



TUGAS AKHIR – TM 091486

**PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME,
TEMPERATUR *CURING* DAN *POST-CURING*
TERHADAP KARAKTERISTIK TEKAN KOMPOSIT
*EPOXY - HOLLOW GLASS MICROSPHERES IM30K***

**WIDYANSYAH RITONGA
NRP. 2109 100 027**

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

PROGRAM SARJANA
LABORATORIUM METALURGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2014



FINAL PROJECT – TM 091486

**EFFECT OF VOLUME FRACTION, TEMPERATURE
CURING AND POST-CURING ON COMPRESSIVE
PROPERTIES OF *EPOXY - HOLLOW GLASS
MICROSPHERES* IM30K COMPOSITES**

**WIDYANSYAH RITONGA
NRP. 2109 100 027**

**Advisor lecturer
Wahyu Wijanarko, ST., MSc.
NIP. 198202092012121001**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2014**

**PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME,
TEMPERATUR CURING DAN POST-CURING
TERHADAP KARAKTERISTIK TEKAN KOMPOSIT
EPOXY - HOLLOW GLASS MICROSPHERES IM30K**

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 Nopember

Oleh:

Widyansyah Ritonga
Nrp. 2109 100 027

Disetujui oleh tim penguji tugas akhir:

1. Wahyu Wijanarko, ST., MSc. (NIP. 198202092012421001) Pembimbing
2. Dr. Eng. Sofikno, ST., MT (NIP. 197407032006031001) (Penguji I)
3. Indra Sidharta, ST., MSc. (NIP. 198006192006041004) (Penguji II)
4. Putu Suwarta, ST., MSc. (NIP. 198203032009121007) (Penguji III)

SURABAYA
JULI, 2014

**EFFECT OF VOLUME FRACTION, TEMPERATURE
CURING AND POST-CURING ON COMPRESSIVE
PROPERTIES OF *EPOXY - HOLLOW GLASS
MICROSPHERES* IM30K COMPOSITES**

Name : Widyansyah Ritonga
Student ID : 2109 100 027
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Advisor Lecturer : Wahyu Wijanarko, ST., MSc.

ABSTRACT

In this era, the using of composite material has highly developed. The composition of composite has also very varied, however the research about Epoxy-Hollow Glass Microspheres (HGM) composite with varied curing and post-curing temperature for compressive characteristic is very limited. The advantages of HGM are providing light weight, low thermal conductivity, and high compressive strength. Based on those advantages, the application of this research can be implemented for vehicle's bumper and body material, so that total weight of vehicle is lighter and the fuel of vehicle can be more efficient.

The research was conducted by mixing Epoxy resin and HGM. Compression test specimens were produced in accordance with ASTM D695 dimension with varied volume fraction of HGM of 15% until 20%. Specimens were given three different treatment. Specimen I had been on curing process at 27°C for 24 hours. Specimen had been on curing process at $\pm 27^\circ\text{C}$ for 24 hours and then post-curing process at 90°C for 5 hours. Specimen III had been on curing process at 90°C for 24 hours. At 90°C of 24 hours curing process, composite would be still in oven until oven temperature is same with room temperature. To know the difference in mechanical characteristic, then we should do compressive strength experiment.

The results obtained with the addition of HGM the maximum compressive strength and toughness of the composite obtained in the addition of 16% for composites I 67,19 MPa and $6,02 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^3$, composite II 89,24 Mpa and $9,13 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^3$, and composite III 121,28 Mpa and $21,54 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^3$. On top of the addition of 16% volume fraction of HGM compressive strength tends to decline with the lowest value at 20 % volume fraction of HGM. Curing temperature is effect on the compressive strength , there is a considerable difference between the results of the composite given curing. On composite given curing temperature of 90°C has a compressive strength greater than the composite given curing room temperature. This is because the composite given curing at high temperatures has a crosslink on matrix of composites larger so that the compressive strength of the epoxy - matrix composites with hollow glass microspheres will increase.

Kata kunci : composite, hollow glass microspheres, epoxy, curing, post-curing, compressive strength.

PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME, TEMPERATUR CURING DAN POST-CURING TERHADAP KARAKTERISTIK TEKAN KOMPOSIT EPOXY-HOLLOW GLASS MICROSPHERES IM30K

Nama Mahasiswa : Widyansyah Ritonga
NRP : 2109 100 027
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Wahyu Wijanarko, ST., MSc.

ABSTRAK

Dewasa ini penggunaan material komposit sudah sangat berkembang. Komposisi dari komposit juga sudah sangat beragam, namun penelitian tentang komposit Epoxy – Hollow Glass Microspheres (HGM) dengan variasi temperatur curing dan post-curing untuk karakteristik tekan masih sangat terbatas. Keunggulan yang dimiliki HGM antara lain memberikan bobot yang ringan, konduktivitas termal rendah, dan ketahanan terhadap tegangan kompresi yang tinggi. Dari keunggulan komposit tersebut, tujuan aplikasi pada penelitian ini dapat digunakan pada bumper atau body kendaraan sehingga memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi, berat total kendaraan lebih ringan dan efisiensi bahan bakarnya meningkat.

Penelitian dilakukan dengan mencampurkan epoxy resin dan HGM. Spesimen uji tekan diproduksi sesuai dimensi ASTM D-695 dengan variasi fraksi volume HGM 15% hingga 20%. Spesimen menerima tiga perlakuan yang berbeda. Spesimen I di-curing pada temperatur kamar ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) ditahan selama 24 jam. Spesimen II di-curing pada temperatur kamar ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) ditahan selama 24 jam lalu post-curing pada temperatur 90°C selama 5 jam. Spesimen III di-curing pada temperatur 90°C ditahan selama 24 jam. Untuk temperatur curing 90°C setelah 24 jam komposit akan tetap dibiarkan dalam oven hingga temperatur

oven sama dengan temperatur ruang. Untuk mempelajari perbedaan sifat mekanik yang terjadi, dilakukan pengujian tekan.

Hasil yang didapatkan adalah kekuatan tekan dan ketangguhan komposit maksimum pada fraksi volume HGM 16% untuk spesimen I sebesar 67,19 MPa dan $6,02 \times 10^{-3}$ J/mm³, Spesimen II sebesar 89,24 MPa dan $9,13 \times 10^{-3}$ J/mm³, dan spesimen III sebesar 121,28 MPa dan $21,54 \times 10^{-3}$ J/mm³. Diatas fraksi volume HGM tersebut kekuatan tekannya cenderung turun dengan nilai terendah pada fraksi volume HGM 20%. Terdapat perbedaan yang cukup besar dari ketiga perlakuan dengan fraksi volume HGM yang sama. Komposit yang di-curing temperatur 90°C selama 24 jam memiliki kekuatan tekan yang paling tinggi. Hal ini terjadi karena komposit yang di-curing pada temperatur tinggi memiliki ikatan crosslink lebih banyak sehingga ikatan epoxy dan HGM lebih kuat dan nilai kekuatan tekan pada komposit akan meningkat.

Kata kunci : komposit, hollow glass microspheres, epoxy, curing, post-curing, uji tekan.

KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Warohmatulloh Wabarokatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. karena atas segala limpahan rahmat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul: **PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME, TEMPERATUR CURING DAN POST-CURING, TERHADAP KARAKTERISTIK TEKAN KOMPOSIT EPOXY- HOLLOW GLASS MICROSPHERES IM30K.**

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

1. Almarhum ayahanda tercinta, Drs. Zulfan Ritonga, MPd., yang telah mengajarkan pentingnya kerja keras, perjuangan, dan keikhlasan agar mencapai segala tujuan hidup yaitu kebahagiaan.
2. Ibu tercinta, Dra. Retno Saptia Agustin, untuk segala doa, restu, kasih sayang, pengorbanan, dan motivasi yang selalu dilimpahkan kepada penulis.
3. Adik saya yang tersayang, Wiwin Amalia Ritonga dan Ayu Tanti Khairunnisa terima kasih sudah menjadi penambah motivasi.
4. Wahyu Wijanarko, ST., MSc., 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.
5. Dr. Eng. Sutikno, ST. MT., Putu Suwarta, ST., MSc., Indra Sidharta, ST., MSc., dan Dr. Ir. Soeharto, DEA selaku dosen

- penguji dan pembahas tugas akhir. Terima kasih atas nasehat, ilmu, kritik dan saran yang telah diberikan.
6. Baiq Qurrata Aini, SKM. sebagai penambah motivasi dan pemberi semangat, bantuan, doa, perhatian, kesabaran, dan cinta kepada penulis hingga terselesaikannya Tugas Akhir.
 7. Keluarga Bapak Lalu Badaruddin dan Ibu Baiq Buati Winarni, adik-adik tercinta Baiq Annisa Pahleviana dan Lalu Zulham terimakasih atas doa dan semangatnya.
 8. Sahabat terbaik, Ahmed Al-Syaid dan Zulkarnaen Agung Prawira yang tak pernah bosan menasehati dan mendoakan segala yang terbaik. Makasi, bro.
 9. Teman-teman di Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS terimakasih atas bantuan, dukungan, dan saran-saran yang telah diberikan.
 10. Seluruh teman-teman Angkatan 2009 Teknik Mesin ITS (M52) yang takkan terlupakan terima kasih atas bantuan, doa, dan kebersamaannya selama kuliah di kampus Teknik Mesin tercinta.
 11. Teman-teman Mesin Music Club yang telah menjadi teman seperjuangan dalam suka dan duka selama di kampus Teknik Mesin, terimakasih atas segala bantuan dan doa yang telah diberikan.
 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. Terimakasih kepada seluruh Sarekat Merah Rakyat Mesin (SMRM).
 15. 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.

Wassalaamu'alaikum Warohmatulloh Wabarokatuh

Surabaya, Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

Judul	
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	iv
Kata Pengantar	viii
Daftar Isi	xi
Daftar Gambar	xiv
Daftar Tabel	xvii

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Komposit	8
2.2.1 Penguat	9
2.2.2 Matriks	11
2.3 Komposit Partikel (<i>Particulate Composites</i>)	12
2.4 <i>Polymer Matrix Composite</i> (PMC)	12
2.5 <i>Hollow Glass Microsphere</i> (HGM)	14
2.6 <i>Epoxy Resin</i> dan Pengeras	17
2.7 <i>Interface Epoxy - Hollow Glass Microspheres</i>	19
2.8 Perhitungan Komposit	19
2.8.1 Karakteristik Umum	19
2.8.2 Karakteristik Campuran	20
2.9 <i>Rules of Mixture</i>	21
2.10 Proses <i>Curing</i>	22
2.11 <i>Cristalinity Polimer</i>	24
2.12 <i>Post-Curing</i>	25
2.13 Pengujian Tekan	27

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2 Material	32
3.3 Peralatan yang Digunakan	33
3.4 Variabel Penelitian	35
3.5 Langkah-Langkah Percobaan	38
3.5.1 Pembentukan Komposit	38
3.5.2 Pengamatan Bentuk Fisik Komposit.....	39
3.5.3 Pembentukan spesimen	39
3.6 Prosedur Perhitungan Massa Jenis Komposit.....	40
3.7 Pelaksanaan Uji Tekan	40
3.7.1 Spesimen Uji Tekan	40
3.7.2 Prosedur Uji Tekan	41

BAB 4 DATA HASIL PENELITIAN

4.1 Data Hasil Pengujian Tekan Komposit	43
4.1.1 Pengaruh Variasi Fraksi Volume Penambahan HGM Terhadap <i>Density</i> Komposit.....	46
4.1.2 Pengaruh Variasi Fraksi Volume Penambahan HGM Terhadap Kekuatan Tekan Komposit.....	47
4.1.3 Pengaruh Variasi Fraksi Volume Penambahan HGM Terhadap Ketangguhan Komposit.....	49
4.2 Pengaruh Perbedaan Temperatur <i>Curing</i> Terhadap Komposit <i>Epoxy-Hollow Glass Microspheres</i>	51
4.3 Pengamatan Pola Patahan Hasil Pengujian Tekan.....	53

BAB 5 PEMBAHASAN

5.1 Pembahasan Pengaruh Variasi Fraksi Volume HGM Terhadap Kekuatan Tekan Komposit.....	55
5.2 Pengamatan Hasil SEM Pada Patahan Pengujian Tekan.....	58

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan.....	67
---------------------	----

6.2	Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	69
BIODATA PENULIS	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hasil pengujian tekan dengan <i>hollow glass microspheres</i> type K46	6
Gambar 2.2	Gambar grafik hasil uji DSC pada <i>epoxy</i> murni.....	7
Gambar 2.3	Gambar grafik hasil uji DSC pada serbuk <i>hollow glass microsphere</i>	8
Gambar 2.4	Komposit berpenguat serat.....	9
Gambar 2.5	Komposit berpenguat lamina	10
Gambar 2.6	Komposit berpenguat partikel	10
Gambar 2.7	Jenis komposit hibrida berdasarkan penyusunnya: (a) <i>sandwich</i> , (b) <i>interply</i> , (c) <i>intraply</i> , dan (d) <i>intimately mixed</i>	11
Gambar 2.8	Komposit butir (<i>particulate composite</i>)	12
Gambar 2.9	Ikatan molekul pada polimer (a) <i>thermoplastic</i> , (b) <i>thermoset</i>	14
Gambar 2.10	<i>Hollow Glass Microsphere</i>	14
Gambar 2.11	<i>Interface Epoxy-HGM</i>	19
Gambar 2.12	Molekul penyusun komposit	21
Gambar 2.13	Tipe rantai polimer (a) <i>Linear</i> , (b) <i>Branched</i> , (c) <i>Cross-linked</i> , (d) <i>network</i>	23
Gambar 2.14	Struktur <i>semicristaline</i> pada polimer	24
Gambar 2.15	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.....	26
Gambar 2.16	Gambar 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>	27
Gambar 2.17	Perubahan benda yang disebabkan oleh tegangan tekan aksial.....	28
Gambar 2.18	Bentuk spesimen saat uji tekan	29

