TUGAS AKHIR

ANALISA VARIASI PENAMBAHAN SERBUK STAINLESS STEEL PADA PELAT KONDUKTOR POLIMER TERHADAP SIFAT MEKANIK

OLEH:

ADLI FAISAL
15.331.0511

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ISLAM RIAU PEKANBARU

2022

HALAMAN PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

ANALISA VARIASI PENAMBAHAN SERBUK STAINLESS
STEEL PADA PELAT KONDUKTOR POLIMER TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN KONDUKTIVITAS LISTRIK

UNIVERSITASISLAMRIAU

ADLIFAISAL

NPM: 153310511

Diperiksa dan Disetujui Oleh:

PEKANBARL

Dr.DEDIKARNI, S.T., M.Sc.

Dosen Pembimbing

Tanggal: 04 Agustus 2022

-3

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

ANALISA VARIASI PENAMBAHAN SERBUK STAINLESS
STEEL PADA PELAT KONDUKTOR POLIMER TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN KONDUKTIVITAS LISTRIK

UNIVERSITAS ISLAMRIAU
Disusun Oleh:

ADLI FAISAL NPM:153310511

Disetujui Oleh:

PEMBIMBING

<u>Dr.DEDIKARNI, S.T., M.Sc</u> NIDN.1005047603

PENGUJI I

PENGUJI II

JHONNI RAHMAN, B.Eng., M.Eng. Ph.D

NIDN:1009038504

Ir. IRWAN ANWAR, M.T

NIDN:0027075901

Disahkan/Oleh:

KETUA PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JHONNI RAHMAN, B.Eng., M.Eng. Ph.D NIDN.1009038504

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama

: Adli Faisal

Tempat/Tgl Lahir

: Rantau Berangin, 06 February 1996

Alamat

: Rantau Berangin, Kuok

Adalah mahasiswa Universitas Islam Riau yang terdaftar pada

Fakultas

Program Studi

SITAS ISLAMRIAL Teknik Mesin

Jenjang Pendidikan

: Strata-1 (S1)

Dehgan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang saya tulis adalah benar dan asli hasil dari penelitian yang telah saya lakukan dengan judul "Analisa Variasi Penambahan Serbuk Stainless steel Pada Pelat Konduktor Polimer Terhadap Sifat Mekanik Dan Konduktivitas Listrik".

Apabila dikemudian hari ada yang merasa dirugikan dan atau menuntut karena penelitian ini menggunakan sebagian hasil tulisan atau karya orang lain tanpa mencantumkan nama penulis yang bersangkutan, atau terbukti karya ilmiah ini bukan karya saya sendiri atau plagiat hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi se<mark>suai</mark> dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Pekanbaru. 04 Agustus 2022

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum, Wr. Wb.

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan guna mencapai gelar sarjana teknik di Prodi Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

Dibalik keberhasilan penulias dalam menyusun tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka sudah sepantasnya penulis mengucapkan terima kasih yang sangat mendalam kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penelitian dan penulisan tugas akhir ini khususnya kepada :

- Kedua Orang tua tercinta yakni Bapak dan Ibu yang telah memberikan motivasi, semangat, dan dukungan kepada penulis, baik dukungan secara moril maupun materil.
- 2. Dr. Dedikarni, S.T., M.Sc, selaku Dosen Pembimbing Skripsi dan selaku Kepala Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau yang telah membantu dan membimbing dalam penyusunan tugas akhir.
- Kepada seluruh dosen Program Studi Teknik Mesin yang telah menuangkan ilmunya kepada saya.
- Rekan rekan seperjuangan yang telah membantu memberikan dorongan moral dalam pembuatan tugas akhir.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih yang tidak terhingga kepada semua pihak yang berperan dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga tugas akhir ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pembaca untuk menambah ilmu pengetahuan dan wawasan.



DAFTAR ISI

			Halaman
KATA 1	PENG	ANTAR	i
DAFTA	R ISI		iii
DARTA	R TA	BEL	V
DAFTA	R GA	MBAR	vi
DAFTA	R NO	TASIERSITAS ISLAM	vii
ABSTR	AK	UNIV	ix
BAB I	PEN	DAHULUAN	
	1.1	Lat <mark>ar Belak</mark> ang	1
	1.2	Rumusan Masalah	
	1.3	Tu <mark>juan Pe</mark> nelitian	
	1.4	Batasan MasalahBatasan Masalah	
	1.5	Manfaat Penelitian	
	1.6	Sistematika Penulisan	4
BAB II		TINJAUAN PUSTAKA	
	2.1	PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)	. 6
	2.2	Struktur PEMFC	9
	2.3	Pelat Bipolar	. 11
	2.4	Material Komposit	. 15
		2.4.1 Klasifikasi Komposit	16
	2.5	Material Penyusun Plat Konduktor Polimer	. 17
		2.5.1 Grafit	18
		2.5.2 Resin Epoxy	. 19
		2.5.3 Stainless Steel	20
	2.6	Uji Konduktivitas	21
	2.7	Uji Porositas	. 22
	2.8	Uji Compressive Strength	26

BAB III METODE PENELITIAN

	3.1	Diagram Alir Penelitian	29
	3.2	Komposisi Plat Konduktor Polimer	31
	3.3	Alat Penelitian	32
	3.4	Bahan Penelitian	33
1	3.5	Prosedur Penelitian	33
	0	3.5.1 Penimbangan	33
	0	3.5.1 Penimbangan	33
	6	3.5.3 Proses Penekanan	34
	3.6	Prosedur Pengujian Konduktivitas	35
	3.7	Prosedur Pengujian Compressive Strength	35
	3.8	Prosedur Pengujian Porositas	38
	3.9	Jadwal Kegiatan Penelitian	38
BAB IV	HAS	IL DAN PEMBAHASAN	
	4.1	Hasil Penelitian	40
	4.2	Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik	41
	4.3	Hasil Perhitungan Porositas	46
	4.4	Hasil Uji Tekan (Compressive Strength)	52
	4.5	Perbandingan Hasil Penelitian	54
	4.6	Perbandin <mark>gan Hasil Penelitian denga</mark> n Hasil Penelitian	
		Sebelumnya	56
BAB V	KES	SIMPULAN DAN SARAN	
	5.1	Kesimpulan	60
	5.2	Saran	61
DAETAI	D DIIG	STAKA	

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1.	Komponen Penyusun PEMFC10
2.2.	Kelebihan dan Kekurangan Material Penyusun Pelat Bipolar
2.3.	Target Teknis DOE untuk Karaktersitik Pelat Bipolar14
2.4.	Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matriks Disertai Kelebihan dan Keterbatasan
2.5.	Pengaruh Ukuran dan Bentuk Partikel Grafit Terhadap Karakteristik
	Pelat Bipolar
3.1.	Komposisi Pada Plat Konduktor Polimer31
3.2.	Jadwal Kegiatan Penelitian
4.1.	Hasil <i>press moulding</i> plat konduktor polimer40
4.2.	Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik41
4.3.	Nilai Konduktivitas Listrik Dengan Hambatan Dimensi44
4.4.	Porositas pada komposisi grafit 80%: serbuk stainless steel 5%:
	resin epoxy 15%
4.5.	resin epoxy 15%
	resin epoxy 15%
4.6.	Porositas pada komposisi grafit 70% : serbuk stainless steel 15% :
	resin epoxy 15%
4.7.	Porositas berdasarkan perbedaan komposisi plat konduktor polimer51
4.8.	Hasil Pengujian Compressive Strength
4.9.	Perbandingan Antara Standar DOE dengan Hasil Penelitian55
4.10.	Perbandingan Antara Hasil Penelitian yang Dilakukan Sendiri
	dengan Hasil Penelitian Sebelumnya

DAFTAR GAMBAR

Gam	bar	Halamar
2.1	Skema Operasi PEMFC	6
2.2	Komponen Penyusun PEMFC	9
2.3	Pelat Bipolar	11
2.4	Kla <mark>sifi</mark> kasi Pelat Bipolar dalam PEMFC	12
2.5	Jenis Penguat yang Terdistribusi pada Matiks Komposit	15
2.6	Struktur Kristal Grafit	18
2.7	Struktur Dasar Resin Epoksi	19
2.8	Skem <mark>a Al</mark> at U <mark>ji Kond</mark> uktivitas	21
3.1	Diagr <mark>am Alir Peneli</mark> tian	29
3.2	Skema Pengujian Compressive Strength	36
3.3	Penguj <mark>ian Compress</mark> ive Strength	37
4.1	Grafik <mark>kondu</mark> kta <mark>nsi te</mark> rhadap Komposisi Campuran	44
4.2	Grafik <mark>kon</mark> duktivit <mark>as</mark> listrik terhadap Komposisi Cam <mark>pur</mark> an	45
4.3	Grafik Komposisi Serbuk SS Terhadap Porositas	51
4.4	Grafik Ha <mark>sil U</mark> ji Tekan (<i>Compressive Strength</i>)	53
4.5	Grafik Perb <mark>anding</mark> an Nilai Konduktivitas Listr <mark>ik Sta</mark> ndar DOE	
	dengan Hasil Penelitian Penambahan Serbuk Stainless Steel	55
4.6	Grafik Perbanding <mark>an Uji Tekan Standar D</mark> OE dengan Hasil	
	Penelitian Plat Konduktor Polimer Penambahan Serbuk SS	56
4.7	Grafik Perbandingan Hasil Perbandingan Uji Konduktivitas Listr	rik
	dengan Hasil Penelitian Sebelumnya	57
4.8	Grafik Perbandingan Hasil Perbandingan Uji Kekuatan Bending	
	dengan Hasil Penelitian Sebelumnya	58

Perpustakaan Universitas Islam R

DAFTAR NOTASI

	Simbol	<u>Notasi</u>	Satuan
	A	Luas penampang	(mm ²)
	Т	Temperatur/Suhu	(°C)
	b MILL	Massa Jenis	(g/cm ³)
_	v	Volume	(cm ³)
Dokumen	p	Panjang	(mm)
men		Lebar	(mm)
ini a	t SM	Tinggi	(mm)
adalah Arsip Milik	r	Compressive Strength	(MPa)
Ars	w	berat ANBARU	(gram)
j Z	G	Konduktansi	(Siemens)
EK:	R	Resistivitas	(ohm)
	σ	Konduktivitas Listrik	(S.cm ⁻¹)
	Φ	Porositas	(%)

ANALISA VARIASI PENAMBAHAN SERBUK STAINLESS STEEL PADA PELAT KONDUKTOR POLIMER TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KONDUKTIVITAS LISTRIK

Adli Faisal, Dedikarni

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau Jl.Kaharuddin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru Telp. 0761 – 674635 Fax. (0761) 674834

ABSTRAK

Plat konduktor polimer merupakan sebuah plat komposit bermatriks polimer yang bersifat konduktor dan tahan terhadap panas. Salah satu bahan yang memiliki konduktivitas listrik yang baik yaitu grafit. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan konduktivitas listrik dan sifat mekanik. Pada penelitian ini, bahan yang dipilih adalah grafit, serbuk stainless steel dan resin epoxy, variasi komposisi pada 80%: 5%: 15%, 75%: 10%: 15% dan 70%: 15%: 15% serta metode yang digunakan yaitu press moulding. Hasil konduktansi dan konduktivitas listrik tertinggi pada komposisi grafit 80%, serbuk stainless steel 5%, resin epoxy 15% yaitu sebesar 50 S dan 24,59 S/cm⁻¹. Hal ini disebabkan adanya grafit dapat menghantarkan konduktansi yang lebih baik. Hasil compressive strength pada komposisi grafit 70%, serbuk stainless steel 15%, resin epoxy 15% diperoleh compressive strength 13,66 MPa seiring dengan penambahan sebuk stainless steel terjadinya peningkatan nilai compressive strength berbanding lurus pada komposisi grafit 75%, serbuk stainless steel 10%, resin epoxy 15% dan komposisi grafit 80%, serbuk stainless steel 5%, resin epoxy 15% yaitu 14,6 MPa dan 14,87 MPa. Hal ini disebabkan bahwa terjadi penurunan nilai compressive strength dengan adanya peningkatan jumlah porositas. Sehingga semakin sedikit penambahan serbuk stainless steel akan terus mengalami peningkatan nilai compressive strength.

