 Hubungan Nilai *Stress* dan *Strain* pada Uji *Tensile*

Hasil uji *tensile* pada Tabel IV.1 menunjukkan bahwa komposit *glass fiber* dengan resin *epoxy resin* memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar 88,64 MPa, regangan maksimum rata-rata 9,13 %, dan modulus elastisitasnya 3420,17 N/mm². *Unsaturated polyester resin* memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar 42,13 MPa, regangan maksimum rata-rata 6,56 %, dan modulus elastisitasnya 2452,23 N/mm², sedangkan untuk *vinyl ester resin* memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar 134,48 MPa, regangan maksimum rata-rata 8,16 %, dan modulus elastisitasnya 944,40 N/mm².

Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai rata-rata untuk modulus elastisitas dan nilai rata-rata regangan maksimum komposit dengan resin *epoxy resin* lebih tinggi dibandingkan dengan *vinyl ester resin* dan *unsaturated polyester resin*. Semakin tinggi nilai modulus elastisitasnya, maka sampel komposit tersebut akan menjadi semakin mudah patah karena lebih tahan terhadap tegangan tarik. Nilai rata-rata tegangan maksimum uji *tensile* komposit dengan resin *vinyl ester resin* lebih tinggi bila dibandingkan dengan komposit dengan resin *epoxy resin* dan *unsaturated polyester resin*.

Pengaruh jumlah lapisan *glass fiber* dapat meningkatkan kuat tarik komposit secara signifikan, dimana semakin banyak jumlah lapisan *fiber*, maka kekuatan yang dihasilkan pun akan bertambah. Sampel komposit *vinyl ester resin* memiliki lapisan *fiber* yang paling banyak (7 layer) dibandingkan dengan sampel komposit lainnya sehingga kekuatannya lebih tinggi dibandingkan dengan dua resin lainnya. Selain itu, standard untuk nilai standard deviasi (*standard deviation*) yang telah ditentukan adalah kurang dari 10 %. Berdasarkan hasil pembagian antara standard deviasi dengan tegangan maksimum rata-rata pada uji *tensile*, diperoleh nilai standard deviasi untuk sampel komposit dengan resin *epoxy resin* sebesar 7,42 %, *unsaturated polyester resin* sebesar 8,71 % dan *vinyl ester resin* sebesar 2,81 %. Dengan

demikian, sampel komposit untuk ketiga resin tersebut telah memenuhi standard yang telah ditentukan. Hal ini menunjukkan bahwa pendistribusian faktor ikatan *fiber* dan resin merata.

Berdasarkan hasil uji *tensile* pada Tabel IV.1 menunjukkan bahwa masing-masing sampel komposit masih belum sesuai dengan standard AASHTO, yaitu 227,53 MPa. Nilai *tensile strength* yang dihasilkan pada sampel komposit dengan resin *epoxy resin* sebesar 88,64 MPa, sampel komposit dengan resin *unsaturated polyester resin* hanya 42,13 MPa, dan sampel komposit dengan resin *vinyl ester resin* sebesar 134,48 MPa. Hal ini disebabkan oleh proses pembuatan sampel yang kurang diperhatikan, yaitu pada saat pencetakan resin dan *fiber*, khususnya pada pembuatan pemegang (*grip*) karena *grip* tersebut harus mampu menahan sampel dengan kuat agar tidak terjadi *slip* (terbentuk lekukan pada grafik). Resin yang digunakan memiliki sifat yang berbeda. *Unsaturated polyester* resin lebih cepat mengeras dan membentuk gel bila terkena udara terbuka sehingga pada proses pencetakan pun menjadi tidak merata. Waktu *curing* dan faktor orientasi *fiber* pada sampel juga akan memengaruhi hasil. *Glass fiber* yang digunakan adalah berbentuk anyaman yang memiliki dua arah, yaitu arah *vertical* dan *horizontal* sehingga kekuatan akan melemah karena semakin *fiber* memiliki arah lurus akan semakin memiliki kekuatan yang tinggi.

Meski demikian, dalam penelitian ini sampel komposit dengan campuran *glass fiber* dan resin polimer termoset tersebut telah menghasilkan *tensile strength* yang lebih baik dari resin penyusunnya. *Tensile strength unsaturated polyester resin* sebesar 55 MPa, *epoxy resin* sebesar 70 MPa, dan *vinyl ester resin* sebesar 120 MPa (Smith, W.F., Hashemi, J., 2006).

Berikut ini terdapat pada gambar (Gambar IV.1-IV.3) yang menunjukkan sampel



sebelum
pengujian



dan sesudah
pada uji *tensile*.

Gambar IV.1 Sampel Uji *Tensile* Komposit *Glass Fiber* dan *Epoxy Resin* Sebelum dan Sesudah Pengujian



Gambar IV.2 Sampel Uji *Tensile* Komposit *Glass Fiber* dan *Unsaturated Polyester Resin* Sebelum dan Sesudah Pengujian



Gambar IV.3 Sampel Uji *Tensile* Komposit *Glass Fiber* dan *Vinyl Ester Resin* Sebelum dan Sesudah Pengujian

Sampel uji *tensile* komposit *glass fiber* dan *vinyl ester resin* pada Gambar IV.3 diatas menunjukkan patahan yang terlihat jelas pada sampel dibandingkan dengan sampel *unsaturated polyester resin* dan *epoxy resin*. Hal ini dikarenakan gaya yang dihasilkan lebih besar, yaitu 10918,20 N. Selain itu, bentuk patahan pada sampel-sampel komposit diatas bervariasi baik komposit dengan resin *unsaturated polyester resin*, *epoxy resin*, maupun *vinyl ester resin*. Hal ini menunjukkan bahwa gaya yang diterima oleh komposit tidak homogen karena menyebar di daerah serat yang memiliki tegangan tarik paling tinggi.

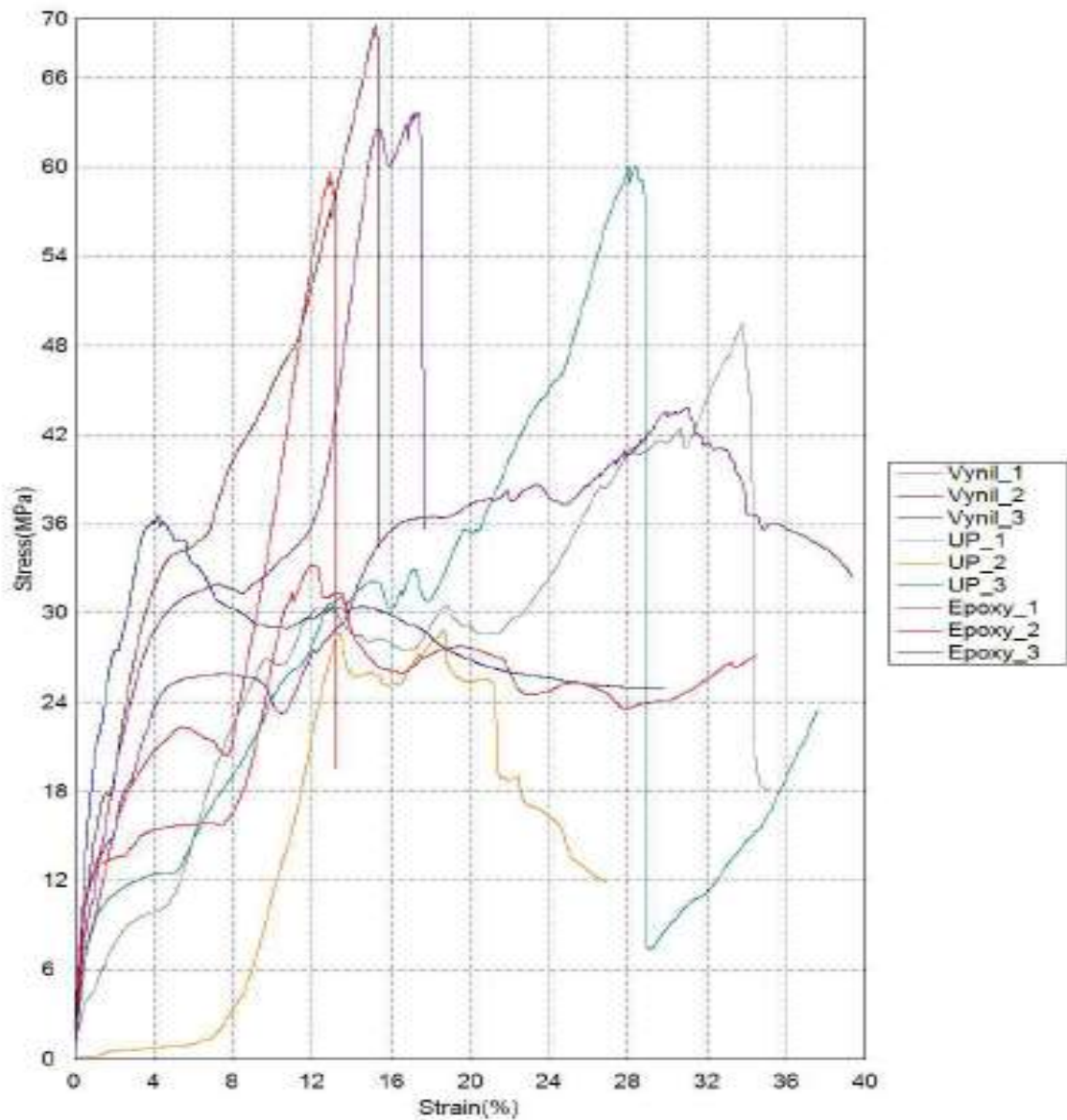
4.1.2 Uji Compressive

Uji ini dilakukan untuk mempelajari sifat mekanik dari sampel saat diberikan tekanan pada regangan yang relatif kecil. Pada uji *compressive* berdasarkan ASTM D-3410 “*Standard Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials with Unsupported Gage Section by Shear Loading*” diperoleh nilai-nilai *compressive stress*, *compressive strain* dan modulus elastisitas (*elastic stress*). Dibawah ini terdapat tabel (Tabel IV.2) dan grafik (Grafik IV.2) yang menunjukkan data hasil uji *compressive* dari masing-masing resin.

