TUGAS AKHIR- TM 141585

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

SYAHRAFI WIDYANPRATAMA
NRP. 2110 100 149

Dosen Pembimbing
Wahyu Wijanarko S.T.,M.Sc.

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

FINAL PROJECT – TM 141585

Effect of Variation Addition Total Layer Fiber Glass with the Comparasion of Fixed Volume Fraction on Epoxy-Hollow Glass Microspheres Composite on Bending Characteristic

SYAHRAFI WIDYANPRATAMA
NRP. 2110100149

Advisor
Wahyu Wijanarko S.T.,M.Sc.

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

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

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 November

Oleh :
Syahrafi Widyanpratama
Nrp. 2110 100 149

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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

SURABAYA
JANUARI, 2016

DAFTAR ISI

ABSTRAK
LEMBAR PENGESAHAN...v
KATA PENGANTAR..xi
DAFTAR ISI...xv
DAFTAR GAMBAR...xix
DAFTAR TABEL...xxi

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI
2.1 Tinjauan Pustaka..5
2.2 Komposit..6
2.2.1 Penguat...7
2.2.2 Matriks 9
2.3 Komposit Partikel (*Particulate Composite)*.................10
2.4 Komposit Serat (*Fiber-Reinforced Composite)* 11
2.5 *Hybrid Composite* 13
2.6 *Polimer Matrix Composite*...14
2.7 Penguat *Fiberglass*..15
2.8 *Hollow Glass Michrospheres* (HGM)...........................17
2.9 *Epoxy* Resin dan Pengeras 20
2.10 *Interface Epoxy-Hollow Glass Microspheres* 21
2.11 *Interface Epoxy-Fiberglass*..23
2.12 Rompi Anti Peluru 23
2.13 *Rule of Mixture*..24
2.14 Metode Manufaktur *Hand Lay-Up*...............................25

2.15 Perhitungan Komposit 26
2.15.1 Karakteristik Umum 26
2.15.2 Karakteristik Campuran 26
2.16 Proses *Curing* 27
2.17 *Cristalinity* Polimer 29
2.18 Pengujian *Bending* 31

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Digram Alir Penelitian 33
3.2 Persiapan Spesimen 34
3.2.1 Diagram Alir Perhitungan Penentuan Lapisan 34
3.2.1.1 Contoh Perhitungan Lapisan 35
3.2.2 Diagram Alir Spesimen 37
3.2.2.1 Contoh Perhitungan Spesimen 39
3.2.3Perhitungan Volume Komposit dan Volume *Fiberglass* 40
3.2.4 Perhitungan Volume Resin dan Volume *Hollow Glass Microspheres* 41
3.2.5 Perhitungan Volume *Epoxy* dan Volume *Hardener* 42
3.2.6 Perhitungan Berat dan *Density* 43
3.3 Material 43
3.4 Peralatan yang Digunakan 45
3.5 Langkah-langkah Percobaan 49
3.5.1 Pembentukan Komposit 49
3.5.2 Pengamatan Bentuk Fisik Komposit 50
3.5.3 Pembentukan Spesimen 50
3.6 Prosedur Perhitungan Massa Jenis Komposit 50
3.7 Pelaksanaan Uji Spesimen 50
3.7.1 Spesimen Uji Bending 50
3.7.2 Prosedur Uji Bending 51

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Spesimen Uji 53
4.2 Data Hasil Pengujian *Bending* Komposit 56
4.3 Pembahasan Pengaruh Variasi Jumlah Penambahan *Fiberglass* Terhadap *Density* Komposit 58

4.4 Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Tegangan *Bending* Komposit 60
4.5 Pembahasan Variasi Jumlah Lapisan Penambahan *Fiberglass* Terhadap Tegangan *Bending* Komposit dengan ROM 65
4.6 Pengamatan Pola Patahan Hasil Pengujian *Bending* Komposit *Epoxy, Hollow Glass Microspheres* dan *Fiberglass*.......... 71
4.7 Pembahasan Pola Patahan Hasil Pengujian *Bending* Komposit *Epoxy, Hollow Glass Microspheres* dan *Fiberglass*.......... 74

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN
5.1 Kesimpulan 81
5.2 Saran 81

DAFTAR PUSTAKA 83
BIODATA PENULIS

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Spesifikasi Teknis *Hollow Glass Microspheres* Jenis iM30K 19
Tabel 2.2 Perbandingan *Epoxy* dan Polimer Lain 21
Tabel 3.1 Tabel Perhitungan Volume Komposit dan Volume *Fiberglass* 41
Tabel 3.2 Tabel Perhitungan Volume *Resin* dan Volume HGM 42
Tabel 3.3 Tabel Perhitungan Volume *Epoxy* dan Volume *Hardener* 42
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Material Komposit *Epoxy*, HGM, *Fiberglass Curing* Temperatur 27°C Selama 24 Jam. 53
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Berat Material Komposit *Epoxy*, HGM, *Fiberglass Curing* Temperatur 27°C Selama 24 Jam 54
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Material Komposit *Epoxy*, HGM, *Fiberglass Curing* Temperatur 90°C Selama 24 Jam. 55
Tabel 4.5 Hasil Uji *Bending* Komposit *Epoxy*, HGM, *Fiberglass Curing* Temperatur 27°C Selama 24 Jam................... 56
Tabel 4.6 Hasil Uji *Bending* Komposit *Epoxy*, HGM, *Fiberglass Curing* Temperatur 90°C Selama 24 Jam................... 57
Tabel 4.7 Perbandingan Fraksi Volume Eksperimen Temperatur 27°C Selama 24 Jam 64
Tabel 4.8 Perbandingan Fraksi Volume Eksperimen Temperatur 90°C Selama 24 Jam 64

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi Komposit 7
Gambar 2.3 Komposit Berpenguat Serat....................................8
Gambar 2.4 Komposit Berpenguat Lamina................................8
Gambar 2.5 Jenis Komposit Hibrida Berdasarkan Penyusunnya 9
Gambar 2.6 Komposit Partikel 10
Gambar 2.7 Foto Makro Permukaan HGM............................. 10
Gambar 2.8 Skema Kegagalan *Fiber* 12
Gambar 2.9 Skema Kegagalan *Compressive*............................ 13
Gambar 2.10 Ikatan Molekul Pada Polimer 15
Gambar 2.11 *Chopped Stand Matt Glass Fiber* 16
Gambar 2.12 Roving Glass Fiber 16
Gambar 2.13 *Woven Roving Glass Fiber* 17
Gambar 2.14 *Woven Cloth Glass Fiber* 17
Gambar 2.15 *Hollow Glass Microspheres* 18
Gambar 2.16 *Interface Epoxy*.. 22
Gambar 2.17 *Interface Fiber*.. 23
Gambar 2.18 Rompi Anti Peluru.. 24
Gambar 2.19 Proses *Hand Lay-Up*.. 25
Gambar 2.20 Tipe Rantai Polimer.. 28
Gambar 2.21 Data *Tg* dari *Epoxy* 29
Gambar 2.22 Struktur *Semicristaline* pada Polimer 30
Gambar 2.23 Pembebanan pada Uji *Three Pont Bending*......... 31
Gambar 2.24 Mekanisme Kegagalan Pada Spesimen *Bending*. 32
Gambar 3.1 Skema Diagram Alir Penelitian............................ 33
Gambar 3.2 *Flowchart* Perhitungan Lapisan............................ 34
Gambar 3.3 *Flowchart* Perhitungan Spesimen......................... 38
Gambar 3.4 Resin *Epoxy* dan *Hardener*................................. 44

Gambar 3.5 HGM 44
Gambar 3.6 *Wax* 44
Gambar 3.7 *Fiberglass* 45
Gambar 3.8 Cetakan Loyang 45
Gambar 3.9 *Furnace* Konvensional 46
Gambar 3.10 Termokopel 46
Gambar 3.11 Mesin Uji *Bending* Shimadzu AG-X 47
Gambar 3.12 Mikroskop Stereo Zeiss STEMI DV4 47
Gambar 3.13 *Scanning Electron Microscope Zeiss* EVO MA 10
Gambar 3.14 Timbangan Digital 48
Gambar 3.15 Spesimen Uji *Bending* 51
Gambar 3.16 Sketsa Pengujian *Bending* 52
Gambar 4.1 Grafik *Fiberglass* Terhadap *Density* 58
Gambar 4.2 Grafik *Bending* Tegangan Komposit 60
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Tegangan 62
Gambar 4.4 Makro Hasil Uji *Bending* Komposit 6 lapis 66
Gambar 4.5 Makro Hasil Uji *Bending* Komposit 8 lapis 66
Gambar 4.6 Makro Hasil Uji *Bending* Komposit 10 lapis 68
Gambar 4.7 Makro Hasil Uji *Bending* Komposit 12 lapis 68
Gambar 4.8 Makro Hasil Uji *Bending* Komposit 14 lapis 70
Gambar 4.9 Foto SEM *Buckling* 72
Gambar 4.10 Gambar Terjadinya *Matrix Crack* Hingga *Fiber Pull Out* 73
Gambar 4.11 Foto SEM *Fiberglass* Lapisan 10 *Matrix Crack* . 75
Gambar 4.12 Foto SEM *Fiberglass* Lapisan 10 HGM Rusak ... 76
Gambar 4.13 Foto SEM *Fiberglass* Lapisan 12 *Void* 78
Gambar 4.14 Foto SEM *Fiberglass* Lapisan 12 *Void* dan *Matrix Crack* 79
Gambar 4.15 Foto SEM *Fiberglass* Lapisan 12 HGM Utuh 80

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

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. Ibu tersayang dan tercinta, Meidy Larasati S.H., untuk segala doa, restu, perhatia, dukungan, kasih sayang dan seluruh pengorbanan yang selalu diberikan dan tercurah kepada penulis.
2. Ayah tercinta, Wimbo Widjajadjati S.H., untuk segala doa, restu, kasih sayang, pengorbanan, dukungan dan motivasi yang selalu dilimpahkan kepada penulis.
3. Adik saya yang tersayang, Shabrina Widyanpramita dan Syahrial Widyanpradipta terima kasih sudah menjadi penambah motivasi.
4. Wahyu Wijanarko, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini. Terima kasih untuk semua waktu, kritik dan saran yang diberikan ditengah – tengah kesibukan bapak.
5. Dr. Eng, Sutikno, S.T. M.T., Indra Sidharta, S.T., M.Sc., dan Ir. Hari Subiyanto M.Sc., selaku dosen penguji dan

pembahas tugas akhir. Terima kasih atas nasehat, ilmu, kritik dan saran yang telah diberikan.

6. Novira Claresta tersayang sebagai penambah motivasi dan pemberi semangat, bantuan, doa, perhatian, kesabaran, dan cinta kepada penulis hingga terselesaikannya Tugas Akhir.
7. Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA. Selaku dosen wali yang selalu memberi bantuan dari awal perkuliahan sampai akhirnya penulis dapat menyelesaikan jenjang S-1 di Teknik Mesin ITS.
8. Sahabat-sahabat tersayang Dae Taufik, Aji Zakri, Stevie fransiska, dan Nadia Nurasri yang selalu memberikan dukungan hingga penulis selesai dalam menempuh perkuliahan S-1 ini.
9. Saudara seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir Fadli Adiputra, terima kasih atas segala dukungan, bantuan, waktu dan saran-sarannya.
10. Saudara seperjuangan seminar dari group TA pak Wahyu Scania, Alvin, Khisni, dan Hafidh terima kasih atas bantuan, saran dan semoga cepat menyusul
11. Seluruh teman-teman Angkatan 2010 Teknik Mesin ITS (M53) yang takkan terlupakan terima kasih atas bantuan, doa, dan kebersamaannya selama kuliah di kampus Teknik Mesin tercinta.
12. Teman-teman di Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS terimakasih atas bantuan, dukungan, dan saran-saran yang telah diberikan.
13. Terimakasih kepada seluruh Sarekat Merah Rakyat Mesin (SMRM).
14. Semua karyawan dan Bapak Ibu Dosen di jurusan Teknik Mesin ITS yang telah memberikan bantuan dan ilmunya kepada penulis.
15. Serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuannya yang tidak bisa disebutkan satu persatu 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, Januari 2016

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

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

Nama Mahasiswa	**: Syahrafi Widyanpratama**
NRP	**: 2110 100 149**
Jurusan	**:Teknik Mesin FTI-ITS**
Dosen Pembimbing	**:WahyuWijanarko, S.T., M.Sc.**

Abstrak

Perkembangan teknologi dalam bidang komposit sangat luas dan dapat diterapkan untuk banyak aplikasi. Penelitian ini merupakan pengembangan dari material – material komposit yang sudah ada untuk mendapatkan material komposit yang lebih baik dan dapat diaplikasikan. Salah satu pengembangan material komposit adalah polymer matrix composite (PMC) dengan penambahan Hollow Glass Microspheres (HGM) dan fiberglass karena keunggulan yang dimiliki yaitu massa yang ringan, konduktivitas termal rendah, dan ketahanan terhadap tegangan kompresi yang tinggi. Dengan keunggulan tersebut, material komposit ini dapat diaplikasikan pada body kendaraan, body armor ataupun konstruksi lainnya.

Penelitian dilakukan dengan mencampurkan Epoxy resin dengan HGM dan fiberglass. Spesimen uji bending diproduksi sesuai dimensi ASTM D 790 dengan fraksi volume HGM konstan 16% dengan variasi jumlah layer 6,8,10,12,14. Dengan urutan orientasi fiber $[45^0, 0^0, 45^0, 0^0 ....]$ *dst. Spesimen menerima dua perlakuan yaitu proses curing pada temperatur 27°C dan proses curing 90°C selama 24 jam. Setelah proses produksi, dilakukan pengujian bending untuk mengetahui perubahan sifat mekanik yang terjadi pada komposit.*

Hasil yang didapatkan adalah tegangan bending komposit maksimum terdapat pada penambahan jumlah lapisan

10 dengan nilai 155,6 Mpa untuk temperatur curing 27°C dan 192,6 Mpa pada proses curing 90°C, hal ini dikarenakan temperatur tinggi memiliki ikatan crosslink lebih banyak dan ikatan interface yang lebih kuat sehingga nilai tegangan bending pada komposit menjadi meningkat.

Kata kunci: hollow glass microspheres, fiberglass, epoxy, bending, curing, komposit hibrida, lamina.

Effect of Variation Addition Total Layer Fiber Glass with the Comparasion of Fixed Volume Fraction on Epoxy-Hollow Glass Microspheres Composite on Bending Characteristic

Name : **Syahrafi Widyanpratama**
NRP : **2110 100 149**
Major : **Mechanical Engineering**
Advisor : **Wijanarko , S.T. , M.Sc.**

Abstract

Technological developments in the field of composites are very broad and can be applied to many applications. This research is the development of existing composite materials which aims to obtain an applicable and better composite materials. One of composite materials development is the polymer matrix composite (PMC) with the addition of Hollow Glass microspheres (HGM) and fiberglass due to its eminence i.e. the light mass, low thermal conductivity and the resistance against high compressive stresses. By having these advantages, this composite material can be applied to the vehicle body, body armor or other constructions.

This research is carried out by mixing HGM with Epoxy resin and fiberglass. Bending test specimen dimensions are produced according to ASTM D 790 with HGM constant volume fraction of 16 % by varying the number of layers 6,8,10,12,14. By order of fiber orientation [45^0*,* 0^0*,* 45^0 *,*0^0*....] and so forth, specimens take in two curing treatments. The first curing treatment is taken at 27°C while the second curing is taken at 90°C out of 24 hours. After the production process, the bending test is done to determine the changes.*

The obtained result is the maximum composite of bending stress is on the additional layers 10 with a value of 155.6 MPa of curing temperature of 27 ° C and 192.6 MPa at 90 ° C of curing process. Due to high temperatures have more

crosslink bonds and more powerful bonds interface, hence, the value of the bending stress on the composite is increased.

Keywords : hollow glass microspheres , fiberglass , epoxy , bending , curing , hybrid composite, lamina .

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan semakin berkembangnya teknologi industri dalam bidang otomotif dan dirgantara mendorong material komposit untuk dapat digunakan dalam aplikasi produk. Tidak hanya dalam bidang otomotif dan dirgantara, material komposit juga dapat menjadi alternatif dalam bidang militer yang bertujuan untuk mengurangi berat komponen yang ada. Material komposit sendiri memiliki keunggulan antara lain kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap korosi yang lebih tinggi dari material logam lainnya.

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

Salah satu pengembangan komposit adalah dengan penambahan *Hollow Glass Microspheres* (HGM) sebagai *reinforcement* (penguat). Material komposit ini diproduksi dengan cara mencampur resin ataupun matriks dengan HGM yang secara teoritis akan meningkatkan kekuatan dan modulus elastisitas. HGM tersebut berbentuk *spherical* dan terdiri dari permukaan kaca yang kaku serta mengandung *inert* gas di dalamnya sehingga memiliki sifat yang unik seperti berat jenis yang rendah (0,3 – 0,6 g /cc), kekuatan tekan tinggi (3000- 30.000 psi) serta titik leleh yang tinggi (600 ºC) dan konduktivitas thermal yang rendah.