Gambar 3.1	Skema diagram alir penelitian.....	31
Gambar 3.2	Resin.....	32
Gambar 3.3	HGM jenis iM30K	32
Gambar 3.4	<i>Wax</i>	32
Gambar 3.5	Cetakan Pipa Paralon	33
Gambar 3.6	<i>Heater</i> konvensional	33
Gambar 3.7	Termokopel	33
Gambar 3.8	Mesin uji Tekan Wolfert	34
Gambar 3.9	Mikroskop Stereo Zeiss STEMI DV4.....	34
Gambar 3.10	<i>Scanning Electron Microscope</i> Zeiss EVO MA 10.....	34
Gambar 3.11	Mesin DSC Merk Mettler-Toledo.....	35
Gambar 3.12	Timbangan Digital	35
Gambar 3.13	Spesimen uji tekan (dimensi dalam mm)	41
Gambar 4.1	Grafik Berat komposit dengan pengaruh penambahan HGM	46
Gambar 4.2	Grafik Hasil Uji Tekan Komposit UTS (MPa) VS Fraksi Volume (%) untuk temperatur <i>curing</i> 27°C selama 24 jam, temperature 27°C selama 24 jam lalu <i>post-curing</i> 90°C selama 5 jam, dan temperatur <i>curing</i> 90°C selama 24 jam	47
Gambar 4.3	Grafik Ketangguhan (J/mm ³) VS Fraksi Volume (%) untuk temperatur <i>curing</i> 27°C selama 24 jam, temperatur 27°C selama 24 jam lalu <i>post-curing</i> 90°C selama 5 jam, dan temperatur <i>curing</i> 90°C selama 24 jam.....	49
Gambar 4.4	(a) <i>Epoxy–hollow glass michospheres</i> dengan temperatur <i>curing</i> 90°C (b) <i>Epoxy–hollow glass</i> <i>michospheres</i> dengan temperatur <i>curing</i> 27°C lalu <i>post-curing</i> 90°C selama 5 jam	51
Gambar 4.5	<i>Epoxy–hollow glass michospheres</i> dengan temperatur <i>curing</i> 90°C	52

Gambar 4.6	<i>Epoxy–hollow glass michospheres</i> dengan temperatur <i>curing</i> 27°C	53
Gambar 4.7	(a) <i>Epoxy–hollow glass michospheres</i> dengan temperatur <i>curing</i> 27°C lalu <i>post-curing</i> 90°C selama 5 jam, (b) <i>Epoxy–hollow glass michospheres</i> dengan temperatur <i>curing</i> 90°C selama 24 jam.....	54
Gambar 5.1	Perbandingan antara Tegangan Hasil Pengujian dengan Tegangan Teoritis Hasil Perhitungan. (a) Temperatur <i>curing</i> 27°C selama 24 jam,(b) Temperatur <i>curing</i> 27°C selama 24 jam lalu <i>post-curing</i> 90°C selama 5 jam,(c) Temperatur <i>curing</i> 90°C selama 24 jam.....	56
Gambar 5.2	Hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16 % (a) <i>curing</i> temperatur 27°C selama 24 jam (perbesaran 150x), (b) <i>curing</i> temperatur 27°C selama 24 jam, lalu <i>post-curing</i> 90°C selama 5 jam (perbesaran 120x), (c) <i>curing</i> temperatur 90°C selama 24 jam (perbesaran 100x).....	60
Gambar 5.3	Hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16 % <i>curing</i> temperatur 27°C selama 24 jam (a) Perbesaran 800x, (b) Perbesaran 3000x	61
Gambar 5.4	Hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16 % <i>curing</i> temperatur 27°C selama 24 jam, lalu <i>post-curing</i> 90°C selama 5 jam (a) Perbesaran 800x, (b) Perbesaran 3000x.....	63
Gambar 5.5	Hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16 % <i>curing</i> temperatur 90°C selama 24 jam (a) Perbesaran 250x, (b) Perbesaran 1500x	64
Gambar 5.6	HGM yang telah rusak (perbesaran 5000x).....	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis <i>hollow glass microspheres</i> dari supplier.....	5
Tabel 2.2	Data spesifikasi teknis <i>Hollow Glass Microspheres</i> jenis IM30K.....	15
Tabel 2.3	Perbandingan <i>epoxy resin</i> dan polimer lain....	18
Tabel 2.4	Jenis <i>hollow glass microspheres</i> dari supplier....	18
Tabel 3.1	Variasi fraksi volume <i>hollow glass microspheres</i> dan <i>epoxy resin</i> untuk <i>curing</i> temperature 27°C	36
Tabel 3.2	Variasi fraksi volume <i>hollow glass microspheres</i> dan <i>epoxy resin</i> untuk <i>curing</i> temperature 27°C lalu <i>post-curing</i> 90°C selama 5 jam.....	36
Tabel 3.3	Variasi fraksi volume <i>hollow glass microspheres</i> dan <i>epoxy resin</i> untuk <i>curing</i> temperature 90°C.	37
Tabel 3.4	Hasil eksperimen.....	38
Tabel 4.1	Hasil uji tekan komposit <i>curing</i> temperatur 27°C selama 24 jam.....	43
Tabel 4.2	Hasil uji tekan komposit <i>curing</i> temperatur 27°C selama 24 jam lalu <i>post-curing</i> temperatur 90°C selama 5 jam	44
Tabel 4.3	Hasil uji tekan komposit <i>curing</i> temperatur 90°C selama 24 jam.....	45



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berkembangnya teknologi industri dibidang otomotif dan dirgantara mendorong material komposit banyak digunakan pada aplikasi produk. Hal ini dikarenakan material komposit memiliki keunggulan antara lain kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap korosi yang lebih tinggi dari material logam lainnya. Sehingga menuntut tersedianya material komposit dengan sifat yang diinginkan untuk menggantikan material logam yang banyak digunakan.

Salah satunya pengembangan polimer komposit dengan penambahan *Hollow Glass Microspheres* (HGM). Material komposit ini diproduksi dengan cara mencampur resin *epoxy* dengan HGM yang secara teoritis akan meningkatkan modulus elastisitas.

Tahun 2005, Fan-Long Jin dan Soo-Jin Park[1] mengadakan penelitian pengaruh penambahan fraksi volume HGM terhadap *surface energy*, *thermal properties* dan *electrical properties*. Penelitian ini menggunakan temperatur *curing* 110°C serta variasi fraksi volume HGM 0% hingga 2%. Pada tahun 2011, Ravi Kumar dan C. Swentha[2] dari India melakukan penelitian variasi fraksi volume HGM dari 0% hingga 60% dengan tiga jenis HGM. Serta menggunakan matrix *epoxy* dan *curing* pada temperatur kamar setelah itu akan dilakukan proses *post curing* dengan suhu 60°C selama 1 jam untuk mencari pengaruhnya terhadap kekuatan tekan. Pada tahun 2013, Fahmi Yuni Arista[3] melakukan penelitian pengaruh variasi temperature *curing* pada temperature kamar dan temperature 90°C



dengan variasi fraksi volume HGM 0% hingga 30% terhadap karakteristik tekan komposit dengan *matrix epoxy*. Pada tahun yang sama, Kevin Yoga Pradana[4] melakukan penelitian menggunakan resin *unsaturated polyester* serta variasi HGM dan variasi temperatur *post-curing* untuk memperbaiki sifat mekanik komposit material dan menghilangkan tegangan sisa pada komposit.

Pada penelitian ini akan dibahas tentang pengaruh dari variasi temperature *curing* pada suhu kamar, *curing* pada suhu kamar lalu *post-curing* 90°C selama lima jam, dan *curing* 90°C, serta penambahan fraksi volume HGM 15% hingga 20% terhadap karakteristik tekan komposit dengan *matrix epoxy*. Sehingga nantinya penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan dalam bidang otomotif, bidang industri, bidang dirgantara dan sumbangan data bagi ilmu pengetahuan.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi fraksi volume HGM pada komposit terhadap karakteristik tekan komposit dengan *matrix epoxy*.
2. Bagaimana pengaruh perbedaan temperatur *curing* dan waktu penahanan pada proses *post-curing* komposit terhadap karakteristik tekan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh variasi fraksi volume HGM pada komposit terhadap karakteristik tekan dengan *matrix epoxy*.



2. Menganalisa pengaruh perbedaan temperatur *curing* dan waktu penahanan pada proses *post-curing* komposit terhadap karakteristik tekan.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan, maka batasan masalah yang diberikan adalah sebagai berikut:

1. Temperatur pada proses pembuatan dan pengujian dianggap konstan, yaitu 27°C.
2. Distribusi *hollow glass microspheres* (HGM) didalam *matrix* dianggap sama.

1.5 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 *epoxy* dan *Hollow Glass Microsphere* (HGM), konsep proses *curing* dan *post-curing* serta konsep pengujian tekan.



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 DATA HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menampilkan pengolahan data dari hasil pengujian yang telah dilakukan.

BAB 5 ANALISA DATA DAN DISKUSI

Pada bab 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 6 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

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang karakteristik tekan pengaruh penambahan fraksi volume HGM pada komposit *Epoxy-Hollow glass microspheres* (HGM) masih sedikit. Beberapa variasi tentang waktu penahan *curing*, *temperature curing* dan *post-curing* masih belum diteliti sehingga perlu di lakukan penelitian lanjutan untuk mendukung data sebelumnya.

Tahun 2011, C. Swentha dan Ravi kumar[2] melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan HGM terhadap kekuatan tekan komposit dengan *matrix epoxy*. Pada penelitian ini menggunakan jenis *epoxy resin Araldithe type GY257* dan *hardener jenis Aradur type HY951* yang memiliki density 1,15 g/cc dengan menggunakan perbandingan volume resin dan *hardener* adalah 100:12. Namun pada penelitian lebih fokus dalam hal mengurangi berat komposit sehingga peneliti menggunakan 3 jenis HGM yang memiliki spesifikasi massa jenis yang sangat kecil dan memiliki *isostatic crush strength* yang lebih kecil jika dibandingkan dengan kekuatan *epoxy*, jenis HGM yang digunakan terlihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Jenis *hollow glass microspheres* dari supplier[2].

Property	Filler			Matrix
	K15	S22	K46	
Effective size (μm)	60	35	40	
Typical density (g/cc)	0.15	0.22	0.46	1.15
Isostatic crush strength (MPa)	2	2.8	41	
Average wall thickness (μm)	0.60	0.52	1.29	
Radius ratio – η	0.98	0.97	0.94	



Pada proses pembuatannya komposit akan di *curing* dengan temperatur ruang selama 24 jam dan setelah itu akan dilakukan proses *post curing* dengan suhu 60°C selama 1 jam, setelah itu maka komposit akan di keluarkan dari cetakan. Pada penelitian ini menggunakan variasi fraksi volume dari 0 % hingga 60 %.

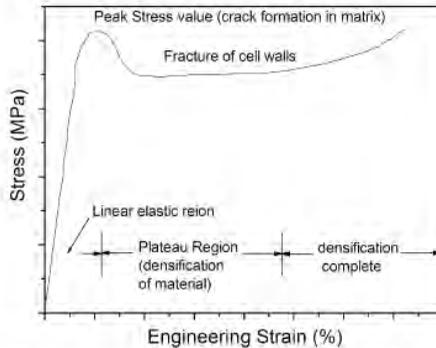
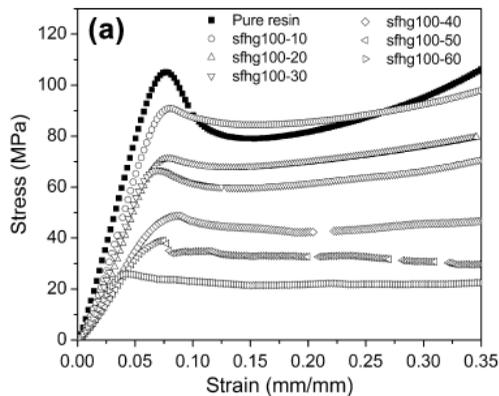


Fig. 11. Schematic stress-strain curve for syntactic foams [33].



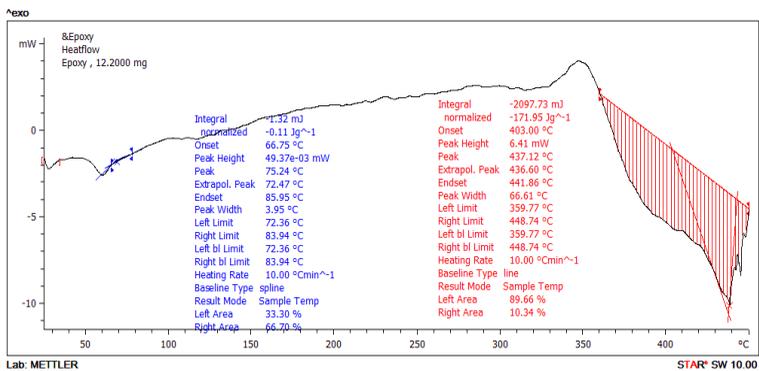
Gambar 2.1 Hasil pengujian tekan dengan *hollow glass microspheres* type K46[2].



Terlihat pada gambar 2.1 trend grafik yang terus menurun seiring dengan bertambahnya atau meningkatnya fraksi volume pada komposit. Pada *pure resin* masih memiliki kekuatan maksimal yang namun dengan penambahan HGM maka akan meningkatkan daerah deformasi plastis sebelum terjadi patah. Selain itu dengan semakin meningkatnya fraksi volume HGM maka akan mengurangi densitas dari komposit tersebut.

Pada tahun 2013, Fachmi Yuni Arista dari Teknik Mesin ITS[3] melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan HGM terhadap sifat fisik dari komposit dengan *matrix epoxy*. Pada penelitian ini digunakan jenis *epoxy resin adhesives* dengan perbandingan 1:3 dan menggunakan HGM jenis IM30K. Penelitian ini lebih menitik beratkan pada penambahan fraksi volume HGM sebanyak 5% mulai dari 0% sampai dengan 30%. Serta temperatur *curing* pada suhu ruang dan temperatur 90°C selama 24 jam.

Dari gambar hasil pengujian DSC tampak bahwa penambahan fraksi volume 15% dan 20 % yang memiliki hasil kekuatan paling optimal. Nilai Tg ditunjukkan oleh nilai *peak* pada gambar grafik dibawah ini. Spesimen diuji DSC dari temperatur kamar hingga temperatur 450°C dengan kenaikan 10°C/min.



