



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN 5-30 WT% SERBUK TEMBAGA
TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT GRAFIT-
*UNSATURATED POLYESTER***

SKRIPSI

**VANNY AZ-ZAHRA
0806332055**

**FAKULTAS TEKNIK
METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JANUARI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN 5-30 WT% SERBUK TEMBAGA
TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT GRAFIT-
*UNSATURATED POLYESTER***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik

VANNY AZ-ZAHRA

0806332055

**FAKULTAS TEKNIK
METALURGI DAN MATERIAL**

DEPOK


JANUARI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Vanny Az-zahra

NPM : 0806332055

Tanda Tangan : 

Tanggal : 24 Januari 2012

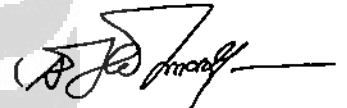
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Vanny Az-zahra
NPM : 0806332055
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan 5–30 wt% Serbuk Tembaga terhadap Sifat Mekanik Komposit Grafit-*Unsaturated Polyester*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Ir. Akhmad Herman Yuwono, M.Phil.Eng



Penguji 1 : Dra. Sari Katili, MS



Penguji 2 : Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia Syahrial, M.Sc.



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 24 Januari 2012

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Vanny Az-zahra
NPM : 0806332055
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pengaruh Penambahan 5-30 wt% Serbuk Tembaga terhadap Sifat Mekanik Komposit Grafit-Unsaturated Polyester

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Januari 2012

Yang menyatakan



(Vanny Az-zahra)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul **Pengaruh Penambahan 5-30 wt% Serbuk Tembaga terhadap Sifat Mekanik Komposit Grafit-Unsaturated Polyester** dengan baik.

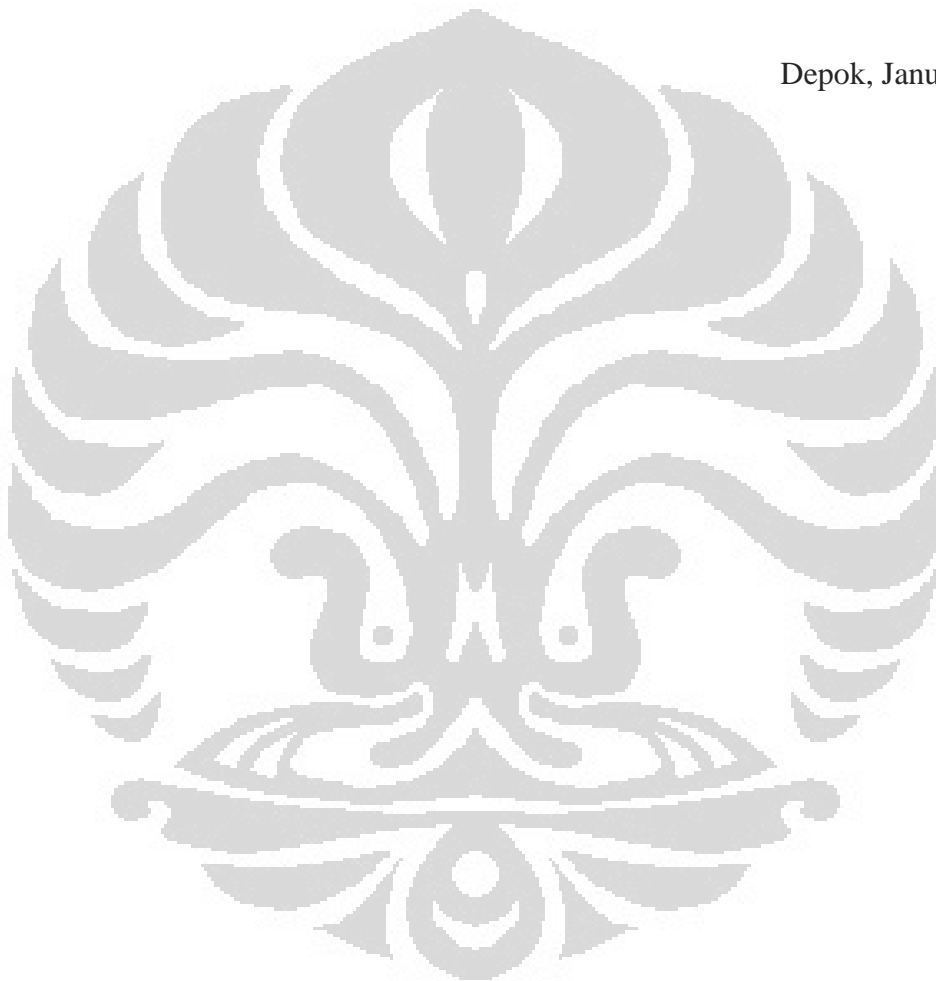
Tujuan penulisan laporan ini dibuat sebagai salah satu syarat mata kuliah skripsi. Sebagai bahan penulisan diambil berdasarkan hasil penelitian, observasi dan beberapa sumber literatur yang mendukung penulisan ini. Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan dan dorongan dari semua pihak laporan skripsi ini tidak akan berjalan lancar. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, izinkanlah penulis untuk menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis Akhyas dan Dra Zefny serta adik penulis Gendipatih dan Sandra Monica yang telah memberikan dukungan kepada penulis baik secara moril maupun materil;
2. Dr. Ir. Akhmad Herman Yuwono M.Phil Eng. Selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan kesempatan, waktu, dan pikiran untuk selalu mengarahkan dan membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini;
3. Dr. Ir. Donanta Dhaneswara M.Si selaku pembimbing akademik penulis selama masa perkuliahan;
4. Sahabat – sahabat terbaik penulis Hesti Wijayanti, Mia Diniati, Sigma Rizky, Latifa Noviana, Nararia Askarningsih yang selalu memberikan motivasi positif serta mendukung penulis dalam penyelesaian laporan skripsi ini.
5. Karyawan Departemen Teknik Metalurgi dan Material atas bantuannya kepada penulis selama penelitian. Bang Mamad yang membantu penulis dalam pembuatan cetakan alat.

6. Rendi Fajar Binuwara, Pratama D Prihandoko, dan Novian Lamanda Putra yang telah menyediakan waktu, serta membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini
7. Pelatih penulis yang telah memberikan dispensasi waktu kepada penulis, sehingga penulis dapat fokus mengerjakan laporan skripsi ini.

Depok, Januari 2012

Penulis



ABSTRAK

Nama : Vanny Az-zahra
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Pengaruh Penambahan 5 – 30 wt% Serbuk Tembaga terhadap Sifat Mekanik Komposit Grafit – Unsaturated Polyester

Teknologi modern yang berkembang saat ini menuntut penyediaan material dengan kombinasi sifat yang tidak mungkin didapat dari paduan material konvensional seperti paduan metal, keramik dan polimer. Kombinasi sifat material menjadi lebih beragam dengan adanya komposit. Komposit secara umum adalah material buatan yang terdiri dari multifasa gabungan antara paduan metal, keramik, dan polimer. Bahan komposit saat ini banyak digunakan sebagai substitusi untuk bahan-bahan dalam teknologi modern karena bahan komposit memiliki sifat yang lebih baik.

Pada penelitian ini, digunakan serbuk grafit dan serbuk tembaga sebagai *filler* dan *unsaturated polyester* sebagai matriks polimer. Semua bahan dicampur dengan metode *simple mixing* kemudian dicetak. Setiap formulasi dilakukan pengujian kekerasan dan fleksural. Pengaruh dari penambahan 5–30 wt% serbuk grafit menunjukkan bahwa nilai kekerasan meningkat menjadi 60,54 HRB pada penambahan 5 wt%. tetapi mulai dari 10–20 wt% penambahan grafit nilai kekerasan menurun hingga 51,88 HRB. Begitu pula dengan nilai fleksural yang meningkat pada penambahan 5 wt% grafit dengan nilai 204,20 MPa kemudian mengalami penurunan sampai 146,88 MPa pada penambahan 20 wt% grafit.

Penambahan 5–30 wt% serbuk tembaga menunjukkan bahwa nilai kekerasan meningkat sampai penambahan 25 wt% tembaga dengan nilai 48,8 HRB. Kemudian menurun pada penambahan 30 wt% tembaga dengan nilai 36 HRB. Begitu pula dengan nilai fleksural yang meningkat sampai penambahan 25 wt% tembaga dengan nilai 246,77 MPa. kemudian mengalami penurunan sampai 182,24 MPa pada penambahan 30 wt% serbuk tembaga.

Kata kunci :

Komposit, grafit, *unsaturated polyester*, serbuk tembaga, sifat mekanik, nilai kekerasan, nilai fleksural.

ABSTRACT

Name : Vanny Az-zahra
Study Program : Metallurgy and Materials Engineering
Title : The Effect of 5 – 30 wt% Addition of Copper Powder on the Mechanical Properties of Graphite – Unsaturated Polyester Composite

Nowadays the development of modern technology also needs material with particular combination of properties which is better than the conventional material like metal alloy, ceramic, and polymer can provide. This combination of properties give wide range in its application. Composite material is the material consisting of multiphase between metal alloy, ceramic, and polymer. Composite material with better properties can substitute conventional material in particular application.

This study used graphite powder and copper powder as filler, and unsaturated polyester as polymer matrix. Filler and matrix were mixed by simple mixing method and molded. Each sample were tested to get hardness and flexural value. The effect of 5 – 20 wt% addition of graphite powder showed the increasing of hardness value to 60,54 HRB at 5 wt% addition, however with 10 – 20 wt% addition, the hardness value decrease to 51,88 HRB. The flexural value showed the same effect, this value increased to 204,20 MPa at 5 wt% of addition, but decreased to 146,88 MPa for 20 wt% of graphite addition.

The effect of 5 – 30 wt% addition of copper powder showed increasing of hardness value to 48,8 HRB at 25 wt% copper powder. Then, this value decrease to 36 HRB at 30 wt% copper powder. The flexural value showed the same effect, it increased to 246,77 MPa at 25 wt% of addition and then decreased to 182,24 MPa at 30 wt% of copper addition.

Keywords :

Composite, graphite, unsaturated polyester, copper powder, mechanical properties, hardness value, flexural value.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Ruang Lingkup Penelitian dan Batasan Masalah.....	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2 LANDASAN TEORI	7
2.1 Komposit	7
2.2 PMC	10
2.3 Unsaturated Polyester.....	12

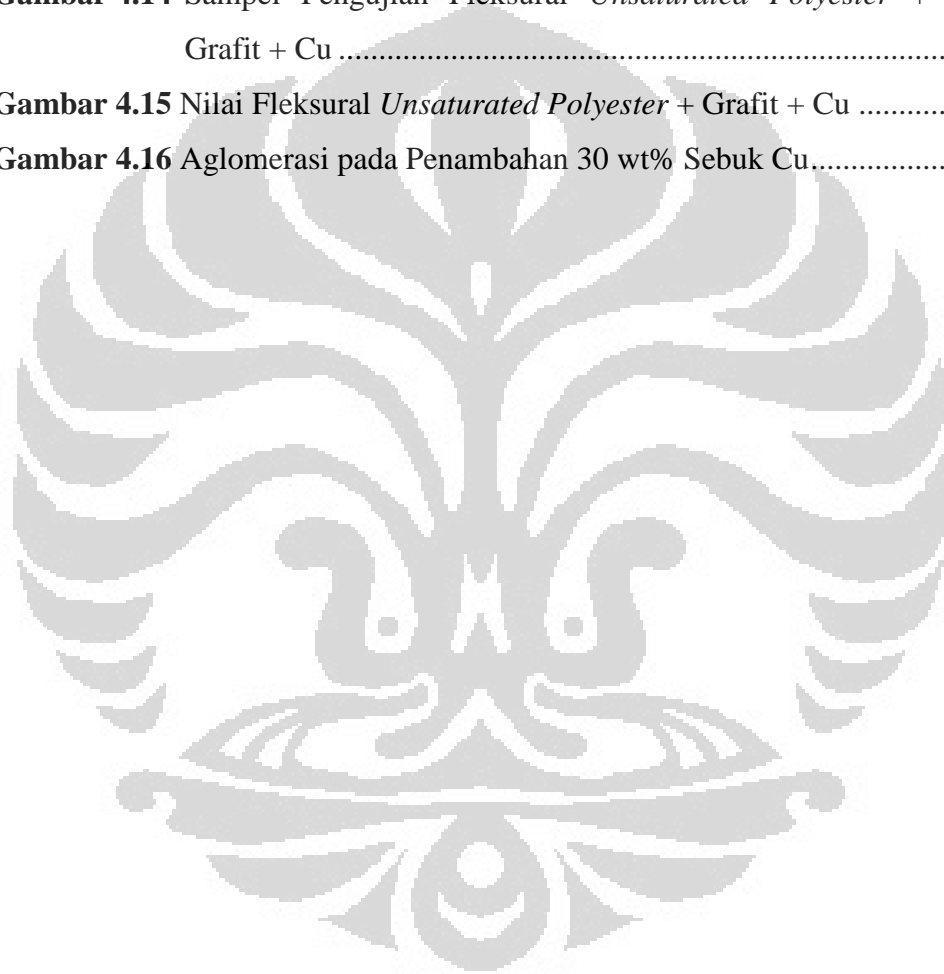
2.4 <i>Fuel Cell</i>	13
2.5 PEMFC.....	15
2.6 Pelat Bipolar.....	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Diagram Alir.....	17
3.2 Alat dan Bahan.....	18
3.2.1 Peralatan.....	18
3.2.2 Bahan.....	18
3.3 Proses Formulasi.....	19
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Hasil Preparasi Sampel.....	23
4.1.1 Hasil Penimbangan dan Mixing.....	23
4.1.2 Hasil Proses Pencetakan.....	23
4.1.3 Hasil Pengamatan Visual Sampel Hasil Pencetakan.....	24
4.1.4 Hasil Preparasi Spesimen Uji.....	25
4.2 Hasil Karakterisasi Pelat Bipolar.....	26
4.2.1 Hasil Pengujian Kekerasan.....	26
4.2.2 Hasil Pengujian Fleksural.....	33
BAB 5 KESIMPULAN.....	40
DAFTAR PUSTAKA.....	41
LAMPIRAN.....	43

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1.1	Perkiraan Peningkatan Konsumsi Energi Dunia.....	2
Gambar 1.2	Perkiraan Emisi CO ₂ Dunia	3
Gambar 2.1	Jenis Komposit Berdasarkan Penguat.....	8
Gambar 2.2	Ilustrasi <i>Interface</i> pada Komposit.....	9
Gambar 2.3	Ilustrasi <i>Interphase</i> pada Komposit	10
Gambar 2.4	Klasifikasi Komposit Berdsarkan Matriks.....	10
Gambar 2.5	Proses Poliesterifikasi	13
Gambar 2.6	Skema Proses <i>Crosslinking</i>	13
Gambar 2.7	Ilustrasi Skematis Satu Sel <i>Fuel Cell</i>	14
Gambar 2.8	Komponen dalam PEMFC.....	16
Gambar 2.9	Pelat Bipolar	19
Gambar 3.1	Diagram Alir.....	17
Gambar 3.2	Skema Pengujian Fleksural.....	22
Gambar 4.1	Cetakan yang Digunakan untuk Pengujian Kekerasan.....	24
Gambar 4.2	Hasil Pencetakan Pelat Bipolar.....	24
Gambar 4.3	Sampel Sebelum dan Sesudah <i>Trimming</i> dan Pengamplasan.....	25
Gambar 4.4	Sampel Pengujian Kekerasan	27
Gambar 4.5	Nilai Kekerasan <i>Unsaturated Polyester + Hardener</i>	28
Gambar 4.6	Sampel Penujian Kekerasan <i>Unsaturated Polyester +</i> Grafit	29
Gambar 4.7	Nilai Kekerasan <i>Unsaturated Polyester + Grafite</i>	30
Gambar 4.8	Foto Mikro dengan Perbesaran 200x pada Presentase Grafite	31
Gambar 4.9	Nilai Kekerasan <i>Unsaturated Polyester + Grafite + Serbuk</i> Cu	32

Gambar 4.10 Foto Mikro dengan Perbesaran 200x pada Persentase Serbuk Cu.....	33
Gambar 4.11 Sampel Pengujian Fleksural <i>Unsaturated Polyester</i> + <i>Hardener</i>	34
Gambar 4.12 Nilai Fleksural <i>Unsaturated Polyester</i> + Grafit.....	35
Gambar 4.13 Foto Mikro dengan Perbesaran 1000x pada Persentase Grafit	36
Gambar 4.14 Sampel Pengujian Fleksural <i>Unsaturated Polyester</i> + Grafit + Cu	37
Gambar 4.15 Nilai Fleksural <i>Unsaturated Polyester</i> + Grafit + Cu	38
Gambar 4.16 Aglomerasi pada Penambahan 30 wt% Serbuk Cu.....	39



