



TUGAS AKHIR - TM 141585

**PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN JUMLAH
LAYER GLASS FIBER DENGAN PERBANDINGAN
FRAKSI VOLUME YANG TETAP PADA KOMPOSIT
EPOXY - HOLLOW GLASS MICROSPHERES
TERHADAP KARAKTERISTIK TENSILE**

**FADLI ADIPUTRA
NRP 2111 100 125**

**Dosen Pembimbing
Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - TM 141585

**EFFECT OF ADDITIONAL AMOUNT GLASS FIBER
LAYERS VARIATION WITH CONSTANT VOLUME
FRACTION OF EPOXY - HOLLOW GLASS
MICROSPHERES COMPOSITE ON TENSILE
CHARACTERISTICS**

**FADLI ADIPUTRA
NRP 2111 100 125**

**Advisor Lecturer
Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc.**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016**

**Pengaruh Variasi Penambahan Jumlah *Layer Fiber Glass*
dengan Perbandingan Fraksi Volume yang Tetap pada
Komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* Terhadap
Karakteristik *Tensile***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Metalurgi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Noverber

Oleh :
Fadli Adiputra
Nrp. 2111 100 125

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Wahyu Wijanarko, ST, M.Sc(Pembimbing)
(NIP . 198202092012121001)
2. Dr. Eng. Sutikno, ST, MT(Penguji I)
(NIP . 197407032000031001)
3. Ir. Hari Subiyanto, M.Sc(Penguji II)
(NIP . 196006231988031002)
4. Indra Sidharta, ST, M.Sc(Penguji III)
(NIP . 198006192006041004)

**SURABAYA
JANUARI, 2016**

**PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN JUMLAH
LAYER GLASS FIBER DENGAN PERBANDINGAN
FRAKSI VOLUME YANG TETAP PADA KOMPOSIT
EPOXY-HOLLOW GLASS MICROSPHERES
TERHADAP KARAKTERISTIK TENSILE**

Nama Mahasiswa : Fadli Adiputra
NRP : 2111 100 125
Jurusan : Teknik Mesin -ITS
Dosen Pembimbing : Wahyu Wijanarko, ST., M. Sc.

Abstrak

Material komposit mempunyai berbagai macam keunggulan dibandingkan material logam pada umumnya sehingga saat ini banyak sekali penggunaan komposit di berbagai bidang. Hal ini mengakibatkan banyak dilakukannya penelitian terhadap material komposit. Salah satunya yaitu material komposit dengan matriks berupa polimer dengan filler hollow glass microsphere yang telah terbukti dapat meningkatkan berbagai sifat mekaniknya terutama sifat kompresi. Telah diketahui pula dengan berbagai aplikasi dan penelitian penggunaan material komposit laminates dengan penguat glass fiber mampu meningkatkan sifat mekanik serta energy impact yang dapat diserap. Akan tetapi belum banyak penelitian mengenai hybrid composite, yaitu gabungan dari dua atau lebih penguat dengan satu matriks, terutama menggunakan komposit matriks polimer dengan filler hollow glass microsphere yang kemudian ditambahkan penguat lainnya seperti glass fiber. Dengan gabungan dari dua penguat tersebut diharapkan sifat mekanik dari material hybrid dapat meningkat secara signifikan, sehingga dapat digunakan pada rompi anti peluru, bumper kendaraan atau aplikasi lainnya yang membutuhkan ketangguhan dan kekuatan yang tinggi.

Penelitian ini dilaksanakan pada komposit hybrid berbahan serat glass fiber berbentuk anyaman dan dipadukan

dengan fraksi volume 16% hollow glass microsphere yang kemudian dilakukan pengujian tarik. Dengan variasi jumlah lapisan fiber glass 6, 8, 10, 12, dan 14 serta dengan urutan orientasi glass fiber [$45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}/\dots/0^{\circ}$]. Spesimen menerima dua perlakuan yang berbeda yaitu, spesimen I di-curing pada temperatur kamar ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) selama 24 jam dan spesimen II di-curing pada temperatur 90°C selama 24 jam. Matriks yang digunakan adalah resin epoxy UNION dengan hardener epoxy UNION. Perbandingan antara epoxy dan hardener yaitu 1: 3. Proses pembuatan menggunakan metode hand lay-up.

Hasil yang didapatkan adalah dengan peningkatan temperature curing komposit hybrid maka kekuatan tariknya akan meningkat, hal ini terjadi karena komposit yang di-curing pada temperatur tinggi memiliki ikatan crosslink lebih banyak sehingga ikatan epoxy dan HGM lebih kuat dan nilai kekuatan tarik pada komposit akan meningkat. Adanya perbedaan nilai kekuatan tarik pada variasi jumlah lapisan yang seharusnya konstan menurut teori. Perbedaan nilai ini dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu tidak konstannya perbandingan antara fraksi volume matriks dengan fraksi volume glass fiber yang berdampak pada kekuatan ikatan matris-penguat dan terdapatnya void pada komposit. Kekuatan tarik maksimum didapatkan pada komposit dengan jumlah lapisan 12 yaitu sebesar 129,844 MPa untuk komposit temperature curing kamar selama 24 jam dan 175,706 untuk komposit temperatur curing 90°C selama 24 jam. Penerapan komposit hybrid pada rompi anti peluru dengan membandingkan material komposit penelitian sebelumnya berdasarkan luasan efektif dan tebal efektif dengan data energy rompi anti peluru dan ketangguhan komposit hybrid, maka komposit hybrid membutuhkan dimensi efektif yang lebih besar dibandingkan komposit penelitian sebelumnya.

Kata kunci: komposit hibrida, komposit lapisan, epoxy, glass fiber, hollow glass microspheres, kekuatan tarik.

EFFECT OF ADDITIONAL AMOUNT GLASS FIBER LAYERS VARIATION WITH CONSTANT VOLUME FRACTION OF EPOXY-HOLLOW GLASS MICROSPHERES COMPOSITE ON TENSILE CHARACTERISTICS

Student Name : Fadli Adiputra
Student ID : 2111 100 125
Department : Mechanical Engineering – ITS
Advisor Lecturer : Wahyu Wijanarko, ST., M. Sc.

Abstract

Generally composite materials have many advantages in compare with metal materials, hence nowadays there are many composite application on various fields. This resulting in a lot of research on composite materials. One of them is a composite material with polymer as a matrix and being reinforced by hollow glass microsphere which has been shown to increase its mechanical properties, especially compression properties. It is also known with various applications and research of laminate composites material that being reinforced by glass fiber resulting in improvement of its mechanical properties and the impact energy that can be absorbed. However there are still not many research on hybrid composite, which is a combination of two or more reinforce with a single matrix, mainly using polymer as a matrix and being reinforced by hollow glass microsphere and another reinforce such as glass fiber. Expectedly with the combination of two reinforce its mechanical properties can be enhanced significantly, so it can be used on body armor, vehicle bumper or another application that need high toughness and strength.

The composite materials of woven roving hybrid composite and hollow glass microspheres with fraction volume 16% are being tested on its tensile properties, with the variation of amount glass fiber layer that are 6, 8, 10, 12, 14 and with its sequent orientation $[45^0/0^0/45^0/..../0^0]$. The specimen received two different treatment

such as, first specimen is being cured on room temperature ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) during 24 hours and second specimen is being cured on 90°C temperature during 24 hours. Matrix that being used is epoxy UNION with hardener epoxy UNION. The ratio of epoxy and hardener is 1:3. The process on this research is using hand lay-up methods.

The results obtained from the research are with the increasing of curing temperature its tensile strength also increased, this happened because composite that being cured on high temperature will have more crosslink bond, and as a result the bond of epoxy and HGM is stronger and so on its tensile strength. Based on theory the differences of tensile strength on variation amount of layers should be constant. This differences are influences on several factors, such as the instability of matrix volume fraction ratio and glass fiber volume fraction ratio that will impact on the strength of matrix-reinforce bond, and another factor is the content of void on composite. Maximum tensile strength that obtained is on composite with 12 amount variation of layers i.e., 129,844 MPa for hybrid composite that being cured on room temperature during 24 hours and 175,706 MPa for hybrid composite that being cured on 90°C during 24 hours. The application of composite hybrid on body armor with the comparison of composite material based on previous research are on effective area and thickness that needed with internal energy of body armor on previous research and composite hybrid's toughness. Then from that comparison, composite hybrid need more dimension than composite material's previous research.

Key words: hybrid composite, laminates, epoxy, glass fiber, hollow glass microspheres, tensile strength.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjarkan kehadirat Alloh SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan penelitian tugas akhir ini. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Baginda Besar Nabi Muhammad SAW. Penelitian tugas akhir ini berjudul “**Pengaruh Variasi Penambahan Jumlah *Layer Glass Fiber* dengan Perbandingan Fraksi Volume yang Tetap pada Komposit *Epoxy – Hollow Glass Microspheres* Terhadap Karakteristik *Tensile***”. Pada kesempatan ini penulis bermaksud untuk mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Orang tua Bapak **Nur Achmad** dan Ibu **Ida Winingsih**, untuk semua doa, restu, kasih sayang, pengorbanan, dan motivasi tiada henti yang dicurahkan kepada penulis. Hormat dan dedikasi setinggi-tingginya untuk kedua orang tuaku.
2. **Muhammad Seisar Adinugraha, SE.** sebagai kakak dan sodara kandung yang sangat perhatian dan membantu adiknya dalam berbagai persoalan.
3. **Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc.** selaku dosen wali dan pembimbing tugas akhir ini. Terima kasih untuk semua waktu, kritik, saran, dan motivasi yang diberikan ditengah – tengah kesibukan bapak, tanpa itu semua penulis tidak akan dapat menyelesaikan studi di Teknik Mesin ITS.
4. **Ir. Hari Subiyanto, M.Sc, Dr. Eng. Sutikno, ST., MT, Indra Sidharta, ST., M.Sc.** selaku dosen penguji tugas akhir. Terima kasih atas nasehat dan saran yang telah diberikan kepada penulis.
5. **Wilda Charisma Yunaz, ST.** atas semua perhatian, kasih sayang dan kesabaran yang diberikan sehingga penulis selalu merasa nyaman dan bahagia.
6. **Syahrafi W** sebagai sahabat sekaligus “*partner in crime*” yang selalu senasib seperjuangan dalam berbagai hal dan

selalu membantu penulis. *SELAMAT kawan akhirnya yang kita idam-idamkan "ST" terpenuhi juga!*

7. Bos MMC **Ngurah Bagus Arya**, Om **Rony**, Gubernur Pati **Par'iy**, Juragan **Gandung**, dan teman-teman MMC 2011 lainnya yang sudah banyak memberikan dorongan dan ilmu-ilmu soft skill maupun hard selama di kepengurusan. *Ndang nyusul yo rek yang belum!*
8. **Tim Sapu Angin ITS** yang selalu membantu dan meminjamkan berbagai alat kepada penulis.
9. **Teman-teman M54** terima kasih *dulur*, semoga cepat reunion dan pada sukses semua.
10. **Teman-teman warga Lab. Metalurgi raya** yang selalu membantu dan berdiskusi dengan penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
11. Serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuannya yang tidak bisa disebutkan satu per satu di halaman ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini memiliki banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan dan kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	v
Abstrak	vii
Abstract	ix
Kata Pengantar	xi
Daftar Isi	xiii
Daftar Gambar	xvii
Daftar Tabel	xxi

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan Penelitian.....	3

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Komposit	6
2.2.1 Matriks	8
2.2.2 Penguat.....	8
2.2.2.1 Komposit Partikel	10
2.2.2.2 Komposit Serat.....	13
2.2.2.3 <i>Hybrid Composite</i>	16
2.3 Polimer	17
2.4 <i>Epoxy Resin</i>	18
2.5 <i>Hollow Glass Microspheres</i>	19
2.6 Penguat <i>glass fiber</i>	21
2.7 Aditif	23
2.8 Perhitungan Komposit.....	24
2.8.1 Karakteristik Umum.....	24
2.8.2 Karakteristik Campuran	24
2.8.3 <i>Rules of Mixture</i>	25
2.9 Metode Manufaktur <i>Hand Lay-up</i>	25

2.10	Proses <i>curing</i>	27
2.11	<i>Cristalinity</i> Polimer.....	28
2.12	Ikatan <i>Interface</i>	29
2.12.1	Teori <i>Wetting</i>	30
2.12.2	Jenis Ikatan.....	31
2.13	Rompi Anti Peluru.....	33
2.14	Pengujian Tarik.....	34

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian	37
3.2	Persiapan Spesimen	39
3.2.1	<i>Flowchart</i> Penentuan Jumlah Lapisan	39
3.2.1.1	Contoh Perhitungan Jumlah Lapisan	41
3.2.2	<i>Flowchart</i> Perhitungan Spesimen	43
3.2.2.1	Contoh Perhitungan Spesimen	45
3.2.3	Tabel Perhitungan Volume Komposit dan Volume <i>Glass Fiber</i>	46
3.2.4	Tabel Perhitungan Volume HGM dan Volume Resin.....	46
3.2.5	Tabel Perhitungan Volume Epoxy dan Volume Hardener.....	47
3.2.6	Tabel Spesimen Teori	47
3.2.7	Rules of Mixture	47
3.3	Alat dan Bahan.....	47
3.4	Langkah-Langkah Percobaan	54
3.4.1	Pembentukan Komposit	54
3.4.2	Pengamatan Bentuk Fisik Lembaran Komposit.	55
3.4.3	Pembentukan Spesimen.....	56
3.5	Prosedur Perhitungan Massa Jenis Komposit	56
3.6	Pelaksanaan Uji Tarik.....	56
3.6.1	Spesimen Uji Tarik	56
3.6.2	Prosedur Uji Tarik.....	57

BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1	Data Spesimen Ukur	59
-----	--------------------------	----

4.2	Data Hasil Pengujian Tarik Komposit <i>Hybrid</i>	61
4.2.1	Perbandingan Densitas Komposit Teori dengan Densitas Komposit Ukur	63
4.2.2	Pengaruh Variasi Temperatur <i>Curing</i> Terhadap Tegangan Tarik Komposit.....	64
4.2.3	Pembahasan Variasi Jumlah Lapisan Penambahan <i>Glass Fiber</i> Terhadap Tegangan <i>Tensile</i> Komposit vs Tegangan <i>Tensile</i> Secara Teori	66
4.3	Penerapan Spesimen pada Rompi Anti Peluru	69
4.3.1	Perbandingan Dimensi Berdasarkan Energi Internal Rompi dan Ketangguhan Komposit.....	69
4.4	Hasil Pengamatan Makro Patahan Spesimen Uji Tarik.....	73
4.4.1	Spesimen dengan Jumlah Lapisan 6 <i>Glass Fiber</i>	73
4.4.2	Spesimen dengan Jumlah Lapisan 8 <i>Glass Fiber</i>	75
4.4.3	Spesimen dengan Jumlah Lapisan 10 <i>Glass Fiber</i>	77
4.4.4	Spesimen dengan Jumlah Lapisan 12 <i>Glass Fiber</i>	79
4.4.5	Spesimen dengan Jumlah Lapisan 14 <i>Glass Fiber</i>	81
4.4.6	Pembahasan Mode Patahan Spesimen	83
4.4.7	Perbandingan Mode Patahan Spesimen Terhadap Temperatur <i>Curing</i>	84
4.5	Pengamatan Hasil SEM pada Patahan Pengujian Tarik.....	86
4.5.1	Pengamatan Hasil SEM pada Jumlah Lapisan <i>Curing</i> Temperatur 90°C.....	86
4.5.2	Pengamatan Hasil SEM pada Jumlah Lapisan <i>Curing</i> Temperatur 90°C.....	88
4.5.3	Perbandingan Hasil SEM	90

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	93
5.2 Saran	93
DAFTAR PUSTAKA	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi komposit	7
Gambar 2.2	Komposit berpenguat serat	9
Gambar 2.3	Komposit berpenguat lamina	9
Gambar 2.4	Komposit berpenguat partikel.....	9
Gambar 2.5	Jenis komposit hibrida	10
Gambar 2.6	Beberapa bentuk partikel <i>filler</i>	10
Gambar 2.7	Komposit butir	11
Gambar 2.8	Contoh kurva tegangan-regangan <i>epoxy/HGM</i>	11
Gambar 2.9	Ilustrasi diagram tegangan regangan	12
Gambar 2.10	Skema peningkatan kekuatan <i>microspheres</i>	13
Gambar 2.11	Skema <i>interface</i> pada komposit serat	14
Gambar 2.12	Pola deformasi matriks disekitar fiber.....	15
Gambar 2.13	Kemungkinan patahan mikro dari <i>glass fiber</i>	15
Gambar 2.14	Skema kegagalan <i>glass fiber</i> pada uji <i>tensile</i>	16
Gambar 2.15	<i>Hollow glass microspheres</i>	19
Gambar 2.16	<i>Chopped strand matt glass fiber</i>	22
Gambar 2.17	<i>Roving glass fiber</i>	22
Gambar 2.18	<i>Woven roving glass fiber</i>	23
Gambar 2.19	<i>Woven cloth glass fiber</i>	23
Gambar 2.20	Proses <i>hand lay-up</i>	26
Gambar 2.21	Tipe rantai polimer	28
Gambar 2.22	Struktur <i>semicristaline</i> pada polimer.....	28
Gambar 2.23	<i>Interface epoxy-HGM</i>	30
Gambar 2.24	Sudut kontak dan <i>Surface tensión</i>	31
Gambar 2.25	Ikatan <i>interdiffusion</i>	31
Gambar 2.26	Ikatan reaksi <i>electrostatic</i>	32
Gambar 2.27	Ikatan <i>cationic-anionic bonding</i>	32
Gambar 2.28	<i>Chemical bonding</i>	32
Gambar 2.29	<i>Mechanical adhesión</i>	33
Gambar 2.30	Rompi anti peluru	34
Gambar 2.31	Skema uji Tarik	35
Gambar 3.1	Diagram alir percobaan.....	37
Gambar 3.1.1	Lanjutan diagram alir percobaan	38

Gambar 3.2	<i>Flowchart</i> penentuan jumlah lapisan	39
Gambar 3.2.1	Lanjutan <i>flowchart</i> penentuan jumlah lapisan....	40
Gambar 3.3	<i>Flowchart</i> perhitungan spesimen.....	43
Gambar 3.3.1	Lanjutan <i>flowchart</i> perhitungan spesimen.....	44
Gambar 3.4	Timbangan digital	48
Gambar 3.5	Gelas plastik.....	48
Gambar 3.6	Spatula	49
Gambar 3.7	Sumpit.....	49
Gambar 3.8	Gunting	49
Gambar 3.9	Lilin malam.....	50
Gambar 3.10	Cetakan loyang	50
Gambar 3.11	Kuas.....	50
Gambar 3.12	<i>Furnace</i>	51
Gambar 3.13	Kapi	51
Gambar 3.14	Gerinda	51
Gambar 3.15	<i>Universal testing machine shimadzu corp</i>	52
Gambar 3.16	Kamera digital	52
Gambar 3.17	<i>Scanning electron microscope Zeiss EVO MA</i> ... 52	
Gambar 3.18	Resin <i>epoxy</i>	53
Gambar 3.19	HGM jenis iM30K.....	53
Gambar 3.20	<i>Glass fiber</i> jenis <i>woven roving</i>	53
Gambar 3.21	<i>Thinner A</i> spesial.....	53
Gambar 3.22	<i>Wax</i>	54
Gambar 3.23	Polivinil Asetat	54
Gambar 3.24	Spesimen uji Tarik.....	57
Gambar 4.1	Grafik masa jenis komposit secara teori dan secara ukur terhadap jumlah lapisan	63
Gambar 4.2	Grafik tegangan Tarik vs jumlah lapisan <i>glass fiber</i> untuk temperatur <i>curing</i> 27°C selama 24 jam dan temperature <i>curing</i> 90°C selama 24 jam. 64	
Gambar 4.3	Grafik tegangan Tarik hasil percobaan vs tegangan tarik secara teori pada <i>curing</i> temperature kamar terhadap jumlah lapisan <i>glass fiber</i>	66

Gambar 4.4	Grafik tegangan tarik hasil percobaan vs tegangan tarik secara teori pada <i>curing</i> temperature 90°C terhadap jumlah lapisan <i>glass fiber</i>	66
Gambar 4.5	Foto makro tampak atas spesimen jumlah lapisan 6 <i>glass fiber</i> pada temperature kamar	73
Gambar 4.6	Foto makro tampak samping spesimen jumlah lapisan 6 <i>glass fiber</i> pada temperature kamar	73
Gambar 4.7	Foto makro tampak atas spesimen jumlah lapisan 6 <i>glass fiber</i> pada temperature 90°C.....	74
Gambar 4.8	Foto makro tampak samping spesimen jumlah lapisan 6 <i>glass fiber</i> pada temperature 90°C.....	74
Gambar 4.9	Foto makro tampak atas spesimen jumlah lapisan 8 <i>glass fiber</i> pada temperature kamar	75
Gambar 4.10	Foto makro tampak samping spesimen jumlah lapisan 8 <i>glass fiber</i> pada temperature kamar	75
Gambar 4.11	Foto makro tampak atas spesimen jumlah lapisan 8 <i>glass fiber</i> pada temperature 90°C.....	76
Gambar 4.12	Foto makro tampak samping spesimen jumlah lapisan 8 <i>glass fiber</i> pada temperature 90°C.....	76
Gambar 4.13	Foto makro tampak atas spesimen jumlah lapisan 10 <i>glass fiber</i> pada temperature kamar	77
Gambar 4.14	Foto makro tampak samping spesimen jumlah lapisan 10 <i>glass fiber</i> pada temperature kamar	77
Gambar 4.15	Foto makro tampak atas spesimen jumlah lapisan 10 <i>glass fiber</i> pada temperature 90°C.....	78
Gambar 4.16	Foto makro tampak samping spesimen jumlah lapisan 10 <i>glass fiber</i> pada temperature 90°C.....	78
Gambar 4.17	Foto makro tampak atas spesimen jumlah lapisan 12 <i>glass fiber</i> pada temperature kamar	79
Gambar 4.18	Foto makro tampak samping spesimen jumlah lapisan 12 <i>glass fiber</i> pada temperature kamar	79
Gambar 4.19	Foto makro tampak atas spesimen jumlah lapisan 12 <i>glass fiber</i> pada temperature 90°C.....	80

Gambar 4.20 Foto makro tampak samping spesimen jumlah lapisan 12 <i>glass fiber</i> pada temperature 90°C.....	80
Gambar 4.21 Foto makro tampak atas spesimen jumlah lapisan 14 <i>glass fiber</i> pada temperature kamar	81
Gambar 4.22 Foto makro tampak samping spesimen jumlah lapisan 14 <i>glass fiber</i> pada temperature kamar.....	81
Gambar 4.23 Foto makro tampak atas spesimen jumlah lapisan 14 <i>glass fiber</i> pada temperature 90°C.....	82
Gambar 4.24 Foto makro tampak samping spesimen jumlah lapisan 12 <i>glass fiber</i> pada temperature 90°C.....	82
Gambar 4.25 Distribusi tegangan pada <i>glass fiber</i>	83
Gambar 4.26 Ilustari patahan pada komposit serat	85
Gambar 4.27 Arah pengambilan foto SEM spesimen jumlah lapisan 12 <i>curing</i> temperature 90°C	86
Gambar 4.28 Hasil SEM komposit <i>hybrid</i> jumlah lapisan 12 <i>curing</i> temperature 90°C.....	87
Gambar 4.29 Matriks <i>cracking</i> akibat HGM yang terlepas.....	87
Gambar 4.30 Arah pengambilan foto SEM spesimen jumlah lapisan 14 <i>curing</i> temperature 90°C	88
Gambar 4.31 Hasil SEM komposit <i>hybrid</i> jumlah lapisan 14 <i>curing</i> temperature 90°C.....	89
Gambar 4.32 Matriks <i>cracking</i> akibat adanya <i>void</i>	89
Gambar 4.33 Mekanisme <i>microspheres</i> menahan retakan.....	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Fraksi volume fiber pada umumnya	7
Tabel 2.2	Perbandingan <i>epoxy</i> dan polimer lainnya	19
Tabel 2.3	Data spesifikasi teknis HGM jenis IM30K	20
Tabel 2.4	Data Tg dari <i>epoxy</i> resin	27
Tabel 3.2.3	Tabel perhitungan volume komposit dan volume <i>glass fiber</i>	46
Tabel 3.2.4	Tabel perhitungan volumHGM dan volum resin ..	46
Tabel 3.2.5	Tabel perhitungan volume <i>epoxy</i>	47
Tabel 3.2.6	Tabel spesimen teori	47
Tabel 4.1	Data spesimen ukur komposit <i>curing</i> temperature kamar selama 24 jam	59
Tabel 4.2	Data spesimen ukur komposit <i>curing</i> temperature 90°C selama 24 jam	60
Tabel 4.3	Data berat spesimen komposit <i>curing</i> temperature kamar selama 24 jam	60
Tabel 4.4	Data berat spesimen komposit <i>curing</i> temperature 90°C selama 24 jam	61
Tabel 4.5	Hasil uji tarik komposit <i>curing</i> temperature kamar selama 24 jam	62
Tabel 4.6	Hasil uji tarik komposit <i>curing</i> temperature 90°C selama 24 jam	62
Tabel 4.7	Perbandingan fraksi volume spesimen temperature <i>curing</i> kamar	68
Tabel 4.8	Perbandingan fraksi volume spesimen temperature <i>curing</i> 90°C	68
Tabel 4.9	Energi yang dimiliki oleh rompi pada ketebalan 25m	70
Tabel 4.10	Luas efektif rompi anti peluru ketebalan 25mm ...	70
Tabel 4.11	Luasan efektif rompi anti peluru spesimen komposit <i>hybrid curing</i> temperature kamar	70
Tabel 4.12	Luasan efektif rompi anti peluru spesimen Komposit <i>hybrid curing</i> temperature 90°C.....	71

Tabel 4.13	Tebal efektif rompi anti peluru komposit <i>hybrid curing</i> temperature kamar	72
Tabel 4.14	Tebal efektif rompi anti peluru komposit <i>hybrid curing</i> temperature 90°C	72
Tabel 4.15	Penurunan sifat mekanik komposit pada kandungan <i>void</i> 0% - 4%	92

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Material komposit *laminates* telah banyak digunakan pada bidang militer, *aerospace*, angkatan laut dan struktur otomotif. Hal ini dikarenakan material komposit mempunyai keunggulan antara lain kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap korosi yang lebih tinggi dibandingkan material logam lainnya [1]. Salah satu peran komposit pada bidang militer yaitu pada pembuatan rompi anti peluru karena sifat *strength-to-weight* rasio nya yang baik.

