



TUGAS AKHIR - TM 091486

**PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME, TEMPERATUR
CURING DAN *POST-CURING* PADA KOMPOSIT
PARTIKEL POLYESTER-HOLLOW GLASS
MICROSPHERES TERHADAP KARAKTERISTIK TARIK**

**GEDE ALVIN PRAMANDA WIJAYA
NRP. 2111 100 058**

**Dosen Pembimbing
Wahyu Wijanarko, ST., MSc
NIP . 198202092012121001**

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**



FINAL PROJECT - TM 091486

EFFECT OF VOLUME FRACTION, CURING AND POST-CURING TEMPERATURE ON TENSILE PROPERTIES OF POLYESTER PARTICULATE HOLLOW GLASS MICROSPHERES COMPOSITES

GEDE ALVIN PRAMANDA
NRP. 2111 100 058

Advisor Lecturer
Wahyu Wijanarko, ST., MSc
NIP . 198202092012121001

Mechanical Engineering Department
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya
2016

**PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME HOLLOW
GLASS MICROSPHERES, TEMPERATUR CURING DAN
POST-CURING PADA KOMPOSIT PARTIKEL
POLYESTER – HOLLOW GLASS MICROSPHERES
TERHADAP KARAKTERISTIK TARIK**

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 :

GEDE ALVIN PRAMANDA WIJAYA
Nrp. 2111 100 058

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. Suwarno, ST, M.Sc, PhD (Penguji II)
(NIP . 198005202005011003)
4. Ika Dewi Wijayanti, ST, MSc (Penguji III)
(NIP . 198512022014042002)

SURABAYA
JULI, 2016

**PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME *HOLLOW*
GLASS MICROSPHERES, TEMPERATUR *CURING* DAN
POST-CURING PADA KOMPOSIT PARTIKEL
POLYESTER – *HOLLOW* GLASS MICROSPHERES
TERHADAP KARAKTERISTIK TARIK**

Nama Mahasiswa : Gede Alvin Pramanda Wijaya
NRP : 2111 100 058
Jurusan: Teknik Mesin : Teknik Mesin-FTI ITS
Dosen Pembimbing : Wahyu Wijanarko, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Dewasa ini sudah banyak penelitian mengenai material alternatif pengganti logam sebagai bahan dasar dalam bidang otomotif dan bidang dirgantara, salah satunya adalah komposit. Salah satu keunggulan komposit dibandingkan dengan logam adalah strength to weight ratio yang tinggi. Selain itu jika dibandingkan dengan logam komposit juga memiliki kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap korosi yang tinggi.

Penelitian dilakukan dengan mencampurkan Polyester resin dengan hollow glass microspheres. Spesimen uji tarik diproduksi sesuai dimensi ASTM D 3039/D3039M dengan variasi fraksi volume HGM 10%, 11%, 12%, 13%, 14%, dan 15%. Spesimen menerima tiga perlakuan yang berbeda yaitu, spesimen I di-curing pada temperatur kamar ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) selama 24 jam, spesimen II di-curing pada temperatur kamar ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) selama 24 jam lalu post-curing pada temperatur 90°C selama 5 jam, dan spesimen III di-curing pada temperatur 90°C selama 5 jam. Setelah proses produksi, dilakukan pengujian bending untuk mengetahui perubahan sifat mekanik yang terjadi pada komposit.

Hasil yang diperoleh dari percobaan ini adalah dari penambahan fraksi volume HGM pada polyester berpengaruh terhadap peningkatan tegangan tarik komposit sebesar 10% - 13,5%. Tegangan tarik pada spesimen polyester murni memiliki tegangan tarik sebesar 43,22 MPa, sedangkan nilai tegangan tarik maksimum terdapat pada spesimen uji dengan prosentase fraksi volume hollow glass microspheres 14% pada curing temperatur

kamar dengan tegangan tarik komposit sebesar 50,36 MPa. Temperatur curing tinggi dan perlakuan post-curing pada komposit dengan matriks polyester dapat menurunkan jumlah ikatan crosslink serta ikatan interface antara polyester dengan HGM sehingga kekuatan tariknya menurun. Jika dibandingkan antara kekuatan tariknya dengan spesimen komposit curing temperatur kamar, kekuatan tarik dari spesimen komposit curing temperatur tinggi dan post-curing lebih rendah. Hasil yang didapat kekuatan tarik dari spesimen komposit partikel yang diberi perlakuan curing temperatur 90° C selama 5 jam sebesar 19,46 MPa dan pada spesimen yang diberi perlakuan curing temperatur kamar selama 24 jam kemudian di post-curing pada temperatur 90° C selama 5 jam sebesar 31,53 MPa.

Kata Kunci: Tarik, curing, glass transition temperature, hollow glass microspheres, komposit, polyester, post-curing.

EFFECT OF VOLUME FRACTION, CURING AND POST-CURING TEMPERATURE ON TENSILE PROPERTIES OF POLYESTER PARTICULATE HOLLOW GLASS MICROSPHERES COMPOSITES

Name : Gede Alvin Pramanda Wijaya
Student ID : 2111 100 058
Department : Teknik Mesin-FTI ITS
Advisor Lecturer : Wahyu Wijanarko, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Today has been a lot of research on alternatives to the metal material as a base material in the areas of automotive and aerospace fields, one of which is a composite. One of the advantages compared to metal composite strength to weight ratio is high. In addition when compared to a composite metal also has the strength, toughness, and high corrosion resistance.

The study was conducted by mixing Polyester resin with hollow glass microspheres. Tensile test specimens produced in accordance dimension ASTM D 3039 / D3039M with variations HGM volume fraction of 10%, 11%, 12%, 13%, 14% and 15%. Specimens received three different treatments ie, specimens I cured on temperature room ($\pm 27^{\circ} \text{C}$) for 24 hours, the specimen II curing at room temperature ($\pm 27^{\circ} \text{C}$) for 24 hours and then post-cured at a temperature of 90°C for 5 hours, and III specimens cured at a temperature of 90°C for 5 hours. After the production process, the bending test conducted to determine changes in mechanical properties that occur in the composite.

Results obtained from these experiments is the addition of the volume fraction of HGM on polyester affect the increase in composite tensile stress by 10% - 13.5%. Tensile stress on specimens of pure polyester has a tensile strength of 43.22 MPa, while the value of maximum tensile stress test specimens contained in the percentage of the volume fraction of hollow glass microspheres 14% at room temperature curing composite tensile

stress of 50.36 MPa. High curing temperature and post-curing treatment in composites with polyester matrix can reduce the amount of crosslink bonds and bond interface between the polyester with HGM so that its strength decreases. If the comparison between the strength of its appeal with room temperature curing composite specimens, the tensile strength of the composite specimen high temperature curing and post-curing is lower. The results of tensile strength of the composite particle specimens treated curing temperature of 90 ° C for 5 hours of 19.46 MPa and the specimens treated curing at room temperature for 24 hours and then in the post-curing at a temperature of 90 ° C for 5 hours amounting to 31.53 MPa.

Kata Kunci: Tarik, curing, glass transition temperature, hollow glass microspheres, komposit, polyester, post-curing.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan YME. karena atas segala limpahan rahmat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Pengaruh Variasi Fraksi Volume *Hollow Glass Microspheres*, Temperatur *Curing* Dan *Post-Curing* Pada Komposit Partikel Polyester – *Hollow Glass Microspheres* Terhadap Karakteristik Tarik.**

Tugas akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selanjutnya penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu terselesaikannya penelitian Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Ayah tercinta, **Gede Prama Wijaya**, yang telah mengajarkan mengajarkan pentingnya kerja keras dan keikhlasan agar mencapai tujuan hidup.
2. Ibu tercinta, **Ni Wayan Suseni**, untuk segala doa, restu, kasih sayang, pengorbanan, dan motivasi yang selalu dilimpahkan kepada penulis.
3. **Wahyu Wijanarko, ST, M.Sc**, selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini. Terima kasih untuk semua waktu, kritik dan saran yang diberikan ditengah – tengah kesibukan bapak.
4. **Suwarno, ST., MSc., PhD., Wahyu Wijanarko, ST., MSc., Dr. Sutikno, ST. MT., dan Ika Dewi Wijayanti, ST., M.Sc.**, selaku dosen penguji dan pembahas tugas akhir. Terima kasih atas nasehat, ilmu, kritik dan saran yang telah diberikan.
5. Kedua adik, **Made Evan Pramantara Wijaya** dan **Komang Kian Pramantroa Wijaya** terima kasih sudah menjadi penambah motivasi.

6. **Putu Satwika Anggaswari Pujawati** sebagai pendengar, penyemangat, dan pendengar keluh kesah dari penulis selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
7. Saudara seperjuangan yang telah lebih dahulu menyelesaikan Tugas Akhir **I Gede Brahmada Aditiya, I Gde Agung Chandra** dan **I Nyoman Ari Susastrawan**, terima kasih atas segala dukungan, bantuan dan saran-sarannya.
8. Para penghuni **Laboratorium Metallurgy** Teknik Mesin ITS terimakasih atas bantuan, dukungan, dan saran-saran yang telah diberikan.
9. Seluruh teman-teman **Angkatan 2011 Teknik Mesin ITS (M54)** yang takkan terlupakan terima kasih atas bantuan, doa, dan kebersamaannya selama kuliah di kampus Teknik Mesin tercinta.
10. Teman-teman **Mesin ITS Autosport terutama MAUT 11** yang telah menjadi teman seperjuangan dalam suka dan duka selama di kampus Teknik Mesin, terimakasih atas segala bantuan dan doa yang telah diberikan.
11. **Cubek (Mahartana), Arya, Pariy, Putra, Botik (Yuko), Mambang, Satpam (Ario)** sebagai teman berbagi keluh kesah selama penulis mengerjakan keluh kesah selama penulisan Tugas Akhir ini.
12. Bapak-bapak karyawan lab Metallurgy Mesin ITS, **Bapak Gatot, Bapak Mantri, Bapak Agus, Bapak Endang,** dan **Bapak Budi** yang telah banyak memberikan bantuan dan saran dalam pengerjaan Tugas Akhir.
13. Semua karyawan dan Bapak Ibu Dosen di jurusan Teknik Mesin ITS yang telah memberikan bantuan dan ilmunya kepada penulis.
14. Serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuannya yang tidak bisa disebutkan satu per satu di halaman ini.

Penulis sadar 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. Amin.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
TITLE PAGE	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	
ABSTRACT	
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	vi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penulisan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan Penelitian	4
BAB 2 DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Dasar Teori	6
2.2 Komposit	7

2.2.1	Komposit Berpenguat Partikel (<i>Particulate Composite</i>).....	10
2.3	Polimer	11
2.3.1	Resin <i>Unsaturated Polyester</i>	12
2.4	<i>Hollow Glass Microsphere</i> (HGM)	15
2.5	Aditif	17
2.6	Metode Manufaktur <i>Hand Lay Up</i>	18
2.7	Perhitungan Komposit	19
2.7.1	Karakteristik Umum	19
2.7.2	Karakteristik Campuran	20
2.8	Proses Curing	21
2.9	Post Curing	23
2.10	Pengujian Spesimen dengan Pengujian Tarik	26

BAB 3 METODOLOGI

3.1	Diagram Alir Percobaan	30
3.2	Persiapan Spesimen	32
3.2.1	Flowchart Perhitungan Spesimen	32
3.2.2	Contoh Perhitungan Spesimen	33
3.2.3	Tabel Perhitungan Volume HGM dan Volume Resin	34
3.2.4	Tabel Spesimen Teori	34
3.2.5	<i>Rule of Mixture</i>	34

3.3 Alat dan Bahan	35
3.4 Proses Pembuatan Komposit	38
3.4.1 Proses Curing	39
3.4.2 Pengamatan Bentuk Fisik Komposit	39
3.4.3 Pembentukan Spesimen	39
3.5 Prosedur Perhitungan Massa Jenis Komposit	40
3.6 Pelaksanaan Pengujian Tarik	40
3.6.1 Spesimen Uji Tarik	40
3.6.2 Prosedur Uji Tarik	41

Bab 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Spesimen Ukur	42
4.2 Data Hasil Pengujian Tarik Komposit Partikel	45
4.2.1 Perbandingan Densitas Komposit Teori dengan Densitas Komposit Ukur	48
4.2.2 Pengaruh Variasi Temperatur Curing terhadap Tegangan Tarik Komposit	50
4.2.3 Pembahasan Variasi Prosentase Fraksi Volume Hollow Glass Microspheres terhadap Tegangan Tensile Komposit VS Tegangan Tensile secara Teori	52
4.2.4 Pembahasan Variasi Prosentase Fraksi Volume Hollow Glass Microspheres terhadap Tegangan <i>Tensile</i> Komposit VS Tegangan <i>Tensile</i> Secara Teori	54

4.3 Hasil Pengamatan Makro Patahan Spesimen Uji Tarik	60
4.3.1 Spesimen dengan Variasi 14% HGM pada Curing Temperatur kamar	60
4.3.2 Spesimen dengan Variasi 14% HGM pada Curing Temperatur 90° C	61
4.4 Pengamatan Hasil SEM pada Patahan Pengujian Tarik	62
4.4.1 Pengamatan Hasil SEM pada Variasi Fraksi Volume HGM 14% Curing Temperatur Kamar	62
4.4.2 Pengamatan Hasil SEM pada Variasi Fraksi Volume HGM 14% Curing Temperatur 90° C	64
4.4.3 Perbandingan Hasil SEM	66
Bab 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	70
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perbandingan komposit dengan metal yang lain	6
Gambar 2.2	Komposit berpenguat partikel	8
Gambar 2.3	Komposit berpenguat serat	9
Gambar 2.4	Komposit berpenguat struktural	9
Gambar 2.5	Jenis- jenis komposit hibrida berdasar penyusunannya: <i>sandwich</i> , (b) <i>interply</i> , (c) <i>intraply</i> , dan (d) <i>intimately mixed</i>	10
Gambar 2.6	Komposit butir (<i>particulate composite</i>)	11
Gambar 2.7	Ikatan atom polimer	12
Gambar 2.8	Resin <i>unsaturated polyester</i>	14
Gambar 2.9	<i>Hollow glass microspheres</i>	15
Gambar 2.10	Proses hand lay up	19
Gambar 2.11	Tipe Rantai Polimer (a) <i>Linear</i> , (b) <i>Branched</i> , (c) <i>Cross-linked</i> , (d) <i>network</i>	23
Gambar 2.12	Grafik Hasil Uji Tarik dan Modulus <i>Tensile</i> Antar Resin <i>Polyester</i> , <i>Vinylester</i> , dan <i>Epoxy</i> yang Di- <i>curing</i> dan <i>Post-curing</i>	25
Gambar 2.13	Grafik Nilai Tegangan Bending dan Modulus Elastisitas Komposit Pada Beberapa Perlakuan <i>Post-Curing</i>	26
Gambar 2.14	Skema uji Tarik	27