Kata kunci : Serbuk *Stainless Steel*, Pelat Konduktor Polimer Konduktivitas Listrik, *Compressive Strength*

ANALISA VARIASI PENAMBAHAN SERBUK STAINLESS STEEL PADA PELAT KONDUKTOR POLIMER TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KONDUKTIVITAS LISTRIK

Adli Faisal, Dedikarni

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau Jl. Kaharuddin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru Telp. 0761 – 674635 Fax. (0761) 674834

The polymer conductor plate is a polymer matrix composite plate that is conductive and resistant to heat. One of the materials that have good electrical conductivity is graphite. This study aims to improve the electrical conductivity and mechanical properties. In this study, the selected materials are graphite, stainless steel powder and epoxy resin, the composition variations are 80%: 5%: 15%, 75%: 10%: 15% and 70%: 15%: 15% and the method used namely press molding. The results of the highest electrical conductivity and conductivity were in the composition of 80% graphite, 5% stainless steel powder, 15% epoxy resin, namely 50 S and 24.59 S/cm-1. This is because the presence of graphite can conduct a better conductance. The results of compressive strength at 70% graphite composition, 15% stainless steel powder, 15% epoxy resin obtained 13.66 MPa compressive strength along with the addition of stainless steel powder the increase in compressive strength value was directly proportional to the 75% graphite composition, 10% stainless steel powder, 15% epoxy resin and 80% graphite composition, 5% stainless steel powder, 15% epoxy resin are 14.6 MPa and 14.87 MPa. This is due to a decrease in the value of compressive strength with an increase in the amount of porosity. So that the less addition of stainless steel powder will continue to increase the value of compressive strength.

Kata kunci: Serbuk Stainless Steel, Electrical Conductivity Polymer Conductor Plate, Compressive Strength

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plat konduktor polimer merupakan sebuah plat komposit bermatriks polimer yang bersifat konduktor dan tahan terhadap panas. Komposit polimer sudah banyak diteliti untuk digunakan sebagai material pelat bipolar karena komposit polimer harga yang relatif murah dan lebih ringan. Pelat bipolar merupakan komponen penting dari *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) yaitu sebagai jalur udara, air, bahan bakar, sebagai pembatas antara masing-masing unit sel dan untuk mengalirkan elektron keseluruh sirkuit. Serta sebagai penguat mekanis dan penahan membran tipis dan elektroda. Umumnya, pelat ini terbuat dari grafit, logam (titanium, *stainless steel*, dan nikel), atau dapat juga dibuat dari komposit. Grafit murni memiliki konduktivitas listrik yang baik tetapi rapuh, sedangkan logam memiliki sifat mekanik dan konduktivitas listrik yang baik tetapi tidak tahan korosi (Rizkyta, 2013).

PEMFC memiliki empat komponen penting antara lain: pelat bipolar, pelat penutup, *Membrane Electrolyte Assembly* (MEA) dan penyimpan arus. Diantara keempat komponen tersebut pelat bipolar berkontribusi sebesar 80% volume, 70% berat dan 60% biaya produksi *fuell cell*. Oleh karena itu, kebanyakan penelitian memfokuskan pada komponen pelat bipolar agar produksi PEMFC menjadi ekonomis dan dapat dipasarkan secara luas. Selain itu, diperlukan pula suatu proses produksi massal yang tidak mahal dan efisien. Salah satu cara untuk mereduksi biaya produksi

pelat bipolar dari PEMFC adalah dengan mengembangkan material komposit berbasis polimer termoset yang diharapkan mampu mengurangi volume, berat, dan biaya produksi, mengingat sifat polimer yang memiliki densitas yang rendah dan harga yang relatif murah (Dhakate, 2008).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Pramulista, A, T. 2013) tentang penambahan karbon terhadap sifat mekanik dan konduktivitas listrik komposit karbon/epoksi sebagai pelat bipolar polimer electrolit membran sel bahan bakar (Polymer Exchange Membran (PEMFC)), diperoleh nilai konduktivitas 424,8 s/cm.

Maka penelitian ini ditujukan untuk mencari komposisi penambahan *stainless* steel yang tepat sebagai matrik pada pelat konduktor polimer (pelat bipolar). Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah pembuatan plat konduktor polimer (pelat bipolar) dengan komposisi optimum digunakan untuk meningkatkan konduktivitas listrik dan fleksibelitas mekanis pelat bipolar, serta optimalisasi performa yang baik sehingga mudah pembuatan dan pengembangannya untuk berbagai aplikasi.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penulis mengangkat judul penelitian

Tugas Akhir "Analisa Variasi Penambahan Serbuk Stainless Steel Pada Plat

Konduktor Polimer Terhadap Sifat Mekanik dan Konduktivitas Listrik".

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini terdiri dari :

- 1. Bagaimana pengaruh variasi serbuk *stainless steel* pada plat konduktor polimer?
- 2. Bagaimana mengetahui kuantitas penambahan serbuk *stainless steel* yang optimum pada plat konduktor polimer?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

- 1. Untuk mendapatkan pengaruh variasi serbuk *stainless steel* pada plat konduktor polimer.
- 2. Untuk mengetahui kuantitas penambahan serbuk *stainless steel* yang optimum pada plat konduktor polimer.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memenuhi arah penelitian yang baik dan lebih terfokus, ditentukan batasan masalah sebagai berikut :

- Komposisi pada Grafit: Serbuk *Stainless Steel*: Resin Epoksi yaitu 80%:
 5%: 15%, 75%: 10%: 15% dan 70%: 15%: 15%.
- 2. Metode pencetakan dengan press moulding.
- 3. Pengujian yang dilakukan yaitu Uji Konduktivitas, Uji Porositas dan Uji Tekan (*Compresive Strength*).

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat

antara lain:

a. Bagi penulis

Penelitian ini berguna untuk menambah wawasan dan pengetahuan mengenai

analisa pengaruh variasi serbuk stainless steel pada plat konduktor polimer

dalam pelat bipolar secara teoritis maupun dalam dunia nyata, serta

pengaplikasian pengetahuan yang selama ini didapat selama masa perkuliahan

b. Bagi akademik

Penelitian ini dapat memberikan masukan dan informasi yang diharapkan

mampu memberikan manfaat baik dalam bidang akademik maupun dalam

bidang praktisi.

c. Bagi peneliti selanjutnya

Penelitian ini berguna untuk memberikan masukan bagi peneliti selanjutnya

dan menjadikan penelitian ini sebagai informasi pelengkap dalam penyusunan

penelitian yang sejenis.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memperoleh gambaran secara umum tentang perancangan ini, penulis

melengkapi pengiraiannya sebagai berikut:

BAB I

: PENDAHULUAN

4

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Landasan teori terdiri dari membahas teori penunjang dari pembuatan plat konduktor polimer yang akan dibuat.

BAB III : METODE PENLITIAN

Diagram alir rancangan, bahan dan alat, waktu dan tempat.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil penelitian dan pembahasan dari studi eksperimen variasi penambahan serbuk stainless steel pada plat konduktor polimer.

KESIMPULAN BAB V

Bab ini berisi tentang kesumpulan dan saran.

DAFTAR PUSTAKA

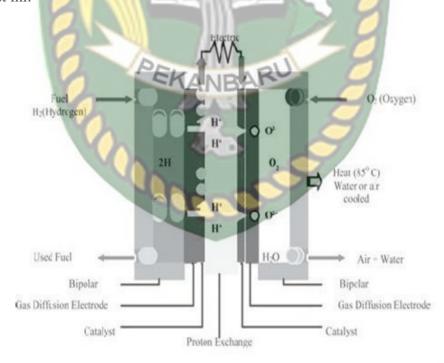
LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)

Proton Exchange Membrane fuel cell (PEMFC) yang dikenal pula sebagai polymer electrolyte membrane fuel cell merupakan komponen yang terdiri dari elektrolit dan elektroda berbentuk padat (Ling Du. 2008). Elektrolit terbuat dari polimer padat terhidrasi (fluorinated sulfonic acid polymer dan sejenisnya) yang berfungsi sebagai membran pertukaran ion. Sedangkan elektroda terbuat dari karbon berpori yang mengandung katalis. Satu-satunya cairan dalam PEMFC adalah air hasil reaksi elektrokimia seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 Skema Operasi PEMFC

(Sumber: Simbolon, 2011)

Reaksi elektrokimia yang terjadi pada sistem PEMFC adalah sebagai berikut:

Anoda : $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- \qquad \Delta G_0 = 0$

Katoda : $\frac{1}{2}O_2 + 2e^2 + 2H^+ \rightarrow H_2O$ (1) $\Delta G_0 = -237 \text{ kJ/mol}$

Total reaksi: $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$ (1) $\Delta G_0 = -237$ kJ/mol

PEMFC beroperasi pada kisaran temperatur 80°C sehingga membuatnya cepat bereaksi untuk menghasilkan energi yang dibutuhkan. Selain itu PEMFC memiliki rasio energi terhadap berat yang tinggi serta ketahanan korosi dan durabilitas komponen yang baik. Karakteristik tersebut menjadi dasar pemanfaatan PEMFC sebagai FCV (*fuel cell vehicle*) dengan tingkat kebutuhan efisiensi yang tinggi. Pencapaian nilai efisiensi tersebut tentunya juga memerlukan pengaturan keseimbangan air dan panas hasil reaksi elektrokimia secara baik serta pengaturan kualitas sumber bahan bakar hidrogen (Ramana, 2006).

Air dalam sistem operasi PEMFC dihasilkan dan dialirkan pada bagian permukaan katoda. Air akan terevaporasi ketika bersinggungan dengan panas (lebih dari 60°C) dalam sistem operasi PEMFC. Kondisi evaporasi air diharapkan tidak lebih cepat dibandingkan reaksi pembentukannya pada katoda karena permukaan membran elektrolit perlu cukup terhidrasi. Apabila membran terlalu kering maka transfer proton menuju elektroda dalam bentuk *hydrated proton* atau H(H₂O)_n akan berkurang. Sedangkan apabila terlalu basah maka akan menurunkan area permukaan pemisah antara anoda dan katoda yang akan mengganggu reaksi sel keduanya. Oleh karena itu air yang

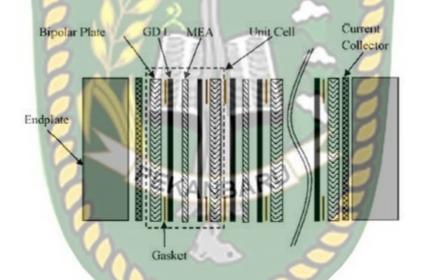
dihasilkan perlu dialirkan secara baik melalui *flow field* sehingga tingkat hidrasi dari elektroda dan elektrolit menjadi optimum.

Pengoperasian PEMFC memiliki permasalahan efisiensi lain berkaitan dengan sumber bahan bakar. Sumber bahan bakar hidrogen umumnya memiliki pengotor berupa karbon monoksida (CO). Pengotor akan bereaksi dengan katalis yang berada di anoda. Kondisi ini menyebabkan fungsi katalis terhambat dan menurunkan efisiensi sistem. Oleh karena itu dibutuhkan sumber bahan bakar hidrogen dengan tingkat kemurnian tinggi. Hidrogen murni memiliki densitas rendah sehingga perlu hydrogen storage berupa tabung bertekanan tinggi. Namun kondisi ini sulit diaplikasikan pada FCV karena dengan begitu dibutuhkan kapasitas penyimpanan yang besar sehingga berat kendaraan meningkat. Solusinya ialah menggunakan sumber bahan bakar hidrogen dengan densitas lebih besar sehingga kapasitas penyimpanan menjadi kecil, meskipun dibutuhkan tambahan biaya untuk membuat fuel reformer.

Perkembangan PEMFC saat ini mengarah pada rekayasa material penyusun komponen utamanya, yaitu pelat bipolar sebagai penyumbang ± 80% total berat PEMFC (Imran Sabir, 2004). Komposisi berat tersebut dapat menurunkan tingkat efisiensi energi dari sistem ketika teknologi ini diaplikasikan sebagai FCV. Oleh karena itu dibutuhkan material penyusun pelat bipolar yang ringan dan mampu menghasilkan konduktivitas listrik tinggi. Salah satu jenis material yang dapat digunakan untuk fungsi tersebut adalah karbon-polimer komposit.

2.2 Struktur PEMFC

Fuel cell tunggal memiliki keterbatasan dalam tegangan yang dihasilkan, yaitu senilai 0,6-0,7 V dengan rapat arus 0,6-0,8 A/cm² (Morgantown, 2004). Nilai tersebut sangat kecil apabila akan difungsikan sebagai FCV. Oleh sebab itu diperlukan pengombinasian komponen-komponen sel dalam bentuk tumpukan fuel cell tunggal (stack) untuk meningkatkan nilai kelistrikan. Pada Gambar 2.2 di bawah ini terlihat skema struktur polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC) yang tersusun lebih dari sebuah fuel cell tunggal.