Sifat material komposit diperoleh dari penggabungan matriks utama dengan *reinforcement* (penguat) melalui proses pembuatan yang bervariasi sehingga akan berpengaruh pada kelebihan dan kekurangan masing-masing material komposit tersebut. Kelebihan yang dapat diperoleh adalah peningkatan daya redam energi, ringan, desain fleksibel, daya tahan terhadap korosi lebih baik, dan lainnya. Adapun kekurangan dari material komposit adalah biaya yang relatif tinggi dan karakteristik terhadap temperatur relatif kurang baik.

Telah banyak penelitian yang dilakukan menggunakan material komposit berupa polimer karena memiliki berat lebih ringan tanpa mengurangi kelebihan dari material komposit serta sifat lainnya yang dibutuhkan [2, 3, 4, 5]. Material komposit ini diproduksi dengan cara mencampur resin dengan *hollow glass microsphere* (HGM). Terdapat pula penelitian dengan penambahan penguat serat berupa *glass fiber* yang telah terbukti dapat meningkatkan secara signifikan energi *impact* yang dapat diserap [6]. Akan tetapi belum banyak penelitian mengenai *hybrid composite* terutama menggunakan komposit polimer yang kemudian ditambahkan penguat lainnya seperti *glass fiber*.

Pada tahun 2006 Ghafaar *et al.* [7] menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi untuk komposit *hybrid glass fiber-carbon fiber* dengan matriks *epoxy* adalah pada fraksi volume serat 36,8%. Pada tahun 2007, I Made Astika [8] menunjukkan bahwa dengan

semakin besar fraksi volume serat dalam komposit maka kekuatan tariknya akan semakin meningkat, selain itu komposit dengan serat kaca berbentuk *woven roving* menunjukkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang menggunakan serat kaca berbentuk *chopped strand mat*. Pada tahun 2013, hasil penelitian Made Rasindradita [9] memperlihatkan bahwa penambahan fraksi volume HGM 10% dapat menaikkan tegangan tarik dan regangan tarik, akan tetapi pada penambahan 20% dan 30% HGM justru akan menurunkan nilai tegangan & regangan tariknya. Penelitian yang dilakukan Widiansyah Ritonga [10] pada tahun 2014, menghasilkan kesimpulan yaitu pada komposit dengan prosentase penambahan HGM sebesar 16% serta dilakukan perlakuan *curing* pada temperatur 90°C selama 24 jam merupakan komposit yang memiliki kekuatan tekan dan ketangguhan paling tinggi. Pada tahun yang sama Zahrah Lutfianisa Qurrotu'ain [11] melakukan simulasi pengujian rompi anti peluru yang terbuat dari komposit *matrix epoxy*-HGM dengan menggunakan *software finite element*. Dan hasil yang didapatkan adalah komposit dengan ketebalan 25 mm dapat memenuhi 2 standard keamanan.

Berdasarkan hal tersebut pada penelitian ini akan dibahas tentang pengaruh dari variasi penambahan *layer glass fiber* berjumlah 6, 8, 10, 12 dan 14 dengan perbandingan fraksi volume serat 36,8% dan 63,2% resin. Resin disini terdiri dari matriks berupa *epoxy* dan *filler* berupa HGM dengan fraksi volume 16%, serta dilakukan perlakuan *curing* pada temperature kamar selama 24 jam dan temperatur 90°C selama 24 jam terhadap karakteristik *tensile* dengan *matrix epoxy*. Sehingga nantinya penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan dalam berbagai bidang khususnya dalam pembuatan rompi anti peluru, serta sumbangan data bagi ilmu pengetahuan.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan jumlah *layer glass fiber* terhadap kekuatan tarik komposit *hybrid laminates*.

2. Bagaimana pengaruh *temperature curing* terhadap karakteristik tarik komposit *hybrid laminates*
3. Bagaimana penerapan komposit *hybrid laminates* pada rompi anti peluru berdasarkan data penelitian sebelumnya

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh penambahan jumlah layer *glass fiber* terhadap karakteristik tarik komposit *hybrid laminates*.
2. Menganalisis pengaruh *temperature curing* terhadap karakteristik tarik komposit *hybrid laminates*
3. Menganalisis penerapan komposit *hybrid laminates* pada rompi anti peluru berdasarkan data penelitian sebelumnya

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian dan pembahasan masalah ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan, maka perlu diberikan batasan masalah dan asumsi, yaitu:

1. Komposisi antara penguat dengan *matrix* di setiap lapisan dianggap sama
2. Spesimen yang dihasilkan dari proses pencetakan dianggap baik
3. Temperatur pada proses pembuatan dan pengujian dianggap konstan

1.5 Sistematika Penulisan Penelitian

Penulisan di susun dalam lima bab yaitu pendahuluan, dasar teori, metodologi penelitian, analisa data dan pembahasan, serta kesimpulan. Adapun perinciannya adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan dijelaskan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, pembatasan masalah serta tujuan penelitian.

BAB 2 DASAR TEORI

Pada bab dasar teori menjelaskan teori-teori dasar mengenai komposit hibrida, mekanika struktur komposit, karakteristik *hollow glass microsphere* (HGM) dan *glass fiber*, konsep proses *curing* serta konsep pengujian tarik.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab metodologi penelitian dijelaskan tentang data specimen yang digunakan, metode pengujian yang digunakan, diagram alir, metode pembuatan, metode pengumpulan data dan segala bentuk prosedur yang diperlukan untuk penelitian ini.

BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menampilkan pengolahan data dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dilanjutkan analisis data dan diskusi menampilkan pembahasan dari data yang didapatkan saat pengujian. Bentuk patahan dan analisis kegagalan akan diamati dengan menggunakan foto makro dan foto SEM.

BAB 5 KESIMPULAN

Pada bab kesimpulan dan saran diberikan dengan menarik kesimpulan dari hasil percobaan yang telah dianalisis beserta dengan saran untuk penelitian berikutnya.

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Komposit adalah suatu material yang terdiri dari gabungan dua atau lebih material penyusun yang sifatnya berbeda. Dimana satu material adalah berfungsi sebagai fase pengisi (*matrix*) sedangkan material lainnya sebagai fase penguat (*reinforce*). Dengan penggabungan material tersebut, maka akan didapatkan suatu material yang sifatnya lebih baik dari material penyusunnya. Dengan semakin berkembangnya teknologi komposit, maka memungkinkan komposit dapat didesain sedemikian rupa sesuai dengan karakteristik material yang diinginkan. Akan tetapi penelitian tentang pengaruh penambahan *layer glass fiber* pada komposit *hybrid laminates* pada karakteristik tarik *epoxy-glass fiber – hollow glass microsphere* (HGM) masih terbatas sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan.

Pada tahun 2006, Ghafaar *et. al* [7] melakukan penelitian untuk mengetahui kekuatan tarik komposit dengan matriks epoxy dan variasi penguat yaitu *glass fiber, carbon fiber* dan komposit *hybrid* dari kedua serat tersebut serta dengan variasi fraksi volume yang berbeda. Hasil penelitian tersebut menunjukkan komposit *hybrid* memiliki kekuatan tarik tertinggi dan fraksi volume serat yang memiliki kekuatan tarik maksimum yaitu 36,8%.

I Made Astika melakukan penelitian mengenai kekuatan tarik komposit serat kaca dengan matriks *polyester*. Serat kaca yang digunakan berbentuk *chopped strand mat* (CSM) dan *woven roving* (WR). Variabel yang divariasikan adalah fraksi volume serat dalam komposit. Perbandingan antara matriks dengan serat adalah 60:40, 68:32, dan 76:24. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa dengan semakin besar fraksi volume serat dalam komposit maka kekuatan tariknya akan semakin meningkat, selain itu komposit dengan serat kaca berbentuk WR menunjukkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang menggunakan serat kaca berbentuk CSM [8].

Dari penelitian yang dilakukan oleh Made Rasindradita mengenai pengaruh penambahan prosentase fraksi volume *hollow glass microsphere* (HGM) pada komposit *polyester* hibrida lamina dengan penguat serat kaca anyaman terhadap karakteristik tarik dan *bending*. Variabel yang divariasikan adalah fraksi volume HGM yaitu sebesar 10%, 20% dan 30% yang kemudian di *curing* suhu kamar selama 24 jam. Didapatkan bahwa penambahan fraksi volume HGM 10% dapat menaikkan tegangan tarik dan regangan tarik, akan tetapi pada penambahan 20% dan 30% HGM akan menurunkan nilai tegangan & regangan tariknya [9].

Widiansyah Ritonga melakukan penelitian mengenai kekuatan tekan dari matriks *epoxy* dan *filler hollow glass microsphere* (HGM). Variabel yang digunakan adalah penambahan prosentase HGM sebesar 15%, 16%, 17%, 18%, 19%, dan 20% dan terhadap variasi *curing*-nya dan *post-curing*-nya yaitu *curing* pada temperatur kamar selama 24 jam, *curing* pada temperatur kamar selama 24 jam kemudian dilanjutkan *post-curing* selama 5 jam pada suhu 90°C, dan *curing* pada suhu 90°C selama 24 jam. Hasil penelitian tersebut menunjukkan komposit dengan penambahan fraksi volume HGM 16% di *curing* pada temperatur 90°C selama 24 jam merupakan komposit yang memiliki kekuatan tekan & ketangguhan paling tinggi [10].

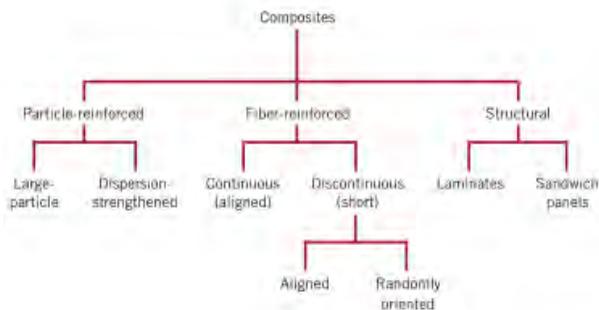
Simulasi yang dilakukan oleh Zahrah Lutfianisa Qurrotu'ain mengenai analisa kemampuan rompi anti peluru yang terbuat dari komposit *epoxy*- HGM dalam menyerap energi akibat impact proyektil dengan menggunakan *software finite element* menunjukan bahwa rompi dengan ketebalan 25 mm sudah mampu memenuhi 2 standard keamanan NIJ [11].

2.2 Komposit

Komposit adalah suatu material yang terdiri dari gabungan antara dua atau lebih material penyusun yang sifatnya berbeda. Perbedaan yang mencolok dengan paduan adalah komposit masih terlihat secara makroskopis unsur-unsur penyusunnya [12]. Komposit memiliki sifat-sifat sebagai berikut yaitu kekuatan dan

kekakuan tinggi, sangat ringan, ketahanan korosi oleh bahan kimia dan cuaca yang baik, mudah dibentuk, ketahanan *creep* tinggi, dan kekuatan tarik pada temperatur tinggi baik [13].

Bahan material ini terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai bahan pengikat (*reinforce*) dan bahan pendukung sebagai pengisi (*matrix*). Matriks dapat didefinisikan sebagai suatu bagian dari komposit yang berfungsi sebagai pengikat penguat yang satu dengan yang lain serta mendistribusikan dengan baik beban yang diterima oleh komposit ke penguat. Sedangkan penguat adalah komponen yang dimasukkan ke dalam matriks yang berfungsi sebagai penerima atau penahan beban utama yang dialami oleh komposit dan memiliki sifat lebih kuat dari matriks serta sebagai tempat melekatnya matriks [14]. Bahan penguat dapat berbentuk serat, partikel, serpihan atau juga dapat berbentuk lain. Antara matriks dan penguat akan terbentuk lapisan antarmuka (*interface*) yang terjadi akibat reaksi dengan *wetting agent*. Dengan penggabungan material tersebut, maka akan didapatkan suatu material yang sifatnya lebih baik dari material penyusunnya. Secara garis besar klasifikasi dari material komposit ditunjukkan pada gambar 2.1, dimana terdiri dari 3 divisi utama: *particle-reinforced*, *fiber-reinforced*, dan *structural composites*.



Gambar 2.1 Klasifikasi Komposit [15]

2.2.1 Matriks

Berdasarkan jenis matriksnya, maka komposit dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu [16]:

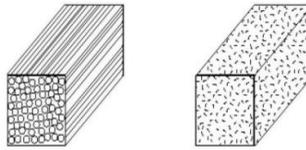
1. *Polymer Matrix Composite (PMC)* yang merupakan komposit dengan jenis matriks polimer
Contoh : *Thermoplastic, thermosetting*
2. *Metal Matrix Composite (MMC)* yang merupakan komposit berbahan matriks logam
Contoh: Alumunium, magnesium, titanium
3. *Ceramic Matric Composite (CMC)* yaitu komposit dengan bahan matriks keramik.
Contoh : Alumina, alumunium *titanate, silicon carbide*

Komposit berbahan matriks logam umumnya sering digunakan dalam bidang kedirgantaraan dan komponen-komponen otomotif. Komposit berbahan matriks keramik digunakan untuk keperluan perlindungan panas seperti pada pesawat luar angkasa. Komposit berbahan matriks polimer jauh lebih populer karena dapat digunakan pada berbagai aplikasi seperti peralatan rumah tangga hingga ke peralatan elektronik.

2.2.2 Penguat

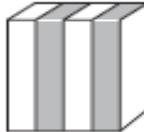
Penguat (*reinforce*) dalam teknologi komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai penguat yang memiliki sifat lebih kuat dari fase matriks dan merupakan suatu konstruksi/rangka tempat melekatnya matriks. Berdasarkan jenis penguatnya komposit dibagi menjadi:

1. Material komposit serat (*fibricus composite*) yaitu komposit yang terdiri dari serat dan bahan dasar yang diproduksi secara fabrikasi, misalnya serat dan resin sebagai bahan perekat. Dapat dilihat pada gambar 2.2. Sebagai contoh adalah *fiber reinforce plastic (FRP)* plastik diperkuat dengan serat dan banyak digunakan, yang sering disebut *fiber glass*.



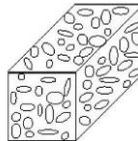
Gambar 2.2 Komposit berpenguat serat [16]

2. Komposit lapis (*laminated composite*), yaitu komposit yang terdiri dari lapisan dan bahan penguat, contohnya *polywood*, *laminated glass* yang sering digunakan sebagai bahan bangunan dan kelengkapannya. Seperti pada gambar 2.3.



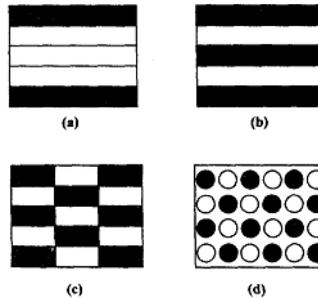
Gambar 2.3 Komposit berpenguat lamina [13]

3. Komposit partikel (*particulate composite*), yaitu komposit yang terdiri dari partikel dan bahan penguat seperti butiran (batu dan pasir) yang diperkuat dengan semen yang sering kita jumpai sebagai beton seperti gambar 2.4



Gambar 2.4 Komposit berpenguat partikel [13]

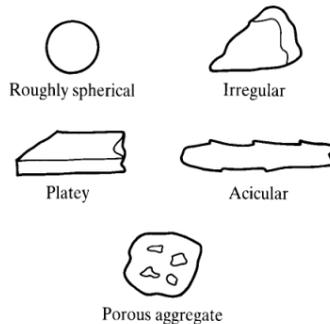
4. *Hybrid Composite* merupakan suatu jenis komposit yang penguatnya terdiri atas lebih dari satu jenis penguat ke dalam satu matriks. Tingkat pencampuran dapat dalam skala kecil (serat) ataupun dalam skala besar (*layer*). Tujuan dari hibridisasi adalah untuk menyusun suatu material baru yang mengandung keunggulan dari penyusunnya. Gambar 2.5 merupakan bentuk-bentuk susunan komposit *hybrid*.



Gambar 2.5 Jenis komposit hibrida berdasarkan penyusunnya: (a) *sandwich*, (b) *interply*, (c) *intraply*, dan (d) *intimately mixed* [1].

2.2.2.1 Komposit Partikel (*Particulate Composite*)

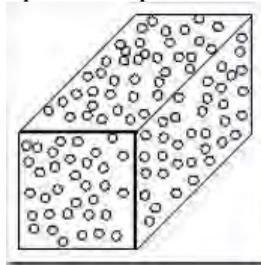
Komposit partikel adalah salah satu jenis komposit di mana dalam matriks ditambahkan material lain berupa partikel. Dalam komposit partikel, material penambah terdistribusi secara acak atau kurang terkontrol. Bentuk dari partikel mempengaruhi dari sifat mekanik komposit yang akan dihasilkan. Beberapa bentuk partikel terlihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Beberapa bentuk partikel yang biasa digunakan sebagai *filler* [17]

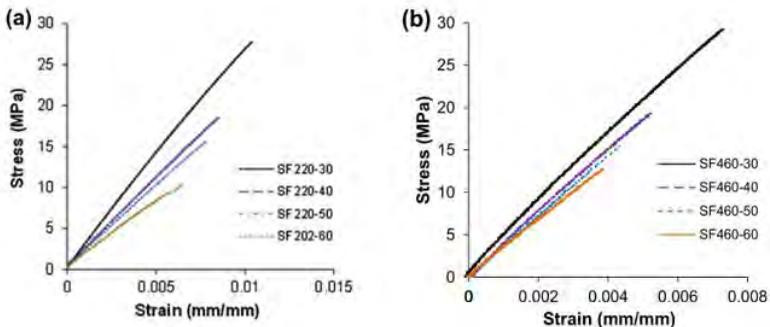
Dimensi dari partikel juga mempengaruhi dari sifat mekanik yang dihasilkan. Partikel yang sangat kecil (kurang dari 0,25 mikron) dan halus didistribusikan dalam matriks yang

berfungsi untuk menghambat pergerakan dislokasi dan deformasi material. Pada dasarnya penguat partikel dapat mempengaruhi struktur polimer seperti berat molecular dan modifikasi *crosslink* karena adanya gangguan pada saat proses *curing* dan *crystallinity*.



Gambar 2.7 Komposit butir (*particulate composite*) [15].

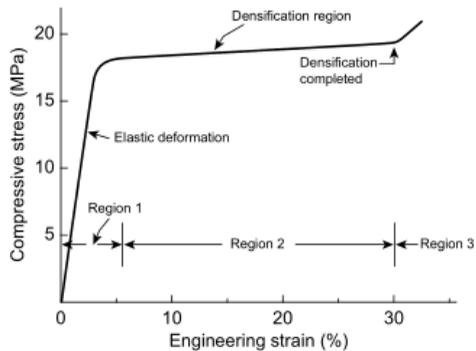
Salah satu contoh komposit partikel adalah campuran *filler* HGM pada matriks misalnya pada *epoxy* seperti pada gambar 2.7. Jika dilihat pada sifat mekanik tariknya komposit berpenguat HGM akan memiliki kekuatan tarik yang tidak terlalu besar yaitu pada contoh kurva tegangan – regangan pada gambar 2.8, dimana HGM dengan densitas 220 dan 460 kg/m^3 dan dengan fraksi volume 30-60%.



Gambar 2.8 Kurva tegangan-regangan dari epoxy/HGM dengan densitas (a) 220 dan (b) 460 kg/m^3 serta fraksi volume 30-60% [18]

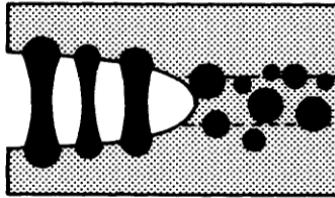
Matrix epoxy merupakan fase kontinu penerima pembebanan yang memainkan peran penting dalam menentukan

sifat tarik dan patahan dari epoxy/HGM. Resin epoxy menunjukkan mode patahan *brittle* pada pembebanan tarik. Jika dibandingkan pada kurva tegangan-regangan pada pengujian tekan yaitu gambar 2.9. Terlihat bahwa daerah dibawah tegangan meninggi yang memanjang menunjukkan kemampuan HGM dalam menyerap energy yang baik, yang tidak terlihat pada pengujian tarik. Ini merupakan salah satu alasan bahwa kebanyakan komposit dengan *filler* HGM mengandalkan sifat kompresi nya.



Gambar 2.9 Ilustrasi diagram tegangan – regangan secara umum [19].

Jika diamati, retak *interface* cenderung akan menutup pada pengujian kompresi dan matrix nya dapat mentransferkan tegangan ke partikel walaupun terdapat cacat atau retak *interface*. Akan tetapi adanya pembukaan dari retak *interface* atau pemutusan ikatan pada pengujian tarik akan menyebabkan penurunan sifat mekaniknya. Kekuatan tarik dari komposit epoxy/HGM akan memiliki ketergantungan sifat mekanik yang lebih kuat pada resinnya, kecacatan seperti porositas pada matrix dan putusanya ikatan HGM-Epoxy akan sangat mempengaruhi sifat mekanik yang dihasilkan. Dan jika dibandingkan pada kekuatan kompresi maka akan lebih tergantung dari sifat HGM nya sendiri.