Gambar 2.15	Penampakan dari beberapa mode kegagalan pada uji tarik komposit	28
Gambar 2.16	Diagram tegangan dan regangan untuk arah pembebanan paralel arah serat	29
Gambar 3.1	Skema Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3.2	Flowchart Perhitungan Spesimen	32
Gambar 3.3	<i>Wax</i>	36
Gambar 3.4	Polivvinil Asetat	36
Gambar 3.5	Bahan yang digunakan (a) <i>Polyester</i> (b) <i>Hollow Glass Microspheres</i> (c) katalis	37
Gambar 3.6	Mesin Uji Tarik-Bending Shimadzu AG-X ...	37
Gambar 3.7	<i>Scanning Electron Microscope</i> Zeiss EVO MA 10	38
Gambar 3.8	Spesimen Uji Tarik dalam centimeter (cm) ...	40
Gambar 4.1	Grafik Massa Jenis Komposit secara Teori dan secara Ukur terhadap Prosentase HGM ...	48
Gambar 4.2	Grafik Tegangan Tarik vs Prosentase HGM untuk Temperatur Curing 27°C selama 24 jam, temperatur curing 27°C selama 24 jam kemudian dilakukan post-curing selama 5 jam pada temperatur 90°C, dan temperatur curing 90°C selama 5 jam	50
Gambar 4.3	Grafik Ketangguhan terhadap Variasi Fraksi Volume HGM	52
Gambar 4.4	Grafik tegangan tarik hasil percobaan vs tegangan secara teori pada <i>curing</i> temperatur kamar terhadap variasi fraksi volume HGM	54

Gambar 4.5	Grafik tegangan tarik hasil percobaan vs tegangan tarik secara teori pada perlakuan <i>post-curing</i> 90° C terhadap variasi fraksi volume HGM	55
Gambar 4.6	Grafik tegangan tarik hasil percobaan vs tegangan tarik secara teori pada <i>curing</i> temperatur 90° C terhadap variasi fraksi volume HGM	55
Gambar 4.7	Gambar permukaan pola patahan uji tarik polyester dengan penambahan 14% HGM pada temperatur curing kamar	60
Gambar 4.8	Gambar permukaan pola patahan uji tarik polyester dengan penambahan 14% HGM pada temperatur curing kamar	60
Gambar 4.9	Gambar permukaan pola patahan uji tarik polyester dengan penambahan 14% HGM pada temperatur curing 90° C	61
Gambar 4.10	Gambar permukaan pola patahan uji tarik polyester dengan penambahan 14% HGM pada temperatur curing 90° C	61
Gambar 4.11	Gambar arah pengambilan foto SEM pada spesimen dengan variasi	62
Gambar 4.12	Hasil SEM komposit partikel dengan variasi HGM 14% curing temperatur kamar	63
Gambar 4.13	Matriks cracking akibat HGM yang terlepas ..	63
Gambar 4.14	Gambar arah pengambilan foto SEM pada spesimen dengan variasi fraksi volume HGM 14% curing temperatur 90° C	64

Gambar 4.15	Hasil SEM komposit partikel dengan variasi HGM 14% curing temperatur 90° C	65
Gambar 4.16	Matriks <i>Cracking</i> Akibat <i>Void</i>	65
Gambar 4.17	Skema peningkatan kekuatan oleh peregangan <i>microsphere</i>	67
Gambar 4.18	Mekanisme butir <i>microsphere</i> 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	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan <i>Polyester</i> Resin dan Polimer Lain	13
Tabel 2.2	Spesifikasi Unsaturated Polyester Resin seri Yukalac 157 BQTN-EX	14
Tabel 2.3	Data Spesifikasi Teknis <i>Hollow Glass Microspheres</i> Jenis iM30K	16
Tabel 2.4	Data Tg dari <i>Polyester</i> resin menurut jurnal “ <i>Characterization and Failure Analysis of Plastics</i> ” oleh ASM International diterbitkan pada Desember 2003 pada halaman 117	24
Tabel 4.1	Data spesimen ukur komposit curing temperatur kamar selama 24 jam	42
Tabel 4.2	Data spesimen ukur komposit curing temperatur kamar selama 24 jam dan Post-Curing selama 5 jam	43
Tabel 4.3	Data spesimen ukur komposit curing temperatur 90° C selama 5 jam	44
Tabel 4.4	Hasil uji tarik komposit curing temperatur kamar selama 24 jam	45
Tabel 4.5	Hasil uji tarik komposit curing temperatur kamar selama 24 jam dan post-curing selama 5 jam	46
Tabel 4.6	Hasil uji tarik komposit curing temperatur 90° C selama 24 jam	47
Tabel 4.7	Perbandingan Fraksi Volume Spesimen Temperatur <i>Curing</i> Kamar	57

Tabel 4.8	Perbandingan Fraksi Volume Spesimen <i>Post-Curing</i>	57
Tabel 4.9	Perbandingan Fraksi Volume Spesimen <i>Curing</i> Temperatur 90° C	58
Tabel 4.10	Penurunan Sifat Mekanik Komposit pada Kandungan <i>Void</i> 0 – 4%	69



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi antara dua atau lebih material pembentuk yang diproduksi dengan proses pencampuran. Jenis komposit berdasarkan matriks penyusunnya antara lain *Polymer Matriks Composite* (PMC), *Metal Matriks Composite* (MMC), dan *Ceramic Matriks Composite* (CMC). PMC merupakan komposit yang tersusun dari matriks dan serat penguat. Matriks PMC terdiri dari resin *polymer* seperti *thermoset resin* atau *thermoplastik resin*. Sedangkan serat PMC terdiri dari serat sintetis berupa *glass fibre* ataupun *carbon fibre*.

Telah banyak penelitian tentang komposit yang dilakukan oleh mahasiswa – mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada tahun 2013, Irwan Nugraha melakukan percobaan tentang pengaruh variasi fraksi volume, temperatur, dan waktu terhadap karakteristik tarik komposit partikel polyester berpenguat hollow glass microspheres [1]. Variasi fraksi volum HGM yang digunakan adalah 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%. Variasi temperatur yang digunakan ada tiga yaitu curing temperatur kamar, post curing pada temperatur 90° C, dan temperatur curing temperatur 90° C dengan beda waktu penahanan 3 jam dan 5 jam. Dari percobaan ini menghasilkan penambahan fraksi volume HGM pada polyester dapat meningkatkan kekuatan tariknya. Kekuatan tarik maksimum sebesar 26,52 MPa didapatkan pada penambahan fraksi volume HGM sebesar 15%.

Dari percobaan Irwan Nugraha tersebut, kemudian pada tahun 2014, Bustan Zahfri melakukan percobaan tentang pengaruh variasi fraksi volume temperatur, dan waktu



terhadap karakteristik tarik komposit berbahan epoxy dan hollow glass microspheres [19]. Variasi fraksi volume HGM yaitu 15%, 16%, 17%, 18%, 19%, dan 20% dengan variasi temperatur curing 27° C, post-curing 90° C, dan temperatur curing 90° C. Dari percobaan ini menghasilkan tegangan tarik maksimum sebesar 20,79 MPa didapatkan pada penambahan fraksi volume HGM sebesar 16%. Pada tahun 2014, Zahrah Lutfianisa melakukan simulasi tentang rompi anti peluru berbahan epoxy dan fiber glass. Dari hasil simulasi tersebut rompi anti peluru dengan ketebalan 25 mm mampu menyerap energi kinetik proyektil sebesar 149, 5 joule.

Dari hasil simulasi rompi anti peluru tersebut kemudian melatar belakangi Fadli Adiputra untuk melakukan percobaan tentang pengaruh variasi penambahan jumlah layer glass fiber dengan perbandingan fraksi volume yang tetap pada komposit berbahan epoxy-hollow glass microspheres terhadap karakteristik tarik [20]. Variasi jumlah layer yang digunakan adalah 6 lapisan, 8 lapisan, 10 lapisan, 12 lapisan dan 14 lapisan. Temperatur yang digunakan adalah temperatur curing 27° C dan temperatur curing 90° C. Hasil yang didapat adalah 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. Spesimen kemudian diuji dengan menggunakan 2 macam peluru yaitu peluru hollow dan peluru runcing, hasil yang didapatkan komposit tahan terhadap peluru hollow namun masih tembus jika menggunakan peluru runcing. Hal ini disebabkan ketangguhan dari epoxy masih kurang untuk menyerap energi yang diberikan oleh peluru runcing.



Dari beberapa percobaan terdahulu tersebut yang melatar belakangi percobaan pengaruh variasi volume dan temperatur karakteristik komposit polyester berpenguat hollow glass microspheres terhadap karakteristik tensile ini.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diuraikan pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan variasi fraksi volume matriks *polyester* dan HGM terhadap karakteristik tarik komposit?
2. Bagaimana pengaruh perbedaan temperatur dan waktu penahanan pada proses *post-curing* dan *curing* terhadap karakteristik tarik komposit dalam fraksi volume tetap?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penambahan variasi fraksi volume matriks *polyester* dan HGM terhadap karakteristik tarik komposit.
2. Mengetahui pengaruh perbedaan temperatur dan waktu penahanan pada proses *post curing* terhadap karakteristik tarik komposit dalam fraksi volume tetap.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Temperatur pada saat membuat campuran komposit dan saat pengujian konstan (27°C).
2. Holog Glass Microsphere yang digunakan memiliki komposisi dan dimensi yang sama



1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Menyelesaikan mata kuliah tugas akhir sebagai pra syarat kelulusan.
2. Kontribusi ilmu pengetahuan dibidang *metallurgy*.

1.6 Sistematika Penulisan Penelitian

Penulisan di susun dalam enam bab yaitu pendahuluan, dasar teori, metodologi penelitian, data hasil penelitian, analisa data dan diskusi, 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 tentang teori-teori dasar mengenai komposit, karakteristik *polyester* dan *Hollow Glass Microsphere* (HGM), konsep proses *curing* dan *post-curing* serta konsep pengujian tarik.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

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



BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

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

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

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



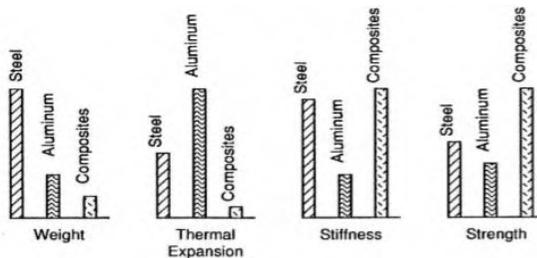
BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Dasar Teori

Komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang terdiri atas dua atau lebih material penyusun dan dikombinasikan dalam skala makroskopis. Dimana satu material adalah berfungsi sebagai fase pengisi (matriks) sedangkan material lainnya sebagai fase penguat (*reinforce*). Dengan penggabungan material tersebut, maka akan didapatkan suatu material yang sifatnya lebih baik dari material penyusunnya. Pada komposit dapat terbentuk *interphase* yaitu suatu fase diantara fase *matrix* dan penguat yang timbul akibat reaksi kimia dan efek dari proses produksi yang dilakukan.

Dengan semakin berkembangnya teknologi komposit, maka memungkinkan komposit dapat didesain sedemikian rupa sesuai dengan karakteristik material yang diinginkan sehingga dapat dibuat menjadi lebih kuat, ringan, kaku, dan lebih tahan panas. Dengan beberapa kelebihan tersebut, menyebabkan komposit banyak diaplikasikan dalam peralatan peralatan berteknologi tinggi di bidang industri, transportasi, dan konstruksi bangunan.



Gambar 2.1. Perbandingan komposit dengan metal yang lain [2].



Gambar 2.1 menunjukkan material seperti baja dan aluminium dengan komposit. Alasan memilih aluminium dan besi karena material tersebut banyak digunakan di dunia industri, jadi hal itu menunjukkan bahwa berat komposit jauh lebih ringan daripada kedua material tersebut. Begitu pula perbandingan ekspansi panas dari komposit yang rendah sehingga baik digunakan pada media kerja bertemperatur tinggi. Selain itu, kekuatan dan kekakuan komposit lebih tinggi daripada aluminium dan baja.

2.2 Komposit

Komposit merupakan gabungan beberapa unsur bahan untuk didapatkan keunggulan dari masing-masing bahan. Perbedaan yang mencolok dengan paduan adalah komposit masih terlihat secara makroskopis unsur - unsur penyusunnya. Struktur komposit tersusun atas dua jenis unsur penyusunnya yaitu matriks dan penguat (*reinforcement*). Matriks merupakan unsur yang bertugas untuk mengikat dan melindungi penguat. Unsur ini juga menahan dan meneruskan sebagian tegangan yang diterima struktur komposit tersebut. Penguat merupakan unsur utama dalam struktur komposit. Penguat menahan mayoritas pembebanan yang diterima struktur komposit. Sehingga penguat inilah yang menentukan karakteristik bahan komposit seperti kekakuan, kekuatan, dan sifat-sifat mekanik lainnya.

Jenis komposit berdasarkan jenis matriks terdiri:

1. *Polimer 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 : Aluminium, magnesium, titanium
3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC) yaitu komposit dengan bahan matriks keramik.



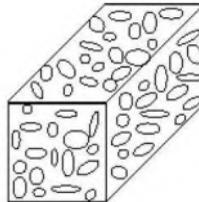
Contoh : Alumina, aluminium titanat, silikon karbida

Komposit berbahan matriks logam umumnya sering digunakan dalam bidang kedirgantaraan dan komponen - komponen otomotif. CMC 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.

Bahan polimer pada matriks penyusun komposit terbagi dalam dua jenis, yaitu polimer *thermoset* dan *thermoplastic*. Polimer *thermoset* merupakan bahan yang akan semakin mengeras saat dipanaskan di atas temperatur kritisnya dan tidak dapat diperlunak dengan cara dipanaskan kembali. Polimer *thermoset* tidak dapat didaur ulang. Contoh matriks jenis polimer *thermoset* adalah *epoxy* dan *polyester*. Polimer *thermoplastik* merupakan polimer yang dapat diperlunak saat dipanaskan di atas temperatur kritisnya. Polimer *thermoplastik* ini dapat didaur ulang. Contoh polimer *thermoplastik* adalah *polyethylene* dan *polystyrene*.

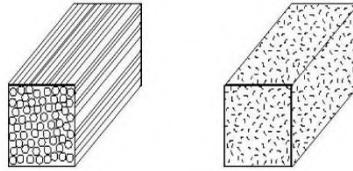
Sedangkan komposit berdasarkan jenis penguat terdiri atas:

1. Komposit berpenguat partikel atau *granuler*



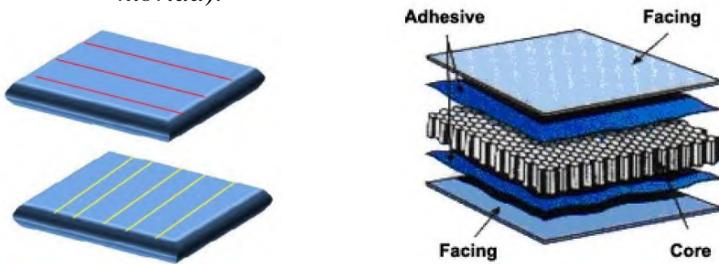
Gambar 2.2 Komposit berpenguat partikel [2].

2. Komposit berpenguat serat, baik serat panjang (*continuous*) maupun pendek (*discontinuous*).



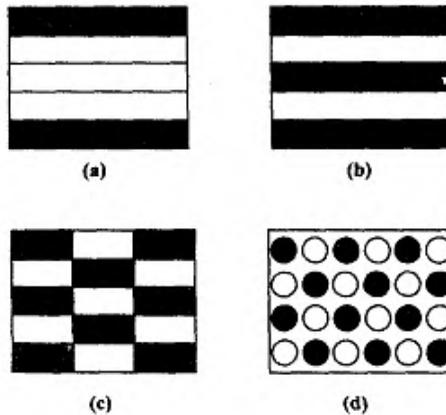
Gambar 2.3 Komposit berpenguat serat [2].

3. Komposit berpenguat struktural baik yang berbentuk laminar maupun berbentuk *sándwich* (komposit hibrida).



Gambar 2.4 Komposit berpenguat struktural [2].

Salah satu komposit berdasarkan jenis penguatnya adalah komposit hibrida. Komposit hibrida merupakan komposit dimana laminanya terdiri lebih dari satu jenis bahan penguat. Tujuan hibridisasi adalah untuk mendapatkan material yang memiliki kombinasi sifat yang menguntungkan dari masing-masing penguat.