<i>Name Parameters Unit</i>	<i>Thickness (mm)</i>	<i>Width (mm)</i>	<i>Height (mm)</i>	<i>Max Force Calc. at Entire Areas (N)</i>	<i>Max Stress Calc. at Entire Areas (MPa)</i>	<i>Max Strain Calc. at Entire Areas (%)</i>	<i>Elastic Stress 10-20 MPa (N/mm²)</i>
<i>Epoxy Resin</i>							
<i>Epoxy_1</i>	2,77	26,93	25,00	2729,88	36,59	4,20	2716,56
<i>Epoxy_2</i>	2,85	22,80	25,00	2164,36	33,31	1195	2681,17
<i>Epoxy_3</i>	3,05	24,02	25,00	3209,36	43,81	31,03	2219,49
<i>Average</i>	2,89	24,58	25,00	2701,20	37,90	15,73	2539,07
<i>Standard Deviation</i>	0,14	2,12	0,00	523,09	5,37	13,81	277,33
<i>Unsaturated Polyester Resin</i>							
<i>UP_1</i>	3,10	25,79	25,00	3959,51	49,52	33,85	404,26
<i>UP_2</i>	3,34	25,29	25,00	2437,95	28,86	18,70	489,34
<i>UP_3</i>	3,10	24,99	25,00	4657,53	60,12	28,40	368,54
<i>Average</i>	3,18	25,36	25,00	3685,00	46,17	26,98	420,71
<i>Standard Deviation</i>	0,14	0,40	0,00	1134,97	15,90	7,68	62,06
<i>Vinyl Ester Resin</i>							
<i>Vinyl Ester_1</i>	3,46	25,26	25,00	5211,15	59,62	12,88	1953,26
<i>Vinyl Ester_2</i>	3,78	24,92	25,00	6549,09	69,52	15,21	2610,45
<i>Vinyl Ester_3</i>	3,53	24,76	25,00	5570,48	63,73	17,36	2233,16
<i>Average</i>	3,59	24,98	25,00	5776,91	64,29	15,15	2265,62
<i>Standard Deviation</i>	0,17	0,25	0,00	692,44	4,97	2,24	329,80
<i>Total Average</i>	3,22	24,97	25,00	4054,37	49,45	19,29	1741,80
<i>Total Standard Deviation</i>	0,33	1,14	0,00	1536,49	14,60	9,85	1021,33

**Tabel
IV.2
Hasil**

Sampel Uji *Compressive* Berdasarkan ASTM D-3410



Grafik IV.2 Hubungan Nilai *Stress* dan *Strain* pada Uji *Compressive*

Hasil uji *compressive* pada Tabel IV.2 menunjukkan bahwa komposit *glass fiber* dengan resin *epoxy resin* memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar 37,90 MPa, regangan maksimum rata-rata 15,72 %, dan modulus elastisitasnya 2539,07 N/mm². *Unsaturated polyester*

resin memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar 46,17 MPa, regangan maksimum rata-rata 26,98 %, dan modulus elastisitasnya 420,71 N/mm², sedangkan untuk *vinyl ester resin* memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar 64,29 MPa, regangan maksimum rata-rata 15,15 %, dan modulus elastisitasnya 2265,62 N/mm².

Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai rata-rata *elastic stress* komposit dengan resin *epoxy resin* lebih tinggi dibandingkan dengan *vinyl ester resin* dan *unsaturated polyester resin*, yakni sebesar 2539,07 N/mm² dan memiliki sifat mudah patah. Nilai rata-rata *maximum strength* dari uji tekan komposit dengan resin *vinyl ester resin* paling tinggi bila dibandingkan dengan komposit dengan resin *epoxy resin* dan *unsaturated polyester resin*. Hal ini disebabkan oleh gaya yang dihasilkan juga lebih tinggi, yaitu sebesar 5776,91 N.

Selain itu, nilai rata-rata tegangan maksimum *vinyl ester resin* lebih tinggi karena resin tersebut menggunakan campuran katalis dan promotor yang dapat memengaruhi waktu *curing* dan kualitas sampel yang dihasilkan. Tidak hanya itu, adanya lapisan *glass fiber* yang lebih banyak (5 *layer*) pada *vinyl ester resin* dapat memberikan nilai kuat tekan yang lebih tinggi pula.

Sampel komposit dengan resin *unsaturated polyester resin* memiliki nilai rata-rata regangan maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan *epoxy resin* dan *vinyl ester resin* karena saat proses penekanan kekuatannya lebih rendah sehingga menyebabkan nilai regangannya lebih tinggi. Selain itu, untuk nilai *standard deviation* yang telah ditentukan adalah kurang dari 10 %. Berdasarkan hasil pembagian antara *standard deviation* dengan tegangan maksimum rata-rata pada uji *compressive*, diperoleh nilai *standard deviation* untuk sampel komposit dengan resin *epoxy resin* sebesar 14,17 %, *unsaturated polyester resin* sebesar 34,44 %, dan *vinyl ester resin* sebesar 7,73 %. Berdasarkan nilai *standard deviation* tersebut, hanya sampel komposit dengan resin *vinyl ester resin* yang telah memenuhi *standard*. Resin yang memiliki *standard deviation* lebih dari 10 % disebabkan oleh proses pencetakan antara *fiber* dan resin yang tidak merata sehingga membuat pendistribusian faktor ikatan *fiber* dan resin menjadi tidak merata pula.

Berdasarkan hasil uji *compressive* pada Tabel IV.2 menunjukkan bahwa nilai *compressive strength* masing-masing sampel komposit masih belum sesuai dengan *standard*

AASHTO, yaitu 227,53 MPa. Nilai *compressive strength* yang dihasilkan pada sampel komposit dengan resin *epoxy resin* sebesar 37,90 MPa, sampel komposit dengan resin *unsaturated polyester resin* sebesar 46,17 MPa, dan sampel komposit dengan resin *vinyl ester resin* sebesar 64,29 MPa. Nilai yang belum mencapai standard ini disebabkan oleh proses pembuatan sampel yang tidak diperhatikan sehingga kekuatannya pun tidak merata dan nilai kuat tekannya belum mencapai standard. Selain itu, proses pengadukan yang tidak merata dan penentuan komposisi antara resin dengan *fiber* juga dapat menimbulkan kekosongan pada lapisan sampel. Berikut ini terdapat gambar (Gambar IV.4- IV.6) yang menunjukkan sampel sebelum dan sesudah pengujian pada uji *compressive*.



Gambar IV.4 Sampel Uji *Compressive* Komposit *Glass Fiber* dan *Epoxy Resin* Sebelum dan



Sesudah



Pengujian

Gambar IV.5 Sampel Uji *Compressive* Komposit *Glass Fiber* dan *Unsaturated Polyester Resin* Sebelum dan Sesudah Pengujian



Gambar

IV.6 Sampel

Uji

***Compressive* Komposit *Glass Fiber* dan *Vinyl Ester Resin* Sebelum dan Sesudah Pengujian**

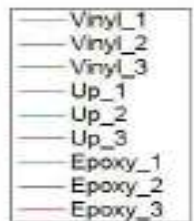
Dari Gambar IV.6 diatas menunjukkan bahwa sampel *vinyl ester resin* memiliki kuat tekan yang tinggi di bagian tengah sehingga mengalami mengalami perpatahan di bagian tengah dibandingkan dengan *unsaturated polyester resin* dan *epoxy resin*. Sedangkan sampel komposit dengan resin *unsaturated polyester resin* dan *epoxy resin* tersebut masih ulet. Hal ini yang membuat kuat tekan sampel komposit dengan resin tersebut lebih rendah.

4.1.3 Uji *Shear*

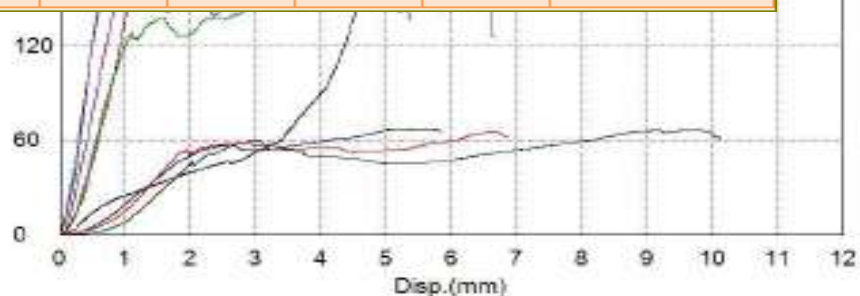
Uji ini dirancang untuk mengetahui kekuatan geser antar lapisan komposit. Kekuatan komposit didominasi oleh sifat mekanis resin dimana retakan dapat terjadi pada seluruh bidang resin. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini adalah *short beam strength* dan *shear stress* sesuai standar ASTM D-2344 “*Standard Test Method for Short-Beam Strength of Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates*”. Dibawah ini terdapat tabel (Tabel IV.3) dan grafik (Grafik IV.3) yang menunjukkan data hasil uji *shear* dari masing-masing resin.