Gambar 2.10 Skema peningkatan kekuatan oleh peregangannya *microspheres*[20]

Mekanisme peningkatan kekuatan tarik oleh komposit berpenguat *microspheres* terlihat pada gambar 2.10. Peningkatan ini disebabkan *microspheres* yang berbentuk bulat dan berrongga pada bagian dalamnya dapat membantu menahan laju retakan (*crack*) yang menjalar pada komposit serta *epoxy* sebagai matriks juga turut mentransferkan beban yang terjadi kepada butiran HGM lainnya.

2.2.2.2 Komposit Serat (*Fiber-reinforced Composite*)

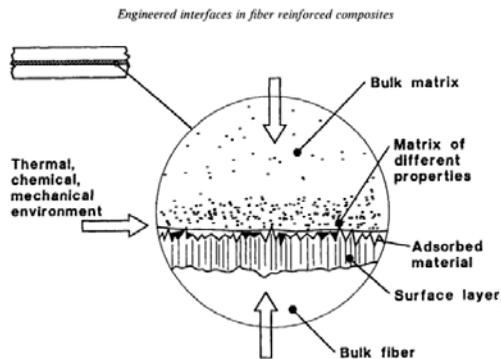
Teknologi komposit serat mengambil keuntungan berdasarkan dari kekuatan yang tinggi dan kekakuan tinggi dari serat, yang kemudian di gabungkan dengan *matrix* menghasilkan material baru dengan sifat yang lebih baik. Komposit jenis ini merupakan jenis yang paling beragam penggunaannya serta paling banyak digunakan, mengingat sifat suhu kamarnya, kemudahan fabrikasi dan biaya. Komposit jenis ini, baik *fiber* dan matriks nya akan memepertahankan identitas fisik dan kima masing-masing tetapi tetap akan menghasilkan kombinasi sifat mekanik yang tidak dapat dicapai jika hanya berdiri sendiri, hal ini dikarenakan adanya *interface* antara kedua material tersebut.

Secara umum fungsi *fiber* sebagai penahan beban utama, sedangkan matriks di sekitarnya akan mengarahkan beban tersebut ke lokasi dan orientasi yang diinginkan, atau berfungsi sebagai media transfer beban dan menjaga komposit dari kerusakan lingkungan, misalnya: akibat temperatur tinggi dan kelembapan [16]. Tabel 2.1 merupakan jumlah fraksi volume pada umumnya untuk penguat berupa serat.

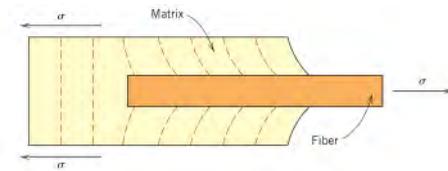
Tabel 2.1 Fraksi volume fiber pada umumnya [21]

reinforcement form	possible range of fibre volume fractions (%)	typical value for fibre volume fraction (%)
unidirectional	50 – 70	65
woven	35 – 55	45
random mat	10 – 30	20

Definisi *interface* pada komposit serat adalah sebuah permukaan yang terbentuk oleh batas yang sama dari penguat *fiber* dan *matrix* yang saling kontak dan mempertahankan ikatan diantaranya sehingga terjadi transfer beban. *Interface* mempunyai sifat fisik dan mekanik yang unik dari material penyusunnya.

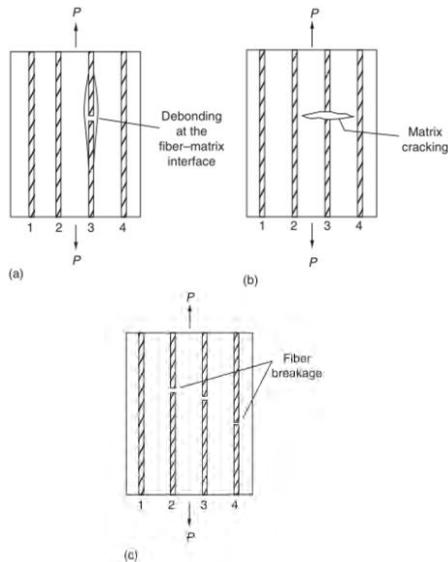
Gambar 2.11 Skema *interface* pada komposit berpenguat serat [22]

Sifat mekanik dari komposit berpenguat serat tidak hanya bergantung dari sifat seratnya, tetapi juga pada panjang *fiber* yang digunakan, arah dari *fiber* dan jenis beban apa yang diberikan ke *fiber* nya. Pada saat komposit diberikan pembebanan, hubungan *fiber*-matriks akan berhenti pada ujung *fibernya*, yang akan menghasilkan pola deformasi matriks seperti pada gambar 2.12; dengan kata lain, tidak adanya transfer beban dari matriks [15].



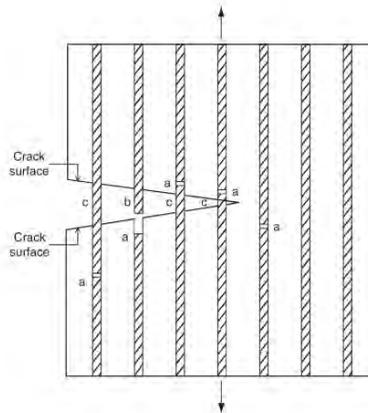
Gambar 2.12 Pola deformasi matriks disekitar *fiber* pada saat pembebanan *tensile* [15].

Pada gambar 2.13 terlihat beberapa kemungkinan model kegagalan pada komposit berpenguat serat. Pada gambar 2.13.a, terjadi pemutusan ikatan sebagian atau seluruh dari fiber yang patah dari matrix sekitar yang disebabkan karena tegangan geser *interfacial* yang tinggi pada ujung nya. Pada gambar 2.13.b, permulaan munculnya patahan mikro pada matrix yang disebabkan konsentrasi tegangan yang tinggi pada ujung matriks *void* sehingga menyebabkan patahan pada matriks nya. Gambar 2.13.c, kegagalan dari fiber lainnya yang disebabkan tegangan yang tinggi dan konsentrasi tegangan lokal.



Gambar 2.13 Beberapa kemungkinan patahan mikro dari *glass fiber* [16]

Dengan bertambahnya beban, *glass fiber* akan terus patah secara acak pada lokasi yang berbeda pada lapisan. Karena distribusi dari retak permukaan, kegagalan pada *glass fiber* tidak hanya terjadi pada bidang retaknya saja seperti pada gambar 2.14. Oleh karena itu, adanya pembukaan retak pada *matrix* akan menyebabkan *fiber* yang patah menjadi tertarik dari *matrix* sekitarnya.



Gambar 2.14 Skema kegagalan *glass fiber* pada uji *tensile* (a) *fiber* putus; (b) *fiber* tertarik; (c) *matrix bridging* [16]

2.2.2.3 Hybrid Composite

Merupakan suatu jenis komposit yang memiliki penguat lebih dari satu jenis penguat ke dalam satu matriks. Hal ini dilakukan untuk menghasilkan sifat mekanik yang diinginkan tetapi tidak bisa didapatkan jika hanya menggunakan satu jenis penguat. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Wouterson menggunakan 3wt% *carbon fiber* pendek, dengan panjang 3 – 10 mm, untuk memperkuat *foam* yang dibuat dari *phenolic microspheres* dan matriks *epoxy*. Dari hasil penelitian tersebut kekuatan tarik, modulus *Young* dan ketangguhan patahan akan meningkat mulai dari 40%, 115% dan 95% untuk *hybrid* komposit [1].

Terdapat juga penelitian mengenai *hybrid* komposit yang dilakukan oleh J.A.M Ferreira, yaitu pada material komposit *hollow glass microsphere-epoxy foam* di perkuat dengan *reinforce carbon fiber* dan *glass fiber* pendek. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mempelajari efek dari kandungan *filler* dan penambahan *fiber* pada sifat mekanik, ketangguhan patahan dan energi *impact* yang diserap. Hasil yang didapatkan adalah untuk *foam* yang tidak diperkuat, nilai dari kelenturan dan kekakuan kompresi, tegangan kompresi maksimum, ketangguhan patahan dan Energi *impact* Charpy yang diserap akan menurun secara signifikan seiring peningkatan *filler*. Akan tetapi baik kelenturan dan kekakuan kompresi serta energi *impact* yang diserap akan meningkat seiring peningkatan kandungan HGM. Penambahan *glass fiber* hanya meningkatkan sedikit dari kekakuan kelenturan dan ketangguhan patahan, tetapi akan meningkatkan secara signifikan nilai dari energi *impact* yang diserap. Lalu penambahan sedikit *carbon fiber* akan menghasilkan peningkatan pada nilai ketangguhan patahan dan kekakuan kelenturan (35% dan 40%, secara urut) ketika *hybrid* komposit mengandung 0.9% *carbon fiber* dibandingkan dengan *foam* yang tidak berpenguat. Tetapi penambahan *carbon fiber* ini tidak meningkatkan energi *impact* yang diserapnya [6].

2.3 Polimer

Polimer berasal dari kata *poly* yang berarti banyak dan *mer* (*meros*) yang berarti bagian, jadi polimer dapat didefinisikan sebagai suatu material yang molekulnya dibentuk dari beberapa bagian (monomer). Umumnya polimer terbentuk dari hidrokarbon dimana atom karbon (C) sebagai tulang punggung dalam rantai ikatan kimianya. Dalam aplikasi komposit, polimer sebagai matriks banyak disebut orang sebagai resin.

Berdasarkan sifatnya, polimer dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. **Thermoplastik:**
Polimer yang dapat dibentuk kembali melalui proses pemanasan, contoh: *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Polyethylene* (PE).
2. **Thermosetting:**
Polimer yang tidak dapat dibentuk lagi melalui proses pemanasan seperti thermoplastic, contoh: *Polyester*, *Epoxy* dan *Phenolic* (PF).
3. **Elastomer:**
Merupakan jenis polimer yang dapat kembali ke bentuk asal setelah tegangan yang diberikan dihilangkan, contoh: karet.

2.4 ***Epoxy Resin***

Salah satu jenis matriks yang sering digunakan adalah *epoxy*. *Epoxy* merupakan suatu kopolimer yang terdiri dari "resin" dan "pengeras". Resin ini terdiri dari monomer atau polimer rantai pendek pada kedua ujung dengan kelompok epoksida. *Epoxy* resin dihasilkan dari reaksi antara epiklorohidrin dan *bisphenol-A*. Pengeras terdiri dari monomer *polyamine*, contohnya *triethylenetetramine* (Teta). Ketika senyawa ini dicampur bersama, kelompok amina bereaksi dengan kelompok epoksida untuk membentuk ikatan kovalen. Sehingga polimer yang dihasilkan menjadi kaku dan kuat. Proses polimerisasi disebut "*curing*" yang dapat dikontrol melalui suhu.

Epoxy memiliki sifat yang keras dan getas. Namun dalam penggunaannya, *epoxy* hampir selalu mengandung bahan campuran lain untuk menyesuaikan sifat mekaniknya. Baik dari sisi kekuatan, kekenyalan, keuletan, sampai kearah sobekan sesuai dengan penggunaannya. Seperti jenis plastik lain, kebanyakan plastik adalah isolator listrik dan konduktor panas yang buruk. Kecuali bila ditambahkan campuran, misalnya serbuk logam / karbon lain. Pengerasan yang terjadi pada bahan ini bertahap. Berbeda dengan bahan *polyester* yang mengeras dengan cepat ketika menggunakan katalis dalam jumlah yang banyak. Reaksi

kimia yang terjadi dalam kedua kasus adalah eksotermik. Campuran akan menghasilkan panas mereka sendiri yang dapat mempercepat reaksi.

Resin jenis ini memiliki keunggulan yaitu memiliki temperatur transisi cukup bervariasi yaitu 50°C hingga 175°C yang jika dibandingkan dengan resin jenis lain yang banyak digunakan dalam aplikasi komposit dalam dunia industry [23]. Beberapa keunggulan dan kekurangannya terlihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbandingan *epoxy* resin dan polimer lain [24].

Resin	Advantages	Disadvantages
Polyester	<ul style="list-style-type: none"> - Easy to use - Lowest cost of resins 	<ul style="list-style-type: none"> - Only moderate <i>mechanical</i> properties - High styrene emissions in open moulds - High shrinkage - Limited range of working time
Vinyl esters	<ul style="list-style-type: none"> - Very high chemical resistance - Higher <i>mechanical</i> properties than polyesters 	<ul style="list-style-type: none"> - Postcure generally required for high properties - High styrene content - High cost than polyester - High cure shrinkage
Epoxy	<ul style="list-style-type: none"> - Tensile strength 85 Mpa - Compressive 106 Mpa - High water resistance - Long working time available - Temperatur resistance can be up to 140°C -220°C dry - Low cure shrinkage 	<ul style="list-style-type: none"> - More expensive than vinylester - Critical mixing - Corrosive handling

2.5 *Hollow glass microsphere (HGM)*

Sejak pertengahan tahun 1960-an, *hollow glass microsphere* (HGM) banyak digunakan sebagai pengisi yang memiliki densitas rendah untuk berbagai jenis senyawa polimer. HGM merupakan kaca berdinding tipis yang berrongga dan terbuat dari kaca yang mengandung *sodium borosilicate*. HGM tidak cukup kuat untuk menahan gaya geser yang tinggi dan tekanan tinggi yang terlibat dalam pembuatan plastik dan *injection molding*.



Gambar 2.15 *Hollow glass microsphere* [17].

Sampai pada tahun 1980-an, 3M memperkenalkan *microsphere* kaca seperti gambar 2.15 dengan kekuatan *isostatic* (penggunaan tekanan kekuatan proporsi yang sama dari segala arah) yang mencapai 10.000 psi, lebih dari dua kali kekuatan sebelumnya yang tersedia. Dengan ditemukannya jenis ini berarti bahwa HGM dapat digunakan sebagai pengisi dalam proses-proses yang membutuhkan tegangan geser cukup tinggi. Pada jenis HGM iM30K, memiliki kekuatan tekan (kompresi) tertinggi di dunia untuk produk tersebut dan juga memiliki rasio *strength-to-density* tertinggi dari jenis-jenis HGM di pasar. Terbuat dari bahan soda / kapur borosilikat (*soda/lime borosilicate*), dapat menahan tekanan *injection molding* hingga sekitar 30.000 psi. Memiliki ukuran rata-rata 16 *micron* tiap butirnya, serta memiliki kekuatan *isostatic* mencapai 28.000 psi dengan densitas 0,6 g/cc [25].

Tabel 2.3 Data spesifikasi teknis *hollow glass microsphere* jenis IM30K [25].

Material Description		
Property	iM30k	
Shape	Hollow spheres with thin walls	
Composition	Soda-lime-borosilicate glass	
Color, Unaided Eye	White, powder	
Physical Properties		
Property	iM30k	Test Method
Isostatic Crush Strength (psi)	28,000	3M QCM 14.1.8
True Density (g/cc)	0,60	3M QCM 14.24.1
Packing Factor (bulk density to true particle density)	63%	
Oil Absorption (g oil/100 cc)	33,5	ASTM D282-84 of polymer additive
Softening point (°C)	600	
Flotation (density<1.0 g/cc)	90% (in volume)	3M QCM 37.2
Volatile Content (by weight)	0.5% max	3M QCM 1.5.7
Alkalinity (milliequivalents)	0.5	3M QCM 55.19/gram max
pH (5% loading in water)	9.5	ASTM D3100-1982
Diameter (average)	18 microns	3M QCM 193.0

Dari tabel 2.3 dapat dilihat spesifikasi HGM jenis IM30K. Dengan properti densitas yang rendah, konduktivitas termal yang rendah, dan ketahanan terhadap tegangan tekan yang tinggi maka HGM jenis IM30K banyak dimanfaatkan pada bagian lambung

kapal selam dan pada peralatan yang digunakan di laut dalam seperti peralatan pengeboran minyak.

Beberapa keunggulan dari HGM jenis IM30K yaitu :

1. Memiliki ketahanan pada suhu tinggi
2. Memiliki rasio *strength-to-density* yang tinggi
3. Memiliki stabilitas kimia yang baik
4. Memiliki kekuatan tekan yang tinggi
5. Memiliki termal konduktivitas yang rendah
6. Penyerapan terhadap minyak rendah

Pada penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya oleh R. J. Cardoso dan A. Shukla mengenai komposit partikel *polyester* – HGM menunjukkan bahwa modulus *Young* komposit akan meningkat dengan penambahan HGM sebesar 25% dibandingkan dengan *polyester* murni. Rata-rata ukuran diameter butir HGM juga ikut berpengaruh, modulus *Young* akan meningkat seiring dengan penurunan rata-rata ukuran butir HGM pada volume fraksi yang sama. Hal ini disebabkan pada ukuran diameter butir yang lebih besar maka rongga di dalam HGM juga semakin besar ukurannya dibandingkan ukuran diameter butir yang lebih kecil sehingga tidak mampu menahan gaya yang lebih besar [26].

2.6 Penguat *glass fiber*

Glass fiber sering digunakan dalam proses pembuatan komposit. Keuntungan *glass fiber* adalah Kekuatan yang tinggi, berat ringan, butuh sedikit perawatan, mudah di pasang, biaya produksi yang rendah, ketahanan terhadap serangan zat kimia yang baik, sifat insulator yang baik, tahan terhadap api, dan dimensi stabil [16]. Beberapa *glass fiber* berdasarkan karakteristik dan fungsinya adalah:

1. E-Glass

Merupakan serat kaca yang didesain untuk peralatan umum yang membutuhkan sifat isolator dan konduktivitas thermal rendah. Serat kaca ini mempunyai kekuatan yang cukup tinggi sehingga banyak dipergunakan dalam proses

manufaktur. Serat ini banyak digunakan karena harganya yang murah.

2. *S-Glass*

Merupakan serat kaca yang memiliki modulus elastisitas tinggi dan umumnya dipergunakan untuk komponen pesawat terbang dan kapal laut

3. *C-Glass*

Serat ini dirancang untuk memiliki ketahanan terhadap korosi yang tinggi terutama dalam lingkungan kimia, sehingga banyak dipergunakan sebagai pelapis peralatan pada pabrik kimia.

Pada umumnya serat gelas dipasarkan dalam berbagai bentuk dan susunan serat, yaitu :

1. *Chopped Stand Matt (CSM)*

Serat gelas yang ditunen dari potongan *rovings* dengan panjang tertentu dan tersusun acak



Gambar 2.16 *Chopped strand matt glass fiber*

2. *Rovings*

merupakan serat gelas yang berbentuk kumpulan benang yang *continous*



Gambar 2.17 *Roving glass fiber*

3. *Woven Rovings*

Merupakan *rovings* yang ditunen membentuk arah serat yang saling tegak lurus



Gambar 2.18 *Woven Roving glass fiber*

4. *Woven Cloth*

Dibentuk dari serat gelas yang dipuntir dan di tenun untuk membentuk arah serat yang saling tegak lurus.



Gambar 2.19 *Woven cloth glass fiber*

2.7 Aditif

Penggunaan polimer dalam komposit memerlukan material lain yang mempunyai fungsi khusus yang disebut aditif. Material tambahan tersebut dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. *Catalyst, stabilizer, coupling agent* merupakan senyawa kimia yang digunakan untuk mempercepat, menstabilkan, dan membantu perekatan polimer dengan fasa penguat komposit.
2. *Pigments* digunakan untuk memberi tekstur dan warna pada polimer.
3. *Release agents, lubricants*, merupakan material yang ditambahkan untuk mempermudah dalam melepaskan

komposit dari cetakannya dalam proses produksi komposit.

2.8 Perhitungan Komposit

2.8.1 Karakteristik Umum

Untuk memproduksi material komposit, perlu memperhitungkan fraksi volume atau berat fraksi masing-masing penyusunnya untuk mendapatkan sifat mekanik yang diperlukan. Perhitungan yang diperlukan dijabarkan di bawah ini:

$$\text{Fraksi volume total: } V_h + V_m = 1 \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\text{Fraksi volume matriks : } V_m = v_m/v_c \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\text{Fraksi volume penguat: } V_h = v_h/v_c \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\text{Fraksi berat total : } W_h + W_m = 1 \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\text{Fraksi berat matriks : } W_m = w_m/w_c \dots \dots \dots (2.5)$$

$$\text{Fraksi berat penguat : } W_h = w_f/w_c \dots \dots \dots (2.6)$$

Dari persamaan 2.1-2.6, didapatkan: $V_c = V_m + V_h$

Keterangan:

- m = matriks (*epoxy*)
- H = *Hollow glass microsphere*
- c = komposit
- V = Fraksi volume
- W = berat fraksi
- v = volume (m^3)
- w = berat (kg)

2.8.2 Karakteristik Campuran

Umumnya perhitungan komposit berdasarkan atas volume, namun dalam proses produksinya, perhitungannya berdasarkan berat. Hal ini karena dengan menggunakan berat lebih

memudahkan pengerjaannya. Berikut adalah konversi dari volume terhadap berat dan sebaliknya:

$$\text{Massa } h = \rho_h \cdot V_h \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{Massa } m = \rho_m \cdot V_m \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

V_h = volume penguat

V_m = volume matriks

W_h = berat penguat

W_m = berat matriks

2.8.3 Rules of Mixture

Rules of mixture (ROM) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menghitung kekuatan pada komposit secara teoritis dengan menggunakan penjumlahan kekuatan tiap penyusun dengan menggunakan fraksi volume tiap penyusun tersebut. ROM bisa digunakan untuk perhitungan kekuatan tekan karena pada saat pengujian tekan spesimen uji memiliki sifat isotropik yang memiliki gaya keseluruhan arah sama besar. ROM menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_c = \sigma_m \cdot v_m + \sigma_r \cdot v_r \dots\dots\dots(2.9)$$

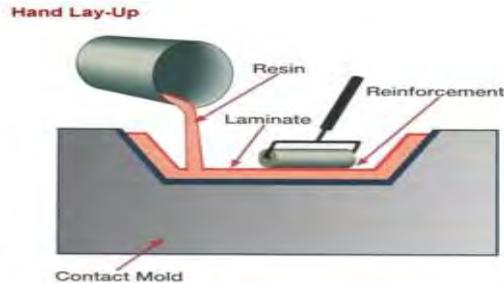
Komposit adalah suatu material yang terdiri dari gabungan antara dua atau lebih material penyusun yang sifatnya berbeda. Bahan material ini terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai bahan penguat (reinforcement) dan bahan pengikat (matrix). Bahan penguat memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan matrix sehingga komposit memiliki sifat gabungan dari material penyusunya.

2.9 Metode Manufaktur *Hand Lay Up*

Proses manufaktur bahan komposit dengan metode *hand lay up* merupakan metode yang paling sederhana diantara metode-metode manufaktur bahan komposit yang lain. Dikatakan sederhana karena tekniknya sangat mudah di aplikasikan yaitu cairan resin dioleskan diatas sebuah cetakan dan kemudian serat

layer pertama diletakkan di atasnya, kemudian dengan menggunakan roller / kuas resin kembali diratakan. Langkah ini dilakukan terus menerus hingga didapatkan ketebalan spesimen yang diinginkan.

Metode hand lay up biasanya memiliki waktu *curing* pada suhu kamar dan akan mengering hingga satu hari tergantung jumlah resin dan jenis resin serta katalis yang diberikan. Waktu *curing* bisa dipersingkat dengan menyemburkan udara panas. Pemberian tekanan dengan roller atau kuas bertujuan untuk mengurangi *void* / gelembung udara yang terperangkap dalam laminat komposit. Secara umum metode *hand lay up* digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.20 Proses *Hand Lay Up* [8].

