

Lampiran II

Nomor : B/112/E3/RA.00/2021

Hal : Pengumuman Penerima Pendanaan Penelitian di Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2021

**PENERIMA PENDANAAN PENELITIAN DI PERGURUAN TINGGI NON BADAN HUKUM
TAHUN ANGGARAN 2021**

NO	PTN / LLDIKTI	NAMA INSTITUSI	SKEMA	NAMA	NIDN	JUDUL	DURASI PENELITIAN (Tahun)
1	PTN	Akademi Komunitas Negeri Aceh Barat	Penelitian Dosen Pemula	HERY WIHARJA. MS	1310038901	Pemahaman Karir, Motivasi dan Keputusan Siswa Dalam Memilih Sekolah Menengah Kejuruan di Daerah Non Industri	1
2	PTN	Akademi Komunitas Negeri Aceh Barat	Penelitian Dosen Pemula	RAHMAD NUTHIHAR	0013129104	Metafora dalam Bahasa Aceh pada Media Sosial Instagram: Potensi dan Ancaman Ujaran Kebencian di Ruang Publik	1
3	PTN	Akademi Komunitas Negeri Aceh Barat	Penelitian Dosen Pemula	RONI AGUSMANIZA	0019088703	DAMPAK PANDEMI COVID-19 TERHADAP ANGKUTAN UMUM	1
4	PTN	Akademi Komunitas Negeri Aceh Barat	Penelitian Dosen Pemula	SAFRIZAL	0013128208	Pemetaan Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Perairan Indonesia Berdasarkan Data Satelit ASCAT	1
5	PTN	Akademi Komunitas Negeri Aceh Barat	Penelitian Dosen Pemula	TANZIR MASYKAR	0030078805	Instrumental analysis of Acehnese monophthong and diphthong vowels in West Aceh	1
6	PTN	Akademi Komunitas Negeri Pacitan	Penelitian Dosen Pemula	ANWAR FUADI	0301058801	Analisa dan Perancangan Sistem Informasi Akademik Akademi Komunitas Negeri Pacitan	1
7	PTN	Akademi Komunitas Negeri Putra Sang Fajar Blitar	Penelitian Dosen Pemula	ADIGUNA SASAMA WAHYU UTAMA	0018018608	Penambahan Mayonnaise, Hati Ayam, dan Daun Indigofera Pada Pembuatan Produk Olahan Nugget Daging Ayam Untuk Meningkatkan Kualitas Nutrisi	1
8	PTN	Akademi Komunitas Negeri Putra Sang Fajar Blitar	Penelitian Dosen Pemula	ADIMAS KETUT NALENDRA	0706059002	Penerapan Artificial Intelligence untuk Kontrol Suhu dan Kelembapan pada Kandang Broiler berbasis Internet of Things	1
9	PTN	Akademi Komunitas Negeri Putra Sang Fajar Blitar	Penelitian Dosen Pemula	DAVID KURNIAWAN	0704049201	Kualitas daging dan penampilan produksi itik hibrida dengan penggunaan natural feed additive pada pakan berbasis bahan baku lokal	1

**PENERIMA PENDANAAN PENELITIAN DI PERGURUAN TINGGI NON BADAN HUKUM
TAHUN ANGGARAN 2021**

NO	PTN / LLDIKTI	NAMA INSTITUSI	SKEMA	NAMA	NIDN	JUDUL	DURASI PENELITIAN (Tahun)
1686	PTN	Universitas Sriwijaya	Penelitian Pengembangan	ARMINA FARIANI	0016106201	Implementasi Teknologi Pakan Dan Reproduksi Untuk Pengembangan Kerbau Rawa Sumatera Selatan	3
1687	PTN	Universitas Sriwijaya	Penelitian Terapan	ARMINA FARIANI	0016106201	Implementasi Teknologi Fortifikasi SSKA dalam upaya akselerasi Program Pusat Pembibitan Sapi Rakyat	3
1688	PTN	Universitas Sriwijaya	Penelitian Dasar	BENYAMIN LAKITAN	0015066002	Hasil umbi keladi putih (<i>Colocasia esculenta</i>) yang dipengaruhi oleh ukuran dan hydropriming bibit, pemanenan daun secara berkala, dan pembuangan anakan secara parsial berbasis manipulasi sink-and-source.	3
1689	PTN	Universitas Sriwijaya	Penelitian Disertasi Doktor	BENYAMIN LAKITAN	0015066002	Toleransi tanaman porang (<i>Amorphophallus muelleri</i>) terhadap naungan artifisial dan aplikasinya untuk budidaya di bawah tutupan kanopi tanaman karet	2
1690	PTN	Universitas Sriwijaya	Penelitian Terapan	BENYAMIN LAKITAN	0015066002	Penerapan teknologi budidaya sayuran terapung dan sayuran adaptif terhadap ketidakpastian iklim untuk mendukung intensifikasi inklusif dan berkelanjutan pada lahan lebak riparian tropis	3
1691	PTN	Universitas Sriwijaya	Penelitian Dasar	DEDI ROHENDI	0019046705	Pemanfaatan Alloy Fe-Al sebagai Penyimpan Hidrogen Hasil Elektrolisis Air untuk Bahan Bakar Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)	3
1692	PTN	Universitas Sriwijaya	Penelitian Terapan	DEDI ROHENDI	0019046705	Pengujian Kinerja dan Daya Tahan Membrane Electrode Assembly (MEA) dengan katalis Pt-Co/C pada Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Stek Tunggal dan Multi Stek untuk Proyeksi Penggunaan pada Base Transreceiver Station (BTS)	3
1693	PTN	Universitas Sriwijaya	Penelitian Disertasi Doktor	ELFITA	0026036901	Eksplorasi Jamur Endofit sebagai Penghasil senyawa Antioksidan dan Antibakteri dari Tumbuhan Jambu Bol (<i>Syzygium Malaccense</i> (L.) Merr & Perry)	2



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
Jalan Raya Palembang – Prabumulih KM. 32 Indralaya Kabupaten Ogan Ilir 30662
Telepon. (0711) 581077 Faksimile (0711) 580053
Laman : lppm.unsri.ac.id Surel : lppm@unsri.ac.id

KONTRAK PENELITIAN LANJUTAN
SKEMA PENELITIAN TERAPAN
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
Tahun Anggaran 2022
Nomor : 0066/UN9.3.1/PL/2022

Pada hari ini Rabu tanggal dua puluh tiga bulan Maret tahun Dua Ribu Dua Puluh Dua, kami yang bertandatangan di bawah ini:

1. Samsuryadi. S.Si., M.Kom., Ph.D. : Sebagai Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Sriwijaya yang berkedudukan di Indralaya dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Rektor Universitas Sriwijaya, yang berkedudukan di Jalan Palembang-Prabumulih, KM 32 Indralaya, Kabupaten Ogan Ilir untuk selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**;
2. Drs. Dedi Rohendi, MT., Ph.D : Dosen Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya, dalam hal ini bertindak sebagai pengusul dan Ketua Pelaksana Penelitian Tahun Anggaran 2022 untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

PIHAK PERTAMA dan **PIHAK KEDUA**, secara bersama-sama sepakat mengikatkan diri dalam Kontrak Pelaksanaan Program Penelitian Lanjutan Skema Penelitian Terapan Tahun Anggaran 2022 nomor kontrak 057/E5/PG.02.00.PT/2022 dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagai berikut:

PASAL 1
RUANG LINGKUP

- (1) Ruang lingkup **Kontrak Penelitian** ini meliputi pelaksanaan Penelitian Lanjutan tahun anggaran 2022 yang pendanaannya bersumber dari Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Deputi Bidang Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Tahun 2022.
- (2) **PIHAK PERTAMA** memberi pekerjaan kepada **PIHAK KEDUA** dan **PIHAK KEDUA** menerima pekerjaan tersebut dari **PIHAK PERTAMA**, untuk melaksanakan dan menyelesaikan Penelitian Lanjutan Skema Penelitian Terapan Tahun Anggaran 2022 dengan judul "**Pengujian Kinerja dan Daya Tahan Membrane Electrode Assembly (MEA) dengan katalis Pt-Co/C pada Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Stek Tunggal dan Multi Stek untuk Proyeksi Penggunaan pada Base Transceiver Station (BTS)**".

PASAL 2
DANA PENELITIAN

- (1) Besarnya dana untuk melaksanakan penelitian dengan judul sebagaimana dimaksud pada Pasal 1 adalah Rp 153.735.000,- (**Seratus lima puluh tiga juta tujuh ratus tiga puluh lima ribu rupiah**) sudah termasuk pajak, diberikan setelah **PIHAK KEDUA** menandatangani dokumen kontrak.
- (2) Dana Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibebankan pada Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Anggaran 2021 Nomor SP DIPA-Nomor SP DIPA-023.17.1.690523/2022 Tanggal 17 November 2021.

PASAL 3
JANGKA WAKTU

- (1) Kontrak Penelitian ini dilaksanakan dalam jangka waktu 1 (satu) tahun.
- (2) Keberlanjutan penelitian ditentukan berdasarkan hasil penilaian atas capaian tahun berjalan yang dilakukan oleh Komite Penilaian Keluaran Penelitian dan/atau *Reviewer* Keluaran Penelitian.

PASAL 4
HAK DAN KEWAJIBAN PARA PIHAK

- (1) **PIHAK PERTAMA** mempunyai Hak dan Kewajiban:
 - a. **PIHAK PERTAMA** berhak untuk mendapatkan dari **PIHAK KEDUA** keluaran penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 6;
 - b. **PIHAK PERTAMA** berkewajiban untuk memberikan dana penelitian kepada **PIHAK KEDUA** dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) dan dengan tata cara pembayaran sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5;
 - c. **PIHAK PERTAMA** mempunyai hak menerima dokumen hasil unggahan di laman SIMLITABMAS sebagai berikut:
 1. Revisi proposal penelitian;
 2. Surat pernyataan kesanggupan menyusun laporan penelitian;
 3. Catatan harian pelaksanaan penelitian;
 4. Laporan kemajuan pelaksanaan penelitian;
 5. Surat Pernyataan Tanggung Jawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan;
 6. Laporan akhir penelitian (dilaporkan pada tahun terakhir) atas dana penelitian yang telah ditetapkan; dan
 7. Luaran penelitian.
- (2) Hak dan Kewajiban **PIHAK KEDUA**:
 - a. **PIHAK KEDUA** berhak menerima dana penelitian dari **PIHAK PERTAMA** dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1);
 - b. **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyerahkan kepada **PIHAK PERTAMA** luaran Penelitian Terapan dengan judul "**Pengujian Kinerja dan Daya Tahan Membrane Electrode Assembly (MEA) dengan katalis Pt-Co/C pada Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Stek Tunggal dan Multi Stek untuk Proyeksi Penggunaan pada Base Transceiver Station (BTS)**";
 - c. **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk bertanggungjawab dalam penggunaan dana penelitian yang diterimanya sesuai dengan proposal kegiatan yang telah disetujui.

PASAL 5
TATA CARA PEMBAYARAN DANA PENELITIAN

- (1) **PIHAK PERTAMA** akan membayarkan Dana Penelitian kepada **PIHAK KEDUA** secara bertahap yaitu :
- a. Pembayaran Tahap pertama (70 %) sebesar **Rp 107.614.500,- (Seratus tujuh juta enam ratus empat belas ribu lima ratus rupiah)** sudah termasuk pajak yang akan dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** setelah **PIHAK KEDUA** merevisi proposal penelitian, surat pernyataan kesanggupan melaksanakan penelitian dan telah menggunggah ke laman SIMLITABMAS;
 - b. Pembayaran Tahap kedua (30%) sebesar **Rp 46.129.500,- (Empat puluh enam juta seratus dua puluh sembilan ribu lima ratus rupiah)** sudah termasuk pajak yang akan dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** setelah Pihak Pertama menerima Dokumen berupa Laporan Kemajuan pelaksanaan Penelitian, Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan paling lambat tanggal 16 Agustus 2022.
- c. Dana Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) akan disalurkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** ke rekening sebagai berikut:
- | | |
|----------------|--------------------------------|
| Nama | : Drs. Dedi Rohendi, MT., Ph.D |
| Nomor Rekening | : 0070531879 |
| Nama Bank | : BNI |
- d. **PIHAK PERTAMA** tidak bertanggung jawab atas keterlambatan dan/atau tidak terbayarnya sejumlah dana sebagaimana dimaksud pada ayat (1) yang disebabkan karena kesalahan **PIHAK KEDUA** dalam menyampaikan data peneliti, nama bank, nomor rekening, dan persyaratan lainnya yang tidak sesuai dengan ketentuan.

PASAL 6
TARGET LUARAN

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk mencapai target luaran wajib berupa publikasi ilmiah pada **jurnal internasional** bereputasi
- (2) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk melaporkan perkembangan pencapaian target luaran sebagaimana dimaksud pada ayat (1) kepada **PIHAK PERTAMA**

PASAL 7
LAPORAN PELAKSANAAN PENELITIAN

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk menyampaikan kepada **PIHAK PERTAMA** berupa revisi proposal penelitian, surat pernyataan kesanggupan melaksanakan penelitian, catatan harian pelaksanaan penelitian, laporan kemajuan pelaksanaan penelitian, Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB), laporan akhir penelitian, dan luaran penelitian atas dana penelitian yang telah di tetapkan.
- (2) **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyampaikan surat pernyataan telah menyelesaikan seluruh pekerjaan yang dibuktikan dengan pengunggahan pada laman SIMLITABMAS paling lambat **20 November 2022**, dengan melampirkan dokumen Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB), laporan kemajuan, laporan akhir penelitian (dilaporkan pada tahun terakhir pelaksanaan penelitian) pelaksanaan pekerjaan dan luaran wajib penelitian.

- (3) Laporan hasil Penelitian sebagaimana tersebut pada ayat (4) harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:
- Bentuk/ukuran kertas A4;
 - Di bawah bagian cover ditulis:

Dibiayai oleh:
Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian Kepada Masyarakat
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi
Sesuai dengan Kontrak Penelitian
Nomor: 057/E5/PG.02.00.PT/2022

PASAL 8

PENCANTUMAN PEMBERI DANA PENELITIAN DALAM PUBLIKASI ILMIAH

PIHAK KEDUA Wajib mencantumkan pada setiap publikasi, makalah, dan/atau ekspos dalam bentuk apapun yang berkaitan dengan hasil penelitian ini mencantumkan ucapan terima kasih kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian Kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi dengan Sesuai dengan Kontrak Penelitian Nomor 057/E5/PG.02.00.PT/2022.

PASAL 9

MONITORING DAN EVALUASI

PIHAK PERTAMA dalam rangka pengawasan akan melakukan Monitoring dan Evaluasi internal terhadap kemajuan pelaksanaan Penelitian Tahun Anggaran 2022 ini sebelum pelaksanaan Monitoring dan Evaluasi eksternal oleh Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi.

PASAL 10

PENGGANTIAN KEANGGOTAAN

- Perubahan terhadap susunan tim pelaksana dan substansi pelaksanaan Penelitian ini dapat dibenarkan apabila telah mendapat persetujuan tertulis dari Direktorat Riset, Teknologi dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi.
- Apabila Ketua tim pelaksana penelitian tidak dapat menyelesaikan penelitian atau mengundurkan diri, maka **PIHAK KEDUA** wajib menunjuk pengganti Ketua Tim Pelaksana penelitian yang merupakan salah satu anggota tim setelah mendapat persetujuan dari Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi
- Dalam hal tidak adanya pengganti ketua tim pelaksana penelitian sesuai dengan syarat ketentuan yang ada, maka penelitian dibatalkan dan dana dikembalikan ke Kas Negara.