Gambar 2.2 Komponen Penyusun PEMFC (Sumber: Hwanga, 2008)

Komponen penyusun PEMFC terdiri dari membran solid polimer sebagai elektrolit dan elektroda (mengandung katalis Pt) karbon, pelat bipolar, pelat penutup (*end plate*), dan pengumpul arus (Ling Du, 2008). Masing-masing komponen penyusun memiliki fungsi tersendiri untuk menjadikan PEMFC sebagai suatu kesatuan penghasil energi listrik dengan efisiensi tinggi. Pada Tabel

2.1 dapat dilihat karakteristik material dan fungsi dari tiap komponen penyusun PEMFC.

Tabel 2.1 Komponen Penyusun PEMFC (Sumber: Yuhua Wang, 2006)

Komponen	M aterial	Fungsi
Membrane Electrolyte Assembly (MEA)	Terdiri dari dua elekroda, satu membran elektrolit, dan dua <i>Gas Diffusion Layer</i> . Polimer solid terimpregnasi dengan lapisan katalis pada anoda dan katoda.	 Memisahkan reaksi setengah sel antara anoda-katoda. Mendistribusikan proton dari anoda ke katoda. Mendistribusikan gas secara merata pada lapisan difusi gas kedalam lapisan katalis. Mengalirkan elektron dari area aktif menuju pelat bipolar. Membantu pengaturan air.
Pelat Bipolar	Grafit, stainless steel, atau komposit polimer.	 Mendistribusikan gas di bagian area aktif membran. Mengalirkan elektron dari anoda ke katoda Medistribusikan air keluar sel.
Endplate	Material dengan kekuatan mekanik yang baik (baja ataupun paduan aluminum).	Membentuk rangkaian PEMFC yang terintegrasi.
Pengumpul Arus	Logam dengan kontak elektrik & konduktivitas yang baik (Cu).	Menyimpan dan mentransfer arus dari dalam menuju keluar sirkuit.

2.3 Pelat Bipolar

Pelat bipolar atau disebut juga *flow field plate* merupakan suatu komponen penting dalam sistem operasi PEMFC. Pelat bipolar memiliki dua fungsi utama, yaitu mengalirkan gas reaktan menuju *gas diffusion layer* melalui *flow channel* dan mengalirkan elektron dari anoda menuju katoda (Zi Yuan, 2006). Seperti yang telah dijelaskan dalam bab pembuka, pelat bipolar konvensial berkontribusi terhadap 45-60% biaya pembuatan *stack*, ± 80% total berat, dan mencakup hampir seluruh volume *stack* dari PEMFC (Stambouli, 2001). Oleh karena itu pelat bipolar harus dibuat setipis dan seringan mungkin, ekonomis, dan mudah dibentuk guna mengoptimalkan fungsinya (Imran Sabir, 2004). Pada Gambar 2.3 terlihat pelat bipolar hasil pencetakan dengan ketebalan minimum disertai *flow field* pada bagian permukaannya.

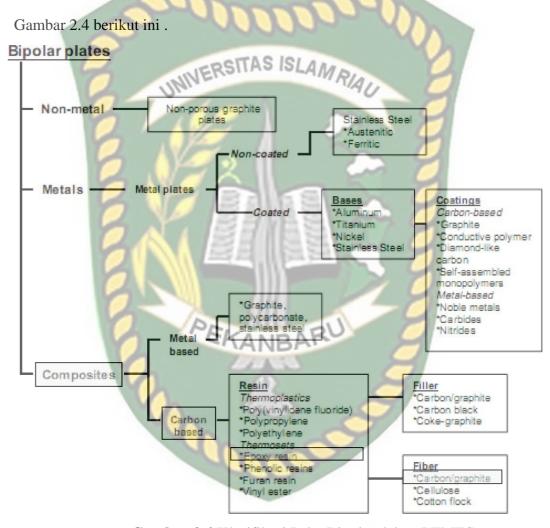


Gambar 2.3 Pelat Bipolar

(Sumber: Heinzel, 2009)

Pelat bipolar perlu dibuat dari material dengan sifat konduktivitas listrik tinggi dan tidak dapat dilewati oleh gas atau memiliki sifat permeabilitas yang rendah. Sifat tersebut dibutuhkan untuk menghasilkan aliran elektron yang baik dalam sistem operasi *fuel cell*. Sifat tersebut dapat diperoleh dari

beberapa material dasar pembentuk pelat bipolar seperti material grafit, logam, maupun komposit (Hermana, 2005). Material dasar tersebut memiliki sifat tertentu yang membedakan proses fabrikasi, biaya produksi serta aplikasi dari pelat bipolar. Jenis-jenis material dasar penyusun pelat bipolar terlihat pada



Gambar 2.4 Klasifikasi Pelat Bipolar dalam PEMFC

Setiap material dasar yang digunakan sebagai penyusun pelat bipolar difungsikan untuk aplikasi tertentu yang spesifik. Material tersebut memiliki kelebihan dan keterbatasan masing-masing yang menjadi dasar perbedaan pemanfaatannya, seperti terlihat pada Tabel 2.2. Hal ini dikarenakan dalam

kondisi pengaplikasian yang berbeda maka dibutuhkan sifat pelat bipolar yang berbeda pula baik dari segi sifat mekanis, sifat kimia, sifat kelistrikan maupun sifat termal. Selain itu pertimbangan dari segi ekonomi juga menjadi bagian penting. Pemilihan material yang tepat sebagai penyusun pelat bipolar perlu dilakukan dengan cermat agar penggunaan *fuel cell* sebagai penghasil energi listrik dapat bernilai ekonomis tinggi dan efisiensi tinggi.

Tabel 2.2 Kelebihan dan Kekurangan Material Penyusun Pelat Bipolar

Material	Kelebihan	K eterbatasan
Grafit	Ketahanan korosi baik.Resisitivitas rendah.Resistansi kontak rendah.	 Sifat mekanik buruk (getas). Porositas. Volume dan berat
3		yang besar. • Biaya produksi tinggi.
Komposit Karbon - Karbon	Densitas rendah.Ketahanan korosi baik.Resistansi kontak rendah.	 Kekuatan mekanik rendah. Konduktivitas listrik rendah. Harga relatif mahal.
Komposit Karbon - Polimer	 Relatif murah. Ketahanan korosi baik. Densitas rendah. Tidak perlu adanya permesinan tambahan untuk membuat <i>flow field</i>. Ketersediaan bahan baku. 	 Kekuatan mekanik rendah. Konduktivitas listrik rendah.

	Konduktivitas listrik tinggi. Rentan terjadi korosi
	Konduktivitas panas tinggi. (terbentuk oksida pada
_	Biaya produksi rendah . membran).
Logam	Sifat mekanik baik.
	Proses fabrikasi relatif
	mudah.

(Sumber: Zi Yuan, 2006)

Salah satu fokus pemanfaatan PEMFC adalah sebagai FCV. Aplikasi ini membutuhkan tingkat efisiensi tinggi yang dapat diperoleh dari merekayasa desain dan rekayasa material penyusunnya. Tujuannya adalah menurunkan berat kendaraan sehingga mengurangi daya yang dibutuhkan untuk mobilisasi. Apapun bahan yang digunakan perlu dipastikan bahwa pelat bipolar memenuhi karakteristik standar untuk aplikasi FCV. Seperti yang disyaratkan US DOE (Department of Energy) pada Tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2.3 Target Teknis DOE untuk Karaktersitik Pelat Bipolar

(Sumber : DOE Hydrogen Program, 2007)

flux	cm ⁻² @ 80°C, 3 atm (equivalent to <0.1 mA/cm ²)			
Corrosion	μA/cm²	<1 ^d	<1 ^d	<1 ^d
Electrical conductivity	S/cm	>600	>100	>100
Resistivity*	Ohm-cm	< 0.02	0.01	0.01
Flexural Strength ^f	MPa	>34	>25	>25
Flexibility	% deflection at mid-span	1.5 to 3.5	3 to 5	3 to 5

This is the first year for which status is available. 2005 status is for carbon

plates, except for corrosion status which is based on metal plates.

Based on 2002 dollars and costs projected to high volume production (500,000 stacks per year).

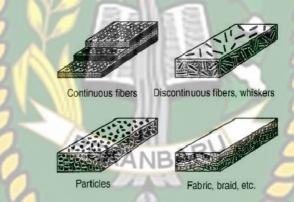
Status is from 2005 TIAX study and will be periodically updated.

May have to be as low as 1 nA/cm if all corrosion product ions remain in

May have to be as low as 1 nA/cm if all corrosion product ions remain in ionomer.
Includes contact resistance.
Developers have used ASTM C-651-91 Standard Test Method for Flexural Strength of Manufactured Carbon and Graphite Articles Using Four Point Loading at Room Temperature.

2.4 Material Komposit

Material komposit merupakan kombinasi makroskopik dari dua atau lebih material dengan sifat dan bentuk berbeda yang disatukan oleh suatu ikatan permukaan (ASM Handbook Vol. 21, 2001). Tujuan pembuatan material komposit adalah mendapatkan sifat (mekanis, optis, termal maupun kelistrikan) terbaik dari kombinasi sifat dasar material penyusunnya untuk kebutuhan suatu aplikasi tertentu. Konstituen yang menyusun material komposit disebut sebagai matriks (*matrix*) dan penguat (*reinforcement*). Pada Gambar 2.5 dapat dilihat adalah berbagai jenis penguat yang terdispersi pada suatu matriks .



Gambar 2.5 Jenis Penguat yang Terdistribusi pada Matiks Komposit (Sumber : ASM Handbook Vol. 21, 2001)

Matriks memiliki nilai fraksi volume sekitar 40-50% dari suatu komposit serta memiliki sifat mekanis lebih lemah dibandingkan penguat. Matriks berfungsi sebagai penentu stabilitas komposit terhadap temperatur, pelindung penguat dari lingkungan abrasif dan korosif, media transfer tegangan, pemberi ketangguhan dan kekuatan geser serta penjaga orientasi penguat yang terdispersi di dalamnya.

2.4.1 Klasifikasi Komposit

Klasifikasi komposit berdasarkan matriks sesuai Tabel 2.4 dibedakan menjadi tiga jenis, *Metal Matrix Composite* (MMC), *Ceramic Matrix Composite* (CMC), dan *Polymer Matrix Composite* (PMC). Ketiganya memiliki sifat berbeda yang memberikan kelebihan dan keterbatasan dalam pengaplikasiannya. Oleh karena itu perlu penyesuaian sifat yang dimiliki komposit terhadap aplikasi agar dapat dimanfaatkan secara optimal.

Tabel 2.4 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matriks Disertai Kelebihan dan Keterbatasan (Sumber : ASM Handbook Vol. 21, 2001)

Jenis Ko <mark>mposit</mark>	Kelebihan	Keterbatasan
21	Temperatur aplikasi tinggi.	Bobot yang berat.
	 Kekuatan dan kekakuan 	• Ketahanan korosi
	baik.	<mark>bu</mark> ruk.
Metal Matri <mark>ks</mark>	Ketangguhan baik.	Biaya produksi relatif
Composit (MMC)	• Konduktivitas listrik baik.	mahal.
	Konduktivitas panas baik.	
	Dapat difibrikasi dengan	
	metode konvensional.	
	• Temperatur penggunaan	Kegetasan tinggi.
Ceramic Matriks	sangat tinggi (> 2000°C).	Ketahanan terhadap
	 Densitas rendah. 	mechanical buruk.
Composit (CMC)	• Modulus elastisitas besar.	Ketahanan terhadap
		thermal shock buruk.

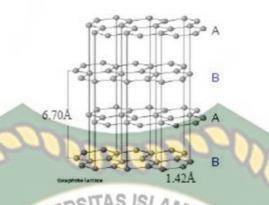
	•	Massa ringan.	•	Temperatu	r aplikasi
	•	Fabrikasi mudah.		rendah.	
Polymer Matriks	•	Ketangguhan baik.	•	Sensitif	terhadap
Composit (PMC)	•	Dapat diproses dengan		lingkungan	dengan
		teknik pembuatan polimer	R	tingkat k	elembaban
		konvensional.	V	tinggi.	