Metode *hand lay up* banyak diaplikasikan untuk pembuatan komposit yang sederhana. Keuntungan metode *hand lay up* antara lain :

1. Murah biaya
2. Prosesnya sederhana
3. Cetakan dapat digunakan berulang kali

Disamping itu metode *hand lay up* juga memiliki kekurangan antara lain :

1. Biasanya dipakai untuk *proto tipe* dengan skala besar
2. Karena proses *curing* terbuka maka (pada temperatur kamar) maka bau yang ditimbulkan perlu dipikirkan.
3. Kualitas produk antar komponen tidak konsisten
4. Prosesnya tidak bersih

2.10 Proses Curing

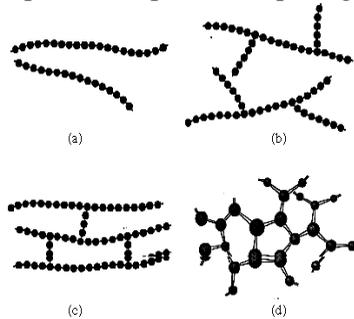
Secara umum inti dari mekanisme *curing* material termoset adalah bagaimana poses *crosslink* dapat terjadi. Reaksi *crosslink* pada *epoxy* diharapkan terjadi saat campuran resin dan penguat telah dimasukkan dalam cetakan. Pada aplikasinya *curing* (*crosslinking*) dapat terjadi pada temperatur tinggi (100 °C) seperti pada proses *pressure molding* atau pada temperatur ruang pada proses hand lay-up. Pada proses *curing*, yang terjadi adalah molekul yang berukuran sedang saling berikatan membentuk ikatan molekul yang lebih besar. Hasilnya material yang telah mengalami proses *curing* menjadi lebih padat dan meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan kekerasan [27]. Material jenis *thermosetting* tidak dapat dilelehkan kembali setelah selesai proses *curing*. Agar *curing* dapat terjadi maka *epoxy* harus ditambahkan *hardener*.

Tabel 2.4 Data Tg dari *epoxy* resin menurut jurnal “*Characterization and Failure Analysis of Plastics*” oleh ASM International diterbitkan pada Desember 2003 pada halaman 117 [28].

Chemical name	Glass-transition temperature (T_g)	
	°C	°F
Thermoset resins		
Amino resins (melamine-formaldehyde)	None(b)	None(b)
Bismaleimide	230–345(c)	450–650(c)
Epoxy resins	60–175	100–350
Phenolic resins	300	570
Polyester resins	110	230
Polyimide resins	315–370(c)	600–700(c)
Polyurethane (cast)	135	275
Polyurethane (elastomer)
Silicone	-125	-193
Urethane rigid foam

Proses *curing* dapat dilakukan dengan cara memanaskan material benda uji tersebut pada temperatur tertentu. Namun temperatur tersebut tidak boleh melebihi *glass transition temperature*, karena akan menyebabkan material menjadi lunak. Jika temperatur tersebut ditingkatkan lagi maka material tersebut akan menjadi cair. Saat proses *curing* dilakukan pada temperatur

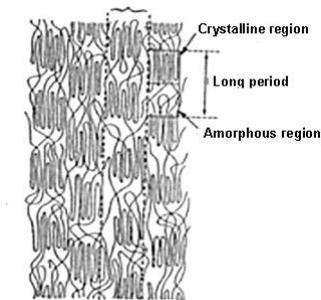
tinggi, maka material molekul–molekul resin akan menerima lebih banyak energi. Hal ini menyebabkan meningkatnya pergerakan molekul–molekul sehingga molekul tersebut akan memiliki banyak waktu untuk membentuk susunan rantai *polymer* yang lebih teratur. Polimerisasi merupakan suatu jenis reaksi kimia dimana monomer–monomer bereaksi untuk membentuk rantai yang besar. Tipe rantai polimer dapat dilihat pada gambar 2.21.



Gambar 2.21 Tipe rantai polimer (a) *Linear* (b) *Branched* (c) *Cross-linked* (d) *network* [29].

2.11 *Cristalinity* Polimer

Sifat pada polimer akan di pengaruhi oleh struktur kimia, orientasi rantai molekul polimer, *cristalinity*, dan *crosslinking* dari molekul polimer. Struktur kristal pada polimer adalah sifat penting pada semua polimer.



Gambar 2.22 Struktur *semicristaline* pada polimer [29].

Cristalinty adalah banyaknya area struktur kristal pada polymer dibanding area *amorphous* terlihat dari gambar 2.22. struktur kristal ini akan meningkatkan sifat-sifat seperti kekerasan, kekuatan, modulus, kekakuan dan sifat fisik pada polimer. Hal tersebut dikarenakan pada struktur kristal akan dibutuhkan energi yang lebih besar untuk merusak susunan struktur yang lebih teratur dan lebih kuat. Semakin banyak struktur kristal pada polimer maka bisa dipastikan polimer tersebut akan memiliki sifat mekanik maupun sifat fisik yang lebih baik. Jika polimer ini digunakan dalam *matrix* komposit maka komposit tersebut juga akan memiliki kekuatan yang lebih baik pula.

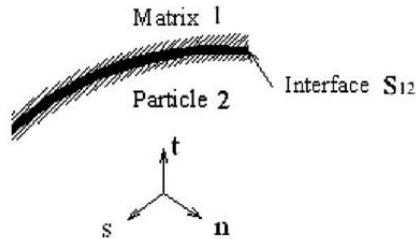
Beberapa hal yang akan berpengaruh pembentukan *cristalinity* yaitu :

1. Panjang pada rantai polimer : semakin panjang rantai polimer maka *cristalinity* akan semakin berkurang.
2. Susunan *mers* pada rantai polimer : semakin teratur susunan *mers* pada rantai (*isostatic*) akan meningkatkan *cristalinity*.
3. Bentuk rantai polimer : rantai polimer lurus akan memiliki *cristalinity* yang semakin banyak dibandingkan dengan rantai polimer bercabang.

Proses pendinginan setelah *curing* : semakin cepat pendinginan setelah *curing* maka *cristalinity* akan semakin berkurang.

2.12 Ikatan *Interface*

Ikatan pada *matrix* dan penguat merupakan faktor penting yang mempengaruhi sifat mekanik pada komposit. Jika antara *matrix* dan penguat memiliki ikatan yang kuat maka sifat pada penguat mampu digunakan secara maksimal dalam meningkatkan kekuatan dari matriks tersebut.



Gambar 2.23 *Interface Epoxy-HGM* [30]

Pada gambar 2.23 terlihat pada komposit partikel luasan dan ketebalan *interface* antara partikel 2 dan *matrix* 1 merupakan faktor yang mempengaruhi kekuatan dan pola patahan pada sebuah komposit, jika *matrix* mampu mengikat seluruh luasan pada partikel penguat maka sifat mekanik pada komposit akan menjadi lebih baik.

Ikatan yang terjadi antara *matrix* dengan HGM terjadi secara natural dengan ikatan antara atom penyusun komposit tersebut. Jika semakin banyak luasan dari HGM berikatan dengan *matrix* maka hal tersebut akan meningkatkan *shear modulus* pada *interface epoxy-HGM* akan menjadi meningkat. Jika HGM bisa berikatan kuat dengan matriksnya maka sifat mekanik pada HGM akan bisa lebih berpengaruh untuk meningkatkan kekuatan pada matriks komposit.

2.12.1 Teori *Wetting*

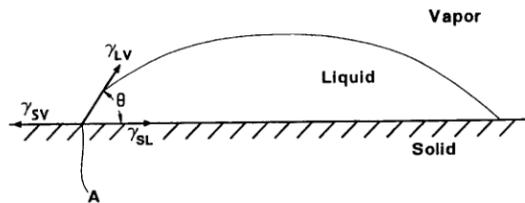
Wetting merupakan kemampuan dari zat cair (matrik) untuk dapat tersebar merata ke permukaan suatu padatan (*fiber*). Jika suatu cairan memiliki kemampuan *wetting* yang baik, maka cairan tersebut dapat menutupi seluruh lubang dan kontur pada permukaan penguat. Untuk mengukur pembasahan digunakan *Dupree equation*.

$$W_a = \gamma_{sv} + \gamma_{lv} - \gamma_s \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

- W_a = kerja yang diperlukan untuk saling berikatan
- γ_{sv} = *Surface tension* dari *solid-vapour*
- γ_{lv} = *Surface tension* dari *liquid-vapour*

γ_{SL} = Surface tension dari solid-liquid



Gambar 2.24 Sudut kontak dan *surface* tension dari *liquid*, *solid* dan *vapour* [22]

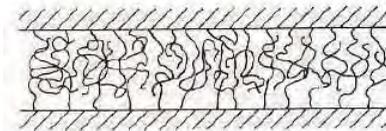
Dimana, jika nilai γ_{LV} tinggi maka akan menghambat penyebaran *liquid* dan akan memperburuk pembasahan/*wetting*. Syarat terjadinya *wetting*:

$$\gamma_{SV} > \gamma_{LV} \dots\dots\dots(2.10)$$

Pembasahan yang baik pada *fiber* tergantung pada sudut kontak (θ) yang kecil, *surface tension* dari resin (γ_{LV}) yang rendah, dan tidak adanya udara yang masuk / terjebak hal tersebut dikarenakan akan menurunkan energi untuk saling berikatan antara resin dan *fiber*.

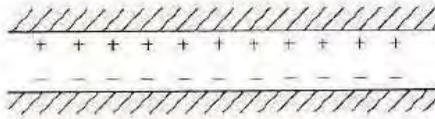
2.12.2 Jenis Ikatan

1. *Interdifussion*, disebabkan ikatan yang bebas antara 2 permukaan yang membentuk belitan-belitan rantai sehingga dapat meningkatkan kekuatan adhesinya.



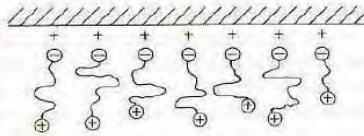
Gambar.2.25 Ikatan interdifussion [31].

2. Reaksi *Electrostatic*, disebabkan daya tarik permukaan antara 2 permukaan, 1 permukaan membawa ion positif (+) dan 1 permukaan lain membawa ion negative (-). Biasanya terjadi pada kasus asam basa. Contoh : ikatan antara Na^+ dan Cl^- yang membentuk NaCl



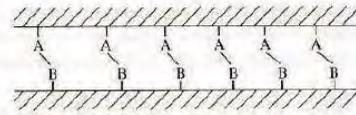
Gambar.2.26 Ikatan reaksi Electrostatic [31].

3. *Cationic-anionic*, disebabkan oleh permukaan yang mempunyai anion dan kation properties. Contoh : pada besi yang mengalami korosi, terdapat elektroda negative dan positif.



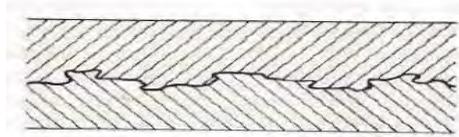
Gambar.2.27 Ikatan Cationic-anionic bonding [31].

4. *Chemical bonding*, jenis ikatan permukaan antara 2 permukaan yang didukung oleh kompatibilitas dari *coupling agent*. Contoh : ikatan antara resin dengan katalis.



Gambar.2.28 Chemical bonding [31].

5. *Mechanical adhesion*, ikatan yang terjadi semata-mata disebabkan oleh *mechanical interlocking* dari 2 permukaan, dimana salah satu permukaan mempunyai kontur permukaan sehingga memungkinkan terjadinya suatu ikatan. Contoh : ikatan antara resin dengan permukaan logam yang telah mengalami *surface treatment*, sehingga resin dapat masuk dan membasahi setiap detail dari permukaan *fiber* tersebut.



Gambar 2.29 *Mechanical* adhesion [31].

2.13 Rompi anti peluru

Rompi anti peluru merupakan baju pelindung yang banyak digunakan di dalam dunia militer. Rompi anti peluru ini melindungi badan bagian dada, perut, dan punggung. Punggung dan dada merupakan bagian tubuh yang melindungi organ-organ vital manusia antara lain, jantung, hati, dan paru-paru. Serta perut, dimana terdapat organ-organ pencernaan dan ginjal. Dimana organ-organ tersebut apabila terjadi kerusakan dapat membahayakan seorang manusia, bahkan dapat membunuh seseorang seketika organ-organ tersebut mengalami kerusakan.

Pada zaman pra sejarah, baju pelindung terbuat dari kulit binatang. Untuk melindungi diri dari serangan, manusia menggunakan kayu sebagai perisai. Dan pada masa selanjutnya, logam menjadi bahan dasar perisai dan baju zirah. Kemudian pada abad pertengahan, Jepang menggunakan rompi anti peluru berbahan sutra. Pada tahun 1960an *National Institute of Justice* mengembangkan rompi anti peluru dengan bahan serat kevlar. Pada 1973, *Army's Edgewood Arsenal* mengembangkan rompi anti peluru dengan tujuh lapis serat kevlar. Kemampuan rompi anti peluru yang terbuat dari kevlar mengalami penurunan ketika basah, dicuci berulang ataupun terpapar sinar matahari.



Gambar 2.30. Rompi anti peluru [32]

2.14 Pengujian Tarik

Untuk mengetahui kekuatan tarik suatu material dapat dilakukan dengan pengujian tarik terhadap material komposit tersebut. Kekuatan tarik adalah pemberian gaya atau tegangan tarik kepada material dengan maksud untuk mengetahui kekuatan dari suatu material hingga mengalami kegagalan. Uji tarik dilakukan dengan cara penarikan specimen dengan gaya tarik secara terus-menerus hingga putus.

Hasil uji tarik tersebut mencatat fenomena hubungan antara beban-perpanjangan yang terjadi selama proses uji tarik dilakukan dan kemudian dikonversikan menjadi hubungan tegangan-regangan. Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan.

Pengujian tarik yang dilakukan pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM D 3039/D 3039M – 95a [33]. Dari pengujian tarik diperoleh data berupa beban maksimum yang dapat ditahan komposit sebelum patah dan pertambahan panjang. Dari data-data tersebut dapat dicari nilai kekuatan tarik (tegangan), regangan, dan modulus elastisitas komposit.

Gambar pengujian sesuai dengan gambar di bawah



Gambar 2.31 Skema uji tarik

Besarnya nilai kekuatan tarik komposit dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana:

σ_c = kekuatan tarik komposit (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang patahan (mm²)

Besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang akibat pembebanan dibanding dengan panjang awal dan dinyatakan dalam persamaan:

$$\epsilon_e = \frac{\delta L}{AL} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

ϵ_e = regangan

δL = pertambahan panjang (mm)

L = panjang mula-mula (mm)

Modulus elastisitas adalah harga yang menunjukkan kekuatan komposit pada daerah proporsionalnya. Pada daerah proporsional ini deformasi yang terjadi masih bersifat elastis dan masih berlaku Hukum *Hooke*. Besarnya nilai modulus elastisitas komposit merupakan perbandingan antara tegangan dengan regangan pada daerah proporsionalnya, yang dinyatakan dengan persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

E = Modulus elastisitas (MPa)

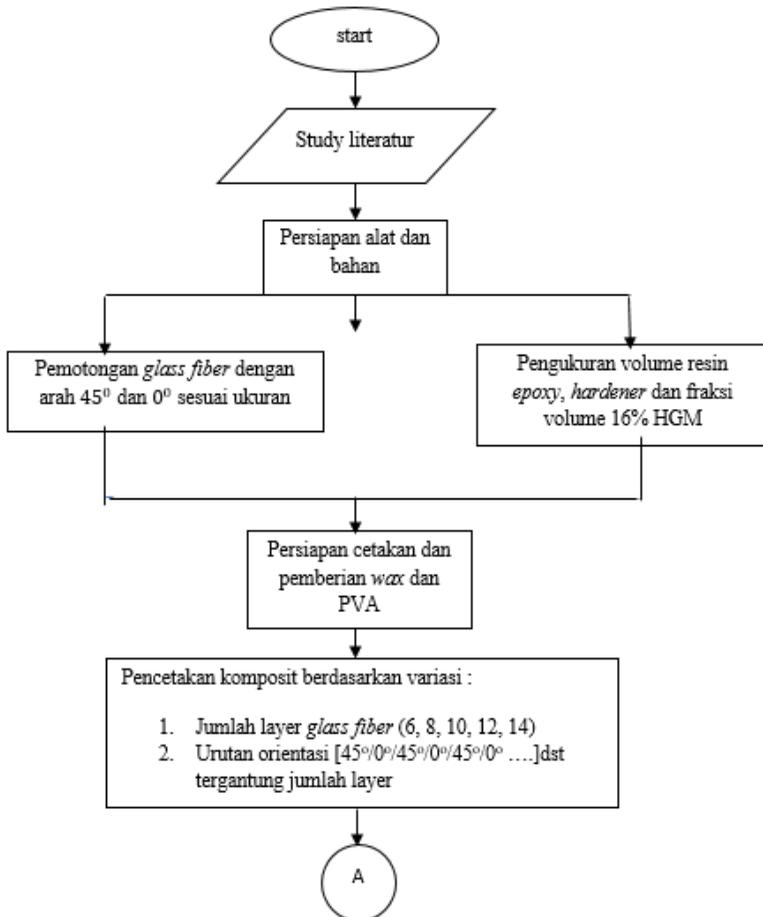
σ = kekuatan tarik komposit (MPa)

ε = regangan

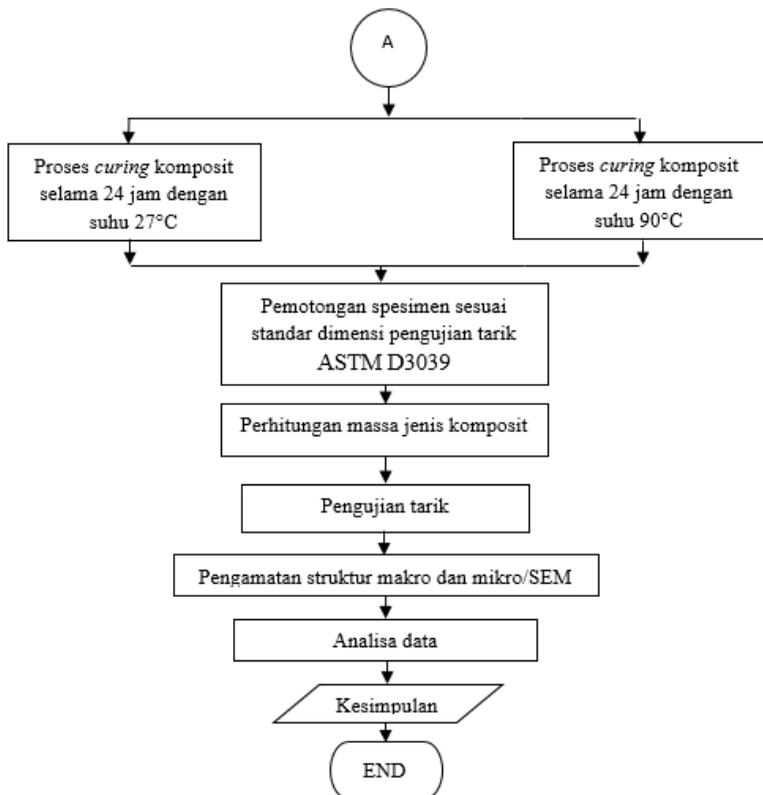
BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan diagram alir sebagai berikut :



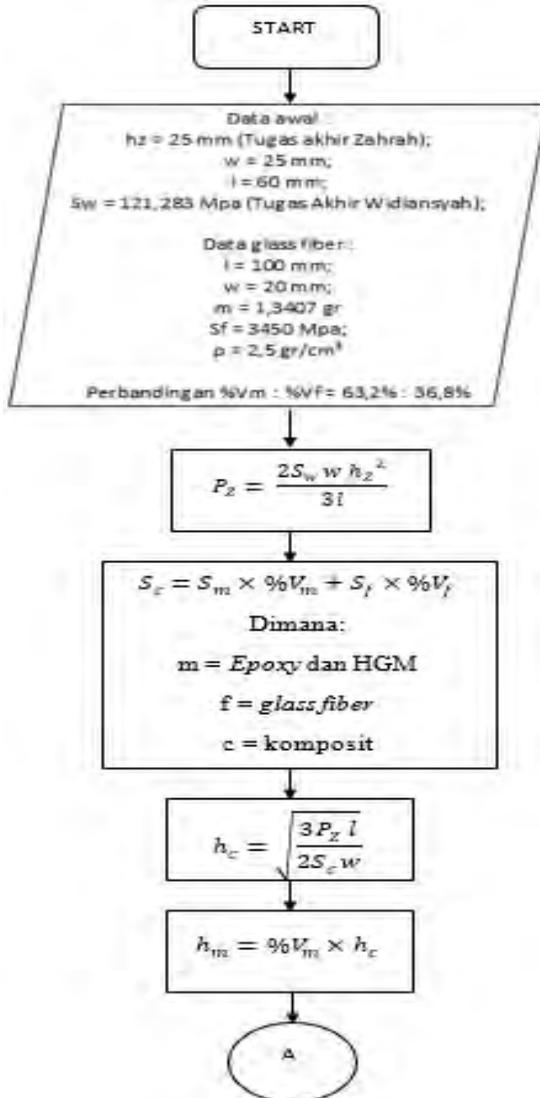
Gambar 3.1 diagram alir percobaan



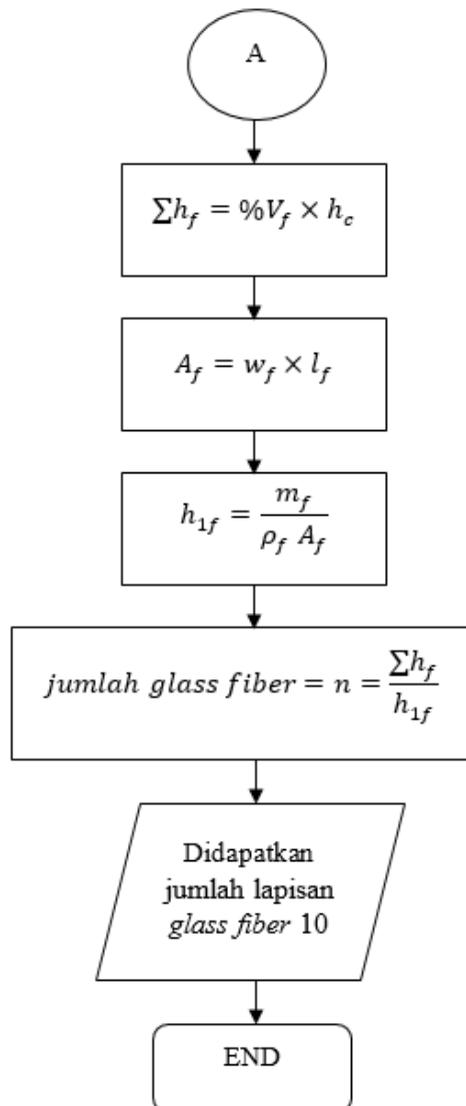
Gambar 3.1.1 Lanjutan diagram alir percobaan

3.2 Persiapan Spesimen

3.2.1 Flowchart Perhitungan Penentuan Jumlah Lapisan



Gambar 3.2 Flowchart perhitungan penentuan jumlah lapisan



Gambar 3.2.1 Lanjutan flowchart perhitungan penentuan jumlah lapisan

3.2.1.1 Contoh Perhitungan Penentuan Jumlah Lapisan

- Diketahui data awal :

$$h_z = 25 \text{ mm (Tugas Akhir Zahrah)}$$

$$S_m = 121,283 \text{ MPa (Tugas Akhir Widiansyah)}$$

$$w = 25 \text{ mm}$$

$$L = 60 \text{ mm;}$$

Data *glass fiber*:

$$L = 100 \text{ mm}$$

$$w = 20 \text{ mm}$$

$$m = 1,3407 \text{ gr} = 0.0013407 \text{ kg}$$

$$S_f = 3450 \text{ MPa}$$

$$\rho_f = 2,5 \text{ gr/cm}^3 = 2500 \text{ kg/m}^3$$

Perbandingan fraksi volume (resin + HGM) : fraksi volume *glass fiber* = 63,2% : 36,8%