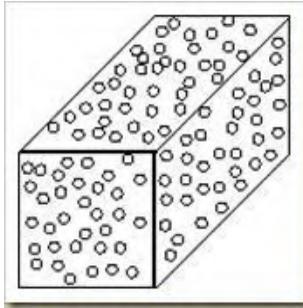


Gambar 2.5 Jenis - jenis komposit *hibrida* berdasar penyusunannya:

(a) *sandwich*, (b) *interply*, (c) *intraply*, dan (d) *intimately mixed* [2].

2.2.1 Komposit Berpenguat Partikel (*Particulate Composite*)

Komposit partikel adalah salah satu jenis komposit di mana dalam matriks ditambahkan material lain berupa serbuk/butir. Dalam komposit partikel, material penambah terdistribusi secara acak atau kurang terkontrol. Pengaruh partikel pada sifat mekanik komposit tergantung pada dimensi partikel. Partikel yang sangat kecil (kurang dari 0,25 mikron) dan halus didistribusikan dalam matriks yang berfungsi untuk menghambat pergerakan dislokasi dan deformasi material. Efek penguatan tersebut mirip dengan pengerasan presipitasi. Berbeda dengan pengerasan presipitasi, dimana efek penguatan tersebut akan menghilang pada temperatur tinggi ketika partikel endapan larut dalam matriks. Komposit partikel tetap stabil pada suhu tinggi sehingga efek penguatan tetap bertahan. Banyak dari bahan komposit yang dirancang untuk bekerja dalam aplikasi suhu tinggi.



Gambar 2.6 Komposit butir (*particulate composite*) [2].

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*:

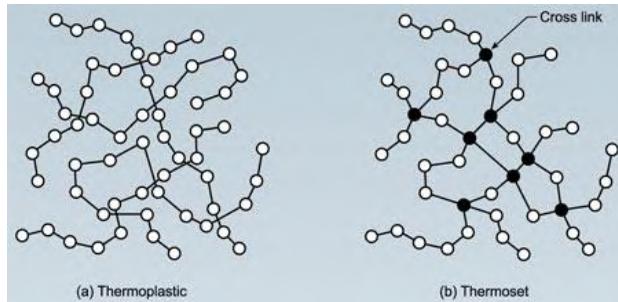
Polimer yang dapat dibentuk kembali melalui proses pemanasan, contoh: *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Polyethylene* (PE).

2. *Thermosetting*:

Polimer yang tak dapat dibentuk lagi melalui proses pemanasan seperti thermoplastic, contoh: *Polyester*, *Phenolic* (PF).

3. *Elastomer*:

Merupakan jenis polimer yang dapat kembali ke bentuk asal setelah tegangan yang diberikan dihilangkan, contohnya karet.



Gambar 2.7 Ikatan atom pada polimer [3].

2.3.1 Resin *Unsaturated Polyester*

Unsaturated Polyester merupakan jenis *thermoset*. Kebanyakan orang menyebutnya dengan *polyester*. Resin ini mempunyai viskositas yang relatif rendah, dan mengeras pada suhu kamar dengan penggunaan katalis

Sifat resin ini adalah kaku dan rapuh. Mempunyai suhu deformasi thermal yang lebih rendah dibandingkan dengan resin *thermoset* lainnya dan mampu menahan panas kira-kira 110° sampai 140°C dalam waktu yang cukup lama. Mempunyai sifat ketahanan listrik yang baik. Mampu menahan asam dengan cukup baik, namun lemah terhadap alkali. Secara luas digunakan dalam dunia material sebagai bahan komposit.

Penggunaan resin jenis ini dapat dilakukan dari mulai proses yang paling sederhana yaitu proses *hand lay up* hingga dengan metode manufaktur yang kompleks. Resin ini banyak digunakan dalam aplikasi komposit dalam dunia industri karena beberapa keunggulannya, yaitu harganya yang relatif murah, waktu *curing* yang cepat, warna jernih, kestabilan dimensional dan mudah penanganannya.

Jenis resin *polyester* yang banyak digunakan dalam dunia industri adalah jenis BQTN 157, contoh aplikasinya adalah pada bagian - bagian bodi dari kendaraan bermotor, terutama pada mobil. Beberapa kelebihan dan kekurangannya dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Perbandingan *Polyester* Resin dan Polimer Lain [5].

Resin	Kelebihan	Kekurangan
<i>Polyester</i>	<ul style="list-style-type: none">- Mudah digunakan- Resin yang paling murah	<ul style="list-style-type: none">- Sifat mekanik sedang- Emisi dari <i>styrene</i> tinggi dalam cetakan terbuka- Penyusutan tinggi- Waktu kerja terbatas
<i>Vinylesters</i>	<ul style="list-style-type: none">- Ketahanan kimia baik- Sifat mekanik yang lebih baik dari <i>polyester</i>	<ul style="list-style-type: none">- Membutuhkan <i>post-curing</i> untuk hasil yang lebih baik- Konten <i>styrene</i> tinggi- Lebih mahal dari <i>polyester</i>- Penyusutan tinggi
<i>Epoxy</i>	<ul style="list-style-type: none">- <i>Tensile strength</i> 85 Mpa- <i>Compressive</i> 106 Mpa- Ketahanan air baik- Waktu kerja yang cukup lama- Ketahanan temperatur mencapai 140°C - 220°C- Penyusutan rendah	<ul style="list-style-type: none">- Lebih mahal dari <i>vinylester</i>- Pencampuran yang sulit- Ketahanan korosi kurang



Gambar 2.8 Resin Unsaturated Polyester

Untuk mengetahui spesifikasi teknik dari resin polyester ini, akan dituangkan dalam tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Spesifikasi Unsaturated Polyester Resin seri Yukalac 157 BQTN-EX [13].

Item	Satuan	Nilai Tipikal	Catatan
Berat jenis	-	1,215	25°C
Kekerasan	-	40	Barcol/GYZJ 934-1
Suhu distorsi panas	°C	70	
Penyerapan air	%	0,188	24 jam
Suhu ruang	%	0,466	7 hari
Kekuatan Fleksural	Kg/mm ²	9,4	-
Modulus Fleksural	Kg/mm ²	300	-
Daya rentang	Kg/mm ²	5,5	-
Modulus rentang	Kg/mm ²	300	-
Elongasi	%	2,1	-



2.4 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 berdinging tipis yang berongga dan terbuat dari kaca yang mengandung *sodium borosilicate*.



Gambar 2.9 *Hollow Glass Microspheres* [4]

Sampai pada tahun 1980-an, 3M memperkenalkan *microsphere* kaca seperti gambar 2.11 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.[4] 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 atau kapur borosilikat (*soda* atau *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.



Beberapa keunggulan dari HGM jenis iM30K yaitu:

- Memiliki ketahanan pada suhu tinggi
- Memiliki rasio *strength to density* yang tinggi
- Memiliki stabilitas kimia yang baik
- Memiliki kekuatan tekan yang tinggi
- Memiliki termal konduktivitas yang rendah
- Penyerapan terhadap minyak rendah

Tabel 2.3 Data Spesifikasi Teknis *Hollow Glass Microspheres* Jenis iM30K [4].

Material Description

<i>Property</i>	iM30k
<i>Shape</i>	<i>Hollow spheres with thin walls</i>
<i>Composition</i>	<i>Soda-lime-borosilicate glass</i>
<i>Color, Unaided Eye</i>	<i>White, powder</i>

Physical Properties

<i>Property</i>	iM30k	<i>Test Method</i>
<i>Isostatic Crush Strength (psi)</i>	28,000	3M QCM 14.1.8
<i>True Density (g/cc)</i>	0,60	3M QCM 14.24.1
<i>Packing Factor (bulk density)</i>	63%	



<i>to true particle density)</i>		
<i>Oil Absorption (g oil/100 cc)</i>	33,5	<i>ASTM D282-84 of polymer additive</i>
<i>Softening point (°C)</i>	600	
<i>Flotation (density<1.0 g/cc)</i>	90% (<i>in volume</i>)	3M QCM 37.2
<i>Volatile Content (by weight)</i>	0.5% <i>max</i>	3M QCM 1.5.7
<i>Alkalinity (milliequivalents)</i>	0.5	3M QCM 55.19/ <i>gram max</i>
<i>pH (5% loading in water)</i>	9.5	ASTM D3100-1982
<i>Diameter (average)</i>	18 <i>microns</i>	3M QCM 193.0

Dari tabel 2.3 dapat dilihat spesifikasi HGM jenis iM30K. Dengan properti densitas yang rendah, konduktivitas panas 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.

2.5 Aditif

Penggunaan polimer dalam komposit memerlukan



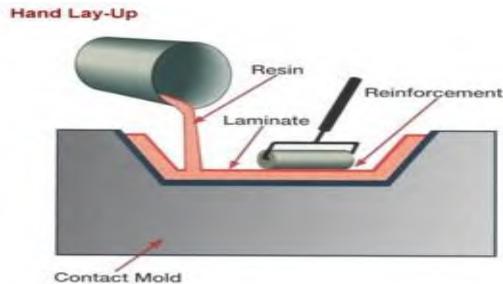
material lain yang mempunyai fungsi khusus yang disebut aditif. Material tambahan tersebut dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis, yaitu:

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.

2.6 Metode Manufaktur Hand Layup

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 lapisan pertama diletakkan diatasnya, kemudian dengan menggunakan *roller* atau kuas resin kembali diratakan. Langkah ini dilakukan terus menerus hingga didapatkan ketebalan spesimen yang diinginkan.

Metode hand layup 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* atau gelembung udara yang terperangkap dalam *laminat* komposit. Secara umum metode *hand lay up* digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.10 Proses *Hand Lay Up* [10].

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 *prototype* 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.

2.7 Perhitungan Komposit

2.7.1 Karakteristik Umum

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



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

$$\text{Fraksi volume matriks : } V_m = v_m / v_c \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Fraksi volume serat: } V_f = v_f / v_c \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Fraksi berat total : } W_f + W_m = 1 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Fraksi berat matriks : } W_m = w_m / w_c \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{Fraksi berat serat : } W_f = w_f / w_c \quad \dots\dots\dots(6)$$

Dari persamaan tersebut, didapatkan:

$$V_c = V_m + V_f \dots\dots\dots(7)$$

$$w_c = w_m + w_f \quad \dots\dots\dots(8)$$

Kerapatan komposit dapat dihitung berdasarkan persamaan di bawah:

$$\rho_c = V_f \rho_f + V_m \rho_m \dots\dots\dots(9)$$

dimana:

m = matriks

f = serat

c = komposit

V = fraksi volum

W = fraksi berat

v = volume (m³)

w = berat (kg)

2.7.2 Karakteristik Campuran

Umumnya perhitungan komposit berdasarkan atas fraksi volume, namun dalam proses produksinya, perhitungannya berdasarkan fraksi berat. Hal ini karena dengan menggunakan fraksi berat lebih memudahkan pengerjaannya. Berikut adalah konversi dari fraksi volume terhadap fraksi berat dan sebaliknya:

$$V_f = \frac{\frac{W_f}{\rho_f}}{\left(\frac{W_f}{\rho_f}\right) + \left(\frac{W_m}{\rho_m}\right)} \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$W_f = \frac{V_f \cdot \rho_f}{(V_f \cdot \rho_f) + (V_m \cdot \rho_m)} \quad \dots\dots\dots(11)$$

Dimana:

V_f = fraksi volume fiber

V_m = fraksi volume matriks

W_f = fraksi berat fiber



W_m = fraksi berat matriks

2.8 Proses *Curing*

Secara umum inti dari mekanisme *curing* material termoset ialah bagaimana proses *crosslink* dapat terjadi. Reaksi *crosslink* pada resin *epoxy* diharapkan terjadi pada saat campuran resin dan penguat telah dimasukkan ke dalam cetakan. *Curing* (*crosslinking*) dapat terjadi pada temperatur tinggi (100 °C) seperti pada proses *pressure molding* atau pada temperatur ruang pada proses *hand layup*. Proses yang terjadi adalah molekul yang berukuran sedang saling berikatan membentuk ikatan molekul yang lebih besar [4]. Hasilnya material yang telah mengalami proses *curing* menjadi lebih padat dan meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan kekerasan. Karena memiliki ikatan *crosslink* sehingga material ini tidak dapat dilelehkan kembali. Agar *curing* dapat terjadi maka *unsaturated polyester* harus ditambahkan katalis.

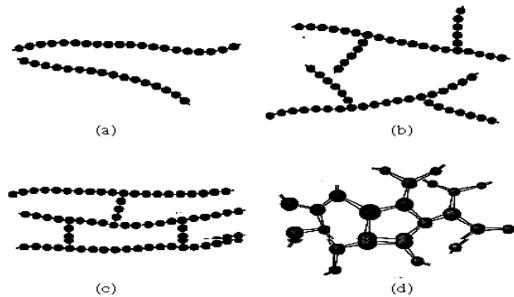
Katalis ini sendiri berfungsi sebagai pengeras (*hardener*). Untuk proses pada temperatur tinggi biasanya sering digunakan katalis *Benzoil Peroksida*, biasanya dalam bentuk pasta peroksida (<50%) yang terlarut pada larutan cair seperti dimetil phthalate [1]. Sedangkan untuk proses pada temperatur ruang biasanya ditambahkan senyawa *Metil Etil Keton Peroksida* (MEKPo). Senyawa Peroksida yang digunakan pada proses curing temperatur ruang biasanya ditambahkan dengan senyawa kobalt seperti naphthenate, octoate atau larutan organik sabun lainnya sebagai akselerator. *Metil Etil Keton Peroksida* adalah campuran dari berbagai senyawa yang biasanya tersedia dalam bentuk 60% peroksida cair yang dicampurkan ke dalam dimetil padat. Peroksida dapat menghubungkan ikatan karbon dengan ikatan ganda untuk membentuk ikatan dengan salah satu karbon dan lainnya membentuk ikatan bebas radikal. Ikatan bebas radikal ini sangat reaktif dan secara langsung akan mencari ikatan dengan material lain, contohnya ikatan polyester lainnya. Karena pada



tiap ikatan ini membentuk ikatan bebas radikal maka akan membentuk ikatan rantai reaktif dan dapat terhubung dengan rantai lain. Proses ini disebut *crosslink*. Dalam praktiknya, hanya dibutuhkan sedikit peroksida yang dibutuhkan untuk memulai reaksi, sekitar 1% dari berat resin total. Pada saat bereaksi akan timbul panas akibat ikatan yang saling terbentuk. Panas ini dapat membantu memaksimalkan proses sehingga dapat meningkatkan sifat mekaniknya.

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 dan akan menurunkan modulus elastisitasnya sehingga material akan lebih kaku. 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.

Proses *curing* yang sempurna dapat terjadi pada temperatur tinggi. Seiring dengan meningkatnya temperatur, maka aktivitas molekul dan polimerisasi juga meningkat. Sehingga derajat kristalinitasnya akan meningkat pula. Meningkatnya derajat kristalinitas menyebabkan fase *rubber* akan berubah menjadi fase *glass* yang lebih kuat dan rapuh. Polimerisasi merupakan suatu jenis reaksi kimia dimana monomer - monomer bereaksi untuk membentuk rantai yang besar. Tipe rantai polimer dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Tipe Rantai Polimer (a) *Linear*, (b) *Branched*, (c) *Cross-linked*, (d) *network* [7].

Selain pengaruh panas hal yang mempengaruhi proses pembentukan *crystalinity* yaitu bentuk rantai pada polimer, panjang rantai polimer, pengulangan susunan *mers* pada rantai polimer juga berpengaruh pada proses pembentukan *crystalinity* pada polimer.