Tahun 2014, Zahrah Lutfianisa Qurrotu'ain[1] melakukan penelitian pengujian rompi anti peluru yang terbuat dari komposit *matrix epoxy* – HGM dengan mensimulasikannya kedalam

software finite element. Dilakukan pembuatan model rompi anti peluru yang berbentuk rompi dan pembuatan proyektil. Pada penelitian tersebut bertujuan mendapatkan hasil simulasi untuk mendapatkan ketebalan optimum yang dapat memenuhi standart keamanan sesuai dengan standart NIJ 0101.03 1987. Dengan variasi ketebalan 1, 5, 10, 15, 20, 25mm. Pada tahun 2014, Widiansyah Ritonga[2] melakukan penelitian pengaruh variasi temperature *curing* 27°C, temperature *post-curing* 90°C dan temperatur curing 90°C dengan variasi penambahan volume HGM 15% hingga 20% terhadap karakteristik tekan komposit dengan matriks epoxy. Penelitian tersebut bertujuan untuk mendapatkan pengaruh penambahan HGM dan sifat mekanik dari komposit terhadap temperature *curing* dan temperature *post-curing*. Pada penelitian itu didapatkan hasil yang terbaik pada variasi fraksi volume HGM sebesar 16% dan pelakuan *curing* 90°C selama 24 jam. Pada tahun 2007, I Made Astika [3] melakukan penelitian mengenai kekuatan tarik komposit serat kaca dengan matriks *polyester*. Serat kaca yang digunakan berbentuk *Chopped Strand Mat* (CSM) dan *Woven Roving* (WR).Variable yang divariasikan adalah fraksi volume serat dalam komposit. Perbandingan antara matriks dengan serat adalah 60:40, 68:32, dan 76:24. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa dengan semakin besar fraksi volume serat dalam komposit maka kekuatan tariknya akan semakin meningkat, selain itu komposit dengan serat kaca berbentuk WR menunjukkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang menggunakan serat kaca berbentuk CSM.

Pada penelitian ini akan dibahas tentang pengaruh variasi jumlah *layer fiber glass* 6, 8, 10, 12, 14 lapis dan kandungan fraksi volume *Hollow Glass Microspheres* (HGM) sebesar 16% serta perlakuan *curing* selama 24 jam pada temperatur kamar dan *curing* selama 24 jam pada temperatur 90^{0}C terhadap karakteristik *bending* komposit dengan *matrix epoxy*.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi jumlah lapisan *fiber glass* terhadap karakteristik bending komposit hibrida dengan *matrix epoxy*.
2. Bagaimana pengaruh variasi temperatur *curing* dengan komposit hibrida terhadap karakteristik *bending*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh jumlah lapisan *fiber glass* terhadap karakteristik bending komposit hibrida dengan *matrix epoxy*.
2. Menganalisa pengaruh variasi temperatur *curing* dengan komposit hibrida terhadap karakteristik *bending*.

1.4 Batasan Masalah dan Asumsi

Agar penelitian dan pembahasan masalah ini tidak terlalu meluas, maka perlu diberikan batasan masalah dan asumsi, yaitu :

1. Temperatur pada proses pembuatan dan pengujian dianggap konstan, yaitu 27°C.
2. Komposisi antara penguat dengan matrik disetiap lapisan dianggap sama.
3. Distribusi serat dan *hollow glass microspheres* (HGM) didalam *matrix* dianggap sama.
4. Spesimen yang dihasilkan dari proses pencetakan dianggap baik.

1.5 Sistematika Penulisan Penelitian

Penulisan disusun dalam enam bab yaitu pendahuluan, dasar teori, metodologi penelitian, data hasil penelitian, analisa data dan diskusi, serta kesimpulan. Adapun perinciannnya 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*, *Hollow Glass Microsphere* (HGM) dan *fiberglass*, konsep proses *curing* serta konsep pengujian bending.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

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

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dari penelitian yang dilakukan oleh *Zahrah Lutfianisa Qurrotu'ain*[1] mengenai penelitian pengujian rompi anti peluru yang terbuat dari komposit *matrix epoxy* – HGM dengan mensimulasikannya kedalam *software finite element.* Pembuatan rompi anti peluru yang ringan dan dapat menyerap energi impact dengan baik sangat diharapkan, hal ini untuk menunjang mobilitas dan keselamatan penggunanya. Pembuatan model rompi anti peluru yang berbentuk rompi dan pembuatan model proyektil. Lalu simulasi dilakukan dengan NIJ standard 0101,03 1987. Didapatkan hasil, bahwa rompi dengan ketebalan 25mm sudah mampu untuk memenuhi NIJ standard 0101.03 1987.

Tahun 2014, *Widyansyah Ritonga* dari Jurusan Teknik Mesin ITS[2] melakukan penelitian mengenai pengaruh fraksi volume HGM, temperatur, waktu *curing* dan *post-curing* terhadap komposit *epoxy* partikel HGM dengan penambahan HGM sebanyak 15%-20%. Kekuatan tekan komposit berpengaruh pada jumlah penambahan fraksi volume HGM dan temperatur serta lamanya waktu *curing*. Penelitian ini dilakukan dengan variasi komposit matriks *epoxy* yang ditambahkan HGM sebanyak 15%-20% dengan kenaikan 1% lalu di-*curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam, di-*curing* 27°C selama 24 jam serta *post-curing* pada temperatur 90°C selama 5 jam, dan di-*curing* pada temperatur 90°C selama 24 jam. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini yaitu komposit dengan penambahan fraksi volume HGM sebanyak 15%-16% dan di-*curing* pada temperatur 90°C selama 24 jam menghasilkan kekuatan tekan yang paling maksimal. Peningkatan temperatur *curing* dan waktu *curing* akan meningkatkan jumlah ikatan *crosslink* pada komposit.

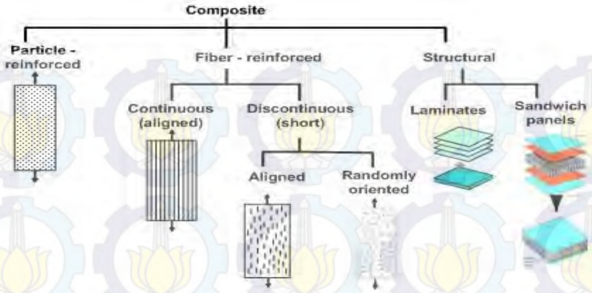
Dari penelitian tahun 2007, I Made Astika[3] melakukan penelitian mengenai kekuatan tarik komposit serat kaca dengan

matriks *polyester*. Serat kaca yang digunakan berbentuk *Chopped Strand Mat* (CSM) dan *Woven Roving* (WR).Variable yang divariasikan adalah fraksi volume serat dalam komposit. Perbandingan antara matriks dengan serat adalah 60:40, 68:32, dan 76:24. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa dengan semakin besar fraksi volume serat dalam komposit maka kekuatan tariknya akan semakin meningkat, selain itu komposit dengan serat kaca berbentuk WR menunjukkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang menggunakan serat kaca berbentuk CSM.

2.2Komposit

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 temperaturtinggi baik. Dengan beberapa kelebihantersebut, 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 [15].



Gambar 2.1 Klasifikasi komposit[15]

2.2.1 Penguat

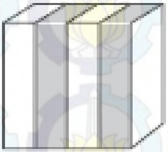
Penguat (*reinforce*) dalam teknologi komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai penguat dan memiliki sifat lebih kuat dari fase matriks, serta merupakan suatu konstruksi/rangka tempat melekatnya matriks. Berdasarkan jenis penguatnya komposit dibagi menjadi:

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

Gambar 2.2 Komposit Berpenguat Serat[5]

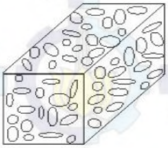
2. Komposit lapis (*laminated composite*), yaitu komposit yang terdiri dari lapisan dan bahan penguat, contohnya *polywood*, *laminated glass* yang sering digunakan sebagai bahan bangunan dan

kelengkapannya.Ilustrasi komposit lapis ditunjukkan pada gambar 2.3 sebagai berikut:



Gambar 2.3 Komposit Berpenguat Lamina[5]

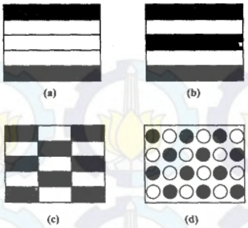
3. Komposit partikel (*particulate composite*), yaitu komposit yang terdiri dari partikel dan bahan penguat seperti butiran (batu dan pasir) yang diperkuat dengan semen yang sering kita jumpai sebagai beton. Komposit partikel ditunjukkan pada gambar 2.4 sebagai berikut:



Gambar 2.4 Komposit Berpenguat Partikel[5]

4. *Hybrid Composite*

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



Gambar 2.5 Jenis Komposit Hibrida Berdasarkan Penyusunnya: (a) *Sandwich*, (b) *Interply*, (c)*Intraply*, dan (d) *Intimately Mixed*[5]

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 kematerial 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, thermosetting
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 digunakaan 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 popular 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[4]. 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 2.6 Komposit Partikel (*Particulate Composite*)[5]

Pada gambar berikut ini menunjukkan contoh permukaan patahan dari hasil uji bending komposit *Epoxy Hollow glass microspheres*. Pola patahan yang terbentuk adalah pola patahan ulet dan pola patahan getas.

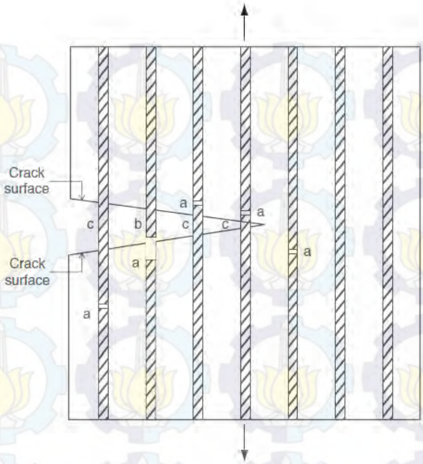
Gambar 2.7 Foto Makro Permukaan Patahan HGM 16% (*Particulate Composite*)[3].

Terlihat dari gambar 2.7 pola patahan ulet yang lebih dominan pada permukaannya. Pola patahan ulet lebih gelap dan berserabut, pola patahan ini terlihat pada permukaan patahan.[3]

2.4 Komposit Serat (*Fiber-reinforced Composite)*

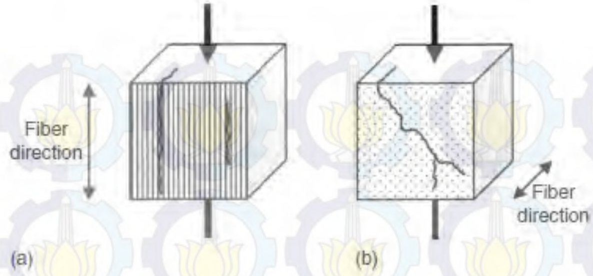
Komposit jenis ini merupakan jenis yang paling beragam penggunaannya serta paling banyak digunakan, mengingat sifat suhu kamarnya, kemudahan fabrikasi dan biaya. *Fiber-reinforced* komposit material terdiri dari *fiber* yang memiliki kekuatan dan modulus tinggi yang kemudian digabungkan dengan matriks-nya. Pada bentuk ini, baik *fiber* dan matriks nya akan memepertahankan identitas fisik dan kima masing-masing. Secara umum fungsi *fiber* sebagai penahan beban utama, sedangkan matriks di sekitarnya akan mengarahkan beban tersebut ke lokasi dan orientasi yang diinginkan, atau berfungsi sebagai media transfer beban dan menjaga komposit dari kerusakan lingkungan, contohnya: akibat temperature tinggi dan kelembapan.[5]

Sifat mekanik dari komposit berpenguat serat tidak hanya bergantung dari sifat seratnya, tetapi juga pada panjang *fiber* yang digunakan, arah dari *fiber* dan jenis beban apa yang diberikan ke *fiber* nya. Hal penting yang harus diperhatikan adalah hubungan *interface* antara *fiber* dan matriksnya. Pada saat komposit diberikan pembebanan, hubungan *fiber*-matriks akan berhenti pada ujung fibernya, yang akan menghasilkan pola deformasi matriks, dengan kata lain tidak adanya transfer beban dari matriks.[5]



Gambar 2.8 Skema Kegagalan *Fiber* dan *Matrix* (a) *Fiber Breakage,* (b) *fiber Pullout,* dan (c) *Matrix Bridging* [26].

Pada gambar 2.8 dapat kita lihat beberapa skema kegagalan pada *fiber matrix reinforced*. Pada titik (a) kegagalan yang terjadi akibat adanya tegangan yang terjadi pada daerah lokal *fiber* menyebabkan patahnya *fiber* sehingga menyebabkan adanya penambahan tegangan pada *matrix. Fiber pullout* (b) adalah kegagalan *fiber* yang disebabkan oleh patahnya *matrix* yang menyebabkan keluarnya *fiber* dari matrix pengikatnya. Pada titik (c) dapat kita lihat dimana *crack* pada *matrix* tidak selalu diikuti oleh patahnya *Fiber*.[26]



Gambar 2.9 Skema Kegagalan *Compressive* [26].

Pada pembebanan kompresi yang ditunjukkan pada gambar 2.9 dapat kita lihat gambar (a) kecenderungan *crack* mengikuti arah fiber, sedangkan pada gambar (b) kecenderungan *crack* tidak teratur. Kegagalan pada *compressive load* pada umumnya terletak pada *matrix.*

2.5 *Hybrid Composite*

Merupakan suatu jenis komposit yang memiliki penguat lebih dari satu jenis penguat ke dalam satu matriks. Hal ini dilakukan untuk menghasilkan sifat mekanik yang diinginkan tetapi tidak bisa didapatkan jika hanya menggunakan satu jenis penguat. Seperti yang dilaporkan oleh Wouterson menggunakan 3wt% *carbon fiber* pendek, dengan panjang 3 – 10 mm, untuk memperkuat *foam* yang dibuat dari *phenolic microspheres* dan matriks *epoxy*. Dari hasil penelitian tersebut kekuatan tarik, modulus *young* dan ketangguhan patahan akan meningkat mulai dari 40%, 115% dan 95% untuk *hybrid* komposit.[23]

Terdapat juga penelitian mengenai *hybrid* komposit yang dilakukan oleh J.A.M Ferreira, yaitu pada material komposit *Hollow Glass Microsphere-epoxy foam* di perkuat dengan *reinforce carbon fibre*dan *glass fibre*pendek. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mempelajari efek dari kandungan *filler* dan penambahan *fibre* pada sifat mekanik, ketangguhan patahan dan energy *impact* yang diserap. Hasil yang didapatkan

adalah untuk *foam* yang tidak diperkuat, nilai dari- kelenturan dan kekakuan kompresi, tegangan kompresi maksimum, ketangguhan patahan dan Energi *impact* Charpy yang diserap- akan menurun secara signifikan seiring peningkatan *filler*. Akan tetapi baik kelenturan dan kekakuan kompresi serta energy *impact* yang diserap akan meningkat seiring peningkatan kandungan HGM. Penambahan *glass fibre* hanya meningkatkan sedikit dari kekakuan kelenturan dan ketangguhan patahan, tetapi akan signifikan meningkat nilai dari energy *impact* yang diserap. Lalu penambahan sedikit *carbon fibre* akan menghasilkan peningkatan pada nilai ketangguhan patahan dan kekakuan kelenturan (35% dan 40%, secara urut) ketika *hybrid* komposit mengandung 0.9% *carbon fibre* dibandingkan dengan *foam* yang tidak berpenguat. Tetapi penambahan *carbon fibre* ini tidak meningkatkan energy *impact* yang diserapnya.[23]

2.6 *Polimer 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.

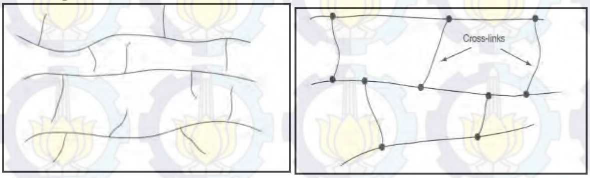
Berdasarkan sifatnya, polimer dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. *Thermoset*

   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*

Polimerjenis ini dapat diperlunak saat dipanaskan diatas temperatur kritisnya. Polimer *thermoplastik* ini dapat dapat didaur ulang melalui proses pemanasan. Contoh polimer *thermoplastik* adalah *polyethylene* (PE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), dan *polystryrene.* Ikatan yang terjadi seperti pada gambar 2.10



(a) (b)

Gambar 2.10 Ikatan Molekul Pada Polimer
(a) *Thermoplastic* , (b) *Thermoset*[5]

3. *Elastomer*

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

2.7 Penguat *Fiberglass*

Fiberglass sering digunakan dalam proses pembuatan komposit. Keuntungan fiberglass adalah biaya produksi yang rendah, kekuatan Tarik yang tinggi, ketahanan terhadap serangan zat kimia yang baik, sifat insulator yang baik. Beberapa fiberglass berdasarkan karakteristik dan fungsinya adalah:

1. E-Glass

Merupakan serat kaca yang didesain untuk peralatan umum yang membutuhkan sifat isolator dan konduktifitas thermal rendah. Serat kaca ini mempunyai kekuatan yang cukup tinggi sehingga banyak dipergunakan dalam proses manufaktur. Serat ini banyak digunakan karena harganya yang murah.