Keterangan:

m = Epoxy + HGM

f = *glass fiber*

C = Komposit

- Mencari beban berdasarkan tebal tugas akhir Zahrah (P_Z):

$$P_Z = \frac{2S_w w h_z^2}{3L} = \frac{2 \times 121,283 \times 25 \times 25^2}{3 \times 60} = 21056,128 \text{ N}$$

- Menghitung tegangan komposit berdasarkan rumus ROM (S_C) :

$$\begin{aligned} S_c &= S_m \times \%V_m + S_f \times \%V_f \\ &= 121,283 \times 63,2\% + 3450 \times 36,8\% \\ S_c &= 1346,251 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Mencari tebal komposit (h_C) :

$$h_c = \sqrt{\frac{3P_Z l}{2S_c w}} = \sqrt{\frac{3 \times 21056.128 \times 60}{2 \times 1346.251 \times 25}} = 7,503 \text{ mm}$$

- Mencari tebal resin + HGM (h_M) :
 $h_m = \%V_m \times h_c = 63,2\% \times 7,503 \text{ mm} = 4.742 \text{ mm}$

- Menghitung tebal total *glass fiber* ($\sum h_f$) :

$$\sum h_f = \%V_f \times h_c = 36,8\% \times 7,503 = 2,761 \text{ mm}$$

- Mencari luasan *glass fiber* (A_f) :

$$A_f = w_f \times l_f = 20 \times 100 = 2000 \text{ mm}^2 = 0,002 \text{ m}^2$$

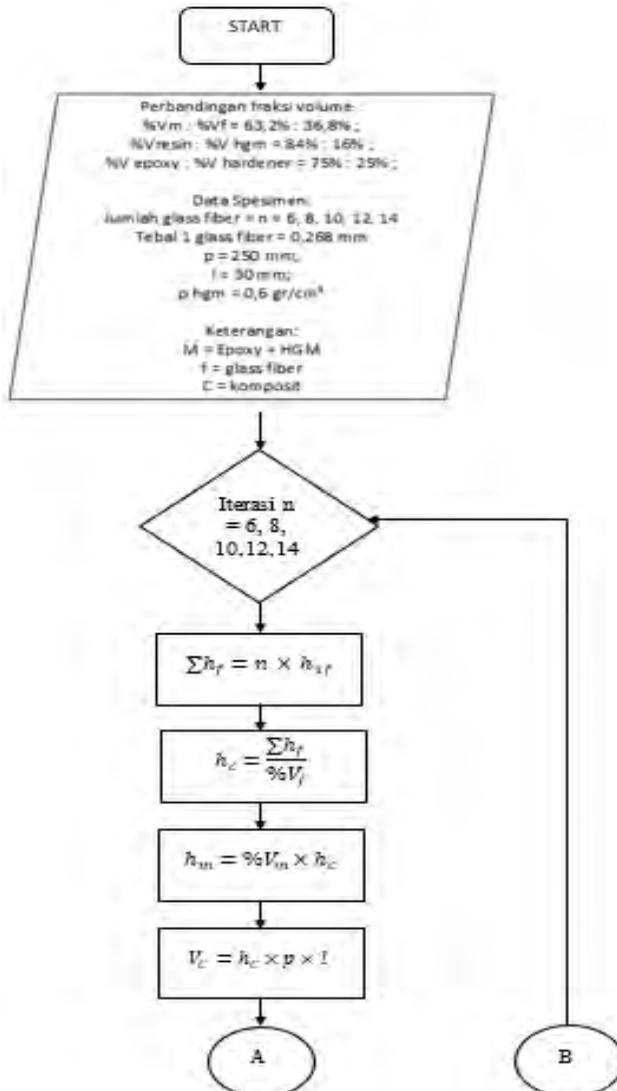
- Mencari tebal 1 *glass fiber* (h_{1f}) :

$$h_{1f} = \frac{m_f}{\rho_f A_f} = \frac{0.0013407}{2500 \times 0,002} = 0,00026814 \text{ m} = 0,268 \text{ mm}$$

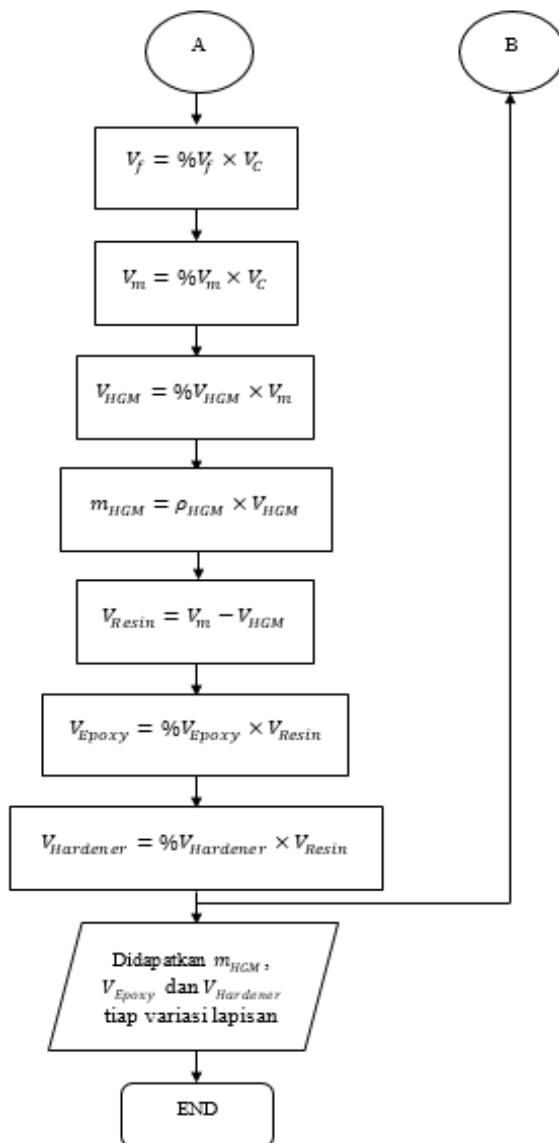
- Menghitung jumlah lapisan *glass fiber* (n) :

$$n = \frac{\sum h_f}{h_{1f}} = \frac{2,761}{0,268} = 10 \text{ lapisan } \textit{glass fiber}$$

3.2.2 Flowchart Perhitungan Spesimen



Gambar 3.3 Flowchart perhitungan spesimen



Gambar 3.3.1 Lanjutan *flowchart* perhitungan specimen

3.2.2.1 Contoh Perhitungan Spesimen

- Diketahui:

Perbandingan fraksi volume :

$$\%V_M : \%V_f = 63,2\% : 36,8\%$$

$$\%V_{Resin} : \%V_{HGM} = 84\% : 16\%$$

$$\%V_{Epoxy} : \%V_{Hardener} = 75\% : 25\%$$

Data Spesimen:

Jumlah glass fiber = n = 6, 8, 10, 12, 14

Tebal 1 *glass fiber* (h_{1f}) = 0,268 mm

p = 250 mm;

l = 30 mm;

ρ hgm = 0,6 gr/cm³

Keterangan:

m = Epoxy + HGM

f = *glass fiber*

C = Komposit

- Contoh perhitungan menggunakan jumlah lapisan glass fiber (n) = 6

- Menghitung tebal total *glass fiber* specimen

$$\sum h_f = n \times h_{1f} = 6 \times 0,268 = 1,608 \text{ mm}$$

- Menghitung tebal komposit specimen

$$h_c = \frac{\sum h_f}{\%V_f} = \frac{1,608}{36,8\%} = 4,372 \text{ mm}$$

- Menghitung tebal resin + HGM (h_m)

$$h_m = \%V_m \times h_c = 63,2\% \times 4,372 = 2,763 \text{ mm}$$

- Menghitung volume komposit specimen (V_C) :

$$V_C = h_c \times p \times l = 4,372 \times 250 \times 30 = 32788,858 \text{ mm}^3$$

- Menghitung volume *glass fiber* (V_f) :

$$V_f = \%V_f \times V_C = 36,8\% \times 32788,858 = 12066,3 \text{ mm}^3$$

- Menghitung volume Epoxy + HGM (V_m) :

$$V_m = \%V_m \times V_C = 63,2\% \times 32788,858 = 20722,558 \text{ mm}^3$$

- Menghitung volume HGM (V_{HGM}) :

$$V_{HGM} = \%V_{HGM} \times V_m = 16\% \times 20722,558 = 3315,609 \text{ mm}^3$$

- Menghitung massa HGM (m_{HGM}) :

$$m_{HGM} = \rho_{HGM} \times V_{HGM} = 0,6 \times \frac{3315,609}{1000} = 1,989 \text{ gr}$$

- Menghitung volume Epoxy dan Hardener (V_{Resin}) :

$$V_{Resin} = V_m - V_{HGM} = 20722,558 - 3315,609 = 17406,949 \text{ mm}^3$$

- Menghitung volume Epoxy (V_{Epoxy}) :

$$V_{Epoxy} = \%V_{Epoxy} \times V_{Resin} = 75\% \times 17406,949 = 13055,211 \text{ mm}^3$$

- Menghitung volume Hardener ($V_{Hardener}$) :

$$V_{Hardener} = \%V_{Hardener} \times V_{Resin} = 25\% \times 17406,949 = 4351,737 \text{ mm}^3$$

3.2.3 Tabel Perhitungan Volume Komposit dan Volume Glass Fiber

Lapisan	Matrix (%)	Fiber (%)	Tebal Matrix (mm)	Tebal Fiber (mm)	Tebal Komposit (mm)	Panjang Spesimen (mm)	Lebar Spesimen (mm)	Vol. Matrix (mm ³)	Vol. Fiber (mm ³)	Vol. komposit (mm ³)
6	63.2%	36.8 %	2,763	1,608	4,371	250	30	20722,558	12066,3	32788,858
8	63.2%	36.8 %	3,684	2,145	5,829	250	30	27630,078	16088,4	43718,478
10	63.2%	36.8 %	4,742	2,761	7,503	250	30	35567,703	20710,308	56278,012
12	63.2%	36.8 %	5,526	3,217	8,743	250	30	41445,117	24132,6	65577,717
14	63.2%	36.8 %	6,447	3,753	10,200	250	30	48352,636	28154,7	76507,336

3.2.4 Tabel Perhitungan Volume HGM dan Volume Resin

Lapisan	HGM (%)	Resin (%)	Vol. HGM (mm ³)	Vol. Resin (mm ³)
6	16%	84%	3315,609	20722,558
8	16%	84%	4420,812	27630,078
10	16%	84%	5690,832	35567,703
12	16%	84%	6631,218	41445,117
14	16%	84%	7736,421	48352,636

3.2.5 Tabel Perhitungan Volume Epoxy dan Volume Hardener

Lapisan	Epoxy (%)	Hardener (%)	Vol. Epoxy (mm ³)	Vol. Hardener (mm ³)
6	75%	25%	13055,211	4351,737
8	75%	25%	17406,949	5802,316
10	75%	25%	22407,653	7469,217
12	75%	25%	26110,423	8703,474
14	75%	25%	30462,161	10154,053

3.2.6 Tabel Spesimen Teori

Jumlah Lapisan Glass Fiber	Berat Glass Fiber (gr)	Berat HGM (gr)	Berat Epoxy (gr)	Berat Hardener (gr)	Berat Komposit (gr)	Densitas Komposit (gr/cm ³)
6 Lapisan	30,166	1,989	14,657	4,751	51,563	1,573
8 Lapisan	40,221	2,652	19,543	6,335	68,751	1,573
10 Lapisan	51,776	3,414	25,157	8,155	88,502	1,573
12 Lapisan	60,332	3,979	29,314	9,503	103,127	1,573
14 Lapisan	70,387	4,642	34,199	11,086	120,315	1,573

3.2.7 Rules of Mixture

- Dengan rumus ROM berikut :

$$S_C = (S_M \times \%V_M) + (S_F \times \%V_F)$$

- Tegangan ROM specimen *curing* temperature kamar = 143,597 MPa
- Tegangan ROM specimen *curing* temperature 90°C = 147,525 MPa

3.3 Alat dan Bahan

Pembuatan spesimen uji pada penelitian ini dilakukan dengan metode produksi *hand lay up*. Metode produksi *hand lay up* merupakan metode yang paling sederhana dalam proses pembuatan komposit.

Berikut alat – alat yang digunakan untuk membuat komposit:

1. Timbangan digital

Timbangan digital milik Teknik Mesin ITS untuk menimbang massa dari *epoxy*, *hollow glass microsphere*, dan *hardener* sehingga sesuai dengan perhitungan fraksi volume bahan.



Gambar 3.4 Timbangan digital

2. Gelas Plastik

Gelas plastik digunakan sebagai wadah *epoxy*, *hardener*, serta *glass fiber*.



Gambar 3.5 Gelas Plastik

3. Spatula

Spatula berfungsi untuk mengambil *epoxy* dan *hardener* dari kaleng dan wadah gelas plastik.



Gambar 3.6 Spatula

4. Sumpit
Sumpit berfungsi untuk mengaduk campuran *epoxy*, *hardener* dan *hollow glass microsphere* agar tercampur rata.



Gambar 3.7 Sumpit

5. Gunting
Gunting digunakan untuk memotong *glass fiber* sesuai ukuran



Gambar 3.8 Gunting

6. Lilin malam
Lilin malam digunakan sebagai pembatas sekaligus cetakan dari *epoxy*, *fiber glass*, dan *Hollow Glass Microsphere*, cetakan ini memiliki kapasitas 300 x 100 mm².



Gambar 3.9 Lilin malam

7. Cetakan Loyang
Cetakan loyang digunakan sebagai cetakan dari *epoxy*, *fiber glass*, dan *Hollow Glass Microsphere* pada komposit proses *curing* temperature 90°C , cetakan ini memiliki kapasitas $300 \times 100 \text{ mm}^2$.



Gambar 3.10 Cetakan loyang

8. Kuas
Kuas digunakan untuk meratakan campuran *epoxy-hardener-HGM* pada lapisan *glass fiber*



Gambar 3.11 Kuas

9. Heater (*Furnace*)
Furnace digunakan untuk proses *curing* temperature 90°C , mesin ini adalah *furnace* milik Teknik Mesin ITS.



Gambar 3.12 Furnace

10. Kapi

Kapi digunakan untuk melepas komposit yang telah mengeras dari cetakan.



Gambar 3.13 Kapi

11. Alat pemotong

Alat pemotong digunakan untuk memotong komposit sesuai dengan dimensi pengujian.



Gambar 3.14 Gerinda

12. Mesin uji tarik

Mesin uji tarik yang digunakan adalah mesin uji tarik milik Teknik Sipil ITS yang memiliki pembebanan maksimal 500 kN.



Gambar 3.15 Universal Testing Machine Shimadzu Corp.

13. Kamera Digital

Kamera digunakan untuk mendapatkan foto makro patahan specimen.



Gambar 3.16 Kamera Digital

14. Scanning Electron Microscope Zeiss EVO MA 10

SEM digunakan untuk mendapatkan foto ikatan pada penyusun komposit secara jelas, SEM yang digunakan adalah milik Fakultas FMIPA UNESA.



Gambar 3.17 *Scanning Electron Microscope* Zeiss EVO MA 10

Dan bahan – bahan yang diperlukan antara lain:

1. *Epoxy resin adhesives* dan *hardener*



Gambar 3.18 Resin

2. *Hollow Glass Microspheres* jenis iM30K



Gambar 3.19 HGM jenis iM30K

3. *Woven Rovings Fiber Glass*



Gambar 3.20 *Fiber Glass* jenis *Woven Rovings*

4. *Thinner A Spesial*



Gambar 3.21 *Thinner A Spesial*

5. Wax



Gambar 3.22 Wax

6. Polivinil Asetat (PVA)



Gambar 3.23 Polivinil Asetat

3.4 Langkah – Langkah Percobaan

3.4.1 Pembentukan Komposit

Penelitian ini menggunakan matriks *epoxy* dengan penguat serat kaca jenis *woven roving* dan *hollow glass microspheres*. Dalam pembuatannya, digunakan perbandingan fraksi volume resin dengan *hardener* yaitu 1: 3. Lapisan dibuat dengan urutan orientasi arah serat $[45^0/0^0/45^0/0^0/...../0^0]$ sebanyak 6, 8, 10, 12, dan 14 lapis. Hollow glass ditambahkan dengan prosentase fraksi volume 16%.

Proses pembuatan komposit sebagai berikut:

1. Sebelum proses pencetakan cetakan dibersihkan dengan menggunakan *thinner*
2. Kemudian cetakan yang sudah bersih dilapisi dengan wax dan PVA secara merata, hal ini bertujuan agar komposit mudah dilepas dari cetakan.
3. Serat kaca dipotong sesuai dimensi cetakan dengan menggunakan gunting tangan.
4. Resin dan *hardener* diukur dengan perbandingan

- volume sesuai dengan fraksi volume yang telah ditentukan.
5. Tambahkan *hollow glass microsphere* sesuai dengan ukuran berat yang telah ditentukan kedalam resin secara perlahan untuk menghindari *void* dan diaduk hingga tidak terlihat *bubble*.
 6. Campurkan adonan resin-HGM dengan *hardener* yang telah disiapkan, kemudian diaduk secara perlahan untuk menghindari *void*.
 7. Campuran resin-HGM-*hardener* dituang ke dalam cetakan dan diratakan dengan kuas.
 8. Serat diletakkan di atas campuran resin-HGM-*hardener* dan diratakan dengan kuas. Untuk memperoleh homogenitas dan kekuatan yang baik, serat harus terbasahi secara sempurna oleh campuran tersebut.
 9. Langkah 7 dan 8 diulang hingga diperoleh 6, 8, 10, 12 dan 14 lapisan.
 10. Variasi yang menggunakan temperatur ruang (27°C) dibiarkan dalam cetakan untuk menjalani proses *curing* selama 24 jam. Untuk variasi temperatur tinggi, dimasukkan kedalam *Furnace* dengan temperatur 90° selama 24 jam untuk mengalami proses *curing*.
 11. Material komposit dilepas dari cetakan.
 12. Langkah 1-11 diulangi hingga diperoleh komposit dengan variasi lapisan *glass fiber* 6, 8, 10, 12, dan 14.
 13. Pengamatan komposit hasil cetakan.
 14. Setelah komposit berhasil dicetak dengan baik, dilanjutkan dengan pemotongan specimen tarik.

3.4.2 Pengamatan Bentuk Fisik Lembaran Komposit

Setelah proses *curing*, lembaran komposit diamati apakah terdapat cacat pada lembaran komposit. Apabila terdapat cacat pada komposit seperti retak atau lembaran melengkung, maka lembaran komposit tersebut tidak dapat digunakan dan proses pembentukannya harus diulang dari awal.

3.4.3 Pembentukan Spesimen

Setelah komposit dinyatakan layak, maka komposit dibentuk menjadi spesimen. Spesimen dibentuk dengan menggunakan alat bantu gerinda tangan sesuai dengan standard pengujian tarik ASTM D3039. Proses pembentukan harus dilakukan dengan hati-hati, agar komposit tidak pecah selama proses pembentukan menjadi specimen.

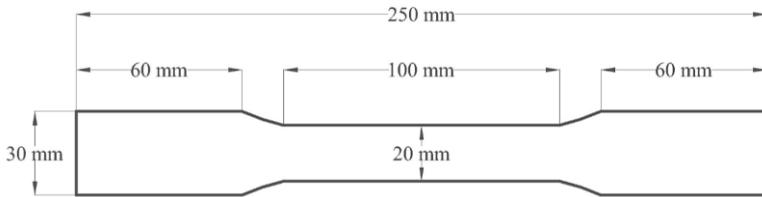
3.5 Prosedur Perhitungan Massa Jenis Komposit

Sebelum dilakukan pengujian tarik, specimen uji akan dihitung massa jenisnya. Untuk perhitungan berat akan menggunakan timbangan digital dan untuk perhitungan volumenya akan menggunakan teori dasar *Archimedes* yaitu dengan memanfaatkan bertambahnya volume air ketika ditambahkan benda lain kedalam volume air tersebut. Setelah specimen ditimbang dan didapatkan beratnya specimen akan dimasukkan kedalam gelas ukur yang sudah terdapat air didalamnya, maka akan didapatkan peningkatan volume air pada gelas ukur. Peningkatan tersebut akan dikurangi volume air awal dan didapatkan besar volume specimen tersebut.

3.6 Pelaksanaan Uji Tarik

3.6.1 Spesimen Uji Tarik

Spesimen uji tarik pada penelitian ini dibentuk berdasarkan standar uji tarik komposit yaitu ASTM D3039, “*Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*”. Bentuk serta dimensi dari spesimen uji tarik adalah seperti gambar 3.24. Mesin uji tarik yang digunakan adalah mesin uji tarik milik Jurusan Teknik Sipil ITS dengan kapasitas maksimum 500 kN untuk pengujian spesimen. Hasil dari pengujian adalah berupa grafik $P-\Delta L$ yang diperoleh dari mesin uji tarik serta kekuatan tarik maksimum spesimen. Grafik tegangan-regangan, perpanjangan dihitung secara manual.



Gambar 3.24 Spesimen uji tarik (dimensi dalam mm).

3.6.2 Prosedur Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan sebagai berikut:

1. Masing-masing spesimen diberi label sesuai variabel yang digunakan.
2. Pencatatan dimensi awal dari spesimen, yaitu :
 - Panjang awal (L_0).
 - Tebal (b).
 - Lebar (d).
3. Memasang spesimen pada penjepit/*chuck*.
4. Pembebanan pada spesimen hingga patah.
5. Mencatat data *yield strength* dan *Ultimate Tensile strength* (UTS)
6. Pembebanan pada specimen hingga patah
7. Setelah patah, spesimen dilepas dari penjepit.
8. Pencatatan data yang didapatkan dari mesin berupa P- Δ L serta kekuatan tarik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Spesimen Ukur

Data ukur specimen *Epoxy*, *glass fiber* dan HGM ditampilkan pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data specimen ukur komposit *curing* temperatur kamar selama 24 jam.

Jumlah Lapisan Glass Fiber	Kode	Temperatur Curing (°C)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Volume (ml)	Berat Komposit (gr)	ρ (gr/cm ³)
6 Lapisan	6A1	Temperatur Kamar	253	29.94	4.35	29.33	42.7	1.456
	6A2		251	29.68	4.1			
	6A3		255	28.59	3.91			
8 Lapisan	8A1		253	27.53	5.67	39.56	57.6	1.456
	8A2		246	30.56	5.87			
	8A3		244	29.01	5.58			
10 Lapisan	10A1		258	28.27	7.54	52.67	76.8	1.458
	10A2		257	28.65	7.31			
	10A3		256	27.9	7.27			
12 Lapisan	12A1		253	30.07	8.33	61.56	91.3	1.483
	12A2		251	29.84	8.37			
	12A3		256	29.2	8.26			
14 Lapisan	14A1	258	29.29	9.89	69.78	102.3	1.466	
	14A2	256	30.98	8.65				
	14A3	258	29.12	9.18				

Tabel 4.2 Data specimen ukur komposit *curing* temperatur 90°C selama 24 jam.