PASAL 11

PAJAK

Ketentuan pengenaan pajak pertambahan nilai dan/atau pajak penghasilan dalam rangka pelaksanaan kegiatan penelitian ini wajib dilaksanakan oleh **PIHAK KEDUA** sesuai dengan peraturan perundang-undangan di bidang perpajakan.

PASAL 12
KEKAYAAN INTELEKTUAL

- (1) Hak Kekayaan Intelektual yang dihasilkan dari pelaksanaan penelitian diatur dan dikelola sesuai dengan peraturan perundang-undangan.
- (2) Setiap Publikasi, makalah, dan/atau ekspos dalam bentuk apapun yang berkaitan dengan hasil penelitian ini wajib mencantumkan Direktorat Riset, Teknologi dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi sebagai pemberi dana.
- (3) Hasil penelitian berupa peralatan adalah milik Negara dan dapat dihibahkan kepada institusi/lembaga melalui Berita Acara Serah Terima (BAST).

PASAL 13
INTEGRITAS AKADEMIK

- (1) Pelaksana penelitian wajib menjunjung tinggi integritas akademik yaitu komitmen dalam bentuk perbuatan yang berdasarkan pada nilai kejujuran, kredibilitas, kewajaran, kehormatan, dan tanggung jawab dalam kegiatan penelitian yang dilaksanakan.
- (2) Penelitian dilakukan sesuai dengan kerangka etika, hukum dan profesionalitas, serta kewajiban sesuai dengan peraturan yang berlaku
- (3) Penelitian dilakukan dengan menjunjung tinggi standar ketelitian dan integritas tertinggi dalam semua aspek penelitian.

PASAL 14
KEADAAN KAHAR

- (1) **PARA PIHAK** dibebaskan dari tanggung jawab atas keterlambatan atau kegagalan dalam memenuhi kewajiban yang dimaksud dalam **Kontrak Penelitian** disebabkan atau diakibatkan oleh peristiwa atau kejadian diluar kekuasaan **PARA PIHAK** yang dapat digolongkan sebagai keadaan memaksa (*force majeure*).
- (2) Peristiwa atau kejadian yang dapat digolongkan keadaan memaksa (*force majeure*) dalam **Kontrak Penelitian** ini adalah bencana alam, wabah penyakit, kebakaran, perang, blockade, peledakan, sabotase, revolusi, pemberontakan, huru-hara, serta adanya tindakan pemerintah dalam bidang ekonomi dan moneter yang secara nyata berpengaruh terhadap pelaksanaan **Kontrak Penelitian** ini.
- (3) Apabila terjadi keadaan memaksa (*force majeure*) maka pihak yang mengalami wajib memberitahukan kepada pihak lainnya secara tertulis, selambat-lambatnya dalam waktu 7 (tujuh) hari kerja sejak terjadinya keadaan memaksa (*force majeure*), disertai dengan bukti-bukti yang sah dari pihak yang berwajib, dan **PARA PIHAK** dengan itikad baik akan segera membicarakan penyelesaiannya.

PASAL 15
PENYELESAIAN SENGKETA

Apabila terjadi perselisihan antara **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat, dan apabila tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah dan mufakat maka penyelesaian dilakukan melalui proses hukum.

**PASAL 16
AMANDEMEN KONTRAK**

Apabila terdapat hal lain yang belum diatur atau terjadi perubahan dalam Kontrak Penelitian ini, maka akan dilakukan amandemen **Kontrak Penelitian**.

**PASAL 17
SANKSI**

- (1) Apabila sampai dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan penelitian telah berakhir dan **PIHAK KEDUA** tidak melaksanakan kewajiban sebagaimana dimaksud dalam Pasal 4 ayat (1), maka **PIHAK KEDUA** dikenai sanksi administratif.
- (2) Sanksi administratif sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dapat berupa penghentian pembayaran dan/atau Ketua Tim Pelaksana Penelitian tidak dapat mengajukan proposal penelitian dalam kurun waktu dua tahun berturut-turut.

**PASAL 18
LAIN-LAIN**

- (1) **PIHAK KEDUA** menjamin bahwa penelitian dengan judul tersebut di atas belum pernah dibiayai dan/atau diikutsertakan pada pendanaan penelitian lainnya, baik yang diselenggarakan oleh instansi, lembaga, perusahaan atau yayasan, baik di dalam maupun di luar negeri.
- (2) Segala sesuatu yang belum cukup diatur dalam Perjanjian ini dan dipandang perlu diatur lebih lanjut dan dilakukan perubahan oleh **PARA PIHAK**, maka perubahan-perubahannya akan diatur dalam perjanjian tambahan atau perubahan yang merupakan satu kesatuan dan bagian yang tidak terpisahkan dari Perjanjian ini.

**PASAL 19
PENUTUP**

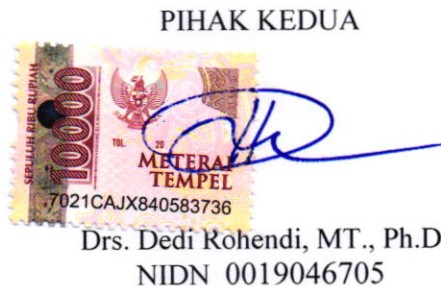
- (1) Kontrak penelitian tahun jamak untuk penelitian lanjutan tahun anggaran sebelumnya dicabut dan dinyatakan tidak berlaku terhitung pada tanggal ditandatanganinya Kontrak Penelitian ini.
- (2) Kontrak Penelitian ini mulai berlaku pada tanggal ditandatanganinya Kontrak Penelitian.
- (3) Kontrak ini dibuat rangkap 3 (tiga) bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, dan biaya materai dibebankan kepada **PIHAK KEDUA**.

PIHAK PERTAMA



Samsuryadi. S.Si, M.Kom., Ph.D.
NIDN 0004027101

PIHAK KEDUA



Drs. Dedi Rohendi, MT., Ph.D
NIDN 0019046705

**Kode>Nama Rumpun Ilmu :112/Kimia
Bidang Fokus : Energi**

**LAPORAN AKHIR (TAHUN KEDUA)
PENELITIAN TERAPAN**



**PENGUJIAN KINERJA DAN DAYA TAHAN MEMBRANE
ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) DENGAN KATALIS Pt-Co/C PADA
PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC) STEK
TUNGGAL DAN MULTI STEK UNTUK PROYEKSI PENGGUNAAN
PADA BASE TRANSRECEIVER STATION (BTS)**

Oleh:

**Dr. DEDI ROHENDI, M.T /NIDN 0019046705
Dr. NIRWAN SYARIF, M.Si/NIDN 0001107001**

Dibiayai oleh:
Anggaran DRPM Kemendikbudristek
Tahun Anggaran 2022
Nomor Kontrak 057/E5/PG.02.00.PT/2022 dengan Nomor Kontrak Turunan
0066/UN9.3.1/PL/2022 tanggal 23 Maret 2022

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA
NOVEMBER 2022**

**HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN TERAPAN**

Judul : Pengujian Kinerja dan Daya Tahan Membrane Electrode Assembly (MEA) dengan Katalis Pt-Co/C Pada Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Stek Tunggal Dan Multi Stek untuk Proyeksi Penggunaan Pada Base Transreceiver Station (BTS)

Peneliti/Pelaksana

Nama Lengkap : Drs. Dedi Rohendi, M.T, Ph.D
Perguruan Tinggi : Universitas Sriwijaya
NIDN : 0019046705
Jabatan Fungsional : Lektor
Program Studi : Kimia
Nomor HP : 0816383220
Alamat surel (e-mail) : rohendi19@unsri.ac.id

(Anggota 1)

Nama Lengkap : Dr. Nirwan Syarif, M.Si
NIDN : 0001107001
Perguruan Tinggi : Universitas Sriwijaya

Institusi Mitra (jika ada)

Nama Institusi Mitra : PT. Cascadiant Indonesia
Alamat : Jalan Casablanca Jakarta
Penanggung Jawab : Ir. Rahmadi Budiman
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 2 dari rencana 3 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 153.753.000
Biaya Keseluruhan : Rp 596.090.000

Mengetahui,
Dekan Fakultas MIPA UNSRI

Indralaya, 29 November 2022
Ketua Peneliti,

Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 197111191997021001

Drs. Dedi Rohendi, M.T, Ph.D
NIP. 196704191993031001

Ketua LPPM Universitas Sriwijaya

Samsuryadi, S.Si, M.Kom., Ph.D
NIP. 197102041997021003

RINGKASAN

Fuel cell dengan keunggulan pada tingkat konversi yang tinggi, tingkat polusi yang rendah, modular dan beragam sumber bahan bakarnya diharapkan dapat menjadi sumber energi alternatif selain energi konvensional yang ada. Teknologi fuel cell pasti akan hadir di Indonesia karena desakan yang makin kuat untuk menghadirkan sumber energi yang bersih. Saat ini, penggunaan fuel cell di dunia sudah mulai memasuki tahap komersialisasi untuk kendaraan, sementara di Indonesia, fuel cell sudah mulai digunakan sebagai sumber energi cadangan pada *Base Transceiver Station* (BTS) tanpa dukungan kemandirian dalam penguasaan teknologi pembuatannya. Salah satu jenis fuel cell dengan keunggulan suhu operasi dan polusi yang rendah, tingkat konversi tinggi dan aplikasi yang beragam (keperluan energi mudah alih, kendaraan bermotor dan sumber energi untuk perumahan) adalah *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC). Salah satu faktor terpenting dalam PEMFC adalah *Membrane Electrode Assembly* (MEA) yang merupakan pusat reaksi elektrokimia pengubahan gas hidrogen (bahan bakar) dan oksigen (oksidan) menjadi energi listrik dan air sebagai buangan. Karena mempunyai fungsi sangat penting, maka MEA harus mendapat perhatian khusus dalam upaya pencapaian kinerja tinggi terutama kerapatan arus (*current density*) dan daya tahannya (*durability*). Hal yang perlu dikaji untuk menghasilkan MEA dengan kinerja tinggi adalah kandungan dan jenis katalis serta metode pembuatannya. Pada penelitian sebelumnya telah didapatkan bahwa metode semburan dapat menghasilkan MEA dengan kinerja yang lebih baik dibandingkan metode elektrodeposisi. Sementara itu, paduan katalis Pt-Co/C berpotensi untuk dikembangkan sebagai katalis untuk elektroda. Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan MEA dengan elektroda yang mengandung paduan katalis Pt-Co/C dengan berbagai perbandingan kandungan katalis dan melakukan uji kinerja dan daya tahan MEA pada stek tunggal dan multi stek. Penggunaan logam golongan transisi lain selain platina sebagai katalis pendukung platina dimaksudkan untuk meningkatkan fungsi katalitik elektroda dan mengurangi kandungan platina yang relatif mahal dan mudah teracun. Penelitian yang dipusatkan di Pusat Unggulan Riset (PUR) Fuel Cell dan Hidrogen Unsri ini diharapkan dapat menjadi landasan bagi peningkatan kemandirian Indonesia dalam penguasaan teknologi fuel cell (khususnya PEMFC), sehingga Indonesia tidak hanya sekedar menjadi pasar bagi produsen fuel cell manca negara. Secara khusus, MEA yang dibuat diharapkan mempunyai kinerja tinggi dalam hal kerapatan arus (*current density*) dan daya tahan (*durability*) sehingga diproyeksikan untuk dapat digunakan pada BTS. Dengan dukungan peralatan untuk pembuatan dan karakterisasi MEA yang ada di PUR Fuel Cell dan Hidrogen Universitas Sriwijaya, proses pembuatan dan pengujian MEA dapat dilakukan dengan baik. Luaran dari penelitian adalah publikasi pada jurnal internasional bereputasi, paten dan prototype MEA untuk proyeksi penggunaan pada BTS. Tingkat kesiapan teknologi pada saat ini pada level 5 (sudah dapat membuat prototype single sel dan sudah diuji kinerja dalam kondisi laboratorium), tinggal meningkatkan prestasi dan daya tahannya, serta diaplikasikan pada multi stek.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teknologi fuel cell pasti akan dan sudah mulai hadir di Indonesia karena desakan yang makin kuat untuk menghadirkan sumber energi yang bersih. Saat ini, penggunaan fuel cell di Indonesia sudah dimanfaatkan sebagai sumber energi pada BTS, seperti yang dikelola oleh PT. Cascadiant Indonesia yang bersedia menjadi mitra pada penelitian ini.

Universitas Sriwijaya sudah memiliki PUR Fuel Cell dan Hidrogen yang merupakan pusat riset terintegrasi di bidang fuel cell dan hidrogen serta memiliki pengalaman riset di bidang MEA untuk PEMFC dan DMFC. MEA begitu penting karena merupakan pusat reaksi elektrokimia perubahan gas hidrogen dan oksigen menjadi energi listrik dan air sebagai buangan. Untuk itu, penelitian fuel cell di UNSRI menjadi sangat penting dan relevan. Dengan dukungan sarana dan peralatan, peneliti dengan kompetensi di bidang fuel cell, serta jaringan kerjasama yang sudah ada, UNSRI mampu menjadi pusat pengembangan fuel cell di Indonesia dengan dukungan pendanaan melalui skema hibah penelitian.

Pada penelitian sebelumnya yang didanai oleh Program Insanas Ristek tahun 2014, telah dikaji dan dibandingkan dua buah metode pembuatan elektroda yaitu metode elektrodeposisi dan metode semburan, dan mendapatkan data bahwa elektroda yang dibuat dengan metode semburan menunjukkan prestasi yang lebih baik dibandingkan metode elektrodeposisi. Pada penelitian ini, metode semburan akan digunakan untuk diaplikasikan pada pembuatan MEA untuk PEMFC sel tunggal dan multi stek yang diorientasikan untuk dapat digunakan pada BTS sebagai *backup power*. Metode semburan dilakukan dengan dua cara, yaitu semburan tinta katalis pada *Gas Diffusion Layer* dan semburan langsung kepada membran elektrolit.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1) Tahun Pertama:

- a. Membuat katalis Pt-Co/C dengan metode reduksi $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pada substrat karbon dan melakukan karakterisasi katalis.
- b. Membuat elektroda dengan katalis Pt-Co/C menggunakan metode semburan pada GDL dan pada membran elektrolit dan melakukan karakterisasi elektroda menggunakan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) serta *Cyclic Voltammetry* (CV).

c. Membuat draft dan submit paten.

2) Tahun Kedua:

a. Membuat dan menguji kinerja MEA dengan loading katalis bervariasi pada PEMFC sel tunggal dengan menggunakan peralatan fuel cell test station.

b. Melakukan uji ketahanan (durabilitas) MEA terpilih pada PEMFC sel tunggal pada berbagai beban.

c. Merancang draft dan submit paper ke jurnal internasional bereputasi.

3) Tahun Ketiga:

a. Merancang dan membuat perangkat PEMFC multi stek meliputi bipolar plate dan MEA dengan jenis dan kandungan katalis terpilih.

b. Membuat MEA untuk PEMFC multi stek dan melakukan uji prestasi dan ketahanan MEA pada PEMFC multi stek sebagai langkah awal proyeksi penggunaan untuk BTS.