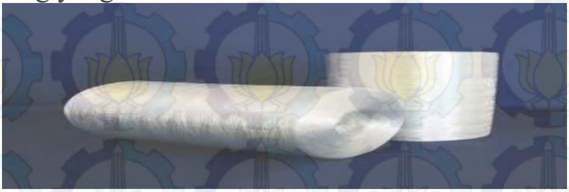
2. S-Glass
   Merupakan serat kaca yang memiliki modulus elastisitas tinggi dan umumnya dipergunakan untuk komponen pesawat terbang dan kapal laut
3. Serat C-Glass
   Serat ini dirancang untuk memiliki ketahanan terhadap korosi yang tinggi terutama dalam lingkungan kimia, sehingga banyak dipergunakan sebagai pelapis peralatan pada pabrik kimia.

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

1. *Chopped Stand Matt* (CSM)
   Serat gelas yang ditenun dari potongan *rovings* dengan panjang tertentu dan tersusun acak

Gambar 2.11 *Chopped stand matt glass fiber*

2. *Rovings*
   merupakan serat gelas yang berbentuk kumpulan benang yang *continou*



Gambar 2.12 *Roving glass fiber*

3. *Woven Rovings*
   Merupakan *rovings* yang ditenun membentuk arah serat yang saling tegak lurus

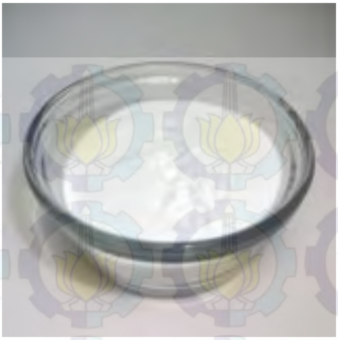
Gambar 2.13 *Woven roving glass fiber*

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

Gambar 2.14 *Woven cloth glass fiber*

2.8 *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 berongga dan terbuat dari kaca yang mengandung *sodium borosilicate*.



Gambar 2.15 *Hollow Glass Microsphere*[6]

Sampai pada tahun 1980-an, 3M memperkenalkan *microsphere* kaca seperti gambar 2.15 dengan kekuatan *isostatic* (penggunaan tekanan kekuatan proporsi yang sama dari segala arah) yang mencapai 10.000 psi, lebih dari dua kali kekuatan sebelumnya yang tersedia. Dengan ditemukannya jenis ini berarti bahwa HGM dapat digunakan sebagai pengisi dalam proses-proses yang membutuhkan tegangan geser cukup tinggi.[7] 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 HGMdi 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 2.1 Data Spesifikasi Teknis *Hollow Glass Microspheres* Jenis iM30K[6]

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 dencity)	63%	
Oil Absorption (g oil/100 cc)	33,5	ASTM D282-84 of polymer additive
Softening point (°C)	600	
Flotation (density<1.0 g/cc)	90% (in volume)	3M QCM 37.2
Volatile Content (by weight)	0.5% max	3M QCM 1.5.7
Alkalinity (milliequivalents)	0.5	3M QCM
		55.19/gram max
pH (5% loading in water)	9.5	ASTM D3100-1982
Diameter (average)	18 microns	3M QCM 193.0

Dari tabel 2.1 dapat dilihat spesifikasi HGM jenis iM30K. Dengan properti densitas yang rendah, konduktivitas termal yang rendah, dan ketahanan terhadap tegangan tekan yang tinggi maka HGMjenis 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 iM30Kyaitu :

- 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

2.9 *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 menjadi kaku dan kuat. Proses polimerisasi disebut *"curing"* yang dapat dikontrol melalui suhu.

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

Pengerasan yang terjadi pada bahan ini bertahap. Berbeda dengan bahan *polyester* yang mengeras dengan cepat ketika menggunakan katalis dalam jumlah yang banyak. Reaksi kimia yang terjadi dalam kedua kasus adalah eksotermik. Campuran

akan menghasilkan panas mereka sendiri yang dapat mempercepat reaksi.

Resin jenis ini memiliki keunggulan yaitu memiliki temperature transisi cukup bervariasi yaitu 50ºC hingga 175ºC[8] yang jika dibandingkan dengan resin jenis lain yang banyak digunakan dalam aplikasi komposit dalam duniaindustri.Beberapa keunggulan dan kekurangannya terlihat pada tabel 2.2

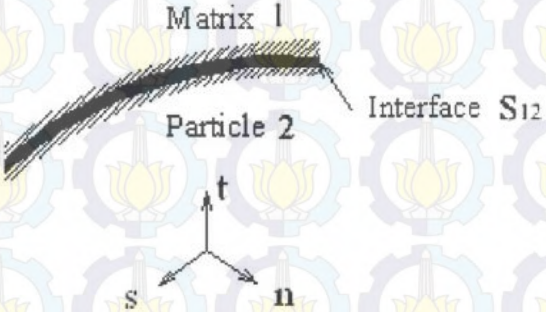
Tabel 2.2 Perbandingan *Epoxy* Resin dan Polimer Lain[8]

Resin	Kelebihan	Kekurangan
Polyester	- Mudah digunakan - Resin yang paling murah	- Sifat mekanik sedang - Emisi dari *styrene* tinggi dalam cetakan terbuka - Penyusutan tinggi - Waktu kerja terbatas
Vinylesters	- Ketahanan kimia baik - Sifat mekanik yang lebih baik dari *polyester*	- Membutuhkan *post-curing* untuk hasil yang lebih baik - Konten *styrene* tinggi - Lebih mahal dari *polyester* - Penyusutan tinggi
Epoxy	- *Tensile strength* 85 Mpa - *Compressive* 106 Mpa - Ketahanan air baik - Waktu kerja yang cukup lama - Ketahanan temperatur mencapai 140ºC -220ºC - Penyusutan rendah	- Lebih mahal dari *vinylester* - Pencampuran yang sulit - Ketahanan korosi kurang

2.10 *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 2.16 *Interface Epoxy*-HGM[9]

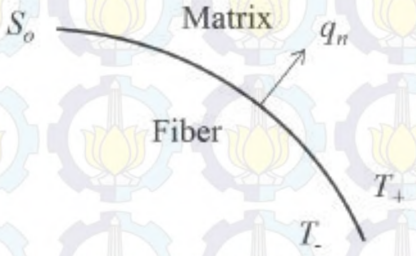
Pada gambar 2.16 terlihat pada komposit partikel luasan dan ketebalan *interface* antara partikel 2 dan *matrix* 1 merupakan faktor yang mempengaruhi kekuatan dan pola patahan pada sebuah komposit, jika *matrix* mampu mengikat seluruh luasan pada partikel penguat maka sifat mekanik pada komposit akan menjadi lebih baik.

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

Penambahan fraksi berat atau fraksi volume partikel penguat akan berpengaruh pada ikatan interface matriks dan penguat, dikarenakan matriks tidak dapat terdistribusi ke seluruh bagian dari penguat sehingga beban yang ditransfer menjadi tidak efisien. Penambahan partikel akan mereduksi jarak antar matriks dan partikel, sehingga adhesi pada permukaan partikel akan berkurang [20]. Adhesi pada *interface* mempengaruhi pola

patahan pada komposit yang mana akan menginisiasi pertumbuhan retak pada permukaan HGM. Pada HGM yang tidak berikatan dengan baik pada matriksnya, kerusakan akan terjadi pada bagian tengah ke sekitar partikel, dan pada partikel HGM yang berikatan baik pada matriks akan mengalami retak pada kutub-kutubnya setelah itu menyebar ke matriks diatas atau bawah partikel[21].

2.11 *Interface* Epoxy-*Fiber*



Gambar 2.17 *Interface Epoxy-fiber*[27]

Ikatan pada *matrix* dengan *reinforced* merupakan faktor penting yang mempengaruhi sifat mekanik pada komposit. Jika antara *matrix* dan *fiber* memiliki ikatan yang kuat maka sifat pada *reinforced* mampu digunakan secara maksimal dalam meningkatkan kekuatan dari *matrix* tersebut. Ikatan yang terjadi antara *matrix* dan *fiber* akan saling berhubungan baik secara fisik maupun secara mekanik, sehingga hubungan antara keduan unsur tersebut akan saling berhubungan. Saat terjadi *crack* pada *matrix* maka akan mempengaruhi kekuatan *interface* pada komposit.[27]

2.12 Rompi Anti Peluru

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

Gambar 2.18. Rompi Anti Peluru [24]

2.13 *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. ROMbisa digunakan untuk perhitungan kekuatan bending karena pada saat pengujian bending spesimen uji memiliki sifat isotropik yang memiliki gaya keseluruh arah sama besar. ROM menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

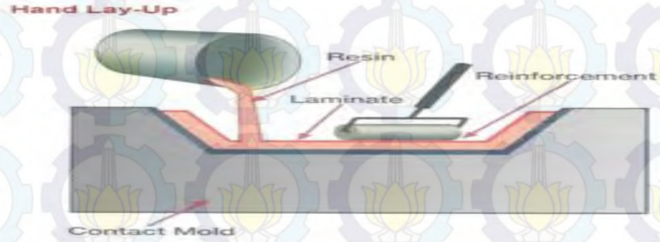
Komposit adalah suatu material yang terdiri dari gabungan antara dua atau lebih material penyusun yang sifatnya berbeda. Bahan material ini terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai bahan penguat (*reinforcement)* dan bahan pengikat (*matrix*). Bahan penguat memiliki kekuatan yang lebih

tinggi dibandingkan dengan bahan *matrix* sehingga komposit memiliki sifat gabungan dari material penyusunya.

2.14 Metode Manufaktur *Hand Lay Up*

Proses manufaktur bahan komposit dengan metrode *hand lay up* merupakan metode yang paling sederhana diantara metode-metode manufaktur bahan komposit yang lain. Dikatakan sederhana karena tekniknya sangat mudah di aplikasikan yaitu cairan resin dioleskan diatas sebuah cetakan dan kemudian serat layer pertama diletakkan diatasnya, kemudian dengan menggunakan *roller* / kuas resin kembali diratakan. Langkah ini dilakukan terus menerus hingga didapatkan ketebalan spesimen yang diinginkan.

Metode *hand lay up* biasanya memiliki waktu curing pada suhu kamar dan akan mengering hingga satu hari tergantung jumlah resin dan jenis resin serta katalis yang diberikan. Waktu curing bisa dipersingkat dengan menyemburkan udara panas. Secara umum metode *hand lay up* digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.19 Proses *Hand Lay Up* [18]

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

1. Biaya murah
2. Proses sederhana
3. Cetakan dapat digunakan berulang kali

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

1. Biasanya dipakai untuk *proto type* dengan skala besar
2. Karena proses curing terbuka maka (pada temperatur kamar) maka akan menimbulkan bau
3. Kualitas produk antar komponen tidak konsisten
4. Prosestidak bersih.

2.15 Perhitungan Komposit

2.15.1 Karakteristik Umum

Untuk memproduksi material komposit, perlu memperhitungkan fraksi volumeatau beratfraksi masing-masing penyusunnya untuk mendapatkan sifat mekanik yang diperlukan. Perhitungan yang diperlukan dijabarkan dibawah ini:

Fraksi volume total : $V_h+V_m=1$…………………(2.1)
Fraksi volumematriks : $V_m=v_m/v_c$…………………(2.2)
Fraksi volumepenguat : $V_h=v_h/v_c$…………………(2.3)
Fraksi berat total : Wh+Wm=1…………………(2.4)
Fraksi berat matriks : $W_m=w_m/w_c$…………………(2.5)
Fraksi berat penguat : $W_h=w_f/w_c$…………………(2.6)

Dari persamaan 2.1-2.6, didapatkan: Vc= Vm+Vh

Keterangan:

m = matriks (*epoxy*)
h =*Hollow Glass Microsphere*HGM
c =komposit
V = Fraksi volume
W =berat fraksi
v =volume (m^3)
w =berat (kg)

2.15.2 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:

Massa h = ρh Vh………..…………(2.7)

Massa m = ρm Vm………………..(2.8)

Dimana:

Vh = volume penguat

Vm = volume matriks

Wh = berat penguat

Wm = berat matriks

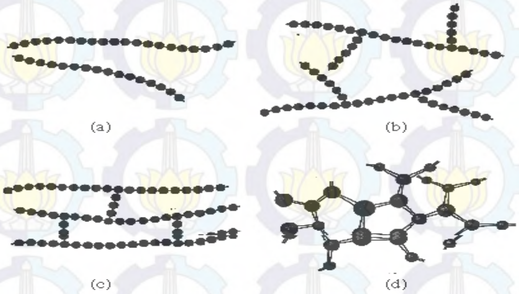
2.16 Proses *Curing*

Inti dari mekanisme *curing* material termoset ialah bagaimana proses *crosslink* dapat terjadi. Reaksi *crosslink* pada resin *epoxy* diharapkan terjadi pada saat campuran resin dan penguat telah dimasukkan ke dalam cetakan. *Curing* (*crosslinking*) dapat terjadi pada temperatur tinggi (100 °C) seperti pada proses *pressure molding* atau pada temperatur ruang pada proses *hand lay-up*. Proses yang terjadi adalah molekul yang berukuran sedang saling berikatan membentuk ikatan molekul yang lebih besar[6]. 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 dan akan menurunkan modulus elastisitasnya sehingga material akan lebih kaku. Saat proses *curing* dilakukan pada temperatur tinggi, maka material molekul–molekul resin akan menerima lebih banyak energi. Hal ini menyebabkan meningkatnya pergerakan molekul–molekul sehingga molekul tersebut akan memiliki banyak

waktu untuk membentuk susunan rantai *polymer* yang lebih teratur.

Proses *curing* yang sempurna dapat terjadi pada temperatur tinggi. Seiring dengan meningkatnya temperatur, maka aktivitas molekul dan polimerisasi juga meningkat. Sehingga derajat kristalinitasnya akan meningkat pula. Meningkatnya derajat kristalinitas menyebabkan fase *rubber* akan berubah menjadi fase *glass* yang lebih kuat dan rapuh. Polimerisasi merupakan suatu jenis reaksi kimia dimana monomer-monomer bereaksi untuk membentuk rantai yang besar. Tipe rantai polimer dapat dilihat pada gambar 2.20.



Gambar 2.20 Tipe Rantai Polimer (a) *Linear,* (b) *Branched,* (c) *Cross-linked,* (d) *network*[11]

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

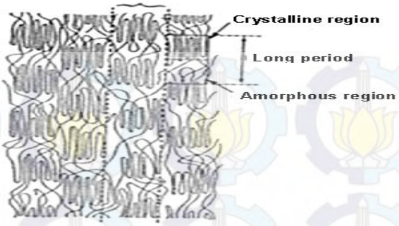
Chemical name	Glass-transition temperature (T_g)		Melting temperature (T_m)	
	°C	°F	°C	°F
Thermoset resins				
Amino resins (melamine-formaldehyde)	None(b)	None(b)	...	...
Bismaleimide	230–345(c)	450–650(c)	...	...
Epoxy resins	60–175	140–350	...	...
Phenolic resins	300	570	...	...
Polyester resins	110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

Gambar 2.21 Data Tg dari *epoxy* resin menurut jurnal *"Characterization and Failure Analysis of Plastics"* oleh ASM International diterbitkan pada Desember 2003 pada halaman 117 [13]

Dari gambar 2.21 dapat diketahui bahwa Tg *Epoxy* resin adalah 60-175°C atau sekitar 140-350°F. Pada penelitian yang dilakukan oleh Fachmi Yuni Arista, 2013[19]menunjukkan bahwa dari hasil pengujian *Differential Scanning Calorimetry*, temperatur transisi dari komposit *epoxy-hollow glass microspheres* akan meningkat bila penambahan HGM semakin banyak. Diketahui bahwa komposit dengan penambahan fraksi volume HGM sebanyak 15% memiliki temperatur transisi sebesar 117,46°C dan untuk penambahan 20% fraksi volume HGM memiliki temperatur transisi lebih tinggi yaitu sebesar 127,98°C. Hal ini terjadi karena *epoxy* yang memiliki Tg 75,27°C dikombinasikan dengan HGM yang memiliki Tg lebih tinggi yaitu 167,92°C sehingga komposit menghasilkan nilai Tg dari campuran keduanya. Hal ini menunjukkan bahwa material komposit epoxy-HGM dapat bekerja pada kondisi temperatur lebih tinggi dari pada *epoxy*.

2.17 *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 2.22 Struktur *Semicristaline* Pada Polimer[12]

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

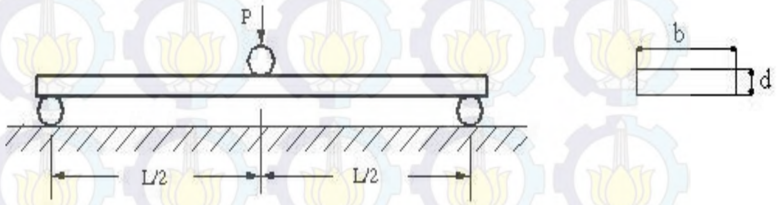
Beberapa hal yang akan berpengaruh pembentukan *cristalinity* yaitu :

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

2.18 Pengujian *Bending*

Merupakanpengujian yang dilakukan terhadap suatu material untuk mengetahui karakteristik mekanik dari material tersebut. Pengujian *three point bending* dilakukan untuk mengetahui kekuatan lentur (*flexural stiffness*) komposit. Pengujian ini dilakukan dengan cara batang spesimen disangga di kedua sisi dan di berikan beban diantara 2 penyangga tersebut sampai spesiment tersebut rusak / patah.