Jumlah Lapisan Glass Fiber	Kode	Temperatur Curing (°C)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Volume (ml)	Berat Komposit (gr)	ρ (gr/cm ³)
6 Lapisan	6B1	Temperatur 90°C	249	29.09	4.3	29.78	42.9	1.441
	6B2		251	28.38	4.23			
	6B3		254	28.41	4.68			
8 Lapisan	8B1		255	27.63	5.83	40.22	58.4	1.452
	8B2		251	28.89	5.79			
	8B3		251	28.95	5.88			
10 Lapisan	10B1		248	27.58	7.47	52.89	77.3	1.461
	10B2		254	30.02	7.55			
	10B3		252	30.78	7.2			
12 Lapisan	12B1		256	28.03	7.64	58.22	90.3	1.551
	12B2		255	29.45	7.88			
	12B3		251	29.48	8.36			
14 Lapisan	14B1	256	27.57	9.82	69.78	102.5	1.469	
	14B2	254	29.59	9.15				
	14B3	257	27.7	10.63				

Tabel 4.3 Data berat specimen komposit *curing* temperatur kamar selama 24 jam

Jumlah Lapisan Glass Fiber	Kode	Temperatur Curing (°C)	Berat Glass Fiber (gr)	Berat HGM (gr)	Berat Epoxy (gr)	Berat Hardener (gr)
6 Lapisan	6A1	Temperatur Kamar	30.166	1.299	9.567	3.101
	6A2					
	6A3					
8 Lapisan	8A1		40.221	1.743	12.845	4.164
	8A2					
	8A3					
10 Lapisan	10A1		51.776	2.339	17.236	5.587
	10A2					
	10A3					
12 Lapisan	12A1		60.332	2.915	21.476	6.962
	12A2					
	12A3					
14 Lapisan	14A1	70.387	2.985	21.994	7.129	
	14A2					
	14A3					

Tabel 4.4 Data berat specimen komposit *curing* temperatur 90°C selama 24 jam.

Jumlah Lapisan Glass Fiber	Kode	Temperatur Curing (°C)	Berat Glass Fiber (gr)	Berat HGM (gr)	Berat Epoxy (gr)	Berat Hardener (gr)
6 Lapisan	6B1	Temperatur 90°C	30.166	1.341	9.881	3.203
	6B2					
	6B3					
8 Lapisan	8B1		40.221	1.787	13.166	4.268
	8B2					
	8B3					
10 Lapisan	10B1		51.776	2.453	18.073	5.859
	10B2					
	10B3					
12 Lapisan	12B1		60.332	3.477	25.617	8.304
	12B2					
	12B3					
14 Lapisan	14B1	70.387	3.144	23.166	7.509	
	14B2					
	14B3					

4.2 Data Hasil Pengujian Tarik Komposit Hybrid

Pengujian tarik dilakukan dengan berdasarkan pada standar ASTM D3039 dilakukan pada mesin tarik di laboratorium Jurusan Teknik Sipil ITS. Hasil pengujian tarik pada komposit hibrida ditampilkan pada table berikut :

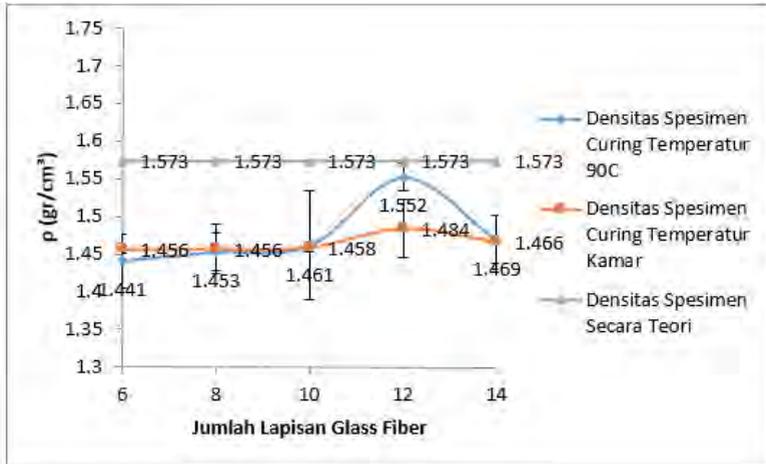
Tabel 4.5 Hasil uji tarik komposit *curing* temperatur kamar selama 24 jam.

Jumlah Lapisan Glass Fiber	Kode	Temperatur Curing (°C)	σ (Mpa)	σ Avg (Mpa)	ϵ (%)	ϵ Avg (%)	Toughness (N.mm/mm ²)	Toughness avg (N.mm/mm ²)
6 Lapisan	6A1	Temperatur Kamar	112.104	109.448	7.95	8.035	5.386	4.849
	6A2		108.460		8.043		4.463	
	6A3		107.780		8.113		4.698	
8 Lapisan	8A1		120.839	120.921	8.45	8.547	5.852	6.13
	8A2		121.624		8.524		6.322	
	8A3		120.300		8.666		6.216	
10 Lapisan	10A1		124.356	125.584	10.246	10.62	6.042	6.247
	10A2		124.732		10.72		6.313	
	10A3		127.663		10.894		6.387	
12 Lapisan	12A1		130.541	129.844	11.962	12.121	9.136	8.271
	12A2		128.220		12.31		7.96	
	12A3		130.771		12.12		7.716	
14 Lapisan	14A1		129.861	128.041	12.262	12.439	9.333	8.912
	14A2		127.521		12.58		8.717	
	14A3	126.740	12.476		8.686			

Tabel 4.6 Hasil uji tarik komposit *curing* temperatur 90°C selama 24 jam.

Jumlah Lapisan Glass Fiber	Kode	Temperatur Curing (°C)	σ (Mpa)	σ Avg (Mpa)	ϵ (%)	ϵ Avg (%)	Toughness (N.mm/mm ²)	Toughness avg (N.mm/mm ²)
6 Lapisan	6B1	Temperatur 90°C	134.419	128.649	9.17	8.448	5.353	5.103
	6B2		133.471		7.854		5.176	
	6B3		118.058		8.32		4.777	
8 Lapisan	8B1		135.232	137.831	9.244	9.639	5.868	6.043
	8B2		141.297		9.812		6.012	
	8B3		136.962		9.862		6.248	
10 Lapisan	10B1		165.472	154.147	9.55	9.494	7.472	6.641
	10B2		147.352		9.658		6.175	
	10B3		149.617		9.274		6.275	
12 Lapisan	12B1		177.457	176.303	11.262	12.157	8.682	8.564
	12B2		177.289		11.85		8.644	
	12B3		174.164		13.358		8.366	
14 Lapisan	14B1		161.167	164.986	13.082	13.283	9.467	9.281
	14B2		159.758		13.048		8.559	
	14B3	174.034	13.718		9.816			

4.2.1 Perbandingan Densitas Komposit Teori dengan Densitas Komposit Ukur



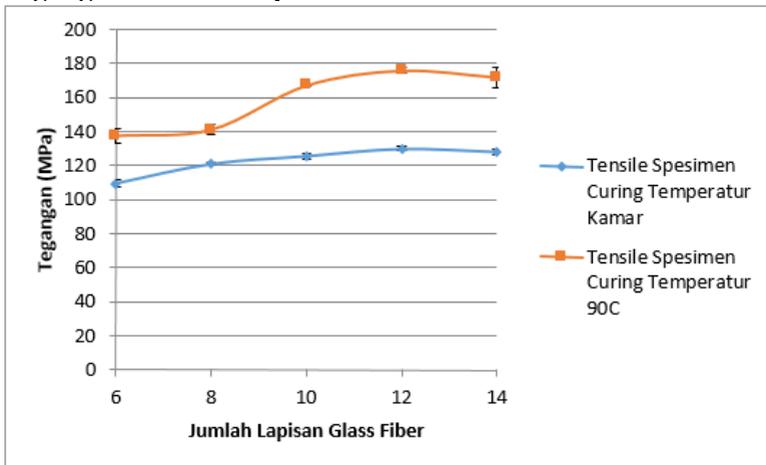
Gambar 4. 1 Grafik massa jenis komposit secara teori dan secara ukur terhadap jumlah lapisan *glass fiber*

Dari gambar 4.1 Terlihat bahwa tren grafik massa jenis komposit ukur baik specimen *curing* temperature kamar maupun specimen *curing* temperatur 90°C terhadap variasi jumlah lapisan *glass fiber* cenderung mengalami kenaikan yang tidak terlalu signifikan. Kenaikan terbesar masa jenis terdapat pada jumlah lapisan glass fiber 12 yaitu 1.491 gr/cm³ untuk specimen *curing* temperature kamar dan 1.484 gr/cm³ untuk specimen *curing* temperatur 90°C.

Akan tetapi baik densitas specimen *curing* temperature kamar maupun densitas specimen *curing* temperatur 90°C memiliki perbedaan jika dibandingkan dengan densitas spesimen secara teori yaitu 1.572 gr/cm³. Lalu dengan melihat dimensi spesimen yang cenderung memiliki variasi kenaikan atau penurunan dimensi yang kecil (atau dapat dianggap sama pada tiap variasi jumlah lapisan *glass fiber*), maka perbedaan densitas dan

adanya variasi nilai densitas specimen ini dikarenakan adanya perbedaan berat antara berat total specimen secara teori dan berat total specimen ukur yang dapat dilihat pada tabel 3.2.6 untuk berat komposit teori dan tabel 4.1-4.2 untuk berat komposit specimen. Perbedaan variasi berat total specimen tersebut mengindikasikan adanya *void* pada specimen sehingga dapat menurunkan berat komposit. Kemudian dengan menjaga berat *glass fiber* tidak berkurang dan akan selalu sesuai dengan berat secara teori maka dapat diketahui berat bahan penyusun komposit specimen ukur lainnya yaitu pada tabel 4.3 dan 4.4. Lalu dengan membandingkan berat bahan penyusun komposit secara teori pada tabel 3.2.6, terlihat bahwa berat HGM, *epoxy*, dan *hardener* specimen berbeda dari berat specimen secara teori, dan perbedaan ini dapat mempengaruhi ikatan komposit serta sifat mekanik pada saat pengujian.

4.2.2 Pengaruh Variasi Temperatur Curing Terhadap Tegangan Tarik Komposit



Gambar 4.2 Grafik Tegangan Tarik (Mpa) VS Jumlah Lapisan *Fiberglass* untuk Temperatur *Curing* 27°C Selama 24 jam dan Temperatur *Curing* 90°C Selama 24 jam

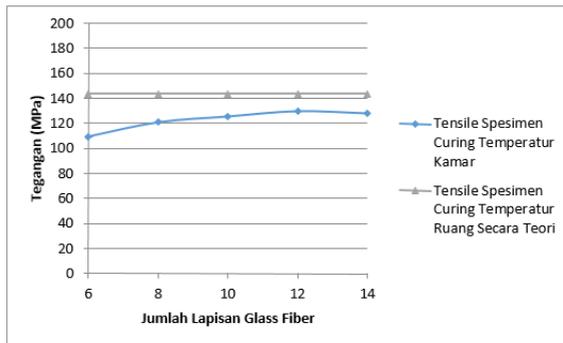
Dari tabel 4.5 dan gambar 4.2 untuk komposit dengan perlakuan *curing* pada suhu kamar didapatkan tegangan tarik dari setiap variasi untuk jumlah lapisan 6 adalah 109,45 MPa, untuk jumlah lapisan 8 adalah memiliki nilai rata-rata 120,92, untuk jumlah lapisan 10 memiliki nilai rata-rata 125,58 MPa, untuk jumlah lapisan 12 adalah 129,84 MPa dan untuk jumlah lapisan 14 memiliki nilai rata-rata 128,04 MPa. Nilai tegangan tarik tertinggi pada spesimen komposit hibrida adalah dengan jumlah lapisan *glass fiber* 12. Sedangkan tegangan tarik terendah adalah spesimen komposit hibrida dengan penambahan jumlah lapisan *glass fiber* 6.

Lalu untuk komposit dengan perlakuan *curing* pada suhu 90C pada tabel 4.6 dan gambar 4.2 didapatkan tegangan tarik dari setiap variasi untuk jumlah lapisan 6 adalah 128,65 MPa, untuk jumlah lapisan 8 adalah memiliki nilai rata-rata 138,83 MPa, untuk jumlah lapisan 10 memiliki nilai rata-rata 154,15 MPa, untuk jumlah lapisan 12 adalah 176,30 MPa dan untuk jumlah lapisan 14 memiliki nilai rata-rata 164,98 MPa. Nilai tegangan tarik tertinggi pada spesimen komposit hibrida adalah dengan jumlah lapisan *glass fiber* 12. Sedangkan tegangan tarik terendah adalah spesimen komposit hibrida dengan penambahan jumlah lapisan *glass fiber* 6.

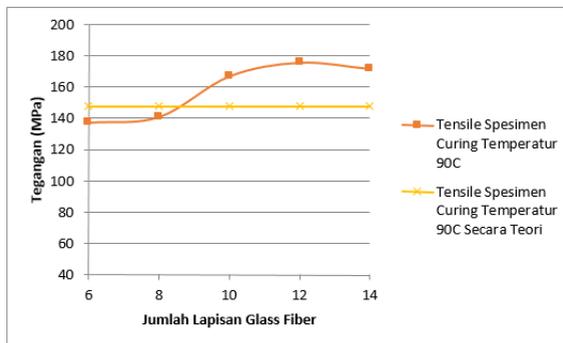
Dari gambar 4.2 terlihat bahwa komposit yang mengalami proses *curing* pada temperature tinggi *trend* grafik *tensile* nya akan selalu lebih tinggi dibandingkan komposit yang di *curing* pada suhu kamar sehingga hal ini menunjukkan adanya pengaruh temperature curing terhadap tegangan tarik komposit *hybrid*. Pengaruh tersebut adalah karena ikatan *crosslink* yang terjadi pada *epoxy* murni yang di *curing* 90C akan lebih banyak dibandingkan dengan *epoxy* murni di *curing* temperature kamar, sehingga tegangan tarik pada komposit curing temperature 90C akan lebih tinggi dibandingkan pada komposit curing temperature kamar. Meningkatnya *bonding* antara *matrix* dan *reinforced* maka akan memperbaiki ikatan *interface* dari *matrix* dan *reinforced*. Menurut *Christos C. Chamis* (1971)[34] dari NASA, ikatan *inteface* yang kuat akan menghasilkan komposit dengan kekakuan yang tinggi dan kekuatan yang lebih tinggi.

4.2.3 Pembahasan Variasi Jumlah Lapisan Penambahan *Glass Fiber* Terhadap Tegangan *Tensile* Komposit VS Tegangan *Tensile* Secara Teori

Dengan menggunakan persamaan *Rule Of Mixture* (ROM) maka secara teoritis tegangan tarik komposit dapat dihitung, gambar 4.3 dan 4.4 menunjukkan grafik perbandingan antara nilai tegangan tarik secara teoritis dan eksperimen sebagai berikut:



Gambar 4.3 Grafik tegangan tarik hasil percobaan vs tegangan tarik secara teori pada *curing* temperature kamar terhadap jumlah lapisan *glass fiber*



Gambar 4.4 Grafik tegangan tarik hasil percobaan vs tegangan tarik secara teori pada *curing* temperature 90C terhadap jumlah lapisan *glass fiber*

Pada grafik 4.3 dan 4.4 terlihat perbandingan antara tegangan tarik spesimen secara teori, baik *curing* temperatur kamar maupun *curing* temperature 90C. Pada hasil perhitungan teoritis kekuatan tarik komposit *hybrid* akan selalu memiliki tegangan tarik yang sama pada tiap variasi jumlah lapisan yaitu pada 143.597 MPa untuk komposit *curing* temperature kamar dan 147.525 MPa untuk komposit *curing* temperature 90C. Hal tersebut dikarenakan pada perhitungan teoritis, perbandingan fraksi volume antara matriks dan penguat akan selalu konstan sehingga dianggap kondisi ideal terjadi yaitu adanya ikatan yang kuat antara matriks dan penguat. Penyimpangan antara hasil ROM dan pengujian disebabkan karena pada praktiknya tidak dijumpai asumsi seperti yang digunakan pada ROM sehingga tidak terjadi kondisi ideal, seperti terjadi perubahan perbandingan fraksi volume antara matriks dan penguat, *void* yang terjadi pada pembuatan komposit, distribusi penyebaran HGM tidak merata antar lapisan, adanya kecacatan pada serat *glass fiber*, dan tidak kuatnya ikatan antara Matriks dengan penguat. Lalu dapat dilihat pada grafik 4.4 dimana pada jumlah lapisan 10 hingga 14 akan memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan kekuatan tarik secara ROM, hal ini menandakan bahwa rumus untuk mencari kekuatan tarik dengan menggunakan ROM secara umum tidak dapat dapat valid digunakan pada komposit *hybrid* ini, dikarenakan pada rumus ROM tersebut belum memperhitungkan adanya interaksi ikatan antara matriks dan *glass fiber*. Sehingga perlu dilakukan penelitian khusus mengenai hal ini untuk mencari persamaan ROM terhadap komposit *hybrid* jenis ini.

Terlihat juga *trend* grafik tegangan tarik terhadap variasi jumlah lapisan *glass fiber* akan mengalami kenaikan dari jumlah 6 lapis hingga 12, lalu mengalami penurunan pada jumlah 14 lapis. Adanya kenaikan serta penurunan *trend* grafik tersebut terhadap penambahan jumlah lapisan *glass fiber* menunjukkan adanya penyimpangan perbandingan fraksi volume yang terjadi pada spesimen.

Tabel 4.7 Perbandingan Fraksi Volume Spesimen Temperatur Curing Kamar

Jumlah Lapisan	Volume Glass fiber (cm ³)	Volume Komposit (cm ³)	%Volume Glass Fiber	%Volume Matriks (Epoxy + HGM)
6	12.07	30.31	39.82	60.18
8	16.09	40.49	39.74	60.26
10	20.71	52.76	39.25	60.75
12	24.13	61.80	39.05	60.95
14	28.15	69.92	40.26	59.74

Tabel 4.8 Perbandingan Fraksi Volume Spesimen Temperatur Curing 90C

Jumlah Lapisan	Volume Glass fiber (cm ³)	Volume Komposit (cm ³)	%Volume Glass Fiber	%Volume Matriks (Epoxy + HGM)
6	12.07	30.94	39.01	60.98
8	16.09	40.91	39.33	60.67
10	20.71	53.49	38.72	61.28
12	24.13	63.01	38.29	61.71
14	28.15	70.94	39.68	60.32

Dengan menjaga volume *glass fiber* sesuai volume secara teori seperti pada tabel 3.2.3 maka dapat diketahui perbandingan fraksi volume *glass fiber* dan fraksi volume matriks spesimen yaitu pada tabel 4.7 dan 4.8. Dari tabel tersebut terlihat terjadi perbedaan perbandingan fraksi volume *glass fiber* dengan fraksi volume matriks yang seharusnya konstan yaitu pada 63,2% untuk fraksi volume matriks dan 36,8% untuk fraksi volume *glass fiber*. Perbedaan pada fraksi volume matriks ini akan menyebabkan perbedaan nilai tegangan tarik pula, karena semakin kecil fraksi volume matriksnya maka material penyusun komposit yang berfungsi sebagai pengikat dari penguat juga akan semakin berkurang, sehingga akan menyebabkan banyak terjadinya

debonding akibat tidak kuatnya ikatan antara matriks dan penguat [18]. Lebih lanjut lemahnya ikatan tersebut akan menyebabkan munculnya mode kegagalan seperti delaminasi, *fiber pull out*, HGM *debonding* yang dapat menurunkan tegangan tarik.

Faktor lain yang mempengaruhi terjadinya penurunan dan kenaikan pada tegangan tarik yaitu adanya *void* pada komposit. Seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab 4.2.1 dimana terdapat indikasi adanya *void* pada spesimen jika dilihat dari densitasnya. *Void* ini dapat terjadi akibat terperangkapnya udara pada proses pembuatan komposit. Karena dengan adanya *void* maka akan terdapat ketidakseragaman dalam bahan komposit, sehingga dapat mempengaruhi sifat mekanik dan umur dari komposit.

4.3 Penerapan Spesimen pada Rompi anti peluru

Salah satu penerapan penelitian yang dilakukan Widiansyah [10] mengenai karakteristik kompresi material komposit yaitu dengan matriks *epoxy* dan *filler* berupa *hollow glass microspheres* adalah pembuatan rompi anti peluru yang diteliti oleh Zahrah [11]. Hal ini dikarenakan HGM terkenal akan kekuatan kompresinya [17] sehingga cocok digunakan pada rompi anti peluru. Dengan material tersebut Zahrah menyimpulkan bahwa untuk rompi yang aman berdasarkan standard NIJ dan laporan Major General Julian S. adalah yang memiliki ketebalan 25mm. Pada pembahasan ini akan membahas dan membandingkan luasan efektif dan tebal efektif dalam pembuatan rompi anti peluru dengan menggunakan material komposit *hybrid*.

4.3.1 Perbandingan Dimensi Berdasarkan Energi Internal Rompi dan Ketangguhan Komposit

Hasil data yang didapat dari simulasi Zahrah [11] mengenai energy yang dimiliki oleh rompi sebagai berikut:

Tabel 4.9 Energi yang dimiliki oleh rompi pada ketebalan 25mm [11]

Ketebalan (mm)	Energi Internal Rompi (J)
25	353.57

Tabel 4.10 Luasan efektif rompi anti peluru ketebalan 25mm [11]

r efektif (mm)	A efektif (mm ²)
14.28	640.3

Berdasarkan data ketangguhan komposit *hybrid* pada tabel 4.5-4.6 dan data energy internal yang dimiliki rompi pada tabel 4.9 maka dapat dihitung volume efektif komposit *hybrid* yang dibutuhkan untuk menahan energy yang dilepaskan proyektil. Kemudian dengan menggunakan data tebal material komposit penelitian Zahrah yaitu 25 mm, maka dapat dicari luasan efektif rompi anti peluru komposit *hybrid* seperti pada tabel 4.11-4.12 berikut:

Tabel 4.11 Luasan Efektif Rompi anti peluru Spesimen Komposit *Hybrid Curing Temperature Kamar*

Jumlah Layer	Volume (mm ³)	Luas (mm ²)
6	72916.07	2916.64
8	57678.63	2307.15
10	56595.35	2263.81
12	42749.88	1709.99
14	39673.47	1586.94

Tabel 4.12 Luasan Efektif Rompi anti peluru Spesimen Komposit
Hybrid Curing Temperature 90C

Jumlah Layer	Volume (mm ³)	Luas (mm ²)
6	69293.45	2771.74
8	58509.75	2340.39
10	53243.09	2129.72
12	41285.22	1651.41
14	38095.34	1523.81

Dari tabel 4.11-4.12 didapatkan luasan efektif rompi anti peluru komposit *hybrid* agar menyamai energy internal pada rompi anti peluru Zahrah [11] dengan ketangguhan komposit *hybrid*. Jika dibandingkan dengan luasan efektif rompi anti peluru pada penelitian Zahrah [11] pada tabel 4.10, maka penggunaan komposit *hybrid* sebagai material rompi anti peluru berdasarkan luasan efektif membutuhkan luasan yang lebih besar agar dapat menerima peluru proyektil.