1.3. Urgensi Penelitian

Urgensi penelitian ini adalah diharapkan dapat menghasilkan MEA yang mempunyai kinerja tinggi dalam hal kerapatan arus dan daya tahan sehingga diproyeksikan dapat digunakan pada BTS. MEA dengan kerapatan arus tinggi dapat mereduksi ukuran stek PEMFC dan penurunan kandungan katalis Pt akan menurunkan harga fuel cell. Selain itu, penelitian ini penting karena salah satu perusahaan pemasok fuel cell pada BTS di Indonesia berharap ada partner lembaga yang dapat berperan sebagai tempat workshop fuel cell untuk perawatan dan penggantian sel yang rusak. Dengan berbekal rekam jejak penelitian dan publikasi yang ada, serta dengan bantuan pendanaan penelitian, peluang dari perusahaan fuel cell tersebut dapat ditindaklanjuti.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian fuel cell khususnya PEMFC berkembang secara simultan pada berbagai segi, baik darisisi eksplorasi dan optimasi kerja komponen, variasi kondisi operasi maupun dari sisi aplikasi. Perangkat PEMFC terdiri atas stek PEMFC yang mengandung MEA, sistem saluran bahan bakardan saluran listrik. Sementara itu, MEA terdiri atas dua buah elektroda yang mengapit membran elektrolit penghantar ion.

Elektroda secara umum tersusun atas tiga lapisan, yaitu lapisan penyokong (*backing layer / BL*), lapisan penyebaran gas (*gas diffusion layer / GDL*) dan lapisan katalis (*catalyst layer / CL*)[1]. Beberapa peneliti menganggap elektroda hanya terdiri atas GDL dengan CL saja, dengan catatan GDL terdiri atas dua lapisan, yaitu lapisan makro pori yang merupakan lapisan penyokongdan dibuat dari kertas karbon atau kain karbon dan lapisan mikro pori (mikroporous layer/MPL) yang dibuat dari serbuk karbon dan zat hidrofobik/hidrofilik [2]

Dalam penyediaan elektroda, ketiga lapisan yaitu BL, GDL (MPL) dan CL mendapat perhatian dari para peneliti. GDL sebagai penyokong lapisan katalis harus mempunyai ciri-ciri: hantaran listrik yang tinggi, interaksi yang baik sebagai pendukung katalis, mempunyai luas permukaan yang besar, mempunyai kemampuan untuk menolak air dan mencegah banjir, tahan karat dan dapat memulihkan fungsi katalis dengan mudah [3]. GDL dan CL bisa dibuat melalui beberapa metode, yatu dengan metode tuangan [4], [5], penyemburan [2], [6], metode lapis tipis,metode CCM [7], [8]; dan metode elektrodeposisi [8].

Katalis yang digunakan dalam elektroda fuel cell umumnya katalis berbasis platina yang cukup mahal dan mudah teracuni. Selain katalis tunggal platina, pemakaian logam golongan transisi lain selain platina dilaporkan digunakan sebagai katalis pendukung platina. Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan fungsi katalitik elektroda dan mengurangi kandungan platina. Penggunaan paduan logam golongan transisi dengan platina telah dilakukan menggunakan metodespraying [9].

Sesuai dengan namanya, *CL* dalam elektroda merupakan lapisan yang mengandung katalis yang berfungsi mengkatalisis reaksi perubahan gas hidrogen/methanol dan oksigen menjadi air dan energi listrik. *CL* umumnya terdiri atas katalis, substrat karbon, zat hidrofobik dan ionomer dari elektrolit, misalnya nafion. Katalis mempunyai peran penting dalam

mempercepat reaksi oksidasi gas hidrogen dan reduksi gas oksigen menjadi air, sementara ionomer nafion menyediakan laluan untuk melintasnya ion H^+ dari anoda ke katoda [10].

Zat hidrofobik dalam CL berfungsi sebagai pengikat katalis dan untuk menjaga agar CL tetap hidrofobik tapi juga tetap konduktiv. Untuk mengikat katalis dan meningkatkan kehidrofobikan umumnya digunakan PTFE. Oleh karena itu, laju penyerapan gas reaktan dan tingkat kehidrofobikan harus betul-betul dioptimumkan dengan teliti agar dihasilkan lapisan katalis dengan peringkat keperluan katalis yang tinggi. Selain itu, ketahanan katalis merupakan pembatas corak yang penting [11].

Lapisan katalis (CL) harus dapat memudahkan pengaliran yang efektif elektron yang dihasilkan atau diserap oleh reaksi elektrokimia dan dalam suatu keadaan tertentu harus dapat mengalirkan ion H^+ dari anoda ke lapisan membran. Untuk itu, ke dalam CL dimasukkan ionomer nafion. Terdapat beberapa sifat lapisan katalis yang harus dioptimumkan untuk menghasilkan prestasi penggunaan material katalis, diantaranya tingkat permeabilitas reaktan, tingkat kehidrofobikan serta hantaran ion dan listrik [12].

Penelitian mengenai MEA cukup beragam. MEA merupakan komponen paling penting dalam sebuah DMFC/PEMFC, karenanya menjadi tumpuan para peneliti dalam usaha untuk membuat MEA dengan kerapatan arus dan ketahanan yang tinggi. Ringkasan sebagian kajian MEA ditunjukkan dalam tabel 1.

Tabel 1. Beberapa kajian mengenai MEA PEMFC yang berhubungan dengan bidang yang dikaji

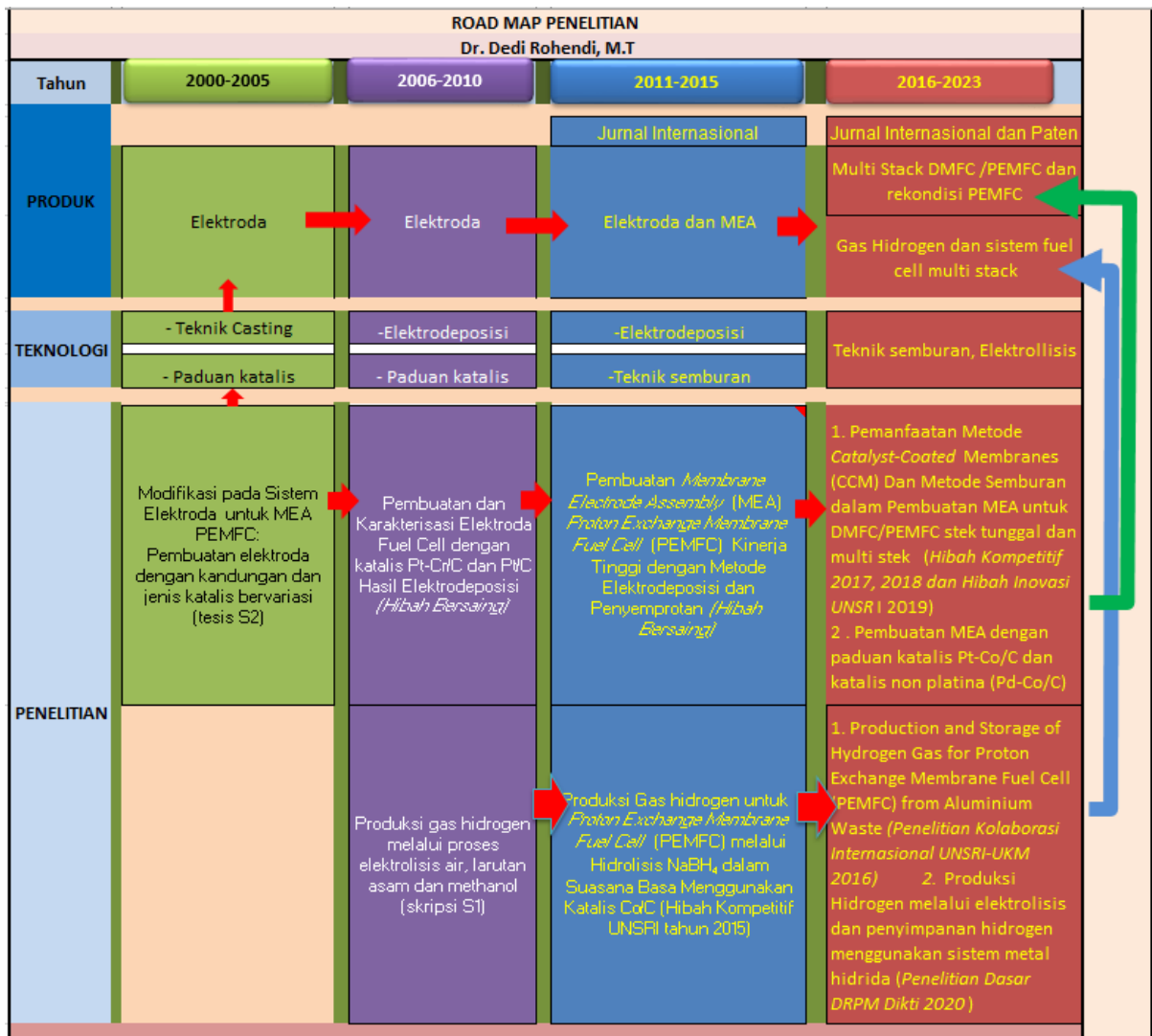
Bidang Kajian	Fokus Kajian	Hasil kajian / Prestasi	Rujukan
Uji ketahanan MEA	Pemodelan degradasi katalis	Model degradasi katalis berdasarkan kandungan Pt/C dengan distribusi ukuran partikel	[13]
	Mekanisme degradasi dan strategi pengurangan	Memberikan kajian mengenai degradasi pada membran, katalis dan CL, GDL, plat dwikutub dan kajian ujian pemercepatan	[14]
	Kajian uji pemercepatan	Metode penyelidikan degradasi CL, degradasi platina dan degradasi karbon.	[15]
	Protokol uji ketahanan	Kajian degradasi PEMFC, protokol ujian pemercepatan komponen dan stek MEA yang dibuat dengan kaedah CCM	[16]
	Pengaruh pembuatan MEA terhadap ketahanan	menghasilkan laju degradasi terendah berbanding kaedah lainnya.	[17]
Uji ketahanan dalam kondisi OCV	Perubahan struktur dalam membran dan CL adalah sebab utama kemerosotan prestasi pada keadaan OCV	[18]	

Penelitian pembuatan MEA diharapkan dapat menjadi landasan bagi peningkatan kemandirian Indonesia dalam penguasaan teknologi fuel cell, khususnya PEMFC, sehingga Indonesia tidak hanya sekedar menjadi pasar bagi produsen fuel cell manca negara.

Penelitian yang telah dilakukan peneliti terkait dengan MEA selama ini dimulai tahun 2002 dengan fokus pada modifikasi sistem elektroda (tesis S2) dan dilanjutkan pada pembuatan elektroda dengan berbagai metode dan jenis katalis (Hibah Bersaing DIKTI 2004-2006 dan Hibah Bersaing DIKTI 2007-2009) dan pembuatan elektroda dengan metode reduksi dan elektrodeposisi (Program INSINas Ristek 2014). Dari sisi penyediaan bahan bakar, peneliti mendapatkan Hibah Kompetitif UNSRI untuk memproduksi hidrogen dari NaBH_4 . Dari sisi publikasi, peneliti telah berhasil mempublikasikan hasil penelitian dalam empat jurnal internasional berimfact factor tinggi dan terindeks scopus [1], [19]–[22].

Rangkaian peta jalan riset yang telah dilakukan peneliti dan tim selama ini disajikan dalam tabel 2 dan rekam jejak penelitian disajikan pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 2. Peta Jalan Penelitian mengenai MEA dan Bahan Bakar Hidrogen



Tabel 3. Rekam Jejak Penelitian

Rekam Jejak Penelitian dan Publikasi mengenai MEA dan Bahan Bakar Hidrogen
Dr. Dedi Rohendi, M.T

Penelitian/Publikasi	Tahun										
	2002	2004 - 2006	2007	2009 - 2011	2013 - 2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Modifikasi pada Sistem Elektroda dalam Upaya Meningkatkan Kinerja Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC) (<i>Tesis S2</i>)	Elektroda										
Pembuatan Elektroda Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC) Dengan Metode Casting Menggunakan Katalis Pt-Co/C (<i>Hibah Bersaing Dikti</i>)		Elektroda									
Produksi gas hidrogen melalui proses elektrolisis air, larutan asam dan methanol (<i>Skripsi mahasiswa S1</i>)			Hidrogen								
Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Fuel Cell dengan katalis Pt-Cr/C dan Pt/C Hasil Elektrodeposisi serta Penerapannya pada Alkaline Fuel Cell (AFC) (<i>Hibah Bersaing Dikti</i>)				Elektroda							
Penerbitan publikasi : Characterization of electrodes and performance tests on MEAs with varying platinum content and under various operational conditions (<i>International Journal of Hydrogen Energy, 38 (2013)</i>)					Membrane Elektrod						
Penerbitan publikasi: Effect of PTFE content and sintering temperature on the properties of a fuel cell electrode backing layer (<i>Journal of Fuel Cell Science and Technology, 11 (2014)</i>)					ELEKTRO DA (2014)						
Fabrication of High Current Density MEA for Portable PEMFC (<i>Disertasi S3</i>)					MEA						
Pembuatan Membrane Electrode Assembly (MEA) Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Kinerja Tinggi dengan Metode Elektrodeposisi dan Penyemprotan (<i>Program INSINas Ristek 2014</i>)					MEA						
Penerbitan publikasi di International Journal of Hydrogen Energy dengan judul: Effects of temperature and backpressure on the performance degradation of MEA in PEMFC (<i>International Hydrogen Journal 40(34) (2015)</i>).						MEA					

Penelitian/Publikasi	Tahun										
	2002	2004 2006	2007	2009 2011	2013 2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Produksi Gas hidrogen untuk Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) melalui Hidrolisis NaBH ₄ dalam Suasana Basa Menggunakan Katalis Co/C (Hibah Penelitian Kompetitif UNSRI)						HIDROGEN					
Production and Storage of Hydrogen Gas for Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) from Aluminium Waste (Penelitian Kolaborasi Internasional UNSRI-UKM)							HIDROGEN				
Pemanfaatan Metode Catalyst-Coated Membranes (CCM) Dan Metode Semburan Dalam Pembuatan Membrane Electrode Assembly (MEA) Untuk Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) Menggunakan Katalis Pt-Co/C (Hibah Kompetitif UNSRI tahun pertama)								DMFC			
Pemanfaatan Metode Catalyst-Coated Membranes (CCM) Dan Metode Semburan Dalam Pembuatan Membrane Electrode Assembly (MEA) Untuk Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) Menggunakan Katalis Pt-Co/C (Hibah Kompetitif UNSRI tahun Kedua)									DMFC		
Pembuatan Membrane Electrode Assembly (MEA) dan Pengujian Kinerja MEA untuk Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) Multi Stek pada Berbagai Konsentrasi Methanol untuk Kebutuhan Energi Mudah Alih (Portable Power) (Hibah Unggulan Inovasi UNSRI)										DMFC	
Pemanfaatan Alloy Fe-Al Sebagai Penyimpan Hidrogen Hasil Elektrolisis Air Untuk Bahan Bakar Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)											HIDROGEN