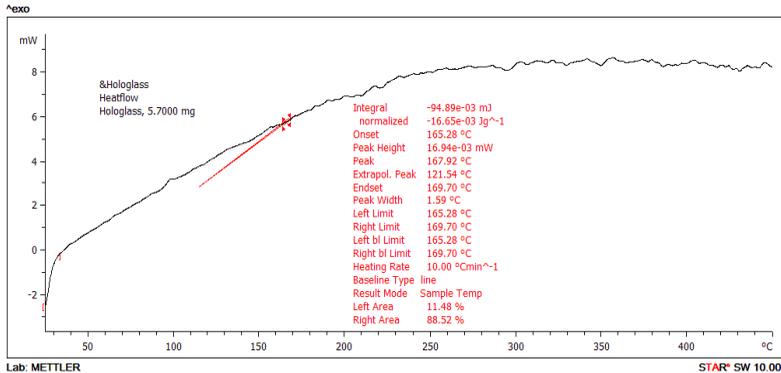
Lab: METTLER

STAR[®] SW 10.00

Gambar 2.2 Gambar grafik hasil uji DSC pada *epoxy* murni[3].



Dari hasil pengujian DSC, pada gambar 2.2 menunjukkan bahwa temperatur transisi (T_g) dari epoxy resin murni sebesar 75.24° .



Gambar 2.3 Gambar grafik hasil uji DSC pada serbuk *hollow glass microsphere*[3].

Dari hasil pengujian DSC, pada gambar 2.3 menunjukkan bahwa temperatur transisi (T_g) dari HGM memiliki temperature transisi (T_g) sebesar 167.92°C .

2.2 Komposit

Komposit merupakan suatu material yang terdiri dari gabungan antara dua atau lebih material penyusun yang sifatnya berbeda. Komposit memiliki sifat-sifat sebagai berikut yaitu kekuatan dan kekakuan tinggi, sangat ringan, ketahanan korosi oleh bahan kimia dan cuaca baik, mudah dibentuk, ketahanan creep tinggi, dan kekuatan tarik pada temperatur tinggi baik. Dengan beberapa kelebihan tersebut, menyebabkan komposit banyak diaplikasikan dalam peralatan-peralatan berteknologi tinggi di bidang industri, transportasi, dan konstruksi bangunan.

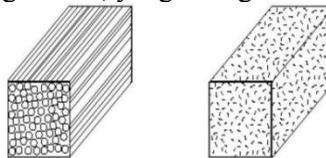


Material ini terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu matriks dan penguat (*reinforcement*). Matriks dapat didefinisikan sebagai suatu bagian dari komposit yang berfungsi sebagai pengikat penguat yang satu dengan yang lain serta mendistribusikan dengan baik beban yang diterima oleh komposit ke penguat. Sedangkan penguat adalah komponen yang dimasukkan ke dalam matriks yang berfungsi sebagai penerima atau penahan beban utama yang dialami oleh komposit dan memiliki sifat lebih kuat dari matriks serta sebagai tempat melekatnya matriks [5].

2.2.1 Penguat

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

1. Material komposit serat (*fibricus composite*) yaitu komposit yang terdiri dari serat dan bahan dasar yang diproduksi secara fabrikasi, misalnya serat + resin sebagai bahan perekat. Dapat dilihat pada gambar 2.4. Sebagai contoh adalah *Fiber Reinforce Plastic* (FRP) plastik diperkuat dengan serat dan banyak digunakan, yang sering disebut *fiber glass*.

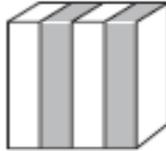


Gambar 2.4 Komposit berpenguat serat[6].

2. Komposit lapis (*laminated composite*), yaitu komposit yang terdiri dari lapisan dan bahan penguat, contohnya *polywood*, *laminated glass* yang sering

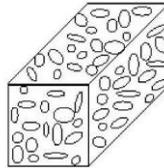


digunakan sebagai bahan bangunan dan kelengkapannya. Seperti pada gambar 2.5.



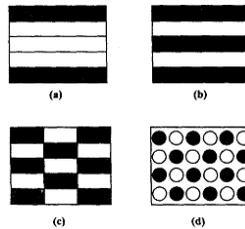
Gambar 2.5 Komposit berpenguat lamina[6].

3. Komposit partikel (*particulate composite*), yaitu komposit yang terdiri dari partikel dan bahan penguat seperti butiran (batu dan pasir) yang diperkuat dengan semen yang sering kita jumpai sebagai beton seperti gambar 2.6



Gambar 2.6 Komposit berpenguat partikel[6].

4. *Hybrid Composite*
Merupakan suatu jenis komposit yang penguatnya terdiri atas lebih dari satu jenis penguat ke dalam satu matriks. Tingkat pencampuran dapat dalam skala kecil (serat) ataupun dalam skala besar (*layer*). Tujuan dari hibridisasi adalah untuk menyusun suatu material baru yang mengandung keunggulan dari penyusunnya. Gambar 2.7 merupakan bentuk-bentuk susunan komposit hibrida.



Gambar 2.7 Jenis komposit hibrida berdasarkan penyusunnya: (a) *sandwich*, (b) *interply*, (c) *intraply*, dan (d) *intimately mixed*[6].

2.2.2 Matriks

Matriks dalam teknologi komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai pengisi dan pengikat yang mendukung, melindungi, dan dapat mendistribusikan beban dengan baik ke material penguat komposit. Berdasarkan jenis matriksnya, maka komposit dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. *Polimer Matrix Composite* (PMC) yang merupakan komposit dengan jenis matriks polimer
Contoh : Thermoplastik, thermoseting
2. *Metal Matrix Composite* (MMC) yang merupakan komposit berbahan matriks logam
Contoh : Alumunium, magnesium, titanium
3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC) yaitu komposit dengan bahan matriks keramik.

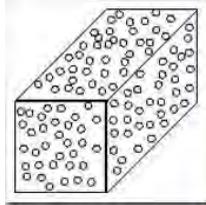
Contoh : Alumina, *alumunium titanate*, *silicon carbide*

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



2.3 Komposit Partikel (*Particulate Composite*)

Komposit partikel adalah salah satu jenis komposit dimana 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[6]. Partikel yang sangat kecil (kurang dari 0,25 mikron) dan halus didistribusikan dalam matriks yang berfungsi untuk menghambat pergerakan dislokasi dan deformasi material. 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 2.8 Komposit butir (*particulate composite*)[6].

Partikel besar yang terdispersi (gambar 2.8) memiliki efek penguatan yang rendah tetapi mampu untuk membagi beban yang diterapkan pada komposit, mengakibatkan peningkatan kekakuan dan penurunan keuletan. Partikel keras yang tersebar dalam matriks meningkatkan ketahanan abrasi. Partikel lembut yang terdispersi dalam matriks yang keras dapat meningkatkan *machinability* dan mengurangi koefisien gesek (timah dalam matriks aluminium atau timbal dalam matriks tembaga).

2.4 *Polymer Matrix Composite (PMC)*

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). *Polymer Matrix Composite* merupakan salah satu jenis material komposit dimana material berbahan dasar polimer menjadi matriksnya. Dalam aplikasi komposit, polimer sebagai matriks banyak disebut orang sebagai resin.

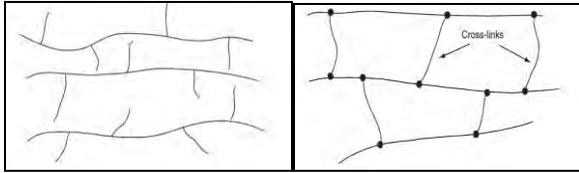
Berdasarkan sifatnya, polimer dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. *Thermosetting*

Polimer jenis ini akan semakin mengeras saat dipanaskan di atas temperatur kritisnya dan tidak dapat diperlunak dengan cara dipanaskan kembali sehingga tidak dapat dibentuk lagi melalui proses pemanasan. Polimer thermoset tidak dapat didaur ulang. Contoh matriks jenis polimer thermoset adalah *epoxy*, *polyester* dan *Phenolic* (PF).

2. *Thermoplastic*

Polimer jenis ini dapat diperlunak saat dipanaskan di atas temperatur kritisnya. Polimer *thermoplastik* ini dapat didaur ulang melalui proses pemanasan. Contoh polimer *thermoplastik* adalah *polyethylene* (PE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), dan *polystyrene*. ikatan yang terjadi seperti pada gambar 2.9.



(a)(b)

Gambar 2.9 Ikatan molekul pada polimer
(a) *thermoplastic* , (b) *thermoset*[6].

3. *Elastomer*

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

2.5 *Hollow Glass Microsphere (HGM)*

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



Gambar 2.10 *Hollow Glass Microsphere*[7].

Sampai pada tahun 1980-an, 3M memperkenalkan *microsphere* kaca seperti gambar 2.10 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.[8] Pada jenis HGM iM30K, memiliki kekuatan tekan (kompresi) tertinggi di dunia untuk produk tersebut dan juga memiliki rasio *strength-to-density* tertinggi dari jenis-jenis HGM di pasar. Terbuat dari bahan soda / kapur borosilikat (*soda/lime borosilicate*), dapat menahan tekanan *injection molding* hingga sekitar 30.000 psi. Memiliki ukuran rata-rata 16 *micron* tiap butirnya, serta memiliki kekuatan *isostatic* mencapai 28.000 psi dengan densitas 0,6 g/cc.

Tabel 2.2 Data spesifikasi teknis *Hollow Glass Microspheres* jenis IM30K[8].

Material Description

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

Physical Properties

Property	iM30k	Test Method
Isostatic Crush Strength (psi)	28,000	3M QCM 14.1.8
True Density (g/cc)	0,60	3M QCM 14.24.1
Packing Factor (bulk density to true particle density)	63%	
Oil Absorption (g oil/100 cc)	33,5	ASTM D282- 84 of polymer



Softening point (°C)	600	
Flotation (density<1.0 g/cc)	90% (in volume)	3M QCM 37.2
Volatile Content (by weight)	0.5% max	3M QCM 1.5.7
Alkalinity (milliequivalents)	0.5	3M QCM 55.19/gram max
pH (5% loading in water)	9.5	ASTM D3100-1982
Diameter (average)	18 microns	3M QCM 193.0

Dari tabel 2.2 dapat dilihat spesifikasi HGM jenis IM30K. Dengan properti densitas yang rendah, konduktivitas termal yang rendah, dan ketahanan terhadap tegangan tekan yang tinggi maka HGM jenis IM30K banyak dimanfaatkan pada bagian lambung kapal selam dan pada peralatan yang digunakan di laut dalam seperti peralatan pengeboran minyak.

Beberapa keunggulan dari HGM jenis IM30K yaitu :

- 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



2.6 Epoxy Resin dan Pengeras

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

Epoxy memiliki sifat yang keras dan getas. Namun dalam penggunaannya, *epoxy* hampir selalu mengandung bahan campuran lain untuk menyesuaikan sifat mekaniknya. Baik dari sisi kekuatan, kekenyalan, keuletan, sampai kearah sobekan sesuai dengan penggunaannya. Seperti jenis plastik lain, kebanyakan plastik adalah isolator listrik dan konduktor panas yang buruk. Kecuali bila ditambahkan campuran, misalnya serbuk logam / karbon lain.

Pengerasan yang terjadi pada bahan ini bertahap. Berbeda dengan bahan poliester yang mengeras dengan cepat ketika menggunakan katalis dalam jumlah yang banyak. Reaksi kimia yang terjadi dalam kedua kasus adalah eksotermik. Campuran akan menghasilkan panas mereka sendiri yang dapat mempercepat reaksi.

Resin jenis ini memiliki keunggulan yaitu memiliki temperature transisi cukup bervariasi yaitu 50°C hingga 175°C[9] yang jika dibandingkan dengan resin jenis lain yang banyak digunakan dalam aplikasi komposit dalam dunia industri. Beberapa keunggulan dan kekurangannya terlihat pada tabel 2.3.

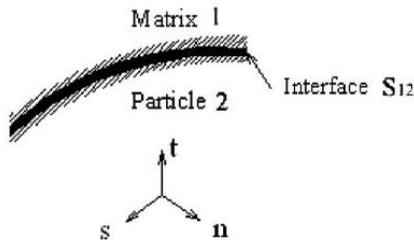
Tabel 2.3 Perbandingan *epoxy* resin dan polimer lain[9].

Resin	Advantages	Disadvantages
Polyester	<ul style="list-style-type: none"> - Easy to use - Lowest cost of resins 	<ul style="list-style-type: none"> - Only moderate mechanical properties - High styrene emissions in open moulds - High shrinkage - Limited range of working time
Vinylesters	<ul style="list-style-type: none"> - Very high chemical resistance - Higher mechanical properties than polyesters 	<ul style="list-style-type: none"> - Postcure generally required for high properties - High styrene content - High cost than polyester - High cure shrinkage
Epoxies	<ul style="list-style-type: none"> - Tensile strength 85 Mpa - Compressive 106 Mpa - High water resistance - Long working time available - Temperature resistance can be up to 140⁰C - 220⁰C dry - Low cure shrinkage 	<ul style="list-style-type: none"> - More expensive than vinylester - Critical mixing - Corrosive handling



2.7 Interface Epoxy - Hollow Glass Microspheres

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



Gambar 2.11 *Interface Epoxy-HGM*[10].

Pada gambar 2.11 terlihat pada komposit partikel luasan dan ketebalan *interface* antara partikel 2 dan *matrix* 1 merupakan faktor yang mempengaruhi kekuatan dan pola patahan pada sebuah komposit, jika *matrix* mampu mengikat seluruh luasan pada partikel penguat maka sifat mekanik pada komposit akan menjadi lebih baik.