2.5 Material Penyusun Plat Konduktor Polimer

Penting menentukan jenis material dan komposisi penyusun plat konduktor polimer dalam pelat bipolar. Pada penelitian ini jenis material penyusun utama yang digunakan berupa grafit EAF, resin epoksi serta *Stainless Steel*. Selain itu terdapat pula agen pelarut metanol sebagai pelarut resin epoksi dan *hardener*.

2.5.1 Grafit

Grafit merupakan suatu bentuk modifikasi dari karbon yang memiliki struktur kristal heksagonal, seperti terlihat pada Gambar 2.6. Grafit tersusun dari atom karbon dengan ikatan kovalen pada kisi planar dan ikatan *Van der Walls* pada tiap lapisan yang menciptakan perbedaan derajat anisotropik. Ikatan *Van der Walls* yang lemah memungkinkan tiap lapisan memberikan efek lubrikasi. Struktur lapisan grafit bersifat inert terhadap lingkungan kimia. Grafit memiliki sifat konduktivitas termal dan listrik yang baik sehingga dapat digunakan sebagai elektroda maupun konstituen dalam material komposit.



Gambar 2.6 Struktur Kristal Grafit

(Sumber: Ling Du, 2008)

Salah satu pemanfaatan grafit sebagai elektroda adalah pada peleburan besi ataupun baja menggunakan *Electric Arc Furnace* (dapur busur listrik). Elektroda berfungsi menghantarkan arus listrik hingga menghasilkan energi panas tinggi yang mampu mencapai titik lebur besi maupun baja.

Selain sebagai elektroda, grafit dapat pula difungsikan sebagai konstituen dalam pembuatan material komposit. Salah satunya adalah sebagai bahan penguat pada plat konduktor dalam plat bipolar. Grafit mampu memberikan nilai konduktivitas listrik yang baik dan juga meningkatkan sifat mekanis dari komposit. Selain itu, penambahan grafit akan mampu meningkatkan *machinability* dari material komposit karena fungsinya yang baik sebagai pelumas padat. Kesemuanya dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk partikel grafit yang digunakan seperti ditunjukkan pada Tabel 2.5 berikut ini.

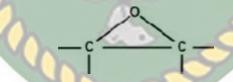
Tabel 2.5 Pengaruh Ukuran dan Bentuk Partikel Grafit Terhadap Karakteristik Pelat Bipolar

Sample	Particle size	Direction	Bulk electrical conductivity (S/cm)	Thermometric conductivity [W/(m-°C)]	Flexural strength (MPa)
Spherical	250~325 mesh	11	84.0	18.9	39.5
graphite	250-525 Inest		387.3	71.9	22.2
	-325 mesh	11	60.0	12.5	110
	-325 mesu	1	326.9	61.4	44.0
Flake-like graphite	250~325 mesh	//	76.0	20.3	35.0
	250~325 mesn	13.0 13.0 13.0 13.0 13.0 13.0 13.0 13.0	113.0	33.0	
	-325 mesh	Vire	45.8 -AIN	R/a. 13.0	39.8
	-525 mesu	Mes.	420.3	105.5	29.0

(Sumber : Zhang Jie, 2005)

2.5.2 Resin Epoksi

Resin epoksi merupakan senyawa molekuler organik yang mengandung sejumlah grup epoksi (Guneri, 2001). Epoksi sederhana disusun oleh dua atom karbon dan satu atom oksigen, seperti terlihat pada Gambar 2.7. Epoksi termasuk ke dalam material polimer termoset yang dapat mengalami pemutusan rantai polimer apabila mengalami siklus pemanasan berulang.



Gambar 2.7 Struktur Dasar Resin Epoksi

(Sumber : Akovali & Guneri, 2001)

Secara umum polimer termoset terdiri dari dua penyusun, yaitu resin dan curing agent (hardener). Hardener adalah suatu senyawa reaktif aliphatic amine yang mempunyai sifat curing time yang cepat bila direaksikan pada temperatur ruang. Pencampuran resin epoksi dan hardener akan menghasilkan reaksi curing sehingga didapatkan hardened polymer (cross-linked structure).

Penggunaan epoksi dalam aplikasi komposit seperti pada pembuatan pelat bipolar memiliki fungsi utama sebagai matriks yang akan membasahi seluruh permukaan bahan penguat sehingga dihasilkan ikatan permukaan yang baik. Ikatan permukaan yang baik tersebut membentuk sifat mekanis yang baik pula. Selain itu kombinasi antara epoksi dengan bahan penguat bersifat polar (OH) akan mampu meningkatkan nilai konduktivitas pelat bipolar.

2.5.3 Stai<mark>nless Steel</mark>

Stainless steel juga dikenal sebagai baja paduan dengan kandungan minimal kromium 11 %. Stainless steel merupakan baja tahan korosi atau karat dibandingkan dengan baja biasa. Baja karbon akan mengalami korosi jika terkena udara yang lembab. Oksida besi (karat) akan mempercepat korosi dengan membentuk lebih oksida besi. Stainless steel memiliki cukup jumlah kromium sehingga film pasif membentuk kromium oksida yang mencegah korosi permukaan lebih lanjut dan blok korosi dari logam menyebar ke struktur internal (Kusuma, 2009).

Dalam ilmu metallurgy, baja tahan karat biasa disebut inox steel atau inox yang berasal dari bahasa perancis "inoxydable". Ini disebabkan karena baja tahan karat memiliki daya tahan terhadap oksidasi yang tinggi di udara dalam suhu lingkungan biasa dapat dicapai karena adanya tambahan krom (Mukhsen, 2012). Lapisan kromium tersebut akan membentuk lapisan yang sangat tipis dan bersifat tidak aktif, sehingga lapisan tersebut dapat melindungi material baja saat kontak langsung dengan oksigen.

2.6 Uji Konduktivitas

Pengujian konduktivitas dilakukan menggunakan alat Konduktivitas listrik. Alat ini terdiri dari empat *probe* dimana sampel ditempatkan pada bagian permukaannya, seperti terlihat pada Gambar 2.8. Arus dialirkan melalui *probe* 1 dan 4, apabila terdapat tahanan listrik maka akan terjadi penurunan tegangan pada *probe* 2 dan 3 yang diukur dengan voltmeter digital.



(Sumber: Simbolon, 2011)

Pada pengujian konduktivitas listrik digunakan cakram untuk menahan posisi sampel uji serta memfokuskan arus yang ditembakkan pada titik tertentu. Cakram terbuat dari polimer berwarna hitam yang berbentuk lingkaran dengan diameter dan ketebalan tertentu. Dari hasil pengujian ini akan dihasilkan resistivitas listrik yang kemudian diubah menjadi nilai konduktivitas listrik sesuai persamaan 3.2 berikut ini:

$$a = \frac{1}{\sigma}$$
 (Pers 2.1)

Keterangan $\sigma = \text{nilai konduktivitas [S/cm]}$ $\rho = \text{resistivitas } [\Omega \text{cm}]$

2.7 Uji Porositas

Porositas atau pori merupakan untuk melihat ruang di dalam batuan yang dapat terisi oleh fluida, seperti udara, air tawar/asin, minyak atau gas bumi. Porositas suatu batuan sangat penting dalam eksplorasi dan eksploitasi baik dalam bidang perminyakan maupun dalam bidang air tanah. Hal ini karena porositas merupakan variable utama untuk menentukan besarnya cadangan fluida yang terdapat dalam suatu massa batuan (Chandra, 2021).

Porositas secara sifat dapat dibagi menjadi dua yaitu porositas yang terhubung dan porositas tidak terhubung, Porositas terhubung dapat diukur dengan menggunakan gas atau cairan yang mengalir kedalam bebatuan, namun tidak dapat melalui porositas yang tidak terhubung. Perbandingan antara volume total ruang pori (baik itu terhubung maupun tidak) dan volume total batuan disebut porositas total atau absolut, sedangkan perbandingan antara ruang pori yang saling berhubungan dan volume total batuan disebut porositas efektif. Menurut pembentukannya atau proses geologinya, porositas dibagi menjadi lima belas, yaitu:

 Porositas primer adalah porositas yang terjadi bersamaan dengan proses pengendapan batuan tersebut.

- 2. Porositas sekunder adalah porositas yang terjadi setelah proses pengendapan batuan seperti yang disebabkan karena proses pelarutan atau endapan.
- 3. Porositas pecahan adalah porositas yang dihubungkan oleh jaringan yang pecah. Pecahan ini dapat menciptakan porositas sekunder dalam batuan.
- 4. Porositas vuggy adalah porositas sekunder yang dihasilkan makrofosil yang telah menjadi batuan karbonat yang memiliki lubang-lubang yang besar.
- 5. Porositas makro adalah merujuk pada pori-pori yang berdiameter lebih besar dari 50 mm.
- 6. Porositas menengah adalah pori-pori yang berukuran antara 2 nm sampai 50 nm.
- 7. Porositas mikro adalah pori-pori yang berukuran lebih kecil dari 2 nm.
- 8. Porositas padat adalah pori-pori yang sangat kecil (hampir tidak terlihat) karena dominasi ukuran butir yang sangat kecil.
- 9. Porositas ketat adalah pori-pori kecil yang terletak di antara butiran yang berdekatan kompak.
- 10. Porositas interkristalin adalah pori-pori yang terdapat di antara kristal batuan.

- 11. Porositas intergranular adalah pori-pori yang terdapat di antara butiran batuan.
- 12. Porositas goa dan gerowong adalah pori-pori yang ukurannya besar (gerowong) hingga sangat besar (goa).
- 13. Porositas rekahan adalah hasil dari adanya suatu ruang terbuka yang disebabkan oleh patahan atau hancuran dari batuan.
- 14. Porositas terbuka adalah fraksi dari volume total dimana aliran fluida dinamis dapat menempati ruang walau terdapat jalan buntu di dalamnya.
- 15. Porositas inefektif (porositas tertutup) merupakan fraksi volume total dimana fluida atau gas ada di dalam namun tidak dapat mengalir.

Sedangkan kalau ditinjau dari sudut teknik reservoir, porositas dibagi menjadi 2 yaitu:

- 1. Porositas absolut Didefinisikan sebagai perbandingan antara volume seluruh pori dengan volume total batuan (bulk volume).
- 2. Porositas efektif adalah perbandingan volume pori yang berhubungan dengan volume total batuan.

Pada umumnya besarnya porositas berkisar antara 5-30%. Porositas 5% biasanya dimasukkan dalam porositas kecil. Secara teoritis besarnya porositas tidak lebih dari 47,6%. Dilapangan dapat kita ketahui perkiraan secara visual,

dimana penentuan ini bersifat semi kuantitatif dan digunakan skala sebagai berikut:

- a) 0% 5% porositas sangat buruk (very poor)
- b) 5% 10 % porositas buruk (poor)
- c) 10% 15 % porositas cukup (fair)
- d) 15% -20 % porositas baik (good)
- e) 20% 25% porositas sangat baik (very good)
- f) > 25% istimewa

Beberapa faktor yang mempengaruhi porositas antara lain adalah:

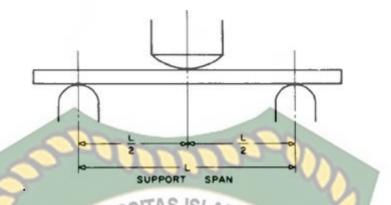
- a) Ukuran butir atau grain size, semakin kecil ukuran butir maka rongga yang terbentuk akan semakin kecil pula dan sebaliknya jika ukuran butir besar maka rongga yang terbentuk juga semakin besar.
- b) Bentuk butir atau sphericity, batuan dengan bentuk butir jelek akan memiliki porositas yang besar, sedangkan kalau bentuk butir baik maka akan memiliki porositas yang kecil.
- c) Susunan butir, apabila ukuran butirnya sama maka susunan butir sama dengan bentuk kubus dan mempunyai porositas yang lebih besar dibandingkan dengan bentuk rhombohedral.
- d) Pemilahan, apabila butiran baik maka ada keseragaman sehingga porositasnya akan baik pula. Pemilahan yang jelek menyebabkan butiran

yang berukuran kecil akan menempati rongga diantara butiran yang lebih besar akibatnya porositasnya rendah.