Idealnya spesimen uji akan mengalami kegagalan retak (*fracture*) akibat beban geser (*shear*). Pada bagian atas spesimen mengalami beban tekan dan pada bagian bawah spesimen mengalami beban Tarik. Pengujian berdasarkan stándar ASTM D 790.



Gambar 2.23 Pembebanan Pada Uji *Three Point Bending [16]*

Pada pengujian bending dengan metode *three point bending* digunakan persamaan yang sesuai dengan ASTM D790, yaitu :

$$S = \frac{3PL}{2bd^2} \qquad \text{...(2.10)}$$

Dimana :

S = Tegangan bending (MPa)
P = Beban (N)
L = Panjang Span (mm)
b = Lebar (mm)
d = Tebal (mm)

sedangkan untuk mencari modulus elastisitas bending dapat digunakan persamaan

$\delta max = \frac{PL^3}{48EI}$ ....(2.11)

$I = \frac{bh^3}{12}$ ....(2.12)

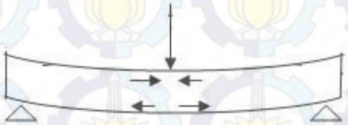
Sehingga,

$E = \frac{PL^3}{48\, I\, \delta max}$..(2.13)

Dimana :

E = Modulus elastisitas bending (MPa)
L = Panjang Span (mm)
δ_{maks} = Defleksi maksimum (mm)
h = Tebal (mm)
b = lebar (mm)

Pada spesimen bending, umumnya kerusakan yang terjadi akibat adanya gaya tekan dan gaya tarik yang terjadi pada komposit. Pada bagian atas komposit mengalami gaya tekan akibat beban yang diberikan oleh mesin, pada sisi bawah komposit mengalami gaya tarik akibat defleksi yang terjadi setelah komposit diberi beban. Dengan beban yang terus diterima oleh komposit maka akan terjadi gaya geser sebelum terjadi kegagalan pada komposit tersebut. Gaya geser yang terjadi pada interlaminer menyebabkan delaminasi pada komposit tersebut, sehingga mengakibatkan kegagalan pada spesimen bending.

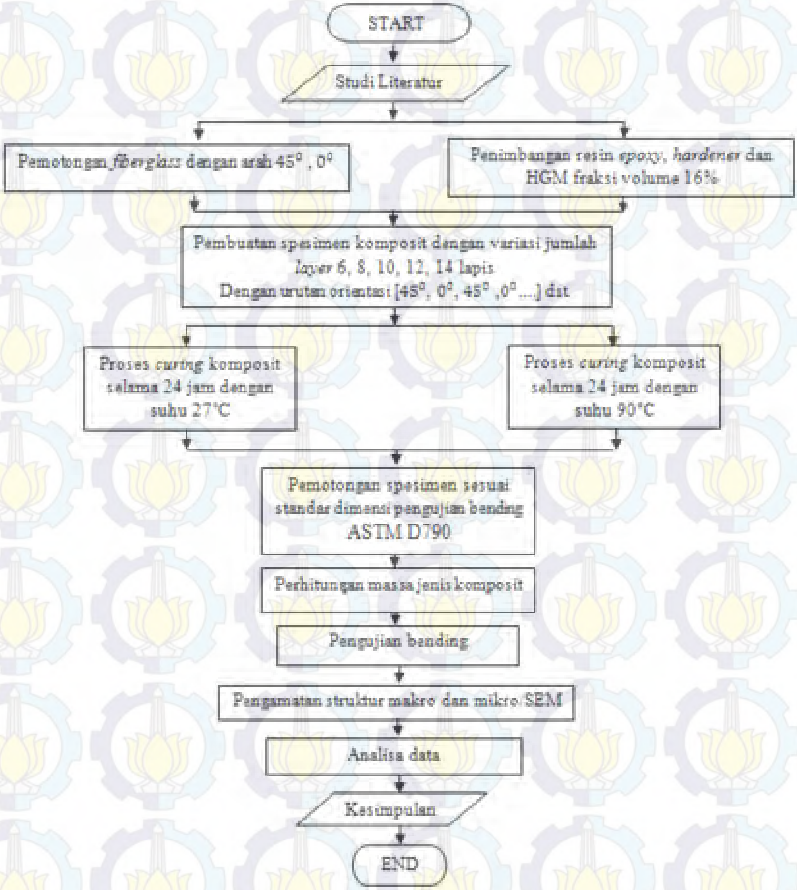


Gambar 2.24 Mekanisme Kegagalan Pada Spesimen *Bending* [17]

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dari penelitian ini sebagai berikut:

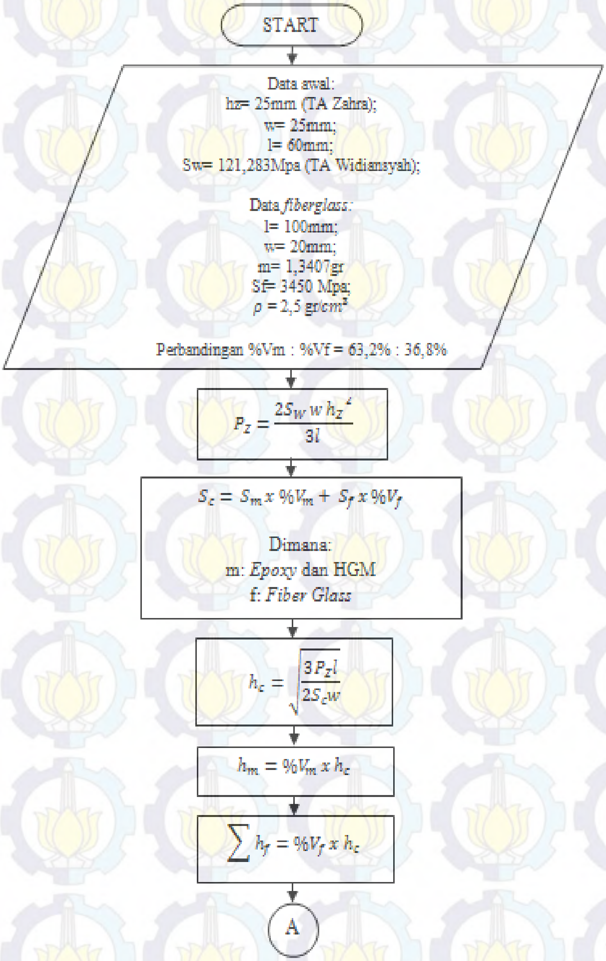


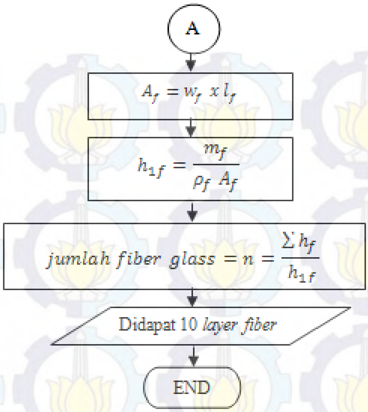
Gambar 3.1 Skema Diagram Alir Penelitian

3.2 Persiapan Spesimen

3.2.1 Diagram Alir Perhitungan Penentuan Lapisan

Diagram alir dari perhitungan ini sebagai berikut:





Gambar 3.2 *Flowchart* Perhitungan Lapisan

3.2.1.1 Contoh Perhitungan Lapisan

- Diketahui data awal :

  h_Z = 25 mm (Tugas Akhir Zahrah)
  S_m = 121,283 MPa (Tugas Akhir Widiansyah)
  w = 25 mm
  L = 60 mm;

  Data *glass fiber*:
  L = 100 mm
  w = 20 mm
  m = 1,3407 gr = 0.0013407 kg
  S_f = 3450 MPa
  ρ_f = 2,5 gr/cm^3 = 2500 kg/m^3

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

C = Komposit

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

$$P_Z = \frac{2S_W\ w\ h_Z}{3L} = \frac{2 \times 121{,}283 \times 25 \times 25}{3 \times 60}$$
$$= 21056{,}128\ N$$

- Menghitung tegangan komposit berdasarkan rumus ROM (S_C) :

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

- Mencari tebal komposit (h_C) :

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

- Mencari tebal resin + HGM (h_M) :

$$h_m = \%V_m \times h_c = 63{,}2\% \times 7{,}503\ mm = 4.742\ mm$$

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

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

- Mencari luasan *glass fiber* (A_f) :

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

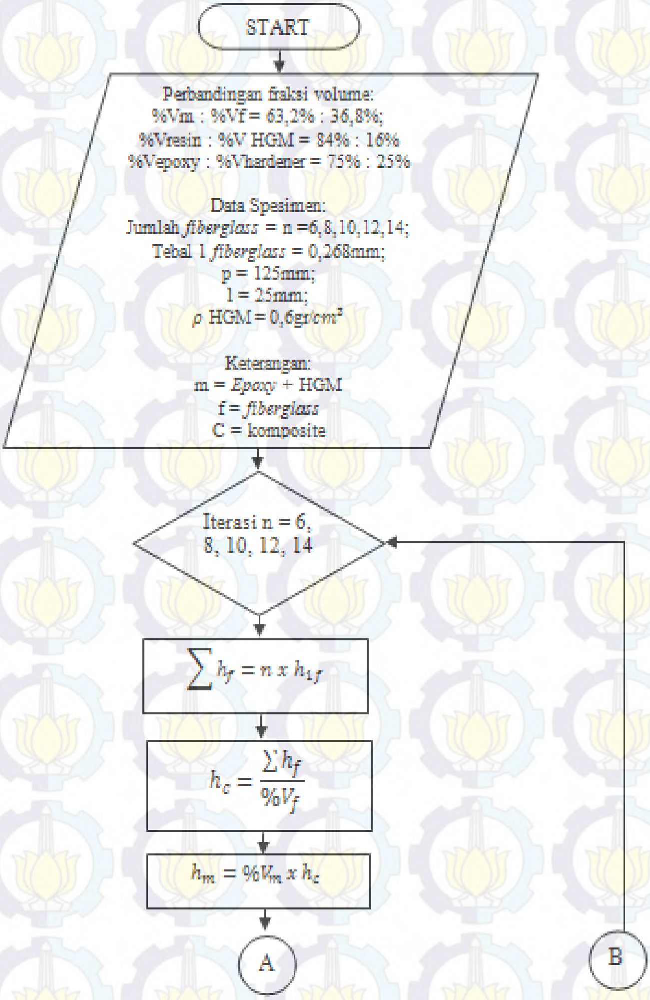
- Mencari tebal 1 *glass fiber* (h_{1f}) :

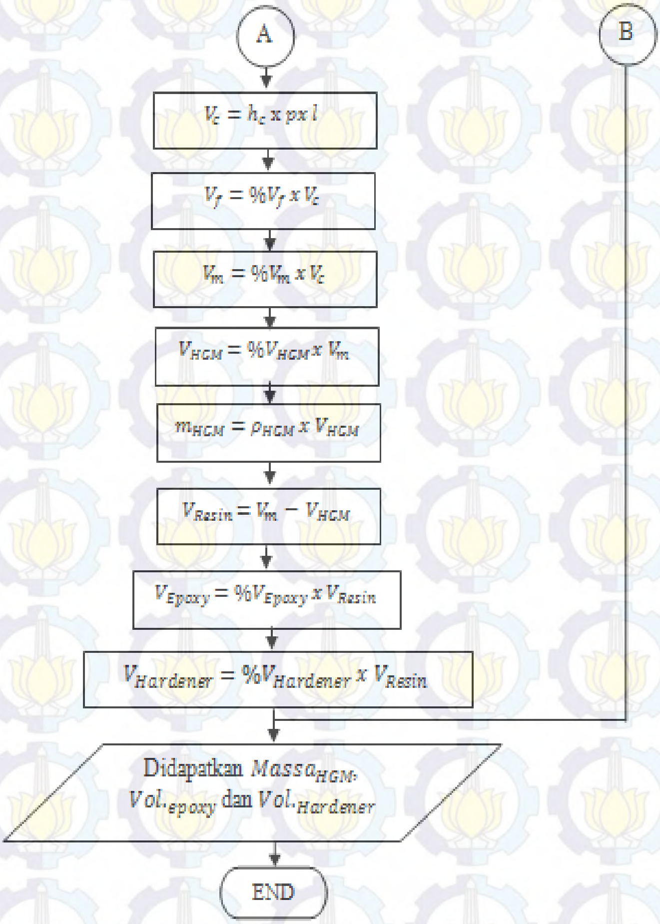
$$h_{1f} = \frac{m_f}{\rho_f\ A_f} = \frac{0.0013407}{2500 \times 0{,}002} = 0{,}00026814\ m$$
$$= 0{,}268\ mm$$

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

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

3.2.2 Diagram Alir Perhitungan Spesimen





Gambar 3.3 *Flowchart* Perhitungan Spesimen

3.2.2.1 Contoh Perhitungan Spesimen

- Diketahui:
  Perbandingan fraksi volume :
  $\%V_M : \%V_f = 63{,}2\% : 36{,}8\%$
  $\%V_{Resin} : \%V_{HGM} = 84\% : 16\%$
  $\%V_{Epoxy} : \%V_{Hardener} = 75\% : 25\%$
  Data Spesimen:
  Jumlah glass fiber = n = 6, 8, 10, 12, 14
  Tebal 1 *glass fiber* (h_{1f}) = 0,268 mm
  p = 150 mm;
  l = 25 mm;
  ρ hgm = 0,6 gr/cm³

  Keterangan:
  m = *Epoxy* + HGM
  f = *glass fiber*
  C = Komposit
- Contoh perhitungan menggunakan jumlah lapisan glass fiber (n) = 6
- Menghitung tebal total *glass fiber* specimen
  $\sum h_f = n \times h_{1f} = 6 \times 0{,}268 = 1.608\ mm$
- Menghitung tebal komposit specimen
  $h_c = \frac{\sum h_f}{\%V_f} = \frac{1{,}608}{36{,}8\%} = 4.372\ mm$
- Menghitung tebal resin + HGM (h_m)
  $h_m = \%V_m \times h_c = 63{,}2\% \times 4{,}372 = 2.763\ mm$
- Menghitung volume komposit specimen (V_C) :
  $V_C = h_C \times p \times l = 4{,}372 \times 125 \times 25$
  $= 13662{,}024\ mm^3$

- Menghitung volume *glass fiber* (V_f) :
  $V_f = \%V_f \times V_C = 36{,}8\% \times 13662{,}024$
  $= 5027{,}625\ mm^3$
- Menghitung volume Epoxy + HGM (V_m) :

$$V_m = \%V_m \times V_C = 63{,}2\% \times 13662{,}024$$
$$= 8634{,}399\ mm^3$$

- Menghitung volume HGM (V_{HGM}) :
$$V_{HGM} = \%V_{HGM} \times V_m = 16\% \times 8634{,}399$$
$$= 1381{,}50\ mm^3$$
- Menghitung massa HGM (m_{HGM}) :
$$m_{HGM} = \rho_{HGM} \times V_{HGM} = 0{,}6 \times \frac{1381{,}50}{1000} = 0{,}828\ gr$$
- Menghitung volume Epoxy dan Hardener (V_{Resin}) :
$$V_{Resin} = V_m - V_{HGM} = 8634{,}399 - 1381{,}50$$
$$= 7252{,}895\ mm^3$$
- Menghitung volume Epoxy (V_{Epoxy}) :
$$V_{Epoxy} = \%V_{Epoxy} \times V_{Resin} = 75\% \times 7252{,}895$$
$$= 5439{,}671\ mm^3$$
- Menghitung volume Hardener ($V_{Hardener}$) :
$$V_{Hardener} = \%V_{Hardener} \times V_{Resin} = 25\% \times 7252{,}895$$
$$= 1813{,}223\ mm^3$$
- Merubah volume Epoxy menjadi ml
$$\frac{V_{Epoxy}}{10^6} = \frac{5439{,}671}{10^6} = 0{,}005439\ L = 5{,}439\ ml$$
- Merubah volume Hardener menjadi ml
$$\frac{V_{Hardener}}{10^6} = \frac{1813{,}223}{10^6} = 0{,}001813\ L = 1{,}813\ ml$$

3.2.3 Perhitungan Volume Komposit dan Volume *Fiberglass*

Berikut adalah tabel dari hasil perhitungan volume komposit dan *fiberglass* pada setiap variasi jumlah lapisan *fiberglass*:

Tabel 3.1.1 Tabel Perhitungan Volume Komposit dan Volume *Fiberglass*

Jumlah *Fiber Glass*	*Matrix* (%)	*Fiberglass* (%)	Tebal Matrix (mm)	Tebal *Fiberglass* (mm)	Tebal Komposit (mm)
6	63.2	36.8	2.763	1.608	4.371
8	63.2	36.8	3.684	2.145	5.829
10	63.2	36.8	4.742	2.761	7.503
12	63.2	36.8	5.526	3.217	8.743
14	63.2	36.8	6.447	3.753	10.200

Tabel 3.1.2 Tabel Perhitungan Volume Komposit dan Volume *Fiberglass*

Jumlah *Fiber Glass*	Panjang Spesimen (mm)	Lebar Spesimen (mm)	Volume *Matrix* (mm^3)	Volume *Fiber* (mm^3)	Volume *Komposit* (mm^3)
6	125	25	8634,39	5027,62	13662,02
8	125	25	11512,53	6703,5	18216,03
10	125	25	14819,87	8629,29	23449,17
12	125	25	17268,79	10055,25	27324,04
14	125	25	20146,93	11731,12	31878,05