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metode dan ruang lingkup penelitian untuk menghasilkan MEA dengan kinerja dan daya tahan tinggi adalah:

- 1) Membuat elektroda dengan katalis Pt-Co/C pada berbagai perbandingan Pt dan Co dengan metode reduksi $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pada substrat karbon vulcan XC-72R. Pembuatan elektroda dilakukan dengan metode semburan lapisan katalis pada GDL dibandingkan dengan semburan lapisan katalis langsung kepada membran elektrolit (Metode CCM). Kriteria dalam pemilihan paduan katalis adalah kemampuan untuk menghasilkan elektroda dengan kinerja optimal serta prosedur yang dapat diaplikasikan secara komersial. Metode semburan untuk katalis Pt-Co/C didahului dengan membuat katalis dengan metode impregnasi kemudian reduksi.
- 2) Elektroda dibuat tiga lapisan, yaitu
 - a. Lapisan pertama, backing layer yang dibuat dari kertas karbon (*carbon paper*) yang sudah disalut dengan *Polytetrafluoroetylen* (PTFE) untuk meningkatkan kehidrofobikan. Fungsi dari backing layer selain sebagai penahan elektroda, juga sebagai pengalir reaktan, produk dan elektron.
 - b. Lapisan kedua, *Gas Diffusion Layer* (GDL) yang terdiri atas campuran serbuk karbon (*carbon black*) Vulcan XC-72, PTFE, Ammonium bicarbonat dan 2-propanol sebagai pelarut. Fungsi GDL adalah untuk penyebar gas, penyalur arus listrik, mengalirkan air dan antar muka antara backing layer dan catalyst layer.
 - c. Lapisan ketiga, *Catalyst Layer* (CL) yang mengandung katalis sebagai pusat reaksi elektrokimia. Lapisan katalis terdiri atas tiga lapisan.
- 3) Elektroda yang sudah dibuat dengan metode semburan CL terhadap GDL, dikarakterisasi dan diuji kinerjanya. Karakterisasi dan uji kinerja yang dilakukan meliputi kristalinitas dan ukuran partikel katalis dengan XRD, konduktivitas listrik dengan metode EIS dan analisis luas permukaan katalitik dengan metode *cyclic voltammetry* (CV). Sementara itu, elektroda yang dibuat dengan metode CCM langsung digabung dengan GDL untuk membentuk MEA (*tahun pertama*).
- 4) Setelah mendapatkan elektroda dengan perbandingan katalis terbaik, elektroda digabung dengan membran elektrolit untuk membentuk MEA. MEA yang dihasilkan diuji kinerjanya pada stek tunggal. Pengujian yang dilakukan meliputi uji elektrokimia menggunakan fuel cell test station (*tahun kedua*).

- 5) Merancang dan membuat perangkat PEMFC multi stek meliputi bipolar plate, gasket dan MEA dengan jenis dan kandungan katalis terpilih (*tahun ketiga*).
- 6) Melakukan uji prestasi dan ketahanan MEA pada PEMFC multi stack sebagai langkah awalproyeksi penggunaan untuk BTS (*tahun ketiga*).
- 7) Merancang dan submit publikasi serta perancangan pendaftaran paten.

Kompetensi Para peneliti dan pembantu peneliti serta tugas masing-masing disajikan pada tabel 4 dan Tahapan pekerjaan dan mekanisme pekerjaan serta peralatan dan indikator capaianpenelitian selanjutnya disajikan pada tabel 5 .

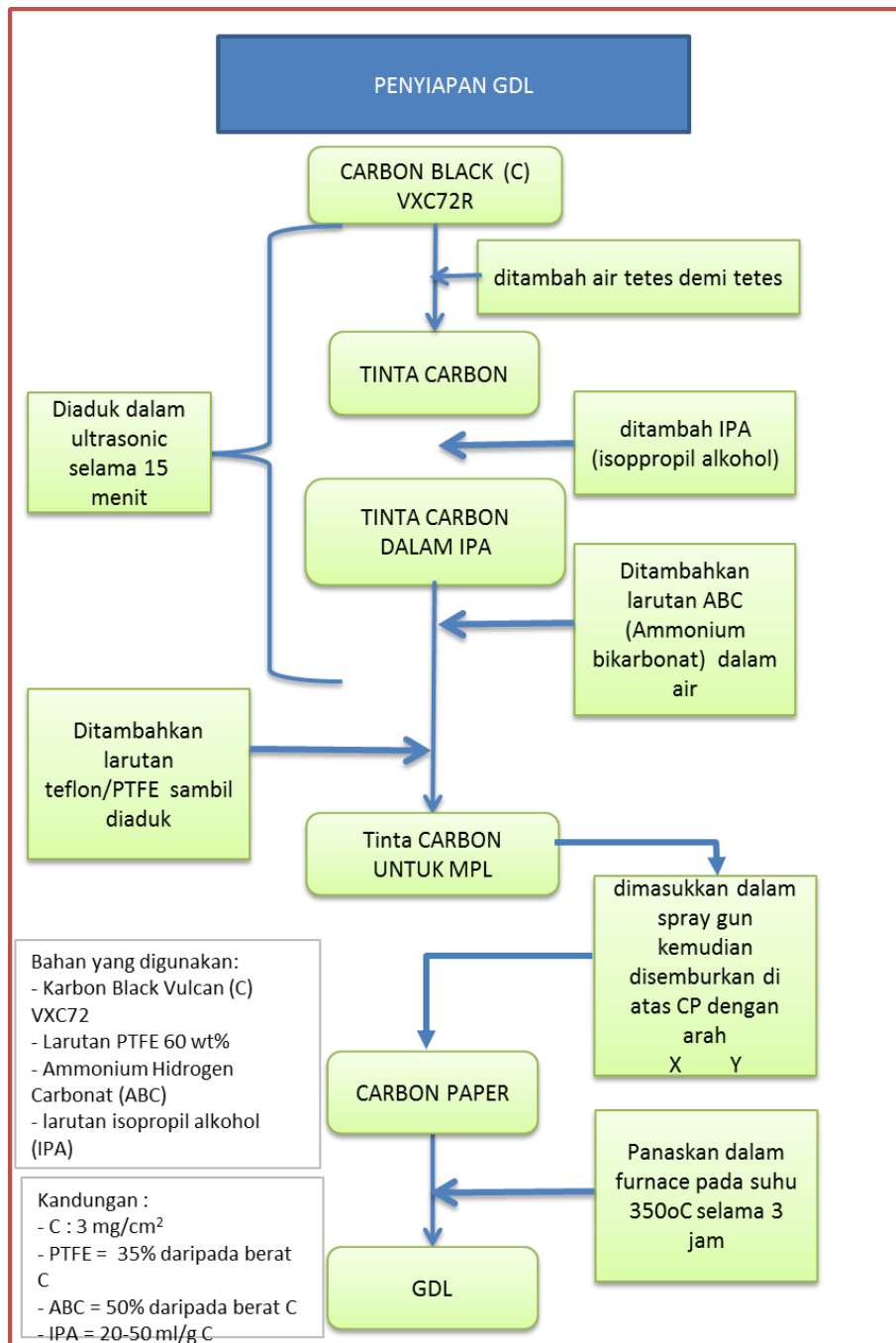
Tabel 4. Kompetensi Para Peneliti dan Tugas Umum Masing-masing

No	Nama	Status /Kompetensi	Tugas Umum Pada Penelitian
1	Dr. Dedi Rohensi, M.T	Koordinator Penelitian / Kimia- MEA Fuel cell	a. Mengkoordinir Penelitian b. Membuat MEA dan analisis kinerja MEA c. Menyusun Laporan
2	Dr. Nirwan Syarif, M.Si	Anggota Tim Peneliti/ Elektrokimia - Baterai	a. Analisis CV-EIS b. Stacking – rangkaian listrik
3	Dwi Hawa Yulianti, M.Si	Pembantu Peneliti / Kimia - MEA	a. Pembuaan GDL- MEA b. Uji knierja dan ketahanan MEA
4	Nyimas Febrika Sya'baniah, M.Si	Pembantu Peneliti / Kimia-	a. Karakterisasi elektroda b. Proses Stacking
5	Icha Amelia, S.Si	Tenaga Administrasi / Kimia	a. Administrasi penelitian + log book b. Desain percobaan c. Penyusunan laporan

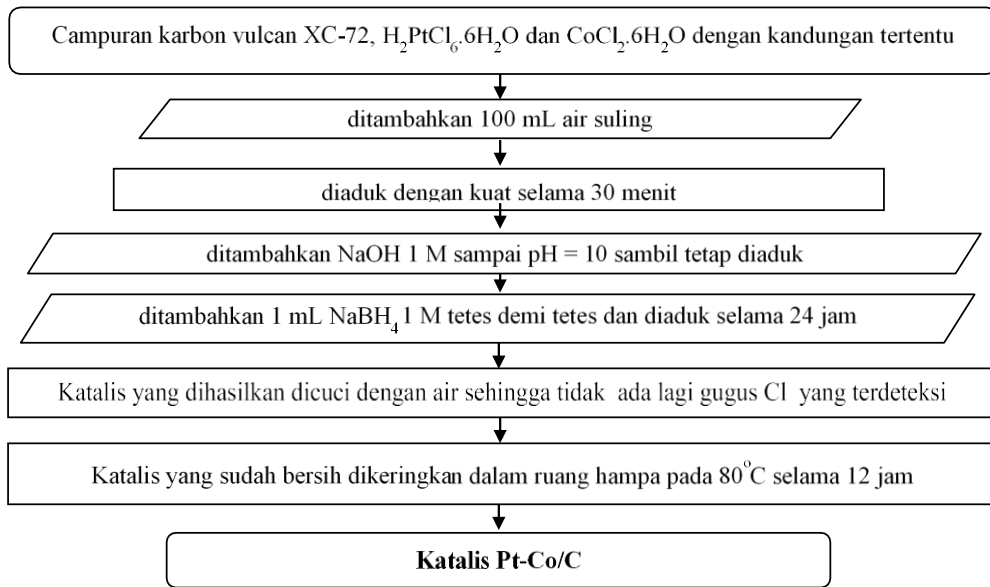
Tabel 5. Tahapan Pekerjaan dan Mekanisme Pekerjaan serta peralatan dan Indikator Capaian

Tahapan Pekerjaan	Mekanisme Pekerjaan	Peralatan dan bahan yang digunakan	Indikator Capaian	Personil yang terlibat dan Tugas Masing masing	Luaran
1. Pembuatan Gas Diffusion Layer (GDL) merujuk (Rohendi, Majlan et al. 2013) (tahun pertama)	<p>a. Pembuatan GDL dilakukan dengan menempelkan tinta MPL (Microporous Layer) menggunakan metode semburan ke atas <i>Backing layer</i> (BL) berupa <i>carbon paper</i></p> <p>b. Pengeringan GDL dalam furnace selama 3 jam pada 350°C</p>	<p>a. ultrasonic homogenizer</p> <p>b. peralatan spraying gun</p> <p>c. karbon vulcan XC-72R (10 g),</p> <p>d. Carbon paper Avcab P75T (5 lembar 10 x 10 cm)</p> <p>e. Isopropanol (200 mL),</p> <p>f. ammonium bikarbonat (2 g)</p> <p>g. emulsi PTFE (1 g)</p>	Dihasilkan GDL sebagai penopang lapisan katalis dan MEA	<p>Dr. Dedi Rohendi, M.T (Koordinator) / Kimia</p> <p>Dwi Hawa Yulianti, M.Si /Kimia (Pembantu Peneliti)</p>	
2. Pembuatan/sintesis Katalis Pt-Co/C (Tahun pertama)	<p>a. Larutan precursor katalis berupa $H_2PtCl_6.6H_2O$ dan $CoCl_2.6H_2O$ dengan berbagai perbandingan massa di campurkan ke dalam carbon vulcan XC-72R.</p> <p>b. Campuran katalis dialirkan gas Hidrogen dan dipanaskan pada suhu 450°C.</p> <p>c. Katalis yang terbentuk dicuci dengan air untuk menghilangkan ion klorida.</p> <p>d. Katalis yang terbentuk dianalisis menggunakan XRD</p>	<p>a. Hotplate</p> <p>b. Vakuum Furnace</p> <p>c. Gas Hidrogen</p> <p>d. $H_2PtCl_6.6H_2O$ (4 g)</p> <p>e. $CoCl_2.6H_2O$ (100 g)</p> <p>f. Carbon vulcan XC72R (100 g)</p> <p>g. Air demin</p>	Dihasilkan katalis Pt-Co/C yang dibuktikan dengan analisis XRD	<p>Dr. Dedi Rohendi, M.T (Koordinator)</p> <p>Dr. Nirwan Syarif, M.Si</p> <p>Nyimas Febrika, M.Si (Pembantu peneliti)</p>	
3. Pembuatan elektroda dengan metode Semburan merujuk (Rohendi, Majlan et al. 2013)	<p>a. Pembuatan CL (berupa campuran katalis, propanol, nafion solution dan PTFE solution)</p> <p>b. Menempelkan lapisan catalyst layer dengan katalis Pt-Co/C (berupa pasta katalis dalam karbon dengan kandungan bervariasi) ke atas GDL dengan metode semburan</p>	<p>a. ultrasonic homogenizer</p> <p>b. peralatan spraying gun</p> <p>c. karbon vulcan XC-72 (10g),</p> <p>d. Isopropanol (200 mL)</p> <p>e. Pt-Co/C (10 g)</p> <p>f. ammonium bikarbonat (10 g)</p> <p>g. emulsi PTFE (10 g)</p> <p>h. nafion solution (50 mL)</p> <p>i. oven</p> <p>j. Potensiostat/Galvanostat</p>	<p>a. Dihasilkan elektroda</p> <p>b. diperoleh data data CV dan EIS</p> <p>c. Tersedia draft paten</p>	<p>Dr. Dedi Rohendi, M.T (Koordinator)</p> <p>Dr. Nirwan Syarif, M.Si (Analisis CV dan EIS)</p> <p>Dwi Hawa Yulianti, M.Si (Pembantu Peneliti)</p>	Submit Paten
4. Pembuatan draft paten (tahun pertama)	<p>c. karakterisasi elektroda dengan CV, EIS</p>				
5. Pembuatan dan pengujian kinerja dan daya tahan MEA untuk sel tunggal (tahun kedua)	<p>a. Dua jenis elektroda yang dihasilkan digabung dengan membran elektrolit dan dipress menggunakan tekanan 2000 psi pada suhu 135°C selama 3 menit, menghasilkan MEA</p>	<p>a. Elektroda dengan berbagai perbandingan katalis</p> <p>b. Membran elektrolit nafion 212 (100 cm²)</p> <p>c. Hot press</p> <p>k. Potensiostat/Galvanostat</p>	<p>a. diperoleh data CV dan EIS</p>	<p>a. Dr. Dedi Rohendi, M.T (Pembuatan MEA)</p> <p>b. Dr. Nirwan Syarif (Karakterisasi MEA)</p> <p>c. Dwi Hawa Yulianti, M.Si (Pembantu Peneliti)</p>	1. Dihasilkan Prototype MEA untuk PEMFC stek tunggal.
6. Merancang dan submit paper ke Jurnal Internasional	<p>b. MEA diuji kinerja dan daya tahannya pada PEMFC stek tunggal menggunakan fuel cell test station</p>	<p>d. EIS</p> <p>e. Fuel Cell test Station WonAtech Smart 2</p>	<p>b. Diperoleh data kinerja PEMFC sel tunggal.</p>		2. Submit Paper ke Jurnal Internasional
7. Perancangan dan pembuatan perangkat PEMFC multi stek (tahun ketiga)	<p>a. PEMFC multi stek terdiri atas bipolar plate, end Plate, dan gasket serta MEA</p> <p>b. MEA dibuat</p>	<p>a. MEA (Elektroda plus membran nafion 212)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Katalis Pt-Co/C - Karbon vulcan - Carbon paper Avcab P75T - PTFE Solution - Nafion Solution 	Dihasilkan PEMFC Multi stek	<p>a. Dr. Dedi Rohendi, M.t. (Pembuatan MEA)</p> <p>b. Dr. Nirwan Syarif (Pembuatan Bipolar Plate</p> <p>c. Nyimas Febrika, M.Si (pelaksana)</p>	Dihasilkan prototype PEMFC multi stek