2.9 Post - Curing

Tujuan dilakukan proses *post-curing* adalah memperbaiki sifat - sifat yang dimiliki oleh komposit. Proses *post - curing* dilakukan dengan cara memanaskan material tersebut pada temperatur tertentu, tetapi temperatur tersebut tidak boleh melebihi *glass transition temperature* (T_g), karena jika melebihi temperatur tersebut akan menyebabkan material tersebut menjadi lunak dan akan menurunkan modulus elastisitasnya sehingga material akan lebih kaku. Pada waktu dilakukan *post - curing*, molekul-molekul material pada kondisi ini menerima lebih banyak energi dan meningkatkan pergerakan molekul - molekul tersebut. Molekul - molekul tersebut tersusun ulang dan membentuk ikatan *crosslink*. Hal ini menyebabkan material menjadi lebih fleksibel. Ketika material tersebut didinginkan maka mobilitas dari molekul akan turun kembali dan menyebabkan material menjadi kaku kembali. Fenomena ini menyebabkan material mengalami peningkatan kekuatan dan kekakuan.

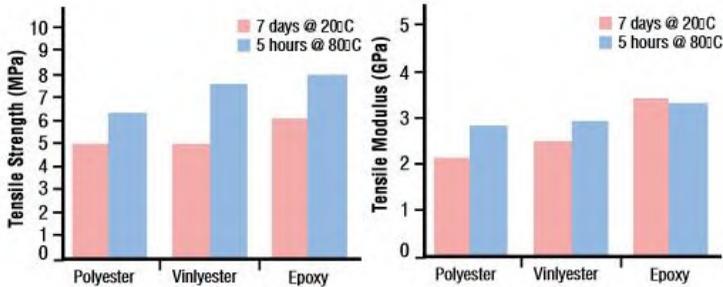


Tabel 2.4 Data Tg dari *Polyester* resin menurut jurnal “*Characterization and Failure Analysis of Plastics*” oleh ASM International diterbitkan pada Desember 2003 pada halaman 117 [8].

Chemical name	Glass-transition temperature (T_g)		Melting temperature (T_m)	
	°C	°F	°C	°F
Thermoset resins				
Amino resins (melamine-formaldehyde)	None(b)	None(b)	...	...
Bismaleimide	230-345(c)	450-650(c)	...	...
Epoxy resins	60-175	140-350	...	...
Phenolic resins	300	570	...	...
Polyester resins	110	230	...	...
Polyamide resins	315-370(c)	600-700(c)	...	...
Polyurethane (cast)	135	275	...	...
Polyurethane (elastomer)	...	...	...	...
Silicone	-125	-193	...	...
Urethane rigid foam	...	...	...	...

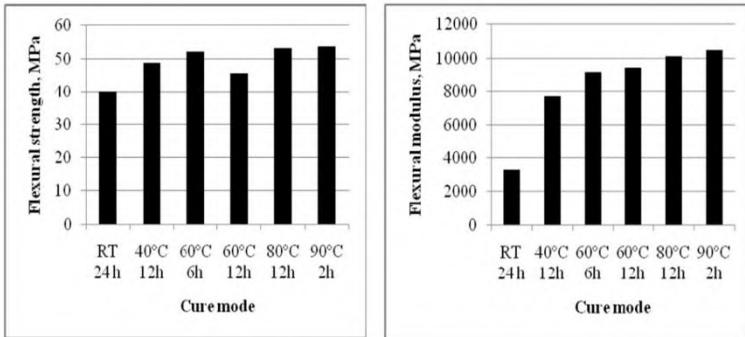
Dari tabel 2.4 dapat diketahui bahwa Tg *Polyester* resin adalah 110°C atau sekitar 140-350°F.

Dari penelitian yang pernah dilakukan oleh perusahaan SP systems [9], dimana membandingkan antara resin *polyester*, *vinylester*, dan *epoxy* dengan komposisi 100 % tanpa campuran yang di-*curing* pada suhu kamar dan *post-curing* pada temperatur 80°C selama 5 jam yang kemudian diuji dengan pengujian tarik menunjukkan hasil sebagai berikut:



Gambar 2.12 Grafik Hasil Uji Tarik dan Modulus *Tensile* Antar Resin *Polyester*, *Vinylester*, dan *Epoxy* yang Di-curing dan *Post-curing* [9].

Post-curing pada temperatur transisi (T_g) yang tinggi akan mempengaruhi kualitas dari *crosslink* pada komposit. Waktu penahanan *post-curing* hanya akan berpengaruh pada temperatur transisi (T_g) yang rendah dikarenakan pergerakan rantai polimer tidak bisa secepat saat *post-curing* pada temperatur yang tinggi. Temperatur *post-curing* juga berpengaruh pada kekakuan dan kegetasan material yang dapat dilihat dari nilai modulus elastisitasnya. Menurut penelitian yang dilakukan oleh *Aare Aruniit, Jaan Kers, Andres Krumme, dan Kaspar Tall* [11] mengenai pengaruh parameter *post - curing* pada *particle reinforced composite* menggunakan resin polyester, didapatkan hasil bahwa nilai tegangan bending mengalami perubahan pada *post-curing* di temperatur rendah tetapi tidak ada perubahan yang signifikan pada *post - curing* dengan temperatur yang lebih tinggi. Nilai modulus elastisitas semakin meningkat seiring dengan peningkatan temperatur *post-curing*. Data dari penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.16 sebagai berikut:



Gambar 2.13 Grafik Nilai Tegangan Bending dan Modulus Elastisitas Komposit Pada Beberapa Perlakuan *Post-Curing* [11].

2.10 Pengujian Spesimen Dengan Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mencari tegangan dan regangan dari material komposit. Dari pengujian ini dapat diketahui beberapa sifat mekanik material yang dibutuhkan dalam melakukan desain. Didapatkan hasil dari pengujian berupa grafik beban dalam skala perpanjangan. Dari grafik tersebut maka tegangan dari material komposit dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(14)$$

Dimana :

$\sigma =$ Tensile strength (Pa)

P= Beban terbesar sebelum gagal (N)

A = Luas penampang melintang rata-rata (m²)

Gambar pengujian sesuai dengan gambar di bawah



Gambar 2.14 Skema uji tarik

Selanjutnya dapat pula diperoleh regangan yang terjadi pada material komposit selama pengujian dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} \dots\dots\dots(15)$$

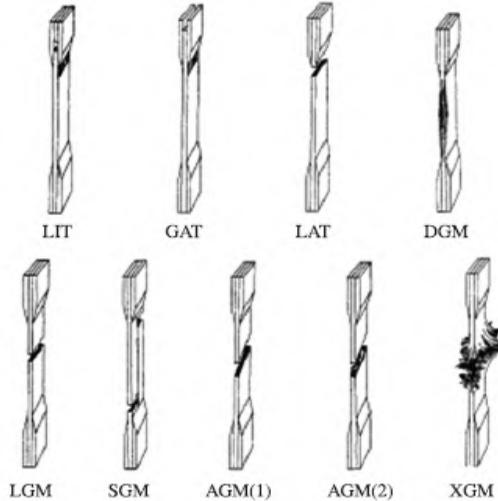
Dimana :

ε = *Strain strength*

l_o = Panjang awal spesimen (mm)

l_i = Panjang akhir spesimen (mm)

Pada pengujian tarik untuk komposit terdapat berbagai kemungkinan gagal yang terjadi, hal tersebut dapat disebabkan oleh komponen penyusunnya serta metode manufaktur yang digunakan dalam proses pembuatan komposit tersebut. Jenis pola patahan dapat dilihat pada gambar berikut:



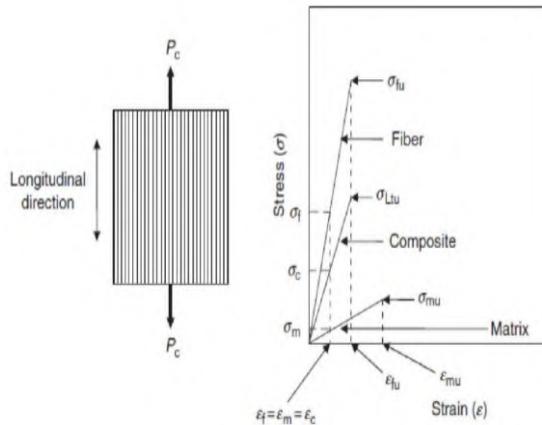
Failure Type	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Angled	A	Inside grip/tab	I	Bottom	B
Edge Delamination	D	At grip/tab	A	Top	T
Grip/tab	G	<1 W from grip/tab	W	Left	L
Lateral	L	Gage	G	Right	R
Multi-mode	M (xyz)	Multiple Areas	M	Middle	M
Long Splitting	S	Various	V	Various	V
explosive	X	Unknown	U	Unknown	U
Other	O	-	-	-	-

Gambar 2.15 Penampakan dari beberapa mode kegagalan pada uji tarik komposit [4].

Pada spesimen tarik, umumnya serat yang putus terjadi secara merambat dalam proses kegagalan pada komposit. Tahapan awal adalah patah pada salah satu serat penguat sehingga berdampak memberikan beban kepada matriks yang kemudian diteruskan ke penguat yang berada didekatnya. Dengan adanya peningkatan tegangan tersebut memungkinkan terjadinya serat penguat patah secara berurutan atau merambat. Hal tersebut terjadi secara berkelanjutan hingga spesimen komposit tersebut patah.



Diagram tegangan dan regangan untuk hasil uji tarik pada arah pembebanan paralel pada arah serat ditunjukkan oleh kurva berikut:



Gambar 2.16 Diagram tegangan dan regangan untuk arah pembebanan paralel arah serat [6].

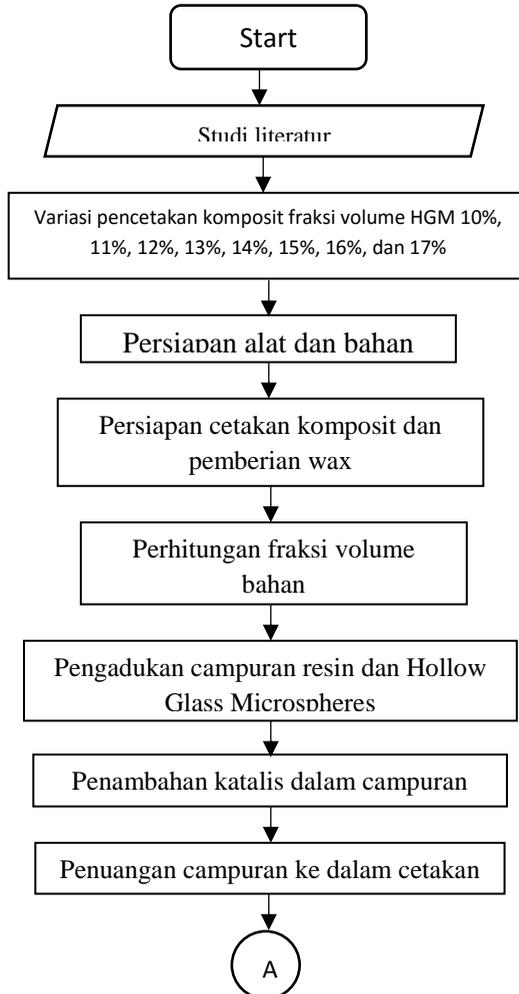
Pada gambar 2.22 menunjukkan bahwa harga modulus longitudinal komposit berada diantara harga modulus serat penguat dan harga modulus matriks. Harga modulus ini meningkat dengan bertambahnya volume fraksi serat penguat dan secara umum $E_f > E_m$, dimana modulus serat lebih besar dibandingkan modulus matriks sehingga nilai modulus komposit lebih banyak dipengaruhi nilai modulus serat penguat.



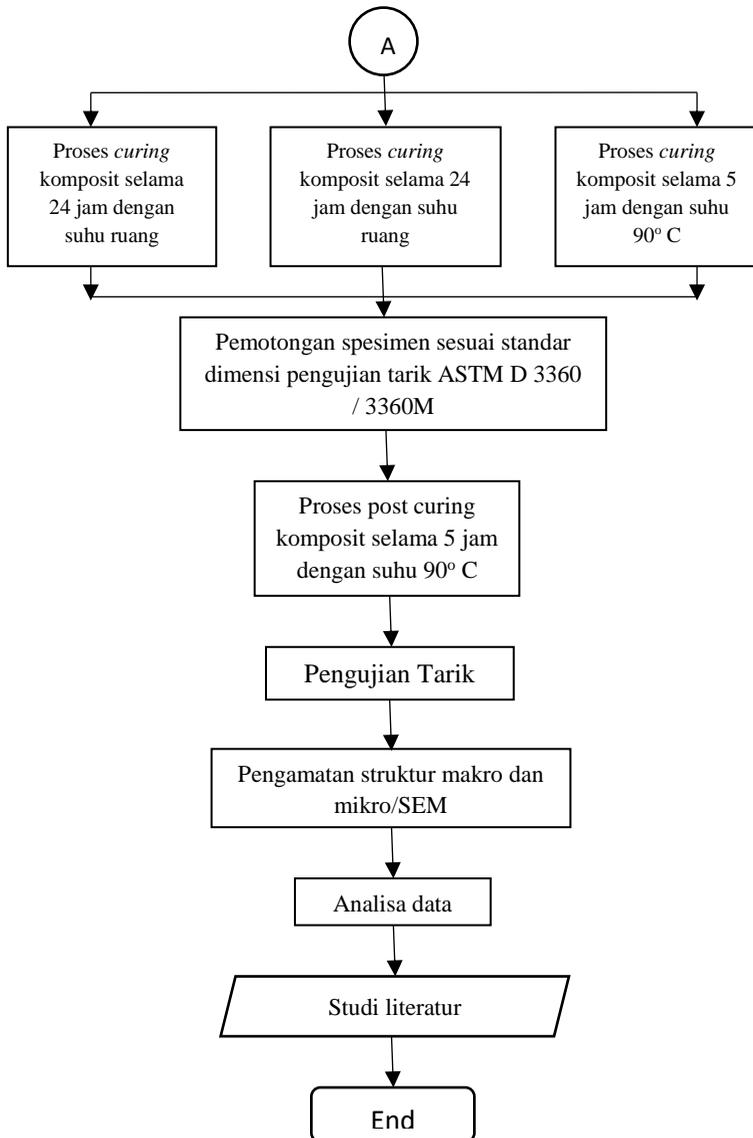
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Percobaan