3.2.4 Perhitungan Volume Resin dan Volume *Hollow Glass Michrospheres*

Berikut adalah tabel dari hasil perhitungan volume resin dan *Hollow Glass Michrospheres* pada setiap variasi jumlah lapisan *fiberglass*:

Tabel 3.2 Tabel Perhitungan Volume Resin dan Volume *Hollow Glass Michrospheres*

Jumlah *Fiber Glass`*	HGM (%)	Resin (%)	Volume HGM (mm^3)	Volume Resin (mm^3)
6	16	84	1381,50	7252,89
8	16	84	1842,00	9670,52
10	16	84	2371,18	12448,69
12	16	84	2763,00	14505,79
14	16	84	3223,50	16923,42

3.2.5 Perhitungan Volume *Epoxy* dan Volume *Hardener*

Berikut adalah tabel dari hasil perhitungan volume *Epoxy* dan *Hardener* pada setiap variasi jumlah lapisan *fiberglass*:

Tabel 3.3 Tabel Perhitungan Volume *Epoxy* dan Volume *Hardener*

Jumlah *Fiber Glass`*	*Epoxy* (%)	*Hardener* (%)	Volume *Epoxy* (mm^3)	Volume *Hardener* (mm^3)	Volume *Epoxy* (*L*)	Volume *Hardener* (*L*)	Volume *Epoxy* (*ml*)	Volume *Hardener* (*ml*)
6	75	25	5439,67	1813,22	0,0054	0,0018	5,43	1,81
8	75	25	7252,89	2417,63	0,0072	0,0024	7,25	2,41
10	75	25	9336,52	3112,17	0,0093	0,0031	9,33	3,11
12	75	25	10879,34	3626,44	0,0108	0,0036	10,87	3,62
14	75	25	12692,56	4230,85	0,0126	0,0042	12,69	4,23

3.2.6 Perhitungan Berat dan *Density*

Berikut adalah tabel dari hasil perhitungan berat *Epoxy*, *Hardener*, HGM, dan *Fiberglass* secara teori:

Tabel 3.4 Tabel Perhitungan Berat dan *Density* Teori

Jumlah *Fiber Glass*	Berat *Fiberglass* (gr)	Berat *Epoxy* (gr)	Berat *Hardener* (gr)	Berat HGM (gr)	Berat Komposit (gr)	*Density* Komposit ($^{gr}/_{cm^3}$)
6	12,5	6,10	1,97	0,82	21,4	1,57
8	16,7	8,14	2,63	1,10	28,6	1,57
10	21,5	10,48	3,39	1,42	36,8	1,57
12	25,1	12,21	3,95	1,65	42,9	1,57
14	29,3	14,24	4,61	1,93	50,1	1,57

Dimana:
ρ *Hollow Glass Microspheres* : 0,6 (gr/cm^3)
ρ *Fiberglass* : 2,5 (gr/cm^3)
ρ *Epoxy* : 1,12 (gr/cm^3)
ρ *Hardener* : 0,917 (gr/cm^3)

3.3 Material

Pada penelitian ini komposit dibuat menggunakan *matrix epoxy* dengan *fiber glass* jenis *woven roving*. Dalam pembuatannya, digunakan perbandingan fraksi volume resin dengan serat yaitu 63,2% : 36,8%

Laminate dibuat dengan arah serat 0^0/ 90^0 dan 45^0/ -45^0 dengan variasi lapisan sebanyak 6, 8, 10, 12, 14 lapis. Perbandingan fraksi volume *Epoxy* resin : *Hardener* adalah 75% : 25%. Dengan fraksi volume HGM konstan pada 16%. Berikut bahan-bahan yang digunakan untuk membuat komposit:

1. *Epoxy* resin *adhesives* dan *hardener*

Resin yang digunakan pada penelitian ini adalah resin jenis *Epoxy* merk UNION. Untuk solidifikasi, resin *epoxy* dicampurkan dengan hardener. Resin *Epoxy* dan *Hardene*r ditunjukkan pada gambar 3.4 sebagai berikut:

Gambar 3.4 Resin *Epoxy* dan *Hardener*

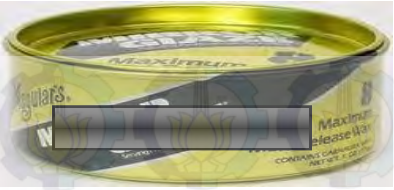
2. *Hollow Glass Microspheres*

Hollow Glass Microspheres (HGM) yang digunakan adalah HGM produksi oleh 3M dengan jenis iM30K. HGM ini mempunyai massa jenis 0,6 g/cc dan mampu menahan beban sampai 28.000 psi. HGM iM30K ditunjukkan pada gambar 3.5 sebagai berikut:

Gambar 3.5 HGM jenis iM30K

3. *Wax*

Wax digunakan agar komposit dapat dilepaskan dari cetakan. *Wax* yang dipakai adalah *mirror glaze*. *Wax* ditunjukkan pada gambar 3.6 sebagai berikut:



Gambar 3.6 *Wax*

4. *Fiberglass*

Serat fiberglass *Woven Roving* (WR 400)

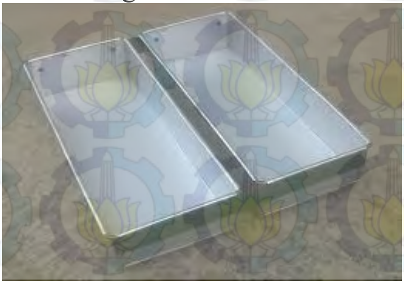
Gambar 3.7 *Fiber Glass*

3.4 Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Cetakan Komposit

   Komposit dicetak dengan menggunakan cetakan loyang agar tidak terjadi kebocoran. Cetakan ditunjukkan pada gambar 3.8 sebagai berikut:



Gambar 3.8 Cetakan Loyang

2. *Furnace*

Furnace digunakan untuk proses *curing* dan *post-curing* pada suhu 90°C. *Furnace* yang digunakan adalah milik Teknik Mesin ITS Surabaya. *Furnace* ditunjukkan pada gambar 3.9 sebagai berikut:

Gambar 3.9 *Furnace* konvensional

3. Termokopel

Termokopel digunakan untuk mengetahui suhu pada *furnace*. Termokopel ditunjukkan pada gambar 3.10 sebagai berikut:

Gambar 3.10 Termokopel

4. Mesin Uji Bending

Mesin uji bending menggunakan mesin uji Shimadzu AG-X milik Teknik Sipil ITS Surabaya. Mesin uji bending ditunjukkan pada gambar 3.11 sebagai berikut:

Gambar 3.11 Mesin Uji Bending Shimadzu AG-X

5. Mikroskop Stereo Zeiss STEMI DV4

Mikroskop Stereo Zeiss STEMI DV4 digunakan untuk pengamatan makro pada spesimen setelah pengujian. Mikroskop Stereo Zeiss STEMI DV4 ditunjukkan pada gambar 3.12 sebagai berikut:

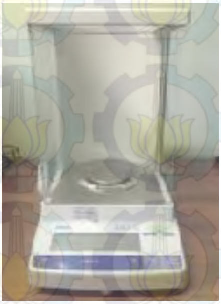
Gambar 3.12 Mikroskop Stereo Zeiss STEMI DV4

6. *Scanning Electron Microscope* Carl Zeiss EVO MA 10

   Scanning electron microscope milik UNESA digunakan untuk melihat persebaran HGM pada spesimen. Alat ini ditunjukkan pada gambar 3.13 sebagai berikut:

Gambar 3.13 *Scanning Electron Microscope* Zeiss EVO MA 10

7. Alat bantu: gerinda, kapi, sumpit, *C-clamp*.
8. Alat ukur: timbangan digital, jangka sorong, gelas ukur kaca.



Gambar 3.14 Timbangan Digital

9. Alat keselamatan: sarung tangan dan masker.

3.5 Langkah-langkah Percobaan

3.5.1 Pembentukan Komposit

Penelitian ini menggunakan matriks *Epoxy* resin dengan penguat *Hollow Glass Microsphere* jenis iM30K, dan *fiber glass WR* (400).

Proses pembuatan komposit sebagai berikut:

1. Serat kaca dipotong menggunakan gunting tangan sesuai dengan ukuran cetakan.
2. Cetakan yang berbentuk bingkai dari loyan dimensi 200x120x50mm dibersihkan dan dilapisi dengan wax secara merata, Hal ini bertujuan agar komposit mudah dilepas dari cetakan ketika material telah jadi.
3. *Epoxy* resin , *Hardener* dan *Hollow Glass Microsphere* diukur sesuai dengan perbandingan volume variasi pada tabel 3.2 dan tabel 3.3. Kemudian epoxy resin dan hardener diaduk hingga merata selama kurang lebih 15 menit, setelah itu HGM dimasukkan ke dalam campuran dan diaduk kembali selama kurang lebih 15 menit agar campuran *epoxy* resin – HGM merata serta mengurangi porositas pada hasil komposit tersebut.
4. Campuran dioleskan pada setiap *layer fiberglass* dengan urutan orientasi arah serat $45^0/0^0/45^0/0^0/45^0/0^0$...dst.
5. Variasi yang menggunakan temperatur 90°C dimasukan kedalam *furnace* dengan suhu 90°C dan dibiarkan selama 24 jam dan untuk variasi menggunakan temperatur ruang (27°C) dibiarkan dalam cetakan untuk menjalani proses *curing* selama 24 jam.
6. Setelah 24 jam *furnace* dimatikan dan komposit dibiarkan di dalam hingga temperatur *furnace* turun sampai temperatur ruang.
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 dan gergaji sesuai dengan standart pengujian ASTM D790. 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 bending, spesimen uji akan dihitung massa jenisnya. Untuk perhitungan berat akan menggunakan timbangan digital dan untuk perhitungan volume akan menggunakan teori dasar Archimedes yaitu dengan memanfaatkan bertambahnya volume air ketika ditambahkan benda lain kedalam volume air tersebut.

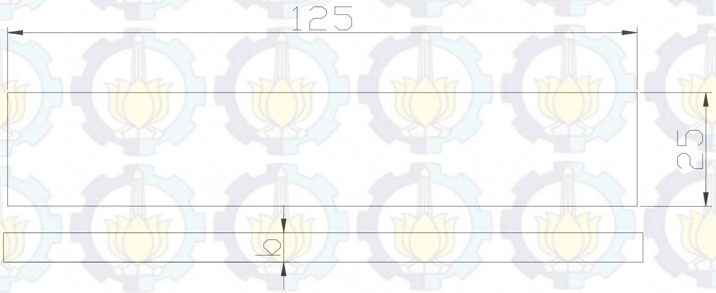
Setelah spesimen ditimbang dan didapatkan beratnya spesimen akan dimasukkan kedalam gelas ukur dengan volume air 150 ml didalamnya, maka akan didapatkan peningkatan volume air pada gelas ukur. Peningkatan tersebut akan dikurangi volume air awal dan didapatkan besar volume spesimen tersebut.

3.7 Pelaksanaan Uji Spesimen

3.7.1 Spesimen Uji Bending

Pembuatan spesimen uji bending berdasarkan standar dari "*Standard Test Method for Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*" D 790[15] yang dikeluarkan oleh ASTM. Bentuk dan ukuran spesimen uji bending sesuai dengan gambar 3.13. Mesin uji bending yang digunakan adalah

Shimadzu AG-X dengan kapasitas maksimum 5 KN untuk pengujian spesimen. Hasil dari pengujian adalah berupa grafik P-ΔL yang diperoleh dari mesin uji bending serta kekuatan bending dan defleksi

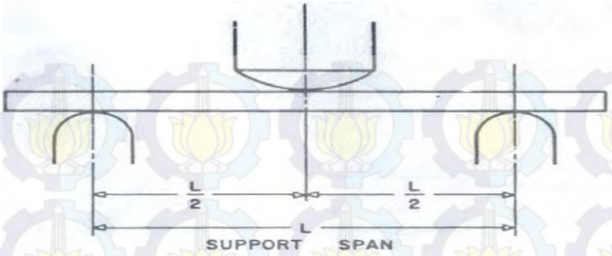


Gambar 3.15 Spesimen Uji Bending (dimensi dalam mm)

3.7.2 Prosedur Uji Bending

Prosedur pengujian bending yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Masing-masing specimen diberi label sesuai variabel yang digunakan.
2. Pencatatan dimensi awal dari spesimen, yaitu:
   - Panjang awal (L_0)
   - lebar(b)
   - tebal (h)
3. Memasang specimen pada posisi tengah antara kedua lengan tumpuan.
4. Pembebanan pada specimen hingga patah.
5. Setelah patah, specimen diambil.
6. Pencatatan data yang didapatkan berupa kekuatan bending dan defleksi pada tabel 3.4.



Gambar 3.16 Sketsa Pengujian Bending (dimensi dalam mm)

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Spesimen Uji

Berikut adalah hasil dari pengukuran material komposit *Epoxy*, *Hollow Glass Microspheres* dan *Fiberglass* ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Material Komposit *Epoxy*, HGM, *Fiberglass Curing* Temperatur 27°C Selama 24 Jam

Kode Spesimen	Jumlah *Fiber Glass*	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Volume (ml)	Berat (gr)	Massa Jenis (ρ)	Temperature *curing* (°C)
A6	6	125	26	4,2	13,6	20	1,47	27
		126	26	4,2				
		125	25	4,3				
A8	8	126	26	5,4	18	26,4	1,47	
		125	26	5,5				
		125	25	5,7				
A10	10	126	26	7,1	23,3	35,4	1,51	
		125	26	7,1				
		125	25	7,4				
A12	12	125	25	8,5	26,6	40	1,5	
		125	25	8,3				
		125	26	8,1				
A14	14	126	25	9,9	31,6	47,6	1,49	
		125	25	10,1				
		125	26	9,7				

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Material Komposit *Epoxy*, HGM, *Fiberglass Curing* Temperatur 90°C Selama 24 Jam

Kode Spesimen	Jumlah *Fiber Glass*	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Volume (ml)	Berat (gr)	Massa Jenis (ρ)	Temperature *curing* (°C)
B6	6	125	26	3,7	12,3	18,5	1,50	90
		125	26	3,8				
		126	26	3,7				
B8	8	125	26	5,1	16,6	25,2	1,51	
		125	25	5,1				
		126	25	5,3				
B10	10	126	26	6,8	22,6	34,8	1,53	
		126	26	7,0				
		125	25	7,3				
B12	12	126	26	8,3	26,6	40,9	1,53	
		126	26	8,2				
		125	26	8,1				
B14	14	126	26	9,7	31,3	47,3	1,51	
		126	26	9,5				
		125	26	9,5				

Dimana :
Kode A = Spesimen *curing* temperatur 27ºC selama 24 jam.
Kode B = Spesimen *curing* temperatur 90ºC selama 24 jam.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Berat Eksperimen Material Komposit *Epoxy*, HGM, *Fiberglass Curing* Temperatur 27°C Selama 24 Jam

Jumlah *Fiber Glass`*	Berat *Fiberglass* (gr)	Berat *Epoxy* (gr)	Berat *Hardener* (gr)	Berat HGM (gr)
6	12,5	6,10	1,66	0,83
8	16,7	8,04	2,19	1,09
10	21,5	10,43	2,83	1,41
12	25,1	11,92	3,24	1,61
14	29,3	14,15	3,85	1,92

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Berat Eksperimen Material Komposit *Epoxy*, HGM, *Fiberglass Curing* Temperatur 90°C Selama 24 Jam

Jumlah *Fiber Glass*	Berat *Fiberglass* (gr)	Berat *Epoxy* (gr)	Berat *Hardener* (gr)	Berat HGM (gr)
6	12,5	5,51	1,50	0,76
8	16,7	7,45	2,02	1,01
10	21,5	10,13	2,75	1,37
12	25,1	11,92	3,24	1,61
14	29,3	14,0	3,81	1,90

4.2 Data Hasil Pengujian *Bending* Komposit

Berikut merupakan data hasil pengujian dari bending *Epoxy, Hollow Glass Microspheres,* dan *Fiberglass*:

Tabel 4.5 Hasil Uji *Bending* Komposit *Epoxy*, HGM, *Fiberglass Curing* Temperatur 27°C Selama 24 Jam

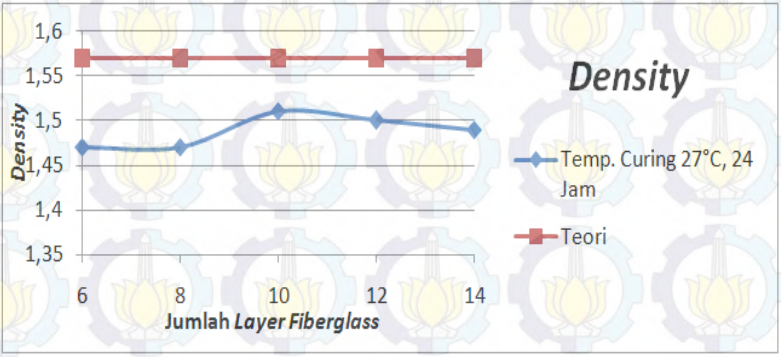
Kode Spesimen	Jumlah *Fiber Glass*	P (KN)	ΔL (mm)	Tegangan Bending (MPa)	
				Hasil	Rata-rata
A6	6	1,2	5	154,9	152,8
		1,2	4,5	149,9	
		1,3	4,3	151,7	
A8	8	1,8	3,3	156,1	153,4
		1,9	2,9	152,2	
		2,0	3,5	153,4	
A10	10	2,7	2,8	154,6	155,6
		2,5	2,8	156,6	
		2,5	2,8	155,4	
A12	12	3,5	3,5	153,8	154,5
		3,9	2,5	158,9	
		3,6	3,5	150,2	
A14	14	4,9	2,4	157,5	154,1
		5,0	2,5	152,5	
		4,9	3,1	153,1	

Tabel 4.6 Hasil Uji *Bending* Komposit *Epoxy*, HGM, *Fiberglass Curing* Temperatur 90°C Selama 24 Jam.