- e) Komposisi mineral, apabila penyusun batuan terdiri dari mineral-mineral yang mudah larut seperti golongan karbonat maka porositasnya akan baik karena rongga-rongga akibat proses pelarutan dari batuan tersebut.
- f) Sementasi, material semen pada dasarnya akan mengurangi harga porositas. Material yang dapat berwujud semen adalah silika, oksida besi dan mineral lempung.
- g) Kompaksi, adanya kompaksi dan pemampatan akan mengurangi harga porositas. Apabila batuan terkubur semakin dalam maka porositasnya akan semakin kecil yang diakibatkan karena adanya penambahan beban.

2.8 Uji Compressive Strength

Pengujian *compressive strength* bertujuan untuk mengetahui ketahanan dari plat konduktor polimer terhadap beban tekan. Pengujian ini disesuaikan dengan kondisi aplikasi plat konduktor polimer yang umumnya dibentuk dalam satu *stack* (susunan plat saling berhimpitan) serta mendapatkan tekanan dari gas dari segala arah. Pengujian *compressive strength* mengacu pada standar ASTM D790. Metode pengujian berupa metode *three point bending*, pembebanan diberikan pada bagian tengah sampel uji sesuai Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Skema Pengujian Compressive Strength

Prinsip pengujian berupa pemberian beban tekan pada tengah sampel yang diletakkan diantara dua penahan hingga terjadi perpatahan. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine dengan panjang penahan 64 mm, diameter *punch* 3,2 mm, dan kecepatan pembebanan 2 mm/menit. Pada Gambar 3.8 berikut ini terlihat pengujian *compressive strength* yang dilakukan.



Gambar 2.12 Pengujian Fleksural

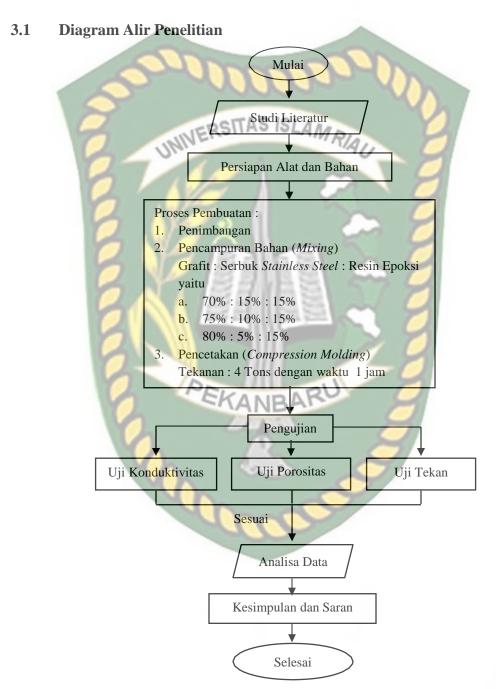
Dari pengujian akan diperoleh beban maksimal (P) yang diberikan terhadap sampel hingga terjadi perpatahan. Nilai kekuatan tekan dari sampel

didapat menggunakan persamaan 3.3 berikut ini.

$$\sigma_f = \frac{_{3PL}}{_{2bd^2}} \tag{Pers 2.3}$$

Keterangan: σ_f = kekuatan tekan(Mpa) P = beban maksimal (N) L = panjang sampel (mm) b = lebar sampel (mm) d = tebal sampel (mm)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

Dari diagram alir penelitian diatas, dapat dijelaskan bahwa dalam penelitian skripsi ini terdapat beberapa tahap yang dilakukan. Hasil yang didapatkan dari penelitian dalam pembuatan material terbaharukan tepat sasaran dan sesuai yang diharapkan, antara lain:

1. Mulai

Mulai di awali dari pengajuan judul Skripsi dan mendapatkan SK Skripsi.

2. Studi literatur

Pengambilan data-data teori dari jurnal, buku yang berkaitan dalam pembuatan proposal skripsi ini sesuai dengan penelitian terdahulu.

3. Persiapan Alat dan Bahan

Mempersiapkan bahan-bahan untuk pembuatan plat konduktor dalam plat bipolar dan alat untuk pembuatan serta menentukan alat uji yang sesuai dari penelitian.

4. Pembuatan produk

Dalam tahap ini dilakukan pembuatan dimulai dari penghalusan bahan, penimbangan bahan, pencampuran bahan (Mixing) dan pencetakan dengan Mesin Compression Molding.

5. Pengujian

Melakukan pengujian di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau.

6. Analisa Data Penelitian

Berdasarkan dari hasil pengujian konduktivitas, uji permeabilitas dan uji fleksural yang akan di analisa membuat grafik dan pembahasan sesuai dengan hasil pengujian.

7. Kesimpulan dan Saran

Menyimpulkan hasil penelitian mulai dari BAB I sampai dengan BAB IV dan memberikan saran untuk penelitian berikutnya.

3.2 Komposisi Plat Konduktor Polimer

Pada tabel di bawah ini dijabarkan komposisi bahan dari plat konduktor polimer dengan variasi penambahan serbuk *stainless steel* serta variasi tekanan yang ditandai dengan kode sampel yang berbeda.

Tabel 3.1. Komposisi Pada Plat Konduktor Polimer

Kode Sampel	Kompo	Tekanan (Tons)		
A	Grafit <mark>EAF</mark> (70%)	Serbuk Stainless Steel (15%) Resin Epoksi (15%)		4
В	Grafit EAF (75%)	Serbuk Stainless Steel (10%)	Resin Epoksi (15%)	4
С	Grafit EAF (80%)	Serbuk Stainless Steel (5%)	Resin Epoksi (15%)	4

3.3 **Alat Penelitian**

Alat penelitian bertujuan untuk melengkapi perlengkapan data penelitian yang terdiri dari:

- Beaker glass ceper.
- Pipet v<mark>olumet</mark>ric. 2.
- UK. NIVERSITAS ISLAMRIAU Peralatan penumbuk. 3.
- Mesin Pengayak. 4.
- Tissue/Kertas 5.
- Termometer. 6.
- 7. Mixer.
- 8. Cetakan.
- Timbangan digital. 9.
- 10. Amplas: 120, dan 400.
- 11. Jangka Sorong.
- 12. Press Hidraulik kapasitas 10.000 kg.
- 13. Alat Uji Konduktivitas.
- 14. Alat Uji Permeabilitas.
- 15. Alat Uji Fleksural.

3.4 Bahan Penelitian

Bahan penelitian bertujuan untuk melengkapi perlengkapan data penelitian yang terdiri dari :

- 1. Grafit: 350 mesh.
- 2. Resin Epoksi.
- 3. Serbuk Stainless Steel.

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur Penelitian terdiri dari beberapa tahapan penghalusan grafit, penimbangan, pencampuran bahan (*mixing*) dan proses penekanan, yaitu:

RSITAS ISLAMRIA

3.5.1 Penimbangan

Proses ini dilakukan untuk mendapatkan ukuran yang sesuai dari berat bahan pada tiap komposisi sampel uji. Pada penelitian ini komposisi bahan untuk keempat sampel uji bernilai sama. Prosedur penimbangan adalah sebagai berikut:

- 1. Nyalakan tombol "on" pada alat.
- 2. Lakukan pengaturan alat pada kondisi angka nol.
- 3. Taruh gelas cawan di dalam timbangan dan kondisikan alat di angka nol
- 4. Masukkan bahan yang akan ditimbang pada gelas cawan.
- 5. Timbang bahan sesuai dengan berat yang telah ditentukan.
- 6. Ulangi langkah 2-5 untuk bahan lainnya.

3.5.2 Pencampuran Bahan (*Mixing*)

Proses ini dilakukan setelah semua bahan ditakar jumlahnya sesuai dengan

komposisi berat setiap sampel uji. Prosedur pencampuran adalah sebagai berikut:

- 1. Lakukan pengaturan temperatur mesin *hot plate* pada kondisi 100°C.
- 2. Campurkan grafit dan sebuk *Stainless Steel* ke dalam *beaker glass* untuk diaduk hingga merata.
- 3. Larutkan resin epoksi, kemudian campurkan ke dalam *beaker glass* bersama campuran sebelumnya menggunakan *mixer* selama 5 menit. di atas *hot plate* hingga bakalan berbentuk butiran (*granule*).

3.5.3 Proses Penekanan

Proses penekanan atau pengepresan dalam pembentukan plat konduktor polimer. Dalam proses penekanan ini, cetakan harus diberikan pelumas yang cukup agar tidak terjadi gesekan antara dinding cetakan dengan silika yang mengakibatkan retaknya plat konduktor polimer. Ada tiga variasi tekanan yang digunakan dalam proses penekanan untuk mengetahui pengaruh sifat plat konduktor polimer terhadap konduktivitas, porositas dan fleksural. Adapun langkah-langkah yang digunakan untuk melakukan proses ini adalah sebagai berikut:

- 1. Masukkan butiran hasil proses pencampuran kedalam cetakan (*mold*).
- 2. Sebelum mengoperasikan press hidrolik, cetakan (*mold*) periksa seluruh rangkaian komponen yang harus sudah terpasang.
- 3. Selalu kendurkan pengatur *relief valve* pada *full open. Relief valve* berfungsi mengatur tekanan fluida secara konstan pada tekanan tertentu.
- 4. Kemudian nyalakan *power unit*.

3.6 Prosedur Pengujian Konduktivitas

Pengujian konduktivitas dilakukan menggunakan alat Konduktivitas listrik dengan standar ASTM B193. Pada pengujian konduktivitas listrik digunakan cakram untuk menahan posisi sampel uji serta memfokuskan arus yang ditembakkan pada titik tertentu. Cakram terbuat dari polimer berwarna hitam yang berbentuk lingkaran dengan diameter dan ketebalan tertentu.

Prosedur pengujian konduktivitas listrik adalah sebagai berikut:

- 1. Nyalakan voltmeter dan ubah tipe mesin menjadi DC.
- 2. Letakk<mark>an sampel tepat berad</mark>a ditengah dimana 4 buah *probe* berada.
- 3. Letakkan cakram di atas permukaan sampel uji.
- 4. Pilih mode *slice* sesuai dengan bentuk sampel yang akan diuji.
- 5. Masukkan nilai ketebalan dari sampel uji.
- 6. Nilai resistivitas (R) akan terlihat pada indikator alat

Dari hasil pengujian ini akan dihasilkan resistivitas listrik yang kemudian diubah menjadi nilai konduktivitas listrik sesuai persamaan 3.2 berikut ini:

$$a = \frac{1}{\sigma}$$
 3.2

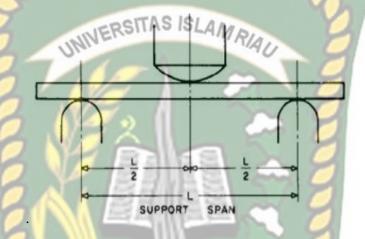
Keterangan $\sigma = \text{nilai konduktivitas [S/cm]}$

 $\rho = \text{resistivitas} [\Omega \text{cm}]$

3.8 Prosedur Pengujian Compressive Strength

Pengujian *compressive strength* bertujuan untuk mengetahui ketahanan dari plat konduktor polimer terhadap beban tekan. Pengujian ini disesuaikan dengan

kondisi aplikasi plat konduktor polimer yang umumnya dibentuk dalam satu *stack* (susunan plat saling berhimpitan) serta mendapatkan tekanan dari gas dari segala arah. Pengujian *compressive strength* mengacu pada standar ASTM D790. Metode pengujian berupa metode *three point bending*, pembebanan diberikan pada bagian tengah sampel uji sesuai Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema Pengujian Compressive Strength

Prinsip pengujian berupa pemberian beban tekan pada tengah sampel yang diletakkan diantara dua penahan hingga terjadi perpatahan. Pengujian menggunakan *Universal Testing Machine* dengan panjang penahan 64 mm, diameter *punch* 3,2 mm, dan kecepatan pembebanan 2 mm/menit. Pada Gambar 3.8 berikut ini terlihat pengujian *compressive strength* yang dilakukan.



Gambar 3.3 Pengujian Compressive Strength

Dari pengujian akan diperoleh beban maksimal (P) yang diberikan terhadap sampel hingga terjadi perpatahan. Nilai *compressive strength* dari sampel didapat menggunakan persamaan 3.3 berikut ini.

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2hd^2} \tag{3.3}$$

Keterangan:

 $\sigma_{\rm f} = compressive stength (Mpa)$

P = beban maksimal (N)

L = panjang sampel (mm)

b = lebar sampel (mm)

d = tebal sampel (mm)

3.9 **Prosedur Pengujian Porositas**

Untuk menentukan besarnya porositas, maka yang perlu ditentukan adalah Volume total batuan (Vb), volume pori (Vp) dan volume butiran (Vg). Standar yang digunakan dalam penelitian ini adalah (American Petroleum Institute Recommended Practice 40). Adapun langkah-langkah pengukuran porositas yaitu dengan cara Prosedur pengujian : menimbang.