Gambar 3.1 diagram alir percobaan

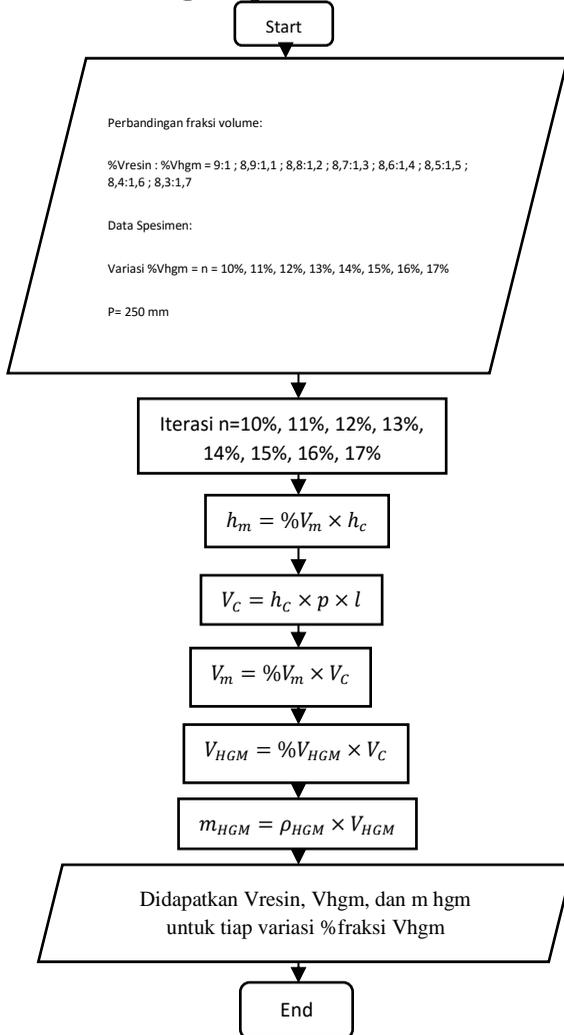


Gambar 3.1 Lanjutan Diagram Alir Penelitian



3.2 Persiapan Spesimen

3.2.1 Flowchart Perhitungan Spesimen



Gambar 3.2 Flowchart perhitungan spesimen



3.2.2 Contoh Perhitungan Spesimen

- ❖ Diketahui:
Perbandingan fraksi volume:
 $\%V_m : \%V_R = 1) 9 : 1$
2) 8,9 : 1,1
3) 8,8 : 1,2
4) 8,7 : 1,3
5) 8,6 : 1,4
6) 8,5 : 1,5
7) 8,4 : 1,6
8) 8,3 : 1,7

Data Spesimen:

$$p = 250 \text{ mm};$$

$$l = 30 \text{ mm};$$

$$\rho_{\text{hgm}} = 0,6 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho_{\text{polyester}} = 1,3 \text{ gr/cm}^3$$

Keterangan:

m = resin polyester

R = *reinforce* (HGM)

C = Komposit

- ❖ Contoh perhitungan menggunakan fraksi volume HGM 10%.
- ❖ Menghitung tebal resin
 $h_m = \%V_m \times h_c = 90\% \times 5 = 4,5 \text{ mm}$
- ❖ Menghitung volume komposit pada spesimen (V_C)
 $V_C = h_c \times p \times l = 5 \times 250 \times 30 = 37500 \text{ mm}^3$
- ❖ Menghitung volume resin polyester (V_m)
 $V_m = \%V_m \times V_C = 90\% \times 37500 = 33750 \text{ mm}^3$
- ❖ Menghitung volume HGM (V_R)
 $V_{HGM} = \%V_{HGM} \times V_C = 10\% \times 37500$
 $= 3750 \text{ mm}^3$
- ❖ Menghitung massa HGM (m_R)

$$m_{HGM} = \rho_{HGM} \times V_{HGM} = 0,6 \times \frac{3750}{1000} = 2,25 \text{ gr}$$



3.2.3 Tabel Perhitungan Volume HGM dan Volume Resin

HGM (%)	Polyester (%)	Vol. HGM (mm ³)	Vol. Polyester (mm ³)
10%	90%	3750	33750
11%	89%	4125	33375
12%	88%	4500	33000
13%	87%	4875	32625
14%	86%	5250	32250
15%	85%	5625	31875
16%	84%	6000	31500
17%	83%	6375	31125

3.2.4 Tabel Spesimen Teori

HGM	Polyester	Berat HGM (gr)	Berat Polyester (gr)	Berat Total (gr)	Densitas (gr/cm ³)
10%	90%	2,25	43,87	46,12	0,001
11%	89%	2,47	43,38	45,86	0,001
12%	88%	2,7	42,9	45,6	0,001
13%	87%	2,92	42,41	45,33	0,001
14%	86%	3,15	31,92	35,07	0,0009
15%	85%	3,37	41,43	44,81	0,001
16%	84%	3,6	40,95	44,55	0,001
17%	83%	3,82	40,46	44,28	0,001

3.2.5 Rules of Mixture

- ❖ Dengan rumus ROM berikut:

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

- ❖ Tegangan ROM spesimen curing 27° C = 67,2 MPa



- ❖ Tegangan ROM spesimen *post-curing* = 65,39 MPa
- ❖ Tegangan ROM spesimen curing 90° C = 53,41 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.

Alat - alat yang diperlukan untuk membuat komposit yaitu:

1. Cetakan terbuat dari keramik
Cetakan yang terbuat dari keramik digunakan sebagai cetakan dari *Polyester* dan *Hollow Glass Microsphere* pada komposit, cetakan ini memiliki kapasitas 40 x 40 mm².
2. 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.
3. Gelas plastik
Gelas plastik digunakan sebagai wadah *polyester* dan *catalyst*
4. Sarung tangan
Sarung tangan digunakan sebagai pelindung tangan agar tidak terkena campuran *Polyester* dan *Hollow Glass Microsphere* saat dituang pada cetakan.
5. Masker
Masker digunakan sebagai pelindung mulut dan hidung agar debu dari komposit tidak masuk ke saluran pernapasan pada saat melakukan proses pemotongan.
6. Sumpit
Sumpit berfungsi untuk mengaduk campuran *epoxy*, *hardener* dan *hollow glass microsphere* agar tercampur rata.



7. Kapi
Kapi digunakan untuk melepas komposit yang telah mengeras dari cetakan.
8. Mesin pemotong atau gerinda tangan
Alat pemotong digunakan untuk memotong komposit sesuai dengan dimensi pengujian.
9. Heater atau *furnace*
Furnace digunakan untuk proses *curing* temperature 90°C , mesin ini adalah *furnace* milik Teknik Mesin ITS.

Dan bahan-bahan yang diperlukan antara lain:

1. Resin *Polyester Yukalac 157 BTQN-EX*.
2. Katalis MEKPO (Metil Etil Keton Peroksida).
3. *Wax*, berfungsi sebagai lapisan yang akan mempermudah proses pelepasan spesimen dari cetakan.



Gambar 3.3 *Wax*

4. Polivinil Asetat (PVA)



Gambar 3.4 Polivinil Asetat



5. *Hollow Glass Microsphere (HGM)*, sebagai *filler*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.5 Bahan yang digunakan (a) *Polyester* (b) *Hollow Glass Microspheres* (c) katalis

Alat-alat yang digunakan untuk melakukan pengujian spesimen komposit yaitu:

1. Mesin Uji Tarik – Shimadzu AG-X



Gambar 3.6 Mesin Uji Tarik-Bending Shimadzu AG-X



2. *Scanning Electron Microscope Zeiss EVO MA 10.*



Gambar 3.7 *Scanning Electron Microscope Zeiss EVO MA 10.*

3.4 Proses Pembuatan Komposit

Proses pembuatan komposit sebagai berikut:

1. Sebelum proses pencetakan, cetakan dilapisi dengan wax secara merata, Hal ini bertujuan agar komposit mudah dilepas dari cetakan ketika sudah mengeras. Kemudian, ditempatkan bingkai cetakan yang terbuat dari kaca dan membentuk ukuran cetakan $300 \times 150 \times 5 \text{ mm}^3$. Bingkai cetakan tersebut pada ujung-ujungnya direkatkan lagi dengan malam dengan tujuan agar campuran tetap berada pada cetakan setelah dituang.
2. Resin dan *Hollow Glass Microsphere* ditimbang dengan perbandingan berat sesuai dengan fraksi berat yang telah ditentukan pada tabel 3.2.4 terhadap berat total. Kemudian campuran diaduk secara merata menggunakan sendok pengaduk kurang lebih selama 30 menit dengan tujuan untuk mencapai homogenitas paduan dan meminimalisir porositas pada hasil. Campuran tersebut kemudian ditambahkan dengan hardener sebanyak 1% sesuai perhitungan dari total



- volume resin yang digunakan dan diaduk secara merata. Penambahan hardener bertujuan agar resin dapat mengeras.
3. Campuran dituang ke dalam cetakan dan diratakan.
 4. Campuran dibiarkan dalam cetakan untuk menjalani tiga kali proses curing. Pertama diberikan proses curing selama 24 jam pada temperatur kamar, kedua diberikan proses curing selama 24 jam pada temperatur kamar kemudian diberikan perlakuan post-curing pada temperatur 90°C selama 5 jam, ketiga diberikan proses curing selama 5 jam pada temperatur 90°C.
 5. Komposit dilepas dari cetakan.

3.4.1 Proses *curing*

Proses curing dalam penelitian ini adalah dengan membiarkan komposit dalam cetakannya selama kurang lebih 24 jam untuk dapat mengering dengan sempurna.

3.4.2 Pengamatan Bentuk Fisik 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 alat bantu gerinda tangan dan gergaji. Proses pembentukan harus dilakukan dengan hati-hati, agar material komposit tidak pecah selama proses pembentukan menjadi spesimen untuk uji mekanik. Dimensi spesimen yang dibentuk mengacu terhadap standar pengujian tarik.



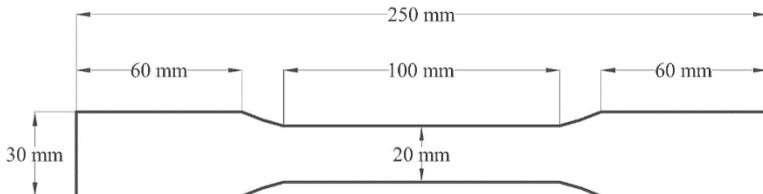
3.5 Prosedur Perhitungan Massa Jenis Komposit

Sebelum dilakukan pengujian tarik, spesimen 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 spesimen ditimbang dan didapatkan beratnya spesimen 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 spesimen tersebut.

3.6 Pelaksanaan Pengujian Tarik

3.6.1 Spesimen Uji Tarik

Spesimen uji tarik pada penelitian ini dibentuk berdasarkan standar uji tarik komposit yaitu ASTM D3039-105 [12], "*Standar Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*". Bentuk serta dimensi dari spesimen uji tarik adalah seperti gambar 3.6. Hasil dari pengujian adalah berupa grafik P- Δ L yang diperoleh dari mesin uji tarik serta kekuatan tarik maksimum spesimen. Grafik tegangan-regangan, perpanjangan dihitung secara manual.



Gambar 3.8 Spesimen Uji Tarik (dimensi dalam mm)



3.6.2 Prosedur Uji Tarik

Langkah - langkah pengujian tarik adalah sebagai berikut:

1. Masing-masing spesimen diberi label sesuai variabel yang digunakan.
2. Pencatatan dimensi awal dari spesimen, yaitu:
 - Panjang awal (l_0).
 - Lebar (b).
 - Tebal (d).
3. Memasang spesimen pada penjepit atau *chuck*.
4. Pembebanan pada spesimen hingga patah.
5. Setelah patah, spesimen dilepas dari penjepit.
6. Pencatatan data yang didapatkan dari mesin berupa $P-\Delta L$ serta kekuatan tarik pada tabel.



BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Spesimen Ukur

Data ukur spesimen Polyester dan HGM ditampilkan pada tabel 4.1, 4.2, dan 4.3 sebagai berikut:

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

Kode	Temperatur curing (-C)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Volume (ml)	Berat (gr)	ρ (gr/cm ³)
10A1	Temperatur Kamar	240	33	4,7	30,55	44,1	1,44
10A2		240	33	4,7			
10A3		240	33	4,7			
11A1		225	35	5,5	39,31	43,8	1,12
11A2		225	35	5,5			
11A3		225	35	5,5			
12A1		243	33	4,6	29,88	43,6	1,46
12A2		243	33	4,6			
12A3		243	33	4,6			
13A1		235	32	4,8	28,09	43,3	1,54
13A2		235	32	4,8			
13A3		235	32	4,8			
14A1		245	35	4,7	35,3	43,2	1,22
14A2		245	35	4,7			
14A3		245	35	4,7			
15A1		244	31,2	5,4	36,11	42,8	1,18
15A2		244	31,2	5,4			
15A3		244	31,2	5,4			
16A1		246	33	5,8	41,08	42,5	1,03
16A2		246	33	5,8			
16A3		246	33	5,8			
17A1		245	32,5	4,3	36,24	42,2	1,16
17A2		245	32,5	4,3			
17A3		245	32,5	4,3			



Tabel 4.2 Data spesimen ukur komposit curing temperatur kamar selama 24 jam dan Post-Curing selama 5 jam.

Kode	Temperatur curing (°C)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Volume (ml)	Berat (gr)	ρ (gr/cm ³)
10B1	Post-Curing 90°C selama 5 jam	225	33	4,6	34,15	32,4	0,94
10B2		225	33	4,6			
10B3		225	33	4,6			
11B1		243	32	4,8	37,33	39,5	1,05
11B2		243	32	4,8			
11B3		243	32	4,8			
12B1		235	35	4,7	38,65	40,3	1,04
12B2		235	35	4,7			
12B3		235	35	4,7			
13B1		245	33	4,7	37,9	39,8	1,05
13B2		245	33	4,7			
13B3		245	33	4,7			
14B1		244	35	5,5	45,3	46,97	1,03
14B2		244	35	5,5			
14B3		244	35	5,5			
15B1		240	32,5	4,3	33,54	34,1	1,01
15B2		240	32,5	4,3			
15B3		240	32,5	4,3			
16B1		246	33	5,8	47,08	45,3	0,96
16B2		246	33	5,8			
16B3		246	33	5,8			
17B1	245	31,2	5,4	41,28	42,6	1,03	
17B2	245	31,2	5,4				
17B3	245	31,2	5,4				



Tabel 4.3 Data spesimen ukur komposit curing temperatur 90° C selama 5 jam.

Kode	Temperatur curing (°C)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Volume (ml)	Berat (gr)	ρ (gr/cm ³)
10C1	Curing 90° C selama 5 jam	243	35	4,7	39	41,4	1,06
10C2		243	35	4,7			
10C3		243	35	4,7			
11C1		235	33	4,7	36,45	37,8	1,03
11C2		235	33	4,7			
11C3		235	33	4,7			
12C1		240	35	5,5	46,2	44,3	0,95
12C2		240	35	5,5			
12C3		240	35	5,5			
13C1		246	32,5	4,3	34,38	32,6	0,94
13C2		246	32,5	4,3			
13C3		246	32,5	4,3			
14C1		245	33	5,8	46,9	45,3	0,96
14C2		245	33	5,8			
14C3		245	33	5,8			
15C1		225	32	5,4	38,88	40,5	1,04
15C2		225	32	5,4			
15C3		225	32	5,4			
16C1		245	33	4,6	37,18	39,3	1,05
16C2		245	33	4,6			
16C3		245	33	4,6			
17C1	244	31,2	4,8	36,54	38,8	1,06	
17C2	244	31,2	4,8				
17C3	244	31,2	4,8				



4.2 Data Hasil Pengujian Tarik Komposit Partikel

Pengujian tarik dilakukan berdasarkan pada standar ASTM D3039 dan dilakukan pada mesin tarik di laboratorium Jurusan Teknik Sipil ITS. Hasil pengujian tarik pada komposit partikel ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4.4 Hasil uji tarik komposit curing temperatur kamar selama 24 jam.