Tabel IV.3 Hasil Sampel Uji *Shear* Berdasarkan ASTM D-2344

Name Parameters Unit	Thickness (mm)	Width (mm)	Lower Support (mm)	Max Force Calc. at Entire Areas (N)	Max Stress Calc. at Entire Areas (N/mm ²)	Short-Beam Strength (N/mm ²)
Epoxy Resin						
<i>Epoxy_1</i>	5,35	16,91	22,21	966,97	66,58	8,02
<i>Epoxy_2</i>	5,65	18,41	22,21	1188,14	67,37	8,57
<i>Epoxy_3</i>	5,62	19,73	22,21	1235,45	66,02	8,35
<i>Average</i>	5,54	18,35	22,21	1130,19	66,65	8,31
<i>Standard Deviation</i>	0,16	1,41	0,00	143,32	0,68	0,28
Unsaturated Polyester Resin						
<i>UP_1</i>	3,48	8,55	17,28	2078,03	520,27	52,38
<i>UP_2</i>	3,16	8,56	17,28	2278,17	690,93	63,17
<i>UP_3</i>	3,22	9,48	17,28	2525,50	665,74	62,04
<i>Average</i>	3,29	8,86	17,28	2293,90	625,65	59,20
<i>Standard Deviation</i>	0,17	0,53	0,00	224,15	92,12	5,93
Vinyl Ester Resin						
<i>Vinyl Ester_1</i>	5,93	17,25	23,08	3439,51	197,33	25,21
<i>Vinyl Ester_2</i>	6,30	17,59	23,08	3726,83	196,26	25,23
<i>Vinyl Ester_3</i>	6,27	17,18	23,08	3711,79	184,86	24,42
<i>Average</i>	6,17	17,67	23,08	3626,04	184,40	24,95
<i>Standard Deviation</i>	0,20	0,47	0,00	161,72	13,72	0,46
<i>Total Average</i>	4,99	14,96	20,86	2350,04	293,09	30,82
<i>Total Standard Deviation</i>	1,32	4,65	2,71	1092,70	258,97	22,66



Grafik IV.3
Hubungan Nilai
Stress dan
Displacement
(Jarak) pada Uji *Shear*



Hasil uji *shear* pada Tabel IV.3 menunjukkan bahwa komposit *glass fiber* dengan resin *unsaturated polyester resin* memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar 625,65 N/mm² dan nilai *short-beam strength* rata-rata sebesar 59,20 N/mm². *Epoxy resin* memiliki tegangan

maksimum rata-rata sebesar 66,65 N/mm² dan nilai *short-beam strength* rata-rata sebesar 8,31 N/mm², sedangkan untuk *vinyl ester resin* memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar 186,96 N/mm² dan nilai *short-beam strength* rata-rata sebesar 24,95 N/mm².

Nilai rata-rata *shear stress* dan nilai rata-rata *short beam strength* yang paling tinggi terdapat pada sampel komposit dengan resin *unsaturated polyester resin*, yaitu 625,65 MPa dan 59,20 MPa. Hal ini disebabkan oleh *unsaturated polyester resin* yang lebih dominan menyusun struktur sampel kompositnya dibandingkan dengan sampel komposit resin *epoxy resin* dan *vinyl ester resin*. Selain itu, lapisan *glass fiber* jenis *woven roving* yang memiliki arah *vertical* dan *horizontal* tersusun seperti anyaman tikar berlapis sehingga lapisan akan sulit bergeser dan membuat lapisan tetap terjaga baik.

Berdasarkan *short-beam strength* tersebut, nilai standard deviasi yang diperoleh dari sampel komposit dengan resin *epoxy resin* sebesar 3,44 %, sampel komposit resin *unsaturated polyester resin* sebesar 10,02 %, dan sampel komposit resin *vinyl ester resin* sebesar 1,84 %. Dengan demikian, hanya sampel komposit resin *epoxy resin* dan *vinyl ester resin* yang telah memenuhi standard, yakni kurang dari 10 %. Hal ini menunjukkan bahwa pendistribusian faktor ikatan *fiber* dan resin pada sampel komposit resin *epoxy resin* dan *vinyl ester resin* merata.

Nilai *short-beam strength* pada standard AASHTO adalah 31,03 MPa. Berdasarkan data pada Tabel IV.3 diatas menunjukkan bahwa nilai *short-beam strength* pada *unsaturated polyester resin* yang telah sesuai dengan standard yang ada. Nilai *short-beam strength* pada dua resin lainnya yang belum memenuhi standard disebabkan oleh proses pembuatan sampel yang kurang diperhatikan, yaitu pada saat pencetakan resin dan *fiber*. *Glass fiber* yang digunakan adalah berbentuk anyaman yang memiliki dua arah, yaitu arah *vertical* dan *horizontal* sehingga kekuatan akan melemah karena semakin *fiber* memiliki arah lurus akan semakin memiliki kekuatan yang tinggi. Proses pengadukan yang tidak merata dan penentuan komposisi antara resin dengan *fiber* juga dapat menimbulkan berkurangnya kekuatan pada komposit. Berikut ini terdapat gambar (Gambar IV.7- IV.9) yang menunjukkan sampel sebelum dan sesudah pengujian pada uji *shear*.



Gambar IV.7 Sampel Uji *Shear* Komposit *Glass Fiber* dan *Epoxy Resin* Sebelum dan Sesudah Pengujian



Gambar IV.8 Sampel Uji *Shear* Komposit *Glass Fiber* dan *Unsaturated Polyester Resin* Sebelum dan Sesudah Pengujian

Gambar IV.9 Sampel Uji *Shear* Komposit *Glass Fiber* dan *Vinyl Ester Resin* Sebelum dan Sesudah Pengujian

Pada Gambar IV.8 sampel komposit dengan resin *unsaturated polyester resin* mengalami patahan yang lebih rata dibandingkan dengan komposit resin *epoxy resin* dan *vinyl ester resin*. Hal ini membuktikan bahwa nilai kekuatan geser yang tinggi akan membuat patahan yang lebih baik dan rata.

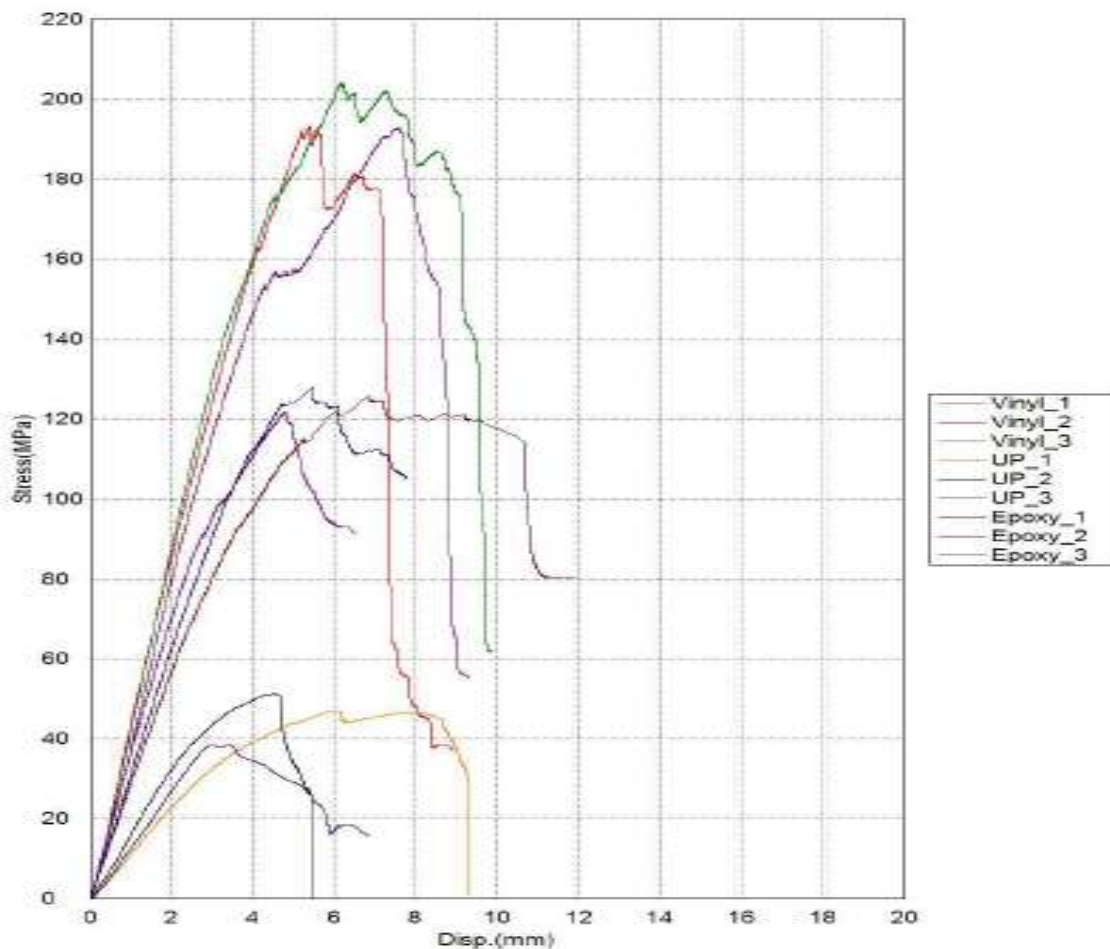
4.1.4 Uji *Flexural*

Uji ini di lakukan dengan metode pembebanan pada tiga titik yang di tahan oleh dua penyangga untuk mendapatkan nilai *flexural stress*, *flexural strain*, dan modulus elastisitas (*elastic strain*) sesuai standar ASTM D-790 “*Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*”. Dibawah ini terdapat tabel (Tabel IV.4) dan grafik (Grafik IV.4) yang menunjukkan data hasil uji *flexural* dari masing-masing resin.