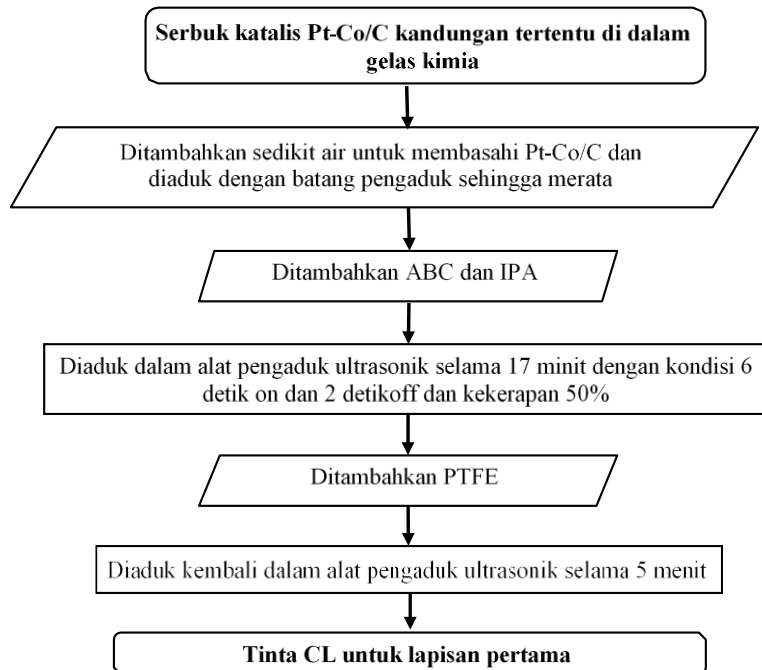
1) Pembuatan GDL



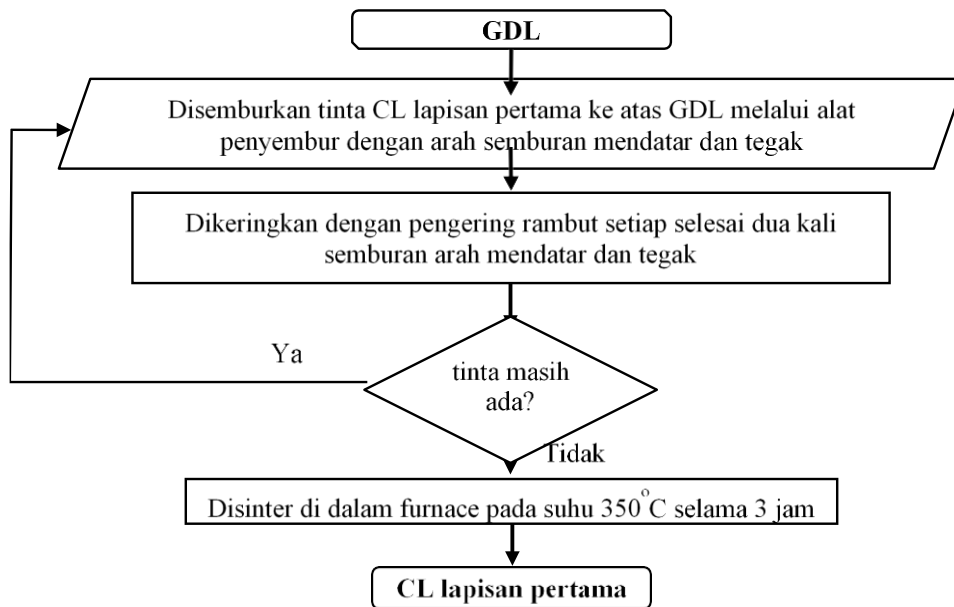
2) Pembuatan Katalis Pt-Co/C dengan Metode Reduksi



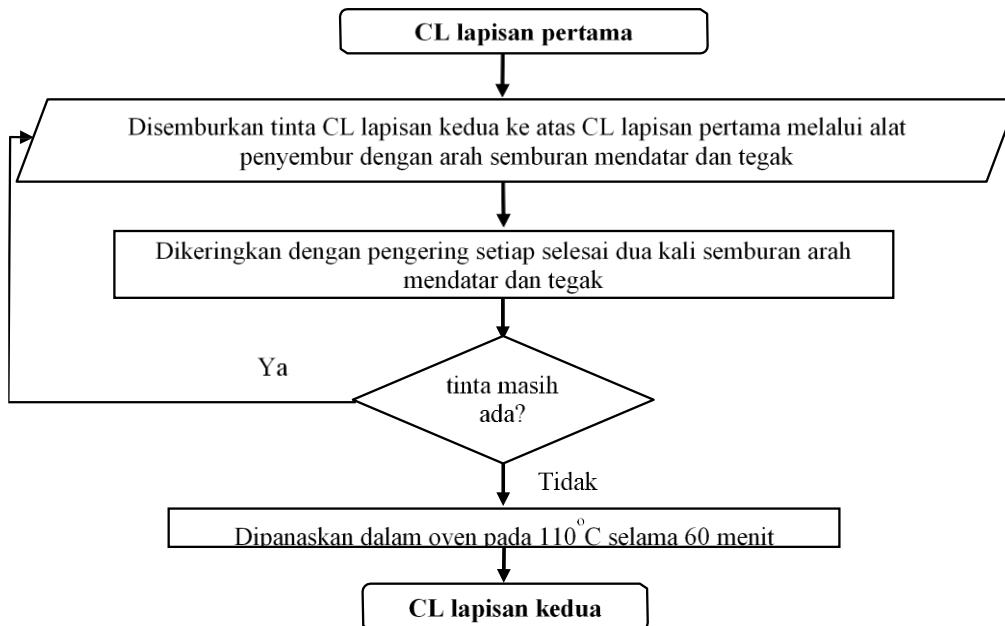
3) Pembuatan Tinta CL untuk lapisan pertama



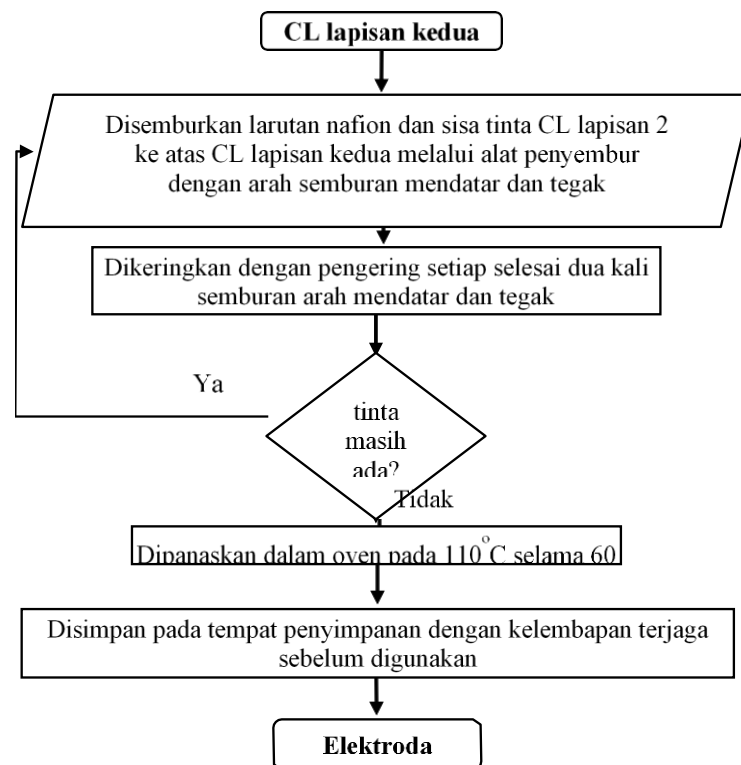
4) Pembuatan CL Lapisan pertama



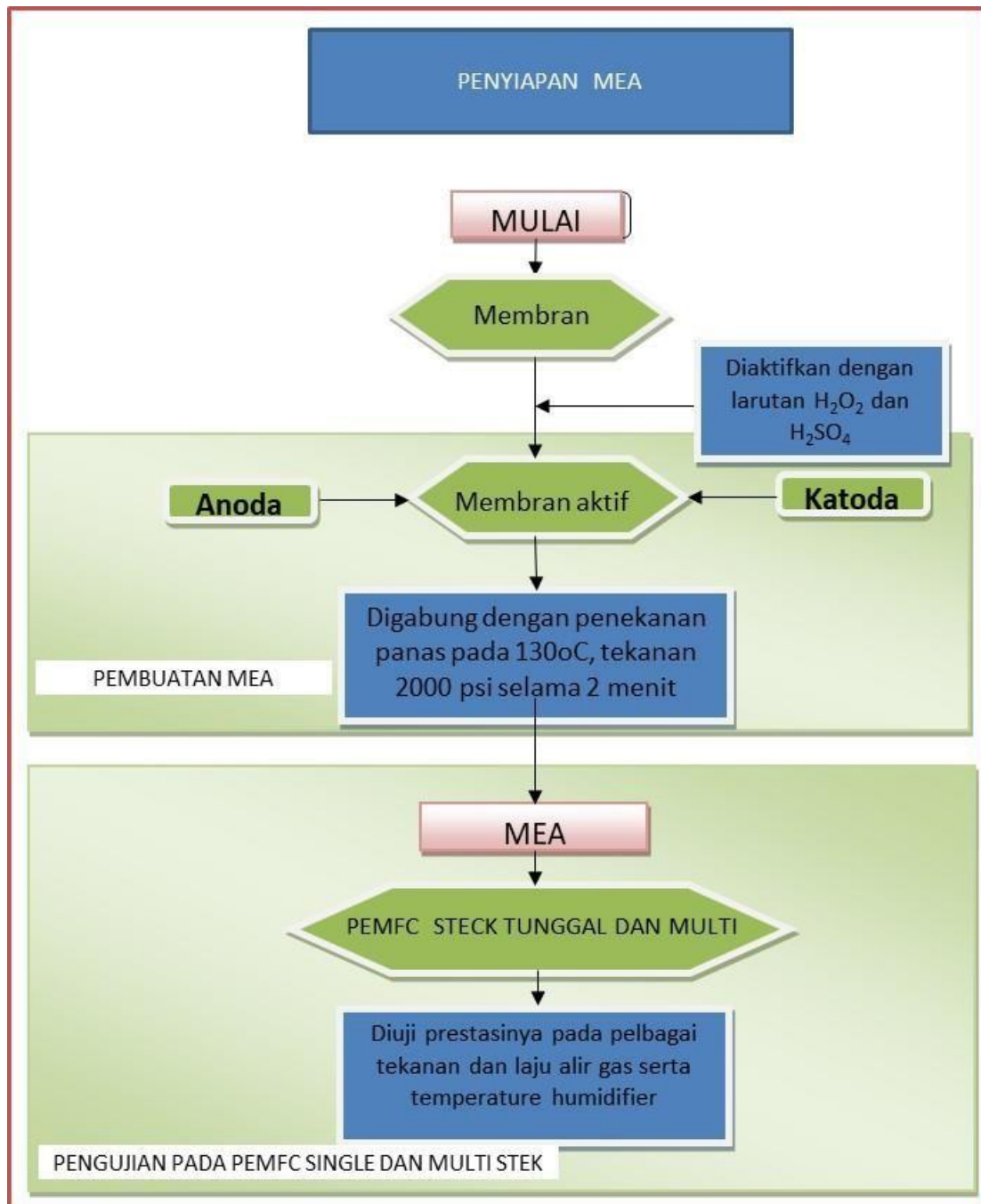
5) Pembuatan CL Lapisan Kedua



6) Pembuatan CL Lapisan Ketiga (Elektroda)



7) Pembuatan dan uji kinerja MEA



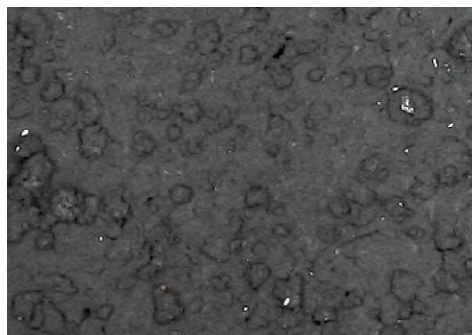
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pembuatan MEA

MEA merupakan komponen utama pada PEMFC yang terdiri atas katoda, anoda serta membran elektrolit dan merupakan tempat berlangsungnya konversi gas hidrogen menjadi energi listrik [1,2]. Elektroda dibuat dengan mempersiapkan Gas Diffusion Layer (GDL) terlebih dahulu yang nantinya akan menjadi media pengaplikasian tinta katalis. Pembuatan GDL dilakukan dengan mendistribusikan komponen *Micro Porous Layer* (MPL) yang terbuat dari campuran karbon vulkan XC-72R dengan 2-propanol, ammonium bikarbonat dan Polytetrafluoroetylen (PTFE) yang telah dihomogenkan dengan *ultrasonic homogenizer* ke lapisan pendukung/backing layer (BL) yang berupa kertas karbon berukuran 19 x 30 cm dengan menggunakan metode *spraying* secara merata.

Tinta MPL yang telah disemprotkan ke atas kertas karbon kemudian disintering pada suhu 350°C untuk meresapkan PTFE pada serat karbon. PTFE berfungsi sebagai zat hidrofobik untuk menolak air agar tidak terikat secara adhesiv terhadap karbon. Fungsi penambahan ammonium bikarbonat adalah untuk memproduksi pori akibat lepasnya CO₂ ketika GDL dipanaskan. Interaksi antara karbon dan air pada BL akan meningkatkan gaya adhesi yang menyebabkan pori-pori karbon jenuh dengan molekul air sehingga dapat menyebabkan terjadinya banjir pada GDL, sehingga diperlukan zat yang bersifat hidrofobik berupa PTFE yang berperan sebagai lapisan yang melapisi pori-pori karbon sehingga tidak terjadi banjir akibat masuknya air berlebih [3]. GDL yang telah disintering dapat dilihat pada gambar 1.