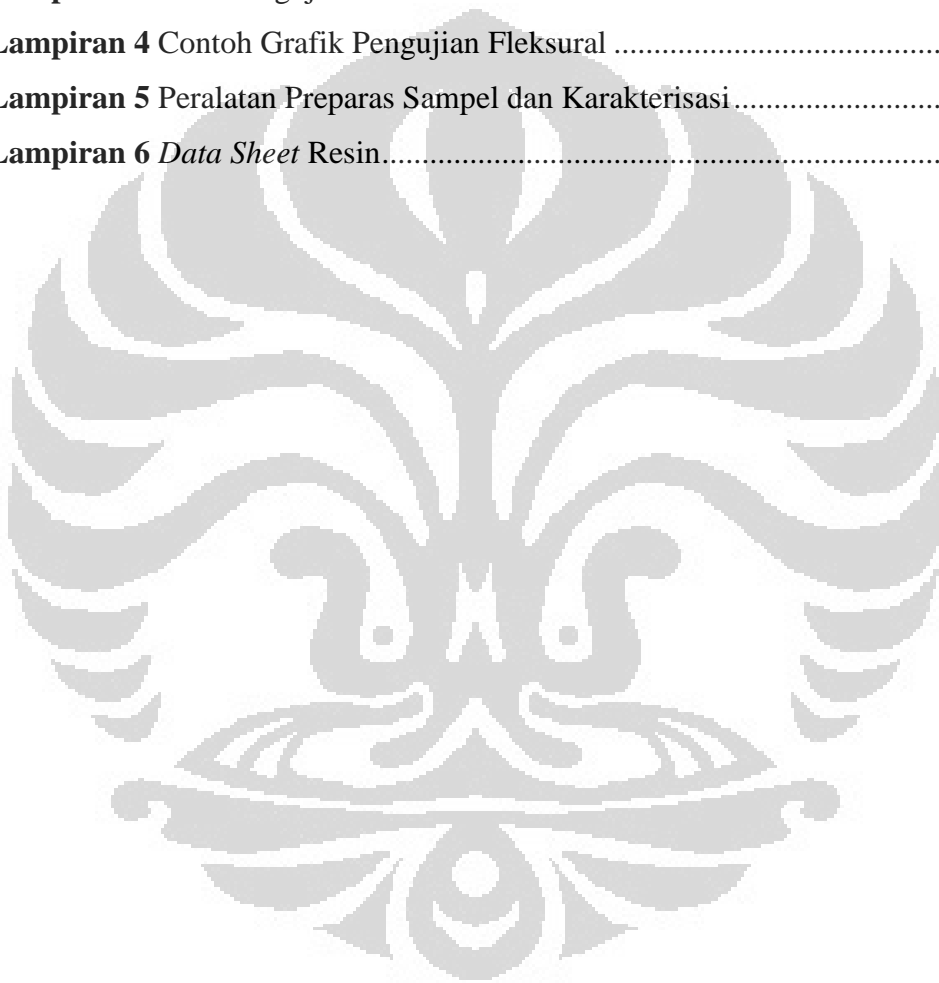
DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Jenis – Jenis <i>Fuel Cell</i>	8
Tabel 2.1 Bagian – Bagian PEMFC	11
Tabel 4.1 Data Pengujian Kekerasan <i>Unsaturated Polyester + Hardener</i>	27
Tabel 4.2 Data Pengujian Kekerasan <i>Unsaturated Polyester + Grafit</i>	29
Tabel 4.3 Data Pengujian Kekerasan <i>Unsaturated Polyester + Grafit + Cu</i>	32
Tabel 4.4 Data Pengujian Fleksural <i>Unsaturated Polyester + Grafit</i>	35
Tabel 4.5 Data Pengujian Fleksural <i>Unsaturated Polyester + Grafit + Cu</i> ...	38

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Hasil Pengujian Fleksural	47
Lampiran 2 Data Pengujian Fleksural	49
Lampiran 3 Data Pengujian Kekerasan	50
Lampiran 4 Contoh Grafik Pengujian Fleksural	51
Lampiran 5 Peralatan Preparas Sampel dan Karakterisasi.....	52
Lampiran 6 <i>Data Sheet</i> Resin.....	54



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

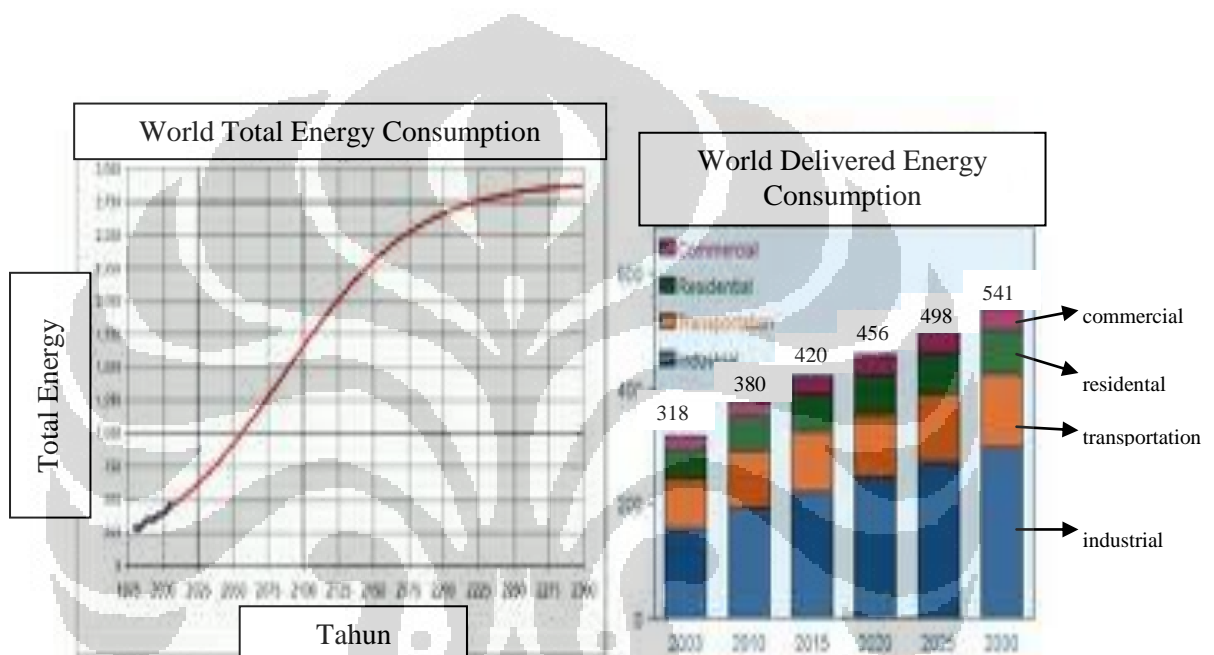
Pada era globalisasi saat ini, seluruh aspek yang berperan dalam kehidupan umat manusia berkembang pesat. Tidak berbeda dengan teknologi, semakin hari kemajuan dari teknologi tidak dapat terbendung lagi. Semua orang berusaha untuk menciptakan terobosan-terobosan baru dalam bidang ini untuk membuat kehidupan manusia menjadi lebih efisien. Hal ini dibuktikan dari munculnya divais-divais yang dapat diandalkan oleh umat manusia.

Kemajuan teknologi ini tentunya berjalan paralel dengan kemajuan dibidang material yang notabene-nya merupakan bahan dasar dalam pembuatan sesuatu. Salah satu terobosan yang dilakukan adalah teknologi komposit (*composite material*). Gema teknologi komposit sebagai teknologi di masa depan telah menyedot perhatian yang luar biasa, terutama bagi dunia peneliti. Teknologi modern yang berkembang saat ini menuntut penyediaan material dengan kombinasi sifat yang tidak mungkin didapat dari paduan material konvensional seperti paduan metal, keramik dan polimer. Kombinasi sifat material menjadi lebih beragam dengan adanya komposit.

Komposit secara umum adalah material buatan yang terdiri dari multifasa gabungan antara paduan metal, keramik, dan polimer. Bahan komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit. Bahan komposit saat ini banyak digunakan sebagai substitusi untuk bahan-bahan dalam teknologi modern karena bahan komposit memiliki sifat yang lebih baik.

Kebutuhan konsumsi energi yang terus meningkat seiring dengan perkembangan peradaban manusia. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 1.1 yang menunjukkan peningkatan konsumsi energi dari tahun 1960 – 2030.

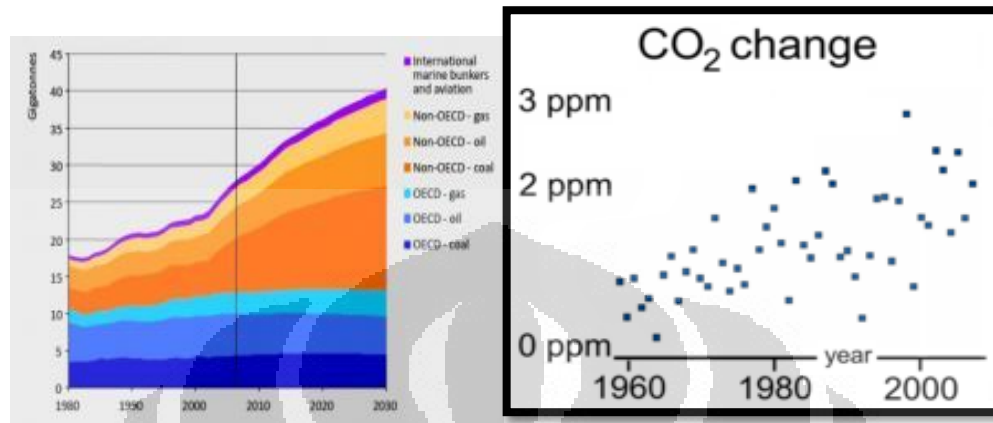
Peningkatan yang terjadi sekitar 45% sejak revolusi industri, dengan rata-rata rasio peningkatan 1,6% per tahun. Gambar 1.1 juga menunjukkan bahwa konsumsi energi terbesar terdapat pada bidang industri. Konsumsi energi saat ini belum ditunjang dengan ketersediaan energi yang cukup dan terbarukan. Keterbatasan sumber energi serta menipisnya cadangan minyak bumi dan bahan bakar fosil Indonesia mendorong dikembangkannya alternatif sumber energi.



Gambar 1.1 Perkiraan peningkatan konsumsi energi dunia ^[1]

Salah satu energi alternatif yang potensial untuk dikembangkan adalah *fuel cell*. Energi alternatif ini sangat menjanjikan untuk memenuhi berbagai kebutuhan energi di masa yang akan datang. Penggunaan energi alternatif *fuel cell* di masa depan akan berdampak pada berkurangnya pemakaian bahan bakar minyak (BBM), terpenuhinya kebutuhan energi, dan menurunkan tingkat emisi yang dihasilkan sehingga turut menjaga kelestarian bumi dari ancaman pemanasan global. Tingkat kenaikan emisi ditunjukkan pada Gambar 1.2 dibawah ini. Bisa kita lihat terdapat kenaikan yang signifikan pada grafik tersebut. Hal ini menandakan bahwa semakin banyak emisi yang

ditimbulkan oleh CO₂ yang sangat berbahaya bagi kehidupan manusia. Oleh sebab itu, dibutuhkan divais yang bisa mengurangi tingkat emisi carbon. Salah satu divais yang *capable* adalah *Fuel Cell*.



Gambar 1.2. Perkiraan emisi CO₂ dunia ^[1].

Fuel cell adalah sebuah divais yang mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi listrik melalui reaksi kimia dengan oksigen atau agen oksidator lainnya. *Hydrogen* adalah bahan bakar yang biasa digunakan dalam *fuel cell*, tetapi bahan hidrokarbon seperti gas alam dan alkohol seperti *methanol* juga digunakan sebagai bahan bakar.

Sebagai langkah awal dikembangkan alternatif energi untuk mewujudkan tersedianya kebutuhan energi yang terbarui dan ramah lingkungan maka penelitian *fuel cell* terus dikembangkan. Salah satu teknologi *fuel cell* yang marak di kembangkan yaitu *Polymer Electrolite Membrane Fuel Cell (PEMFC)*. Teknologi ini memiliki efisiensi tinggi, tidak bising dan *transportable* yang dapat digunakan pada kendaraan bermotor, ponsel, komputer, alat rumah tangga maupun pembangkit listrik (*power plant*) di Indonesia.

Salah satu kendala terbesar yang menghambat komersialisasi sumber energi alternatif adalah karena tingginya biaya produksi. Oleh karena itu terus dikembangkan upaya untuk mereduksi biaya produksi dan menemukan material yang tepat untuk digunakan dalam aplikasi ini. Salah satu komponen dari *fuel cell* adalah pelat bipolar merupakan komponen yang berpengaruh besar terhadap performa dan biaya produksi dari unit rangkaian *fuel cell*.

Pelat bipolar adalah pelat konduktif dalam tumpukan *fuel cell* yang berfungsi sebagai anoda untuk satu sel dan katoda untuk sel yang berdekatan. Pelat tersebut bisa dibuat dengan bahan material atau polimer dengan konduktivitas yang tinggi, selain itu dia juga berfungsi sebagai pengumpul arus muatan listrik (*electrical current*), sebagai alur pemasok bahan bakar divais itu sendiri, penahan lewatnya gas secara langsung (*gas barrier*) juga sebagai penyalur sisa reaksi atau hasil samping. Pelat bipolar merupakan komponen yang sangat penting dalam *fuel cell* dimana menempati 80% dari total volume, 70% dari total berat, dan 60% dari total biaya produksi^[2].

Pada awalnya pelat bipolar terbuat dari bahan konduktor tinggi seperti tembaga, grafit maupun aluminium. Pelat bipolar dengan bahan baku seperti itu memiliki banyak kekurangan seperti pembuatannya yang relatif lama dan sulit serta berat yang terlalu besar. Lamanya pembuatan pelat tersebut karena pengolahan permukaan untuk mendapatkan permukaan yang luas dan mudah mengalirkan suatu masa. Sedangkan pelat dengan bahan logam memiliki berat yang besar.

Komposit antara material plastik dengan material konduktor merupakan suatu alternatif untuk memecahkan permasalahan di atas, yaitu untuk mendapatkan masa yang lebih ringan dengan produksi yang relatif cepat. Pada awal tahun 2000-an, pelat bipolar komposit plastik ini sudah mulai di produksi, dimana plastik yang digunakan berjenis termoset, yaitu jenis plastik yang tidak bisa di daur ulang dan proses pencetakannya agak lama.

1.2 Perumusan Masalah

Untuk mendapatkan komposisi pelat bipolar yang memiliki karakteristik sesuai dengan persyaratan umum, dibutuhkan penelitian yang berkesinambungan sehingga dapat mencapai efisiensi optimum baik dari sifat maupun biaya produksi. Penelitian ini akan mempelajari tentang karakteristik pelat bipolar yang terbuat dari komposit dengan matriks polimer yang ditambahkan grafit dan serbuk tembaga dengan deret yang ditentukan. Penambahan ini diharapkan dapat meningkatkan sifat-sifat mekanik yang sesuai untuk material yang akan digunakan sebagai pelat bipolar.

Karakteristik material yang akan digunakan sebagai pelat bipolar harus memenuhi standar kelayakan sifat pelat bipolar. Karakteristik pelat bipolar dapat diketahui dengan menggunakan proses *mixing* terlebih dahulu agar didapat bakalan yang homogen kemudian dicetak. Pencetakan dilakukan sesuai dengan bentuk sampel pengujian. Resin *unsaturated polyester* akan ditambahkan dengan grafit dan serbuk Cu kemudian ditambahkan *hardener* agar sampel mengeras. Pengujian akan dilakukan terhadap deret sampel yang memiliki kandungan Cu dan atau grafit yang berbeda-beda. Sehingga pengaruh variabel Cu dan atau grafit dapat dipelajari terhadap kekuatan fleksural maupun kekerasannya.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

- a. Mendapatkan kekuatan fleksural dan kekerasan optimum terhadap penambahan 5–20 wt% grafit pada matriks *unsaturated polyester*.
- b. Mempelajari karakterisasi kekuatan fleksural dan kekerasan akibat penambahan 5–30 wt% serbuk Cu terhadap komposit *unsaturated polyester* - Grafit.
- c. Memperoleh komposisi material pelat bipolar PEMFC dengan sifat mekanis yang optimum.

1.4 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Bahan yang akan digunakan antara lain resin *unsaturated polyester* sebagai matriks komposit, *unsaturated polyester hardener*, serbuk grafit, dan serbuk tembaga. Penambahan serbuk grafit dan serbuk tembaga berfungsi sebagai *filler (reinforcement)* yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanis dari pelat bipolar.

Ruang lingkup penelitian ini meliputi sintesis komposit X dengan menggunakan resin *unsaturated polyester*, grafit, dan *hardener*. Komposisi optimum komposit X didapatkan dengan cara melakukan pengujian fleksural dan kekerasan. Dari komposisi optimum komposit X, ditambahkan

reinforcement serbuk Cu dengan variasi 5–25 wt% dan didapatkan komposit Y. Karakterisasi yang dilakukan pada komposit Y sama seperti yang dilakukan pada komposit A yaitu pengujian fleksural dan kekerasan.

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan laporan kerja praktek ini, penulis membuat sistematika penulisan sebagai berikut:

Bab I : PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan latar belakang, perumusan masalah, tujuan, ruang lingkup serta batasan masalah, serta sistematika penulisan laporan kerja praktek.

Bab II : LANDASAN TEORI

Pada bab ini dijelaskan tentang landasan teori mengenai semua aspek yang terlibat dalam penelitian ini seperti : *fuel cell*, PEMFC, pelat bipolar, komposit, dan *unsaturated polyester*.

Bab III : DASAR TEORI

Bagian ini menjelaskan mengenai metodologi penelitian. Hal-hal yang terkait antara lain, diagram alir proses, alat dan bahan yang dibutuhkan selama penelitian, serta proses formulasi yang dilakukan.

Bab IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan mengenai hasil yang didapat dalam penelitian. Baik hasil pembuatan sampel maupun hasil karakterisasi yang dilakukan.