Kode	Temperatur (°C)	σ (Mpa)	σ AVG (Mpa)	ϵ (%)	ϵ AVG (%)	Toughness (N.mm/mm ²)	Toughness AVG (N.mm/mm ²)
10A1		27,22	25,86	4,19	4,01	0,27	0,31
10A2		30,09		4,71		0,34	
10A3		20,29		3,11		0,32	
11A1		36,23	38,74	2,02	2,38	0,29	0,36
11A2		39,59		2,12		0,31	
11A3		40,46		3,01		0,47	
12A1		49,43	43,99	2,66	2,88	0,53	0,45
12A2		47,39		2,86		0,24	
12A3		35,14		3,13		0,57	
13A1		51,51	48,41	2,73	3,09	0,62	0,49
13A2		45,36		3,24		0,37	
13A3		48,35		3,29		0,49	
14A1		47,28	50,36	2,93	2,75	0,55	0,64
14A2		54,45		2,07		0,76	
14A3		49,35		3,26		0,62	
15A1		31,84	30,49	3,01	3,27	0,95	0,76
15A2		28,48		2,51		0,33	
15A3		31,15		4,28		0,99	
16A1		30,29	28,02	2,31	2,77	0,48	0,49
16A2		25,40		3,03		0,53	
16A3		28,35		2,97		0,45	
17A1		25,15	25,69	2,70	2,67	0,54	0,46
17A2		28,48		2,36		0,48	
17A3		23,45		2,95		0,37	



Tabel 4.5 Hasil uji tarik komposit curing temperatur kamar selama 24 jam dan post-curing selama 5 jam.

Kode	Temperatur (°C)	σ (Mpa)	σ AVG (Mpa)	ε (%)	ε AVG (%)	Toughness (N.mm/mm ²)	Toughness AVG (N.mm/mm ²)
10B1		25,18	19,46	3,29	2,91	0,48	0,33
10B2		18,30		2,82		0,30	
10B3		14,89		2,61		0,22	
11B1		17,01	22,84	1,67	2,73	0,24	0,58
11B2		26,93		3,69		0,81	
11B3		24,57		2,82		0,68	
12B1		23,89	24,49	2,70	2,34	0,68	0,62
12B2		25,10		2,36		0,75	
12B3		24,47		1,95		0,43	
13B1		26,80	27,52	2,94	2,96	0,78	0,64
13B2		31,35		2,99		0,54	
13B3		24,40		2,96		0,60	
14B1		32,65	31,53	3,54	2,83	0,80	0,76
14B2		28,59		2,34		0,63	
14B3		33,35		2,62		0,86	
15B1		22,35	24,48	3,13	2,79	0,87	0,82
15B2		25,45		2,51		0,75	
15B3		25,65		2,73		0,85	
16B1		26,16	23,92	3,26	2,60	0,95	0,85
16B2		20,95		2,02		0,76	
16B3		24,64		2,51		0,85	
17B1		22,35	22,38	2,07	2,371	0,84	0,82
17B2		25,44		2,31		0,79	
17B3		19,35		2,71		0,84	

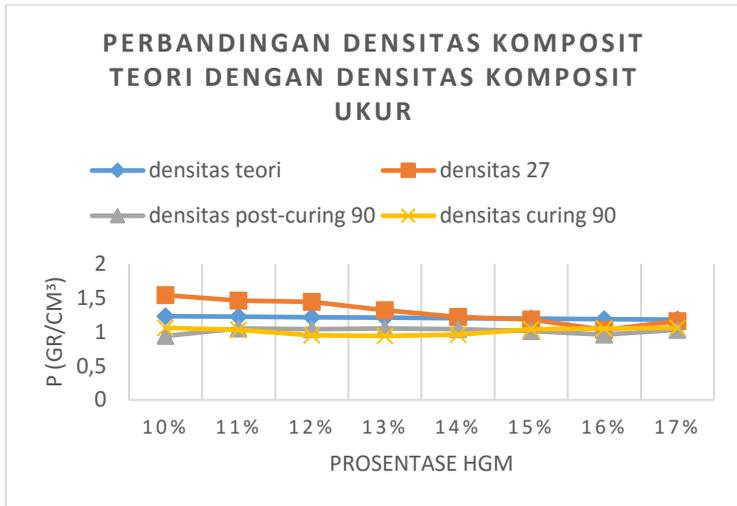


Tabel 4.6 Hasil uji tarik komposit curing temperatur 90° C selama 24 jam.

Kode	Temperatur (°C)	σ (Mpa)	σ AVG (Mpa)	ϵ (%)	ϵ AVG (%)	Toughness (N.mm/mm ²)	Toughness AVG (N.mm/mm ²)
10C1		24,15	22,43	2,98	2,80	0,35	0,3
10C2		19,81		2,36		0,21	
10C3		23,34		3,07		0,33	
11C1		13,10	13,27	1,93	2,77	0,37	0,35
11C2		11,76		3,25		0,41	
11C3		14,95		3,13		0,26	
12C1		14,95	15,58	2,82	2,63	0,37	0,4
12C2		16,59		2,70		0,44	
12C3		15,21		2,36		0,38	
13C1		12,56	18,27	2,81	2,55	0,74	0,59
13C2		22,53		2,46		0,56	
13C3		19,73		2,37		0,48	
14C1		17,57	16,48	2,99	3,13	0,68	0,67
14C2		14,72		3,13		0,64	
14C3		17,15		3,26		0,69	
15C1		16,41	16,05	2,70	2,66	0,63	0,67
15C2		16,68		2,36		0,68	
15C3		15,07		2,94		0,71	
16C1		13,23	13,54	2,82	2,84	0,77	0,72
16C2		14,02		2,70		0,69	
16C3		13,38		2,99		0,71	
17C1		12,40	12,56	3,13	2,86	0,78	0,77
17C2		12,17		2,73		0,81	
17C3		13,12		2,71		0,73	



4.2.1 Perbandingan Densitas Komposit Teori dengan Densitas Komposit Ukur



Gambar 4.1 Grafik massa jenis komposit secara teori dan secara ukur terhadap prosentase HGM.

Dari gambar 4.1 terlihat bahwa tren grafik grafik massa jenis komposit baik spesimen curing temperatur kamar, spesimen curing temperatur 90° C, maupun spesimen *post-curing* 90° C cenderung mengalami penurunan yang tidak terlalu signifikan. Massa jenis terbesar terdapat pada variasi prosentase HGM 11% curing temperatur kamar yaitu 1,44 gr/cm³.

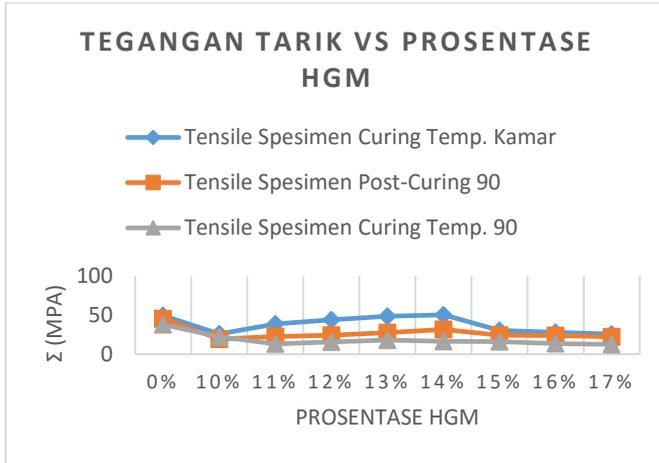
Akan tetapi baik densitas spesimen curing temperatur kamar, curing temperatur 90° C, maupun spesimen *post-curing* 90° C memiliki perbedaan dibandingkan dengan densitas spesimen secara teoritis, namun memiliki kecenderungan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya prosentase HGM. Lalu dengan melihat dimensi spesimen yang cenderung memiliki variasi kenaikan ataupun penurunan yang kecil (atau dapat dianggap sama



pada tiap variasi prosentase HGM), maka perbedaan densitas dan adanya variasi nilai densitas spesimen dikarenakan adanya perbedaan berat total spesimen secara teori dan berat total spesimen ukur yang dapat dilihat pada tabel 3.2.4 untuk berat komposit teori dan tabel 4.1 – 4.3 untuk berat komposit spesimen. Perbedaan variasi berat total spesimen tersebut mengindikasikan adanya void pada spesimen sehingga dapat menurunkan berat komposit. Lalu dengan membandingkan berat bahan penyusun komposit secara teori pada tabel 3.24, terlihat bahwa berat HGM dan polyester pada spesimen berbeda dari berat spesimen secara teori, dan perbedaan ini dapat mempengaruhi ikatan komposit serta sifat mekanik pada saat pengujian. Menurut Dietrich Braun (et al.) penyebab dari lebih rendahnya densitas komposit spesimen jika dibandingkan dengan densitas komposit teoritis dikarenakan oleh air yang terkandung dalam resin polyester menguap bersama dengan udara yang terkandung dalam resin ketika resin bercampur dengan katalis sehingga terjadi penyusutan volume resin polyester [21]. Karena terjadi penyusutan volume resin inilah maka densitas komposit spesimen menjadi lebih rendah jika dibandingkan dengan densitas secara teori yang tidak memperhitungkan terjadinya penyusutan volume resin ketika dicampur dengan katalis.



4.2.2 Pengaruh Variasi Temperatur Curing terhadap Tegangan Tarik Komposit



Gambar 4.2 Grafik tegangan tarik vs prosentase HGM untuk temperatur curing 27°C selama 24 jam, temperatur curing 27°C selama 24 jam kemudian dilakukan post-curing selama 5 jam pada temperatur 90°C, dan temperatur curing 90°C selama 5 jam.

Dari tabel 4.4 dan gambar 4.2 untuk komposit dengan perlakuan curing pada temperatur kamar didapatkan tegangan tarik dari setiap variasi prosentase HGM untuk 10% HGM adalah 25,86 MPa, untuk 11% HGM adalah 38,75 MPa, untuk 12% HGM adalah 43,99 MPa, untuk 13% HGM adalah 48,41 MPa, untuk 14% HGM adalah 50,36 MPa, untuk 15% HGM adalah 30,49 MPa, untuk 16% HGM adalah 28,02 MPa, dan untuk 17% HGM adalah 25,69 MPa. Nilai tegangan tarik tertinggi pada spesimen komposit partikel adalah dengan prosentase HGM 14%. Sedangkan tegangan tarik terendah adalah spesimen komposit partikel dengan prosentase HGM 17%.

Kemudian untuk komposit dengan perlakuan curing pada temperatur 90°C selama 5 jam pada tabel 4.5 dan gambar 4.2



didapatkan tegangan tarik dari setiap variasi prosentase HGM untuk 10% HGM adalah 19,46 MPa, untuk 11% HGM adalah 13,27 MPa. Untuk 12% HGM adalah 15,58 MPa, untuk 13% HGM adalah 18,27 MPa, untuk 14% HGM adalah 16,48 MPa, untuk 15% HGM adalah 16,05 MPa, untuk 16% HGM adalah 13,54 MPa, untuk 17% HGM adalah 12,56 MPa. Nilai tegangan tarik tertinggi pada spesimen komposit partikel adalah dengan prosentase HGM 13%. Sedangkan tegangan tarik terendah adalah spesimen komposit partikel dengan prosentase HGM 17%.

Lalu untuk komposit dengan perlakuan post-curing 90°C selama 5 jam pada tabel 4.6 dan gambar 4.2 didapatkan tegangan tarik dari setiap variasi prosentase HGM untuk 10% HGM adalah 12,43 MPa, untuk 11% HGM adalah 22,84 MPa, untuk 12% HGM adalah 24,49 MPa, untuk 13% HGM adalah 27,52 MPa, untuk 14% HGM adalah 31,53 MPa, untuk 15% HGM adalah 24,48 MPa, untuk 16% HGM adalah 23,92 MPa, untuk 17% HGM adalah 22,38 MPa. Nilai tegangan tarik tertinggi pada spesimen komposit partikel adalah dengan prosentase HGM 14%. Sedangkan tegangan tarik terendah adalah dengan prosentase HGM 17%.

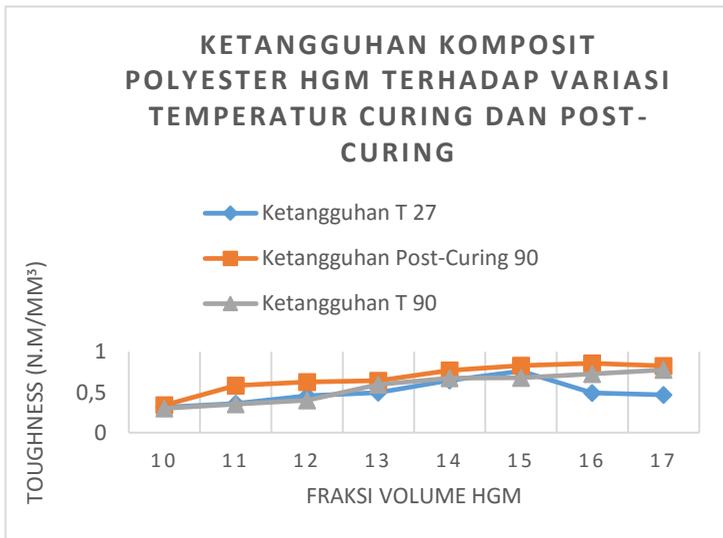
Sebagai pembandingan untuk melihat apakah penambahan HGM tersebut dapat menaikkan tegangan tarik komposit, dilakukan juga pengujian spesimen uji komposit polyester murni dengan variasi *curing* temperatur kamar selama 24 jam, *post-curing* temperatur 90° C selama 5 jam, dan *curing* temperatur 90° C selama 5 jam. Didapatkan hasil spesimen uji dengan *curing* temperatur kamar sebesar 49,21 MPa, spesimen uji *post-curing* temperatur 90° C sebesar 45,29 MPa, dan spesimen uji *curing* temperatur 90° C sebesar 37,90 MPa.

Dari gambar 4.2 terlihat bahwa komposit yang mengalami proses curing temperatur kamar trend grafik tensile nya akan selalu lebih tinggi dibandingkan dengan komposit yang mengalami post-curing temperatur tinggi maupun yang mengalrai curing temperatur tinggi sehingga hal ini menunjukkan adanya pengaruh temperatur



curing terhadap tegangan tarik komposit partikel. Pengaruh tersebut dikarenakan resin polyester yang memiliki temperatur glass-transition (T_g) yang rendah, sehingga jika diberi perlakuan panas akan mengalami penyusutan dan berkurangnya viskositas dari resin polyester sehingga mempengaruhi kemampuan resin polyester untuk membentuk ikatan crosslink dengan HGM. Jika dibandingkan dengan komposit yang diberi perlakuan curing pada temperatur kamar, kekuatannya lebih tinggi dibandingkan dengan yang diberi perlakuan panas baik itu yang diberi perlakuan post-curing maupun curing temperatur tinggi. Menurut Christos C. Chamis (1971) [14] dari NASA, ikatan interface yang kuat akan menghasilkan komposit dengan kekakuan dan kekuatan yang lebih tinggi.

4.2.3 Pembahasan Variasi Prosentase Fraksi Volume Hollow Glass Microspheres terhadap Ketangguhan



Gambar 4.3 Grafik ketangguhan terhadap variasi fraksi volume HGM.



Dari gambar 4.3 dapat dilihat nilai ketangguhan dari spesimen *post-curing* 90° C selama 5 jam lebih tinggi jika dibandingkan dengan spesimen variasi *curing* temperatur kamar selama 24 jam dan variasi *curing* temperatur 90° C selama 5 jam. Namun jika dilihat dari gambar 4.3 ketangguhan terendah ditunjukkan pada spesimen *curing* temperatur kamar.

Dari gambar 4.3 komposit *curing* temperatur kamar selama 24 jam mengalami peningkatan nilai ketangguhan dari variasi fraksi volume HGM 10% hingga 15%, kemudian mengalami penurunan nilai ketangguhan dari fraksi volume 15% hingga 17%. Pada komposit spesimen *curing* temperatur kamar, nilai ketangguhan tertinggi yaitu 0,761 J/mm³ pada variasi fraksi volume HGM 15% dan nilai ketangguhan terendah adalah 0,314 J/mm³ dengan fraksi volume 10%.