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

2.8 Perhitungan Komposit

2.8.1 Karakteristik Umum

Untuk memproduksi material komposit, perlu memperhitungkan fraksi volume atau berat fraksi masing-masing



penyusunnya untuk mendapatkan sifat mekanik yang diperlukan. Perhitungan yang diperlukan dijabarkan di bawah ini:

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

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

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

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

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

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

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

Keterangan:

m = matriks (*epoxy*)

H = *Hollow Glass Microsphere* HGM

c = komposit

V = Fraksi volume

W = berat fraksi

v = volume (m^3)

w = berat (kg)

2.8.2 Karakteristik Campuran

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

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

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

Dimana:

V_h = volume penguat

V_m = volume matriks

W_h = berat penguat

W_m = berat matriks



2.9 Rules of Mixture

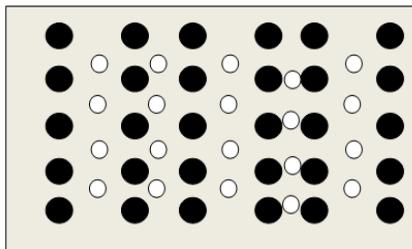
Rules of mixture (ROM) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menghitung kekuatan pada komposit secara teoritis dengan menggunakan penjumlahan kekuatan tiap penyusun dengan menggunakan fraksi volume tiap penyusun tersebut. ROM bisa digunakan untuk perhitungan kekuatan tekan karena pada saat pengujian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

$$\sigma_c = \sigma_m \cdot V_m + \sigma_r \cdot V_r \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana:

- σ_c =Kekuatan campuran
- σ_m =Kekuatan matriks
- V_m = Volume fraksi matriks
- σ_r =Kekuatan *reinforcement*
- V_r = Volume fraksi *reinforcement*

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



Gambar 2.12 Molekul penyusun komposit[11].



Terlihat pada gambar 2.12 penyusun komposit berupa *matrix*, penguat, dan juga *void*. Dengan adanya ketiga penyusun tersebut dengan kekuatan masing-masing penyusun maka bisa diprediksi secara teoritis sesuai ROM kekuatan pada kompositnya.

2.10 Proses *Curing*

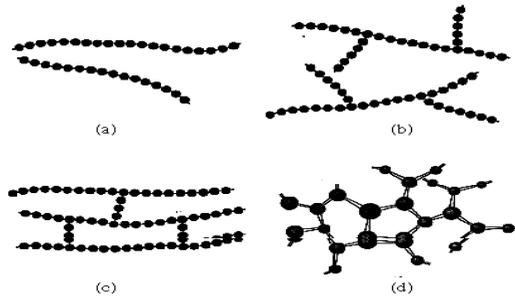
Inti dari mekanisme *curing* material termoset ialah bagaimana proses *crosslink* dapat terjadi. Reaksi *crosslink* pada *epoxy* resin diharapkan terjadi pada saat campuran resin dan penguat telah dimasukkan ke dalam cetakan. *Curing* (*crosslinking*) dapat terjadi pada temperatur tinggi (100 °C) seperti pada proses *pressure molding* atau pada temperatur ruang pada proses *hand lay-up*. Proses yang terjadi adalah molekul yang berukuran sedang saling berikatan membentuk ikatan molekul yang lebih besar[12]. 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 *epoxy* resin harus ditambahkan *hardener*.

Proses *curing* dapat dilakukan dengan cara memanaskan material benda uji tersebut pada temperatur tertentu. Namun temperatur tersebut tidak boleh melebihi *glass transition temperature*, karena akan menyebabkan material menjadi lunak. Jika temperatur tersebut ditingkatkan lagi maka material tersebut akan menjadi cair. Saat proses *curing* dilakukan pada temperatur tinggi, maka material molekul–molekul resin akan menerima lebih banyak energi. Hal ini menyebabkan meningkatnya pergerakan molekul–molekul sehingga molekul tersebut akan memiliki banyak waktu untuk membentuk susunan rantai *polymer* yang lebih teratur.

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 2.13.



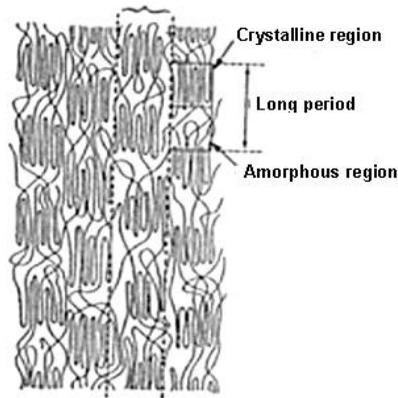
Gambar 2.13 Tipe rantai polimer (a) *Linear*, (b) *Branched*, (c) *Cross-linked*, (d) *network* [13].

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.



2.11 *Cristalinity* Polimer

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



Gambar 2.14 Struktur *semicristaline* pada polimer[14].

Cristalinty adalah banyaknya area struktur kristal pada polymer dibanding area *amorphous* terlihat dari gambar 2.14. struktur kristal ini akan meningkatkan sifat-sifat seperti kekerasan, kekuatan, modulus, kekakuan dan sifat fisik pada polimer. Hal tersebut dikarenakan pada struktur kristal akan dibutuhkan energi yang lebih besar untuk merusak susunan struktur yang lebih teratur dan lebih kuat. Semakin banyak struktur kristal pada polimer maka bisa dipastikan polimer tersebut akan memiliki sifat mekanik maupun sifat fisik yang lebih baik. Jika polimer ini digunakan dalam *matrix* komposit maka komposit tersebut juga akan memiliki kekuatan yang lebih baik pula.

Beberapa hal yang akan berpengaruh pembentukan *cristalinity* yaitu :

1. Panjang pada rantai polimer : semakin panjang rantai polimer maka *cristalinity* akan semakin berkurang.



2. Susunan *mers* pada rantai polimer : semakin teratur susunan *mers* pada rantai (*isostatic*) akan meningkatkan *crystalinity*.
3. Bentuk rantai polimer : rantai polimer lurus akan memiliki *crystalinity* yang semakin banyak dibandingkan dengan rantai polimer bercabang.
4. Proses pendinginan setelah *curing* : semakin cepat pendinginan setelah *curing* maka *crystalinity* akan semakin berkurang.

2.12 Post-Curing

Tujuan dilakukan proses *post-curing* adalah memperbaiki sifat-sifat yang dimiliki oleh komposit. Proses *post-curing* dilakukan dengan cara memanaskan material benda uji 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 ulet dan jika temperatur tersebut ditingkatkan lagi material akan menjadi leleh dan mencair. 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 tegangan tekan.



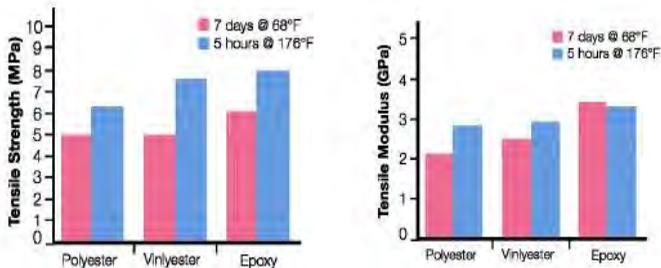
	None(b)	None(b)
Amino resins (melamine-formaldehyde)		
Bismaleimide	230-345(c)	450-650(c)
Epoxy resins	60-175	140-350
Phenolic resins	300	570
Polyester resins	110	230
Polyimide resins	315-370(c)	600-700(c)
Polyurethane (cast)	135	275
Polyurethane (elastomer)
Silicone	-125	-193
Urethane rigid foam

Gambar 2.15 Data Tg dari *epoxy* resin menurut jurnal “*Characterization and Failure Analysis of Plastics*” oleh ASM International diterbitkan pada Desember 2003 pada halaman 117 [15].

Dari gambar 2.15 dapat diketahui bahwa Tg *Epoxy* resin adalah 60-175°C atau sekitar 140-350°F. Pada percobaan yang dilakukan oleh Kevin Yoga Pradana, 2013[4] yaitu spesimen di *post-curing* pada variasi 60°C, 0°C, dan 120°C terjadi penurunan beban maksimal yang dapat diterima komposit, hal ini dikarenakan *post-curing* pada temperatur 120°C telah melewati Tg dari *polyester* resin sehingga dimungkinkan *polyester* resin mungkin telah mengalami kerusakan karena proses *curing* telah melewati batas Tg-nya, yaitu 110°, dikaitkan dengan hasil pengujian maka tampak sesuai, karena pada suhu curing 25° dan 60°, beban yang dapat diterima spesimen adalah 0.6 KN, sedangkan semakin tinggi temperatur *curing* spesimen dan semakin mendekati batas *glass transition temperature* dari *polyester* resin (90°), beban maksimal yang mampu diterima spesimen mengalami penurunan sebesar 100%, yaitu dari 0.6 KN pada suhu 25° dan 60° mejadi 0.3 KN pada 90°C. Sedangkan pada suhu *curing* 120°C beban maksimal yang mampu diterima spesimen menjadi 0.25 KN, hal ini dikarenakan temperatur *curing* spesimen telah melewati batas *glass transition temperature* dari *polyester* resin. Hasil terbaik dari penelitian ini adalah material di *post-curing* pada temperatur 90°C selama 5 jam.



Dari penelitian yang pernah dilakukan oleh perusahaan SP systems [16], 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 2.16 Gambar grafik hasil uji tarik dan modulus *tensile* antar resin *polyester*, *vinylester*, dan *epoxy* yang di-*curing* dan *post-curing*[16].

Gambar 2.16 menunjukkan hasil kenaikan tegangan tekan antara *epoxy* resin yang di-*curing* pada suhu kamar dengan *epoxy* resin yang di *post-curing* pada temperature 80°C selama 5 jam.

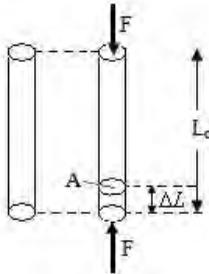
2.13 Pengujian Tekan

Uji tekan merupakan pengujian yang berkebalikan dengan uji tarik, pada pengujian ini spesimen akan di beri gaya tekan hingga spesimen itu retak ataupun hancur. Data yang didapat berupa perubahan panjang, perubahan luas penampang, dan tegangan tekan.

Tegangan tekan berlawanan dengan tegangan tarik. Jika pada tegangan tarik, arah kedua gaya menjauhi ujung benda (kedua gaya saling berjauhan), maka pada tegangan tekan, arah kedua gaya saling mendekati. Dengan kata lain benda tidak ditarik tetapi ditekan (gaya-gaya bekerja di dalam benda).



Kekuatan tekan material adalah nilai tegangan tekan uniaksial yang mempunyai modulus kegagalan ketika saat pengujian[17]. Perubahan bentuk benda yang disebabkan oleh tegangan tekan dinamakan mampatan. Misalnya pada tiang-tiang yang menopang beban, seperti tiang bangunan mengalami tegangan tekan. Kekuatan tekan dapat diperoleh dari percobaan dengan alat pengujian tekan. Ketika dalam pengujian nantinya, spesimen (biasanya silinder) akan menjadi lebih mengecil seperti menyebar lateral. Perubahan benda yang disebabkan tegangan tekan dapat dilihat pada gambar 2.17



Gambar 2.17 Perubahan benda yang disebabkan oleh tegangan tekan aksial[17].

Keterangan :

A = Luas Penampang

F = Gaya yang bekerja sebagai penekanan

L_0 = Panjang Awal

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

Dalam perancangan teknik yang sebenarnya sebagian besar kita bertumpu pada tegangan teknik. Pada kenyataannya, tegangan sebenarnya berbeda dengan tegangan teknik. Oleh sebab itu, material akibat beban tekan dapat dihitung dari penjelasan persamaan yang diberikan. Hal ini tentu saja karena perubahan luas penampang (A_0) dan fungsi dari luas penampang $A = \phi(F)$ seperti gambar 2.18.

Tegangan normal tersebut akibat beban tekan statik dapat ditentukan berdasarkan persamaan:



$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana,

σ = Tegangan normal akibat beban tekan statik (N/m²)

F = Beban tekan (N)

A = Luas penampang spesimen (m²).

Regangan akibat beban tekan statik dapat ditentukan berdasarkan persamaan:

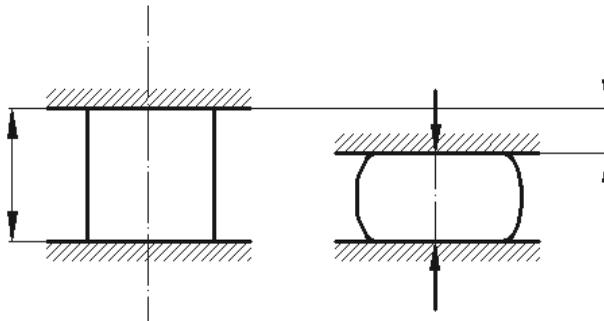
$$\epsilon = \frac{L_i - L_o}{L_o} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana,

E = Regangan akibat beban tekan static

L_i = Perubahan panjang spesimen akibat beban tekan. (mm)

L_o = Panjang spesimen mula-mula (mm)



Gambar 2.18 Bentuk spesimen saat uji tekan[17].

Pada prakteknya nilai hasil pengukuran tegangan pada suatu pengujian tarik dan tekan pada umumnya merupakan nilai teknik. Regangan akibat beban tekan yang terjadi, panjang akan menjadi berkurang dan diameter pada spesimen akan menjadi besar, maka ini akan terjadi deformasi plastis.

Nilai ketangguhan/*toughness* didapat dari pendekatan kurva tegangan regangan dengan mencari luasan dibawah kurva menggunakan *software autocad* untuk contoh data dibawah ini.