Bab V : KESIMPULAN

Pada bab ini mengemukakan kesimpulan yang didapat saat penelitian dari seluruh analisa dan pembahasan yang dilakukan.

Daftar Pustaka

Bab ini berisi referensi yang ada.

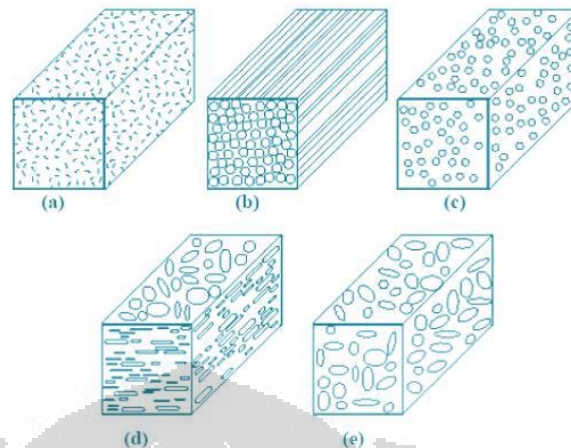
BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Komposit

Komposit didefinisikan sebagai dua macam atau lebih material yang digabungkan dalam skala makroskopis sehingga menjadi material baru dengan sifat yang lebih baik daripada sifat material penyusunnya. Komposit terdiri dari 2 bagian utama yaitu ^[8] :

- a) Matriks berfungsi sebagai pengikat dari penguat, mendistribusikan beban antara penguat, memproteksi penguat dari lingkungan, dan melindungi permukaan abrasi mekanis. Pemilihan matriks dalam suatu komposit menjadi penting karena dalam suatu komposit dibutuhkan sifat mekanis yang baik, sifat mampuproses yang baik, dan juga memiliki resistansi yang baik terhadap bahan kimia dan panas.
- b) *Filler* (pengisi), berfungsi sebagai penguat dalam komposit untuk meningkatkan sifat dari material komposit yang dihasilkan dan memiliki kemampuan untuk ditempatkan pada arah pembebanan untuk meningkatkan sifat mekanisnya. Bahan penguat komposit dapat berbentuk serat, partikel, serpihan, atau juga dapat berbentuk yang lain ^[9].

Sifat material komposit juga dipengaruhi oleh arah orientasi penguat sehingga pengaturan arah orientasi penguat ini diatur sedemikian rupa untuk mendapatkan sifat komposit yang diinginkan, seperti sifat mekanis dan konduktivitasnya. Performa mekanis akan meningkat jika arah orientasi penguat yang searah dengan arah pembebanan. Orientasi penguat pada komposit dapat kita lihat pada Gambar 2.4 berikut :



Gambar 2.1. Jenis komposit berdasarkan bentuk penguat: (a) komposit serat pendek acak, (b) komposit serat panjang sejajar, (c) komposit partikulat, (d) komposit serpihan, (e) komposit berpengisi ^[9]

Sifat dari material komposit dipengaruhi oleh sifat dan konsentrasi konstituen penyusunnya, arah orientasi penguat, dan juga ikatan antara matriks dan penguatnya. Pengaruh komposisi terhadap sifat komposit ini diturunkan dengan menggunakan hukum campuran (*rule of mixture*) untuk memprediksi sifat akhir komposit. Perbandingan volume fraksi antara penguat dan matriks dalam komposit mempengaruhi karakteristik komposit tersebut. Semakin banyak jumlah suatu material dalam komposit, maka semakin besar pengaruh material tersebut terhadap sifat komposit.

$$E_c = \frac{E_f V_f}{E_m V_m} \quad (2.1)$$

$$\rho_c = \frac{m_c}{v_c} = \frac{m_f + m_m}{v_f + v_m + v_v} = \frac{\rho_f v_f + \rho_m v_m}{v_f + v_m + v_m} = \frac{\rho_f V_f + \rho_m V_f}{1} \quad (2.2)$$

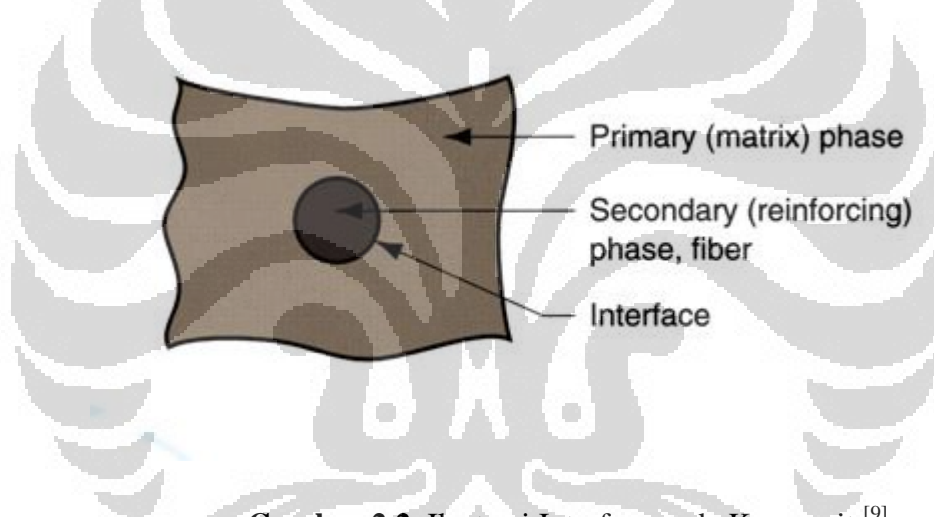
dimana, E = Modulus Elastisitas [komposit (c), penguat (f), matriks (m)]

V = Fraksi volume [komposit (c), penguat (f), matriks (m)]

ρ = Densitas [komposit (c), penguat (f), matriks (m)].

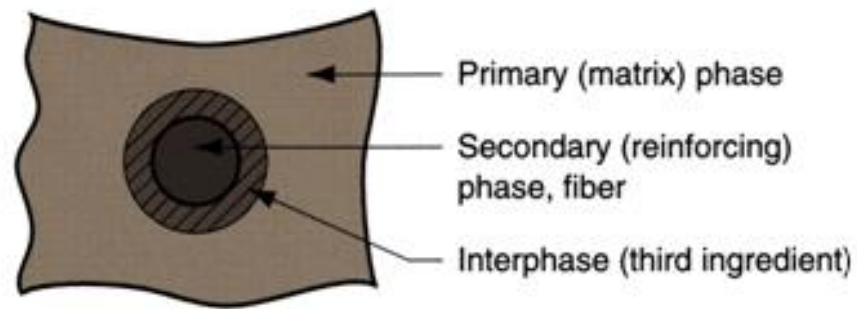
Komposit material dapat terbentuk sesuai dengan tujuan penelitian jika memiliki faktor *interface* (antarmuka) yang baik. Jika sebuah komposit memiliki *interface* yang baik sifat-sifat yang dipengaruhi antara lain, nilai kekuatan, kekakuan, *fracture toughness*, ketahanan *creep* dan fatik, serta ketahanan terhadap lingkungan.

Interface adalah permukaan diantara dua konstituen pada komposit. Permukaan yang merupakan pertemuan antara matriks dan *reinforcement*. Komposit dapat bekerja dengan efektif jika antarmuka yang terbentuk cukup kuat. Ilustrasi *interface* dapat dilihat pada Gambar 2.2 yang menunjukkan bahwa adanya permukaan yang terjadi antara *primary phase* dan *secondary phase*.



Gambar 2.2. Ilustrasi *Interface* pada Komposit ^[9]

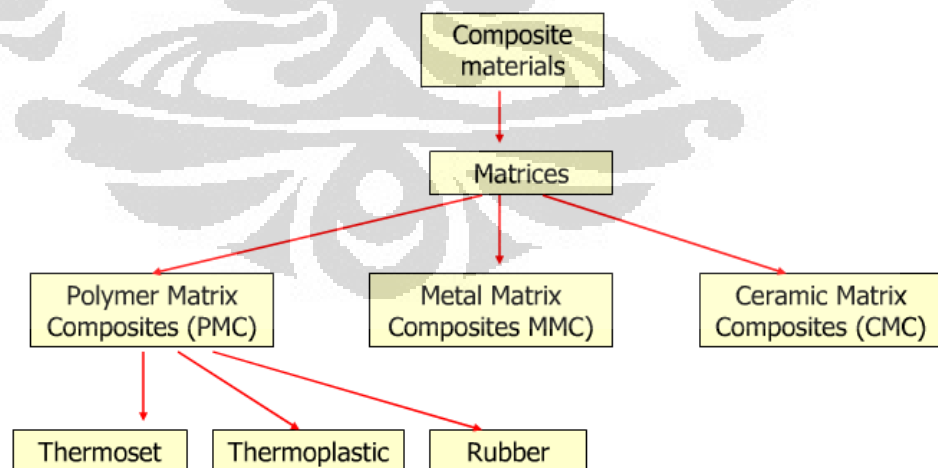
Selain *interface*, dalam komposit dapat terjadi *interphase*. *Interphase* adalah fasa yang terbentuk karena adanya reaksi dari *primary phase* dan *secondary phase*. *Interphase* ini memiliki sifat adhesif. Dengan adanya *interphase* ini ikatan antara *primary* dan *secondary* menjadi lebih kuat. Komposit yang memiliki *interface* dan *interphase* akan memiliki *properties* yang lebih baik jika dibandingkan hanya memiliki *interface*. Ilustrasi *interphase* dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut :



Gambar 2.3 Ilustrasi *Interphase* pada Komposit ^[9]

2.2 Polymer Matrix Composite (PMC)

Berdasarkan Gambar 2.4 komposit bisa dibagi tiga berdasarkan matriks penyusunnya. Komposit dengan logam sebagai matriksnya biasa disebut MMC (*metal matrix composites*), jika matriks yang digunakan adalah keramik maka digolongkan sebagai CMC (*ceramic matrix composites*). Pada penelitian kali ini digunakan komposit tipe PMC (*polymer matrix composite*) oleh sebab itu digunakanlah polimer sebagai matriks.



Gambar 2.4 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matriks ^[8]

Polimer yang biasa digunakan sebagai matriks dibagi menjadi tiga tipe yaitu, jenis termoset, termoplastik, dan jenis rubber. Untuk didapatkan sifat mekanis yang tinggi maka digunakan polimer tipe termoset pada penelitian ini.

Termoplastik polimer adalah polimer yang memiliki bentuk struktur linier atau bercabang yang tidak terhubung satu sama lain. Sedangkan termoset polimer adalah polimer yang memiliki struktur ikatan tiga dimensi yang kuat, ikatan kuat ini terbentuk karena adanya *cross-linked* yang menghubungkan tiap rantai polimer. Polimer yang memiliki ikatan *cross-linked* memiliki sifat yang lebih kaku dari pada polimer yang tidak memiliki ikatan *cross-linked*. Termoset resin merupakan jenis polimer yang paling banyak digunakan dan mudah ditemukan unjtuk saat ini contohnya seperti epoksi dan *polyester*. Oleh karena itu, digunakan polimer termoset agar didapatkan komposit dengan sifat mekanik yang tinggi.

Termoset polimer berbentuk *liquid* atau bentuk lunak lainnya dan biasanya didisain untuk dicetak dalam proses produksinya. Termoset polimer memiliki sifat unggulan antara lain, ketahanan terhadap temperatur dan bahan kimia lain, selain itu termoset juga memiliki kestabilan dimensi yang lebih baik. Semua sifat ini didapatkan dari ikatan *cross-linked* yang terjadi pada termoset polimer ini. Ikatan ini terjadi sewaktu proses curing. Pada termoset polimer sekali polimer ini mengalami pembekuan maka pada temperatur tinggi dia akan terurai bukan meleleh seperti polimer termoplastik. Polimer termoset hanya dapat digunakan sekali, tidak seperti polimer termoplastik yang dapat digunakan berulang kali.

Polimer jenis termoset dibuat dengan mencampurkan dua buah komponen (resin dan *hardener*) yang akan bereaksi dan membeku, baik dalam temperatur ruang maupun pada temperatur tinggi. Akibat dari *cross-linking* yang terjadi maka struktur yang terbentuk adalah struktur amorf.

Keunggulan PMC antara lain biaya pembuatan yang relatif lebih rendah, dapat diproduksi secara massal, mudah dibentuk dan memiliki kemampuan

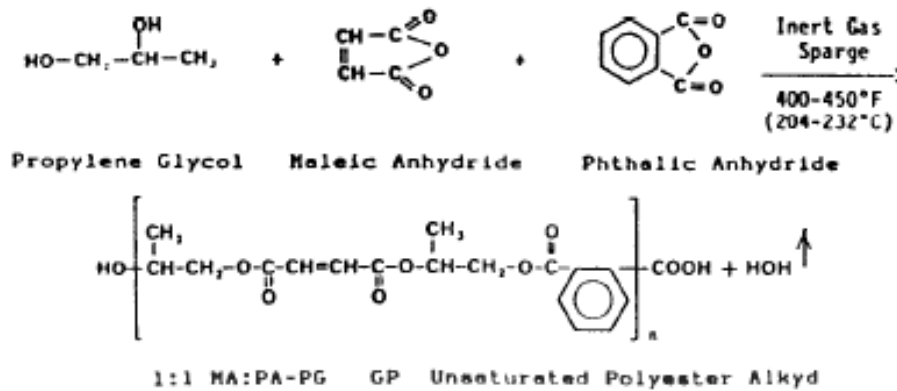
permesinan (*machinability*) yang baik ^[10,11]. Komposit yang dibuat dari campuran antara matriks polimer dengan *conductive filler* seperti *grafit*, serat karbon, *grafit*, dan partikel logam disebut dengan komposit konduktif polimer. Komposit jenis ini memiliki ketangguhan yang tinggi dan berat yang relatif lebih ringan. Polimer dipilih sebagai matriks karena harganya murah, ketersediaan jumlah yang memadai, tahan terhadap bahan kimia, dan memiliki sifat-sifat mekanik yang baik, serta permeabilitas baik terhadap air dan gas ^[12].

2.3 *Unsaturated Polyester*

Polyester resin merupakan salah satu jenis termoset. Material ini dapat mengalami pembekuan dari fasa *liquid* ke fasa *solid* ketika berada pada kondisi yang tepat. *Unsaturated Polyester* terbentuk dari reaksi *polyesterification*. *Polyesterification* merupakan proses yang paling penting dalam pembuatan *unsaturated polyester*. Proses ini terdiri dari :

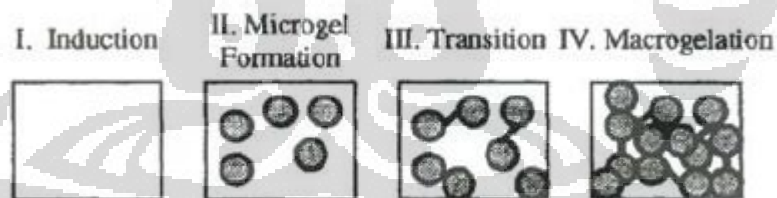
1. Isomerisasi *maleate* menjadi *fumarate*
2. Penambahan *glycol* untuk menjadikan *maleate* dan *fumarate* menjadi *double bonds*
3. Penghancuran *double bond* dengan oksidasi
4. Penghilangan *glycol*

Penambahan *glycol* dilakukan agar terjadi perubahan rantai pada struktur kimia *maleate* dan *fumarate* menjadi *double bonds*. Perubahan struktur rantai dapat kita lihat pada Gambar 2.5. Secara garis besar pembuatan *unsaturated polyester* dapat dijelaskan pada skema di bawah ini :



Gambar 2.5 Proses Poliesterifikasi

Polyester pada saat mengalami *curing* akan mengalami peristiwa *crosslinking*. Reaksi *crosslinking* merupakan reaksi autokatalis. Reaksi ini dipengaruhi oleh jumlah *styrene* yang ada pada resin. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.6 pertama-tama akan terbentuk rantai molekul yang panjang selama proses *intermolecular*, reaksi ini biasa disebut *microgel-particles*. Proses *curing* selanjutnya adalah meningkatnya *crosslinking* pada *microgels* sehingga terjadi *intermolecular microgelling* and *microgel clustering*. Untuk lebih menjelaskan mengenai proses tersebut, bisa dilihat pada skema di bawah ini :

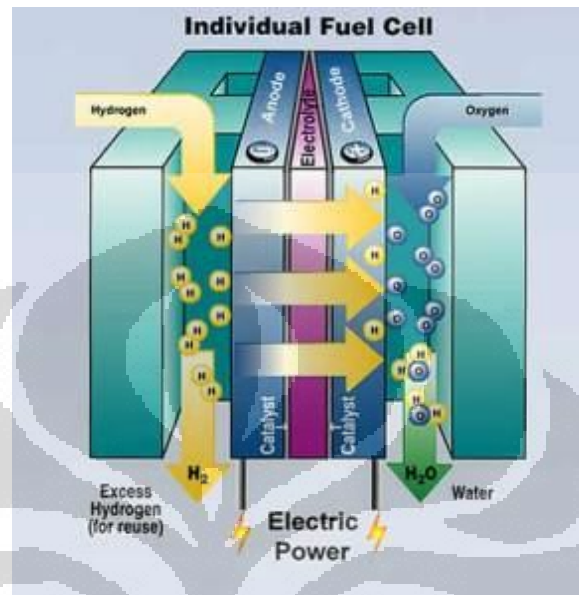


Gambar 2.6 Skema Proses *Crosslinking*

2.4 Fuel Cell

Fuel cell adalah alat konversi energi elektrokimia yang dapat mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi listrik. Alat ini terdiri dari dua buah elektroda, yaitu anoda dan katoda yang dipisahkan oleh sebuah membran polimer yang berfungsi sebagai elektrolit. Hidrogen dialirkan ke dalam anoda *fuel cell*, sedang oksigen atau udara dialirkan ke bagian katoda, dengan adanya membran, maka gas hidrogen tidak akan bercampur dengan

oksigen^[3]. Sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.1 . *Fuel cell* dibagi atas beberapa kategori berdasarkan kombinasi tipe bahan bakar dan oksidan, tipe elektrolit yang digunakan, dan temperatur^[4].