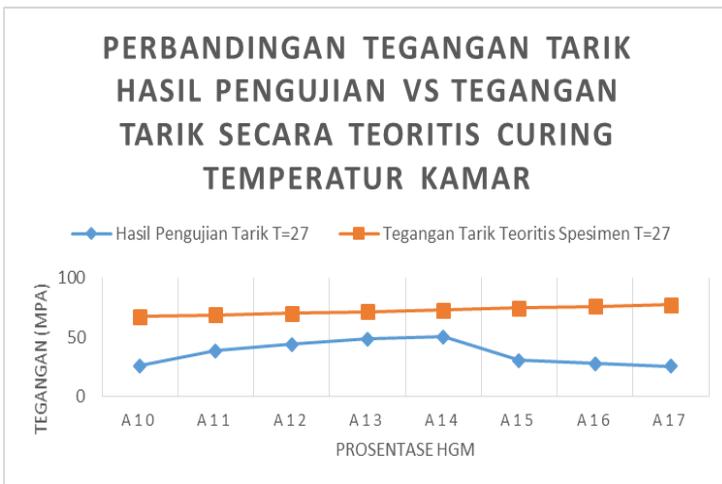
Dari gambar 4.3 komposit *post-curing* temperatur 90° C selama 5 jam mengalami peningkatan dimulai dari variasi fraksi volume 10% hingga 11% kemudian naik agak landai dimulai dari 11% hingga 13% dan mengalami peningkatan lagi hingga 16% kemudian mengalami penurunan pada variasi fraksi volume 17%. Pada komposit spesimen *post-curing* 90° C, nilai ketangguhan tertinggi yaitu 0,857 J/mm³ pada komposit dengan fraksi volume HGM 16%. Sedangkan nilai ketangguhan terendah adalah 0,339 J/mm³ dengan fraksi volume HGM 10%.

Dari gambar 4.3 komposit *curing* temperatur 90° C selama 5 jam mengalami peningkatan nilai ketangguhan pada fraksi volume HGM 10% hingga 17% tanpa terjadi penurunan. Pada komposit spesimen *curing* temperatur kamar, nilai ketangguhan tertinggi yaitu 0,776 J/mm³ pada komposit dengan fraksi volume HGM 14%. Sedangkan nilai ketangguhan terendah adalah 0,300 J/mm³ dengan fraksi volume HGM sebesar 10%.

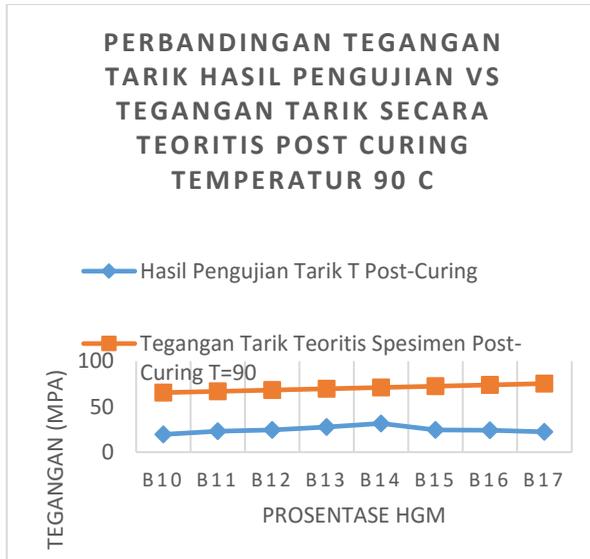


4.2.4 Pembahasan Variasi Prosentase Fraksi Volume Hollow Glass Microspheres terhadap Tegangan *Tensile* Komposit VS Tegangan *Tensile* Secara Teori

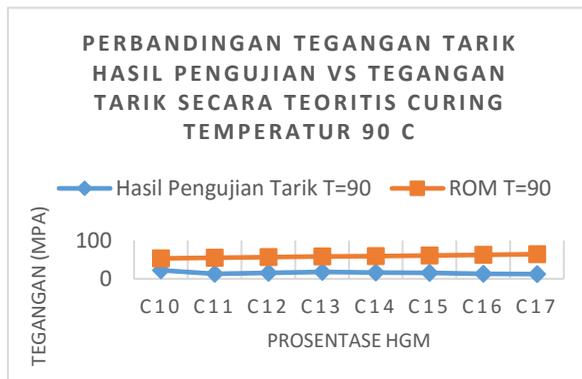
Dengan menggunakan persamaan *Rule of Mixture* (ROM) maka tegangan tarik komposit secara teoritis dapat dihitung., gambar 4.3, 4.4, dan 4.5 menunjukkan grafik perbandingan antara nilai tegangan tarik secara teoritis dan eksperimen sebagai berikut:



Gambar 4.4 Grafik tegangan tarik hasil percobaan vs tegangan tarik secara teori pada *curing* temperatur kamar terhadap variasi fraksi volume HGM



Gambar 4.5 Grafik tegangan tarik hasil percobaan vs tegangan tarik secara teori pada perlakuan *post-curing* 90° C terhadap variasi fraksi volume HGM.



Gambar 4.6 Grafik tegangan tarik hasil percobaan vs tegangan tarik secara teori pada *curing* temperatur 90° C terhadap variasi fraksi volume HGM.



Pada grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.3, 4.4, dan 4.5 terlihat perbandingan antara tegangan tarik secara teori, baik itu *curing* temperatur kamar, *post-curing* 90° C, maupun *curing* temperatur 90° C. Pada hasil perhitungan teoritis, kekuatan tarik komposit partikel akan selalu memiliki tegangan tarik yang mengalami peningkatan pada tiap variasi fraksi volume HGM. Namun memiliki perbedaan nilai antara tegangan tarik teoritis variasi *curing* temperatur kamar, *post-curing* 90° C, dan *curing* temperatur 90° C yang secara perhitungan ROM spesimen yang memiliki tegangan tarik paling tinggi adalah spesimen *curing* temperatur kamar. Hal ini dikarenakan, dari hasil pengujian spesimen uji unsaturated polyester murni didapatkan hasil bahwa spesimen uji dengan variasi temperatur kamar memiliki tegangan tarik paling tinggi.

Dari grafik pada gambar 4.3, 4.4, dan 4.5 juga dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan antara nilai tegangan tarik secara teoritis dan hasil percobaan. Hal ini disebabkan pada perhitungan secara teoritis, perbandingan fraksi volume antara matriks dan penguat akan selalu konstan sehingga dianggap kondisi ideal terjadi, yaitu kondisi dimana ikatan antara matriks dan penguat mengalami ikatan yang sangat kuat atau dapat dibilang dalam kondisi yang ideal. Penyimpangan yang terjadi 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 pada saat proses pencetakan, dan tidak kuatnya ikatan antara matriks dan penguat.

Terlihat juga pada trend grafik tegangan tarik terhadap variasi fraksi volume HGM contohnya pada variasi *curing* temperatur 90° C, terjadi penurunan tegangan tarik pada fraksi volume 11%, kemudian mulai meningkat pada fraksi volume 12% hingga fraksi volume 13% dan mengalami penurunan kekuatan tarik pada fraksi volume 14% hingga 17%. Hal ini menunjukkan



adanya penyimpangan perbandingan fraksi volume yang terjadi pada spesimen.

Tabel 4.7 Perbandingan Fraksi Volume Spesimen Temperatur *Curing* Kamar.

Kode	V resin	V HGM
A10	27,49	3,05
A11	34,98	4,32
A12	26,29	3,58
A13	24,43	3,65
A14	30,35	4,94
A15	30,69	5,41
A16	34,50	6,57
A17	30,07	6,16

Tabel 4.8 Perbandingan Fraksi Volume Spesimen *Post-Curing*.

Kode	V resin	V HGM
B10	30,735	3,415
B11	33,2237	4,1063
B12	34,012	4,638
B13	32,973	4,927
B14	38,958	6,342



B15	28,509	5,031
B16	39,5472	7,5328
B17	34,2624	7,0176

Tabel 4.9 Perbandingan Fraksi Volume Spesimen *Curing* Temperatur 90° C.

Kode	V resin	V HGM
C10	35,1	3,9
C11	32,4405	4,0095
C12	40,656	5,544
C13	29,9106	4,4694
C14	40,334	6,566
C15	33,048	5,832
C16	31,2312	5,9488
C17	30,3282	6,2118

Dengan metode penghitungan volume matriks dan volume HGM menggunakan persamaan pada bab 3 maka volume dari matriks dan HGM spesimen dapat diketahui seperti yang tercantum pada tabel 4.7 – 4.9. Dari tabel tersebut terlihat terjadi perbedaan volume dari matriks dan HGM spesimen yang seharusnya selalu konstan sesuai dengan volume dari matriks dan HGM secara teoritis. Perbedaan volume matriks ini akan menyebabkan perbedaan nilai tegangan tariknya, karena semakin kecil 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 matriks dan penguat, hal ini dapat menyebabkan turunnya nilai tegangan tarik dari spesimen [15].

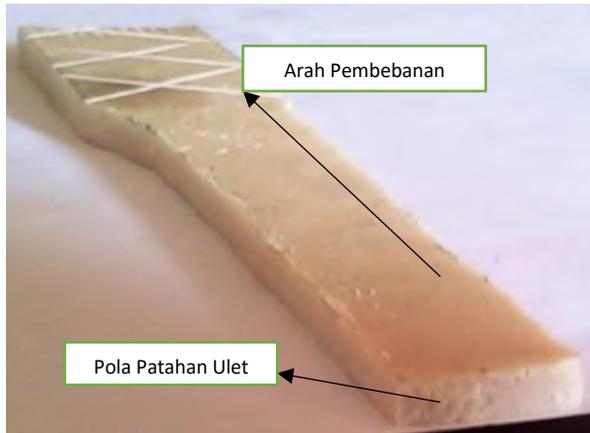
Faktor lain yang mempengaruhi terjadinya penurunan dan kenaikan tegangan tarik yaitu adanya *void* pada komposit. Seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab 4.2.1 dimana terdapat indikasi adanya *void* pada spesimen jika dilihat dari densitasnya. *Void* ini dapat terjadi akibat terperangkapnya udara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

Jika dibandingkan dengan percobaan yang dilakukan oleh Bustan Zhafry [19], nilai tegangan maksimal dari komposit partikel dengan matriks epoxy memiliki nilai tegangan sebesar 20,79 MPa pada curing temperatur 90° C pada fraksi volume HGM 16% sedangkan pada percobaan ini komposit partikel menggunakan matriks polyester memiliki tegangan maksimal yang lebih tinggi yaitu sebesar 50,36 MPa pada curing temperatur kamar dengan fraksi volume HGM 14%. Hal ini membuktikan bahwa ketangguhan komposit partikel dengan matriks polyester lebih tinggi daripada komposit partikel dengan menggunakan matriks epoxy.



4.3 Hasil Pengamatan Makro Patahan Spesimen Uji Tarik

4.3.1 Spesimen dengan Variasi 14% HGM pada *Curing* Temperatur Kamar



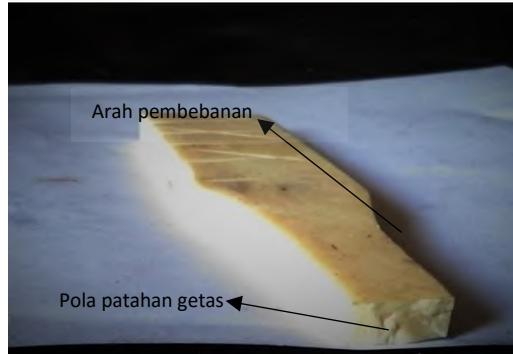
Gambar 4.7 Gambar permukaan pola patahan uji tarik polyester dengan penambahan 14% HGM pada temperatur *curing* kamar.



Gambar 4.8 Gambar permukaan pola patahan uji tarik polyester dengan penambahan 14% HGM pada temperatur *curing* kamar.



4.3.2 Spesimen dengan Variasi 14% HGM pada *Curing* Temperatur 90° C



Gambar 4.9 Gambar permukaan pola patahan uji tarik polyester dengan penambahan 14% HGM pada temperatur *curing* 90° C.



Gambar 4.10 Gambar permukaan pola patahan uji tarik polyester dengan penambahan 14% HGM pada temperatur *curing* 90° C.

Dari gambar 4.3 – 4.6 diatas, dapat dilihat pada fraksi volume HGM 14% temperatur *curing* kamar tampak yang terjadi pola patahan ulet, sedangkan pada fraksi volume 14% temperatur *curing* 90° C tampak yang terjadi adalah pola patahan getas. Pada

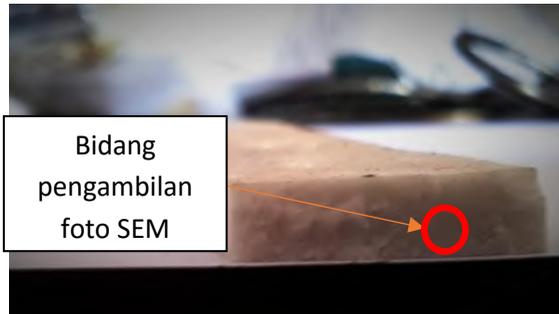


pola patahan getas tampak lebih terang dan lebih halus, sedangkan pada pola patahan ulet tampak lebih gelap dan tidak rata.

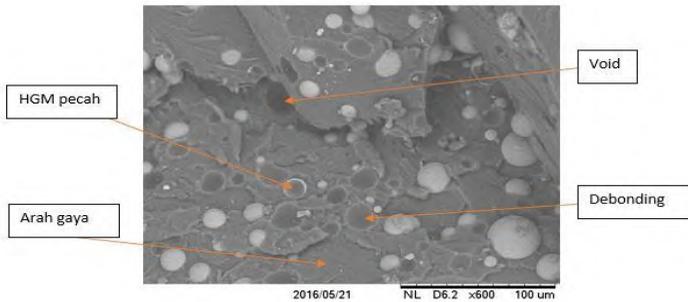
4.4 Pengamatan Hasil SEM pada Patahan Pengujian Tarik

Untuk menjelaskan fenomena turunnya nilai tegangan tarik pada penambahan fraksi volume HGM diatas 14% seperti pada gambar grafik 4.2 dan juga untuk mengetahui dampak dari *post-curing* dan *curing* temperatur 90° C, maka dilakukan pengamatan melalui SEM pada variasi fraksi volume 14% HGM temperatur kamar dan temperatur 90° C dengan pembahasan sebagai berikut:

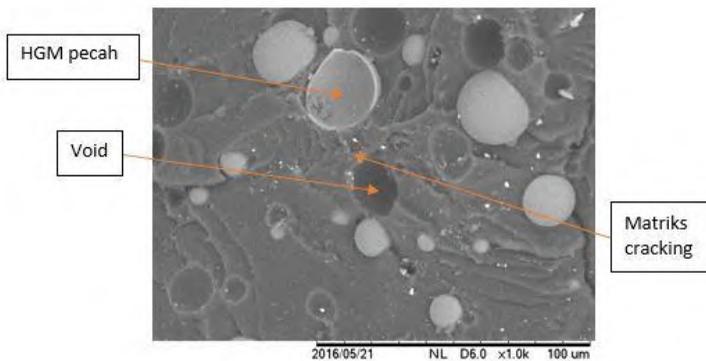
4.4.1 Pengamatan Hasil SEM pada Variasi Fraksi Volume HGM 14% *Curing* Temperatur Kamar



Gambar 4.11 Gambar arah pengambilan foto SEM pada spesimen dengan variasi fraksi volume HGM 14% *curing* temperatur kamar.



Gambar 4.12 Hasil SEM komposit partikel dengan variasi HGM 14% *curing* temperatur kamar.



Gambar 4.13 Matriks *cracking* akibat HGM yang terlepas.