Material C16
No. 1

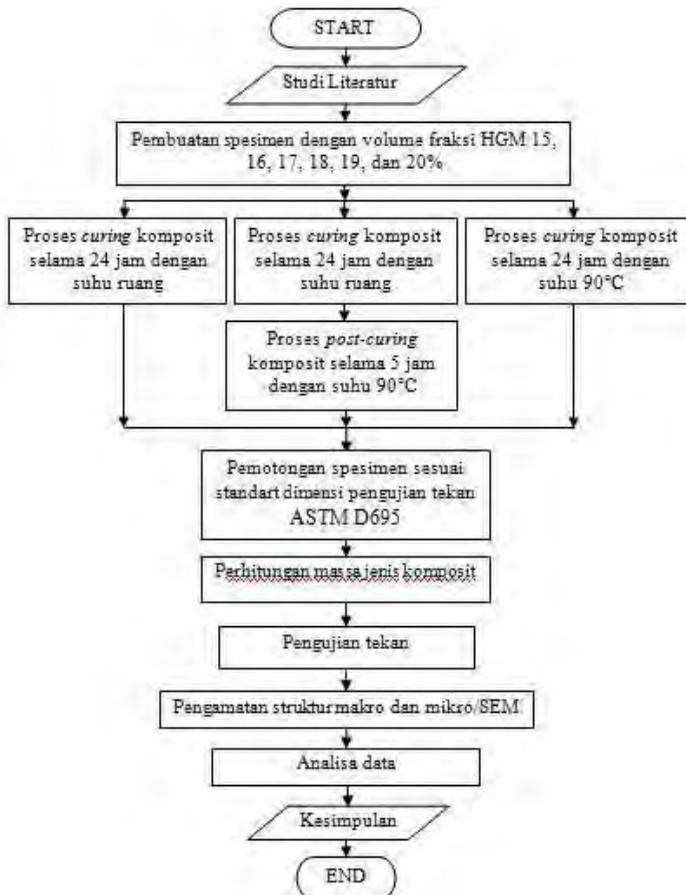
x	y	ΔL	P (KN)	σ UTS (MPa)	ϵ
0	0	0	0	0	0
1	9	0,6	5,8	16,9	0,014
2	23	1,2	14,82	43,19	0,028
3	34	1,8	21,91	63,85	0,042
4	44	2,4	28,36	82,63	0,056
5	49	3	31,58	92,027	0,071
6	51	3,6	32,87	95,78	0,085
7	54	4,2	34,8	101,41	0,099
8	56	4,8	36,09	105,17	0,113
9	58	5,4	37,38	108,93	0,128
10	59	6	38,03	110,8	0,142
11	61	6,6	39,32	114,56	0,156
12	63	7,2	40,61	118,32	0,170
13	64	7,8	41,25	120,19	0,185
14	65	8,4	41,9	122,07	0,199
15	64	9	41,25	120,19	0,213



BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Skema diagram alir penelitian.



3.2 Material

Material komposit dibuat dengan mencampurkan *Hollow Glass Microspheres* (HGM), dan *epoxy resin* sesuai dengan variasi fraksi volume HGM yang digunakan adalah 15%, 16%, 17%, 18%, 19% dan 20% yang kemudian dituang ke dalam cetakan. Perbandingan fraksi volume *Epoxy resin* : *Hardener* adalah 75% : 25%. Berikut bahan-bahan yang digunakan untuk membuat komposit :

1. *Epoxy resin adhesives* dan *hardener*



Gambar 3.2 Resin.

2. *Hollow Glass Microspheres* jenis iM30K



Gambar 3.3 HGM jenis iM30K.

3. Wax



Gambar 3.4 Wax.



3.3 Peralatan yang Digunakan

1. Cetakan silinder sebagai cetakan spesimen.



Gambar 3.5 Cetakan Pipa Paralon.

2. *Furnace* digunakan untuk proses *curing* pada suhu 90°C ini adalah furnace milik Teknik Mesin ITS Surabaya.



Gambar 3.6 *Heater* konvensional.

3. Termokopel



Gambar 3.7 Termokopel.



4. Mesin uji tekan yang digunakan adalah mesin uji tekan Wolpert milik Teknik Mesin ITS Surabaya.



Gambar 3.8 Mesin uji Tekan Wolfert.

5. Mikroskop Stereo Zeiss STEMI DV4



Gambar 3.9 Mikroskop Stereo Zeiss STEMI DV4.

6. *Scanning Electron Microscope* Zeiss EVO MA 10



Gambar 3.10 *Scanning Electron Microscope* Zeiss EVO MA 10.



7. Mesin DSC



Gambar 3.11 Mesin DSC Merk Mettler-Toledo.

8. Alat bantu : gerinda, kapi, dan soket pengaduk.
9. Alat ukur : timbangan digital, jangka sorong, gelas ukur.



Gambar 3.12 Timbangan Digital.

10. Alat keselamatan : sarung tangan dan masker.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian pada pembuatan material komposit campuran antara *Epoxy* resin dengan *Hollow Glass Microspheres* (HGM) adalah variasi fraksi volume HGM dengan epoxy dan temperatur *curing* dan *post-curing*.



Tabel 3.1 Variasi fraksi volume *hollow glass microspheres* dan *epoxy resin* untuk *curing temperature* 27°C selama 24 jam.

Kode spesimen	Fraksi volume HGM (%)	Vol HGM (ml)	Vol Epoxy (ml)	Vol Hard (ml)	Massa HGM (gr)	Temperature <i>curing</i> (°C)
A15	15	2,77	11,79	3,93	1,69	27
A16	16	2,96	11,65	3,88	1,8	
A17	17	3,14	11,51	3,83	1,91	
A18	18	3,33	11,37	3,79	2,03	
A19	19	3,51	11,23	3,74	2,14	
A20	20	3,7	11,1	3,7	2,25	

Kode A = untuk spesimen yang di-*curing* pada temperature 27°C selama 24 jam.

Tabel 3.2 Variasi fraksi volume *hollow glass microspheres* dan *epoxy resin* untuk *curing temperature* 27°C selama 24 jam lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam.

Kode spesimen	Fraksi volume HGM (%)	Vol HGM (ml)	Vol Epoxy (ml)	Vol Hard (ml)	Massa HGM (gr)	Temperature <i>curing</i> (°C)	Temperature <i>post-curing</i> (°C), waktu penahanan (jam)
B15	15	2,77	11,79	3,93	1,69		



B16	16	2,96	11,65	3,88	1,8	27	90,5
B17	17	3,14	11,51	3,83	1,91		
B18	18	3,33	11,37	3,79	2,03		
B19	19	3,51	11,23	3,74	2,14		
B20	20	3,7	11,1	3,7	2,25		

Kode B = untuk spesimen yang di-curing pada temperature 27°C selama 24 jam. Lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam.

Tabel 3.3 Variasi fraksi volume *hollow glass microspheres* dan *epoxy resin* untuk *curing* temperature 90°C selama 24 jam.

Kode spesimen	Fraksi volume HGM (%)	Vol HGM (ml)	Vol Epoxy (ml)	Vol Hard (ml)	Massa HGM (gr)	Temperature <i>curing</i> (°C)
C15	15	2,77	11,79	3,93	1,69	90
C16	16	2,96	11,65	3,88	1,8	
C17	17	3,14	11,51	3,83	1,91	
C18	18	3,33	11,37	3,79	2,03	
C19	19	3,51	11,23	3,74	2,14	
C20	20	3,7	11,1	3,7	2,25	

Kode C = untuk spesimen yang di-curing pada temperature 90°C selama 24 jam.



Hasil penelitian pada pembuatan material komposit campuran antara *Epoxy* resin dengan *Hollow Glass Microspheres* (HGM) dengan masing-masing variasi temperatur *curing* dan *post-curing* dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Hasil eksperimen.

Kode Spesimen	Fraksi vol HGM	L0 (mm)	D0 (mm)	A0 (mm ²)	ΔL (mm)	D1 (mm)	Massa (gr)	V (ml)	ρ (gr/ml)	σ UTS (MPa)	ε (%)	Mod. Young (GPa)	Rasio Poisson (σ)
A15													
B15	15%												
C15													
A16													
B16	16%												
C16													
A17													
B17	17%												
C17													
A18													
B18	18%												
C18													
A19													
B19	19%												
C19													
A20													
B20	20%												
C20													

3.5 Langkah-langkah Percobaan

3.5.1 Pembentukan Komposit

Penelitian ini menggunakan matriks *Epoxy* resin dengan penguat *Hollow Glass Microsphere* jenis iM30K.

Proses pembuatan komposit sebagai berikut:

1. Cetakan silinder dibersihkan dan dilapisi dengan wax secara merata, Hal ini bertujuan agar komposit mudah dilepas dari cetakan ketika material telah jadi. Komposit dibuat sesuai dengan variasi seperti pada tabel 3.1. Bagian bawah cetakan ditutup dengan silicon tahan panas agar komposit aman pada saat di oven.
2. *Epoxy* resin dan *Hollow Glass Microsphere* diukur sesuai dengan perbandingan volume variasi pada tabel 3.1. Kemudian diaduk hingga merata selama kurang lebih 15



menit agar campuran *epoxy* resin – HGM merata serta mengurangi porositas pada hasil komposit tersebut. Selanjutnya ditambahkan *hardener* dengan perbandingan 25 % dari volume resin.

3. Campuran dituang ke dalam cetakan dan diratakan.
4. Variasi yang menggunakan temperatur dimasukkan kedalam oven konvensional dengan suhu 90°C dan dibiarkan selama 24 jam dan untuk variasi menggunakan temperatur ruang dibiarkan dalam cetakan untuk menjalani proses *curing* selama 24 jam pada temperatur kamar.
5. Setelah 24 jam oven dimatikan dan komposit dibiarkan di dalam oven hingga temperatur oven turun sampai temperatur ruang.
6. Variasi dengan kode spesimen B dilakukan proses *post-curing* pada oven konvensional selama 5 jam dengan suhu 90°C.
7. Komposit dilepas dari cetakan.

3.5.2 Pengamatan bentuk fisik komposit

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

3.5.3 Pembentukan spesimen

Setelah komposit dinyatakan layak, maka komposit dibentuk menjadi spesimen. Spesimen dibentuk dengan menggunakan alat bantu gerinda tangan sesuai dengan standart pengujian ASTM D695. Proses pembentukan harus dilakukan dengan hati-hati, agar komposit tidak pecah selama proses pembentukan menjadi spesimen.



3.6 Prosedur perhitungan massa jenis komposit

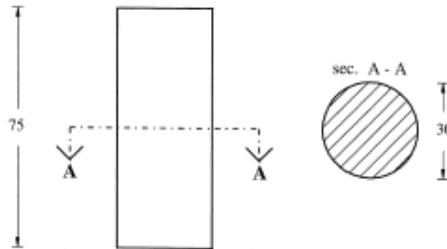
Sebelum dilakukan pengujian tekan, spesimen uji akan dihitung massa jenisnya. Untuk perhitungan berat akan menggunakan timbangan digital dan untuk perhitungan volumenya akan menggunakan teori dasar archimedes yaitu dengan memanfaatkan bertambahnya volume air ketika ditambahkan benda lain kedalam volume air tersebut.

Setelah spesimen ditimbang dan didapatkan beratnya spesimen akan dimasukkan kedalam gelas ukur dengan volume air 75 ml didalamnya, maka akan didapatkan peningkatan volume air pada gelas ukur. Peningkatan tersebut akan dikurangi volume air awal dan didapatkan besar volume spesimen tersebut.

3.7 Pelaksanaan Uji Tekan

3.7.1 Spesimen uji tekan

Spesimen uji tekan pada penelitian ini dibentuk berdasarkan standar uji tekan komposit yaitu ASTM D695, “*Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*”. Bentuk serta dimensi dari spesimen uji tekan adalah seperti gambar 3.13. Mesin uji tekan yang digunakan adalah *Wolfert Tensile-Bending testing machine* dengan kapasitas maksimum 30 ton untuk pengujian spesimen. Hasil dari pengujian adalah berupa grafik $P-\Delta L$ yang diperoleh dari mesin uji tekan serta kekuatan tekan maksimum spesimen. Grafik tegangan-regangan, perpanjangan dihitung secara manual.



Gambar 3.13 Spesimen uji tekan (dimensi dalam mm).

3.7.2 Prosedur uji tekan

Pengujian tekan dilakukan sebagai berikut:

1. Masing-masing spesimen diberi label sesuai variabel yang digunakan.
2. Pencatatan dimensi awal dari spesimen, yaitu :
 - Panjang awal (L_0).
 - diameter (d).
3. Memasang spesimen pada bagian atas mesin yang digunakan untuk pengujian tekan.
4. Pembebanan pada spesimen hingga pecah.
5. Mencatat data *Ultimate compressive strength*
6. Setelah pecah, spesimen diambil.

Pencatatan data



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB 4

DATA HASIL PENELITIAN

4.1 Data Hasil Pengujian Tekan Komposit

Pengujian tekan dilakukan pada mesin uji tekan di laboratorium Jurusan Teknik Mesin ITS berdasarkan pada standar dimensi komposit ASTM D695 dengan skala pembebanan maksimum 60 KN. Hasil pengujian tekan pada komposit ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel 4.1 Hasil uji tekan komposit *curing* temperatur 27°C selama 24 jam.

Material	P (KN)	σ UTS (MPA)		Toughness $\times 10^{-3}$ (J/mm ³)	
		Hasil	Rata-rata	Hasil	Rata-rata
A15	22,6	65,26	66,07	4,87	5,31
	23,4	67,03		5,37	
	23	65,93		5,69	
A16	23,8	68,27	67,19	6,46	6,02
	23,5	66,75		5,8	
	23,2	66,55		5,74	
A17	22,8	65,36	65,35	5,86	5,89
	23,1	66,57		5,84	
	22,4	64,11		5,97	
A18	22,5	64,27	63,56	6,03	5,76
	22,3	63,66		6,15	
	22,1	62,75		5,1	
A19	21,6	61,47	62,17	5,69	5,55
	21,8	62,16		5,26	



	22	62,88		5,6	
A20	18,2	53,64	50,49	5,0252	4,79
	17,8	51,89		5,3615	
	15,6	45,96		3,9959	

Tabel 4.2 Hasil uji tekan komposit *curing* temperatur 27°C selama 24 jam lalu *post-curing* temperatur 90°C selama 5 jam.

Material	P (KN)	σ UTS (MPa)		<i>Toughness</i> $\times 10^{-3}$ (J/mm ³)	
		Hasil	Rata-rata	Hasil	Rata-rata
B15	27,3	78,73	78,18	6,99	8,34
	27,9	80,82		10,65	
	26,1	74,98		7,38	
B16	32,4	93,35	89,24	9,39	9,13
	30,7	87,84		8,89	
	30	86,54		9,11	
B17	29,3	84,34	86,49	9,12	8,9
	29,8	85,05		9,13	
	31,6	90,1		8,4	
B18	29,5	84,81	83,40	10	8,36
	27,6	79,67		5,57	
	29,9	85,74		9,5	
B19	29,8	85,94	82,95	8,01	8,03
	28,9	83,56		8,02	
	27,6	79,37		8,05	
B20	24	69,96	69,77	6,89	6,73
	26,3	77,19		8,45	
	21,1	62,16		4,84	

Tabel 4.3 Hasil uji tekan komposit *curing* temperatur 90°C selama 24 jam.