Gambar 2.7. Ilustrasi Skematis Satu sel *fuel cell*

Ada enam tipe umum *fuel cell* yang dibedakan berdasarkan elektrolit yang digunakan untuk menghantarkan proton, yaitu *alkaline fuel cell* (AFC), *phosphoric acid fuel cell* (PAFC), *molten carbonate fuel cell* (MCFC), *solid oxide fuel cell* (SOFC), *polymer electrolyte membrane fuel cell* (PEMFC), dan *direct methanol fuel cell* (DMFC)^[5,6]. Pengembangan *fuel cell* tipe PEMFC umumnya menggunakan material dengan bahan membran polimer, katalis elektroda dan pelat bipolar grafit. Karakteristik tiap jenis *fuel cell* dapat kita lihat pada Tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1. Jenis – jenis *Fuel Cell*

Jenis	Elektrolit	Temperatur Operasi (°C)	Karakteristik
<i>Alkaline Fuel Cell</i> (AFC)	KOH	60–120	Efisiensi energi tinggi
<i>Phosphoric Acid Fuel Cell</i> (PAFC)	<i>Phosphoric Acid</i> (H ⁺)	60–200	Efisiensi energi terbatas, peka terhadap CO ₂ (<1,5% Vol)
<i>Molten Carbonate Fuel Cell</i> (MCFC)	<i>Molten Carbonate</i> (CO ₂ ²⁻)	500–650	Rentan korosi temperature tinggi
<i>Solid Oxide Fuel Cell</i> (SOFC)	Lapisan Keramik(O ₂ ⁻)	800–1000	Efisiensi sistem tinggi, temperatur operasi perlu direduksi
<i>Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell</i> (PEMFC)	<i>Polymer Electrolyte</i> (H ⁺)	60–100	Kerapatan energi tinggi, memiliki kepekaan terhadap CO (<100ppm)
<i>Direct Methanol Fuel Cell</i> (DMFC)	<i>Electrolyte Polymer</i> (H ⁺)	60–120	Efisiensi sistem tinggi, peka terhadap hasil oksidasi di anoda

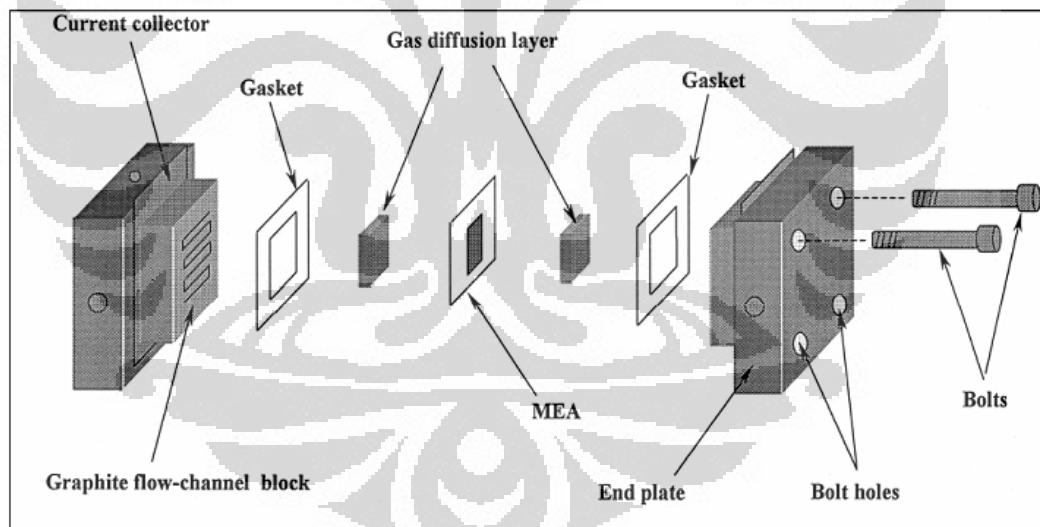
2.5 PEMFC

Polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC) disebut juga *proton exchange membrane fuel cell*. PEMFC tidak dipakai fluida yang bersifat korosif seperti jenis lainnya. Dalam PEMFC terdapat membran tipis padat yang berfungsi sebagai elektrolit pemisah katoda dan anoda^[5]. Membran ini

secara selektif mengontrol transportasi proton dari anoda ke katoda dalam *fuel cell*. PEMFC hanya memerlukan hidrogen untuk menghasilkan energi, oksigen dari udara, dan air sebagai produk sampingan dari reaksi [6].

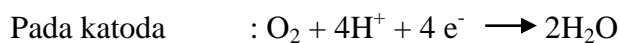
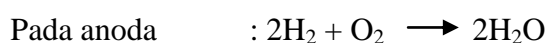
PEMFC bekerja pada temperatur yang relatif rendah, yaitu sekitar 80°C. Rendahnya suhu operasi ini menyebabkan rendahnya waktu pemanasan. Selain itu PEM memiliki kerapatan daya yang cukup tinggi karena sifat-sifat inilah maka PEM banyak digunakan sebagai sumber daya bagi alat-alat elektronik *portable* dan alat-alat transportasi [4].

Membran polimer merupakan komponen yang sangat penting dalam PEM *fuel cell*. Membran polimer ini dapat memisahkan reaktan dan menjadi sarana transportasi ion hidrogen yang dihasilkan di anoda menuju katoda sehingga menghasilkan energi listrik. Membran ini terletak diantara dua pelat *gas diffusion layer*, seperti yang dapat kita lihat pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2. 8. Komponen dalam PEMFC [3]

Persamaan reaksi yang terjadi di anoda dan katoda dapat dituliskan sebagai berikut [3] :



Membrane electrolyte assembly (MEA) ini diharapkan mampu untuk transfer proton selama *fuel cell* beroperasi. Hidrogen pada anoda dipisahkan antara elektron dan proton, kemudian ditransportasikan dalam *fuel cell*. Elektron dihantarkan keluar, selama proton berpindah dari membran konduktif ke katoda. Hasil dari reaksi ini akan menghasilkan molekul air yang dibutuhkan membran hidrat. Elektron dan proton akan bertemu di katoda dan akan membentuk air jika terdapat kehadiran oksigen. Membran hidrat pada PEM beroperasi pada temperatur yang rendah, umumnya 80°C ke bawah ^[5].

Ion yang bermigrasi dapat sebagai hidrogen, oksigen atau hidroksida. Sedangkan elektrolit dapat berupa membran polimer, garam karbonat cair, lapisan oksida keramik, larutan alkali dan asam fosfat. Elektroda biasanya terbuat dari logam platina atau nikel ^[5].

Dalam rangka optimalisasi sifat membran *fuel cell* dilakukan penggabungan membran dengan material pendukung. Penggabungan umumnya dilakukan dengan pembentukan kopolimer, blending polimer maupun penggabungan dengan suatu komposit. Penggabungan ini bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat membran seperti ketahanan termal, ketahanan kimia, ketahanan mekanik, sifat hantaran dan sifat resistensi membran. Berdasarkan pertimbangan ekonomis kebutuhan dan keefektifan dalam aplikasinya dibutuhkan material yang murah serta memiliki efisiensi yang baik, maka dalam penelitian ini dikembangkan pelat bipolar komposit dengan material grafit. Diharapkan penelitian ini dapat menghasilkan material baru yang murah, ringan dan memiliki karakteristik yang baik untuk digunakan sebagai pelat bipolar dalam PEMFC.

Selain *membrane electrolyte assembly* (MEA), komponen-komponen pendukung lain yang ada pada PEMFC dapat kita lihat pada tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2. Bagian – Bagian PEMFC

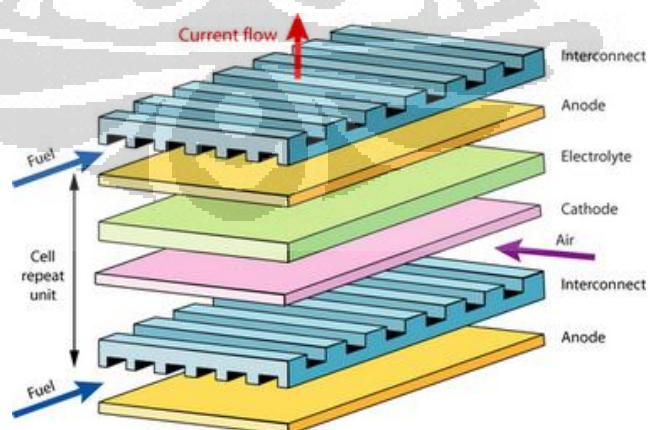
Komponen	Material	Fungsi
<i>Membrane electrolyte assembly</i> (MEA)	Polimer solid terimpregnasi dengan lapisan katalis pada anoda dan katoda. Kertas atau kain carbon berpori untuk lapisan difusi gas (GDL)	Terdiri dari 2 elektroda, 1 membran elektrolit, dan 2 GDL. Membran memisahkan (dengan pembatas gas) 2 setengah-reaksi sel dan melepas proton dari anoda ke katoda. Lapisan katalis yang terdispersi pada elektroda memacu setiap setengah-reaksi. GDL mendistribusikan gas secara merata ke katalis di membran, mengalirkan elektron dari area aktif menuju pelat bipolar dan membantu pengaturan air.
Pelat Bipolar	Grafit, <i>stainless steel</i> , atau komposit polimer termoplastik	Mendistribusikan gas di bagian area aktif membran. Mengalirkan elektron dari anoda menuju katoda. Membuang air keluar sel.
Pelat Penutup	Material dengan kekuatan mekanik yang baik (biasanya baja atau alumunium)	Menyatukan rangkaian <i>fuel cell</i> .

Tabel 2.2. Bagian – Bagian PEMFC

Komponen	Material	Fungsi
Penyimpangan Arus	Logam dengan kontak elektrik dan konduktivitas yang baik (biasanya tembaga)	Menyimpan dan mentransfer arus listrik dari dalam ke luar sirkuit.

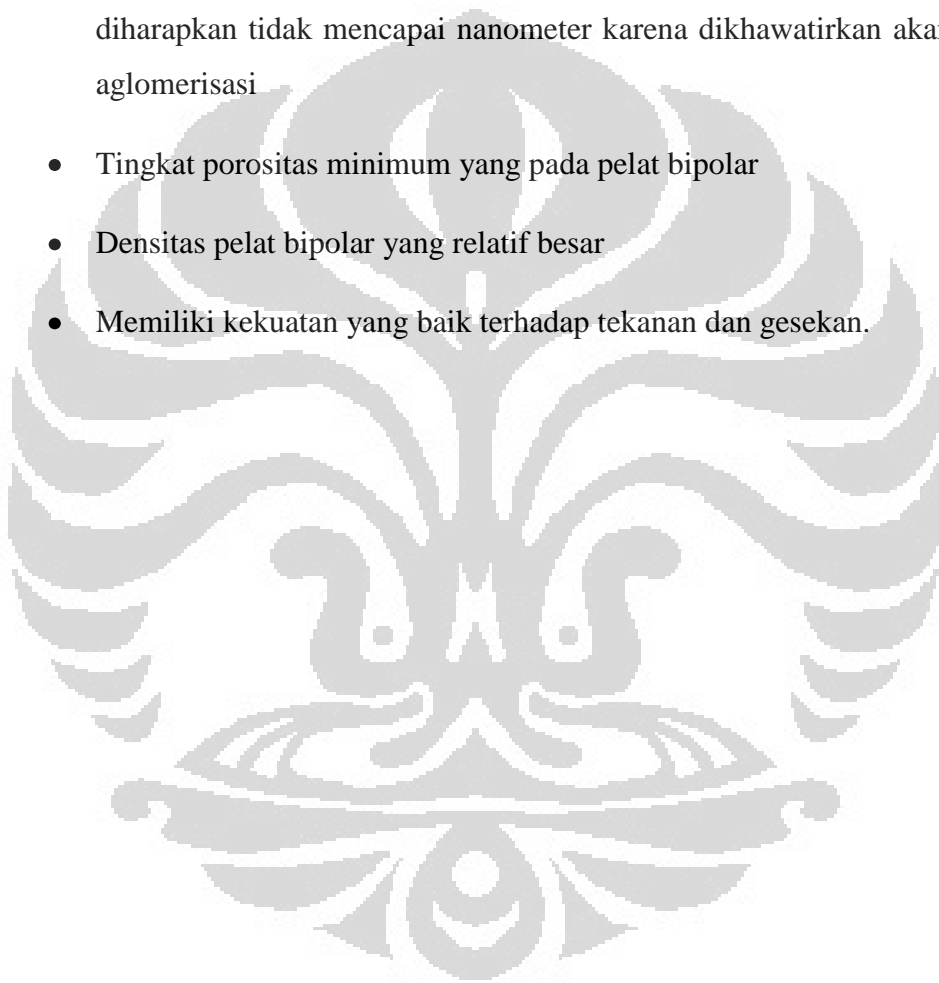
2.6 Pelat Bipolar

Pelat bipolar seringkali dikenal pula dengan sebutan *flow field plate* atau pelat separator. Pelat bipolar ini digunakan sebagai penghubung elektrik antara dua elektroda dengan kutub yang berbeda, seperti yang terlihat pada Gambar 2.3. Pelat bipolar berfungsi untuk mendistribusikan gas ke membran, penghantar elektron dari anoda ke katoda, penghantar panas dari dan menuju elektroda, mengalirkan produk akhir dalam bentuk air dari tiap sel, penghalang perpindahan gas antar sel, dan menjaga stabilitas struktur dari PEMFC. Pelat bipolar dibuat dari material yang memiliki konduktivitas listrik baik dan tidak dapat dilewati oleh gas. Dapat berlaku sebagai pengumpul arus, dan mampu menopang struktur dari PEMFC [7].

**Gambar 2.9.** Ilustrasi Pelat Bipolar [7]

Pelat bipolar harus dibuat tipis, ringan, ekonomis, dan mudah dibentuk serta di-*machining*, mempunyai kestabilan thermal dan sifat mekanis yang baik, karena fungsi utamanya untuk menghubungkan sel-sel secara elektrik dan menyalurkan gas pada *fuel cell* ^[18]. Beberapa sifat pelat bipolar yang diharapkan setelah dilakukan karakterisasi dan pengujian antara lain:

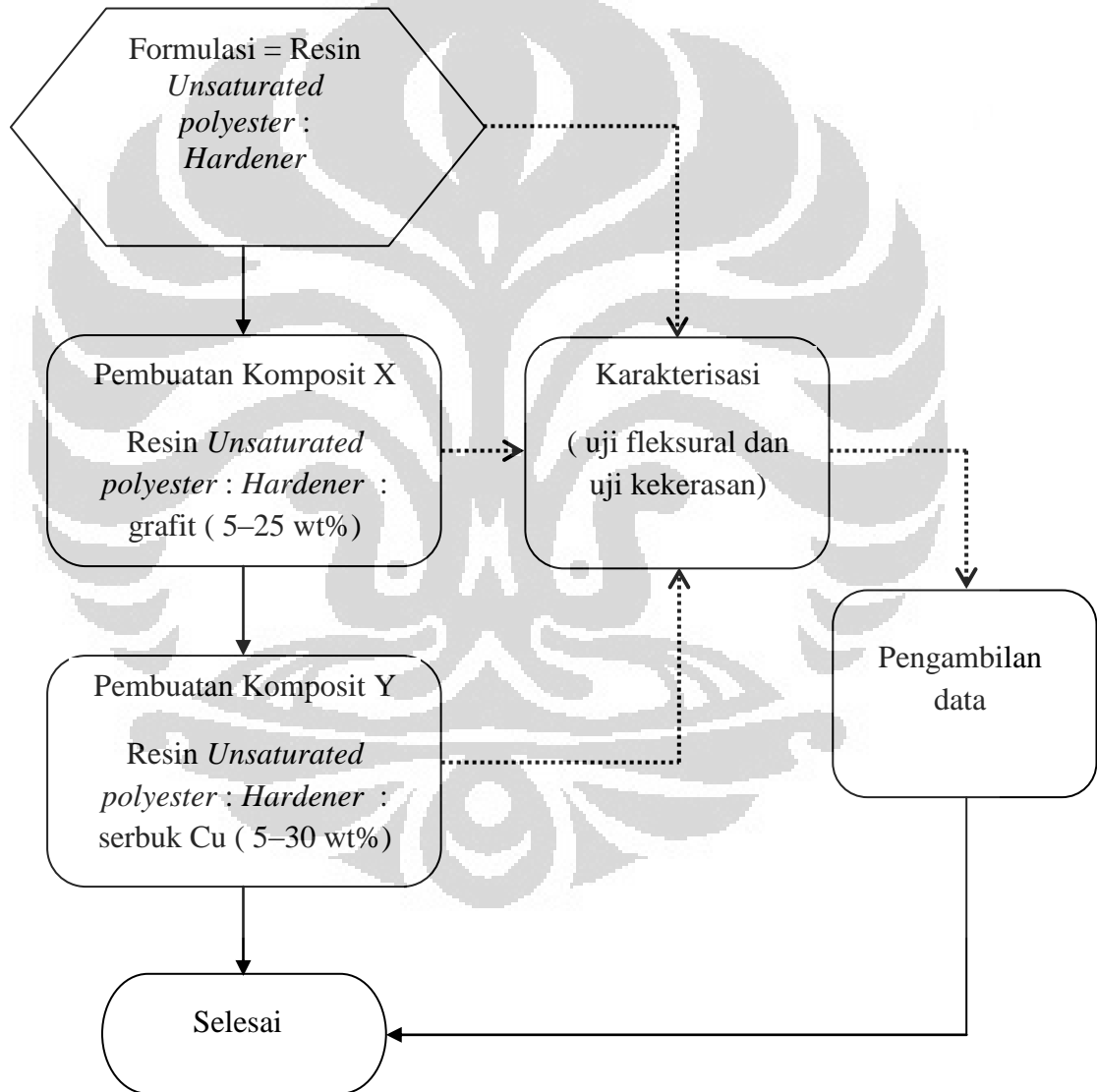
- Kontak permukaan antara *unsaturated polyester* dan grafit yang besar
- Ukuran butir dan persebaran butir yang optimum, ukuran yang diharapkan tidak mencapai nanometer karena dikhawatirkan akan terjadi aglomerisasi
- Tingkat porositas minimum yang pada pelat bipolar
- Densitas pelat bipolar yang relatif besar
- Memiliki kekuatan yang baik terhadap tekanan dan gesekan.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram alir

Diagram alir pada Gambar 3.1 berikut menggambarkan secara umum kegiatan preparasi dan pengujian sampel yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan sifat dan karakteristik terhadap penambahan 5–25 wt% serbuk tembaga ke dalam komposit grafit- *unsaturated polyester*.