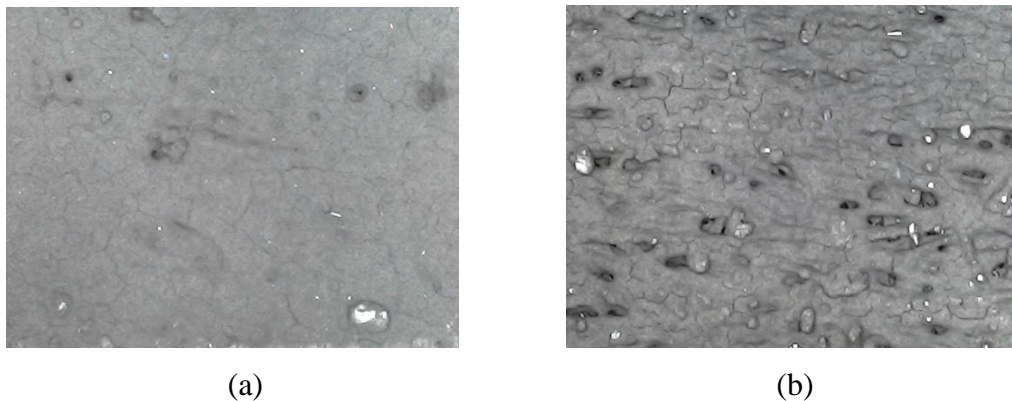


Gambar 1. Morfologi GDL menggunakan instrumen *digital microscope*

Campuran antara katalis, larutan nafion dan PTFE yang telah dihomogenkan dapat digunakan sebagai tinta katalis dan biasa disebut dengan CL [3] . Tinta yang dihasilkan diaplikasikan secara merata ke GDL dengan menggunakan metode *spraying*. Elektroda

disintering selama 3 jam pada suhu 350°C untuk melelehkan emulsi PTFE sehingga dapat melapisi serta karbon secara sempurna. Penggunaan 2-propanol berperan sebagai pelarut pada saat pembuatan elektroda dan larutan nafion berfungsi untuk meningkatkan distribusi proton dari anoda menuju katoda karena memiliki sifat amfifilik [4].

Katalis yang digunakan berupa Pt-Co/C 40% untuk anoda dan Pt/C 40% untuk katoda dengan pemuatan katalis 0,5 mg/cm². Katalis Pt/C yang digunakan merupakan katalis komersial sedangkan untuk katalis Pt-Co/C dibuat dengan bahan dasar berupa H₂PtCl₆.6H₂O dan CoCl₂.6H₂O. Sebelum katalis ditambahkan 2-propanol, terlebih dahulu katalis dibasahi dengan akuades agar tidak terbentuk percikan api. Hal ini dikarenakan Pt akan bersifat sangat reaktif jika langsung berinteraksi dengan 2-propanol. Citra elektroda dengan menggunakan mikroskop digital dapat dilihat pada gambar 2.



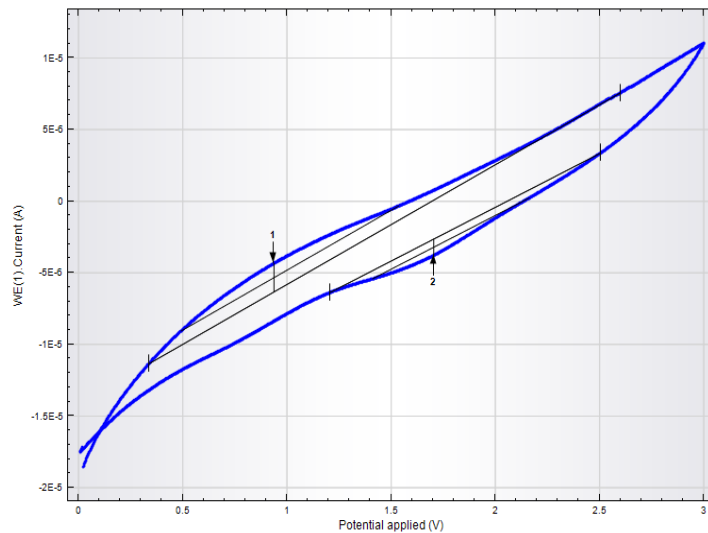
Gambar 2. Citra gambar elektroda menggunakan instrumen *digital microscope* (a) Elektroda Pt/C (b) Elektroda Pt-Co/C

Elektroda Pt/C dan Pt-Co/C pada gambar 2 disusun dengan membran nafion 212 yang berada di antara kedua elektroda tersebut. Gabungan elektroda dan membran elektrolit ini disebut dengan Membrane Electrode Assembly [2]. Elektroda Pt/C diletakkan pada sisi katoda, karena pada anoda platina dapat teracuni oleh zat kontaminan seperti gas karbon monoksida yang berasal dari gas yang disuplai ke anoda tidak murni. Kontaminasi dari zat kontaminan dapat menyebabkan kinerja dari katalis menurun [2]. Elektroda Pt-Co/C dapat diletakkan pada sisi anoda dikarenakan pada katalis ini platina tidak berdiri sendiri terdapat 25% komposisinya berupa kobalt yang mana mengurangi kemungkinan katalis untuk teracuni. Susunan elektroda dan membran nafion dilapisi dengan *laminating film* dan aluminium foil serta diapit dengan 2 plat besi lalu diberi penekanan panas dengan alat *hydrolic hot press* pada suhu 135°C dengan tekanan 2000 psi selama 3 menit.

4.2. Karakterisasi MEA

4.2.1. Pengujian Sifat Elektrokimia Menggunakan Metode CV

Karakterisasi menggunakan metode CV dilakukan untuk mengetahui aktivitas katalitik dari MEA dengan katalis Pt-Co/C. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat Potensiostat/galvanostat Autolab PGSTAT 204 menggunakan *software* NOVA hingga didapatkan kurva voltamogram seperti yang ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3. Kurva voltamogram MEA dengan katalis Pt-Co/C

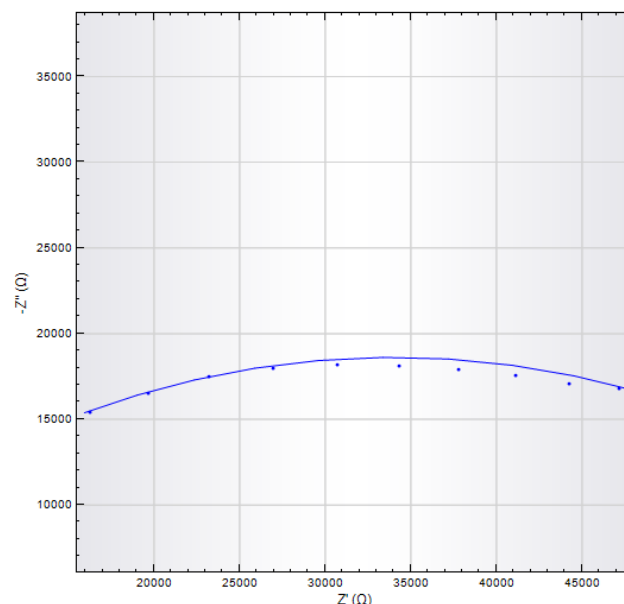
Gambar 3 menunjukkan adanya dua puncak yang menandakan bahwa telah terjadi reaksi reduksi pada puncak katodik dan reaksi oksidasi pada puncak anodik [5]. Pengamatan dilakukan pada rentang potensial 0 s.d. 3 V dengan laju telusur 25 mV/s. Kurva voltamogram memberikan informasi reaksi elektrokimia yang berlangsung pada permukaan elektroda. Ketika pengukuran dilakukan, maka kurva akan mengalami peningkatan hingga mencapai tegangan maksimum kemudian akan menurun kembali menuju tegangan minimum sehingga membentuk kurva voltamogram siklik dan akan muncul puncak berupa arus pada kurva [5].

Puncak yang berada di atas disebut dengan puncak anodik sedangkan yang berada di bagian bawah disebut puncak katodik. Berdasarkan kurva voltamogram yang ditampilkan pada gambar 3 didapatkan nilai puncak anodik pada angka 2×10^{-6} A dan nilai puncak katodik pada angka $1,13 \times 10^{-6}$ A. Data yang didapatkan dari hasil karakterisasi CV kemudian diolah untuk mendapatkan nilai ECSA. Nilai ECSA didapatkan dengan menghitung luas rata-rata dibagi dengan nilai muatan katalis yang sudah dikalikan dengan muatan Pt ($Pt = 210 \mu\text{C}/\text{cm}^2$). Nilai $210 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ merupakan muatan yang diperlukan untuk mereduksi satu lapisan proton untuk Pt [5].

Berdasarkan data hasil perhitungan, maka didapatkan nilai ECSA pada MEA dengan katalis Pt-Co/C sebesar $1,001 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{g}$ yang terbilang kecil. Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya [6] didapatkan hasil karakterisasi elektroda berupa nilai ECSA sebesar $13,06 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{g}$ dengan menggunakan metode yang sama dengan katalis Pt-Co/C. Salah satu faktor yang membuat nilai ECSA yang didapatkan kecil adalah karena karakterisasi dilakukan pada MEA (bukan elektroda) dengan luas total permukaan yang besar dengan luas permukaan MEA $19 \times 30 \text{ cm}^2$ dan MEA mengandung membran elektrolit yang mempunyai konduktivitas listrik yang sangat rendah.

4.2.2. Pengujian Konduktivitas Elektrik Menggunakan Metode EIS

Karakterisasi MEA dengan metode EIS dilakukan untuk mengamati aktivitas ion dan elektron selama berlangsungnya reaksi elektrokimia [7]. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat Potensiostat/galvanostat Autolab PGSTAT 204. Metode EIS sangat berguna untuk menganalisa bahan elektroda yang relevan untuk keperluan elektrokatalisis karena dapat memberikan informasi mengenai konduktivitas suatu elektroda [8]. Hasil analisa menggunakan *software* NOVA diperoleh dalam bentuk kurva *nyquist*. Selanjutnya, kurva *Nyquist* diplot melalui proses *fitting* untuk mendapatkan data. Data yang didapat merupakan hasil respon elektroda terhadap frekuensi yang diberikan oleh alat Potensiostat/galvanostat PGSTAT 204 dalam bentuk nilai impedansi real (Z') dan nilai impedansi imajiner (Z'') [7]. Data digambarkan dalam bentuk kurva *Nyquist* pada gambar 4.



Gambar 4. Kurva *Nyquist* MEA dengan katalis Pt-Co/C

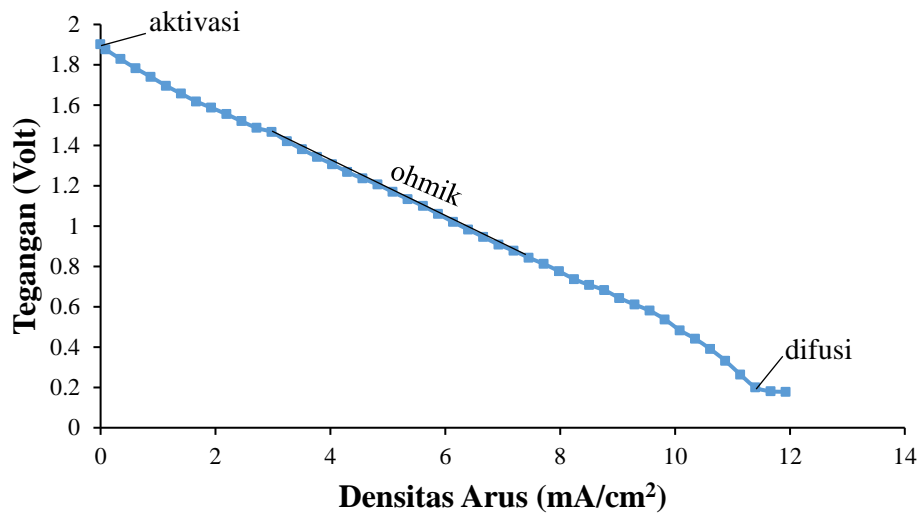
Kurva Nyquist menunjukkan hubungan antara impedansi real (Z') dan impedansi imajiner (Z'') [9]. Kurva impedansi berbentuk setengah lingkaran yang mendeskripsikan resistansi transfer muatan dari kinetika reaksi elektrokimia pada elektroda [10]. Berdasarkan kurva *nyquist* pada gambar maka didapatkan nilai R_s ($-5872,3\Omega$), R_p (79732Ω) dan Z_r ($73859,7 \Omega$) sehingga didapatkan nilai konduktivitas $1,544 \times 10^{-8}$ S/cm. Nilai impedansi berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas dan berbanding lurus dengan sifat kapasitifnya [11]. Materi yang memiliki nilai konduktivitas pada rentang 10^{-8} sampai 10^2 S/cm dapat dikatakan sebagai materi semi konduktor, sedangkan untuk materi dengan nilai konduktivitas pada rentang 10^2 sampai 10^4 S/cm dapat dikatakan bersifat konduktor [12]. Berdasarkan nilai konduktivitas yang didapatkan, elektroda yang digunakan pada penelitian ini dapat dikatakan sebagai material semikonduktor.

4.3. Uji Kinerja dan ketahanan MEA

MEA yang telah dikarakterisasi kemudian dilakukan uji peformanya dengan mengukur nilai OCV (*Open Circuit Voltage*). Pasokan gas hidrogen dan oksigen diatur menggunakan alat *Fuel Cell Test Station SMART2 WonAtech* dan pengujian atau pemberian beban (arus) dilakukan dengan menggunakan instrumen *electronic load*. Pengukuran nilai OCV dilakukan untuk mengetahui kinerja MEA dalam bentuk nilai tegangan awal elektroda pada kondisi MEA belum diberi beban [1]. Berdasarkan data hasil pengukuran, didapatkan nilai OCV sebesar 1,901 V. Umumnya nilai OCV akan berkurang seiring dengan semakin lamanya usia operasional dari MEA. Nilai OCV juga dapat menurun seiring berkurangnya daya tahan akibat dari kerusakan pada MEA [13]. Kemudian dilakukan pengujian kinerja terhadap MEA dengan penambahan beban yang bervariasi hingga tegangan yang dihasilkan mengalami penurunan yang signifikan.

4.3.1. Uji kinerja I-V pada MEA

Uji kinerja I-V pada MEA dilakukan dengan pengukuran tegangan yang dihasilkan dengan penambahan beban yang bervariasi. Berdasarkan data hasil pengukuran, didapatkan kurva I-V seperti pada gambar 5. Kurva menunjukkan penurunan tegangan akibat dari penambahan beban berupa densitas arus terhadap MEA.