Material	P (KN)	σ UTS (MPa)		<i>Toughness</i> $\times 10^{-3}$ (J/mm ³)	
		Hasil	Rata-rata	Hasil	Rata-rata
C15	35,1	102,69	102,53	14,863	16,25
	36,3	105,32		19,03	
	34,2	99,57		14,8	
C16	41,9	122,07	121,28	19,32	21,54
	42,2	121,28		19,34	
	41,2	120,49		25,94	
C17	38,4	111,59	110,56	19,537	19,24
	37,2	107,97		19,99	
	38,3	112,12		18,2	
C18	37,4	108,72	109,43 27	18,03	18,07
	38,6	112,35		21,02	
	36,8	107,21		15,15	
C19	37	108	108,48	16,83	17,75
	37,1	107,23		19,03	
	37,9	110,21		17,38	
C20	27,2	80,6	83,55	9,57	9,218
	28,8	83,88		9,25	
	29,2	86,17		8,82	

Dimana :

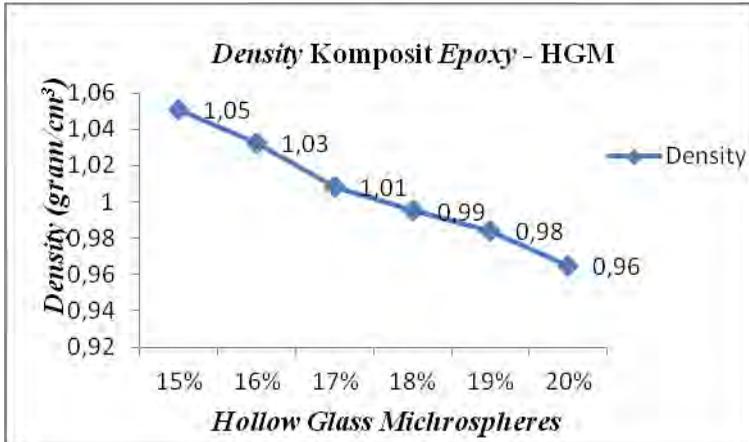
Kode A = spesimen *curing* temperatur 27°C selama 24 jam,

Kode B = spesimen *curing* temperatur 27°C selama 24 jam, lalu *post-curing* temperatur 90°C selama 5 jam,

Kode C = spesimen *curing* temperatur 90°C selama 24 jam.



4.1.1 Pengaruh Variasi Fraksi Volume Penambahan HGM Terhadap *Density* Komposit

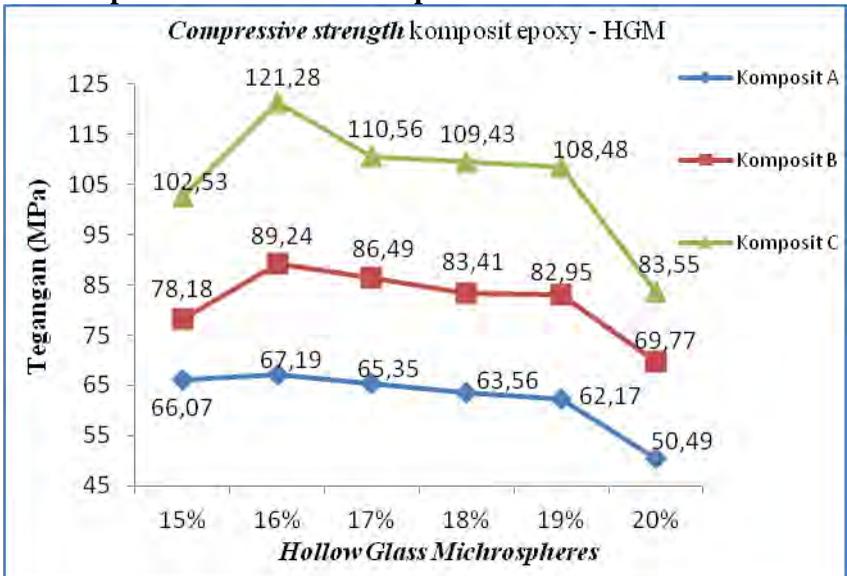


Gambar 4.1 Grafik Berat komposit dengan pengaruh penambahan HGM.

Gambar 4.1 merupakan data *density* komposit terhadap penambahan fraksi volume *Hollow Glass Michrospheres* (HGM) pada *Epoxy* dengan berat komposit. Grafik pada gambar 4.1, menunjukkan bahwa tren grafik *density* yang terus menurun seiring dengan penambahan HGM. Penambahan HGM sebanyak 20% memiliki *density* 0,96 gram/ml dan penambahan HGM sebanyak 15% memiliki *density* 1,05 gram/ml.



4.1.2 Pengaruh Variasi Fraksi Volume Penambahan HGM Terhadap Kekuatan Tekan Komposit.



Gambar 4.2 Grafik Hasil Uji Tekan Komposit UTS (MPa) VS Fraksi Volume (%) untuk temperatur *curing* 27°C selama 24 jam, temperatur 27°C selama 24 jam lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam, dan temperatur *curing* 90°C selama 24 jam.

Komposit A merupakan komposit dengan perlakuan *curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam, komposit B merupakan komposit dengan perlakuan *curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam, lalu *post-curing* pada temperatur 90°C selama 5 jam, komposit C merupakan komposit dengan perlakuan *curing* temperatur 90°C selama 24 jam. Dari hasil pengujian tekan pada gambar 4.2 pada variasi fraksi volume 16% menunjukkan bahwa komposit dengan perlakuan *curing* temperatur 90°C selama 24 jam memiliki kekuatan tekan 35,9% lebih tinggi dibandingkan komposit dengan *curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam, lalu *post-curing* pada temperatur 90°C selama 5



jam. Lalu komposit dengan perlakuan *curing* temperatur 90°C selama 24 jam memiliki kekuatan tekan 80,5% lebih tinggi dibandingkan komposit *curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam.

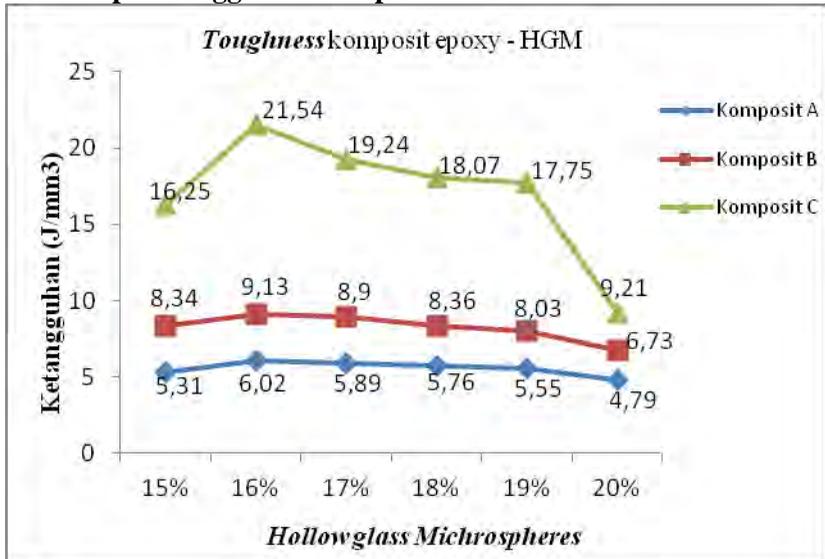
Dari hasil pengujian tekan pada gambar 4.2 komposit *curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam mengalami peningkatan kekuatan tekan komposit *Epoxy*-HGM pada penambahan fraksi volume HGM 15% hingga 16%. Kemudian trend grafik menurun pada fraksi volume penambahan HGM 16%, hingga 20%. Dari gambar 4.2 didapatkan tegangan tekan tertinggi yaitu 67,19 MPa pada komposit dengan penambahan fraksi volume HGM 16%. Sedangkan tegangan tekan terendah komposit sebesar 50,49 MPa.

Dari hasil pengujian tekan pada gambar 4.2 komposit *curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam, lalu *post-curing* pada temperatur 90°C selama 5 jam mengalami peningkatan kekuatan tekan komposit *Epoxy*-HGM pada penambahan fraksi volume HGM 15% hingga 16%. Kemudian trend grafik menurun pada fraksi volume penambahan HGM 16%, hingga 20%. Dari gambar 4.2 didapatkan tegangan tekan tertinggi yaitu 89,24 MPa pada komposit dengan penambahan fraksi volume HGM 16%. Sedangkan tegangan tekan terendah komposit sebesar 69,77 MPa.

Dari hasil pengujian tekan pada gambar 4.2 komposit *curing* temperatur 90°C selama 24 jam mengalami peningkatan kekuatan tekan komposit *Epoxy*-HGM pada penambahan fraksi volume HGM 15% hingga 16%. Kemudian trend grafik menurun pada fraksi volume penambahan HGM 16%, hingga 20%. Dari gambar 4.2 didapatkan tegangan tekan tertinggi yaitu 121,28 MPa pada komposit dengan penambahan fraksi volume HGM 16%. Sedangkan tegangan tekan terendah komposit sebesar 83,55 MPa.



4.1.3 Pengaruh Variasi Fraksi Volume Penambahan HGM Terhadap Ketangguhan Komposit.



Gambar 4.3 Grafik Ketangguhan (J/mm^3) VS Fraksi Volume (%) untuk temperatur *curing* $27^\circ C$ selama 24 jam, temperatur $27^\circ C$ selama 24 jam lalu *post-curing* $90^\circ C$ selama 5 jam, dan temperatur *curing* $90^\circ C$ selama 24 jam.

Komposit A merupakan komposit dengan perlakuan *curing* pada temperatur $27^\circ C$ selama 24 jam, Komposit B merupakan komposit dengan perlakuan *curing* pada temperatur $27^\circ C$ selama 24 jam, lalu *post-curing* pada temperatur $90^\circ C$ selama 5 jam, Komposit C merupakan komposit dengan perlakuan *curing* temperatur $90^\circ C$ selama 24 jam. Dari gambar 4.3, menunjukkan bahwa komposit dengan perlakuan *curing* temperatur $90^\circ C$ selama 24 jam memiliki ketangguhan yang lebih tinggi 135,9% dibandingkan komposit *curing* pada temperatur $27^\circ C$ selama 24 jam, lalu *post-curing* pada temperatur $90^\circ C$



selama 5 jam. Lalu komposit dengan perlakuan *curing* temperatur 90°C selama 24 jam memiliki ketangguhan 257,8% lebih tinggi dibandingkan ketangguhan komposit *curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam.

Pada gambar 4.3 komposit *curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam mengalami peningkatan nilai ketangguhan pada penambahan fraksi volume HGM 15% hingga 16%. Kemudian trend grafik menurun pada fraksi volume penambahan HGM 16% hingga 20%. Dari gambar 4.3 didapatkan nilai ketangguhan tertinggi yaitu $6,02 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^3$ pada komposit dengan penambahan fraksi volume HGM 16%. Sedangkan nilai ketangguhan terendah komposit sebesar $4,79 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^3$.

Pada gambar 4.3 Komposit *curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam, lalu *post-curing* pada temperatur 90°C selama 5 jam mengalami peningkatan nilai ketangguhan pada penambahan fraksi volume HGM 15% hingga 16%. Kemudian trend grafik menurun pada fraksi volume penambahan HGM 16% hingga 20%. Dari gambar 4.3 didapatkan nilai ketangguhan tertinggi yaitu $9,13 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^3$ pada komposit dengan penambahan fraksi volume HGM 16%. Sedangkan nilai ketangguhan terendah komposit sebesar $6,73 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^3$.

Pada gambar 4.3 komposit *curing* temperatur 90°C selama 24 jam mengalami peningkatan nilai ketangguhan pada penambahan fraksi volume HGM 15% hingga 16%. Kemudian trend grafik menurun pada fraksi volume penambahan HGM 16% hingga 20%. Dari gambar 4.3 didapatkan nilai ketangguhan tertinggi yaitu $21,54 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^3$ pada komposit dengan penambahan fraksi volume HGM 16%. Sedangkan nilai ketangguhan terendah komposit sebesar $9,21 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^3$.



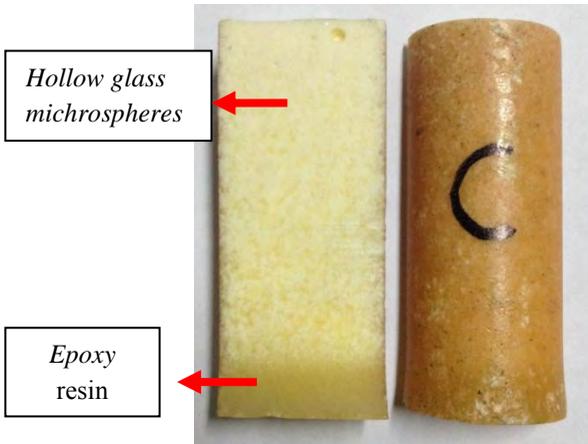
4.2 Pengaruh Perbedaan Temperatur *Curing* Terhadap Komposit *Epoxy-Hollow Glass Microsphere*.



(a) (b)

Gambar 4.4 Komposit variasi fraksi volume 16% HGM (a)*Epoxy-hollow glass microspheres* dengan temperatur *curing* 27°C selama 24 jam, (b)*Epoxy-hollow glass microspheres* dengan temperatur *curing* 27°C selama 24 jam, lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam.

Terlihat pada gambar 4.4 untuk komposit yang di-*curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam dan komposit yang di-*curing* 27°C lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam. tidak terjadi gradasi dari epoxy resin dan HGM. HGM tidak memenuhi volume bagian atas komposit. Keduanya tercampur secara merata meskipun HGM memiliki densitas yang lebih kecil dibandingkan dengan epoxy.



Gambar 4.5 Komposit variasi fraksi volume 16% HGM dengan temperatur *curing* 90°C selama 24 jam.