Tabel IV.4 Hasil Sampel Uji *Flexural* Berdasarkan ASTM D-790

<i>Name Parameters Unit</i>	<i>Thickness (mm)</i>	<i>Width (mm)</i>	<i>Lower Support (mm)</i>	<i>Max Force Calc. at Entire Areas (N)</i>	<i>Max Stress Calc. at Entire Areas (MPa)</i>	<i>Max Strain Calc. at Entire Areas (%)</i>	<i>Elastic Strain 0.025-0.25 % (GPa)</i>
<i>Epoxy Resin</i>							
<i>Epoxy_1</i>	5,42	12,59	87,33	354,09	125,88	2,92	6,83
<i>Epoxy_2</i>	5,37	11,21	87,33	300,34	121,70	2,02	8,91
<i>Epoxy_3</i>	5,63	13,57	87,33	420,60	128,09	2,41	6,94
<i>Average</i>	5,47	12,46	87,33	358,35	125,22	2,45	7,56

Standard Deviation	0,14	1,18	0,00	60,24	3,24	0,45	1,17
Unsaturated Polyester Resin							
UP_1	4,23	13,36	68,61	109,40	47,09	3,27	1,95
UP_2	4,34	14,41	68,61	134,91	51,15	2,49	2,80
UP_3	4,40	12,32	68,61	89,00	38,40	1,69	2,15
Average	4,32	13,36	68,61	111,11	45,55	2,48	2,30
Standard Deviation	0,09	1,04	0,00	23,00	6,51	0,79	0,44
Vinyl Ester Resin							
Vinyl Ester_1	6,48	11,35	101,60	604,06	193,16	2,03	11,62
Vinyl Ester_2	6,57	12,99	101,60	709,41	192,81	2,90	9,80
Vinyl Ester_3	5,83	13,67	101,60	622,16	204,07	2,08	12,62
Average	6,29	12,67	101,60	645,21	196,68	2,34	11,35
Standard Deviation	0,40	1,19	0,00	56,33	6,40	0,49	1,43
Total Average	5,36	12,83	85,84	371,55	122,49	2,42	7,07
Total Standard Deviation	0,88	1,07	14,33	235,41	65,65	0,52	4,05



Grafik IV.4 Hubungan Nilai *Stress* dan *Displacement* (Jarak) pada Uji *Flexural*

Hasil uji *flexural* pada Tabel IV.4 menunjukkan bahwa komposit *glass fiber* dengan resin *unsaturated polyester resin* memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar 45,55 MPa, regangan maksimum rata-rata 2,48 %, dan modulus elastisitasnya 2,30 GPa. *Epoxy resin* memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar 125,22 MPa, regangan maksimum rata-rata 2,45 %, dan modulus elastisitasnya 7,56 GPa, sedangkan untuk *vinyl ester resin* memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar 196,68 MPa, regangan maksimum rata-rata 2,34 %, dan modulus elastisitasnya 11,35 GPa.

Berdasarkan hasil tersebut nilai rata-rata tegangan maksimum *flexural* komposit dengan resin *vinyl ester resin* lebih tinggi bila dibandingkan dengan komposit resin *epoxy resin* dan *unsaturated polyester resin*, sebaliknya untuk rata-rata regangan maksimumnya komposit dengan resin *unsaturated polyester resin* lebih tinggi dibandingkan dengan 2 resin lainnya. Selain itu,

komposit dengan resin *vinyl ester resin* juga memiliki kelenturan paling tinggi karena nilai modulus elastisitasnya yang paling tinggi pula.

Selain itu, *vinyl ester resin* menggunakan campuran katalis dan promotor yang dapat memengaruhi waktu *curing* dan kualitas sampel yang dihasilkan. Tidak hanya itu, adanya lapisan *glass fiber* yang lebih banyak (10 layer) pada *vinyl ester resin* dapat memberikan nilai yang lebih tinggi. Namun, lain halnya dengan regangan yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai tegangannya, akan semakin memperkecil nilai regangan maksimumnya. Hal ini disebabkan oleh sampel yang diberi beban tekan ditengah membuat nilai regangannya semakin kecil. Oleh sebab itu, komposit dengan resin *unsaturated polyester resin* memiliki rata-rata regangan maksimum yang paling tinggi.

Berdasarkan *flexural strength* tersebut, nilai standard deviasi yang diperoleh dari sampel komposit dengan resin *epoxy resin* sebesar 2,59 %, sampel komposit resin *unsaturated polyester resin* sebesar 14,29 %, dan sampel komposit resin *vinyl ester resin* sebesar 3,25 %. Dengan demikian, hanya sampel komposit resin *epoxy resin* dan *vinyl ester resin* yang telah memenuhi standard, yakni kurang dari 10 %. Hal ini menunjukkan bahwa pendistribusian faktor ikatan *fiber* dan resin pada sampel komposit resin *epoxy resin* dan *vinyl ester resin* merata. Sedangkan *unsaturated polyester resin* yang memiliki standard deviasi lebih dari 10 % ini disebabkan oleh proses pencetakan antara serat dan resin yang tidak merata sehingga membuat sampel memiliki struktur yang tidak homogen.

Berdasarkan hasil uji *flexural* pada Tabel IV.4 menunjukkan bahwa nilai *flexural strength* masing-masing sampel komposit masih belum sesuai dengan standard AASHTO, yaitu 227,53 MPa. Nilai *flexural strength* yang dihasilkan pada sampel komposit dengan resin *unsaturated polyester resin* hanya 45,55 MPa, sampel komposit dengan resin *epoxy resin* sebesar 125,22 MPa, dan sampel komposit dengan resin *vinyl ester resin* sebesar 196,68 MPa. Hal ini juga disebabkan oleh proses pembuatan sampel yang tidak merata sehingga kekuatannya pun tidak merata dan nilai *flexural*-nya belum mencapai standard. Berikut ini terdapat gambar (Gambar IV.10-IV.12) yang menunjukkan sampel sebelum dan sesudah pengujian pada uji *flexural*.



Gambar IV.10 Sampel Uji *Flexural* Komposit *Glass Fiber* dan *Epoxy Resin* Sebelum dan Sesudah Pengujian



Gambar IV.11 Sampel Uji *Flexural* Komposit *Glass Fiber* dan *Unsaturated Polyester Resin* Sebelum dan Sesudah Pengujian



**Gambar IV.12 Sampel Uji *Flexural* Komposit *Glass Fiber* dan *Vinyl Ester Resin*
Sebelum dan Sesudah Pengujian**

Pada Gambar IV.12 sampel komposit dengan resin *vinyl ester resin* mengalami perpatahan pada saat uji *flexural*. Hal ini membuktikan bahwa sampel komposit dengan resin *vinyl ester resin* memiliki ketahanan terhadap kelenturan yang lebih baik.

Di bawah ini terdapat Tabel IV.5 yang menunjukkan perbandingan antara hasil uji kekuatan mekanik komposit dengan standard AASHTO.

**Tabel IV.5 Perbandingan Hasil Uji Kekuatan Mekanik Komposit dengan Standard
AASHTO**

Uji	Resin	Hasil Uji	AASHTO
<i>Tensile</i>	<i>Vinyl Ester</i>	134,48 MPa	227,53 MPa
<i>Compressive</i>	<i>Vinyl Ester</i>	64,29 MPa	227,53 MPa
<i>Shear</i>	<i>Unsaturated Polyester</i>	625,65 MPa	31,03 MPa
<i>Flexural</i>	<i>Vinyl Ester</i>	196,68 MPa	227,53 MPa

4.2 Analisa Biaya

Dalam penelitian ini dilakukan suatu analisa biaya terhadap pembuatan sampel untuk tiang rumah komposit menggunakan campuran resin polimer *thermoset* (*unsaturated polyester resin*, *epoxy resin*, dan *vinyl ester resin*) dengan *E-glass fiber woven roving*. Adapun dalam pembuatan sampel ini membutuhkan bahan-bahan dan alat sebagai berikut :

1. *Epoxy Resin/Eposchon A*
2. *Unsaturated Polyester Resin* Seri Yukalac 157 BQTN-EX (Ecer)
3. *Vinyl Ester Resin* Seri Ripoxy R-802 EX-1
4. *E-Glass Woven Roving* 600 China
5. *Hardener* untuk *Epoxy Resin/Eposchon B*

6. Katalis Peroksida
7. Katalis Mepoxe
8. Yukalac Promotor E-Ex
9. Aseton
10. *White oil*
11. Cetakan Kayu Persegi Panjang Ukuran 25 cm x 20 cm

Rincian biaya bahan dan alat untuk pembuatan sampel komposit dapat dilihat pada Tabel IV.6-IV.9 dibawah ini.