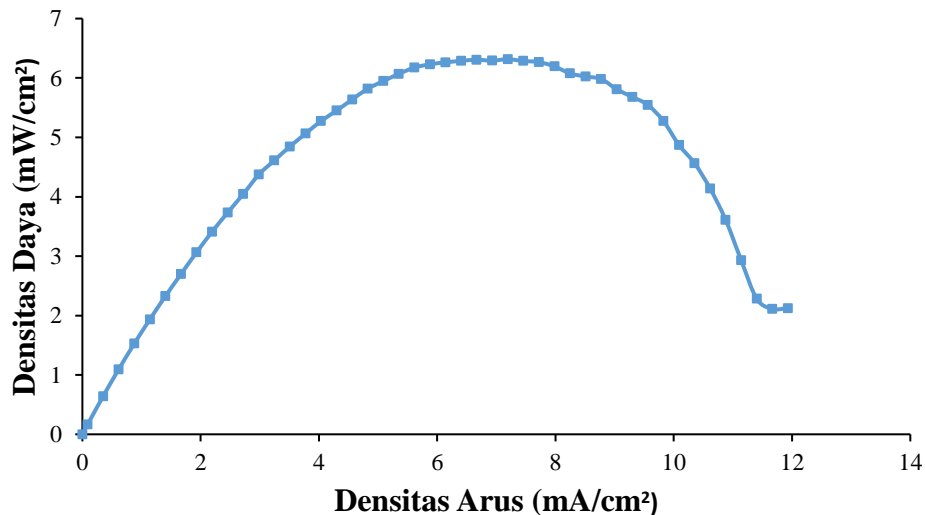


Gambar 5. Kurva I-V MEA dengan katalis Pt-Co/C

Kurva yang dihasilkan disebut dengan kurva polarisasi dan memiliki 3 jenis tingkat penurunan tegangan [14]. Semakin tinggi beban atau densitas arus yang diberikan maka semakin kecil tegangan yang dihasilkan. Penurunan tegangan yang pertama terjadi pada tegangan 1,877 V dan densitas arus 0,087 mA/cm² yang disebabkan oleh lambannya kinetika reduksi oksigen pada sisi katoda. Penurunan tegangan yang kedua terjadi pada tegangan 1,466 V sampai dengan 0,843 V dan densitas arus 2,982 mA/cm² sampai dengan 7,456 mA/cm². Tegangan menurun seiring meningkatnya beban yang diberikan, hal ini disebabkan oleh *ohmic loss* yang berasal dari ion yang mengalir melalui membran elektrolit dan elektron yang mengalir melalui lapisan elektroda dan *current collector* [15]. Penurunan tegangan yang terakhir terjadi pada beban densitas arus yang tinggi yaitu 11,403 mA/cm² dengan tegangan yang dihasilkan sebesar 0,2 V. Penurunan tegangan ini terjadi akibat dari transfer massa yang terbatas pada MEA [14].

4.3.2. Uji Kinerja I-P pada MEA

Densitas daya merupakan hasil kali antara tegangan dengan densitas arus dan hubungannya berbanding lurus. Semakin tinggi tegangan atau densitas arus maka semakin tinggi pula densitas daya yang dihasilkan, begitupula sebaliknya. Densitas daya mengindikasikan kinerja dari MEA yang digunakan, semakin besar densitas daya yang dihasilkan maka semakin baik kinerja dari MEA tersebut. Berdasarkan data hasil perhitungan, maka didapatkan hasil berupa kurva I-P seperti yang terlihat pada gambar 6.

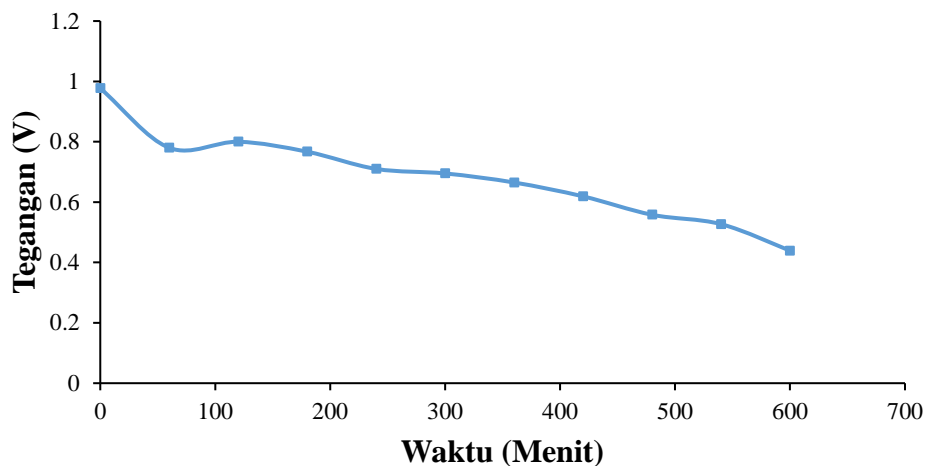


Gambar 6. Kurva I-P MEA dengan katalis Pt-Co/C

Kurva I-P yang didapat pada gambar 6 menunjukkan hasil pengukuran dengan densitas daya optimum sebesar $6,315 \text{ mW/cm}^2$ pada beban densitas arus $7,193 \text{ mA/cm}^2$. Kinerja MEA ditentukan dari densitas arus, semakin besar nilai densitas arus yang didapat maka semakin baik kinerja dari MEA tersebut. Densitas arus yang menghasilkan densitas daya optimum akan digunakan pada uji ketahanan MEA.

4.3.3. Uji Ketahanan pada MEA

Kemampuan MEA dalam mempertahankan kinerjanya pada densitas arus optimum dalam kurun waktu tertentu diukur untuk mengetahui daya tahan suatu MEA [16] (Tsotridis, 2015). MEA yang telah diketahui kinerjanya diuji ketahanannya terhadap waktu dengan mengoperasikan MEA pada beban densitas arus optimum pada pengujian sebelumnya sebesar $7,193 \text{ mA/cm}^2$ selama 10 jam. Beban yang digunakan sebesar 4,1 A sesuai dengan data hasil pengukuran. Berdasarkan data hasil pengukuran pada lampiran 6 maka didapatkan kurva ketahanan MEA yang dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Kurva pengaruh waktu terhadap kinerja MEA dengan katalis Pt-Co/C

MEA dikatakan baik apabila tidak memiliki perubahan kinerja yang signifikan terhadap kinerja awalnya. Seiring berjalannya waktu, penurunan kinerja MEA tidak dapat dihindari namun dapat diminimalisir [16]. Berdasarkan kurva pada gambar 7 tegangan awal yang dihasilkan adalah sebesar 0,977 V. Tegangan mengalami penurunan seiring berjalannya waktu, tegangan mengalami penurunan yang signifikan menjadi 0,78 V pada 60 menit pertama. Setelah mengalami penurunan, tegangan yang dihasilkan selanjutnya kembali stabil dikisaran 0,8-0,5 V dan jatuh di menit terakhir pada tegangan 0,439 V. Penurunan tegangan pada MEA terjadi secara perlahan sehingga dapat dikatakan MEA yang diuji memiliki daya tahan yang baik. Daya tahan Pengoperasian *fuel cell* dalam kurun waktu yang lama dapat menyebabkan penurunan kinerja MEA pada sistem PEMFC [17].

BAB V

KESIMPULAN DAN STATUS LUARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil analisa penelitian dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengukuran karakterisasi MEA dengan menggunakan metode CV didapatkan nilai ECSA sebesar $1,0011 \text{ cm}^2/\text{g}$ dan nilai konduktivitas dengan menggunakan metode EIS didapatkan nilai konduktivitas MEA sebesar $1,5439 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$.
2. Hasil uji terhadap MEA menghasilkan nilai densitas daya optimum $6,315 \text{ mW/cm}^2$ dan densitas arus optimum $7,193 \text{ mA/cm}^2$. Sedangkan uji ketahanan terhadap MEA didapatkan hasil berupa penurunan tegangan pada MEA sebesar $0,538 \text{ V}$ yaitu dari tegangan awal sebesar $0,977 \text{ V}$ hingga tegangan akhir $0,439 \text{ V}$.

5.2. Status Luaran

Luaran dari penelitian ini adalah draft paten sebagai luaran wajib serta prototype MEA untuk PEMFC yang digunakan sebagai back up power BTS Fuel Cell.

Luaran yang dijanjikan dari penelitian ini adalah:

1. Luaran Wajib berupa Draft Paten, status luaran masih dalam draft dengan judul “Metode Pembuatan Membrane Electrode Assembly (MEA) dengan Katalis Pt-Co/C dan Pt/C Untuk Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)” (terlampir).
2. Luaran tambahan : Prototype MEA dengan ukuran yang sama sesuai ukuran MEA yang digunakan pada stack PT. Cascadiant Indonesia. (produk prototype terlampir)

BAB VI

RENCANA PENELITIAN SELANJUTNYA

Rencana penelitian tahun ketiga sesuai proposal adalah:

- a. Merancang perangkat PEMFC multi stek meliputi bipolar plate dan MEA dengan jenis dan kandungan katalis terpilih.

Pembuatan MEA sesuai ukuran stack komersial membutuhkan bahan yang cukup banyak. Untuk itu, pembiayaan terbesar dan kegiatan terbesar pada tahun ketiga adalah untuk pembelian bahan dan pembuatan MEA.

- b. Membuat MEA untuk PEMFC multi stek dan melakukan uji prestasi dan ketahanan MEA pada PEMFC multi stek sebagai langkah awal proyeksi penggunaan untuk BTS.

Pengujian prestasi dan uji ketahanan PEMFC multi stack dilakukan dengan menggunakan MEA terpilih. Pengujian prestasi meliputi pengujian I-V dan I-P Performance serta uji ketahanan dilakukan melalui pengoperasian PEMFC dengan beban tertentu sebagai fungsi waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. H. Majlan, D. Rohendi, W. R. W. Daud, T. Husaini, and M. A. Haque, "Electrode for proton exchange membrane fuel cells: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 89, 2018.
- [2] D.-M. Suh and S. Park, "Transport phenomena in proton exchange membrane fuel cells and over-potential distribution of membrane electrode assembly," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 51, no. 2012, pp. 31–41, 2012.
- [3] S. Sharma and B. G. Pollet, "Support materials for PEMFC and DMFC electrocatalysts -A review," *J. Power Sources*, vol. 208, pp. 96–119, 2012.
- [4] W. R. W. Daud, A. B. Mohamad, A. A. H. Kadhum, R. Chebbi, and S. E. Iyuke, "Performance optimisation of PEM fuel cell during MEA fabrication," *Energy Convers. Manag.*, vol. 45, no. 20, pp. 3239–3249, 2004.
- [5] L. Xiong and A. Manthiram, "High performance membrane-electrode assemblies with ultra-low Pt loading for proton exchange membrane fuel cells," *Electrochim. Acta*, vol. 50, no. 16–17, pp. 3200–3204, 2005.
- [6] H. N. Su, Q. Zeng, S. J. Liao, and Y. N. Wu, "High performance membrane electrode assembly with ultra-low platinum loading prepared by a novel multi catalyst layer technique," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 19, pp. 10430–10436, 2010.
- [7] D. H. Ahmed and H. J. Sung, "Design of a deflected membrane electrode assembly for PEMFCs," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 51, no. 21–22, pp. 5443–5453, 2008.
- [8] Y. H. Yun, S. D. Kim, S. W. Park, J. Y. Lee, S. C. Yi, and W. J. Kim, "Cell performance of MEA fabricated with Pt-ZSM-5-carbon electrode for PEMFC," *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 131, no. 1–3, pp. 122–127, 2010.
- [9] V. Radhakrishnan and P. Haridoss, "Effect of GDL compression on pressure drop and pressure distribution in PEMFC flow field," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 36, no. 22, pp. 14823–14828, 2011.
- [10] Y. Ra, J. Lee, I. Kim, S. Bong, and H. Kim, "Preparation of Pt – Ru catalysts on Nafion (Na +) -bonded carbon layer using galvanostatic pulse electrodeposition for proton-exchange membrane fuel cell," vol. 187, pp. 363–370, 2009.
- [11] W. Song, H. Yu, L. Hao, Z. Miao, B. Yi, and Z. Shao, "A new hydrophobic thin film catalyst layer for PEMFC," *Solid State Ionics*, vol. 181, no. 8–10, pp. 453–458, 2010.
- [12] S. Litster and G. Mclean, "PEM fuel cell electrodes," vol. 130, pp. 61–76, 2004.
- [13] W. Bi and T. F. Fuller, "Modeling of PEM fuel cell Pt / C catalyst degradation," vol. 178, pp. 188–196, 2008.
- [14] J. Wu *et al.*, "A review of PEM fuel cell durability: Degradation mechanisms and mitigation strategies," vol. 184, pp. 104–119, 2008.
- [15] S. Zhang *et al.*, "A review of accelerated stress tests of MEA durability in PEM fuelcells," vol. 34, pp. 388–404, 2009.
- [16] X. Yuan, H. Li, S. Zhang, J. Martin, and H. Wang, "A review of polymer electrolyte

- membrane fuel cell durability test protocols,” *J. Power Sources*, vol. 196, no. 22, pp. 9107–9116, 2011.
- [17] M. Prasanna, E. A. Cho, T. H. Lim, and I. H. Oh, “Effects of MEA fabrication method on durability of polymer electrolyte membrane fuel cells,” *Electrochim. Acta*, vol. 53, no. 16, pp. 5434–5441, 2008.
- [18] S. Zhang *et al.*, “Effects of open-circuit operation on membrane and catalyst layer degradation in proton exchange membrane fuel cells,” vol. 195, pp. 1142–1148, 2010.
- [19] D. Rohendi, E. H. Majlan, A. B. Mohamad, W. R. Wan Daud, A. A. Hassan Kadhum, and L. K. Shyuan, “Characterization of electrodes and performance tests on MEAs with varying platinum content and under various operational conditions,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 38, no. 22, 2013.
- [20] D. Rohendi, E. H. Majlan, A. B. Mohamad, and W. R. W. Daud, “Effect of PTFE content and sintering temperature on the properties of a fuel cell electrode backing layer,” pp. 1–22.
- [21] D. Rohendi, E. H. Majlan, A. B. Mohamad, W. R. W. Daud, A. A. H. Kadhum, and L. K. Shyuan, “Effects of temperature and backpressure on the performance degradation of MEA in PEMFC,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 40, no. 34, 2015.
- [22] R. E. Rosli *et al.*, “Study of hydrogen consumption by control system in proton exchange membrane fuel cell,” *Malaysian J. Anal. Sci.*, vol. 20, no. 4, 2016..

LAMPIRAN

1. Lampiran 1: Draft Paten

Deskripsi

METODE PEMBUATAN MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) DENGAN KATALIS Pt-Co/C DAN Pt/C UNTUK PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)

Bidang Teknik Invensi

Invensi ini berhubungan dengan metode pembuatan *membrane electrode assembly* (MEA) sebagai bagian terpenting dari *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) dimana proses elektrokimia pengubahan energi kimia dalam bahan bakar hidrogen menjadi energi listrik terjadi. PEMFC adalah salah satu jenis fuel cell yang mengkonversi gas hidrogen dan gas oksigen menjadi listrik dan air sebagai buangan.

Latar Belakang Invensi

Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) merupakan salah satu jenis fuel cell suhu rendah yang banyak dipergunakan dalam peralatan mudah alih, kendaraan dan di Indonesia sudah digunakan sebagai back up power *Base Transceiver Station* (BTS).

Komponen terpenting dalam PEMFC adalah *Membrane Electrode Assembly* (MEA) yang merupakan pusat reaksi elektrokimia pengubahan gas hidrogen (bahan bakar) dan oksigen (oksidan) menjadi energi listrik dan air sebagai buangan. MEA terdiri atas dua buah elektroda (anoda dan katoda) yang mengapit membrane elektrolit padatan. Karena mempunyai fungsi sangat penting, maka penelitian MEA berkembang sedemikian rupa meliputi penelitian mengenai elektroda (baik *Gas Diffusion Layer*/GDL maupun *Catalyst Layer*/CL), membrane elektrolit, maupun kondisi dalam proses pembuatan MEA.