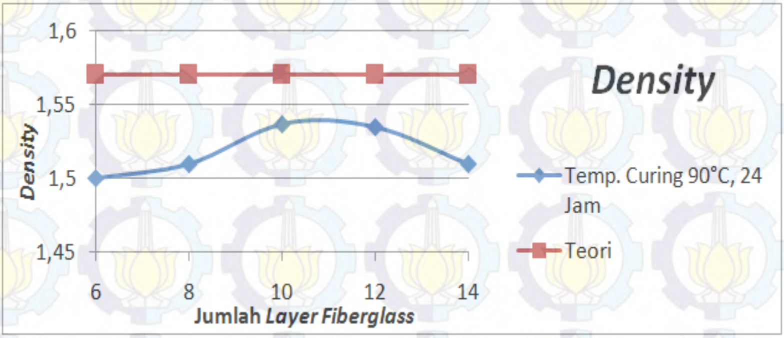
Kode Spesimen	Jumlah *Fiber Glass*	P (KN)	ΔL (mm)	Tegangan Bending (MPa)	
				Hasil	Rata-rata
B6	6	0,8	4,3	176,9	174,3
		0,9	4,0	174,8	
		0,8	4,1	172,1	
B8	8	1,6	3,3	189,8	185,6
		1,6	3,5	183,5	
		1,7	3,7	183,1	
B10	10	3,1	3,5	193,6	192,6
		2,9	3,1	192,3	
		2,9	3,5	190,0	
B12	12	4,9	2,9	188,5	189,8
		5,1	2,6	191,7	
		4,2	4,0	189,1	
B14	14	6,2	2,3	190,7	188,6
		6,3	2,2	188,1	
		6,0	2,2	186,6	

Dimana :
Kode A = Spesimen *curing* temperatur 27ºC selama 24 jam.
Kode B = Spesimen *curing* temperatur 90ºC selama 24 jam.

4.3 Pembahasan Pengaruh Variasi Jumlah Penambahan *Fiberglass* Terhadap *Density* Komposit



(a)



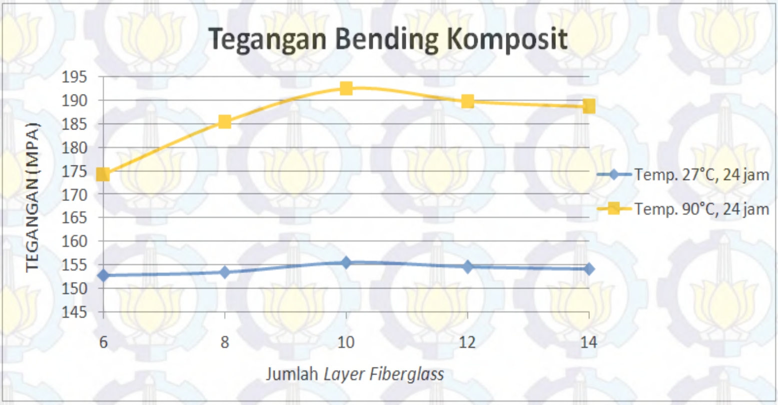
(b)

Gambar 4.1 Grafik *density* material (a) Temperatur *curing* 27°C selama 24 jam, (b) Temperatur *curing* 90°C selama 24 jam

Dari gambar 4.1 diatas, kita dapat melihat terjadi perbedaan hasil antara nilai *density* secara teoritis dengan nilai *density* material eksperimen. Pada hasil perhitungan nilai *density* secara teoritis menunjukan nilai *density* konstan seiring dengan pertambahan jumlah *fiberglass*, berbeda dengan hasil dari nilai

eksperimen yang menunjukkan bahwa nilai *density* dari komposit naik pada penambahan julah lapisan 6 - 10 lapis dan selanjutnya menurun sampai pada jumlah lapisan 14. Hasil dari eksperimen pembuatan material yang paling mendekati nilai *density* secara teoritis adalah pada jumlah lapisan 10 sedangkan seharusnya nilai dari *density* seluruh material adalah konstan. Hal tersebut terjadi dikarenakan pada perhitungan secara teoritis pembuatan material komposit dalam kondisi yang ideal, sedangkan pada pembuatan secara eksperimen dimungkinkan terjadi beberapa penyimpangan. Penyimpangan dari hasil eksperimen dan teoritis disebabkan karena pada praktiknya tidak dijumpai asumsi seperti yang digunakan pada teoritis sehingga material eksperimen tidak berada pada kondisi yang ideal, seperti adanya void yang terjadi saat pembuatan material, kurang meratanya jumlah *matrix* yang ada pada komposit dan HGM yang tidak terdistibusi secara merata pada saat proses pembuatan sehingga dapat mengakibatkan terjaadinya perbedaan berat komposit. Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya beberapa penyimpangan berat dari masing – masing unsur penyusun komposit yang terdapat pada tabel 4.3 – 4.4. Dapat kita lihat adanya perbedaan antara perhitungan berat secara eksperimen dan perhitungan berat secara teoritis.

4.4 Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Tegangan *Bending* Komposit.



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

Komposit A merupakan komposit dengan perlakuan *curing* pada temperature 27°C selama 24 jam, komposit B merupakan komposit dengan perlakuan *curing* temperatur 90°C selama 24 jam. Grafik pada gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara tegangan bending komposit terhadap penambahan jumlah lapisan *fiberglass*. Terlihat bahwa komposit dengan perlakuan curing 90°C selama 24 jam memiliki tegangan bending lebih tinggi dibandingkan komposit dengan perlakuan *curing* temperatur 27°C selama 24 jam.

Dari hasil pengujian bending pada gambar 4.2, komposit dengan perlakuan *curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam mengalami kenaikan tegangan bending komposit Epoxy, HGM, dan *Fiberglass* pada penambahan jumlah *fiberglass* sebanyak 6 lapis hingga 10 lapis. Kemudian tegangan bending mengalami penurunan pada penambahan lapisan 12 lapis hingga 14 lapis.

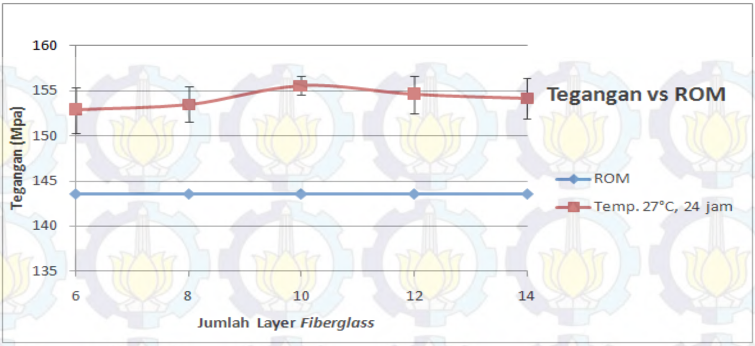
Nilai tegangan bending paling besar terdapat pada komposit dengan jumlah lapisan 10 lapis yaitu 155,6 MPa dan paling rendah pada komposit dengan jumlah lapisan 6 yaitu 152,8 MPa.

Dari hasil pengujian bending pada gambar 4.2, komposit dengan perlakuan *curing* pada temperatur 90°C selama 24 jam mengalami kenaikan tegangan bending komposit *Epoxy*, HGM, dan *Fiberglass* pada penambahan jumlah *fiberglass* sebanyak 6 lapis hingga 10 lapis. Kemudian tegangan bending mengalami penurunan pada penambahan lapisan 12 lapis hingga 14 lapis. Nilai tegangan bending paling besar terdapat pada komposit dengan jumlah lapisan 10 lapis yaitu 192,6 MPa dan paling rendah pada komposit dengan jumlah lapisan 6 yaitu 174,3 MPa.

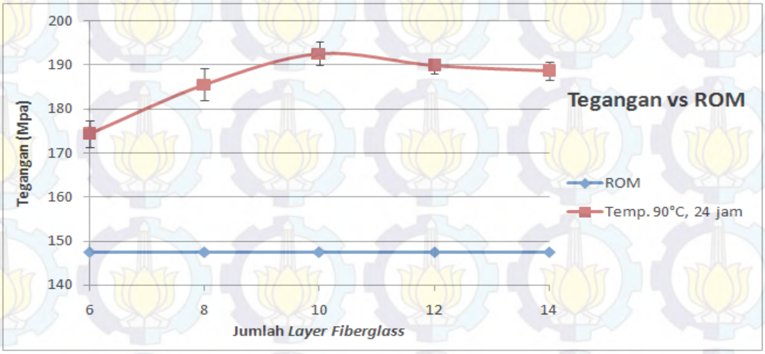
Proses *Curing* pada temperatur tinggi menyebabkan molekul-molekul dari *matrix* menerima lebih banyak energi sehingga meningkatkan pergerakan molekul-molekul tersebut, menghasilkan ikatan *crosslink* yang lebih banyak. *Curing* temperatur tinggi juga meningkatkan *bonding* antara *matrix* dengan HGM dan *matrix* dengan *fiberglass* menjadi lebih baik. Meningkatnya *bonding* antara *matrix* dan *reinforced* maka akan memperbaiki ikatan *interface* dari *matrix* dan *reinforced*. Menurut *Christos C. Chamis* (1971)[27] dari NASA, ikatan *inteface* yang kuat akan menghasilkan komposit dengan kekakuan yang tinggi dan kekuatan yang lebih tinggi.

4.4.1 Pembahasan Variasi Jumlah Lapisan Penambahan *Fiberglass* Terhadap Tegangan *Bending* Komposit dengan ROM.

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



(a)



(b)

Gambar 4.3 Grafik perbandingan nilai tegangan bending komposit secara teoritis (ROM) dan eksperimen. (a) Temperatur *curing* 27°C selama 24 jam, (b) Temperatur *curing* 90°C selama 24 jam

Dari gambar 4.3 diatas, terjadi perbedaan hasi antara tegangan bending secara teoritis dengan tegangan bending saat eksperimen. Dari percobaan didapatkan nilai tegangan *Epoxy*-HGM adalah 14,53 Mpa untuk temperatur *curing* 27°C selama 24 jam, 20,79 MPa untuk temperatur *curing* 90°C selama 24 jam. *Fiberglass* jenis *woven roving* sebesar 365,16 Mpa. Pada hasil perhitungan secara teoritis, nilai tegangan bending komposit

konstan seiring dengan penambahan jumlah *fiberglass*, tegangan secara ROM pada suhu 27°C menunjukkan nilai 143,597 Mpa dan 90°C sebesar 147,525 Mpa. Perbeda dengan hasil dari nilai tegangan secara eksperimen yang menunjukkan bahwa nilai tegangan bending komposit naik pada penambahan jumlah lapisan sebesar 6 – 10 lapis dan selanjutnya menurun sampai pada 14 lapis. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa tegangan bending paling tinggi terjadi pada penambahan jumlah *fiberglass* sebanyak 10 lapis untuk ke 2 perlakuan, sedangkan pada perhitungan secara teoritis nilai tegangan menunjukkan nilai yang konstan. Adanya perbedaan nilai tegangan secara ROM yang berada dibawah tegangan eksperimen, hal ini menandakan bahwa rumus untuk mencari tegangan dengan menggunakan ROM secara umum tidak dapat dapat valid digunakan pada komposit *hybrid* ini, dikarenakan pada rumus ROM tersebut belum memperhitungkan adanya interaksi ikatan antara matriks dan *fiberglass*. Sehingga perlu dilakukan penelitian khusus mengenai hal ini untuk mencari persamaan ROM terhadap komposit *hybrid* jenis ini, untuk hasil tegangan konstan disebabkan karena pada perhitungan secara teoritis komposit dalam kondisi yang ideal yaitu adanya ikatan yangkuat antara HGM dengan *epoxy* dan juga ikatan antara *fiberglass* dengan *epoxy*, juga pengaruh adanya void dalam komposit. Adanya kenaikan trend grafik tegangan bending pada hasil eksperimen dikarenakan adanya perubahan perbandingan fraksi volume *matrix* dengan *fiberglass*, seperti pada tabel 4.7-4.8:

Tabel 4.7 Perbandingan Fraksi Volume Eksperimen Temperatur 27°C Selama 24 Jam.

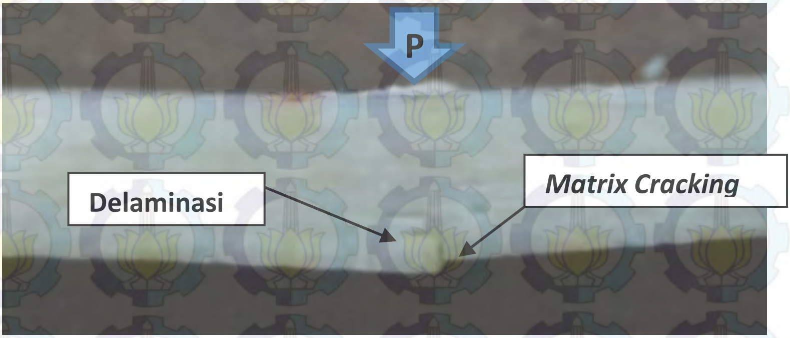
Jumlah *fiberglass*	Volume Komposit (cm^3)	Volume *fiberglass* (cm^3)	Fraksi volume *matrix* (%)	Fraksi volume *fiberglass* (%)
6	13,6	5,03	63,21	36,78
8	18	6,7	62,75	37,24
10	23,3	8,63	63,01	36,98
12	26,6	10,05	62,29	37,7
14	31,6	11,73	62,95	37,04

Tabel 4.8 Perbandingan Fraksi Volume Eksperimen Temperatur 90°C Selama 24 Jam

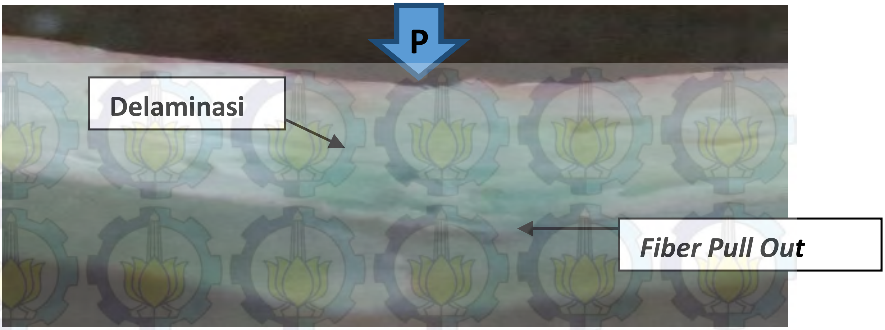
Jumlah *fiberglass*	Volume Komposit (cm^3)	Volume *fiberglass* (cm^3)	Fraksi volume *matrix* (%)	Fraksi volume *fiberglass* (%)
6	12,3	5,03	59,23	40,76
8	16,6	6,7	59,77	40,22
10	22,6	8,63	61,92	38,07
12	26,6	10,05	62,56	37,43
14	31,3	11,73	62,29	37,70

Penyimpangan yang terjadi pada hasil eksperimen disebabkan karena pada praktiknya tidak dijumpai asumsi seperti yang digunakan pada ROM sehingga komposit tidak berada pada kondisi yang ideal, seperti adanya *void* saat proses pembuatan komposit, distribusi penyebaran HGM yang kurang merata, distribusi *matrix* yang tidak merata pada setiap lapisan, dan ikatan antara *matrix* dan *reinforced* yang tidak kuat. *Aisha Hardin nawirdadan Siti Rabbiatull dari Universiti Pahang Malaysia* [20] menyatakan bahwa berkurangnya *matrix* akan berpengaruh pada ikatan interface *matrix* dan penguat, dikarenakan *matrix* tidak dapat terdistribusi keseluruh bagian dari penguat sehingga pada saat pembebanan terjadi, beban yang ditransfer tidak efisien. Lalu *Christos C. Chamis* (1971)[27] dari NASA menyatakan bahwa keberadaan dari *voids* pada *interface* akan memperlemah ikatan *bonding*. Pelemahan ini akan berpengaruh kepada kekakuan dan kekuatan komposit secara keseluruhan.