Selanjutnya dengan data volume efektif pada tabel 4.11-4.12 dan luasan efektif rompi anti peluru Zahrah [11] pada tabel 4.10 maka dapat dicari tebal efektif rompi anti peluru komposit *hybrid* seperti pada tabel 4.13-4.14

Tabel 4.13 Tebal Efektif Rompi anti peluru Komposit *Hybrid*
Curing Temperatur Kamar

Jumlah Layer	Tebal Rompi anti peluru Komposit <i>Hybrid</i> (mm)
6	113.87
8	90.08
10	88.39
12	66.77
14	61.96

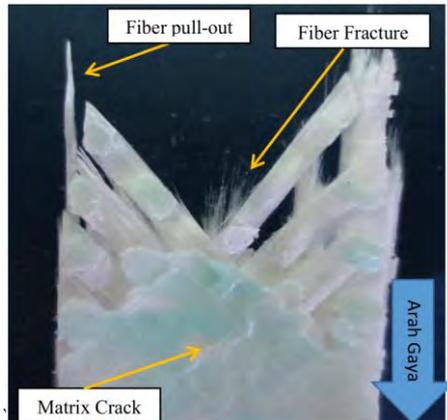
Tabel 4.14 Tebal Efektif Rompi anti peluru Komposit *Hybrid*
Curing Temperatur 90C

Jumlah Layer	Tebal Rompi anti peluru Komposit <i>Hybrid</i> (mm)
6	108.22
8	91.38
10	83.15
12	64.48
14	59.49

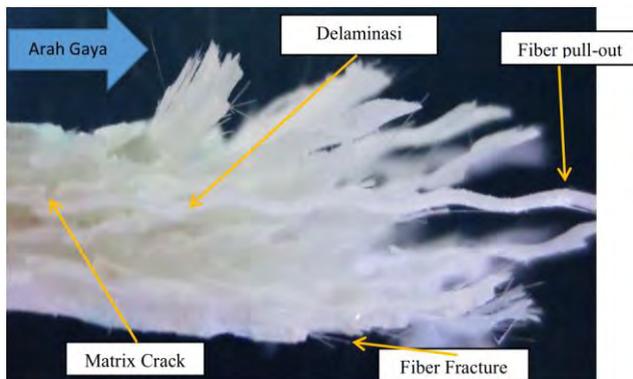
Berdasarkan hasil perhitungan tebal rompi anti peluru komposit *hybrid* tersebut, jika dibandingkan dengan tebal rompi anti peluru pada penelitian Zahrah [11] yaitu 25 mm maka penggunaan komposit *hybrid* membutuhkan ketebalan yang lebih tebal untuk dapat menerima energy proyektil peluru agar tidak tembus.

4.4 Hasil Pengamatan Makro Patahan Spesimen Uji Tarik

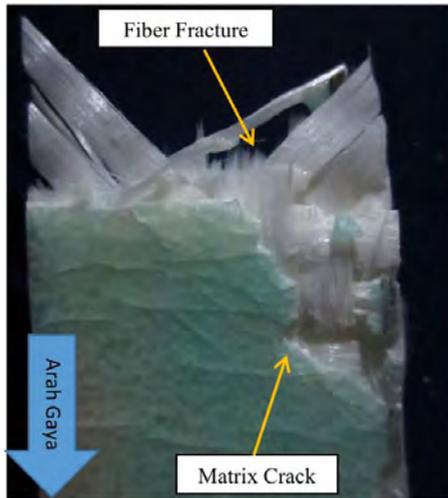
4.4.1 Spesimen dengan Jumlah Lapisan 6 Glass Fiber



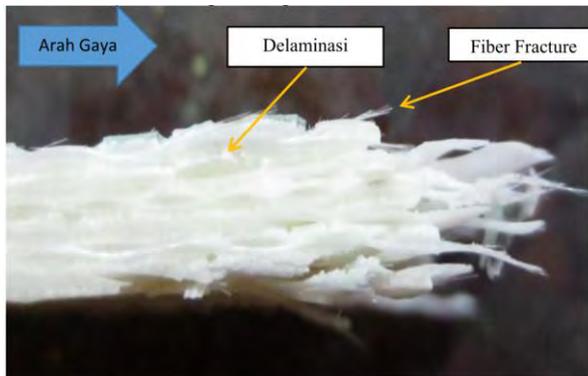
Gambar 4.5 Foto makro tampak atas patahan specimen dengan jumlah lapisan 6 *glass fiber* pada temperature kamar



Gambar 4.6 Foto makro tampak samping patahan specimen dengan jumlah lapisan 6 *glass fiber* pada temperature kamar

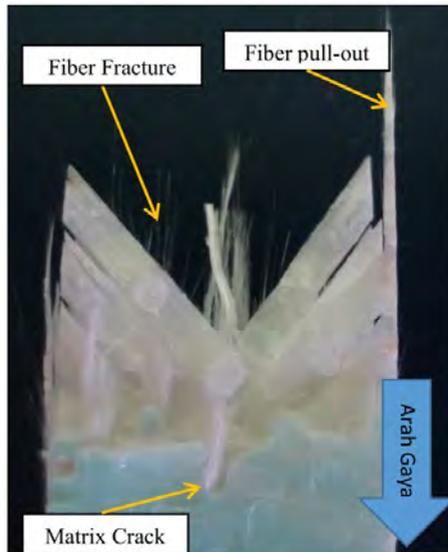


Gambar 4.7 Foto makro tampak atas patahan specimen dengan jumlah lapisan 6 *glass fiber* pada temperature 90C

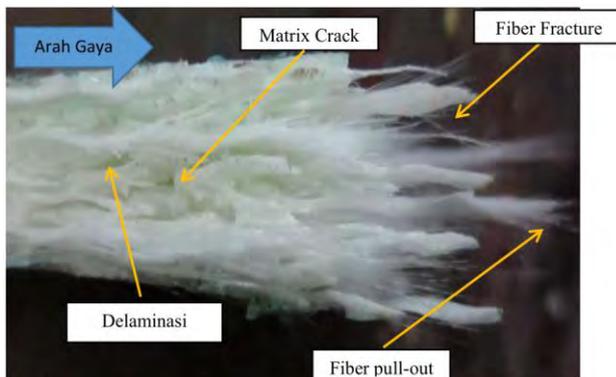


Gambar 4.8 Foto makro tampak samping patahan specimen dengan jumlah lapisan 6 *glass fiber* pada temperature 90C

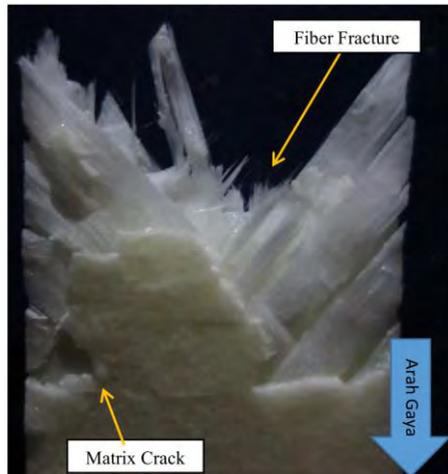
4.4.2 Spesimen dengan Jumlah Lapisan 8 Glass Fiber



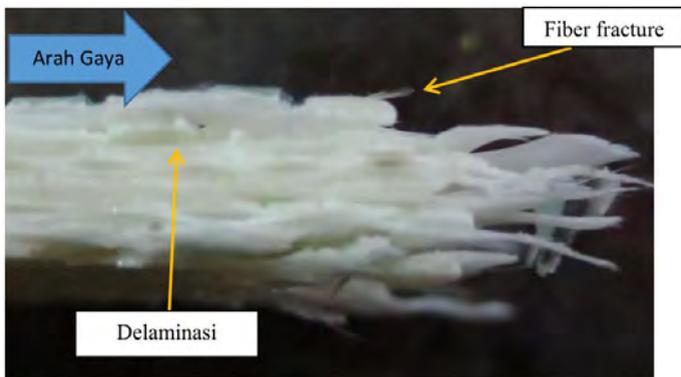
Gambar 4.9 Foto makro tampak atas patahan specimen dengan jumlah lapisan 8 *glass fiber* pada temperature kamar



Gambar 4.10 Foto makro tampak samping patahan specimen dengan jumlah lapisan 8 *glass fiber* pada temperature kamar

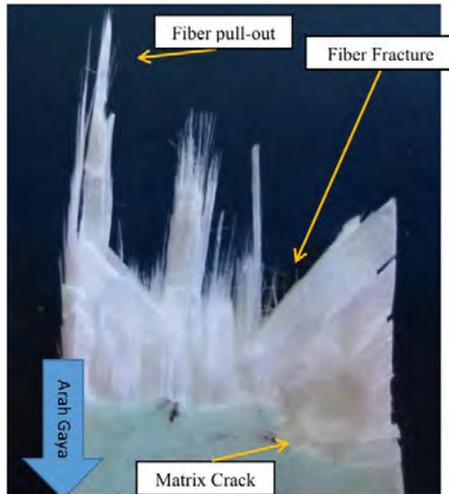


Gambar 4.11 Foto makro tampak atas patahan specimen dengan jumlah lapisan 8 *glass fiber* pada temperature 90C

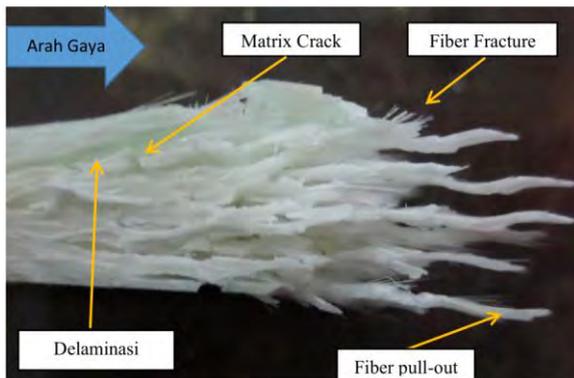


Gambar 4.12 Foto makro tampak samping patahan specimen dengan jumlah lapisan 8 *glass fiber* pada temperature 90C

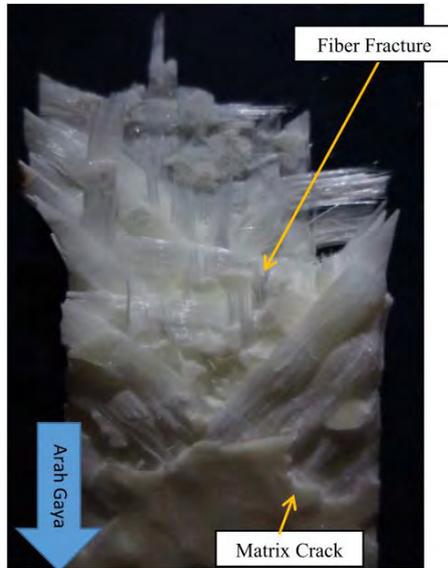
4.4.3 Spesimen dengan Jumlah Lapisan 10 Glass Fiber



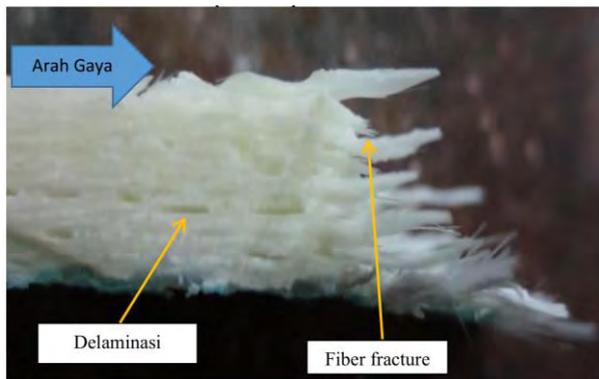
Gambar 4.13 Foto makro tampak atas patahan specimen dengan jumlah lapisan 10 *glass fiber* pada temperature kamar



Gambar 4.14 Foto makro tampak samping patahan specimen dengan jumlah lapisan 10 *glass fiber* pada temperature kamar

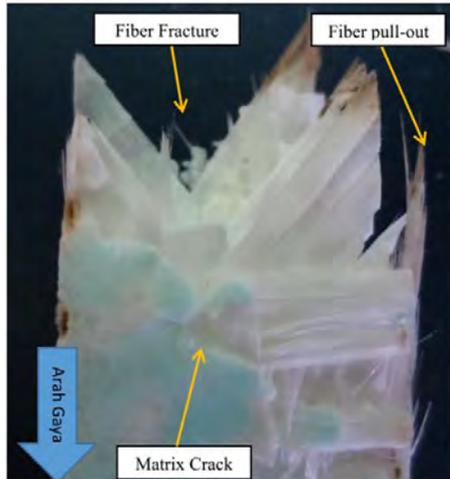


Gambar 4.15 Foto makro tampak atas patahan specimen dengan jumlah lapisan 10 *glass fiber* pada temperature 90C

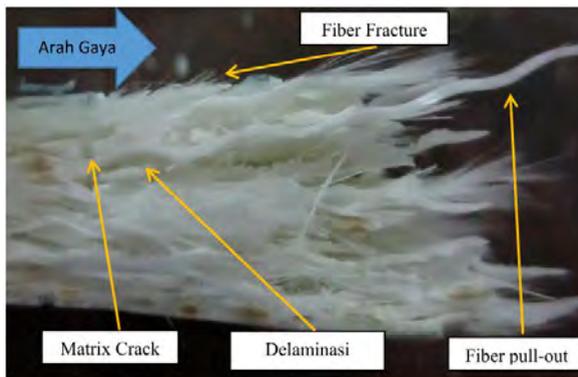


Gambar 4.16 Foto makro tampak samping patahan specimen dengan jumlah lapisan 10 *glass fiber* pada temperature 90C

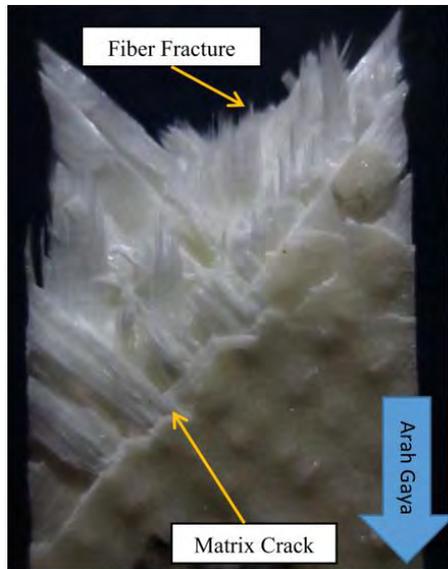
4.4.4 Spesimen dengan Jumlah Lapisan 12 Glass Fiber



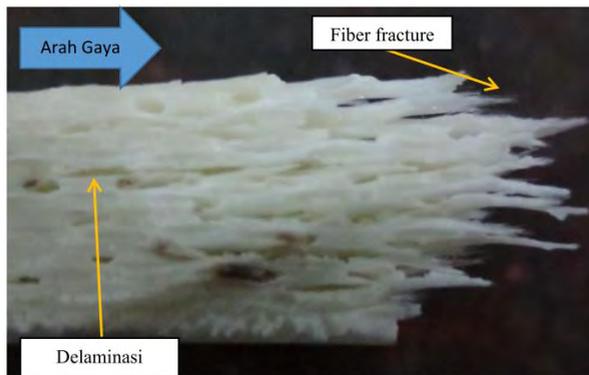
Gambar 4.17 Foto makro tampak atas patahan specimen dengan jumlah lapisan 12 *glass fiber* pada temperature kamar



Gambar 4.18 Foto makro tampak samping patahan specimen dengan jumlah lapisan 12 *glass fiber* pada temperature kamar

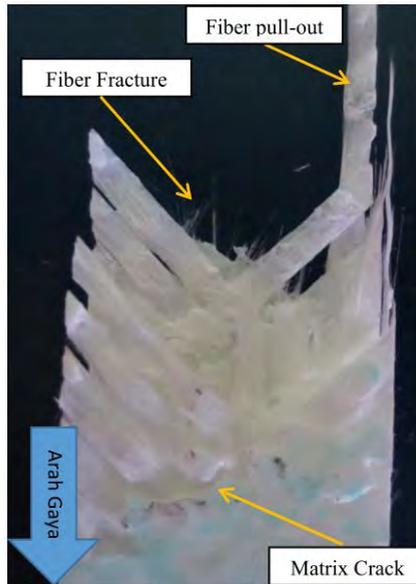


Gambar 4.19 Foto makro tampak atas patahan specimen dengan jumlah lapisan 12 *glass fiber* pada temperature 90C

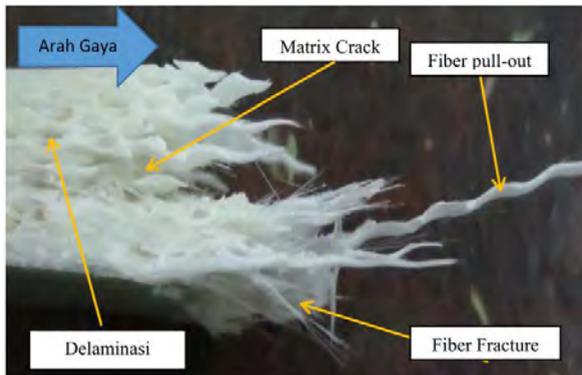


Gambar 4.20 Foto makro tampak samping patahan specimen dengan jumlah lapisan 12 *glass fiber* pada temperature 90C

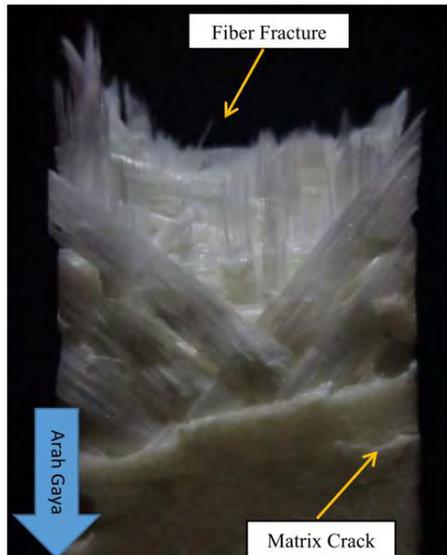
4.4.5 Spesimen dengan Jumlah Lapisan 14 Glass Fiber



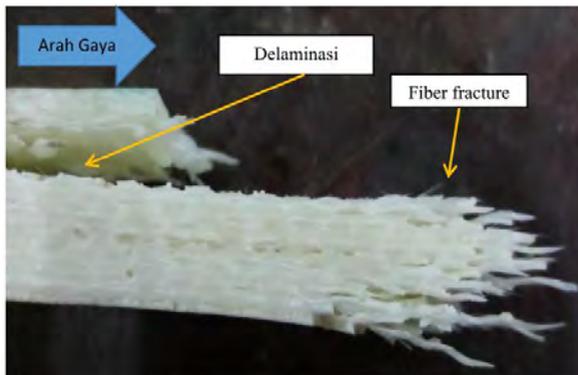
Gambar 4.21 Foto makro tampak atas patahan specimen dengan jumlah lapisan 14 glass fiber pada temperature kamar



Gambar 4.22 Foto makro tampak samping patahan specimen dengan jumlah lapisan 14 glass fiber pada temperature kamar



Gambar 4.23 Foto makro tampak atas patahan specimen dengan jumlah lapisan 14 glass fiber pada temperature 90C

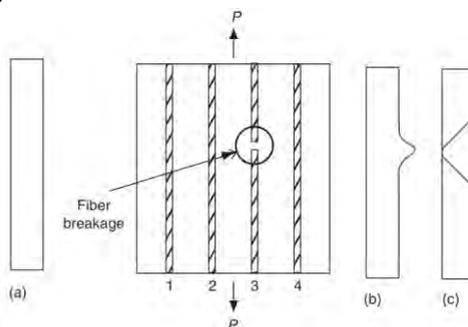


Gambar 4.24 Foto makro tampak samping patahan specimen dengan jumlah lapisan 14 glass fiber pada temperature 90C

4.4.6 Pembahasan Mode Patahan Spesimen

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Ghafaar *et. al* dengan membandingkan kekuatan tarik matriks *epoxy* dan 3 variasi penguat yaitu *glass fiber*, *carbon fiber* dan campuran keduanya maka didapatkan bahwa faktor utama yang mengendalikan mekanisme patahan adalah ikatan yang kuat antara fiber dan matriks, dan tipe dari fiber [7]. Dan telah dilaporkan menurut penelitian yang dilakukan oleh Sulliman *et. al* bahwa *glass fiber* memiliki ikatan yang tidak kuat dengan *epoxy* [35]. Dan hal ini terbukti dari dari gambar 4.5 – 4.24 terlihat mode patahan pada spesimen yang hampir serupa yaitu *matrix cracking*, *fiber fracture*, *fiber pull-out*, dan delaminasi yang diakibatkan oleh tidak kuatnya ikatan antara *epoxy* dan fiber.

Fiber fracture atau *fiber breakage* terjadi karena *glass fiber* patah akibat tidak kuat dalam menerima beban tarik. Model kegagalan seperti ini akan sering terjadi pada komposit yang berpenguat berbentuk anyaman karena retakan yang terjadi akan merambat sepanjang arah salah satu *glass fiber* dan akan memotong *glass fiber* dengan arah tegak lurusnya [36]. Ketika *glass fiber* patah maka distribusi tegangan pada kedua ujung yang patah tersebut akan menjadi nol, dan hal tersebut akan membebani distribusi tegangan pada daerah sekitarnya seperti terlihat pada gambar 4.25.



Gambar 4.25. Distribusi tegangan (a) pada *fiber* kontinu sebelum *fiber* 3 patah, (b) pada *fiber* 2 dan 4 setelah *fiber* 3 patah, dan (c) pada *fiber* 3 setelah patah [16]

Selain itu daerah didekat *fiber breakage* akan menyebabkan beberapa hal seperti :

1. Terjadinya konsentrasi tegangan akibat terbentuknya *void*
2. Terjadinya konsentrasi tegangan geser yang tinggi pada matriks didekat *fiber* yang putus
3. Peningkatan tegangan pada *fiber* didekat didaerah tersebut

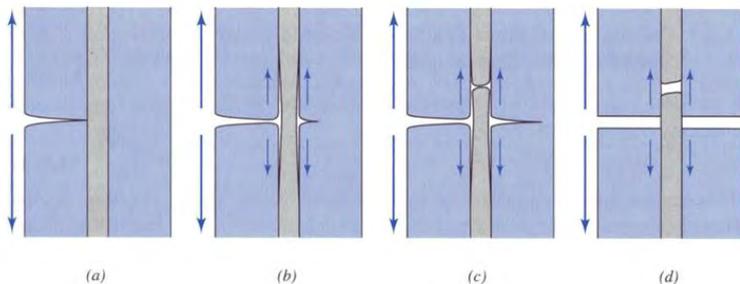
Dengan terjadinya pemusatan tegangan lokal tersebut maka akan meningkatkan kemungkinan terbentuknya model kegagalan lainnya seperti *matrix cracking* yaitu karena adanya inisiasi *microcrack* pada matriks yang diakibatkan konsentrasi tegangan tinggi pada ujung dari *void*, dan terbentuknya parsial atau total *debonding fiber* yang patah pada *interface fiber*-matriks akibat tingginya tegangan geser di ujung daerah *interface* yang pada akhirnya dapat menyebabkan delaminasi atau *fiber pull-out*.

Matrix cracking juga dapat disebabkan karena retakan dari matriks akibat regangan yang diterima matriks telah melebihi batas regangan dari matriks tersebut. *Fiber pull-out* terjadi karena *glass fiber* tercabut akibat tidak kuat dalam menerima beban tarik, tercabutnya ini terjadi akibat adanya *debonding* atau *bonding* yang lemah antara penguat dan matriks sehingga sewaktu material diberi beban tarik matriks tidak mampu mengikat penguat. Delaminasi terjadi akibat ikatan yang lemah antar lapisan komposit, juga tegangan geser yang dihasilkan antara lapisan terutama pada ujung lapisan dapat menyebabkan delaminasi.

4.4.7 Perbandingan Mode Patahan Spesimen Terhadap Temperatur Curing

Berdasarkan hasil pengamatan makro dari gambar 4.5 – 4.24, terjadi perbedaan pola patahan antara spesimen curing temperatur kamar dengan spesimen curing temperatur 90C. Pada spesimen *curing* temperatur kamar terlihat lebih banyak terjadi nya delaminasi dibandingkan dengan spesimen *curing* temperatur 90C. Hal ini terjadi karena matriks pada spesimen *curing* temperatur 90C lebih kuat mengikat penguat dibandingkan dengan spesimen curing temperatur kamar. Lebih kuatnya ikatan tersebut

disebabkan pada proses curing menggunakan temperatur 90C, molekul-molekul epoxy resin dan hardener akan mendapatkan energi lebih banyak untuk lebih aktif bergerak dalam membentuk ikatan crosslink. Sehingga ikatan crosslink yang terjadi pada epoxy murni yang di curing 90C akan lebih banyak dibandingkan dengan epoxy murni di curing temperatur kamar. Ikatan crosslink yang lebih banyak pada matriks akan meningkatkan nilai kekuatan tariknya. Jika matriks sebagai pengikat *glass fiber* dan HGM lebih banyak memiliki ikatan crosslink, maka *debonding* yang terjadi pada penguat dan matriks akan berkurang.