Terlihat pada gambar 4.4 terjadi gradasi pada komposit yang menggunakan temperatur *curing* 90°C. HGM memiliki massa jenis lebih kecil jika dibandingkan dengan massa jenis dari *epoxy* resin dipengaruhi oleh panas dari oven sehingga HGM akan bergerak keatas untuk mengisi volume komposit bagian atas dan terjadi gradiasi pada komposit tersebut. Meningkatnya penambahan HGM membuat bagian atas komposit semakin banyak di penuhi HGM.

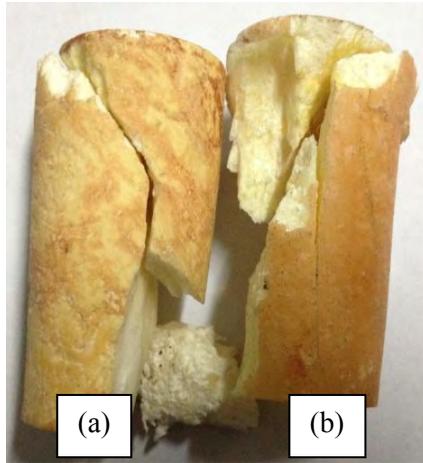


4.3 Pengamatan Pola Patahan Hasil Pengujian Tekan



Gambar 4.6 Komposit variasi fraksi volume 16% HGM dengan temperature *curing* 27°C selama 24 jam.

Pada hasil pengujian tekan komposit dengan Temperatur 27°C selama 24 jam pada komposit akan memiliki pola patahan seperti pada gambar pada 4.6. Spesimen memiliki pola patahan *columnar* yaitu patahan yang menyebabkan spesimen uji terbelah. Hal ini dikarenakan spesimen uji lebih memanjang kearah lateral pada saat pembebanan.. Pola patahan yang sama juga terjadi untuk fraksi volume HGM 15% hingga 20%.



Gambar 4.7 Komposit variasi fraksi volume 16% HGM
(a) temperatur *curing* 27°C lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam ,
(b) temperatur *curing* 90°C selama 24 jam.

Pada gambar 4.7 terlihat bahwa kedua spesimen memiliki pola patahan *shear* (geser). Spesimen uji mengalami patahan dengan arah terbentuk sudut 45° tanpa membelah spesimen searah aksial. Pola patahan *shear* ini terjadi pada spesimen uji dengan temperatur *curing* 27°C lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam dan dengan temperatur *curing* 90°C selama 24 jam. Pola patahan seperti ini juga terjadi pada fraksi volume HGM 15% hingga 20%.

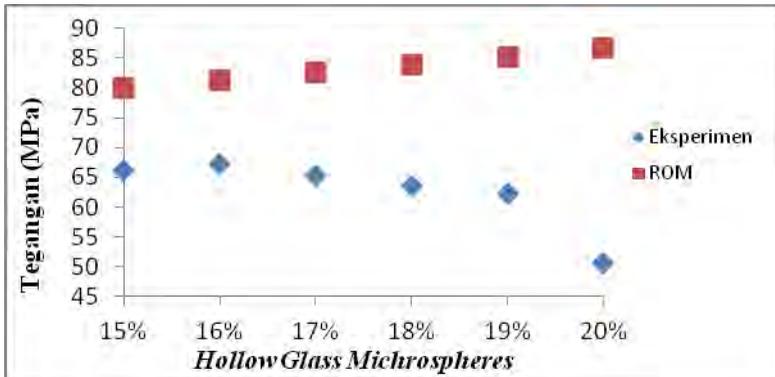


BAB 5

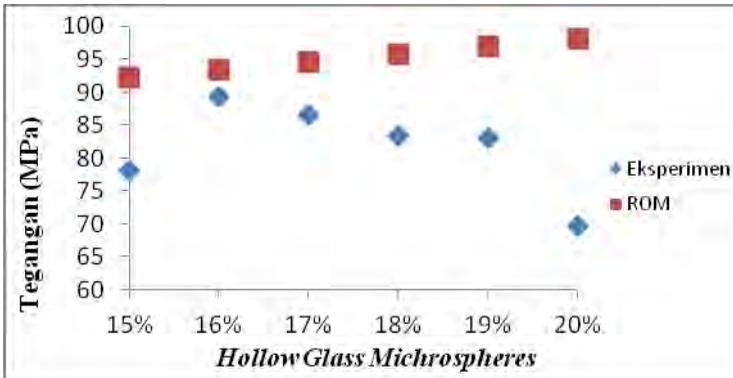
PEMBAHASAN

5.1 Pembahasan Pengaruh Variasi Fraksi Volume HGM Terhadap Kekuatan Tekan Komposit

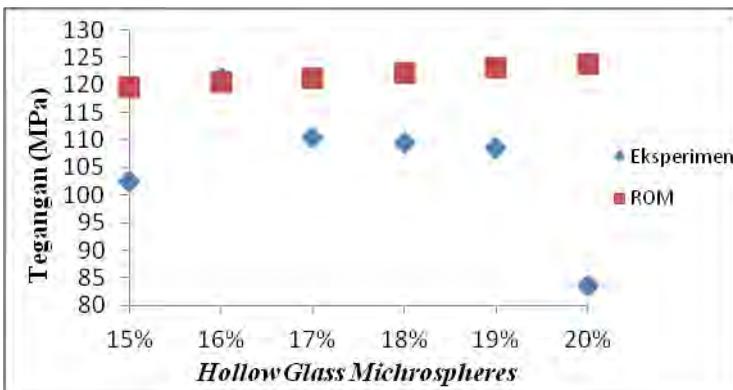
Dengan menggunakan persamaan *Rule Of Mixture* (ROM) pada *particulate composite* maka secara teoritis kekuatan tekan komposit dengan penambahan *Hollow Glass Microspheres* (HGM) dapat dihitung.



(a)



(b)



(c)

Gambar 5.1 Perbandingan antara Tegangan Hasil Pengujian dengan Tegangan Teoritis Hasil Perhitungan. (a) Temperatur *curing* 27°C selama 24 jam, (b) Temperatur *curing* 27°C selama 24 jam lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam, (c) Temperatur *curing* 90°C selama 24 jam.

Berdasarkan gambar grafik 5.1, terjadi perbedaan hasil antara kekuatan tekan secara teoritis dengan kekuatan tekan pada



saat pengujian. HGM jenis IM30K memiliki kekuatan tekan sebesar 28000 PSI atau 193,05 MPa. *Epoxy* resin memiliki kekuatan tekan 60 MPa untuk temperatur *curing* 27°C selama 24 jam, 74,45 MPa untuk temperatur *curing* 27°C selama 24 jam lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam, dan 106,58 Mpa untuk Temperatur *curing* 90°C selama 24 jam. Sehingga dengan penambahan fraksi volume HGM pada epoxy akan semakin meningkatkan kekuatan tekannya. Pada hasil perhitungan teoritis kekuatan tekan komposit naik seiring dengan penambahan fraksi volume HGM. Hal tersebut dikarenakan pada perhitungan teoritis, dianggap kondisi ideal terjadi yaitu adanya ikatan yang kuat antara HGM dan *epoxy*. Sedangkan pada hasil pengujian didapatkan penambahan HGM optimal untuk meningkatkan kekuatan tekan adalah 16% fraksi volume HGM untuk ketiga perlakuan suhu. Pada komposit dengan penambahan HGM 16% untuk temperatur *curing* 27°C selama 24 jam, selisih nilai kekuatan tekan antara hasil pengujian dan teoritis sebesar 13,49 MPa. Nilai kekuatan tekan pengujian dibandingkan dengan hasil ROM terjadi penyimpangan yang disebabkan karena pada praktiknya tidak dijumpai asumsi seperti yang digunakan pada ROM sehingga tidak terjadi kondisi ideal, seperti *void* yang terjadi pada pembuatan komposit, distribusi penyebaran HGM tidak merata, dan tidak kuatnya ikatan antara *Epoxy* dan HGM.

Dari Tabel 5.1 dengan penambahan fraksi volume HGM sebesar 15% pada *Epoxy curing* temperatur 27°C selama 24 jam memiliki rata-rata tegangan tekan 66,07896 MPa dan mengalami peningkatan tegangan maksimum pada penambahan fraksi volume HGM 16% menjadi 67,19239 MPa. Dengan variasi fraksi volume HGM 16% pada komposit *curing* temperatur 27°C selama 24 jam terjadi perbedaan 20,98% lebih tinggi dari hasil eksperimennya. Begitu juga pada komposit yang di-*curing* temperatur 27°C selama 24 jam lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam mengalami peningkatan kekuatan tekan pada fraksi volume HGM 15% sebesar 78,18201 MPa menjadi 89,24853 MPa pada fraksi volume HGM 16%. Dengan variasi fraksi volume HGM



16% pada komposit *curing* temperatur 27°C selama 24 jam lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam terjadi perbedaan 4,681% lebih tinggi dari hasil eksperimennya. Sama halnya dengan komposit yang di-*curing* temperatur 90°C selama 24 jam pada fraksi volume HGM 15% sebesar 102,5318 MPa mengalami peningkatan nilai kekuatan tekan menjadi 121,2866 MPa. Dengan variasi fraksi volume HGM 16% pada komposit *curing* temperatur 90°C selama 24 jam terjadi perbedaan 0,718% lebih rendah dari hasil eksperimennya.

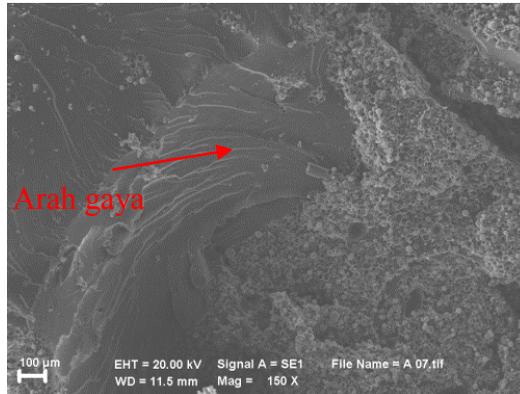
Trend grafik tegangan tekan yang menurun setelah penambahan HGM 16% pada ketiga perlakuan disebabkan karena semakin banyak HGM maka akan semakin banyak yang harus diikat oleh *epoxy* sedangkan persebaran HGM yang tidak merata akibat dari perlakuan suhu dan density HGM. Density HGM yang lebih kecil dibandingkan *epoxy* mengakibatkan bagian atas dipenuhi oleh partikel HGM sehingga ruang untuk bagian *epoxy* semakin sedikit dan ikatan antara *epoxy* dan HGM semakin sedikit. Begitu pula dengan fraksi volume HGM dibawah 16% akan mengalami kekuatan tekan yg lebih rendah. Hal ini terjadi karena gaya yang diberikan pada komposit banyak diterima oleh *epoxynya* namun sedikit pada HGMnya. Peningkatan kekuatan tekan pada komposit disebabkan oleh HGM yang berbentuk bulat dan memiliki *crush strength* tinggi jika dibandingkan kekuatan tekan *pure epoxy* resin. Namun peran *epoxy* sebagai matriks untuk mengikat HGM agar tidak terjadi pergeseran saat pembebanan komposit merupakan faktor penting untuk meningkatkan kekuatan tekan pada komposit tersebut.

5.2 Pengamatan Hasil SEM Pada Patahan Pengujian Tekan

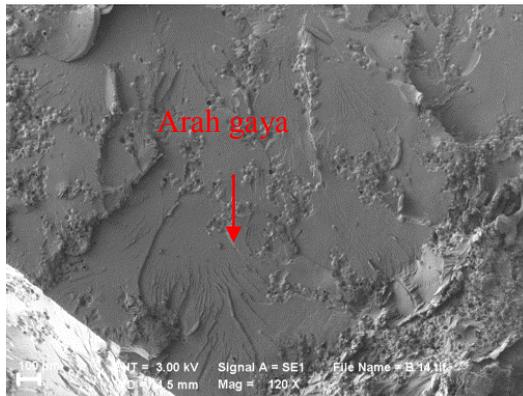
Pada pengamatan pola patahan komposit pengujian tekan, didapatkan mekanisme kegagalan komposit yang hampir sama pada tiap spesimen. Yaitu adanya *debonding* yang terjadi akibat tidak kuatnya ikatan antara HGM dan *epoxy* sehingga menyebabkan HGM terlepas dari matriksnya, *matrix cracking*



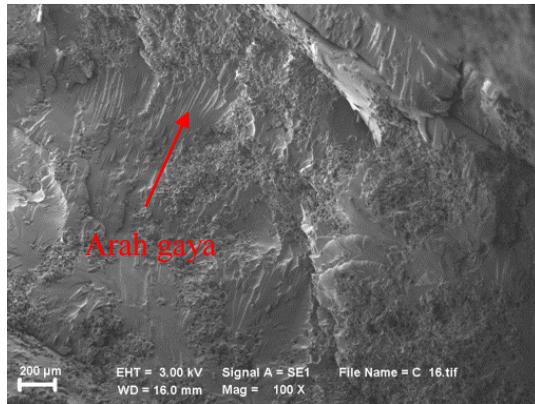
yang terjadi akibat ketidakmampuan dari matriks untuk menahan regangan yang terjadi sehingga timbul retakan dan adanya HGM yang telah rusak akibat tidak mampu menahan pembebanan.



(a)



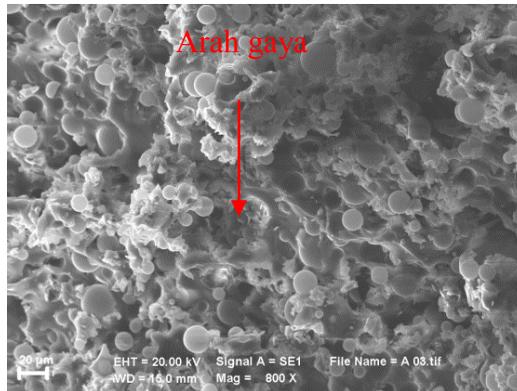
(b)



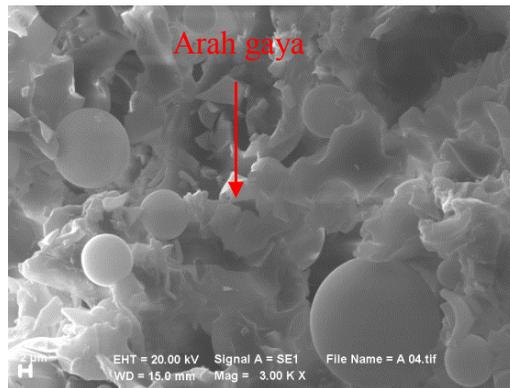
(c)

Gambar 5.2 Hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16 % (a) *curing* temperatur 27°C selama 24 jam (perbesaran 150x), (b) *curing* temperatur 27°C selama 24 jam, lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam (perbesaran 120x), (c) *curing* temperatur 90°C selama 24 jam (perbesaran 100x).