Gambar 3.1. Diagram Alir

Rangkaian penelitian yang akan dilakukan terdiri dari tiga tahap utama, yaitu : (i) proses formulasi antara resin *unsaturated polyester* dengan *hardener* kemudian dilanjutkan dengan karakterisasi matriks dengan pengujian kekerasan, (ii) pembuatan komposit X dengan penambahan grafit 5–25 wt% yang dilanjutkan dengan karakterisasi komposit dengan pengujian fleksural dan kekerasan, (iii) pembuatan komposit Y dengan penambahan serbuk Cu 5–25 wt% yang dilanjutkan dengan karakterisasi dengan pengujian yang sama dengan pengujian komposit X.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1 Peralatan

Berikut ini adalah peralatan yang digunakan di dalam penelitian untuk membuat sampel uji dan pengujian karakterisasi terhadap material komposit grafit-*unsaturated polyester* dengan penambahan 5–25 wt% serbuk tembaga dengan metode *simple mixing* :

- Timbangan Digital
- *Magnetic Stirring*
- Gerinda
- Amplas
- Cetakan plastik
- *Aluminium foil*
- Sumpit
- Gelas plastic

3.2.2 Bahan

Pada penelitian ini, digunakan material komposit untuk membuat pelat bipolar. Material komposit menggunakan polimer sebagai matriks dan karbon serta serbuk tembaga sebagai penguat. Polimer yang digunakan sebagai

matriks adalah *unsaturated polyester resin*, sedangkan karbon yang digunakan sebagai penguat adalah serbuk grafit. Komposisi dari masing-masing bahan penyusun sampel tergantung pada variabel yang digunakan dengan beral total per sampel sebesar 40–60 gram. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- a) *Unsaturated polyester resin*
- b) *Hardener*
- c) Serbuk grafit
- d) Serbuk tembaga

3.3. Proses Formulasi

Proses formulasi ini dilakukan untuk mendapatkan matriks untuk pelat bipolar dengan nilai kekerasan dan konduktivitas listrik yang tinggi. Pertama kali yang harus dilakukan dalam proses formulasi ini adalah mencari perbandingan yang optimal antara resin dan *hardener*. Penimbangan resin *unsaturated polyester* dilakukan antara 40–60 gram. Perbandingan antara resin *unsaturated polyester* : *hardener* adalah menggunakan deret dari 600 : 1 sampai 100 : 1. Sampel dibuat sebanyak delapan buah. Semakin kecil nilai deret yang digunakan, maka semakin banyak *unsaturated polyester* yang ditambahkan kedalam resin.

Setelah melakukan proses *mixing* (resin *unsaturated polyester* + *hardener*) dilakukan tahap *stirring*. Proses *stirring* dilakukan dengan menggunakan *stirrer magnetic* pada temperatur ruang dan dengan kecepatan *stirrer* 2–3. Kecepatan tergolong rendah agar gelembung tidak terbentuk selama proses pengadukan. Waktu pengadukan relatif, pengadukan dilakukan sampai warna campuran merata dan seragam (transparan).

Setelah tahap *stirrer* selesai dan campuran dalam keadaan homogen, campuran dimasukkan kedalam cetakan yang terbuat dari plastik. Campuran dibiarkan membeku pada suhu ruang. Sewaktu membeku proses *crosslinking* akan terjadi. Proses ini menyebabkan adanya reaksi eksoterm

yang menghasilkan panas. Oleh karena itu, cetakan yang digunakan harus tahan terhadap panas. Setiap deret yang digunakan dibuat sampel sebanyak tiga buah agar hasil bisa dibilang representatif. Setelah membeku, sampel dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan karakterisasi berupa pengujian kekerasan dan pengujian fleksural sehingga didapatkan nilai optimum dari campuran *unsaturated polyester* dan *hardener* .

Sampel dengan paduan antara *unsaturated polyester* dan *hardener* yang memiliki nilai kekerasan dan fleksural tertinggi kemudian masuk ke tahap dua, yaitu pembuatan sampel komposit grafit-*unsaturated polyester*. Metode yang digunakan masih sama yaitu metode *simple mixing*. Pembuatan komposit dimulai dengan penimbangan *unsaturated polyester* resin berdasarkan data karakterisasi yang didapat. Kemudian dilakukan penambahan grafit dengan deret 5–20 % dan dilakukan pengadukan sampai grafit dan *unsaturated polyester* tercampur rata. Setelah itu, *hardener* dicampurkan sesuai dengan perhitungan, dan dimasukkan ke dalam cetakan plastik. Setelah membeku sampel dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan karakterisasi berupa pengujian yang sama yaitu, uji kekerasan dan uji fleksural sehingga didapat nilai optimum dari campuran grafit – *unsaturated polyester* – *hardener* .

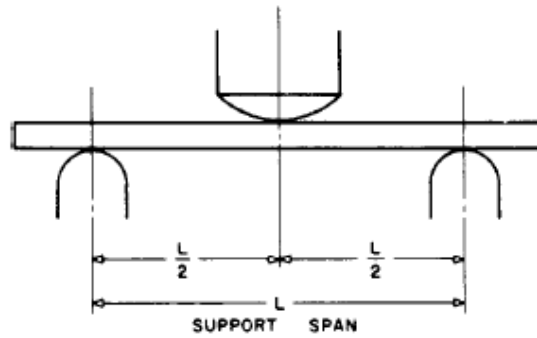
Selanjutnya masuk ke tahap tiga, yaitu pembuatan komposit grafit-*unsaturated polyester* dengan penambahan serbuk tembaga dengan deret 5–30 wt%. Sampel yang dibuat sebanyak enam buah dengan matriks awal adalah grafit – *unsaturated polyester* dengan nilai kekerasan dan fleksural yang tertinggi. Langkah awal adalah penimbangan bahan-bahan sesuai perhitungan, *unsaturated polyester* ditambah serbuk grafit kemudian ditambah serbuk tembaga sesuai deret kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* sampai tercampur dengan merata. Pengadukan dilakukan dengan kecepatan yang rendah untuk mencegah terjadinya gelembung pada sampel yang memicu adanya porositas sewaktu pembekuan terjadi. Setelah itu campuran dimasukkan ke dalam cetakan dan didiamkan pada suhu ruang. Setelah membeku sampel dikeluarkan dari cetakan untuk dilakukan karakterisasi berupa pengujian kekerasan dan pengujian fleksural.

Karakteristik sampel yang dilakukan adalah pengujian kekerasan dan pengujian fleksural. Langkah-langkah pengujian :

a) Pengujian kekerasan, dilakukan dengan menjejakkan bola baja (indenter) pada sampel dengan beban sebesar 100 kg, kemudian jejak yang ditimbulkan diukur secara otomatis dan hasil pengukuran diameter tersebut akan langsung muncul dilayar alat pengujian. Pengujian ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- Pengecekan alat uji kekerasan
- Persiapan sampel
- Letakkan sampel pada penampang uji
- Turunkan indenter dengan cara memutar tuas hingga bar pada layar berada pada titik maksimal
- Tunggu selama 5 detik, kemudian nilai kekerasan akan muncul secara otomatis pada layar
- Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali, kemudian nilai kekerasan didapat dari nilai rata-rata kelima data tersebut

b) Pengujian fleksural dilakukan menggunakan alat otomatis dan mengacu pada standar ASTM D790 (*Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan dari plat bipolar terhadap beban tekan. Sampel pengujian ini berbentuk balok dengan dimensi 12 cm x 1,3 cm x 0,3 cm. Pembebanan dilakukan pada tiga titik yaitu, satu titik pada bagian tengah sampel dan dua titik pada kedua ujung sampel. Skema pembebanan terlihat pada gambar.



Gambar 3.2. Skema pengujian fleksural

Beban maksimal yang diberikan terhadap sampel hingga terjadi perpatahan dapat dihitung melalui persamaan:

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (3.1)$$

dimana, σ_f = kekuatan lentur [Mpa]
 P = beban maksimal [N]
 L = panjang sampel [mm]
 b = lebar sampel [mm]
 d = tebal sampel [mm]

Pengujian ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- Persiapkan alat pengujian (alat uji dan komputer harus terkoneksi)
- Buka software pengujian pada komputer
- Siapkan sampel sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan berdasarkan ASTM
- Letakkan sampel pada penampang uji
- Turunkan penampang uji kemudian lepaskan beban
- Nilai fleksural akan muncul secara otomatis pada layar komputer.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Preparasi Sampel

Sebelum dilakukan karakterisasi sampel untuk pembuatan pelat bipolar, ada beberapa tahapan prosedur yang harus dilewati terlebih dahulu antara lain proses penimbangan, proses mixing, pencetakan, serta pembuatan specimen uji. Tahapan proses tersebut akan berpengaruh terhadap karakteristik dari pelat bipolar yang akan diteliti.

4.1.1 Hasil Penimbangan dan Mixing

Unsaturated polyester resin yang digunakan pertama kali harus ditimbang terlebih dahulu sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Setelah itu dilakukan hal yang sama terhadap *hardener* yang digunakan. Kemudian dilakukan proses mixing terhadap keduanya dengan menggunakan magnetic stirrer sampai campuran menjadi homogen. Pengadukan kira-kira dilakukan selama 20–25 menit dengan kecepatan yang rendah untuk menghindari terbentuknya gelembung udara pada campuran.

4.1.2 Hasil Poses Pencetakan

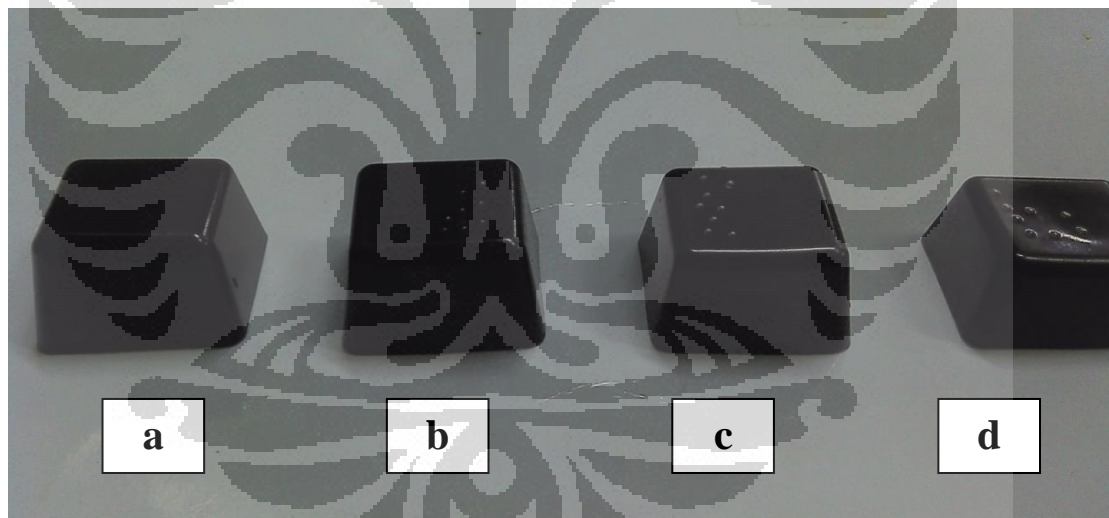
Proses pencetakan bisa dilakukan jika sampel telah dicampur dengan sempurna oleh *stirrer*. Hal ini bisa dilihat dari warna sampel yang jernih dan tidak ada gumpalan *hardener* yang tersisa. Cetakan yang digunakan adalah cetakan yang terbuat dari plastik dan tahan terhadap panas seperti pada Gambar 4.1 karena proses pembekuan dari sampel bersifat eksotermik yang melepas panas ke sistem. Proses pembekuan dilakukan selama satu sampai tiga jam. Setiap satu komposisi dibuat tiga sampel agar hasil karakterisasi lebih representatif.



Gambar 4.1. Cetakan yang digunakan untuk melakukan pengujian kekerasan

4.1.3 Hasil Pengamatan Visual Sampel Hasil Pencetakan

Setelah sampel di-*mixing* dengan sempurna, sampel kemudian dicetak. Proses pembekuan (*crosslinking*) terjadi sekitar 2–3 jam. Kemudian sampel akan dikeluarkan dari cetakan. Penampang sampel dapat dilihat pada Gambar 4.2.



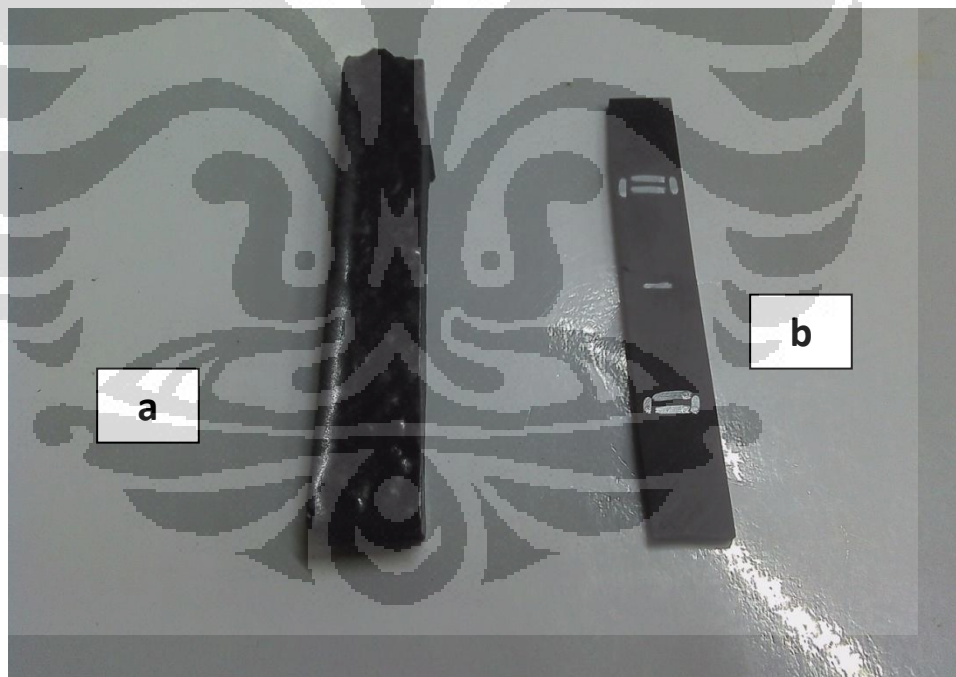
Gambar 4.2. Hasil Pencetakan Pelat Bipolar dengan Presentase Grafit (a) 5 % ; (b) 10 % ; (c) 15 %; (d) 20 %

Sampel pelat bipolar hasil pencetakan secara keseluruhan cenderung memiliki tekstur permukaan yang baik dan layak untuk dipreparasi untuk pengujian karakterisasi kecuali untuk sampel dengan 20 wt% grafit. Pada sampel ini terjadi *shrinkage* atau pengkerutan pada bagian dasar. Hal ini terjadi karena *filler* (grafit) yang digunakan berada dalam komposisi yang

tinggi, sehingga campuran sampel menjadi kental dan proses *crosslinking* lebih cepat terjadi, sehingga terdapat *shrinkage* pada bagian dasar sampel. Pada semua bagian permukaan sampel terdapat kelebihan campuran yang harus dihilangkan agar sewaktu dilakukan pengujian kekerasan distribusi beban merata. Oleh sebab itu, sampel harus di amplas terlebih dahulu.