- Menimbang pellet kering yang belum dijenuhi kerosin satu persatu.
- 2. Menimbang pignometer yang tak berisi, kemudian menimbang pignometer yang berisi kerosin.
- Mencari nilai densitas kerosin. 3.
- Menimbang gelas kimia kosong. 4.
- Menimbang gelas kimia berisi masing-masing sampel pellet. 5.
- Masukkan kerosin sebanyak 40 ml hingga pellet terendam. 6.
- Biarkan selama 15 menit kemudian keluarkan pellet dari dalam gelas 7. kimia kemudian timbang pellet tersebut.
- Masukkan kembali pellet kedalam gelas kimia yang sudah berisi kerosin, kemudian rendam pellet selama 24 jam untuk mengetahui nilai W₃.

3.10 Jadwal Kegiatan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Lama penelitian dalam menganalisa variasi penambahan serbuk stainless

steel pada plat konduktor polimer terhadap sifat mekanik dan konduktivitas listrik adalah selama 1 bulan. Agar penelitian sesuai dengan waktu yang ditentukan maka perlu dibuat jadwal penelitian seperti yang terlihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Jadwal Kegiatan Penelitian.

NO	Kegiatan	Bulan				
NO	Regiatali	TAS2ISLAM 3	4	5	6	
	St <mark>udi literatur</mark> yaitu	140				
1.	pen <mark>car</mark> ian referensi					
1.	ber <mark>upa</mark> buku dan jurnal					
	yan <mark>g ter</mark> kait penelitian					
2.	Pen <mark>yusu</mark> nan <mark>proposal</mark>					
3.	Bim <mark>bing</mark> an <mark>Bab 1</mark>					
4.	Bim <mark>bing</mark> an Bab 2		5 7			
5.	Bim <mark>bing</mark> an Bab 3		77			
6.	Seminar Proposal	FILL BY SEALC.				
7.	Bimb <mark>ingan Bab 4</mark>					
8.	Bimbingan Bab 5					
9.	Sidang Tugas Akhir					

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitan

Penelitian ini membahas tentang penambahan serbuk *stainless steel* pada plat konduktor polimer dengan cara *press moulding*. Komposisi bahan untuk membuat plat konduktor polimer adalah grafit, serbuk *stainless steel* dan resin epoxy jenis polyester. Hasil penelitian pembuatan plat konduktor polimer dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1. Hasil press moulding plat konduktor polimer

Plat Konduktor Polimer	Tekanan (Tons)	Luas Lingkaran (cm²)	Waktu (Jam)	Komposisi
27 mm	4PEK	20,33 (ANBAR)	1	Grafit: Serbuk Stainless Steel: Resin Epoksi yaitu 80 %: 5%: 15%
27 mm	400	20,33	1	Grafit : Serbuk Stainless Steel : Resin Epoksi yaitu 75% : 10% : 15%
27 ms	4	20,33	1	Grafit : Serbuk Stainless Steel : Resin Epoksi yaitu 70 % : 15% : 15%

4.2. Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik

Pengujian konduktivitas listrik dilakukan bertujuan untuk melihat kemampuan material menghantarkan arus listrik pada pengaplikasiannya nanti. Dari pengujian yang telah dilakukan, hasil yang diperoleh dari ketiga spesimen adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik

Spesimen	Komposisi Sampel	Resistivitas (Ω)	Voltage (V)	Ampere (A)
1	Grafit 70%: Serbuk Stainless Steel 15%: Resin Epoxy 15%	0,07	0,4	0,9
2	Grafit 75% : Serbuk <i>Stainless Steel</i> 10% : Resin Epoxy 15%	0,05	0,4	1,4
3	Grafit 80% : Serbuk <i>Stainless Steel</i> 5% : Resin Epoxy 15%	0,02	0,4	1,2

Tabel diatas merupakan hasil dari pengujian pelat konduktor menggunakan alat konduktivitas listrik dimana nilai yang didapatkan adalah nilai resistivitas, voltage dan ampere. Maka dapat dilakukan perhitungan nilai hambatan dimensi atau konduktansi dan nilai konduktivitas listrik sebagai berikut:

1. Spesimen 1

G =
$$\frac{1}{R}$$

= $\frac{1}{0.07 \Omega}$ = 14,28 S

Keterangan:

G = konduktansi(S)

R = Resistivitas (ohm)

Pengujian konduktivitas listrik mengacu pada standar ASTM B193 dan dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{L}{A} x \frac{1}{R} = \frac{L}{A} x G$$

Keterangan:

L = Jarak (cm)

A = Luas Plat (cm²)

R =Resistansi (ohm

G =Konduktansi (Siemens)

 $\sigma =$ Konduktivitas Listrik (S.cm⁻¹)

$$\sigma = \frac{L}{A} \times G$$

$$=\frac{1 \text{ cm}}{20.33 \text{ cm}^2} \times 14,28 \text{ S}$$

$$= \frac{10 \text{ cm}}{20,33 \text{ cm}^2} \times 14,28 \text{ S} = 7,02 \text{ S.cm}^{-1}$$

2. Spesimen 2

$$G = \frac{1}{R}$$
$$= \frac{1}{0,05 \Omega} = 20 S$$

Keterangan:

G = konduktansi(S)

R = Resistivitas (ohm)

$$\sigma = \frac{L}{A} \times G$$

$$=\frac{10 \text{ cm}}{20,33 \text{ cm}^2} \times 20 \text{ S}$$

$$= \frac{10 \text{ cm}}{20,33 \text{ cm}^2} \times 20 \text{ S} = 9,87 \text{ S.cm}^{-1}$$

Keterangan:

L = Jarak (cm)

 $A = \text{Luas Plat (cm}^2)$

R = Resistansi (ohm)

G = Konduktansi (Siemens) AS ISLAMRIAU

 $\sigma = \text{Konduktivitas Listrik (S.cm}^{-1})$

3. Spesimen 3

Keterangan:

G =
$$\frac{1}{R}$$

= $\frac{1}{0,02 \Omega}$ = 50 S

G = konduktansi(S)

R = Resistivitas (ohm)

$$\sigma = \frac{L}{A} \times G$$

$$= \frac{10 \text{ cm}}{20,33 \text{ cm}^2} \times 50 \text{ S}$$

$$= \frac{10 \text{ cm}}{20,33 \text{ cm}^2} \times 50 \text{ S} = 24,59 \text{ S.cm}^{-1}$$

Keterangan:

L = Jarak (cm)

 $A = \text{Luas Plat (cm}^2)$

R = Resistansi (ohm)

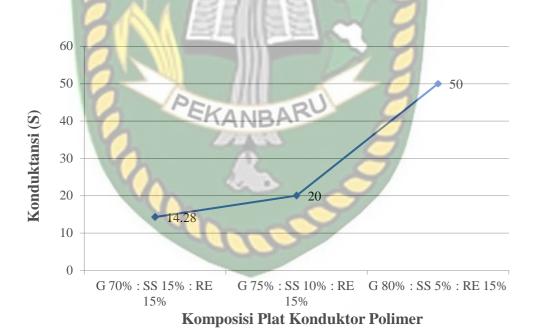
G =Konduktansi (Siemens)

 σ = Konduktivitas Listrik (S.cm⁻¹)

Dari hasil perhitungan konduktansi dan konduktivitas listrik pada spesimen 1, spesimen 2, dan spesimen 3, maka dirangkum dalam tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3. Nilai Konduktivitas Listrik Dengan Hambatan Dimensi

No	Komposisi	Konduktansi (S)	Konduktivitas Listrik (S.cm ⁻¹)
1	Grafit 70%: Serb <mark>uk Stainless Steel</mark> 15%: Resin Epoxy 15%	14,28 R/A	7 ,02
2	Grafit 75%: Serbuk <i>Stainless <mark>Steel 10</mark>%:</i> Resin Epoxy 15%	20	9,87
3	Grafit 80% : Serbuk <i>Stainless Steel</i> 5% : Resin Epoxy 15%	50	24,59

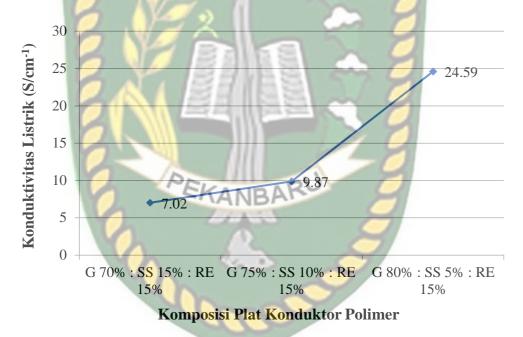


Gambar 4.1. Grafik konduktansi terhadap Komposisi Campuran

Hasil konduktansi pada plat konduktor polimer dengan komposisi grafit 70%, serbuk *stainless steel* 15%, resin epoxy 15% yaitu 14,28 S, terus meningkat secara linear pada komposisi grafit 75%, serbuk *stainless steel* 10%, resin epoxy

15% dan grafit 80%, serbuk *stainless steel* 5%, resin epoxy 15% yaitu 20 S dan 50 S.

Hasil konduktansi terendah pada komposisi grafit 70%, *stainless steel* 15%, resin epoxy 15% yaitu 14,28 S. Sedangkan konduktansi tertinggi pada komposisi grafit 80%, *stainless steel* 5%, resin epoxy 15% yaitu sebesar 50 S. Hal ini disebabkan adanya grafit dapat menghantarkan konduktansi yang lebih baik. Karena semakin banyak komposisi serbuk *stainless steel* maka menurunkan konduktasi pada plat konduktor polimer.



Gambar 4.2. Grafik konduktivitas listrik terhadap Komposisi Campuran Hasil konduktivitas listrik pada pelat konduktor polimer dengan komposisi grafit 70%, serbuk *stainless steel* 15%, resin epoxy 15% yaitu 7,02 S/cm⁻¹, terus meningkat secara linear pada komposisi grafit 75%, serbuk *stainless steel* 10%, resin epoxy 15% dan grafit 80%, serbuk *stainless steel* 5%, resin epoxy 15%.

Hasil konduktivitas listrik terendah pada komposisi grafit 70%, *stainless steel* 15%, resin epoxy 15% yaitu 7,02 S/cm⁻¹. Sedangkan konduktivitas listrik tertinggi pada komposisi grafit 80%, *stainless steel* 5%, resin epoxy 15% yaitu 24,59 S/cm⁻¹. Hal ini disebabkan adanya grafit yang dapat menghantarkan konduktansi yang lebih baik. Karena semakin banyak komposisi serbuk *stainless steel* maka akan menurunkan konduktivitas listrik pada plat konduktor polimer.

4.3 Hasil Perhitungan Porositas

Hasil perhitungan porositas plat konduktor polimer pada bahan grafit, stainless steel, resin epoxy dengan penekanan 4 Tons selama 1 jam. Dapat dihitung dengan rumus standar porositas belum pernah ada yang membahas mengenai nilai standar porositas plat konduktor polimer. Seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Wulandari (2013) tentang Pengaruh variasi penambahan 0-10% partikel Carbon Black jenis ISAF N220 terhadap karakteristik pelat bipolar berbasis nano kompositepoksi/grafit.

1. Perhitungan Kode Sample 1:

Diketahui : Tinggi pellet = 0.89 cm

Diameter pellet = 2.7 cm

Berat kering $(W_1) = 6.87$ gr (sampel plat konduktor polimer)

Berat dijenuhi $(W_2) = 7.5 \text{ gr}$ (sampel plat yang sudah direndam

kerosin selama 1 jam).

Massa kerosin = picnometer berisi – picnometer kosong (gram)

=41,67-21,90 (gram)

= 19,77 gram

densitas kerosin
$$\rho = \frac{m}{v} (\text{gram/cm}^3)$$

$$\rho = \frac{19,77 \text{ gram}}{25 \text{ ml}}$$

$$= 0,79 \text{ gram/cm}^3$$

Maka:

Volume total batuan (Vb) =
$$\frac{1}{4}$$
 x π (d)² x t
Volume total batuan (Vb) = $\frac{1}{4}$ x 3,14 x (2,7 cm)² x 0,89 cm
= 5,09 cm³
Volume pori (Vp) = $\frac{w_2 - w_1}{\rho}$
= $\frac{8.1 \ gram - 6.87 \ gram}{0.79 \ gram/cm^3}$
= 1,55 cm³
= $\frac{v_p}{v_b}$ x 100%
= $\frac{1.55 \ cm^3}{5.09 \ cm^3}$ x 100%
= 30,4%

Dari data perhitungan porositas plat konduktor polimer dengan komposisi grafit 80%: serbuk stainless steel 5%: resin epoxy 15% komposit pada penekanan 4 Tons dapat dimasukan ke dalam tabel 4.4.