Tabel IV.6 Rincian Biaya Bahan Baku Pembuatan Sampel menggunakan *Epoxy Resin* dan *E-glass Fiber Woven Roving*

Bahan	Jumlah*	Harga Satuan (Rp)**	Biaya Total (Rp)
<i>Epoxy Resin/Eposchon A</i>	1 kg	91.850,-/kg	91.850,-
<i>Woven Roving 600 China</i>	5 meter	15.500,-/kg	77.500,-
<i>Hardener untuk Epoxy/Eposchon B</i>	1 kg	91.850,-/kg	91.850,-
Aseton	1 kg	45.000,-/kg	45.000,-
<i>White Oil</i>	1/2 kg	40.000,-/kg	20.000,-
TOTAL			326.200,-

Catatan :

* Jumlah bahan digunakan untuk 12 sampel

** Harga bahan berdasarkan bon dari PT Justus Kimia Raya, 2 September 2013

Tabel IV.7 Rincian Biaya Bahan Baku Pembuatan Sampel menggunakan *Unsaturated Polyester Resin* dan *E-glass Fiber Woven Roving*

Bahan	Jumlah*	Harga Satuan (Rp) **	Biaya Total (Rp)
-------	---------	----------------------	------------------

<i>Unsaturated Polyester Resin</i> Yukalac 157 BQTN-EX	1 kg	30.000,-/kg	30.000,-
<i>Woven Roving</i> 600 China	5 meter	15.500,-/kg	77.500,-
Katalis Peroksida	1 botol	(tidak ada data)	(tidak ada data)
Aseton	1 kg	45.000,-/kg	45.000,-
<i>White Oil</i>	1/2 kg	40.000,-/kg	20.000,-
TOTAL			172.500,-

Catatan :

* Jumlah bahan digunakan untuk 12 sampel

** Harga bahan berdasarkan bon dari PT Justus Kimia Raya, 11 April 2013

Tabel IV.8 Rincian Biaya Bahan Baku Pembuatan Sampel menggunakan *Vinyl Ester Resin* dan *E-glass Fiber Woven Roving*

Bahan	Jumlah*	Harga Satuan (Rp) **	Biaya Total (Rp)
<i>Vinyl Ester Resin</i> Ripoxxy R-802 EX-1	1 kg	69.200,-/kg	69.200,-
<i>Woven Roving</i> 600 China	5 meter	15.500,-/kg	77.500,-
Katalis MEPOXE	1 kg	86.000,-/kg	86.000,-
Yukalac Promotor E-Ex @ 100 cc	1 botol	22.000,-/botol	22.000,-
Aseton	1 kg	45.000,-/kg	45.000,-
<i>White Oil</i>	1/2 kg	40.000,-/kg	20.000,-
TOTAL			319.700,-

Catatan :

* Jumlah bahan digunakan untuk 12 sampel

** Harga berdasarkan bon dari PT Justus Kimia Raya, 23 Februari 2015

Tabel IV.9 Rincian Biaya Pembelian Cetakan

Nama	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Biaya Total (Rp)
Cetakan Kayu Persegi Panjang (untuk uji <i>Tensile</i> , <i>Compressive</i> , <i>Shear</i> , dan <i>Flexural</i>)	1 buah	50.000,-/buah	50.000
TOTAL			50.000,-

Dari rincian biaya bahan dan alat tersebut, maka total biaya yang diperlukan untuk membuat sampel untuk tiang rumah komposit menggunakan campuran *epoxy resin* dan *glass fiber* jenis *E-glass woven roving* sebesar Rp 376.200,-, campuran *unsaturated polyester resin* dan *glass fiber* jenis *E-glass woven roving* sebesar Rp 222.500,-, serta pembuatan tiang rumah komposit dari campuran *vinyl ester resin* dan *glass fiber* jenis *E-glass woven roving* sebesar Rp 369.700,-.

Produk yang dihasilkan nantinya akan memiliki nilai rata-rata tegangan maksimum (*maximum stress*), regangan maksimum (*maximum strain*), dan modulus elastisitas (*chord modulus of elasticity/elastic stress/elastic strain*) yang tinggi dari uji tarik (*tensile*), uji tekan (*compressive*), dan uji lentur (*flexural*), serta nilai rata-rata kuat geser maksimum (*maximum short-beam strength*) dan tegangan maksimum (*maximum stress*) yang tinggi pula dari uji geser (*shear*) yang dilakukan. Oleh sebab itu, sasaran produk yang ingin dihasilkan adalah berupa tiang untuk rumah komposit sebagai penopang rumah yang tahan terhadap gempa.

Syarat tiang rumah komposit yang memiliki sifat mekanik tersebut dan layak untuk digunakan mengacu pada standard AASHTO (*Specifications for Fiber Reinforced Polymer Pedestrian Bridges*). Standard tersebut digunakan karena proses fabrikasinya pun menggunakan *fiber* jenis *E-glass woven roving* dan campuran polimer *thermoset*.

Pembuatan sampel untuk tiang rumah komposit ini dibuat dengan presentase perbandingan komposisi *fiber* dan resin sebesar 50 % : 50 % fraksi berat dengan densitas masing-masing resin sebagai berikut :

- a. Densitas campuran *epoxy resin* dengan *E-glass woven roving* = $1,90 \text{ gr/cm}^3$

Sumber : <http://www.matweb.com/search/datasheet>

- b. Densitas campuran *unsaturated polyester resin* dengan *E-glass woven roving* = $1,88 \text{ gr/cm}^3$

Sumber : *International Journal of material Science*

- c. Densitas campuran *vinyl ester resin* dengan *E-glass woven roving* = $2,25 \text{ gr/cm}^3$

Sumber : *International Journal of material Science*

Berikut ini terdapat tabel (Tabel IV.10) yang menunjukkan nilai rata-rata sifat mekanik yang dihasilkan dari masing-masing pengujian pada sampel komposit dengan resin berbeda dan biaya yang diperlukan.

Tabel IV.10 Nilai Rata-Rata Sifat Mekanik dari Uji Tarik (*Tensile*), Uji Tekan (*Compressive*), Uji Geser (*Sher*), Uji Lentur (*Flexural*) dan Harga yang Diperlukan

Hasil Uji	<i>Unsaturated Polyester Resin</i>	<i>Epoxy Resin</i>	<i>Vinyl Ester Resin</i>
Uji Tensile			
<i>Max Force (N)</i>	4839,70	7245,82	10918,20
<i>Max Stress(MPa)</i>	42,13	88,64	134,48
<i>Max Strain (%)</i>	6,56	9,13	8,16
<i>Chord Modulus of Elasticity (N/mm²)</i>	2452,23	3420,17	944,402
Harga (Rp)	222.500,-	376.200,-	369.700,-
Uji Compressive			
<i>Max Force (N)</i>	3685,00	2710,20	5776,91
<i>Max Stress (MPa)</i>	46,17	37,90	64,29
<i>Max Strain (%)</i>	26,98	15,73	15,15
<i>Elastic Stress (N/mm²)</i>	420,71	2539,07	2265,62
Harga (Rp)	222.500,-	376.200,-	369.700,-
Uji Shear			
<i>Max Force (N)</i>	2293,90	1130,19	3626,04
<i>Max Stress (N/mm²)</i>	625,65	66,65	186,96
<i>Short-Beam Strength (N/mm²)</i>	59,20	8,31	24,95
Harga (Rp)	222.500,-	376.200,-	369.700,-

Uji <i>Flexural</i>				B erdasar kan Tabel IV.10 nilai sifat mekani
Max Force (N)	111,11	358,35	645,21	
Max Stress (MPa)	45,55	125,22	196,68	
Max Strain (%)	2,48	2,45	2,34	
Elastic Strain (GPa)	2,30	7,56	11,35	
Harga (Rp)	222.500,-	376.200,-	369.700,-	

k dan biaya yang diperlukan untuk pembuatan tiang rumah komposit diatas menunjukkan bahwa campuran *glass fiber* dengan *vinyl ester resin* menghasilkan nilai rata-rata kekuatan paling tinggi dalam tiga pengujian (*tensile test*, *compressive test*, dan *flexural test*) diantara *unsaturated polyester resin* dan *epoxy resin*. Untuk mendapatkan nilai kekuatan paling tinggi dibutuhkan biaya sebesar Rp 369.700,-.

Campuran *glass fiber* dengan *epoxy resin* menghasilkan kekuatan lebih rendah dibandingkan dengan *vinyl ester resin*, namun untuk segi biaya yang dibutuhkan lebih mahal, yaitu sebesar Rp 376.200,-. Berbeda dengan dua resin sebelumnya, kekuatan yang dihasilkan oleh *unsaturated polyester resin* paling rendah dengan biaya yang diperlukan pun jauh lebih murah, yaitu Rp 222.500,-. Berdasarkan hasil dan pembahasan diatas serta rincian biaya yang telah ada, kekuatan yang tinggi dalam pembuatan sampel untuk tiang rumah komposit dapat diperoleh dengan biaya yang terjangkau, yaitu menggunakan campuran *vinyl ester resin* sebagai fase resin dan *glass fiber woven roving* sebagai fase penguatnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu sebagai berikut :

1. Sifat-sifat mekanik dari material komposit yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor-faktor yang dapat memengaruhi kualitas sampel yang dihasilkan pada penelitian ini adalah proses pembuatan sampel, tebal sampel, jenis *fiber* yang digunakan, dan jenis resin yang digunakan sebagai resin. Dalam penelitian ini dihasilkan nilai kekuatan dari masing-masing sampel komposit berdasarkan masing-masing pengujian, yaitu :
 - a. Pada uji *tensile*, nilai rata-rata *maximum strength* paling tinggi dihasilkan oleh sampel komposit dengan resin *vinyl ester resin*, yaitu sebesar 134,48 MPa sedangkan untuk *maximum strain* dan modulus elastisitas paling tinggi dihasilkan oleh *epoxy resin*, yaitu sebesar 9,13 % untuk *maximum strain* dan sebesar 3420,17 N/mm² untuk nilai modulus elastisitas.
 - b. Pada uji *compressive*, nilai rata-rata *maximum strength* sampel komposit dengan resin *vinyl ester resin* paling tinggi dibandingkan dengan sampel komposit resin *unsaturated polyester resin* dan resin *epoxy resin*, yaitu sebesar 64,29 MPa. Nilai rata-rata *maximum strain* sampel komposit dengan resin *unsaturated polyester resin* paling tinggi dibandingkan dengan sampel komposit resin *vinyl ester resin* dan resin *epoxy resin*, yaitu sebesar 26,98 %. Sedangkan nilai rata-rata modulus elastisitas paling tinggi dihasilkan oleh sampel komposit dengan resin *epoxy resin*, yaitu sebesar 2539,07 N/mm².
 - c. Pada uji *shear*, nilai rata-rata *short-beam strength* sampel komposit resin *unsaturated polyester resin* sebesar 59,20 N/mm² dan *maximum stress* sampel komposit resin *unsaturated polyester resin* sebesar dan 625,65 N/mm². Nilai

tersebut adalah nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan sampel komposit resin *epoxy resin* dan resin *vinyl ester resin*.