Dalam proses pembuatan MEA, faktor terpenting yang dapat mempengaruhi kinerja MEA adalah komposisi elektroda, jenis membran dan kondisi pelekatan elektroda terhadap membran. Proses pelekatan dilakukan dengan metode penekanan panas pada berbagai temperatur dan

tekanan. Beberapa kondisi proses penekanan MEA antara lain menggunakan tekanan 1000 psi, suhu 100°C selama 2 menit (Therdthianwong, Manomayidthikarn et al. 2007), tekanan 10 MPa pada suhu 125°C selama 90 detik (Tang, Wang et al. 2007).

Paten yang terkait proses pembuatan MEA antara lain paten nomor US 6,524,736 B1 yang membahas penggunaan pendukung berpori untuk mengendalikan pengeringan elektroda, serta penggunaan pelarut basah dan tak terbasahi untuk mengontrol rembesan ionomer ke dalam pendukung berpori. Sementara itu, paten nomor US 7,098,163 B2 membahas proses pembuatan elektroda menggunakan metode pencetakan (*printing*) dan pelapisan (*Coating*). Paten nomor US 7,837,819 B2 membahas proses pembuatan MEA dengan metode penyemprotan dan pelapisan CL langsung kepada membran elektrolit dan diikat dengan binder supaya didapatkan lapisan elektroda yang melekat pada membrane elektrolit. Sementara pada invensi ini, Cl disemprotkan ke atas GDL kemudian dilekatkan pada membran elektrolit dengan penekanan panas.

Uraian Singkat Invensi

Objek yang dihasilkan dalam invensi ini adalah metode pembuatan MEA, khususnya pada proses pelekatan kedua elektroda (katoda dan anoda) pada kedua sisi membran elektrolit. *Catalyst Layer* (CL) pada invensi ini terdiri atas tiga lapisan dan membrane elektrolit yang digunakan adalah membran nafion 212 (NR 212). Setelah kedua elektroda dilekatkan pada masing-masing sisi membran yang berseberangan, kedua sisi MEA dilapisi aluminium foil dan dilekatkan dengan penekanan panas pada mesin hotpres.

Uraian Lengkap Invensi

Metode pembuatan MEA pada invensi ini dilakukan dengan terlebih dahulu membuat elektroda dengan tiga lapisan utama yaitu: Lapisan pertama berupa *Backing Layer* (BL) menggunakan *Carbon Paper P75T CPS* (Ballards, Canada), lapisan kedua berupa *Microporous Layer* (MPL) yang terdiri atas campuran *carbon black vulcan XC72* dan PTFE solution dan lapisan ketiga yaitu *Catalyst Layer* (CL) yang terdiri atas tiga lapisan. Kandungan total Pt-Co/C sebagai katalis dalam CL adalah $0,5 \text{ mg.cm}^2$ di anoda yang terdiri atas $0,25 \text{ mg.cm}^{-2}$ di CL lapisan pertama dan $0,25 \text{ mg.cm}^{-2}$ di CL lapisan kedua. Sementara itu, kandungan total katalis Pt dalam katoda adalah $0,7 \text{ mg.cm}^{-2}$ yang terbagi menjadi $0,25 \text{ mg.cm}^{-2}$ di CL lapisan pertama dan $0,45 \text{ mg.cm}^{-2}$ di lapisan kedua. Selain Pt, komponen lain yang ada pada CL lapisan pertama adalah PTFE solution dengan konsentrasi 20 % berat Pt/C menggunakan pelarut 2-propanol. Pada lapisan CL kedua, selain Pt, komponen lain adalah nafion solution dengan konsentrasi 17,5 % berat Pt/C dan lapisan CL ketiga terdiri atas nafion solution dengan konsentrasi 17,5 % berat Pt/C lapisan CL kedua di anoda dan 15 % berat Pt/C lapisan CL kedua di katoda.

Setelah dipanaskan dalam oven pada suhu 110°C selama 1 jam, elektroda (katoda dan anoda) dilekatkan pada kedua sisi membran nafion 212 (NR 212) yang telah dibuang lapisan plastik pembungkusnya membentuk MEA, kemudian kedua sisi elektroda yang mengapit kedua sisi membran elektrolit dilapisi aluminium foil, dan dilapisi lagi pelat *stainless steel* di kedua sisi aluminium foil serta dimasukkan ke dalam alat hotpres dan ditekan panas pada tekanan 2000 psi, suhu 135°C selama 3 menit.

Klaim

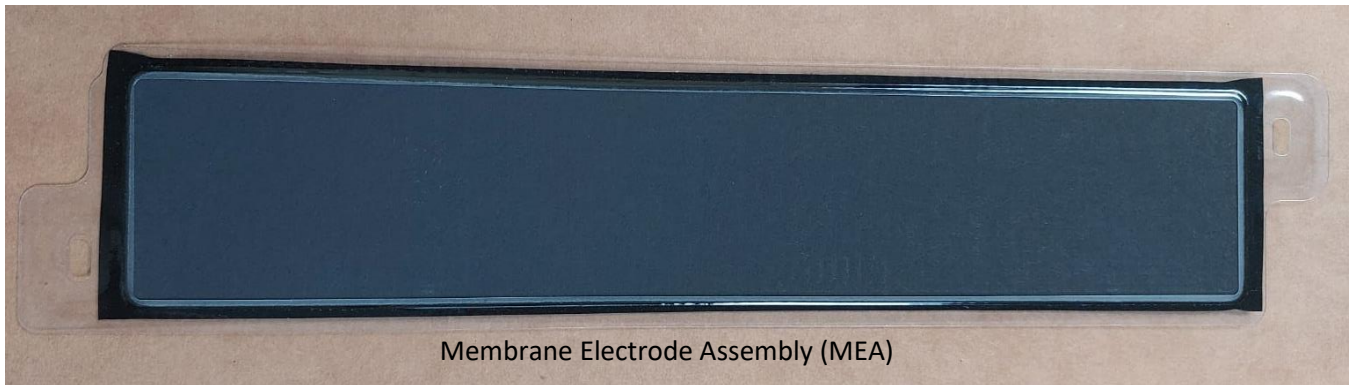
1. Metode pembuatan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) meliputi langkah-langkah:
 - a. Pembuatan elektroda terdiri atas tiga lapisan yaitu:
 - 1) *Backing Layer* (BL) menggunakan *Carbon Paper P75T CPS*;
 - 2) *Microporous Layer* (MPL) yang terdiri atas campuran *carbon black vulcan XC72* dengan kandungan $3,0 \text{ mg.cm}^{-2}$, ammonium bikarbonat dan PTFE solution TE 3859 (60 % berat) dengan kandungan 30 % berat total dan 2-propanol sebagai pelarut.
 - 3) *Catalyst Layer* (CL). CL terdiri atas tiga lapisan. Lapisan pertama mengandung katalis Pt-Co/C di anoda dengan kandungan katalis Pt-Co/C $0,25 \text{ mg.cm}^{-2}$ dan PTFE 20% berat dengan pelarut 2-propanol baik. Kondisi yang sama katoda dengan menggunakan katalis Pt/C. CL lapisan kedua terdiri atas katalis Pt dengan Kandungan katalis $0,25 \text{ mg.cm}^{-2}$ di anoda dan $0,45 \text{ mg.cm}^{-2}$ di katoda. selain Pt, komponen lain pada CL lapisan kedua adalah nafion solution dengan konsentrasi 17,5 % berat Pt/C. Lapisan CL ketiga terdiri atas nafion solution dengan konsentrasi 17,5 % berat Pt/C lapisan CL kedua di anoda dan 15 % berat Pt/C lapisan CL kedua di katoda;
 - b. Elektroda yang terbentuk pada point 1.a dipanaskan dalam oven pada suhu di atas 110°C selama 1 jam.
 - c. Dua buah elektroda (katoda dan anoda) yang telah dibuat pada point 1.a s.d.1.b, dilekatkan pada kedua sisi membran nafion 212 (NR 212) yang telah dibuang lapisan plastik pembungkusnya untuk membentuk MEA.
 - d. Kedua elektroda yang mengapit kedua sisi membran elektrolit dilapisi aluminium foil dan ditutup pelat *stainless steel* pada kedua sisi aluminium foil kemudian dimasukkan ke dalam alat hotpress dan ditekan panas pada tekanan tidak kurang dari 2000 psi, suhu tidak kurang dari 135°C selama 3 menit.
2. MEA yang dibuat berdasarkan point 1.1 mempunyai kerapatan arus sebesar $719.92 \text{ mA.cm}^{-2}$ pada tegangan 0,6 V dan mempunyai kerapatan daya terbesar sebesar $439.15 \text{ mW.cm}^{-2}$.

Abstrak

METODE PEMBUATAN MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) DENGAN KATALIS Pt-Co/C DAN Pt/C UNTUK PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)

Invensi ini berhubungan dengan metode pembuatan MEA untuk Proton Exchange membrane Fuel Cell (PEMFC) menggunakan elektroda yang telah dibuat dengan kandungan katalis Pt-Co/C total $0,5 \text{ mg.cm}^{-2}$ di anoda dan Pt/C $0,7 \text{ mg.cm}^{-2}$ di katoda serta menggunakan membran elektrolit nafion 212 (NR 212). MEA dibuat dengan melekatkan katoda dan anoda pada kedua sisi membran elektrolit dengan cara penekanan panas pada 2000 psi selama 3 menit pada suhu 135°C . MEA yang dibuat mempunyai kerapatan arus sebesar $719.92 \text{ mA.cm}^{-2}$ pada tegangan 0,6 V dan mempunyai kerapatan daya terbesar $439.15 \text{ mW.cm}^{-2}$

2. Lampiran 2: Prototype MEA



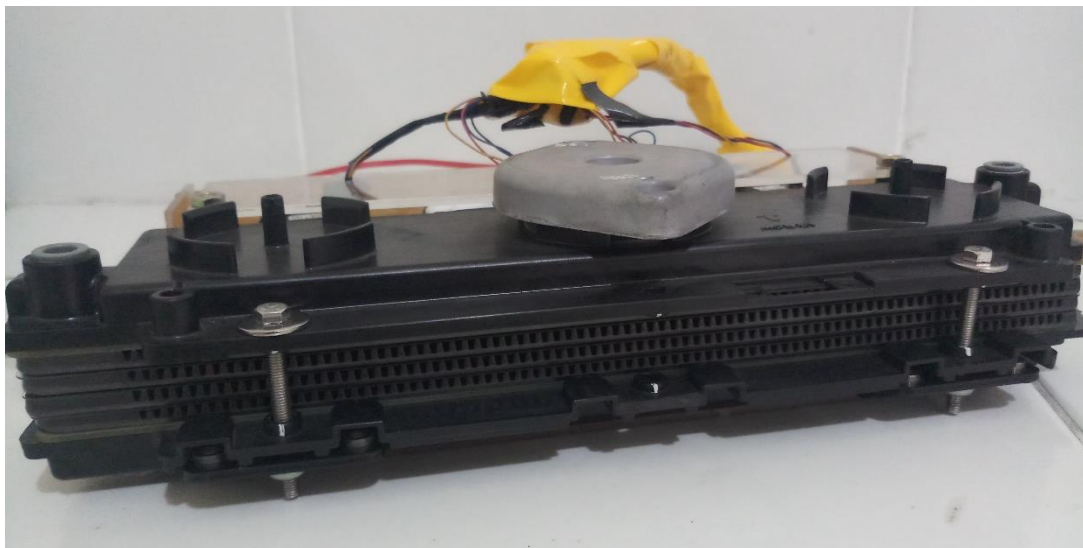
Keterangan Prototype MEA yang dihasilkan:

- a. Ukuran Elektroda : 30 x 6,33 cm²
- b. Jenis Membran Elektrolit : Nafion-212
- c. Katalis di Katoda : Pt/C dengan loading katalis 0,5 mg/cm²
- d. Katalis di Anoda : Pt-Co/C dengan loading katalis 0,5 mg/cm²
- e. Backing Layer : Carbon Paper P-75T dari Dupont

3. Lampiran 3: Kontribusi Mitra

REALISASI KETERLIBATAN/KOTRIBUSI MITRA

1. Nama Mitra : PT. Cascadiant Indonesia
2. Kedudukan : Jakarta
3. Bidang Usaha : Penyedia peralatan back up power Fuel Cell pada BTS
4. Direktur Utama : Rahmadi Budiman, S.T, M.T.
5. Bentuk Kontribusi : a. Penyediaan Stack PEMFC (Current Collector, End Plate, Bipolar Plate dan channelling gas untuk tempat uji MEA.
b. MEA yang rusak untuk rekondisi dan patokan ukuran
c. Hibah Peralatan Fuel Cell 5 kW untuk back up power (terlampir)
d. Invitation Letter PT. Cascadiant (terlampir)
e. Surat dukungan sebagai mitra (terlampir)
6. Gambar peralatan kontribusi mitra:
 - a. Peralatan Stack PEMFC (End Plate, Current Collector dan channelling gas serta bipolar plate) untuk tempat ujia MEA



- b. Bipolar Plate tempat aliran gas pereaksi



- c. MEA yang rusak untuk direkondisi



8. Invitation Letter

Jakarta, 15 maret 2018

Kepada Rektor UNSRI

c.q. Wakil Rektor Bidang Kerjasama

di

tempat.

Dengan hormat,

Menindaklanjuti komunikasi kami dengan Dr. Dedi Rohendi (Staf Dosen UNSRI) mengenai peninjauan kerjasama dalam pengembangan Fuel Cell antara PT. Cascadiant Indonesia dengan UNSRI, melalui surat ini kami mengundang Bapak dan tim peneliti Fuel Cell UNSRI untuk berkunjung dan berdiskusi sekaligus meninjau fasilitas yang ada di tempat kami. Mengenai waktunya, kami serahkan pada keluangan waktu Bapak dan tim UNSRI.

Demikian surat ini kami sampaikan. Kami menunggu konfirmasi selanjutnya dari Bapak.

Atas perhatian dan kerjasamanya, kami sampaikan terima kasih

Hormat kami,

PT. Cascadiant Indonesia

A handwritten signature in blue ink is written over a circular blue stamp. The stamp contains the text "PT. CASADIANT INDONESIA" around the perimeter and a stylized wave or sun-like symbol in the center.

Rahmadi Budiman
Managing Director

9. Surat Persetujuan Mitra



SURAT PERSETUJUAN SEBAGAI MITRA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Rahmadi Budiman, S.T, M.T**
Jabatan : **Direktur PT Cascadiant Indonesia**

Menyatakan persetujuan sebagai Mitra riset dari:

Nama : **Dr. Dedi Rohendi, M.T**
NIP : **196704191993031001**
Instansi : **Pusat Unggulan Riset Fuel Cell dan Hidrogen Universitas Sriwijaya**

Sehubungan dalam bidang riset Fuel Cell dan bahan bakar Fuel Cell (Hydrogen dan Methanol) di Pusat Unggulan riset Fuel Cell dan Hydrogen Universitas Sriwijaya, melalui surat ini kami menyatakan bersedia bekerja sama dalam proses *hilirisasi* produk riset Fuel Cell dan Methanol sepanjang produk masih memenuhi spesifikasi yang diharapkan.

Demikian surat persetujuan ini diberikan untuk dipergunakan sebagaimana semestinya.

Jakarta, 05 Juli 2022


Rahmadi Budiman, S.T,M.T
Direktur PT Cascadiant Indonesia