Tabel 4.4. Porositas pada komposisi grafit 80% : serbuk stainless steel 5% : resin epoxy 15%.

Komposisi	W ₁ (gram)	W ₂ (gram)	V_b (cm^3)	V _p (cm ³)	Φ (%)	ρ (gr/cm ³)
Grafit 80% Serbuk SS 5% Resin Epoxy 15%	6,87	8,1	5,09	1,55	30,4	0,79

2. Perhitungan Kode Sample 2:

Diketahui : Tinggi pellet = 0,89 cm

Diameter pellet = 2,7 cm

Berat kering $(W_1) = 8,07$ gr (sampel plat konduktor polimer)

Berat dijenuhi (W_2) = 9,8 gr (sampel plat yang sudah direndam

kerosin selama 24 jam).

Massa kerosin = picnometer berisi – picnometer kosong (gram)

$$=41,67-21,90$$
 (gram)

= 19,77 gram

densitas kerosin $\rho = \frac{m}{r} (gram/cm^3)$

$$\rho = \frac{19,77 \ gram}{25 \ ml}$$

 $= 0.79 \text{ gram/cm}^3$

Maka:

Volume total batuan (Vb) = $\frac{1}{4}$ x π (d)² x t

Volume total batuan (Vb) = $\frac{1}{4}$ x 3,14 x (2,7 cm)² x 0,89 cm

$$= 5,09 \text{ cm}^3$$

Volume pori (Vp)
$$=\frac{W2-W1}{\rho}$$

$$= \frac{9.8 \ gram - 8.07 gram}{0.79 \ gram/cm^3}$$

$$= 2,18 \text{ cm}^3$$

Porositas (
$$\phi$$
) = $\frac{V_p}{V_b}$ x 100%

$$= \frac{2,18 \text{ cm}^3}{5,09 \text{ cm}^3} \times 100\%$$
$$= 42,8 \%$$

Dari data perhitungan porositas plat konduktor polimer dengan komposisi grafit 75%: serbuk *stainless steel* 10%: resin epoxy 15% komposit pada penekanan 4 Tons dapat dimasukan ke dalam tabel 4.5.

Tabel 4.5. Porositas pada komposisi grafit 75%: serbuk *stainless steel* 10%: resin epoxy 15%.

Komposisi	W ₁ (gram)	W ₂ (gram)	V_b (cm^3)	V _p (cm ³)	Φ (%)	ρ (gr/cm ³)
Grafit 75%	-	3	10			
Serbuk SS 10%	8,07	9,8	5,09	2,18	42,8	0,79
Resin Epoxy 15%	4		()) (2)			

3. Perhitungan Kode Sample 3:

Diketahui : Tinggi pellet = 0,89 cm

Diameter pellet = 2.7 cm

Berat kering $(W_1) = 8,74$ gr (sampel plat konduktor polimer)

Berat dijenuhi (W_2) = 10,7 gr (sampel pellet yang sudah direndam

kerosin selama 24 jam).

Massa kerosin = picnometer berisi – picnometer kosong (gram)

=41,67-21,90 (gram)

= 19,77 gram

densitas kerosin $\rho = \frac{m}{v} (\text{gram/cm}^3)$

$$\rho = \frac{19,77 \ gram}{25 \ ml}$$

 $= 0.79 \text{ gram/cm}^3$

Maka:

Volume total batuan (Vb) =
$$\frac{1}{4}$$
 x π (d)² x t

Volume total batuan (Vb) =
$$\frac{1}{4}$$
 x 3,14 x (2,7 cm)² x 0,89 cm

$$=5,09 \text{ cm}^3$$

- W2 - W1

$$=\frac{10.7 \ gram - 8.74 gram}{0.70 \ gram - 3.74 gram}$$

$$= 2,48 \text{ cm}^3$$

$$= \frac{V_p}{V_b} \times 100\%$$

$$=\frac{2,48 \ cm^3}{5,09 \ cm^3} \times 100\%$$

Dari data perhitungan porositas plat konduktor polimer dengan komposisi grafit 70%: serbuk *stainless steel* 15%: resin epoxy 15% komposit pada penekanan 4 Tons dapat dimasukan ke dalam tabel 4.6.

Tabel 4.6. Porositas pada komposisi grafit 70%: serbuk stainless steel 15%: resin epoxy 15%.

Komposisi	W ₁ (gram)	W ₂ (gram)	V_b (cm ³)	V_p (cm ³)	Φ (%)	ρ (gr/cm ³)
Grafit 70% Serbuk SS 15% Resin Epoxy 15%	8,74	10,7	5,09	2,48	48,7	0,79

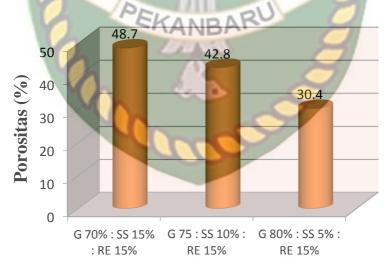
Pada pengukuran porositas digunakan dua cara untuk mengukurnya, yaitu dengan cara menimbang dan helium porosimeter. Pengukuran dengan cara menimbang mendapatkan hasil yang sangat baik 20% - 25% dan istimewa >25%.

Hasil perhitungan porositas dimasukan kedalam tabel perbedaan komposisi pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Porositas berdasarkan perbedaan komposisi plat konduktor polimer

Komposisi	W_1	W_2	V_b (cm^3)	V_p (cm ³)	Φ (%)	ρ (gr/cm ³)
	(gram)	(gram)	(cm)	(cm)		(gi/ciii)
Grafit 70%			77			7
Serbuk SS 15%	8,74	10,7	5,09	2,48	48,7	0,79
Resin Epoxy 15%	MIVER	SIIAS	ISLAM	RIA	1	
Grafit 75%	214	- 0		170	1	
Serbuk SS 10%	8,07	9,8	5,09	2,18	42,8	0,79
Resin Epoxy 15%						
Grafit 80%	15	•				
Serbuk SS 5%	6,87	8,1	5,09	1,55	30,4	0,79
Resin Epoxy 15%						

Hasil porositas berdasarkan perbedaan penekanan dimasukan kedalam sebuah gambar 4.3 yaitu sebagai berikut :



Komposisi Plat Konduktor Polimer

Gambar 4.3. Grafik Komposisi Serbuk SS Terhadap Porositas

Hasil porositas pada gambar 4.3 menunjukan bahwa nilai porositas dengan komposisi grafit 70%, serbuk *stainless steel* 15%, resin epoxy 15% yaitu sebesar

48,7% seiring dengan penambahan sebuk *stainless steel* meningkatkan nilai porositas pada komposisi grafit 75%, serbuk *stainless steel* 10%, resin epoxy 15% dan komposisi grafit 80%, serbuk *stainless steel* 5%, resin epoxy 15%.

Berdasarkan hasil nilai porositas yang tertinggi pada komposisi grafit 70%, serbuk *stainless steel* 15%, resin epoxy 15%, sedangkan nilai porositas terendah pada komposisi grafit 80%, serbuk *stainless steel* 5%, resin 15%. Hal ini disebabkan bahwa semakin banyak serbuk *stainless steel* terjadi peningkatan pada nilai porositas dan sebaliknya semakin rendah serbuk *stainless steel* menurunkan nilai porositasnya. Sehingga semakin tinggi porositas dari suatu plat konduktor polimer maka nilai konduktivitas listrik yang dihasilkan akan semakin rendah. Hal ini diakibatkan sulitnya membentuk *electron conductivity path* yang menjadi jalan bagi elektron untuk mengalir.

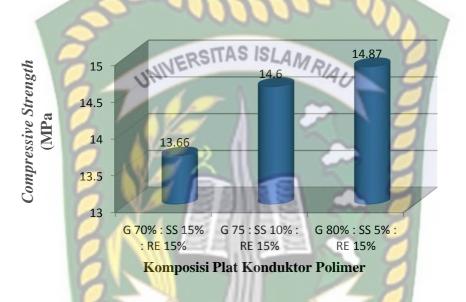
4.4 Hasil Uji Tekan (Compressive Strength)

Untuk mengetahui kekuatan *compressive* (uji tekan) suatu plat konduktor polimer dapat dilakukan dengan pengujian *Compressive Strength* terhadap plat konduktor polimer tersebut. Hasil dari pengujian *Compressive Strength* yang dilakukan di Laboratorium Quality Control Politeknik Kampar, Bangkinang, dapat dilihat selengkapnya dalam tabel berikut:

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Compressive Strength

Specimen	Area (mm²)	Max. Force (N)	Compressive Strength (MPa)	Elongation (%)
Grafit 70%				
Serbuk SS 15%	537,073	7335,0	13,66	33,57
Resin Epoxy 15%				

Grafit 75% Serbuk SS 10% Resin Epoxy 15%	536,252	7831,5	14,60	33,57
Grafit 80%				
Serbuk SS 5%	537,073	7985,5	14,87	33,57
Resin Epoxy 15%				



Gambar 4.4. Grafik Hasil Uji Tekan (Compressive Strength)

Setelah melakukan pengujian *compressive strength*, berdasarkan gambar 4.4. Grafik hasil uji tekan tiga komposisi, terlihat pada plat konduktor polimer dengan komposisi grafit 70%, serbuk *stainless steel* 15%, resin epoxy 15% diperoleh *compressive strength* 13,66 MPa seiring dengan penambahan sebuk *stainless steel* terjadinya peningkatan nilai *compressive strength* berbanding lurus pada komposisi grafit 75%, serbuk *stainless steel* 10%, resin epoxy 15% dan komposisi grafit 80%, serbuk *stainless steel* 5%, resin epoxy 15%.

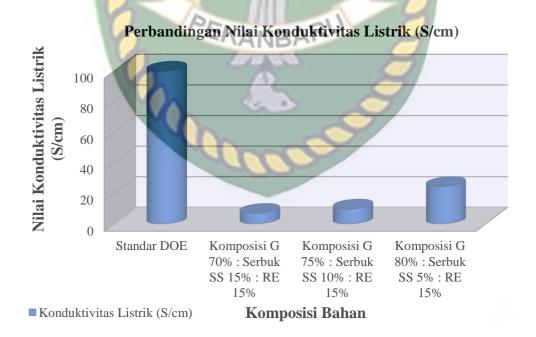
Berdasarkan hasil uji tekan (*compressive strength*) yang tertinggi pada komposisi grafit 80%, serbuk *stainless steel* 5%, resin epoxy 15%, sedangkan kekuatan tekan (*compressive strength*) terendah pada komposisi grafit 70%,

serbuk *stainless steel* 15%, resin 15%. Hal ini disebabkan bahwa terjadi penurunan nilai *compressive strength* dengan adanya peningkatan jumlah porositas. Sehingga semakin sedikit penambahan serbuk *stainless steel* akan terus mengalami peningkatan nilai *compressive strength*.

4.5 Perbandingan Hasil Penelitian

Tabel 4.9. Perbandingan Antara Standar DOE dengan Hasil Penelitian.

No	Pengujian	Standar nilai DOE	Kom Serbuk R 70%: 15%:	enelitian posisi Gr Stainlees esin Epox 75%: 10%:	rafit: s Steel: xy 80%: 5%:
1	Konduktivitas Listrik (S.cm)	100	7,02	9,87	15% 24,59
2	Kek <mark>uatan Tekan</mark> (<i>Compr<mark>ess</mark>ive Strength</i>)	24,98	13,66	14,6	<mark>14</mark> ,87



Gambar 4.5. Grafik Perbandingan Nilai Konduktivitas Listrik Standar DOE dengan Hasil Penelitian Penambahan Serbuk *Stainless Steel*

Perbandingan nilai konduktivitas listrik pada gambar 4.5 menunjukan bahwa nilai konduktivitas listrik dengan komposisi G 70%, Serbuk SS 15% dan RE 15% yaitu 7,02 S/cm, pada nilai konduktivitas listrik dengan komposisi G 75%, Serbuk SS 10% dan RE 15% yaitu 9,87 S/cm dan pada komposisi G 80%, Serbuk SS 5% dan RE 15% nilai konduktivitas listrik yaitu 24,59 S/cm. Hasil penelitian Plat Konduktor dengan penambahan serbuk *stainless steel* dengan komposisi grafit 80%, serbuk SS 5% dan resin epoxy 15% diperoleh nilai konduktivitas listrik lebih kecil dari standar nilai konduktivitas listrik yaitu sebesar 100 S/cm.