- d. Pada uji *flexural*, nilai rata-rata *maximum stress* dan modulus elastisitas paling tinggi dihasilkan oleh sampel komposit dengan resin *vinyl ester resin*, yaitu sebesar 196,68 MPa untuk *maximum stress* dan 11,35 GPa untuk modulus elastisitas. Sedangkan nilai rata-rata *maximum strain* paling tinggi dihasilkan oleh sampel komposit dengan resin *unsaturated polyester resin*, yaitu sebesar 2,48 %.

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh menunjukkan bahwa sampel komposit dengan resin *vinyl ester resin* menghasilkan nilai kekuatan paling tinggi diantara 2 resin lainnya. Namun, nilai *tensile strength*, *compressive strength*, dan *flexural strength* dari sampel komposit tersebut masih belum sesuai dengan standard yang telah ada, yaitu standard AASHTO dengan nilai 227,5 MPa. Pada *shear strength* hanya sampel dengan resin *unsaturated polyester resin* saja yang telah mencapai standard, yaitu 59,20 MPa (AASHTO *shear strength* 31,03 MPa).

2. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa campuran *vinyl ester resin*, katalis dan promotor, serta *glass fiber* jenis *woven roving* dapat menjadi bahan yang lebih baik dalam pembuatan sampel untuk tiang rumah komposit dibandingkan dengan resin *unsaturated polyester resin* dan *epoxy resin* karena dapat menghasilkan sifat mekanik yang lebih tinggi dibandingkan dua resin lainnya dan biaya yang diperlukan pun terjangkau, yaitu sebesar Rp 369.700,-.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini kami memberikan beberapa saran untuk dapat diterapkan pada penelitian selanjutnya, yaitu :

1. Untuk mendapatkan sifat mekanik yang tinggi dalam pembuatan sampel komposit dapat menerapkan beberapa cara, yaitu :

- a. Proses pembuatan sampel perlu dikembangkan lagi, yakni dapat menggunakan metode pultrusi untuk menghasilkan nilai kekuatan yang lebih baik.
 - b. Mengingat sampel yang digunakan harus memiliki nilai kekuatan yang tinggi, sebaiknya *fiber* yang digunakan adalah dalam bentuk lurus (serat lurus) untuk mendapatkan sifat mekanik yang lebih baik.
 - c. Sebaiknya dilakukan karakterisasi *scanning electron microscopic* (SEM) agar dapat melihat dan mempelajari sifat morfologi sampel dengan jelas. Selain itu, sebelum dilakukan pengujian sampel komposit sebaiknya sifat mekanik dari masing-masing bahan penyusunnya (resin dan *fiber*) harus diketahui terlebih dahulu agar dapat dibandingkan dengan sifat mekanik sampel komposit yang dihasilkan.
2. Kualitas yang dihasilkan pada sampel komposit juga memengaruhi biaya yang diperlukan, oleh karena itu bahan baku yang digunakan harus berkualitas baik dan juga harus lebih memerhatikan parameter-parameter yang digunakan agar dapat menghasilkan kekuatan yang diharapkan (sesuai *standard*).

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Standard Specifications for Highway Bridges*. 2013. USA.
- ASTM D-2344 “*Standard Test Method for Short-Beam Strength of Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates*”. 2000. USA.
- ASTM D-3039 “*Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*”. 2000. USA.
- ASTM D-3410 “*Standard Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials with Unsupported Gage Section by Shear Loading*”. 2003. USA.
- ASTM D-790 “*Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*”. 2003. USA.
- Baliyono, Priyo. 2013. *Pengertian dan Material Komposit*. <<http://priyobaliyono.blogspot.com/2013/08/pengertian-dan-material-komposit.html>> diakses pada 23 Maret 2015
- Carli, S. A. Widyanto, Ismoyo Haryanto. 2012. *Analisis Kekuatan Tarik dan Lentur Komposit Serat Gelas Jenis Woven dengan Matriks Epoxy dan Polyester berlapis Simetri dengan Metode Manufaktur Hand Lay-Up*. Semarang. Jurnal Teknis, Vol. 7, No. 1. Hal 22-26.
- Maisaroh dan Dien Rosma. 2013. *Komposit Matrik Logam*. Jurusan Fisika FMIPA ITS. Surabaya.
- Nayiroh, Nurun. 2013. *Teknologi Material Komposit*. <<http://blog.uinmalang.ac.id/nurun/files/2013/03/Material-Komposit.pdf>> diakses pada 1 Desember 2014.
- PT. Justus Kimiaraya. 2001. *Sifat Mekanik Unsaturated Polyester Resin BQTN 157-EX*. Jakarta
- Pujianto, As'at. 2011. *Rekayasa Bahan Komposit Geopolimer Serat Gelas Lumpur Lapindo Poliester untuk Rumah Hunian*. Yogyakarta.
- Dimiyati, Suci Aprilia. 2011. *Pengaruh Variasi Waktu Mixing 15-75 Menit terhadap Karakteristik Pelat Biopolar*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.

- Suwanto, Bodja. 2012. *Pengaruh Temperatur Post-Curing terhadap Kekuatan Tarik Komposit Epoksi Resin yang diperkuat Woven Serat Pisang*. E-Jurnal Wahana. Politeknik Negeri Semarang. Semarang. Hal 4-6.
- Syukur, M. 2012. *Material Komposit*. <<http://repository.usu.ac.id>> diakses pada 1 Desember 2014.
- Turnip, Rimbun. 2010. *Penggunaan Komposit Epoksi Berpenguat Serat Kevlar sebagai bahan Alternatif Mengatasi Kebocoran Pipa*. [skripsi]. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- Yang, Lau dan Mac Puckett. 2002. *Making High Performance Unsaturated Polyester Resin*. SAMPE Journal, Vol. 1. California : Long Beach. Hal 22-62.