4.1.4 Hasil Preparasi Spesimen Uji

Sebelum dilakukan pengujian karakterisasi pelat bipolar dilakukan preparasi sampel uji dengan ukuran yang telah ditetapkan sesuai standar pengujian dan dilakukan trimming serta pengamplasan untuk menghaluskan permukaan sampel sehingga mereduksi inisiasi retak pada permukaan. Perbedaan sampel sebelum dan sesudah dilakukan trimming dapat dilihat pada Gambar 4.3 di bawah ini :



Gambar 4.3. (a) Sampel sebelum dilakukan trimming dan pengamplasan ; (b) sampel setelah dilakukan *trimming* dan pengamplasan

Sampel yang sudah membeku dengan sempurna pertama kali akan dipotong dengan ukuran yang mendekati ukuran standar ASTM. Setelah itu, seluruh permukaan sampel akan di-*trimming* untuk menghilangkan bagian-bagian yang tidak rata. Kemudian sampel hasil *trimming* akan diampelas menggunakan mesin amplas sampai seluruh permukaan rata dan memiliki dimensi yang sesuai dengan prosedur pengujian.

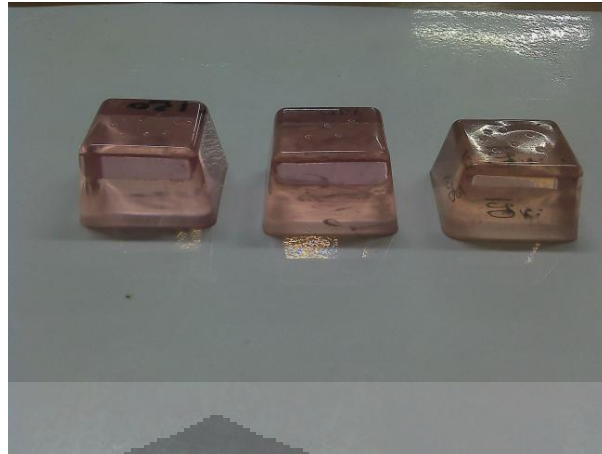
4.2. Hasil Karakterisasi Pelat Bipolar

4.2.1 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini menggunakan metode *Rockwell B* dengan indenter berbentuk bola yang terbuat dari baja dengan diameter bola 1/16". Pengujian ini sudah otomatis mengeluarkan nilai beban maksimal sehingga tidak perlu mengkonversi nilai kekerasan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dari pelat bipolar. Data pengujian kekerasan komposit dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini yang dipertegas dengan gambaran grafik dari data pengujian pada Gambar 4.5.

a) *Unsaturated polyester resin + hardener*

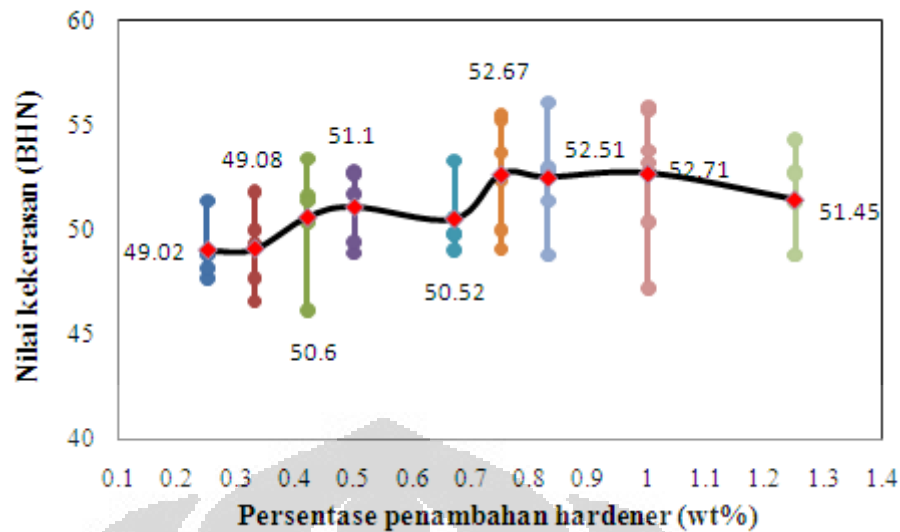
Resin *unsaturated polyester* ditambah dengan *hardener* sesuai komposisi, kemudian campuran tersebut diaduk sampai homogen, kemudian dicetak. Proses pembekuan terjadi sekitar 2–3 jam dari waktu penuangan. Proses pembekuan pada sampel ini merupakan reaksi eksotermik yang menghasilkan panas ke lingkungan. Setelah dikeluarkan dari cetakan, penampang sampel menjadi seperti yang terlihat pada Gambar 4.4. Permukaan sampel halus, jernih, dan tidak ada porositas dipermukaanya. Selain itu, sampel juga rata disemua bidang.



Gambar 4.4. Sampel pengujian kekerasan

Tabel 4.1. Data Pengujian Kekerasan *Unsaturated polyester + Hardener*

No	wt% Hardener	Nilai Kekerasan (BHN)
1	0,25	49,02
2	0,33	49,08
3	0,42	50,6
4	0,5	51,1
5	0,67	50,51
6	0,75	52,67
7	0,83	52,51
8	1	52,71
9	1,25	51,54



Gambar 4.5. Nilai Kekerasan *unsaturated polyester* dengan penambahan *hardener*

Dari pengujian kekerasan pada Gambar 4.5 didapatkan data untuk sampel dengan persen *hardener* dari 0,25 wt% sampai 1,25 wt%. Data yang didapat menunjukkan bahwa nilai terbesar berada pada 0,75 wt% *hardener* atau setara dengan perbandingan 1 : 100 dengan *unsaturated polyester* resin yang digunakan. Nilai kekerasan maksimum yang didapat adalah 52,6 HRB. Sedangkan nilai terendah berada pada 0,25 wt% *hardener* atau setara dengan perbandingan 1 : 400 dengan *unsaturated polyester* resin yang digunakan. Nilai kekerasan minimum yang didapat adalah 49,02 HRB. Berdasarkan literatur yang ada, persen *hardener* tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai kekerasan dari matriks *unsaturated polyester*. Hal ini dibuktikan dengan perbedaan nilai pada tiap komposisi. Perbedaan nilai kekerasan terlihat tidak signifikan.

b) *Unsaturated polyester* resin + grafit + *hardener*

Resin *unsaturated polyester* ditambah dengan serbuk grafit dengan komposisi tertentu, kemudian ditambahkan *hardener* dan diaduk sampai homogen. Setelah dicetak bentuk penampang sampel menjadi seperti yang terlihat pada Gambar 4.6. warna sampel berubah menjadi hitam akibat serbuk grafit yang

digunakan. Bagian permukaan licin dan mengkilap. Tidak terlihat adanya porositas pada permukaan sampel.

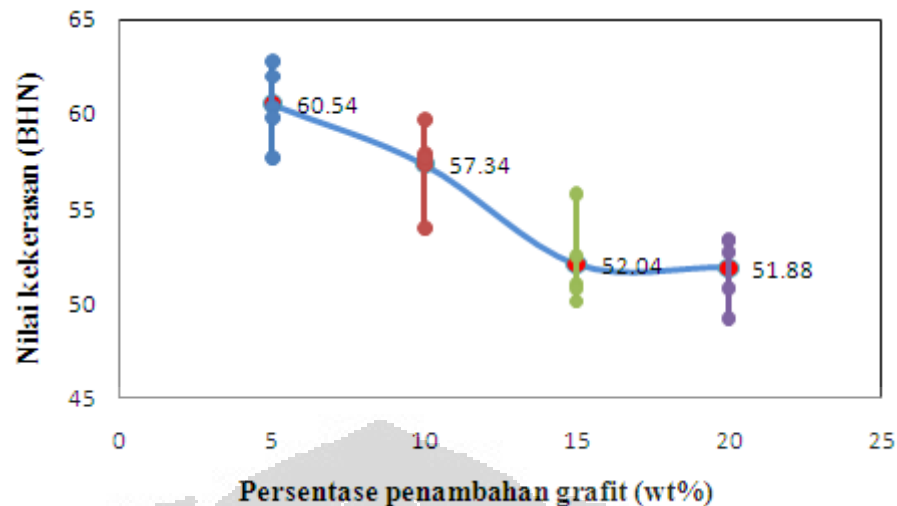


Gambar 4.6. Sampel pengujian kekerasan *unsaturated polyester* + grafit

Setelah sampel dipreparasi, maka pengujian kekerasan dilakukan dengan menjejakkan bola baja pada sampel. Setelah itu nilai kekerasan akan muncul secara otomatis. Kemudian dilakukan perhitungan nilai rata-rata untuk setiap komposisi sampel seperti yang terlihat pada Tabel 4.2 di bawah ini :

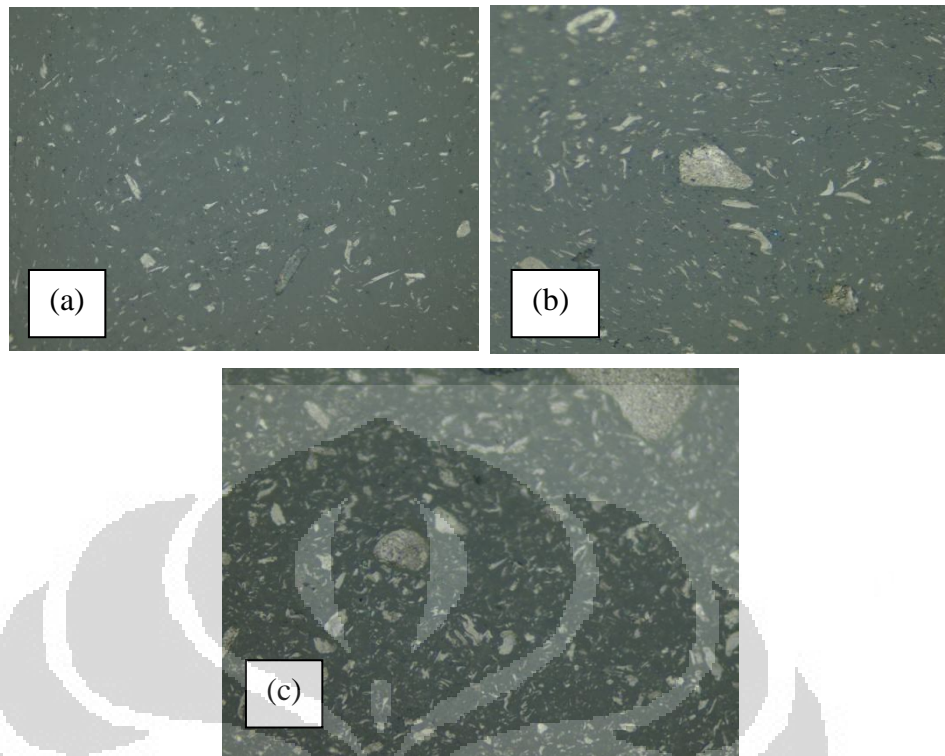
Tabel 4.2. Data Pengujian Kekerasan *Unsaturated polyester* + Grafit

No	wt% Grafit	Nilai Kekerasan (BHN)
1	5	60,54
2	10	57,34
3	15	52,04
4	20	51,88



Gambar 4.7. Nilai Kekerasan *Unsaturated polyester* + Grafit

Dari pengujian kekerasan didapatkan data untuk sampel dengan persen grafit dari 5 wt% sampai 20 wt%. Pada Gambar 4.7 didapatkan tren menurun dari nilai kekerasan optimal pada 5 wt% penambahan grafit. Data yang didapat menunjukkan bahwa nilai terbesar berada pada 5 wt% grafit dengan nilai kekerasan maksimum yang didapat adalah 60,54 HRB. Sedangkan nilai terendah berada pada 20 wt% grafit dengan nilai kekerasan minimum yang didapat adalah 51,88 HRB. Dari hasil pengujian kekerasan didapatkan bahwa nilai kekerasan komposit berbasis *unsaturated polyester* sebagai matriks dan grafit sebagai *filler*, mengalami peningkatan kekerasan jika dibandingkan dengan matriks kosong tanpa *filler*. Hal ini membuktikan bahwa komposit yang digunakan berhasil untuk membuat material dengan nilai kekerasan yang lebih tinggi. *Filler* yang berada pada matriks *unsaturated polyester* tersebar dengan homogen sehingga kekuatan komposit tersebut meningkat yang dibuktikan dengan meningkatnya nilai kekerasan komposit. Selain itu, pada kadar 5 wt% grafit, aglomerasi serbuk tidak terjadi seperti yang terlihat pada Gambar 4.8. Aglomerasi banyak terjadi pada campuran 20 wt% grafit yang menyebabkan turunnya kekuatan komposit.

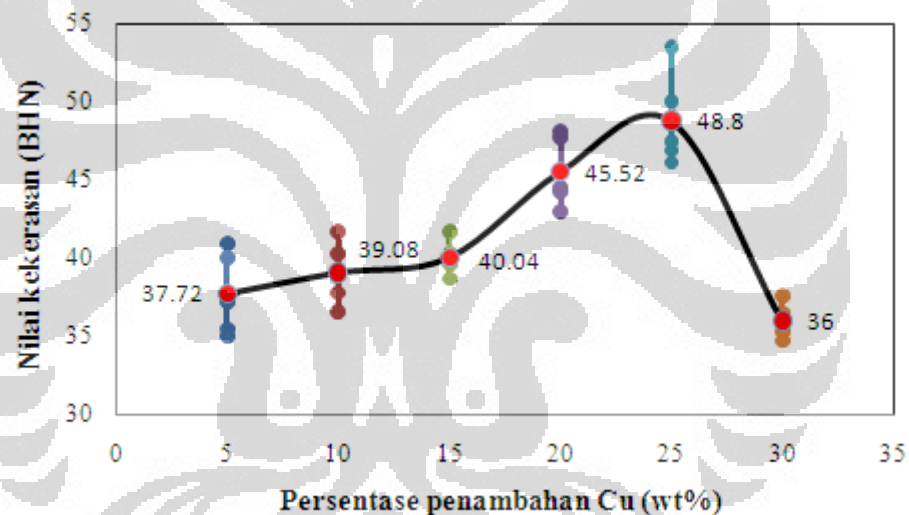


Gambar 4.8 Bentuk Mikro dari *Unsaturated Polyester* dengan Perbesaran 200x pada Persentase Penambahan Grafit : (a) 5 wt% ; (b) 10 wt%; (c) 20 wt%

- c) *Unsaturated polyester* resin + grafit + serbuk Cu + *hardener*
 Sampel ini dibuat setelah proses karakterisasi untuk komposit grafit-*unsaturated polyester* selesai dilakukan. Nilai kekerasan tertinggi pada komposit grafit – *unsaturated polyester* ditambahkan dengan serbuk tembaga sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan. Kemudian dilakukan pengadukan seperti sebelumnya dengan kecepatan rendah agar gelembung udara tidak terbentuk. Setelah dipastikan campuran homogen, campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan dan ditunggu hingga mengeras selama kurang lebih 3 jam. Setelah sampel membeku sepenuhnya dilakukan pengujian kekerasan pada sampel dan didapatkan data nilai kekerasan seperti yang terdapat pada Tabel 4.3 di bawah ini:

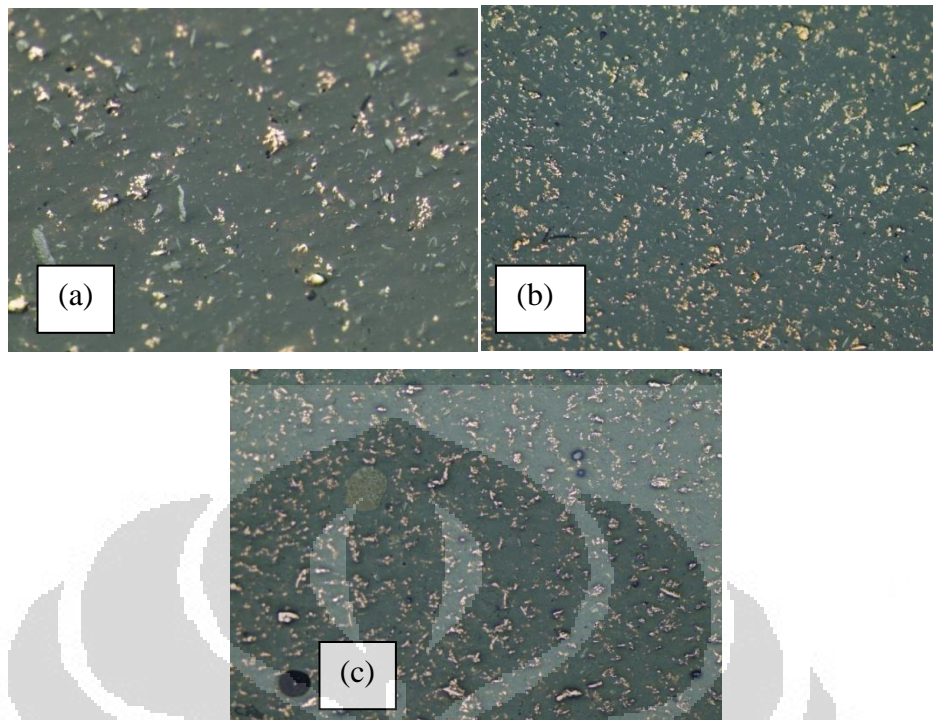
Tabel 4.3. Data Pengujian Kekerasan *Unsaturated polyester* + Grafit + Serbuk Cu

No	wt% Copper	Nilai Kekerasan (BHN)
1	5	37,72
2	10	39,08
3	15	40,04
4	20	45,52
5	25	48,8
6	30	36



Gambar 4.9. Nilai Kekerasan *Unsaturated polyester* + Grafit + Serbuk Cu

Dari pengujian kekerasan didapatkan data yang terlihat pada Gambar 4.9 untuk sampel dengan persentase penambahan serbuk tembaga dari 5 wt% sampai 30 wt%. Data yang didapat menunjukkan bahwa nilai terbesar berada pada 25 wt% penambahan serbuk tembaga dengan nilai kekerasan maksimum yang didapat adalah 48,8 HRB. Sedangkan nilai terendah berada pada 30 wt% penambahan serbuk tembaga dengan nilai kekerasan minimum yang didapat adalah 36 HRB.