4.5 Pengamatan Pola Patahan Hasil Pengujian Bending Komposit *Epoxy, Hollow Glass Microspheres,* dan *Fiberglass*

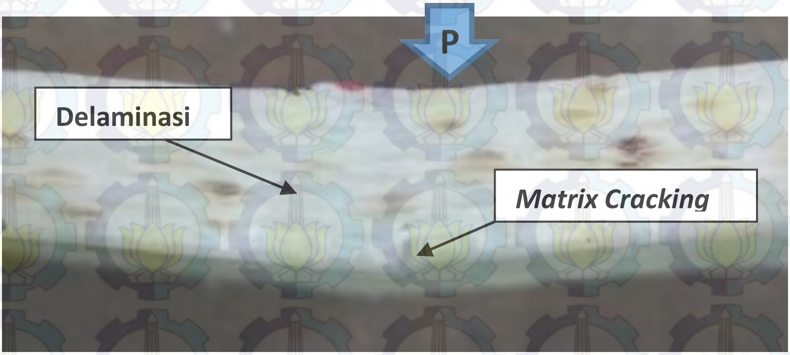


(a)

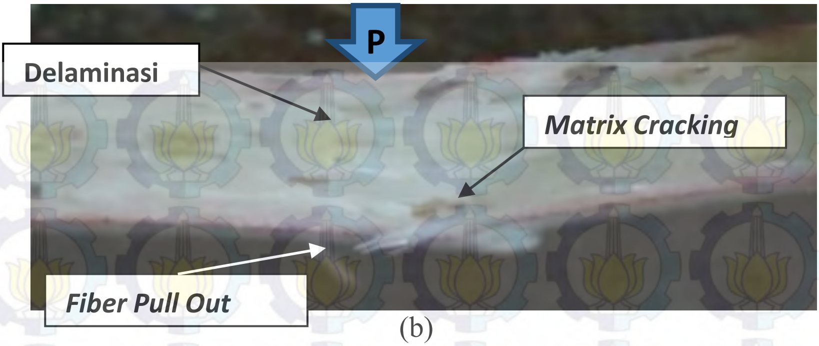


(b)

Gambar 4.4 Foto Makro Permukaan Patahan Hasil Uji Bending Komposit 6 lapis (a) Komposit Dengan Temperatur *Curing* 27°C selama 24 jam, (b) Komposit Dengan Temperatur *Curing* 90°C selama 24 jam

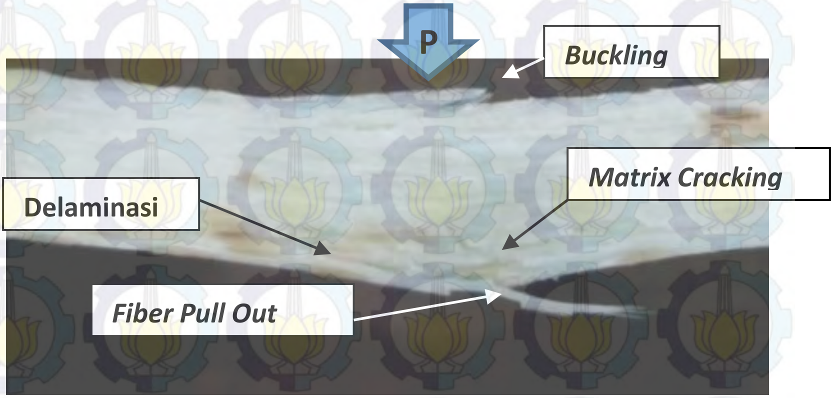


(a)

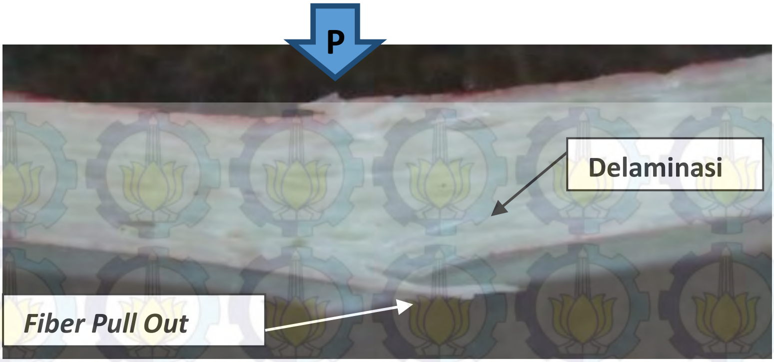


(b)

Gambar 4.5 Foto Makro Permukaan Patahan Hasil Uji Bending Komposit 8 lapis (a) Komposit Dengan Temperatur *Curing* 27°C selama 24 jam, (b) Komposit Dengan Temperatur *Curing* 90°C selama 24 jam

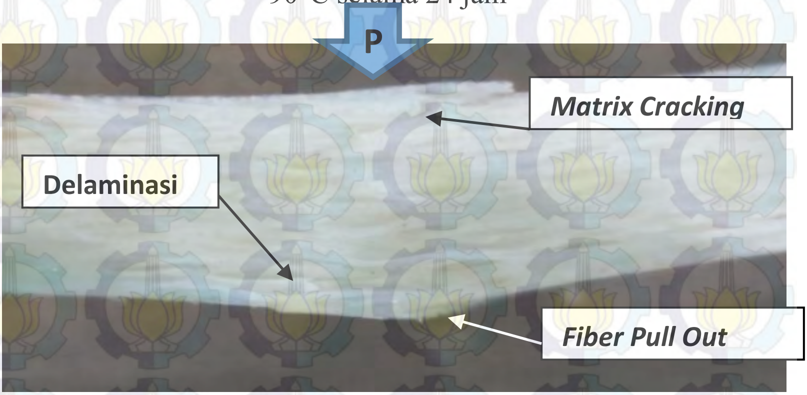


(a)

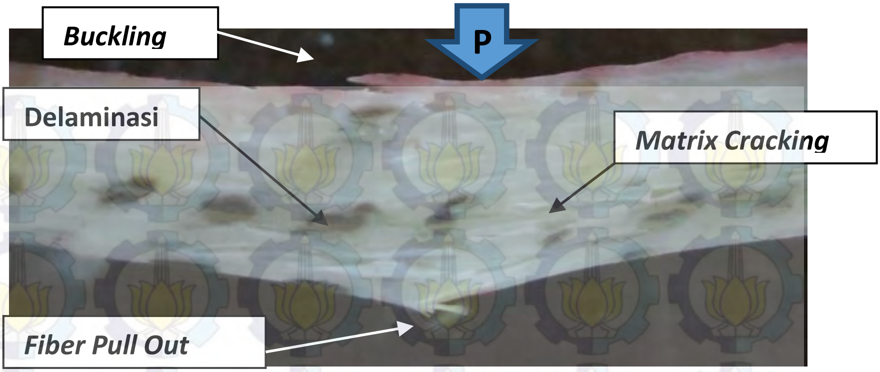


(b)

Gambar 4.6 Foto Makro Permukaan Patahan Hasil Uji Bending Komposit 10 lapis (a) Komposit Dengan Temperatur *Curing* 27°C selama 24 jam, (b) Komposit Dengan Temperatur *Curing* 90°C selama 24 jam

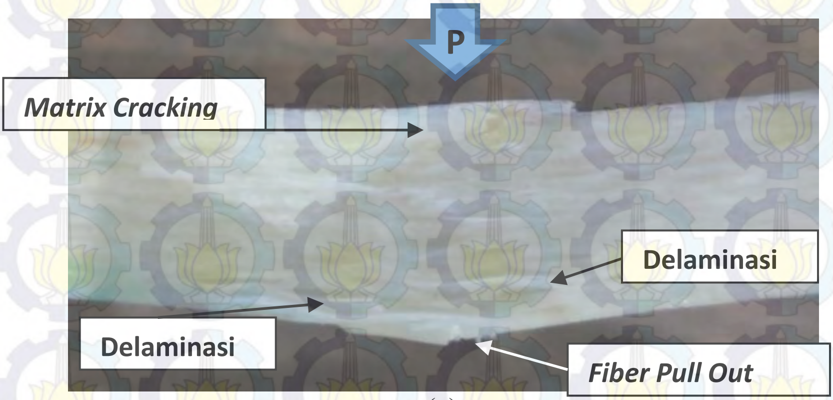


(a)

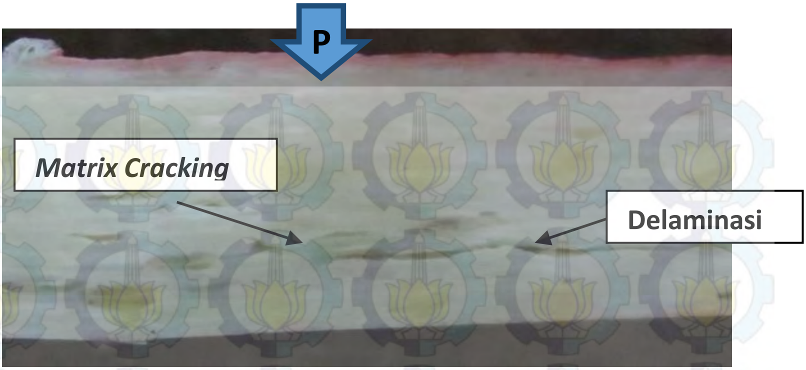


(b)

Gambar 4.7 Foto Makro Permukaan Patahan Hasil Uji Bending Komposit 12 lapis (a) Komposit Dengan Temperatur *Curing* 27°C selama 24 jam, (b) Komposit Dengan Temperatur *Curing* 90°C selama 24 jam



(a)



(b)

Gambar 4.8 Foto Makro Permukaan Patahan Hasil Uji Bending Komposit 14 lapis (a) Komposit Dengan Temperatur *Curing* 27°C selama 24 jam, (b) Komposit Dengan Temperatur *Curing* 90°C selama 24 jam

Dimana:
P = Arah Pembebanan / Arah Gaya

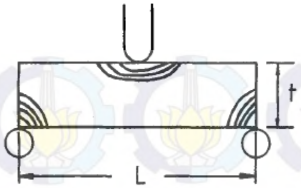
Pada gambar 4.4 – 4.8 menunjukkan mekanisme pola patahan / kegagalan pada hasil uji bending komposit *Epoxy, Hollow Glass Microspheres,* dan *Fiberglass.* Jenis pola patahan tersebut yaitu *Buckling*, Delaminasi, *Matrix Cracking, Fiber Pull Out.* Mekanisme kegagalan berupa delaminasi terjadi akibat lapisan *epoxy* dan *fiber* tidak dapat menahan beban tarik sehingga menyebabkan lapisan *fiberglass* terlepas dari resin *epoxy*. *Fiber pull out* terjadi akibat penguat *fiberglass* tercabut karena tidak kuat menerima beban tarik akibat pengujian *bending. Matrix cracking* disebabkan karena retakan dari *matrix* akibat regangan yang diterima oleh *matrix* itu telah melebihi batas dari regangan *matrix* tersebut. Pada gambar dapat kita lihat pola patahan *fiber pull out* relatif terjadi pada bagian bawah komposit karena adanya gaya tarik pada bagian bawah permukaan komposit. Hal ini

disebabkan karena adanya *debonding* yang terjadi pada *matrix* dengan *reinforced* sehingga menyebabkan *fiberglass* tercabut dari *matrix*. Dapat dilihat bahwa perlakuan temperatur *curing* berpengaruh terhadap pola kegagalan komposit, yang mana ditunjukkan pada komposit dengan perlakuan *curing* temperatur 27°C dan komposit dengan perlakuan *curing* temperatur tinggi pada 90°C. Pola kegagalan delaminasi lebih dominan pada perlakuan *curing* temperatur 27°C.

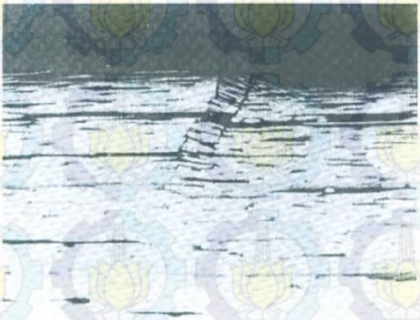
4.6 Pembahasan Pola Patahan Hasil Pengujian Bending Komposit *Epoxy, Hollow Glass Microspheres,* dan *Fiberglass*

Material *hybrid* komposit merupakan salah satu jenis komposit yang memiliki penguat lebih dari satu jenis penguat (*reinforced*) ke dalam satu *matrix*. Tujuannya yaitu untuk menghasilkan sifat mekanik yang diinginkan tetapi tidak bisa didapatkan jika hanya menggunakan satu jenis penguat. Pada penelitian ini jenis *reinforced* yang digunakan yaitu *Hollow Glass Microspheres* (HGM) dan *Fiberglass*. Pada setiap penguat memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing yang dapat mengisi satu sama lainnya. HGM memiliki keunggulan *strength to density* yang tinggi, termal konduktivitas yang rendah, tahan terhadap suhu yang tinggi, memiliki kekuatan tekan dan *impact* yang baik tetapi memiliki kekurangan yaitu *tensile* dan *flexural strength* yang rendah, sedangkan *fiberglass* memiliki kelebihan *tensile* dan *flexural strength* yang tinggi namun memiliki nilai *density* yang tinggi.[25]

Pada percobaan eksperimen *bending* yang saya lakukan, material mengalami pembebanan tekan pada permukaan atas material dan mengalami tarik pada bagian bawah.



(a)

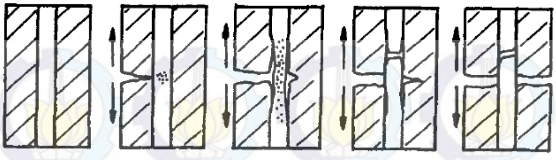


(b)

Gambar 4.9 (a) Foto konsentrasi tegangan tekan akibat bending (b) Foto SEM dari fenomena kegagalan *buckling* dekat indentor tekan[28]

Pada gambar 4.9 proses kegagalan *buckling* terjadi akibat terjadinya konsentrasi tegangan oleh indentor yang menyebabkan keruskan awal pada komposit.[28]

Secara teori saat *matrix* yang mengalami *crack*, maka pola kegagalan yang dapat terjadi yaitu *matrix cracking*, *fiber pull out*, dan delaminasi.[28] *Matrix cracking* sendiri dapat terjadi pada bagian atas, tengah maupun pada bagian bawah komposit. *Matrix cracking* diawali dengan adanya *crack initiation* yang dapat terjadi pada bagian atas komposit yang diakibatkan oleh gaya tekan dari indentor, maupun dibagian bawah komposit yang disebabkan oleh adanya gaya tarik. [25]



Gambar 4.10 Gambar terjadinya *matrix crack* hingga *fiber pull out*[28]

Pada gambar 4.10 di atas menunjukkan pola kegagalan mulai dari awal terjadinya *matrix cracking* hingga terjadinya *fiber pull out*. Pada gambar (a) menunjukkan sebuah komposit dengan *fiber* yang diikat oleh *matrix*. (b) *matrix* mengalami *crack* tetapi *fiber* menahan beban tegangan akibat rusaknya *matrix*, semakin besar beban yang diterima menyebabkan *crack* melewati *fiber* tanpa harus merusak ikatan. (c) *fiber* menahan beban yang semakin besar menyebabkan keruskan terjadi pada permukaan *fiber*. (d) setelah terjadinya *debonding* antara *matrix* dan *fiber*, maka *fiber* akan putus pada bagian yang paling lemah dan menyebabkan kerusakan yang lebih besar pada *matrix*. (e) patahnya *fiber* dan *debonding* menyebabkan keluarnya *fiber* dari *matrix*. Pola gegagalan lain yang terjadi pada material yaitu delaminasi. Jang-Kyo Kim dan Yiu-Wing Mai dari hong-kong[28] menyatakan delaminasi adalah salah satu jenis kegagalan yang sering terjadi pada *laminate* komposit. Semakin banyak delaminasi yang terjadi pada struktur komposit maka akan berpengaru pada berkurangnya kekuatan komposit, dan tidak jarang akan menyebabkan pada keruskan parah pada komposit. Delaminasi terjadi karena adanya debonding antara resin dengan *fiber* akibat dari gaya tarik sehingga mengakibatkan terlepasnya *fiber* dari lapisannya.

jika komposit hibrida dapat diaplikasikan sebai produk rompi anti peluru maka komposit hibrida dengan berpenguat *fiberglass* dan HGM dapat menajadi salah satu alternatif. Karena peluru yang ditembakkan dari senjata api dengan tekanan tinggi

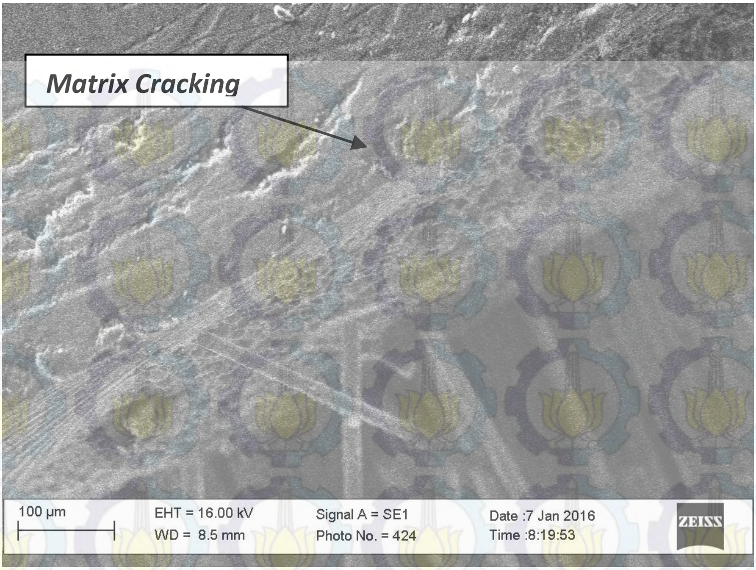
akan memberikan dorongan berupa kecepatan terhadap peluru tersebut. Sehingga proyektil akan mengakibatkan beban *impact* pada permukaan rompi dan akan melakukan penetrasi tekan. Komposit hibrida dengan penguat *fiber* dan HGM akan dapat menahan laju proyektil dengan masing-masing keunggulannya.