Gambar 4.6. Grafik Perbandingan Uji Tekan Standar DOE dengan Hasil Penelitian Plat Konduktor Polimer Penambahan Serbuk *Stainless Steel*

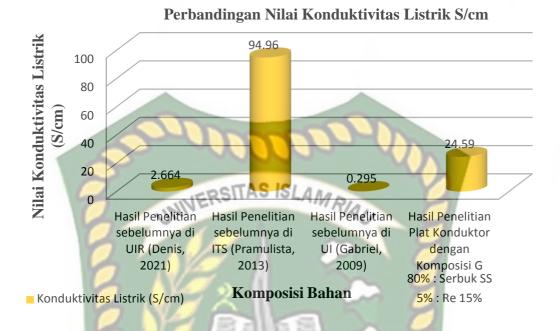
Perbandingan nilai kekuatan tekan pada gambar 4.6 menunjukan bahwa nilai kekuatan tekan pada komposisi G 70%, Serbuk SS 15% dan RE 15% yaitu

13,66 MPa, nilai kekuatan tekan pada komposisi G 75%, Serbuk SS 10% dan RE 15% yaitu 14,6 MPa dan nilai kekuatan tekan pada komposisi G 80%, Serbuk SS 15% dan RE 15% yaitu 14,87 MPa. Hasil penelitian Plat Konduktor dengan penambahan serbuk *stainless steel* dengan komposisi grafit 80%, serbuk SS 5% dan resin epoxy 15% diperoleh nilai kekuatan tekan lebih kecil dari standard DOE yaitu sebesar 25 MPa. Hal ini disebabkan perlu adanya penambahan serbuk *stainless steel* untuk dapat meningkatkan nilai kekuatan tekan pada pelat konduktor.

4.6 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Hasil Penelitian Sebelumnya

Tabel 4.10. Perbandingan Antara Hasil Penelitian yang Dilakukan Sendiri dengan Hasil Penelitian Sebelumnya.

No.	Pengujian	Hasil	Hasil	Hasil	Hasil Penelitian Sekarang		
	3	Penelitian sebelumnya di UIR	Penelitian sebelumnya di ITS	Penelitian sebelumnya di UI	70%: 15%: 15%	75%: 10%: 15%	80%: 5%: 15%
1	Konduktivitas Listrik (S/cm)	2,664	94,96	0,295	7,02	9,87	24,59
2	Bending/Flexural (N/mm ²)	68,8	18,9	25,726	13,66	14,6	14,87



Gambar 4.7. **Grafik Perbandingan Hasil Perbandingan Uji Kond**uktivitas Listrik dengan Hasil Penelitian Sebelumnya.

Berdasarkan gambar 4.7, dapat dilihat bahwa hasil penelitian plat konduktor polimer dengan komposisi grafit 80%, serbuk *stainless steel* 5%, resin epoxy 15% menunjukkan nilai uji konduktivitas listrik pada pelat konduktor 24,59 S/cm lebih besar daripada penelitian sebelumnya di UIR yang menggunakan Metode Screen Printing pada Pelat Konduktor (Denis, 2021) yaitu 2,664 S/cm. Hal ini disebabkan adanya penambahan serbuk stainless steel, sehingga mendapatkan nilai konduktivitas yang lebih baik. Kemudian dari hasil penelitian Pramulista dan Hosta (2013) tentang Penambahan Karbon terhadap Sifat Mekanik dan Konduktivitas Listrik Komposit Karbon/Epoksi, diperoleh nilai konduktivitas 94,96 S/cm. Dari hasil penelitian Gabriel (2009) tentang Pengaruh Penambahan 0-10 wt.% Carbon Black terhadap Karakterisasi Komposit Epoxy/Grafit Sintesis

Sebagai Material Pelat Bipolar *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell* yang proses pencampurannya menggunakan *dry mixing* dan *hot plate* untuk memanaskan saat pengadukan, diperoleh nilai konduktivitas 0,295 S/cm.



Gambar 4.8. Grafik Perbandingan Hasil Perbandingan Uji Kekuatan Bending dengan Hasil Penelitian Sebelumnya.

Berdasarkan gambar 4.8, dapat dilihat bahwa hasil penelitian plat konduktor polimer dengan komposisi grafit 80%, serbuk *stainless steel* 5%, resin epoxy 15% menunjukkan nilai kekuatan bending pada pelat konduktor 14,87 MPa lebih kecil daripada penelitian sebelumnya di UIR yang menggunakan Metode Screen Printing pada Pelat Konduktor (Denis, 2021) yaitu 68,8 MPa. Hal ini dikarenakan metode yang dipakai yaitu screen printing, dimana melapisi bahan plat aluminium dengan lapisan campuran grafit dan resin epoxy. Kemudian dari hasil penelitian Pramulista dan Hosta (2013) tentang Penambahan Karbon

terhadap Sifat Mekanik dan Konduktivitas Listrik Komposit Karbon/Epoksi, diperoleh kekuatan bending 18,9 MPa. Dari hasil penelitian Gabriel (2009) tentang Pengaruh Penambahan 0-10 wt.% Carbon Black terhadap Karakterisasi Komposit Epoxy/Grafit Sintesis Sebagai Material Pelat Bipolar *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell* yang proses pencampurannya menggunakan *dry mixing* dan *hot plate* untuk memanaskan saat pengadukan, diperoleh nilai konduktivitas 25,72 MPa.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada plat konduktor polimer dengan penambahan serbuk *stainless steel* terbuat dari bahan grafit, serbuk stainless steel dan resin epoxy dengan cara *pressure moulding*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1. Hasil konduktansi dan konduktivitas listrik terendah pada komposisi grafit 80%, *stainless steel* 5%, resin epoxy 15%, sedangkan konduktansi dan konduktivitas tertinggi pada komposisi grafit 70%, *stainless steel* 15%, resin epoxy 15%. Hal ini disebabkan adanya serbuk *stainless steel* memiliki konduktansi yang lebih baik sehingga meningkatkan nilai konduktivitas listrik.
- 2. Hasil nilai porositas yang tertinggi pada komposisi grafit 70%, serbuk *stainless steel* 15%, resin epoxy 15%, sedangkan nilai porositas terendah pada komposisi grafit 80%, serbuk *stainless steel* 5%, resin 15%. Hal ini disebabkan bahwa semakin tinggi porositas dari suatu plat konduktor polimer maka nilai konduktivitas listrik yang dihasilkan akan semakin rendah. Hal ini diakibatkan sulitnya membentuk *electron conductivity path* yang menjadi jalan bagi elektron untuk mengalir.
- 3. Hasil uji tekan (*compressive strength*) yang tertinggi pada komposisi grafit 70%, serbuk *stainless steel* 15%, resin epoxy 15%, sedangkan kekuatan tekan (*compressive strength*) terendah pada komposisi grafit 80%, serbuk

stainless steel 5%, resin 15%. Hal ini dikarenakan semakin banyak serbuk stainless steel terjadi peningkatan pada kekuatan tekan (compressive strength) dan sebaliknya.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, penulis menyarankan bagi yang ingin membuat penelitian dengan bahan material yang berbeda pada plat konduktor polimer dan juga menggunakan metode cetakan yang berbeda, agar menghasilkan konduktivitas listrik yang baik.



Dokumen ini adalah Arsip Milik: Perpustakaan Universitas Islam Riau



DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook Volume 21 Composite. ASM Internasional. 2001.
- A. Helnzel, 2009. Bipolar Plates. Dulsburg: University of Dulsburg Essen.
- Akovali & Guneri, 2001. *Handbook of Composite Fabrication*. Ankara.
- Chandra, 2021. Pengaruh Penekanan Pellet Silika Terhadap Sifat Mekanik (*Hardness*) dan Porositas Serta Mikrostruktur Plat Panel Keramik Komposit. Skripsi. Teknik Mesin Universitas Islam Riau. Pekanbaru.
- D.F. Caulfield et al, 2005. Wood Thermoplastic Composites Handbook of Wood Chemistry and Wood Composite. hlm 4-5.
- Dennis. W., dan Dedikarni. 2021. Pengaruh Metode Screen Printing pada Pelat Konduktor. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Pekanbaru.
- Dhakate, 2008. Properties Of Graphite-Composite Bipolar Plate Prepared By Compression Molding Technique For PEM Fuel Cell. *Tezpur University*: *India* Vol.32 (2008) 4537 4543
- DOE Hydrogen Program, 2007. Next Generation Bipolar Plates for Automotive PEM Fuel Cells. Annual Progress Report.
- Gabriel, 2009. Pengaruh Penambahan 0-10 wt.% Carbon Black terhadap Karakterisasi Komposit Epoxy/Grafit Sintesis Sebagai Material Pelat Bipolar *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell*. Skripsi. Teknik Mesin Universitas Indonesia. Jakarta
- Hermana, 2005. Allen, Tapas Chaudhuri, and Priscila Spagnol. *Journal: Bipolar plates for PEM Fuel Cells: A Review*. Elsevier International Journal of Hydrogen Energy.
- Hwanga, 2008. Bipolar Plate Made of Carbon Fiber Epoxy Composite for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells. Korea.
- Imran Sabir, 2004. Review of Bipolar Plates in PEM Fuel Cells: Flow-Field Designs. University Avenue West. Canada.

- Kusuma, Candra A. 2009. Pengujian kekasaran, kekerasan dan struktur mikro pada DCP plate (Dynamic Compression Plate) setelah mengalami proses permesinanan. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Ling Du, 2008. Highly Conductive Epoxy/Graphite Polymer Composite Bipolar Plates In Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cells. Korea
- Mukhsen, M.I. 2012. Pengaruh Sandblasting dan Electropolishing terhadap Kekasaran Permukaan, Struktur Mikro, dan Kekerasan, Sekrup Implan Baja Tahan karat AISI 316L. Tesis. Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Nurchasanah, Y., 2010. Koefisien Permeabilitas pada Rekayasa Beton Kedap Air dengan Bahan Baku Limbah Padat Industri Cor Logam di Kabupaten Klaten Jawa Tengah. Skripsi. *Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta*. Surakarta.
- Pramulista, A, T. 2013. Penambahan Karbon terhadap Sifat Mekanik dan Konduktivitas Listrik Komposit Karbon/Epoksi. Skripsi. Teknik Mesin ITS. Surabaya.
- R Altobelli, "Investigation On the Corrosion Resistance Of Carbon Black Graphite-Poly(Vinylidene Fluoride) Composite Bipolar Plates For Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells". Federal University of ABC (UFABC), Santo Andre. Vol.6 (2011) 12474-12485. Brazil
- Rizkyta, 2013. Pengaruh Penambahan Karbon terhadap Sifat Mekanik dan Konduktivitas Listrik Komposit Karbon/Epoksi sebagai Pelat Bipolar Polimer Elektrolit Membran Sel Bahan Bakar (Polymer Exchange Membran (PEMFC)). Jurnal Pomits Vol. 2, No. 1, (2013) ISSN: 2337-3539. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Simbolon, O., 2011. Pembuatan Dan Karakterisasi Komposit Pelat Bipolar Pemfc Dengan Penambahan 0 0,87 %wt Aluminum Powder. Skripsi. Teknik Mesin Universitas Indonesia. Jakarta.

- Stambouli, 2001. Fuel Cells, an Alternative to Standard Sources of Energy. Italy: University of Roma.
- Yuhua Wang, 2006. . Conductive Thermoplastic Composite Blends for Flow Field Plates for Use in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFC). Chemical Engineering University of Waterloo. Ontario
- Xiao Zi Yuan, 2006, et al., ed. Bipolar Plates for PEM Fuel Cells From Materials to Processing. Vancouver: University of British Columbia, p 45-60.
- Zhang Jie, 2005. Zou Yan-wen, He Jun, "Influence of graphite particle size and its shape on performance of carbon composite bipolar plate", Journal of Zhejiang University SCIENCE 6A 10, 2005, p 1080-1083.