Pada gambar 5.2 hasil SEM pola patahan komposit dengan penambahan HGM 16% untuk semua perlakuan curing dapat dilihat bahwa awal retakan akan menjalar dari matrik menuju HGM yang berfungsi sebagai penguat pada matrik tersebut.



(a)



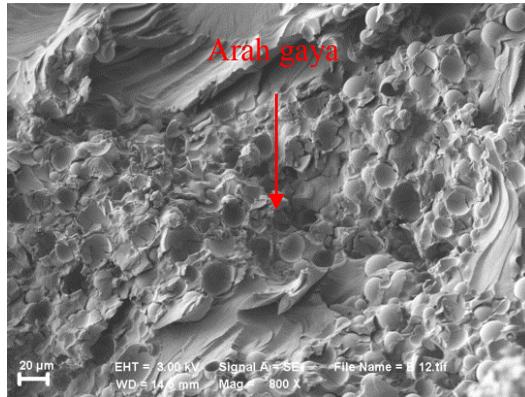
(b)

Gambar 5.3 Hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16 % *curing* temperatur 27°C selama 24 jam (a) Perbesaran 800x, (b) Perbesaran 3000x.

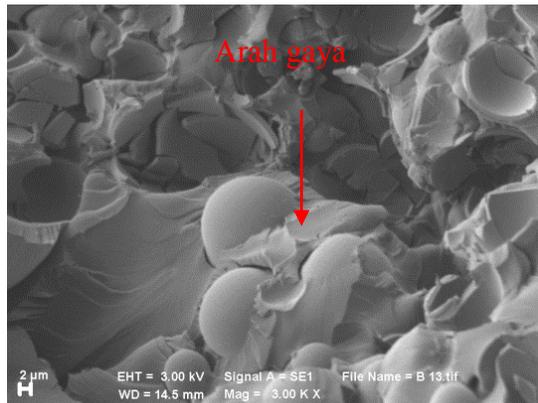
Pada gambar 5.3 hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16 % *curing* temperatur 27°C selama 24 jam didominasi oleh adanya HGM yang tidak pecah. Ketika komposit mendapat beban tekan, banyak HGM yang bergeser dari matrix



karena ikatan yang tidak kuat dan menyebabkan munculnya *debonding*. Hal tersebut yang menyebabkan kekuatan tekan pada komposit menjadi rendah karena transfer beban dari matrik ke penguat menjadi tidak maksimal.



(a)

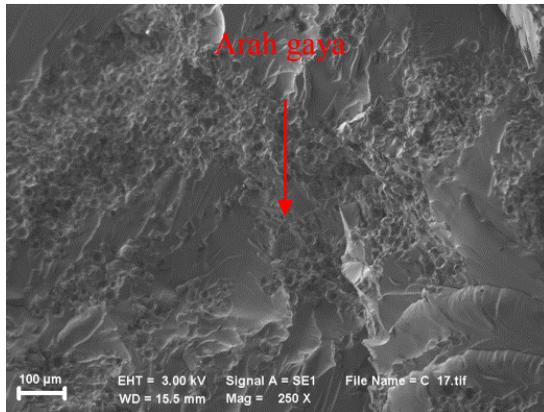


(b)

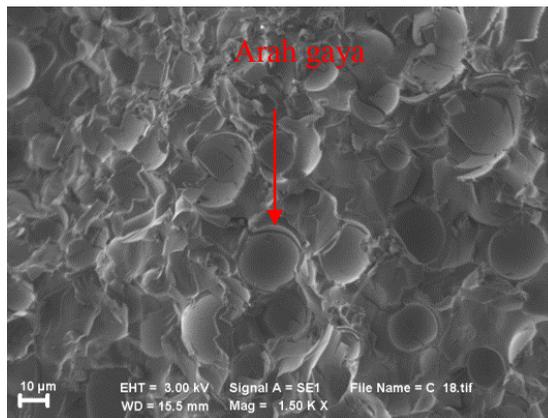


Gambar 5.4 Hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16 % *curing* temperatur 27°C selama 24 jam, lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam (a) Perbesaran 800x, (b) Perbesaran 3000x.

Pada gambar 5.4 hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16 % *curing* temperatur 27°C selama 24 jam lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam didominasi oleh adanya HGM yang pecah. Namun masih ada beberapa HGM yang tidak pecah. Hal ini terjadi karena adanya proses *post-curing* yang memperbaiki dan meningkatkan pergerakan molekul–molekul. Molekul–molekul tersebut tersusun ulang dan membentuk ikatan *crosslink*. Ketika komposit mendapat beban tekan, beberapa HGM bergeser dari matrix karena ikatan yang tidak kuat dan menyebabkan munculnya *debonding* di beberapa bagian. Hal tersebut yang menyebabkan kekuatan tekan pada komposit menjadi kurang optimal karena transfer beban dari matrik ke penguat masih belum maksimal.



(a)



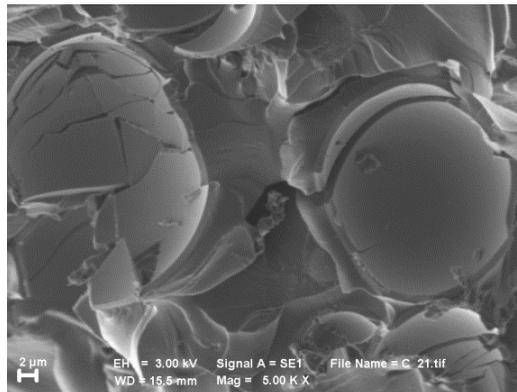
(b)

Gambar 5.5 Hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16 % *curing* temperatur 90°C selama 24 jam (a) Perbesaran 250x, (b) Perbesaran 1500x.



Pada gambar 5.5 hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16 % *curing* temperatur 90°C selama 24 jam seluruh HGM mengalami pecah. Tidak ada HGM yang bergeser dari matrix dan mengalami *debonding*. Oleh sebab itu, ketika komposit mendapat beban tekan, seluruh HGM akan menerima energi. Hal tersebut yang menyebabkan kekuatan tekan pada komposit sangat optimal.

Pada gambar 5.6 dapat terlihat HGM yang menahan beban saat pengujian mengalami deformasi pada bagian dinding hingga akhirnya tidak mampu lagi menahan retakan dan akhirnya rusak. HGM yang telah rusak akan menyisakan cangkang atau dindingnya pada matriks.



Gambar 5.6 HGM yang telah rusak (perbesaran 5000x).

Pada komposit yang di-*curing* temperatur 27°C selama 24 jam, banyak terjadi *debonding* antara HGM dengan *epoxy*. Hal ini mengakibatkan terjadinya banyak kekosongan yang berbentuk lingkaran pada matriks sebagai bekas tempat melekatnya HGM. *Debonding* ini terjadi karena ikatan yang tidak kuat antara HGM dan *epoxy* sehingga HGM terlepas dari matriksnya. Jika Ikatan HGM yang tidak kuat diberi pembebanan, HGM tersebut akan mengalami pergeseran. Sehingga HGM tidak pecah dan kekuatan



komposit banyak di pengaruhi oleh kekuatan dari matriksnya. *Debonding* juga dapat terjadi akibat proses pengadukan saat pembuatan komposit. Karena komposit menggunakan metode *hand lay up*.

Terdapat perbedaan tegangan tekan antara hasil pengujian tekan komposit *curing* temperatur 27°C selama 24 jam, *curing* temperatur 27°C selama 24 jam, lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam, dan *curing* temperatur 90°C selama 24 jam. Komposit yang di-*curing* pada temperatur 90°C selama 24 jam akan memiliki tegangan tekan lebih tinggi jika di bandingkan komposit yang di-*curing* temperatur 27°C selama 24 jam, lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam, dan juga *curing* temperatur 90°C selama 24 jam.

Gabungan srtuktur manomers antara *resin* dan *hardener* yang akan membentuk ikatan *crosslink*. Pada proses *curing* yang menggunakan temperatur 90°C, molekul-molekul *epoxy* resin dan *hardener* akan mendapatkan energi lebih banyak untuk lebih aktif bergerak dalam membetuk ikatan *crosslink*. Sehingga ikatan *crosslink* yang terjadi pada epoxy murni yang di-*curing* 90°C akan lebih banyak dibandingkan dengan *curing* temperatur 27°C.

Ikatan *crosslink* yang lebih banyak pada matriks akan meningkatkan nilai kekuatan tekannya. Matriks sebagai pengikat HGM lebih banyak memiliki ikatan *crosslink*, maka *debonding* yang terjadi pada HGM dan *epoxy* akan berkurang dan nilai kekuatan tekan pada polimer komposit tersebut akan meningkat.



BAB 6 KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Dari penelitian dan analisa data yang telah dilakukan pada komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan fraksi volume HGM 15% hingga 16% pada *epoxy* dapat meningkatkan kekuatan tekannya. Kekuatan tekan maksimum sebesar 121,2866 MPa didapatkan pada penambahan fraksi volume HGM sebesar 16%.
2. Penambahan fraksi volume HGM 15% hingga 16% pada *epoxy* dapat meningkatkan ketangguhan. Ketangguhan maksimum sebesar $21,54 \times 10^{-3}$ (J/mm³) didapatkan pada penambahan fraksi volume HGM sebesar 16%.
3. Peningkatan temperatur *curing* dapat meningkatkan jumlah ikatan *crosslink* pada matriks *epoxy*, komposit dengan penambahan fraksi volume HGM 16% di-*curing* pada temperatur 90°C selama 24 jam merupakan komposit yang memiliki kekuatan tekan dan ketangguhan yang paling tinggi.
4. Peningkatan jumlah ikatan *crosslink* pada matriks *epoxy* akan meningkatkan kekuatan tekan pada komposit dengan fraksi volume HGM yang sama.

6.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Diharapkan dalam proses pembuatan lebih baik untuk menghindari udara terjebak dalam komposit.



-
2. Dalam proses pengadukan perlu di perhatikan HGM dan *epoxy* agar rata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Soo-Jin Park. 2005. *“Preparation and physical properties of hollow glass microspheres-reinforced epoxy matrix resins”*.Korea
- [2] Swentha.C, Kumar Ravi. 2011. *“Quasi-static uni-axial compression behaviour of hollow glass microspheres/epoxy based syntactic foams”*.departement metallurgical. India
- [3] Fahmi Yuni Arista. 2013. *“Studi eksperimetal pengaruh variasi fraksi volume epoxy - hollow glass microspheres dan temperatur curing terhadap karekteristik tekan komposit”*. Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS. Indonesia
- [4] Kevin Yoga Pradana. 2013. *“Pengaruh variasi fraksi volume, temperatur, dan waktu post-curing terhadap karakteristik bending komposit polyester – patikel hollow glass microspheres”*. Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS. Indonesia
- [5] Ryan S, Tamara, *“Studi Eksperimetal Pengaruh Jumlah Lapisan Stainless Steel Mesh & Posisinya Terhadap Karakteristik Tarik Bending Komposit Serat Kaca Hibrida”*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2011.
- [6] http://www.efunda.com/formulae/solid_mechanics/composites/comp_intro.cfm
- [7] <http://www.ecvv.com/product/3822975.html>
- [8] Alexander Trofimov, Dr. Lev. Pleshkov, Haslen Back., *Hollow Glass Microsphere for High Strength Composite Cores*, Alchemie Technology 50 (2007) 44-46,48-50.
- [9] SP System.Composite Engineering Material
- [10] Nie Shihua, 2004, *“A micromechanical model for effective elastic properties of particulate composite with imperfect interfacial bond”*. University at Buffalo, USA
- [11] Pichai rusmee. 2005. *“High strength composite”*

- [12] Alexander Trofimov, Dr. Lev. Pleshkov, Haslen Back., *Hollow Glass Microsphere for High Strength Composite Cores*, Alchemie Technology 50 (2007) 44-46,48-50.
- [13] A. Brent Strong, “*Controlling Polyester Curing – A Simplified View*”, Brigham Young University, undated.
- [14] www.princhenton.com
- [15] ASM International, “*Characterization and Failure Analysis of Plastics*”, page 117, December 2003
- [16] The Advantages of Epoxy Resin versus Polyester in Marine Composite Structure, SP-systems, undated.
- [17] Ismoyo,1990. “*Pengujian merusak tekan material*”
- [18] Simon Peter, Cibulkova Zuzana, “*Measurement of heat capacity by differentiation scanning calorimetry*”, Department of physical chemistry, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology, Slovak Republic.
- [19] Callister, Jr. William.D, 2007, “*Material Science And Engineering An Introduction.*” United State of America. Quebecor Versailles.

BIODATA PENULIS



WIDYANSYA RITONGA lahir pada 15 Juli 1991 di Pekanbaru, Riau. Berasal dari keluarga sederhana yang berkultur pendidikan. Lulus pendidikan formal di SD 001 Pekanbaru pada tahun 2003. Selanjutnya meneruskan sekolah di SMP Cendana Pekanbaru, lulus tahun 2006, dan di SMA Cendana Pekanbaru, lulus tahun 2009.

Selepas SMA diterima di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Teknik Mesin Terbaik Se-Indonesia.

Selama masa studi di Jurusan Teknik Mesin ITS, penulis aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan. Cita-cita terbesar penulis adalah membahagiakan kedua orang tua dan menjadi Presiden untuk membangun Bangsa Indonesia menjadi negara yang tangguh dan mandiri.

Penulis dapat dihubungi melalui ponsel: +62 878 52146997 / +62 838 30505386. Alamat *e-mail*: widiritonga@yahoo.com