LAMPIRAN

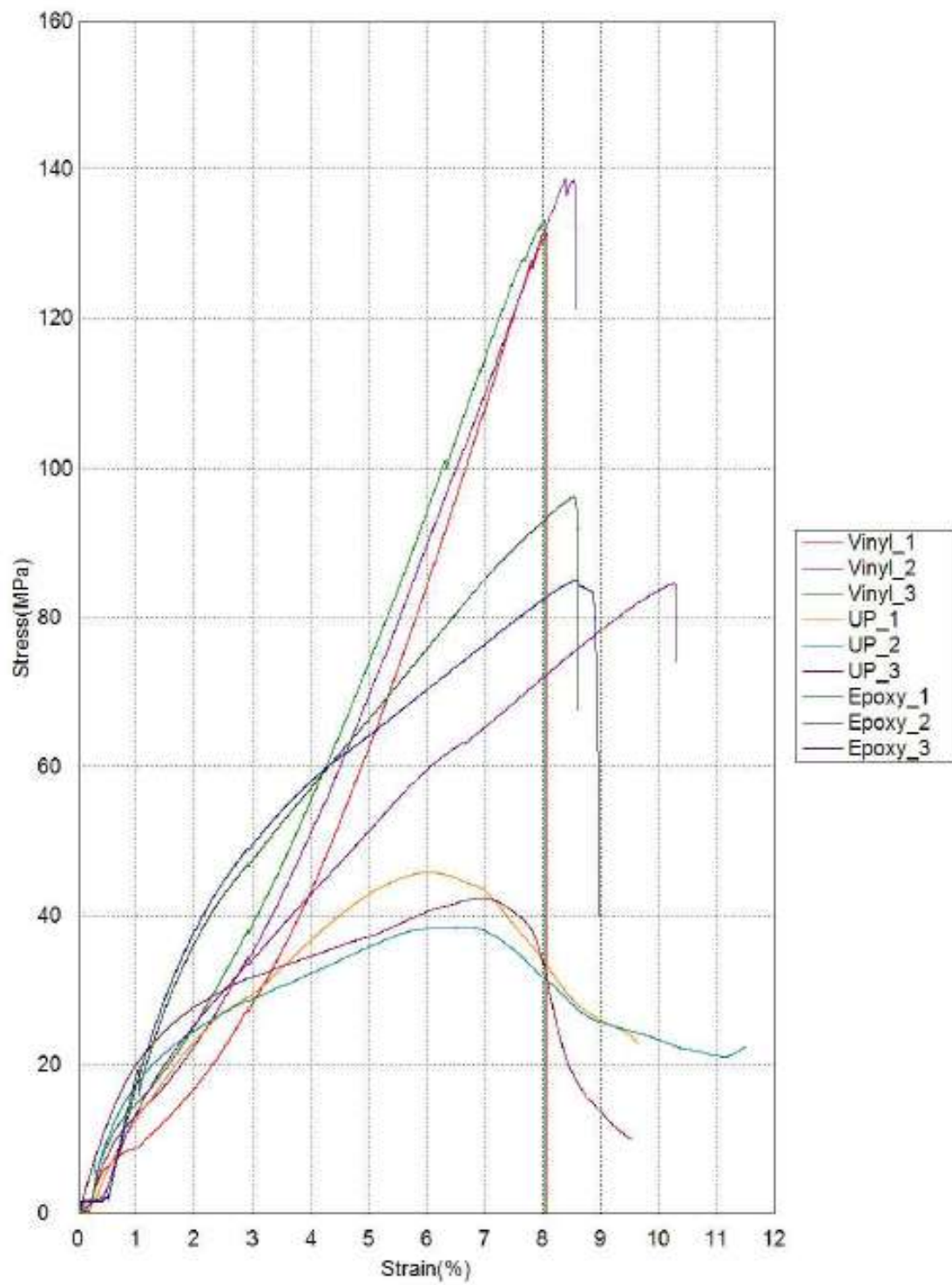
Lampiran 1. Hasil Uji Tensile

SENTRA TEKNOLOGI POLIMER

No Order	1425279071	Product Name	Komposit Fiberglass Epoxy
Test File Name	1425279071_Tensile_Komposit Fiberglass_campur.xtak	Method File Name	ASTM D3039.xmak
Operator	HKM, SGH	Report Date	5/4/2015
Test Date	3/5/2015	Temperature	23.4oC
Humidity:	56.4%	Test Mode	Single
Test Type	Tensile	Speed	2mm/min
Shape	Plate	No of Batches:	3
Qty/Batch:	16		

Name Parameters Unit	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm	Elastic Strain 0.05 - 0.25 % N/mm2	Max_Force Calc. at Entire Areas N	Max_Stress Calc. at Entire Areas MPa	Max_Strain Calc. at Entire Areas %
Vinyl_1	3.1400	23.7000	113.0000	793.634	9787.58	131.522	8.07356
Vinyl_2	3.1700	25.8100	113.0000	1081.48	11351.1	138.736	8.38542
Vinyl_3	3.5400	24.6400	113.0000	958.093	11615.8	133.170	8.03383
Average	3.2833	24.7167	113.0000	944.402	10918.2	134.476	8.16427
Standard Deviation	0.22279	1.05709	0.00000	144.411	988.015	3.78016	0.19255
UP_1	3.7500	26.6900	113.0000	1904.60	4579.08	45.7508	5.99735
UP_2	4.8000	25.0000	113.0000	2796.16	4609.96	38.4163	6.73981
UP_3	4.7600	26.5100	113.0000	2655.92	5330.05	42.2391	6.93717
Average	4.4367	26.0667	113.0000	2452.23	4839.70	42.1354	6.55811
Standard Deviation	0.59501	0.92813	0.00000	479.414	424.939	3.66835	0.49556
Epoxy_1	3.0100	26.9100	113.0000	3507.57	7794.39	96.2281	8.53861
Epoxy_2	2.9000	27.6900	113.0000	3204.97	6834.39	85.1096	8.58020
Epoxy_3	3.1500	26.6800	113.0000	3547.96	7108.69	84.5850	10.2767
Average	3.0200	27.0933	113.0000	3420.17	7245.82	88.6409	9.13184
Standard Deviation	0.12530	0.52937	0.00000	187.457	494.474	6.57595	0.99170
TotalAverage	3.5800	25.9589	113.0000	2272.27	7667.89	88.4174	7.95141
TotalStandard Deviation	0.72846	1.27688	0.00000	1113.08	2716.29	40.2063	1.25858

(lanjutan)



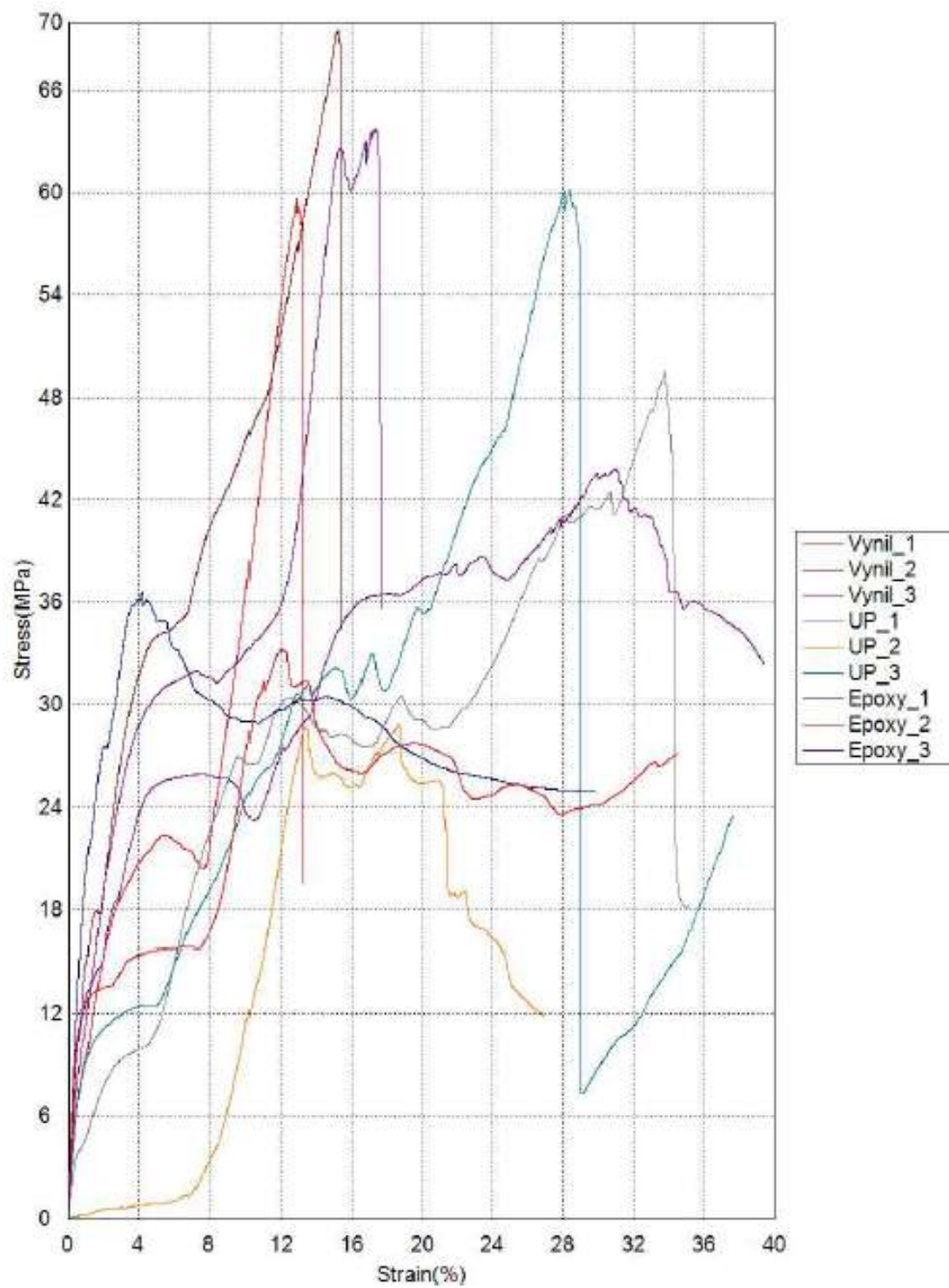
Lampiran 2. Hasil Uji *Compressive*

SENTRA TEKNOLOGI POLIMER

Order Number	1425279071	Product Name	Komposit Fiberglass + Epoxy
Test File Name	1425279071_Compress_Komposit Fiberglass_campur.xtak	Method File Name	Astm D3410_Komposite Compression.xmak
Test Date	3/5/2015	Temperature	23.9oC
Humidity:	53.9%	Test Mode	Single
Test Type	Compression	Speed	1.5mm/min
Shape	Plate		

Name Parameters Unit	Thickness mm	Width mm	Height mm	Max_Force Calc. at Entire Areas N	Elastic Strain 0.05 - 0.25 % N/mm2	Max_Stress Calc. at Entire Areas MPa	Max_Strain Calc. at Entire Areas %
Vynil_1	3.4600	25.2600	25.0000	5211.15	1953.26	59.6245	12.8810
Vynil_2	3.7800	24.9200	25.0000	6549.09	2610.45	69.5250	15.2113
Vynil_3	3.5300	24.7600	25.0000	5570.48	2233.16	63.7334	17.3666
Average	3.5900	24.9800	25.0000	5776.91	2265.62	64.2943	15.1530
Standard Deviation	0.16823	0.25534	0.00000	692.445	329.796	4.97403	2.24337
UP_1	3.1000	25.7900	25.0000	3959.51	404.256	49.5255	33.8538
UP_2	3.3400	25.2900	25.0000	2437.95	489.339	28.8622	18.6988
UP_3	3.1000	24.9900	25.0000	4657.53	368.540	60.1212	28.3995
Average	3.1800	25.3567	25.0000	3685.00	420.712	46.1696	26.9840
Standard Deviation	0.13856	0.40415	0.00000	1134.97	62.0580	15.8974	7.67601
Epoxy_1	2.7700	26.9300	25.0000	2729.88	2716.56	36.5954	4.19600
Epoxy_2	2.8500	22.8000	25.0000	2164.36	2681.17	33.3082	11.9460
Epoxy_3	3.0500	24.0200	25.0000	3209.36	2219.49	43.8072	31.0359
Average	2.8900	24.5833	25.0000	2701.20	2539.07	37.9036	15.7260
Standard Deviation	0.14422	2.12185	0.00000	523.090	277.332	5.37036	13.8134
TotalAverage	3.2200	24.9733	25.0000	4054.37	1741.80	49.4558	19.2877
TotalStandard Deviation	0.33144	1.13792	0.00000	1536.49	1021.33	14.6027	9.85252