Pada gambar 4.8 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 meningkatkan kekuatan tarik dari komposit tersebut.

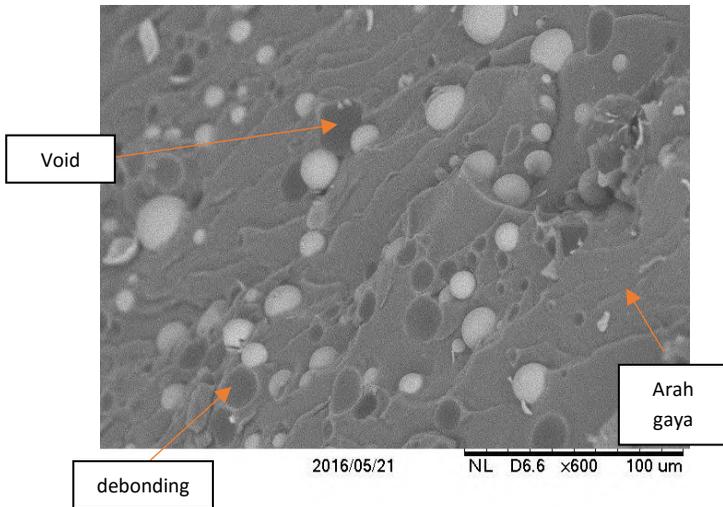


Akan tetapi jika dilihat selain adanya HGM yang pecah, terdapat juga HGM yang terlepas (tidak pecah). Hal ini terjadi disebabkan oleh ketika komposit menerima beban tarik, banyak HGM yang bergeser dari matriks karena ikatan yang tidak kuat. Akibat dari terlepasnya beberapa HGM dari matriks mengakibatkan terjadinya kekosongan yang berbentuk lingkaran pada matriks sebagai bekas melekatnya HGM. Kekosongan ini dapat menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada daerah tersebut sehingga akan menyebabkan retak pada matriks seperti pada gambar 4.9. terlepasnya HGM dari matriks terjadi karena ikatan yang tidak kuat antara HGM dan *polyester* sehingga HGM terlepas dari matriksnya. Pada gambar 4.8 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 pembuatan komposit ini menggunakan metode *hand lay up*.

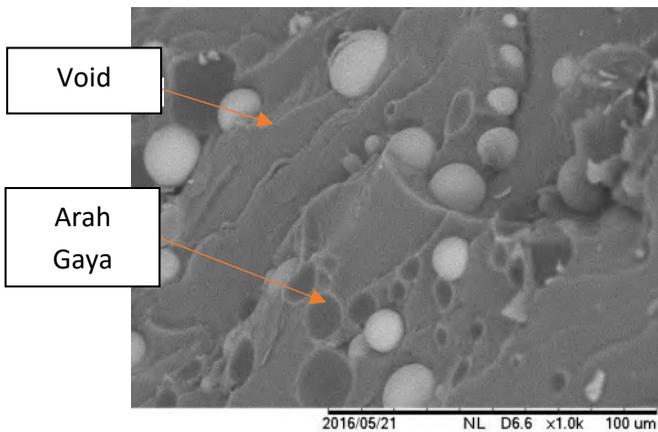
4.4.2 Pengamatan Hasil SEM pada Variasi Fraksi Volume HGM 14% *Curing* Temperatur 90° C



Gambar 4.14 Gambar arah pengambilan foto SEM pada spesimen dengan variasi fraksi volume HGM 14% *curing* temperatur 90° C.



Gambar 4.15 Hasil SEM komposit partikel dengan variasi HGM 14% *curing* temperatur 90° C.



Gambar 4.16 Matriks *cracking* akibat *void*.



Pada gambar 4.11 hasil SEM dapat dilihat terjadi debonding antara HGM dengan *polyester*. Hal ini mengakibatkan terjadinya banyak kekosongan yang berbentuk lingkaran pada matriks sebagai bekas melekatnya HGM. *Debonding* ini terjadi karena ikatan yang tidak kuat antara HGM dan *polyester* sehingga HGM terlepas dari matriksnya. Jika ikatan HGM dengan matriksnya tidak kuat, ketika diberikan pembebanan HGM akan mengalami pergeseran. Sehingga HGM tidak pecah dan kekuatan komposit banyak dipengaruhi oleh kekuatan dari matriksnya.

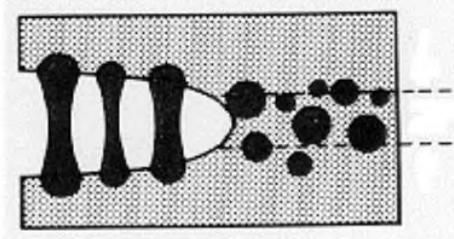
Terlihat pada gambar 4.12 adanya banyak HGM yang terlepas pada komposit (*debonding*) dengan variasi fraksi volume 14% yang mengalami curing temperatur 90° C. *Debonding* ini akan sangat berdampak pada tegangan tarik yang dihasilkan, karena dengan adanya *debonding* maka tegangan yang seharusnya diterima dari matriks menuju ke HGM malah terputus dengan bergesernya HGM dan menghasilkan kekosongan yang berbentuk lingkaran pada matriks. Kekosongan ini dapat menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada daerah tersebut sehingga akan menyebabkan retak pada matriks. Selain *debonding* juga terjadi *void* yang berdampak pada tegangan tarik yang dihasilkan, karena dengan adanya *void* maka akan terjadi konsentrasi tegangan pada daerah tersebut yang akan menjalar ke daerah sekitarnya sehingga menyebabkan keretakan khususnya pada matriks seperti pada gambar 4.12. *Debonding* dan *void* juga dapat terjadi akibat proses pengadukan saat pembuatan komposit, karena proses pengadukan timbul gelembung – gelembung udara yang nantinya ketika spesimen mengeras menimbulkan lubang – lubang kecil didalam spesimen yang tidak kasat mata.

4.4.3 Perbandingan Hasil SEM

Dari hasil uji tarik terjadi penurunan tegangan tarik antara hasil pengujian tarik komposit pada variasi temperatur kamar dan



variasi temperatur 90° C. Penurunan kekuatan pada variasi temperatur 90° C ini dapat dijelaskan pada gambar hasil SEM 4.11 – 4.12, jika dibandingkan maka terlihat ikatan antara *polyester* - HGM pada variasi temperatur kamar lebih kuat dibandingkan ikatan *polyester* – HGM pada variasi temperatur 90° C dimana pada foto hasil uji SEM spesimen uji curing temperatur kamar terdapat beberapa gambar HGM yang pecah sedangkan pada spesimen uji temperatur curing 90° C tidak terlihat adanya HGM yang pecah melainkan banyak adanya HGM yang terlepas dari matriks *polyester*. Hal ini menandakan ketika komposit spesimen uji curing temperatur kamar menerima beban tarik, HGM akan menerima energi yang diteruskan dari matriksnya sehingga HGM menahan laju retakan dan mengalami deformasi pada bagian dinding hingga tidak mampu lagi menahan retakan dan akhirnya rusak. Berbeda dengan variasi temperatur 90° C yaitu pada gambar 4.11 dimana tidak ada HGM yang pecah dan hal ini menandakan ketika komposit menerima beban tarik, banyak HGM yang bergeser dari matriks dan meninggalkan lubang yang nantinya mengalami konsentrasi tegangan dan menurunkan tegangan tarik dari komposit tersebut.

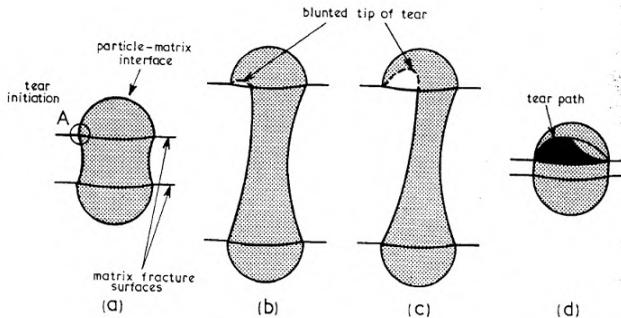


Gambar 4.17 Skema peningkatan kekuatan oleh peregangan *microsphere* [16].

Lalu jika dibandingkan dari debonding yang terjadi antara kedua variasi temperatur tersebut, terlihat bahwa variasi temperatur 90° C akan mengalami banyak debonding. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil foto SEM jika dilihat terdapat banyak kekosongan yang



berbentuk lingkaran pada matriks sebagai bekas tempat melekatnya HGM. Sama halnya mengapa HGM tidak pecah, *debonding* disebabkan karena tidak terjadinya ikatan yang kuat antara HGM dan *polyester*.



Gambar 4.18 Mekanisme butir *microsphere* 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 [16].

Secara teori pola patahan HGM yang terjadi jika diberi beban kemudian pecah adalah seperti pada gambar 4.18 dimana HGM akan membantu memperlambat laju retakan yang terjadi sehingga kekuatan tarik pada komposit meningkat, akan tetapi pada variasi temperatur 90°C HGM – *polyester* ikatan *interface*-nya tidak kuat maka retakan yang menjalar tidak berhasil ditahan HGM karena HGM bergeser atau lepas dari matriksnya.

Pada gambar hasil SEM juga dapat dilihat bahwa pada variasi temperatur 90°C banyak lebih banyak terjadi void jika dibandingkan dengan variasi temperatur kamar. Hal ini akan sangat mempengaruhi kekuatan tarik yang didapat, karena void dapat menyebabkan beberapa tipe kegagalan pada komposit. Telah dilakukan penelitian yang menyimpulkan bahwa sifat mekanik seperti ketangguhan akan menurun seiring bertambahnya



kandungan void pada komposit [17]. Bahkan dengan kandungan void antara 0 – 4% akan menyebabkan penurunan sifat mekanik seperti pada tabel 4.7. Dari perbandingan tersebut jelas komposit dengan variasi temperatur kamar akan memiliki kekuatan lebih tinggi jika dibandingkan dengan komposit yang diberikan variasi temperatur 90° C

Tabel 4.10 Penurunan Sifat Mekanik Komposit pada Kandungan Void 0 – 4% [18].

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



BAB V

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. Penambahan fraksi volume HGM pada polyester berpengaruh terhadap peningkatan tegangan tarik. Tegangan tarik maksimum komposit sebesar 50,36 MPa didapatkan dari penambahan fraksi volume HGM sebanyak 14% pada *curing* temperatur kamar.
2. Temperatur *curing* tinggi dan perlakuan *post-curing* pada komposit dengan matriks polyester dapat menurunkan jumlah ikatan *crosslink* serta ikatan *interface* antara polyester dengan HGM sehingga kekuatan tariknya menurun. Jika dibandingkan antara spesimen yang diberi tiga perlakuan temperatur yaitu *curing* temperatur kamar selama 24 jam, *curing* temperatur kamar selama 24 jam kemudian diberi perlakuan *post-curing* 90°C selama 5 jam, dan *curing* temperatur 90° C selama 5 jam, tegangan tarik tertinggi sebesar 50,36 MPa pada *curing* temperatur kamar selama 24 jam, 31,53 MPa pada *curing* temperatur kamar selama 24 jam kemudian diberi perlakuan *post-curing* pada temperatur 90° C selama 5 jam, dan 19,46 MPa pada *curing* temperatur 90° C selama 5 jam.
3. Terdapat perbedaan hasil nilai kekuatan jika dibandingkan secara teori, hal ini disebabkan karena tidak konstannya perbandingan fraksi volume antara HGM dengan fraksi volume matriksnya (polyester) sehingga dapat memperlemah ikatan antara matriks dan penguatnya, serta terdapat *void* pada komposit yang dapat mengurangi kekuatan tariknya.



5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Proses pembuatan material komposit partikel sebaiknya menggunakan metode selain *hand-layup* agar distribusi matriks dapat lebih merata dan mengurangi terjadinya *void*.
2. Perlu adanya metode atau alat khusus agar proses pencampuran *hollow glass microspheres* dapat tercampur merata.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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
- [2] http://www.efunda.com/formulae/solid_mechanics/composites/comp_intro.cfm
- [3] <http://www.memrise.com/user/Ustas/>
- [4] Alexander Trofimov, Dr. Lev. Pleshkov, Haslen Back., *Hollow Glass Microsphere for High Strength Composite Cores*, Alchemie Technology 50 (2007) 44-46,48-50.
- [5] SP System. Composite Engineering Material
- [6] Nie Shihua, 2004, *“A Micromechanical Model for Effective Elastic Properties of Particulate Composite with Imperfect Interfacial Bond”*. University at Buffalo, USA
- [7] A. Brent Strong, *“Controlling Polyester Curing – A Simplified View”*, Brigham Young University, undated.
- [8] ASM International, *“Characterization and Failure Analysis of Plastics”*, page 117, December 2003
- [9] The Advantages of Epoxy Resin versus Polyester in Marine Composite Structure, SP-systems, undated.
- [10] Fachmi Yuni Arista. 2013. *“Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Fraksi Volume Epoxy-Hollow Glass Microspheres dan Temperatur Curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit”*. Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS. Indonesia
- [11] Aruniit, Aare. Kers, Jaan. Krumme, Andres. Poltimae, Triinu. Tall, Kaspar, *Preliminary Study of the Influence of Post Curing Parameters to the Particle Reinforced Composite’s Mechanical and Physical Properties*, Tallinn University of Technology, Estonia, 2011
- [12] Annual Book of ASTM Standards, D3039M-105, *“Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix*

- Composite Material*”, American Society for Testing and Materials, 1984
- [13] Justus, “2001 Dalam Nuralita”, 2010
- [14] Christos C. Chamis, *Mechanics of Load Transfer at The Fiber / Matrix Interface*, Lewis Research Center, National Aeronautics and Space Administration
- [15] N. Gupta, R. Nagorny, Tensile properties of glass microsphere-epoxy resin syntactic foams, *J. Appl. Polym. Sci.* 102(2)(2006)1254e1261.
- [16] 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
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Bustan Zhafry. 2014. “*Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur, dan Waktu Post-curing Terhadap Karakteristik Tarik Komposit Epoxy – Partikel Hollow Glass Microspheres*”. Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS. Indonesia
- [20] Fadli Adiputra. 2014. “*Pengaruh Variasi Penambahan Jumlah Layer Glass Fiber dengan Perbandingan Fraksi Volume yang Tetap pada Komposit Epoxy – Hollow Glass Microspheres terhadap Karakteristik Tensile*”. Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS. Indonesia
- [21] Braun, D., Cherdron, H., Rehahn, M., Ritter, H., Voit, B. 2013. “*Polymer Synthesis: Theory and Practice*”, Polytechnic University, Brooklyn, NY, USA.

BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap **Gede Alvin Pramanda Wijaya** lahir di sebuah kota di Bali yang bernama **Denpasar**, pada tanggal **20 Maret 1993**. Dia merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menghabiskan masa kecilnya di dalam keluarga yang sederhana dan bahagia. Penulis menjalani pendidikan dimulai dari **TK Kuncup Bunga Denpasar**, **SDK Marsudirini Negara**, **SMP Negeri 1 Negara**, dan masa SMA dijalani di **SMA Negeri 1 Negara**. Setelah lulus dari SMA, penulis memutuskan untuk melanjutkan studi di salah satu perguruan tinggi terbaik di Indonesia yaitu **Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**.

Selama masa studi di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, penulis bergabung dengan salah satu organisasi kemahasiswaan yang bernama Mesin ITS Autosport. Penulis memiliki hobi jalan-jalan dan menikmati kuliner. Cita- cita terbesar penulis adalah membahagiakan kedua orang tua dan membangun bangsa Indonesia menjadi negara yang lebih baik dan mandiri menuju globalisasi dunia.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)