4.7 Pengamatan Hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Pada Patahan Komposit

Pada pengamatan pola patahan komposit pengujian *bending*, didapatkan mekanisme kegagalan komposit pada setiap spesimen, yaitu adanya *debonding* yang terjadi akibat tidak kuatnya ikatan *interface* antara *matrix* dan *reinforced*. Berikut adalah foto pengamatan dari hasil *Scanning Elektron Microscopy* (SEM):

(a)

Dimana:
F= Arah pengambilan gambar

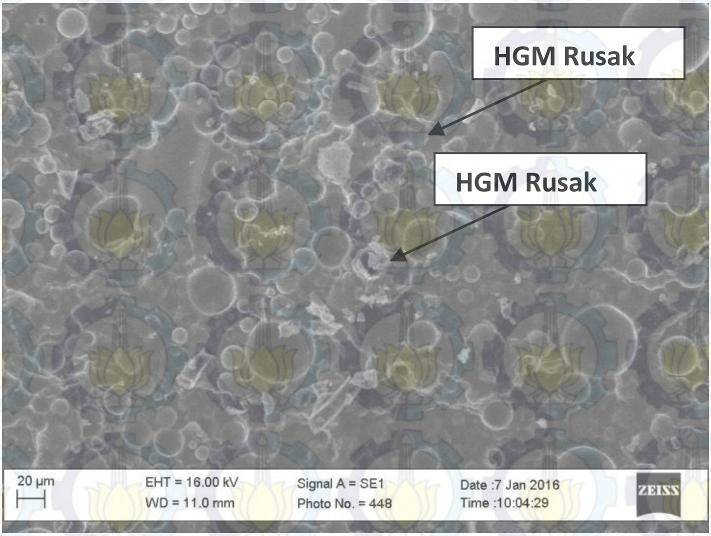


(b)

Gambar 4.11 (a) Foto ilustrasi pengambilan arah SEM (b) Foto SEM komposit dengan variasi jumlah lapisan 10 *curing* temperatur 90°C selama 24 jam

Dari gambar 4.11 dapat kita lihat terjadinya pola kegagalan berupa *matrix cracking* yang berakibat terjadinya diberikan beban tekan pada *matrix*, lemahnya kemampuan *matrix* untuk menahan beban indentor pada bagian atas komposit akibat pengujian bending mengakibatkan terjadinya *crack* pada *matrix*.

(a)

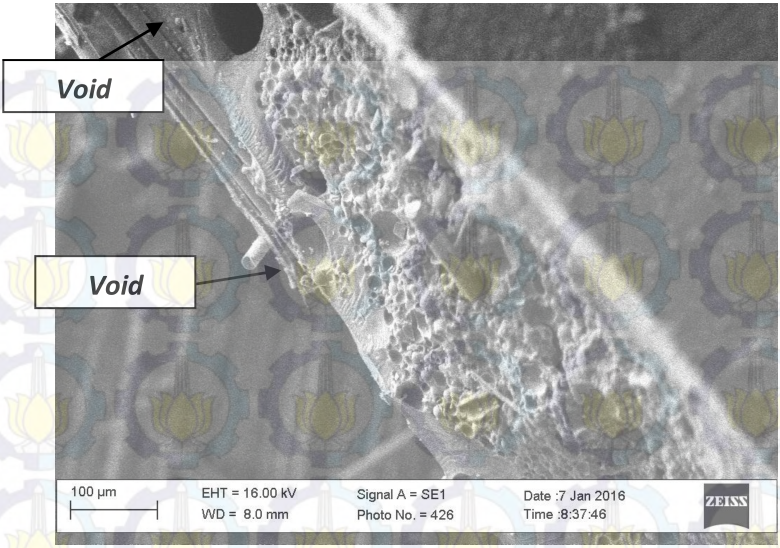


(b)

Gambar 4.12 (a) Foto ilustrasi pengambilan arah SEM (b) Foto SEM komposit dengan variasi jumlah lapisan 10 *curing* temperatur 90°C selama 24 jam

Gambar 4.12 merupakan hasil SEM komposit dengan penambahan 10 lapisan *fiberglass curing* temperatur 90°C selama 24 jam terlihat banyak partikel HGM yang mengalami pecah karena pembebanan. Pecahnya HGM disebabkan karena partikel HGM menerima energi yang maksimal dari *matrix* dan tidak ada pergeseran HGM dari *matrix* (*debonding*). Bentuk partikel HGM yang bundar sempurna (*spherical*) menyebabkan HGM dapat menyerap energi yang ditransfer oleh matriks secara maksimal saat pembebanan sehingga tegangan *bending* pada komposit sangat optimal. Perlakuan *curing* temperatur 90°C selama 24 jam menyebabkan molekul-molekul pada matriks mendapatkan energy untuk bergerak lebih cepat dan membentuk ikatan *crosslink* yang lebih baik dan ikatan *interface* pada permukaan partikel HGM dengan *matrix* menjadi lebih kuat. Ikatan *crosslink* pada matriks akan meningkatkan nilai tegangan bending komposit, jika *matrix* sebagai pengikat HGM lebih banyak memiliki ikatan *crosslink* maka *debonding* yang terjadi pada HGM dan *matrix epoxy* akan berkurang dan tegangan *bending* pada komposit tersebut akan meningkat.

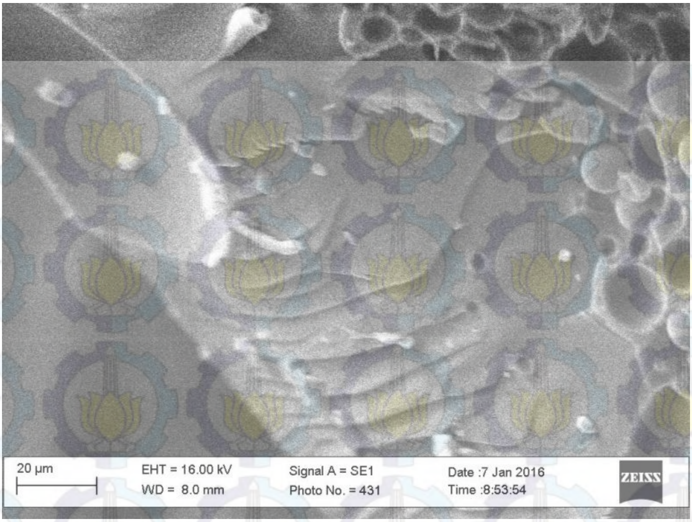
(a)



(b)

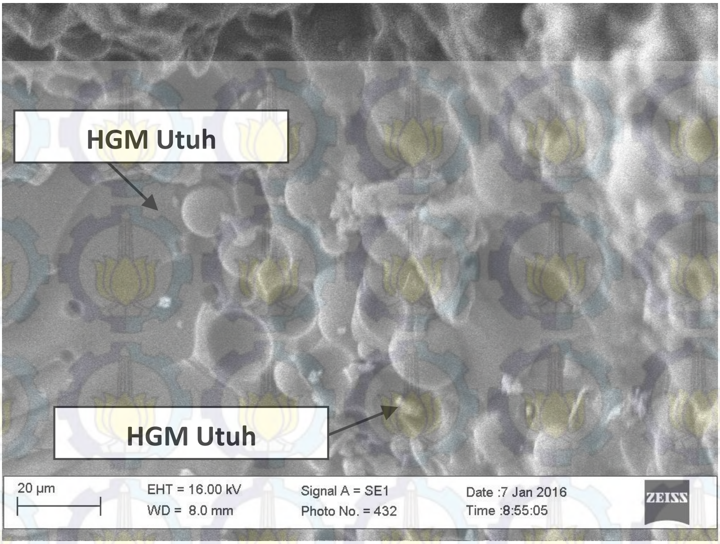
Gambar 4.13 (a) Foto ilustrasi pengambilan arah SEM (b) Foto SEM komposit dengan variasi jumlah lapisan 12 *curing* temperatur 90°C selama 24 jam

Pada gambar 4.13 terlihat adanya *void* akibat terperangkapnya udara pada proses pembuatan komposit. Void dapat terjadi saat proses pengadukan pada pembuatan komposit yang menggunakan metode *hand lay-up*. *Void* yang ada mengakibatkan awal mula terjadinya *matrix cracking* sehingga akan menyebabkan menurunnya ikatan *bonding*. Christos C. Chamis dari NASA (1971)[27] dari NASA menyatakan bahwa keberadaan dari *voids* pada *interface* akan memperlemah ikatan *bonding*. Pelemahan ini akan berpengaruh kepada kekakuan dan kekuatan komposit secara keseluruhan.



Gambar 4.14 Foto SEM komposit dengan variasi jumlah lapisan 12 *curing* temperatur 90°C selama 24 jam

Gambar 4.14 merupakan gambar yang membuktikan bahwa *void* yang terdapat pada komposit dengan variasi jumlah lapisan 12. Pada gambar *void* menjadi awal mula terjadinya *matrix cracking* sehingga mengakibatkan terjadinya *debonding* antara *matrix* dengan *HGM* yang berfungsi sebagai *reinforced* pada komposit.



Gambar 4.15 Foto SEM komposit dengan variasi jumlah lapisan 12 *curing* temperatur 90°C selama 24 jam

Pada gambar 4.15 hasil SEM komposit dengan penambahan *fiberglass* 12 lapis dengan temperatur *curing* 90°C selama 24 jam didominasi oleh adanya HGM yang tidak pecah. Pada saat pembebanan terjadi, banyak HGM yang mengalami pergeseran dari matriks karena ikatan antara HGM dan matriks *epoxy* tidak kuat sehingga menyebabkan *debonding*. Karena adanya *debonding* maka beban yang diterima oleh komposit tidak sepenuhnya disalurkan matriks ke HGM sehingga menyebabkan tegangan bending pada komposit menjadi rendah.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Dari hasil eksperimen kompisit hibrida dengan penambahan jumlah lapisan fiberglass pada fraksi volume HGM yang tetap terhadap karakteristik *bending* didapatkan hasil tegangan meningkat dari 6 hingga 10 lapis, Komposit dengan penambahan *fiberglass* sebanyak 10 lapis dengan perbandingan volume tetap HGM 16% memiliki nilai tegangan bending terbesar sebesar 155,6 Mpa pada *curing* temperatur 27°C selama 24 jam dan 192,6 Mpa pada *curing* temperatur 90°C selama 24 jam.
2. Komposit dengan penambahan 10 lapisan *fiberglass* di-*curing* pada temperatur 90°C selama 24 jam merupakan komposit yang memiliki tegangan bending yang paling tinggi. Temperatur *curing* tinggi dapat meningkatkan jumlah ikatan crosslink pada matriks epoxy serta ikatan interface antara matriks *epoxy* dengan HGM dan matrix *epoxy* dengan *fiberglass*.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Proses pembuatan material komposit *hybrid* hendaknya menggunakan metode selain *hand lay-up* agar distribusi *matrix* dapat lebih merata
2. Perlu adanya metode atau alat khusus agar proses pecampuran *hollow glass microsphere* dapat tercampur merata.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

[1] Zahrah Lutfianisa Qurrotu'ain. 2014. "Analisa Kemampuan Rompi Anti Peluru yang Terbuat dari Komposit HGM dalam Menyerap Energi Akibat *Impact* Proyektil*"*. Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS. Indonesia

[2] Widyansyah Ritonga. 2014. *"Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur Curing dan Post-curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit Epoxy-Hollowglass Microspheres IM30k*". Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS. Indonesia

[3] I Made Astika. 2007. "*Study Eksperimental Karakteristik Tarik dan Lelah Pada Komposit dengan Serat WR dan CSM",* Tesis. Jurusan Teknik Mesin ITS. Indonesia

[4] Al-Namie, Dr. Ibtihal. Aladdin Ibrahim, Dr. Ahmed. Hassan, Manal Fleyah, 2011. *Study The Mechanical Properties of Epoxy Resin Reinforced with Silica (Quartz) and Alumina Particle*. The Iraqi Journal For Mechanical and Material Engineering Vol. 11

[5] http://www.efunda.com/formulae/solid_mechanics/composites/comp_intro.cfm

[6] http://www.ecvv.com/product/3822975.html

[7] Alexander Trofimov, Dr. Lev. Pleshkov, Haslen Back., *Hollow Glass Microsphere for High Strength Composite Cores*, Alchemie Technology 50 (2007) 44-46,48-50.

[8] SP System.Composite Engineering Material

[9] Nie Shihua, 2004, *"A Micromechanical Model for Effective Elastic Properties of Particulate Composite with Imperfect Interfacial Bond"*. University at Buffalo, USA

[10] Pichai rusmee. 2005. "*High strength composite*"

[11] A. Brent Strong, "*Controlling Polyester Curing – A Simplified View"*, Brigham Young University, undated.

[12] www.princhenton.com

[13] ASM International, "*Characterization and Failure Analysis of Plastics*", page 117, December 2003
[14] The Advantages of Epoxy Resin versus Polyester in Marine Composite Structure, SP-systems, undated.
[15] Jones, Robert M., *"Mechanics Of Composite Materials (Materials Science & Engineering Series)",* Scripta Book Co., Washington, 1975
[16] Annual Book of ASTM Standards, D790M-84a, *"Standard Test Method for Flexural and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials (Metric)"*, American Society for Testing and Materials, 1984
[17] Erwin M, Wouterson. Freddy Y.C., Boey. Xiao Hu, Shing-Chung Wong, *Specific Properties and Fracture Toughness of Syntatic Foam: Effect of Foam Microstructure,*Composite Science and Technology 65 (2005) 1840-1850.
[18] Astika, I.M, *Studi Eksperimental Karakteristik Tarik dan Lelah Pada Komposit dengan Serat WR dan CSM,* Tesis, Jurusan Teknik Mesin ITS (2007).
[19] Fachmi Yuni Arista. 2013. *"Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Fraksi Volume Epoxy-Hollow Glass Microspheres dan Temperatur Curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit*". Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS. Indonesia
[20] Hardinnawirda, K. Aisha, SitiRabbiatull, *Effect of Rice Husks as Filler in Polymer Matrix Composites*, Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Malaysia Pahang, 2012
[21] Shao-Yun Fu. Xi-Qiao Feng. Bernd Lauke. Yiu-Wing Mai, *Effect of Particle Size, Particle/Matrix Adhesion and Particle Loading on Mechanical Properties of Particulate-Polymer Composites*, Technical Institute of Physic and Chemistry, Chinese Academy of Sciences, China, 2008
[22] Aruniit, Aare. Kers, Jaan. Krumme, Andres. Poltimae, Triinu. Tall, Kaspar, *Preliminary Study of the Influence of Post Curing Parameters to the Particle Reinforced*

Composite's Mechanical and Physical Properties, Tallinn University of Technology, Estonia, 2011

[23] J.A.M Ferreira, C. Capela, J.D Costa, *A Study of the Mechanical Behaviour on Fiber Reinforced Hollow Michrospheres Hybrid Composite,* University of Coimbra, Portugal, 2009

[24] www.alatmiliter.indonetwork.co.id

[25] Stephen E. Amos, Baris Yalcin, *Hollow Glass Microspheres for Plastics, Elastomers and Adhesives Compounds,* 225 Wyman Street, USA, 2015

[26] P.K. Mallick, *Fiber-Reinforced Composite Materials, Manufacturing, and Design Third Edition,* Department of Mechanical Engineering, University of Michigan-Dearborn, Michigan, 2008

[27] Christos C. Chamis, *Mechanics of Load Transfer at The Fiber / Matrix Interface*, Lewis Research Center, National Aeronautics and Space Administration

[28] Jang-Kyo Kim, Yiu-Wing Mai, *Engineered Interfaces In Fiber Reinforced Composites,* Department of Mechanical Engineering, Hong kong University of Science and Technology, Clear Water Bay, Hong-Kong, 1998

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS

Syahrafi Widyanpratama lahir di **Surabaya**, pada tanggal **18 Juni 1992**. Merupakan anak pertama dari tiga bersaudara pasangan bapak Wimbo Widjajadjati dan ibu Meidy Larasati. Penulis menghabiskan masa kecilnya di dalam keluarga yang sederhana dan bahagia. Penulis menjalani pendidikan dimulai dari **TK Permata Bunda** Surabaya, **SD Muhammadiyah 4** Surabaya, **SMP Negeri 6** Surabaya, dan masa SMA dijalani di **SMA Negeri 1** Surabaya. Setelah lulus dari SMA, penulis memutuskan untuk melanjutkan studi di salah satu perguruan tinggi terbaik di Indonesia yaitu **Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**.

Selama masa studi di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, penulis bergabung dengan salah satu organisasi kemahasiswaan yang bernama Himpunan Mahasiswa Mesin. Dalam berorganisasi penulis pernah menjabat sebagai Direktur Badan Semi Otonom (BSO). Penulis memiliki hobi olahraga basket dan menikmati kuliner. Cita-cita terbesar penulis adalah membahagiakan kedua orang tua dan menjadi presiden republik Indonesia agar menjadi bangsa yang mandiri dan maju.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)