(lanjutan)



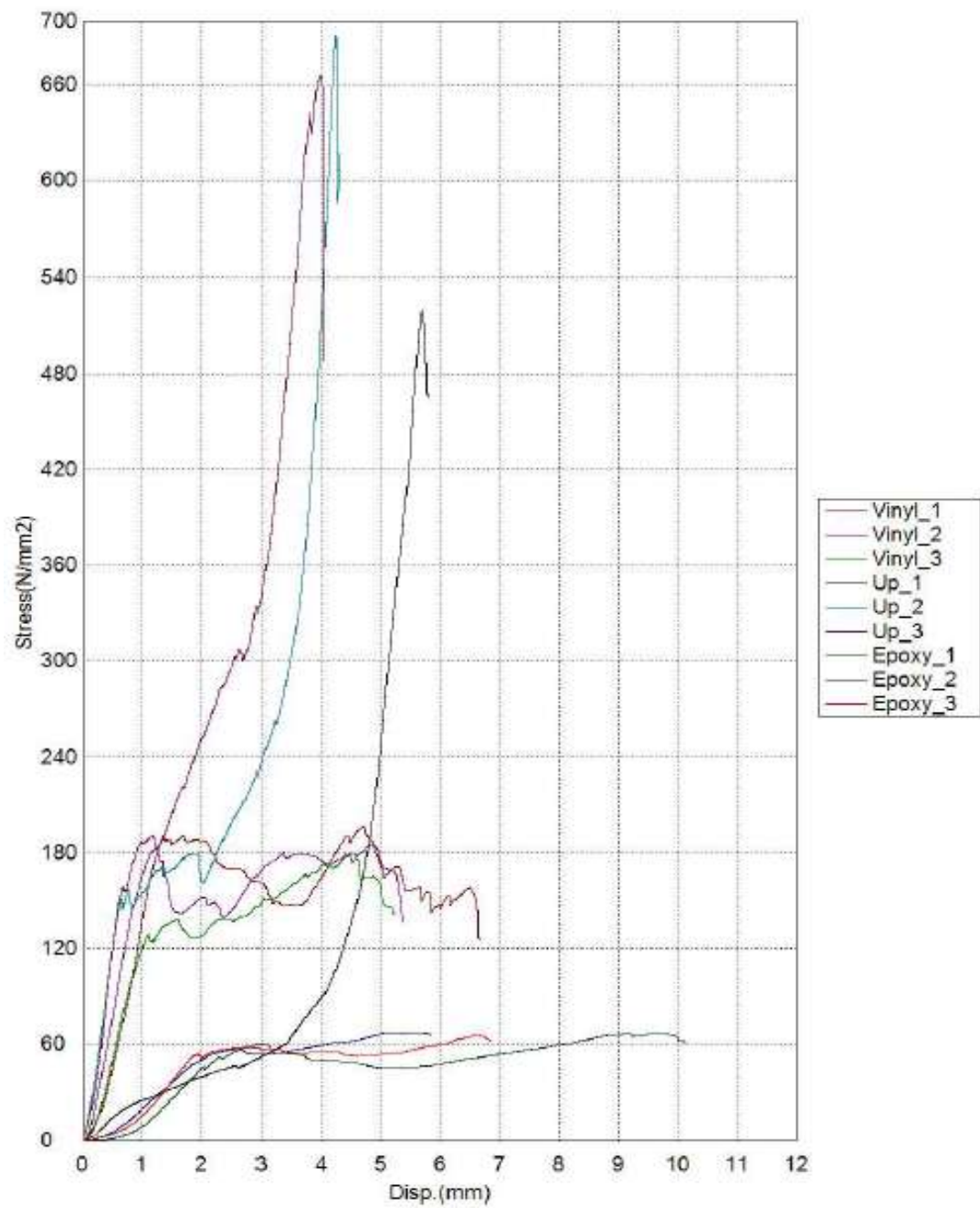
Lampiran 3. Hasil Uji *Shear*

Sentra Teknologi Polimer

No Order	1425279071	Test File Name	1425279071_shear_komposit_campur.xtak
Method File Name	ASTM D2344 Komposit.xmak	Operator	sgb
Test Date	3/4/2015	Temperature	23.6oC
Humidity:	52.2%	Test Mode	Single
Test Type	3 Point Bend	Speed	1mm/min
Shape	Plate		

Name Parameters Unit	Thickness mm	Width mm	Lower_Support mm	Max_Stress Calc. at Entire Areas N/mm2	Max_Force Calc. at Entire Areas N	short-Beam Strength N/mm2
Vinyl_1	5.9309	17.2491	23.0810	196.261	3439.51	25.2157
Vinyl_2	6.2992	17.5895	23.0810	184.868	3726.83	25.2268
Vinyl_3	6.2713	18.1788	23.0810	179.742	3711.79	24.4187
Average	6.1671	17.6725	23.0810	186.957	3626.04	24.9537
Standard Deviation	0.20506	0.47037	0.00000	8.45531	161.718	0.46339
Up_1	3.4798	8.5496	17.2800	520.275	2078.03	52.3857
Up_2	3.1598	8.5598	17.2800	690.937	2278.17	63.1719
Up_3	3.2207	9.4793	17.2800	665.743	2525.50	62.0415
Average	3.2868	8.8629	17.2800	625.652	2293.90	59.1997
Standard Deviation	0.16992	0.53384	0.00000	92.1242	224.149	5.92810
Epoxy_1	5.3492	16.9088	22.2080	66.5769	966.970	8.01812
Epoxy_2	5.6490	18.4099	22.2080	67.3713	1188.14	8.56852
Epoxy_3	5.6210	19.7307	22.2080	66.0168	1235.45	8.35469
Average	5.5397	18.3498	22.2080	66.6550	1130.19	8.31378
Standard Deviation	0.16560	1.41191	0.00000	0.68062	143.316	0.27747
TotalAverage	4.9979	14.9617	20.8563	293.088	2350.04	30.8224
TotalStandard Deviation	1.32111	4.65118	2.70876	258.969	1092.70	22.6658

(lanjutan)



Lampiran 4. Hasil Uji *Flexural*

SENTRA TEKNOLOGI POLIMER

Order Number	1425279071	Product Name	Komposit Fiberglass + Unsaturated Poliester
Test File Name	1425279071_Flexural_komposit_campur.xtak	Method File Name	ASTM D790.xmak
Operator	sgh	Report Date	5/4/2015
Test Date	3/4/2015	Temperature	23.9oC
Humidity:	53.9%	Test Mode	Single
Test Type	3 Point Bend	Speed	2.402mm/min

Name Parameters Unit	Thickness mm	Width mm	Lower_Supp ort mm	Elastic Strain 0.025 - 0.25 % GPa	Max_Force Calc. at Entire Areas N	Max_Stress Calc. at Entire Areas MPa	Max_Strain Calc. at Entire Areas %
Vinyl_1	6.4800	11.3500	101.6000	11.6252	604.057	193.160	2.02761
Vinyl_2	6.5700	12.9900	101.6000	9.79783	709.407	192.815	2.89806
Vinyl_3	5.8300	13.6700	101.6000	12.6236	622.161	204.072	2.08511
Average	6.2933	12.6700	101.6000	11.3489	645.208	196.682	2.33693
Standard Deviation	0.40377	1.19264	0.00000	1.43301	56.3297	6.40197	0.48681
UP_1	4.2300	13.3600	68.6080	1.94849	109.402	47.0983	3.27126
UP_2	4.3400	14.4100	68.6080	2.79938	134.913	51.1537	2.49464
UP_3	4.4000	12.3200	68.6080	2.15177	89.0017	38.4015	1.68970
Average	4.3233	13.3633	68.6080	2.29988	111.106	45.5512	2.48520
Standard Deviation	0.08622	1.04500	0.00000	0.44436	23.0030	6.51536	0.79082
Epoxy_1	5.4100	12.5900	87.3280	6.83177	354.099	125.878	2.91995
Epoxy_2	5.3700	11.2100	87.3280	8.91360	300.336	121.702	2.02004
Epoxy_3	5.6300	13.5700	87.3280	6.93858	420.602	128.091	2.41029
Average	5.4700	12.4567	87.3280	7.56132	358.346	125.224	2.45009
Standard Deviation	0.14000	1.18564	0.00000	1.17233	60.2454	3.24437	0.45127
TotalAverag e	5.3622	12.8300	85.8453	7.07003	371.553	122.486	2.42407
TotalStanda rd Deviation	0.88415	1.07172	14.3292	4.04913	235.411	65.6531	0.52059

(lanjutan)