Gambar 4.10 Bentuk Mikro Grafit-*Unsaturated Polyester* pada Perbesaran 200x dengan Persentase Penambahan Serbuk Cu : (a) 15 wt% ; (b) 25 wt%; (c) 30 wt%

Pada penambahan serbuk Cu sebanyak 15 wt% distribusi filler belum merata diseluruh matriks, seperti yang terlihat pada Gambar 4.10. Sedangkan pada penambahan 25 wt%, serbuk Cu terdistribusi dengan baik pada seluruh bagian matriks dan tingkat aglomerasi rendah. Pada penambahan serbuk Cu sebanyak 30 wt%, distribusi merata diseluruh matriks tetapi aglomerasi terjadi pada level yang tinggi, selain itu pada penambahan 30 wt% terdapat porositas yang cukup banyak pada sampel sehingga menurunkan sifat mekanis dari komposit pada komposisi ini.

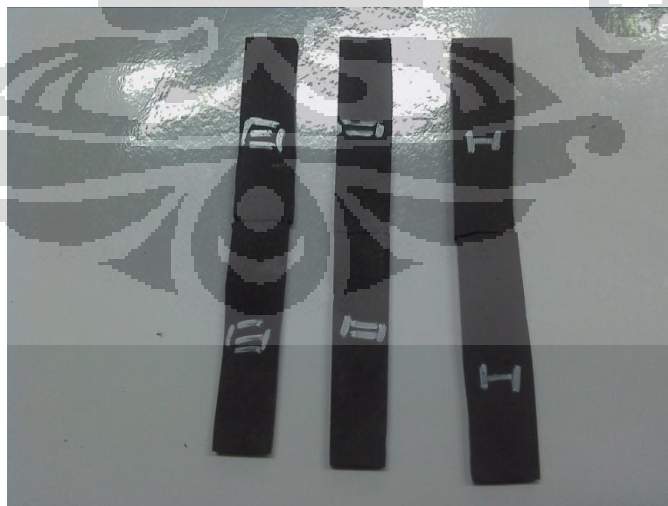
4.2.2 Hasil Pengujian Fleksural

Pengujian fleksural ini dilakukan dengan mesin uji yang dihubungkan ke komputer. Sampel yang telah disiapkan diletakkan pada mesin uji, kemudian pengujian dilakukan dengan software yang ada pada komputer. Setelah dilakukan pengujian nilai-nilai yang berhubungan dengan pengujian akan

secara otomatis terekam pada aplikasi yang digunakan. Nilai fleksural didapatkan dari beban maksimal (Maximal Load) yang terekam pada aplikasi pengujian. Setelah mendapatkan beban maksimal, nilai fleksural didapat dengan melakukan perhitungan sesuai dengan rumus (3.1) yang dijabarkan sebelumnya. Untuk sampel yang digunakan untuk pengujian fleksural harus melalui beberapa proses tambahan lain seperti trimming dan juga pengamplasan. Sampel yang digunakan berdimensi 10 x 1,3 x 0,3 . dimensi ini telah disesuaikan dengan ASTM D 790 (*Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*). Data pengujian fleksural komposit dapat dilihat pada tabel di bawah ini yang dipertegas dengan gambaran grafik dari data pengujian.

a) *Unsaturated polyester + grafit + hardener*

Sampel yang sudah ditambahkan *hardener* lalu diaduk hingga homogen. Setelah itu sampel dicetak pada cetakan yang berbentuk kotak. Kemudian setelah 2 jam sampel dikeluarkan dari cetakan dan dipotong seperti pada Gambar 4.11. Pemotongan dilakukan sesuai dengan dimensi standar pengujian. Setelah dilakukan pemotongan sampel harus melewati tahapan preparasi yang lain, seperti trimming dan pengamplasan.

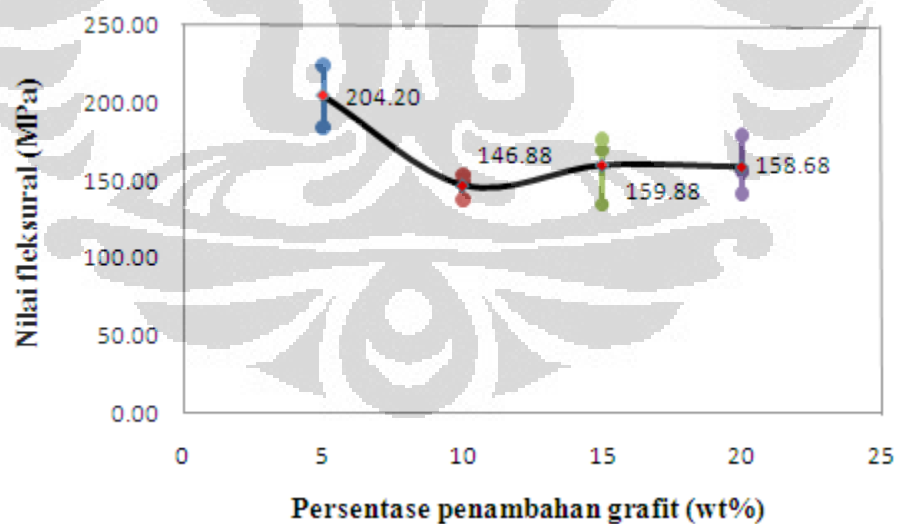


Gambar 4.11. Sampel pengujian fleksural *unsaturated polyester + hardener*

Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin uji otomatis dengan dua penyangga pada tiap ujung sampel dan pembebanan dilakukan pada bagian tengah sampel. Hasil yang didapat kemudian diolah dan didapat nilai rata-rata sampel tiap komposisi seperti yang tertera pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Data Pengujian Fleksural *Unsaturated polyester* + Grafit

Sampel	Maximum Load (N)	Rata –Rata (N)	Nilai Fleksural (Mpa)	Rata-rata (MPa)
5% C	82.96	91.88	184.37	204.20
	100.81		224.03	
10% C	69.12	66.09	153.61	146.88
	67.07		149.05	
	62.10		138.00	
15% C	79.28	71.94	176.17	159.88
	60.45		134.34	
	76.11		169.13	
20% C	70.17	71.40	155.94	158.68
	80.44		178.75	
	63.61		141.36	

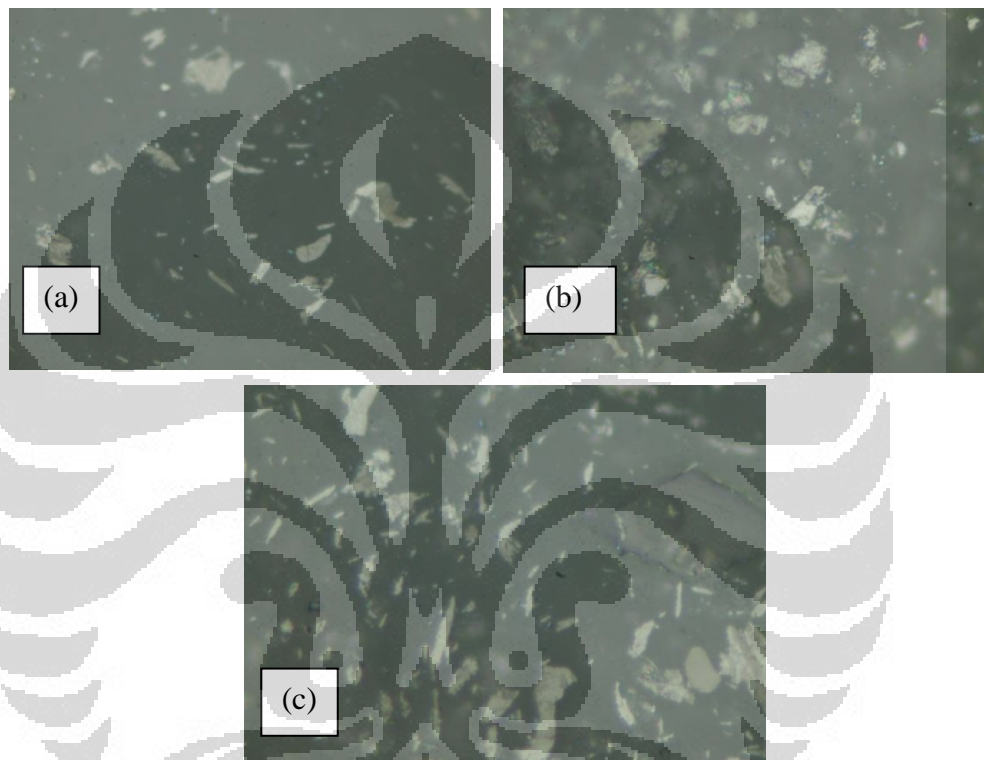


Gambar 4.12. Nilai Fleksural *Unsaturated polyester* + Grafit

Dari Gambar 4.12 didapatkan data untuk sampel dengan persen grafit dari 5 wt% sampai 20 wt%. Data yang didapat menunjukkan bahwa nilai terbesar berada pada 5 wt% grafit dengan nilai fleksural maksimum yang didapat

adalah 204,20 MPa. Sedangkan nilai terendah berada pada 10 wt% grafit dengan nilai kekerasan minimum yang didapat adalah 146,88 MPa.

Berdasarkan literatur, nilai fleksural minimum yang dibutuhkan untuk aplikasi pelat bipolar adalah > 25 MPa. Sampel dengan variasi 5 – 20 wt% penambahan grafit memiliki nilai fleksural yang lebih tinggi dari 25 MPa.



Gambar 4.13. Bentuk Mikro grafit-*Unsaturated Polyester* pada Perbesaran 1000x dengan Persentase Penambahan Grafit : (a) 5 wt% ; (b) 10 wt% ; (c) 20 wt%

Pada hasil foto mikro pada Gambar 4.13 di atas diperlihatkan bahwa pada komposisi 5 wt% penambahan grafit, peristiwa aglomerasi sudah terjadi di dalam matriks dalam jumlah yang minim. Nilai fleksural yang dihasilkan cukup tinggi. Pada penambahan 10 wt% grafit, aglomerasi yang terjadi semakin meningkat sehingga nilai fleksural sampel menurun. Begitu pula dengan penambahan 20 wt% grafit yang meningkatkan tingkat aglomerasi serbuk grafit, sehingga nilai fleksural sampel semakin menurun.

b) *Unsaturated polyester* + grafit + serbuk tembaga + *hardener*

Sampel ini dibuat berdasarkan hasil pengujian pada tahap sebelumnya. Komposit grafit-*unsaturated polyester* dengan nilai fleksural yang paling tinggi, komposisinya digunakan sebagai matriks dengan penambahan serbuk tembaga. Setelah hasil *mixing* dari material ini homogen, kemudian sampel ini dicetak dan ditunggu hingga membeku sempurna. Setelah itu, proses preparasi dilaksanakan sampai sampel berdimensi sesuai standar seperti yang terlihat pada Gambar 4.14.

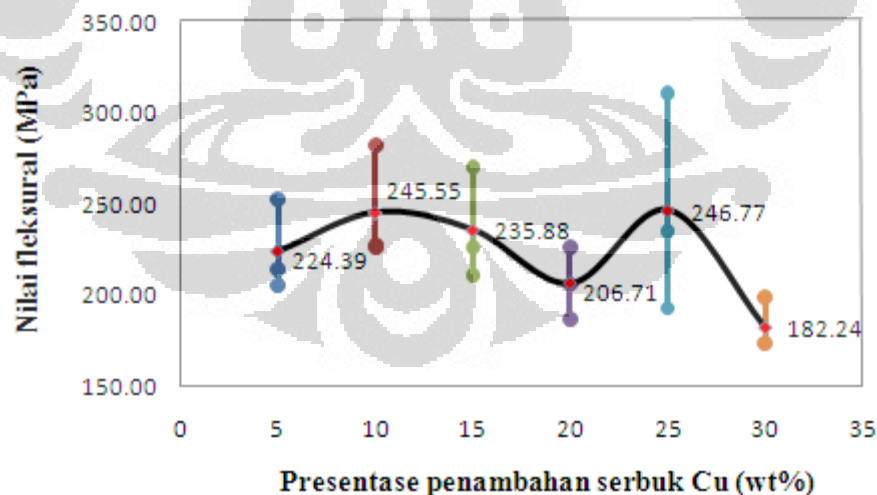


Gambar 4.14. Sampel pengujian fleksural *Unsaturated polyester* + Grafit + Serbuk Cu

Sampel dengan dimensi yang sudah sesuai kemudian diberikan beban bending pada bagian tengah sampel sampai sampel patah. Nilai beban maksimum yang di dapat kemudian dimasukkan ke dalam rumus untuk mendapatkan nilai fleksural dari tiap sampel seperti yang tertera pada Tabel 4.5 berikut :

Tabel 4.5. Data Pengujian Fleksural *Unsaturated polyester* + Grafit + Serbuk Cu

Sampel	Maximum Load (N)	Rata-rata (N)	Nilai Fleksural (Mpa)	Rata-rata (N)
5% C-5% Cu	113.87	100.97	253.04	224.39
	92.51		205.58	
	96.54		214.53	
5% C-10% Cu	102.34	110.50	227.43	245.55
	102.01		226.69	
	127.14		282.54	
5% C-15% Cu	101.80	106.15	226.22	235.88
	121.74		270.53	
	94.90		210.89	
5% C-20% Cu	101.99	93.02	226.65	206.71
	92.87		206.37	
	84.20		187.11	
5% C-25% Cu	86.93	111.05	193.17	246.77
	106.07		235.72	
	140.14		311.42	
5% C-30% Cu	78.16	82.01	173.68	182.24
	78.30		174.00	
	89.57		199.05	

**Gambar 4.15.** Nilai Fleksural *Unsaturated Polyester* + Grafit + Serbuk Cu

Dari pengujian fleksural didapatkan data untuk sampel dengan persen penambahan serbuk tembaga dari 5 wt% sampai 30 wt%. Data yang didapat

menunjukkan bahwa nilai terbesar berada pada 25 wt% penambahan serbuk tembaga dengan nilai fleksural maksimum yang didapat adalah 246,77 Mpa seperti yang terlihat pada grafik dari Gambar 4.15. Sedangkan nilai terendah berada pada 30 wt% penambahan serbuk tembaga dengan nilai fleksural minimum yang didapat adalah 182,24 MPa. Menurunnya kekuatan lentur pada komposisi ini terjadi karena serbuk Cu yang ditambahkan beraglomerasi pada level yang tinggi. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.16 yang menunjukkan bahwa partikel Cu dengan ukuran normal sebesar 63 mikron telah membentuk aglomerat dengan ukuran yang besar.



Gambar 4.16. Aglomerasi pada Penambahan 30 wt% Serbuk Cu

Berdasarkan literatur, nilai fleksural minimum yang dibutuhkan untuk aplikasi pelat bipolar adalah > 25 MPa. Sampel dengan variasi 5 – 30 wt% penambahan grafit memiliki nilai fleksural yang lebih tinggi dari 25 MPa. Jadi, sampel komposit *unsaturated polyester* + grafit + serbuk Cu ini bisa digunakan sebagai aplikasi pelat bipolar.

BAB V

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. *Unsaturated polyester* resin dengan penambahan 0,25–1 % *hardener* tidak mempengaruhi nilai kekerasan dan nilai fleksural secara signifikan.
2. Matriks *unsaturated polyester* dengan penambahan 5–20 wt% serbuk grafit menunjukkan bahwa nilai kekerasan meningkat menjadi 60,54 HRB pada penambahan 5 wt%. tetapi mulai dari 10–20 wt% penambahan grafit nilai kekerasan menurun hingga 51,88 HRB. Begitu pula dengan nilai fleksural yang meningkat pada penambahan 5 wt% grafit dengan nilai 204,20 MPa kemudian mengalami penurunan sampai 146,88 MPa pada penambahan 20 wt% grafit.
3. Pelat bipolar grafit komposit dengan penambahan 5–30 wt% Serbuk Cu menunjukkan bahwa nilai kekerasan meningkat sampai penambahan 25 wt% tembaga dengan nilai 48,8 HRB. Kemudian menurun pada penambahan 30 wt% tembaga dengan nilai 36 HRB. Begitu pula dengan nilai fleksural yang meningkat sampai penambahan 25 wt% tembaga dengan nilai 246,77 MPa. kemudian mengalami penurunan sampai 182,24 MPa pada penambahan 30 wt% serbuk tembaga.