Gambar 4.26 Ilustrasi patahan yang terjadi pada komposit berpenguat serat: (a)retak pada matriks mendekati serat, (b) retak terbentuk pada sisi lainnya dari serat dan serat masih utuh, (c) serat akan putus dari matriks, (d) terjadinya *fiber pullout*. [22]

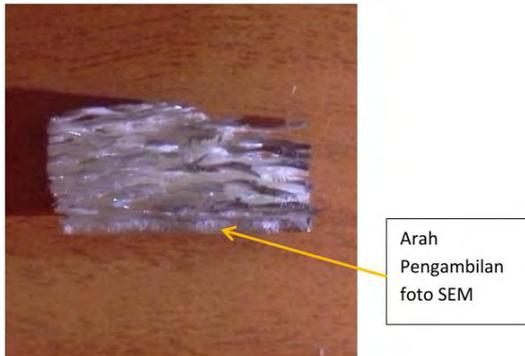
Lebih kuatnya ikatan antara penguat dan matriks akan mengurangi juga terjadinya *fiber pull-out*. Proses ini dapat ditunjukkan pada gambar 4.26, yaitu ketika ikatan nya lemah maka delaminasi terjadi pada bagian interface, dan retak akan berhenti sementara (gambar 4.26.a). Ketika beban dinaikkan, matriks pada sisi lainnya dari serat akan mulai retak (gambar 4.26.b), tetapi serat masih dapat menerima beban dan fenomena ini disebut matriks *bridging*. Ketika serat putus maka retakan pada matriks di sisi lainnya dari serat akan terus bertambah (gambar 4.26.c) yang kemudian matriks putus dan dilanjutkan dengan *fiber pullout*

(gambar 4.26.d). Lebih lanjut dapat terlihat pada gambar makro bahwa pada spesimen curing temperatur 90C lebih sedikit terjadi pola patahan *matrix cracking*. Hal ini terjadi akibat efek dari sedikitnya terjadi pola patahan *fiber fracture*, yang seperti sudah dijelaskan pada subbab 4.4.6 atau pada gambar 2.13 dimana *fiber fracture* dapat meningkatkan terjadinya *matrix cracking*.

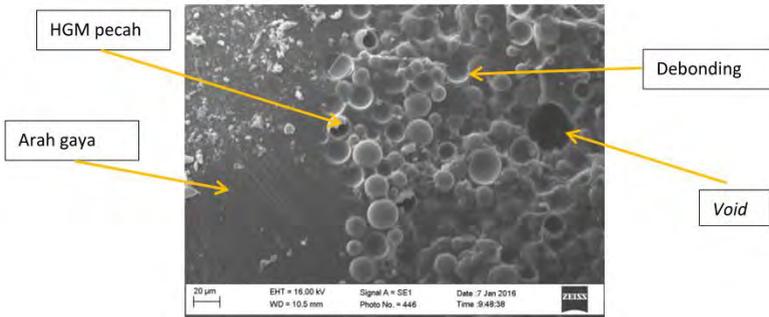
4.5 Pengamatan Hasil SEM pada Patahan Pengujian Tarik

Untuk menjelaskan fenomena turunnya nilai tegangan pada jumlah lapisan 14 seperti pada gambar grafik 4.3 dan juga untuk mengetahui dampak yang diberikan HGM pada komposit *hybrid*, maka dilakukan pengamatan melalui SEM pada jumlah lapisan 12 dan jumlah lapisan 14 *curing* temperatur 90C dengan pembahasan sebagai berikut :

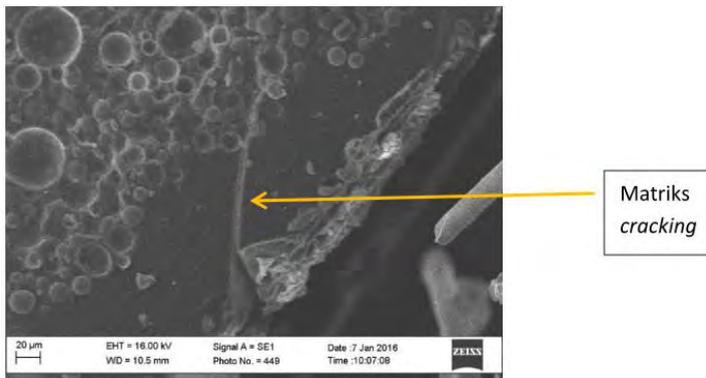
4.5.1 Pengamatan Hasil SEM pada Jumlah Lapisan 12 *Curing* Temperatur 90C



Gambar 4.27 Gambar arah pengambilan foto SEM pada spesimen jumlah lapisan 12 *curing* temperatur 90C



Gambar 4.28 Hasil SEM komposit *hybrid* jumlah lapisan 12 curing temperatur 90C.



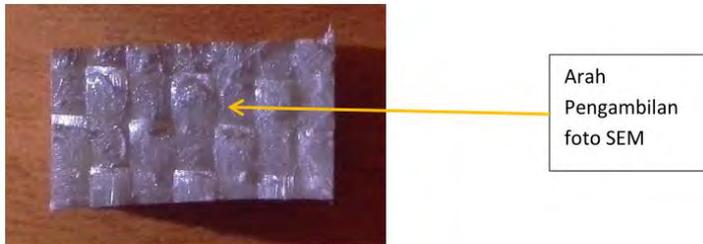
Gambar 4.29 Matriks *cracking* akibat HGM yang terlepas

Pada gambar 4.28 hasil SEM dapat dilihat bahwa awal retakan akan menjalar dari matriks menuju HGM yang berfungsi sebagai penguat pada matriks tersebut. Terlihat juga adanya beberapa HGM yang pecah, hal ini menandakan adanya transfer beban tarik dari matriks ke HGM sehingga fungsi HGM dalam menahan beban tarik akan berjalan dan hal ini tentu akan meningkatkan kekuatannya.

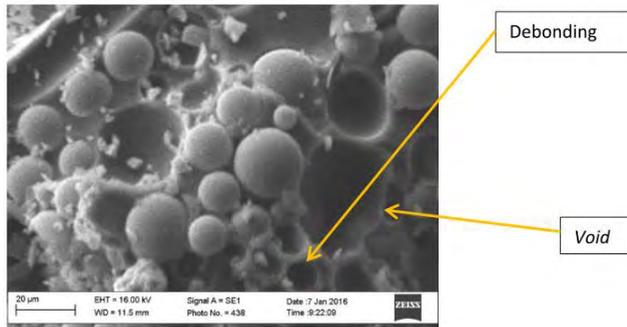
Akan tetapi jika dibandingkan dengan HGM yang pecah maka HGM yang tidak pecah jumlahnya lebih banyak, hal ini

berarti ketika komposit mendapat beban tarik, banyak HGM yang bergeser dari matriks karena ikatan yang tidak kuat. Terlihat pula adanya *debonding* antara *epoxy* dengan HGM yang mengakibatkan terjadinya kekosongan yang berbentuk lingkaran pada matriks sebagai bekas tempat melekatnya HGM. Kekosongan ini dapat menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada daerah tersebut sehingga akan menyebabkan retak pada matriks seperti pada gambar 4.29. *Debonding* terjadi karena ikatan yang tidak kuat antara HGM dan *epoxy* sehingga HGM terlepas dari matriksnya. Pada gambar 4.28 juga terlihat adanya *void* yang terjadi, *void* akan berdampak pada penurunan kekuatan tarik komposit karena akan terjadi pemusatan tegangan pada daerah *void*. *Debonding* dan *void* juga dapat terjadi akibat proses pengadukan saat pembuatan komposit, karena komposit menggunakan metode *hand lay up*.

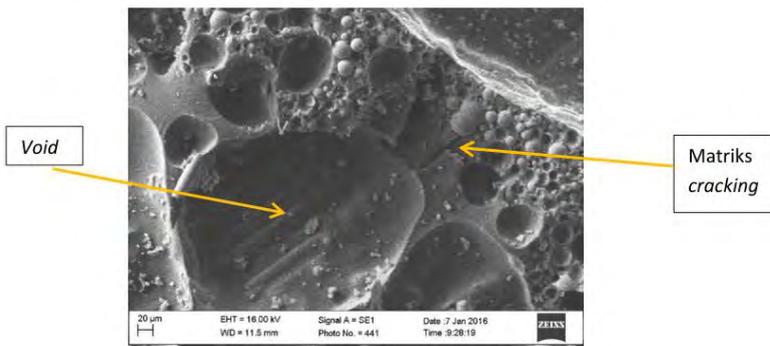
4.5.2 Pengamatan Hasil SEM pada Jumlah Lapisan 14 *Curing* Temperatur 90C



Gambar 4.30 Gambar arah pengambilan foto SEM pada spesimen jumlah lapisan 14 *curing* temperatur 90C



Gambar 4.31 Hasil SEM komposit *hybrid* jumlah lapisan 14 *curing* temperatur 90C



Gambar 4.32 Matriks *cracking* akibat adanya *void*

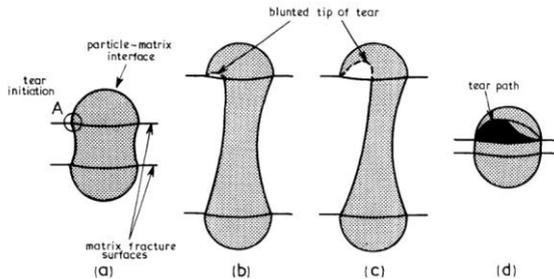
Pada gambar 4.31 hasil SEM dapat dilihat banyak terjadi *debonding* antara HGM dengan *epoxy*. Hal ini mengakibatkan terjadinya banyak kekosongan yang berbentuk lingkaran pada matriks sebagai bekas tempat melekatnya HGM. *Debonding* ini terjadi karena ikatan yang tidak kuat antara HGM dan *epoxy* sehingga HGM terlepas dari matriksnya. Jika ikatan HGM yang tidak kuat diberi pembebanan, HGM tersebut akan mengalami pergeseran. Sehingga HGM tidak pecah dan kekuatan komposit banyak di pengaruhi oleh kekuatan dari matriksnya.

Terlihat juga pada gambar 4.31 adanya banyak *void* pada komposit *hybrid* 14 lapis. *Void* ini akan sangat berdampak pada tegangan tarik yang dihasilkan, karena dengan adanya *void* maka akan terjadi pemusatan tegangan pada daerah tersebut yang akan menjalar ke daerah sekitarnya sehingga menyebabkan keretakan khususnya pada matriks seperti pada gambar 4.32. *Debonding* dan *void* juga dapat terjadi akibat proses pengadukan saat pembuatan komposit, karena komposit menggunakan metode *hand lay up*.

4.5.3 Perbandingan Hasil SEM

Dari hasil uji tarik terdapat penurunan tegangan tarik antara hasil pengujian tarik komposit pada jumlah layer 12 dan jumlah layer 14. Penurunan kekuatan pada jumlah layer 14 ini dapat dijelaskan pada gambar hasil SEM 4.28-4.32. Dimana jika dibandingkan maka terlihat bahwa ikatan antara *epoxy* dan HGM pada jumlah layer 12 lebih kuat dibandingkan ikatan *epoxy*-HGM pada jumlah layer 14. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.28 dimana pada jumlah layer 12 terdapat beberapa HGM yang pecah dan hal ini menandakan ketika komposit mendapat beban tarik, HGM akan menerima energi tersebut sehingga HGM yang menahan laju retakan mengalami deformasi pada bagian dinding hingga akhirnya tidak mampu lagi menahan retakan dan akhirnya rusak. Berbeda dengan jumlah layer 14 yaitu pada gambar 4.31 dimana tidak terlihat adanya HGM yang pecah dan hal ini menandakan ketika komposit mendapat beban tarik, maka banyak HGM yang bergeser dari matriks.

Lalu Jika dibandingkan dari *debonding* yang terjadi antara kedua variasi jumlah layer tersebut, terlihat bahwa jumlah layer 14 akan mengalami lebih banyak *debonding*. Hal ini dapat dibuktikan dari foto SEM yaitu banyaknya kekosongan yang berbentuk lingkaran pada matriks sebagai bekas tempat melekatnya HGM. Sama halnya seperti mengapa HGM tidak pecah, *debonding* disebabkan karena tidak terjadinya ikatan yang kuat antara HGM dan *epoxy*.



Gambar 4.33 Mekanisme butir *microspheres* menahan retakan (a) mulai menahan gaya (b) terjadi deformasi pada dinding HGM (c) dinding HGM mulai rusak akibat menahan beban (d) dinding HGM yang rusak [20]

Secara teori pola patahan pada HGM yang terjadi jika diberi beban dan menjadi pecah adalah seperti pada gambar 4.33 dimana HGM akan membantu memperlambat laju retakan yang terjadi sehingga kekuatan tarik pada komposit meningkat, akan tetapi pada jumlah variasi 14 dikarenakan ikatan interface antara HGM-*epoxy* tidak kuat maka retakan yang menjalar tidak berhasil ditahan HGM karena HGM bergeser ataupun lepas.

Pada gambar hasil SEM juga dapat dilihat bahwa pada jumlah variasi 14 lebih banyak terjadi *void*. Hal ini akan sangat mempengaruhi kekuatan tarik yang didapat, karena *void* dapat menyebabkan berbagai tipe kegagalan pada komposit. Terdapat penelitian yang menyimpulkan bahwa sifat mekanik seperti *tensile strength* akan menurun seiring bertambahnya jumlah kandungan *void* pada komposit [37]. Bahkan dengan dengan kandungan *void* antara 0-4% akan menyebabkan penurunan sifat mekanik seperti pada tabel 4.15. Dari perbandingan tersebut jelas komposit dengan jumlah lapisan 12 akan memiliki nilai kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit dengan jumlah lapisan 14.

Tabel 4.15 Penurunan Sifat Mekanik Komposit pada Kandungan Void 0-4% [38]

Property	Reduction, with increase in void content strength % per void %
Tensile strength, fibre direction	3.3
Shear strength	5.1
Transverse strength	12

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan rangkaian percobaan dan analisa data, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan dari penelitian tugas akhir ini, antara lain sebagai berikut :

1. Temperatur *curing* tinggi dapat meningkatkan jumlah ikatan *crosslink* pada matriks *epoxy* serta ikatan *interface* antara matriks *epoxy* dengan HGM dan matrix *epoxy* dengan *glass fiber* sehingga dapat meningkatkan kekuatannya, komposit dengan penambahan 12 lapisan fiberglass merupakan komposit yang memiliki tegangan *tensile* yang paling tinggi sebesar 129.844 Mpa pada *curing* temperatur kamar selama 24 jam dan 175.706 Mpa pada *curing* temperatur 90°C selama 24 jam.
2. Terdapat perbedaan hasil nilai kekuatan jika dibandingkan secara teori, hal ini disebabkan karena tidak konstannya perbandingan fraksi volume *glass fiber* dengan fraksi volume matriks sehingga dapat memperlemah ikatan antara matriks dan penguat, serta terdapat *void* pada komposit yang dapat mengurangi kekuatan tariknya.
3. Penerapan komposit *hybrid* pada rompi anti peluru jika dibandingkan dengan material komposit penelitian terdahulu yaitu, dibandingkan pada dimensi efektif berdasarkan energi internal dan ketangguhan komposit *hybrid* maka membutuhkan tebal dan luasan yang lebih besar.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Proses pembuatan material komposit *hybrid* sebaiknya menggunakan metode selain *hand lay up* agar distribusi *matrix* dapat lebih merata dan mengurangi terjadinya *void*.

2. Perlu adanya metode atau alat khusus agar proses pecampuran *hollow glass microsphere* dapat tercampur merata.
3. Tidak menggunakan rumus ROM secara umum pada komposit *hybrid* karena rumus ROM pada umumnya tidak memperhitungkan interaksi ikatan antara matriks dan fiber.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Erwin M. Wouterson, Freddy Y.C. Boey, Xiao Hu, Shing-Chung Wong, Effect of Fibre Reinforcement on Tensile, Fracture and Thermal Properties of Syntatic Foam, *Polymer* 48 (2007) 3183-3191
- [2] Saputra, Irwan Nugraha. 2013. "*Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur dan Waktu Post-Curing Terhadap Karakteristik Tarik Komposit Polyester Partikel Hollow Glass Microspheres*". Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS. Indonesia.
- [3] Pradana, Kevin Yoga. 2013. "*Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur, dan Waktu Post-curing Terhadap Karakteristik Bending Komposit Polyester – Partikel Hollow Glass Microspheres*". Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS. Indonesia.
- [4] Arista, Fachmi Yuni. 2012. "*Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Fraksi Volume Epoxy – Hollow Glass Microspheres dan Temperatur Curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit*". Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS. Indonesia.
- [5] Ritonga, Widyansyah. 2014. "*Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur Curing dan Post-curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit Epoxy-Hollowglass Microspheres IM30k*". Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS. Indonesia.
- [6] Ferreira JAM, Capela C, Costa JD. A Study of The Mechanical Behaviour on Fibre Reinforced Hollow Microspheres Hybrid Composites. *Composites: Part A* 41 (2010) 345-352.(2009)
- [7] A.A.-Mazen, M.A. Abdel Ghafaar, and N.M. Mahallaway, "Tensile Deformation Behavior of Epoxy composites Reinforced with Three Different Woven Fabrics", *Proceedings of the 11 th International Conference*. On

- Composites Engineering, ICCE-11, 8 – 14 August 2004, South Carolina, USA.
- [8] Astika, I.M. 2007. “Studi Eksperimental Karakteristik Tarik dan Lelah Pada Komposit dengan Serat WR dan CSM”, Tesis. Jurusan Teknik Mesin ITS.
- [9] Rasindradita, Made. 2013. “*Pengaruh Penambahan Prosentase Fraksi Volume Hollow Glass Microsphere Komposit Hibrida Lamina dengan Penguat Serat Anyaman Terhadap Karakteristik Tarik dan Bending*”. Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS. Indonesia.
- [10] Ritonga, Widiyansyah. 2014. “*Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur Curing dan Post-Curing terhadap Karakteristik Tensile Komposit Epoxy-Hollow Glass Microspheres IM30K*”. Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS. Indonesia.
- [11] Qurrotu’ain, Zahrah Lutfianisa. 2014. “*Analisa Kemampuan Rompi Anti Peluru yang Terbuat dari Komposit HGM dalam Menyerap Energi Akibat Impact Proyektil*”. Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS. Indonesia
- [12] <http://www.differencebetween.com/difference-between-alloy-and-vs-composite>
- [13] Ru-Min Wang, Shui-Rong Zheng dan Ya-Ping Zheng. 2011. *Polymer Matrix Composite and Technology*. China: Woodhead Publishing Limited and Science Press Limited.
- [14] Jones, Robert M., “*Mechanics Of Composite Materials (Materials Science & Engineering Series)*”, Scripta Book Co., Washington, 1975.
- [15] Callister, Jr. William.D, 2007, “*Material Sciene And Engineering An Introduction.*” United State of America. Quebeecor Versailles.
- [16] Mallick, P.K., *Fibre Reinforced Composite Materials, Manufacturing and Design*, Taylor & Francis Group, LLC ,2007.
- [17] Rothon, R. N, “*Particulate Filled Polymer Composite*”, Rapra Technology Limited, United Kingdom, 2003.

- [18] N. Gupta, R. Nagorny, Tensile properties of glass microsphere-epoxy resin syntactic foams, *J. Appl. Polym. Sci.* 102(2)(2006)1254e1261.
- [19] N. Gupta, K. Kishore, E. Woldesenbet, S. Sankaran, Studies on compressive failure features in syntactic foam material, *J. Mater. Sci.* 36 (18) (2001) 4485e4491.
- [20] S. Kunz Douglass, P. W. R. Beaumont dan M. F. Ashaby, *"A Model for The Toughness of Epoxy-Rubber Particulate Composites"*, Sandia Laboratories, USA, 1979
- [21] <http://www.tech.plym.ac.uk/sme/MATS324>
- [22] Kim, J. Kyo dan Yiu Wing Mai, *"Engineered Interfaces in Fibre Composites"*, Hong Kong University of Science and Technology Clear Water Bay, Hongkong, 2006
- [23] SP System.Composite Engineering Material
- [24] Pichai rusmee. 2005. *"High strength composite"*
- [25] Alexander Trofimov, Dr. Lev. Pleshkov, Haslen Back., *Hollow Glass Microsphere for High Strength Composite Cores*, *Alchemie Technology* 50 (2007) 44-46,48-50.
- [26] R. J. Cardoso, A. Shukla, A. Bose, *"Effect of Particle Size and Surface Treatment on Constitutive Properties of Polyester-Cenosphere Composites"*, University of Rhode Island, *Journal of Material Science* 37 (2012) 603-613.
- [27] John Summerscales ,*"Curing Polyester"*,University of Plymouth, 2007.
- [28] *Characterization and Failure Analysis of Plastics*. ASM International (2003)
- [29] Park, Metals, *Composites*, ASM International Handbook Vol 1. 1987.
- [30] Nie Shihua, 2004, *"A Micromechanical Model for Effective Elastic Properties of Particulate Composite with Imperfect Interfacial Bond"*. University at Buffalo, USA
- [31] Hull, Derek, *An Introduction to Composite Materials*, Cambridge Solid State Science Series, Cambridge University, (1995)
- [32] www.alatmiliter.indonetwork.co.id

- [33] Annual Book of ASTM Standards, D 3039/D 3039, “*Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*”, American Society for Testing and Materials, 1984
- [34] Christos C. Chamis, *Mechanics of Load Transfer at The Fiber / Matrix Interface*, Lewis Research Center, National Aeronautics and Space Administration
- [35] M. A Hayat dan S. M Sulliman, “*Mechanical and Structural Properties of Glass Reinforced Phenolic Laminates*”, *Polymer Testing*, V. 17, 1988, p. 79-97.
- [36] S. Jose, R. Ramesh Kumar, M. K. Jana dan G. Venkateswara Rao, “*Intralaminar Fracture Toughness of a Cross-ply Laminate and Its Constituent Sub-laminates*”, Depart. Of Mechanical Engineering T.K.M College of Engineering, India. 2001
- [37] Hongyan Zhu, Baochang Wu dan Dihong Li, “*Influence of Voids on the Tensile Performance of Carbon/epoxy Fabric Laminates*”, Harbin Institute of Technology, China, 2009.
- [38] Sergio Frascino Muller de Almeida dan Zabulon dos Santos Nogueira Neto, “*Effect of Void Content on the Strength of Composite Laminate*”, Sao Jose dos Campos, Brazil.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap **Fadli Adiputra** lahir di **Tangerang**, pada tanggal **12 Februari 1993**. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Nur Achmad dan Ibu Ida Winingsih. Masa kecil penulis alami dengan berbagai budaya karena penulis sudah pernah mengalami pindah di 4 kota besar selama jenjang pendidikan yaitu TK YKA Kota Banda Aceh, SDN 001 Rintis Pekanbaru, SMPN 4 Kota Bogor dan SMAN 3 Kota Malang, untuk mengikuti orang tua. Selanjutnya pada jenjang perguruan tinggi penulis memutuskan pilihannya untuk melanjutkan studi pada **Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**.

Selama masa studi di Teknik Mesin ITS penulis aktif berorganisasi di **Mesin Music Club** dan sering menjadi panitia di berbagai kegiatan di Teknik Mesin ITS. Cita-cita terbesar penulis adalah dapat membahagiakan dan membanggakan orang tua serta menjadi pribadi yang lebih baik agar berguna bagi bangsa dan negara.