REFERENSI

- [1] <http://biodenti.wordpress.com/dampak-global-pencemaran-udara/> diakses pada 14 November 2011
- [2] A. Hermann, T. Chaudhuri, P. Sagnol. (2005). Bipolar plates for PEM fuel cells: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 30, 1297 – 1302.
- [3] Mahasiswanegarawan. (2007). *Sel Bahan Bakar (Fuel Cell) Sebuah Energi Alternatif Berkelanjutan dan Ramah Lingkungan*. diakses pada 14 Nopember 2011
<http://mahasiswanegarawan.wordpress.com/2007/08/18/sel-bahan-bakar-fuel-cell-sebuah-energi-alternatif-berkelanjutan-dan-ramah-lingkungan/>
- [4] J.H. Hirschenhofer, et al. (1998). *Fuel Cell Handbook* (4th ed.), Parsons Corporation.
- [5] Nikhil H. Jalani. (2008). *Development of Nanocomposite Polymer Electrolyte Membrane for Higher Temperature Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell*. Worcester Polytechnic Institute. Diakses pada 14 Nopember 2011 <http://www.greentechgazette.com/index.php/fuel-cells/hydrogen-fuel-cell-technology/>
- [6] J. Jayaraj, Y.C. Kim, K.B. Kim, H.K. Seok, E. Fleury. (2005). Corrosion studies on Fe-based amorphous alloys in simulated PEM fuel cell environment. *Science and Technology of Advanced Materials*, 6, 282-289.
- [7] V. Mehta dan J. S. Cooper. (2003). Review and analysis of PEM fuel cell design and manufacturing, *Journal of Power Sources*, 32 – 53.
- [8] <http://ramatawa.wordpress.com/2008/11/23/komposit-part-definisiklasifikasiaplikasi/> diakses pada 14 Nopember 2011
- [9] Zulfia, Anne. (2009). *Diktat Kuliah Teknologi Komposit MMF420803*. Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [10] R. J. Crawford, (1998). *Plastics Engineering* (3rd ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann, hlm. 8 – 9, 18 – 28, 245 – 351.

- [11] A. Heinzl, *et al.*, —Injection molded low cost bipolar plates for PEM fuel cells|| [.http://www.zbt-duisburg.de/_downloads/Grove2003-ZBT-Bipolar.pdf](http://www.zbt-duisburg.de/_downloads/Grove2003-ZBT-Bipolar.pdf) diakses pada 14 Nopember 2011
- [12] D.Hull dan T.W Clyne, (1996). *An Introduction to Composite Material* (2nd ed.).Cambridge: Cambridge University Press, hlm.134-135,154.
- [13] <http://en.wikipedia.org/wiki/Epoxy> diakses pada 14 Nopember 2011
- [14] Presentasi Epoxy. (2008). *Mata Kuliah Material Adhesive*. Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [15] http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_black diakses pada 14 Nopember 2011
- [16] Hoogers, Gregor. (2003). *Fuel Cell Technology Handbook*. CRC Press. Washington D.C.
- [17] Hsu-Chiang Kuan, Chen-Chi M. Ma, Ke Hong Chen, Shih-Ming Chen, *Preparation, Electrical, Mechanical, and Thermal Properties of Composite Bipolar Plate for a Fuel Cell* (Elsevier, 2004)
- [18] Y. Wang. (2006). Conductive Thermoplastic Composite Blends for Flow Field Plates for Use in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFC). *Thesis Master of Applied Science*, Chemical Engineering University of Waterloo, Ontario Canada. 1-78. Diakses pada 14 Nopember 2011. <http://etd.uwaterloo.ca/etd/y74wang2006.pdf>
- [19] Mikkola, Mikko. (2001). *Experimental Studies on Polymer Electrolyte membrane Fuel Cell Stacks*. Helsinki University of Technology, Department of Engineering Physics and Mathematics.
- [20] Hadiyawardan Agus Rijl, Mikrajuddi Abdullah, dkk. (2008). *Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan dan Transparan Menggunakan Metode Simple Mixing*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung.

Lampiran 1. Hasil Pengujian Fleksural

Sample	Speed (mm/s)	Maximum Load (N)	Young's Modulus (MPa)	Elastic Strength (MPa)	Ductility (mm)	Toughness (MPa)	Modulus of Rupture (MPa)
5% C	0.025	62.96474081	2870.300434	16.93276748	3.957638929	0.054453188	51.66337707
5% C	0.025	100.8138226	3651.547299	49.99050145	5.443579445	0.119636844	82.71903395
10% C	0.025	69.12352338	3287.604412	9.759064223	4.211047407	0.06495081	56.71673713
10% C	0.025	67.07180122	2903.789608	32.15693582	4.219773105	0.061695453	55.03327279
10% C	0.025	62.09861318	2503.925156	28.66630876	4.585677245	0.06325126	50.95270825
15% C	0.025	79.27703811	4302.596531	20.53653015	3.71508845	0.066235113	65.04782614
15% C	0.025	60.45190018	3182.554173	12.89814878	3.764747019	0.051904523	49.6015912
15% C	0.025	76.10833981	4033.403362	18.6470235	3.791276796	0.064713899	62.44786857
20% C	0.025	70.17258583	3959.246502	12.85546588	3.93006579	0.06418557	57.57750633
20% C	0.025	80.43805222	4850.238168	20.87637802	3.514587724	0.064903556	65.9960705
20% C	0.025	63.61285966	4060.645846	10.51080741	3.456880943	0.051249562	52.1951669

Sample	Speed (mm/s)	Maximum Load (N)	Young's Modulus (MPa)	Elastic Strength (MPa)	Ductility (mm)	Toughness (MPa)	Modulus of Rupture (MPa)
5% C 10% Cu	0.025	102.3426445	4098.992394	27.13472656	5.00300034	0.112934782	83.97345193
5% C 10% Cu	0.025	102.0120606	3882.637061	22.91798086	5.160966827	0.115119518	83.70220358
5% C 10% Cu	0.025	127.1410937	4916.194263	35.88021183	5.220760877	0.144667765	104.3208974
5% C 15% Cu	0.025	101.7994329	3710.498611	12.86547183	6.458302638	0.15237345	83.40459254
5% C 15% Cu	0.025	121.7389135	4777.08454	23.50513338	5.663297236	0.155940633	99.87601273
5% C 15% Cu	0.025	94.90036531	2793.096045	19.113019	6.847185676	0.146063703	77.86696641
5% C 20% Cu	0.025	101.9911338	3126.026402	12.44024945	7.447389084	0.179333035	83.64540337
5% C 20% Cu	0.025	92.86743698	2939.586313	10.30831848	6.899753593	0.146728729	76.1278655
5% C 20% Cu	0.025	84.20068889	3099.096666	11.17246724	5.519390523	0.105002649	69.08774473
5% C 25% Cu	0.025	86.92765856	3626.621966	16.27676677	4.950813722	0.095868752	71.3252831
5% C 25% Cu	0.025	106.0726943	4424.638408	21.96873874	5.135762257	0.123072276	87.01062241
5% C 25% Cu	0.025	140.1373498	6690.809991	21.64796727	4.956623799	0.157221786	114.9844921
5% C 30% Cu	0.025	78.15744354	2545.647744	9.508787219	6.501725446	0.116404493	64.12918444
5% C 30% Cu	0.025	78.30010657	3113.504566	17.77397894	4.94821614	0.08706712	64.24624129
5% C 30% Cu	0.025	89.57148889	3334.699137	10.56742951	5.949349318	0.120667734	73.49455498

Lampiran 2. Data Pengujian Fleksural

Sampel	Maximum Load (N)	Rata -Rata	Nilai Fleksural (Mpa)	Rata-rata
5% C	82.96474081	91.88928172	184.37	204.20
	100.8138226		224.03	
10% C	69.12352338	66.09797926	153.61	146.88
	67.07180122		149.05	
	62.09861318		138.00	
15% C	79.27703811	71.94575937	176.17	159.88
	60.45190018		134.34	
	76.10833981		169.13	
20% C	70.17258583	71.40783257	155.94	158.68
	80.43805222		178.75	
	63.61285966		141.36	

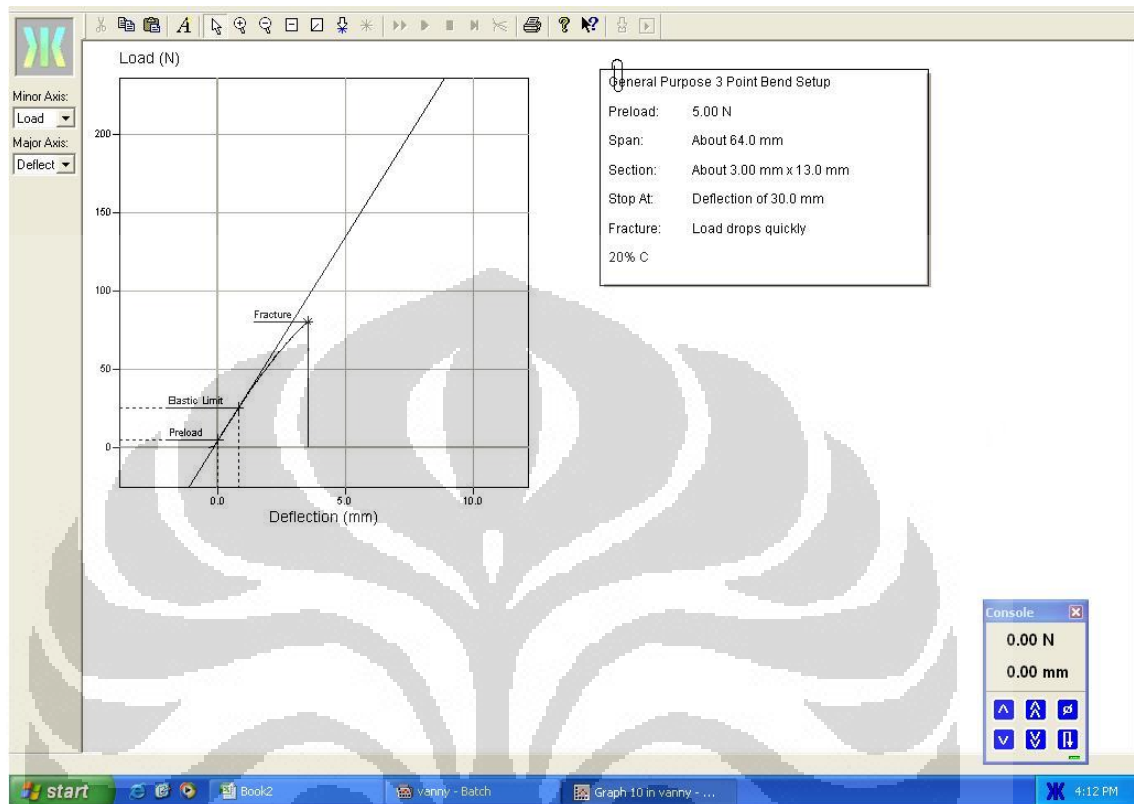
Sampel	Maximum Load (N)	Rata-Rata	Nilai Fleksural (Mpa)	Rata-rata
5% C-5% Cu	113.87	100.9733	253.04	224.39
	92.51		205.58	
	96.54		214.53	
5% C-10% Cu	102.3426	110.4986	227.43	245.55
	102.0121		226.69	
	127.1411		282.54	
5% C-15% Cu	101.7994	106.1462	226.22	235.88
	121.7389		270.53	
	94.90037		210.89	
5% C-20% Cu	101.9911	93.01975	226.65	206.71
	92.86744		206.37	
	84.20069		187.11	
5% C-25% Cu	86.92766	111.0459	193.17	246.77
	106.0727		235.72	
	140.1373		311.42	
5% C-30% Cu	78.15744	82.00968	173.68	182.24
	78.30011		174.00	
	89.57149		199.05	

Lampiran 3. Data Pengujian Kekerasan

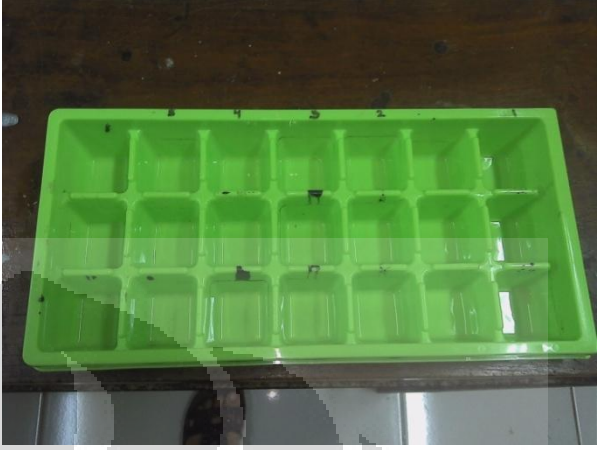


Sampel	Nilai Kekerasan	Rata-Rata
5%	60.4	60.54
	59.8	
	62	
	57.7	
	62.8	
10%	59.7	57.34
	57.9	
	54	
	57.4	
	57.7	
15%	55.8	52.04
	50.1	
	52.5	
	51	
	50.8	
20%	50.8	51.88
	53.4	
	53.3	
	52.7	
	49.2	


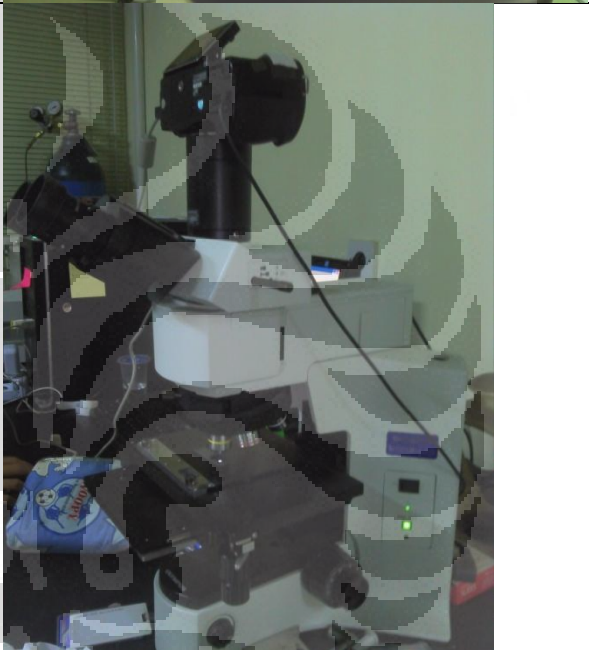
5% C - 10% Cu	36.6	39.08
	37.8	
	39	
	40.3	
	41.7	
5% C - 15% Cu	40.3	40.04
	39.6	
	41.7	
	38.7	
5% C - 20% Cu	44.3	45.52
	44.5	
	43	
	48.1	
5% C - 25 % Cu	46.9	48.8
	46.1	
	50	
	47.5	
	53.5	
5% C - 30 % Cu	37.6	36
	35.3	
	36.5	
	35.9	
	34.7	

sampel	nilai kekerasan	rata-rata
5% C - 5% Cu	35.5	37.72
	35	
	37.2	
	40	
	40.9	

Lampiran 4. Contoh Grafik Pengujian Fleksural

Lampiran 5. Peralatan Preparasi Sampel dan Karakterisasi

Nama Alat	Gambar
Cetakan	
<i>Magnetic Stirrer</i>	
Timbangan	

Nama Alat	Gambar
Alat Uji Fleksural	
Alat Foto Mikro	

Lampiran 6. Data Sheet Resin

RCM : _____ FRK NO. : _____ 19 Dec. 2011 11:11PM P 1

7763050 Winda
FROM: Ibo

CERTIFICATE OF ANALYSIS
不饱和聚酯树脂
UNSATURATED POLYESTER RESIN

Resin
UP = MBA HEST.1
HEST.1 wijayanti

YUKALAC® 催化剂 • JS7BQTN-EX
Lot No. : T.4434114-S
Quantity : _____
Invoice No. : _____ 桶/罐 Drums / Cans @ 225 Kgs

試驗結果 TEST RESULT :

試驗項目 TESTING ITEM	試驗條件 TESTING CONDITION	規格 SPECIFICATION	數值 VALUE	試驗方法 TEST METHOD**	參照 REFERENCE
外觀 Appearance				目視 Visual check	
色澤 Colour			Hasam	JS-R-01	JIS K-6901
酸值 Acid Value		15 - 30	20.8 mg KOH/g	JS-R-02	JIS K-6901
黏度 Viscosity	25°C	4.5 - 5.0	4.9 泊 Poise	JS-R-03	JIS K-6901
觸變指數 Thixotropic Index	25°C	>1.5	2.1	JS-R-04	JIS K-6901
比重 Specific Gravity	25°C			JS-RMR-05	JIS K-6901
熱穩定性 High Temp. Stability	120°C	>60	>60 分 Minutes	JS-R-06	
* 固化性能 Curing Properties					
固化時間 Gel Time		20 - 30	20.0 分 Minutes	JS-R-05	JIS K-6901
固化時間 Cure Time		30 - 75	40.2 分 Minutes	JS-R-05	JIS K-6901
最高耐熱溫度 Max. Withstand Temp.		60 - 120	88.0 °C	JS-R-05	JIS K-6901
註 : 條件 : Resin : 100 parts Note : Condition : Meltpo : 1 part Temperature : 30°C					
* 值、黏 和反應性在長期貯存時可能稍有變化。 * Acid value, Viscosity and reactivity may slightly fluctuate with prolonged storage.					
JIS = 日本工業標準 ** = In-house test method 根據內部檢驗方法					
Yukalac, July 24, 2009 神戶化學工業有限公司(印尼)					
<p>該產品是依照 ISO 9001:2000 標準 SGS YASALEY ICS 證書編號 ID018123 This product has been manufactured under a Quality Management System, certified to ISO 9001:2000, equivalent to ID018123 by SGS YASALEY ICS.</p> <p>* This data sheet is a summary of the product's properties and should not be used as a substitute for the product's technical data sheet. The product's performance may vary depending on the application and the user's handling and storage conditions. It is the user's responsibility to ensure proper handling and storage of the product.</p> <p>** In-house test method</p>					