

Ringkasan penelitian tidak lebih dari 500 kata yang berisi latar belakang penelitian, tujuan dan tahapan metode penelitian, luaran yang ditargetkan, serta uraian TKT penelitian yang diusulkan.

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 elektrodposisi. 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.

Kata kunci maksimal 5 kata

Kata Kunci: MEA, semburan, Pt-Co/C, PEMFC, BTS

Latar belakang penelitian tidak lebih dari 500 kata yang berisi latar belakang dan permasalahan yang akan diteliti, tujuan khusus, dan urgensi penelitian. Pada bagian ini perlu dijelaskan uraian tentang spesifikasi khusus terkait dengan skema.

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 skim hibah penelitian.

Pada penelitian sebelumnya yang didanai oleh Program Insinas Ristek tahun 2014, telah dikaji dan dibandingkan dua buah metode pembuatan elektroda yaitu metode elektrodposisi dan metode semburan, dan mendapatkan data bahwa elektroda yang dibuat dengan metode semburan menunjukkan prestasi yang lebih baik dibandingkan metode elektrodposisi. 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.

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.

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.

Tinjauan pustaka tidak lebih dari 1000 kata dengan mengemukakan *state of the art* dan peta jalan (*road map*) dalam bidang yang diteliti. Bagan dan *road map* dibuat dalam bentuk JPG/PNG yang kemudian disisipkan dalam isian ini. Sumber pustaka/referensi primer yang relevan dan dengan mengutamakan hasil penelitian pada jurnal ilmiah dan/atau paten yang terkini. Disarankan penggunaan sumber pustaka 10 tahun terakhir.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian fuel cell khususnya PEMFC berkembang secara simultan pada berbagai segi, baik dari sisi eksplorasi dan optimasi kerja komponen, variasi kondisi operasi maupun dari sisi aplikasi. Perangkat PEMFC terdiri atas stek PEMFC yang mengandung MEA, sistem saluran bahan bakar dan 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 penyokong dan 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, yaitu 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 teracun. 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 metode spraying [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 <i>CL</i> , GDL, plat dwikutub dan kajian ujian percepatan	[14]
	Kajian uji percepatan	Metode penyelidikan degradasi <i>CL</i> , degradasi platina dan degradasi karbon.	[15]

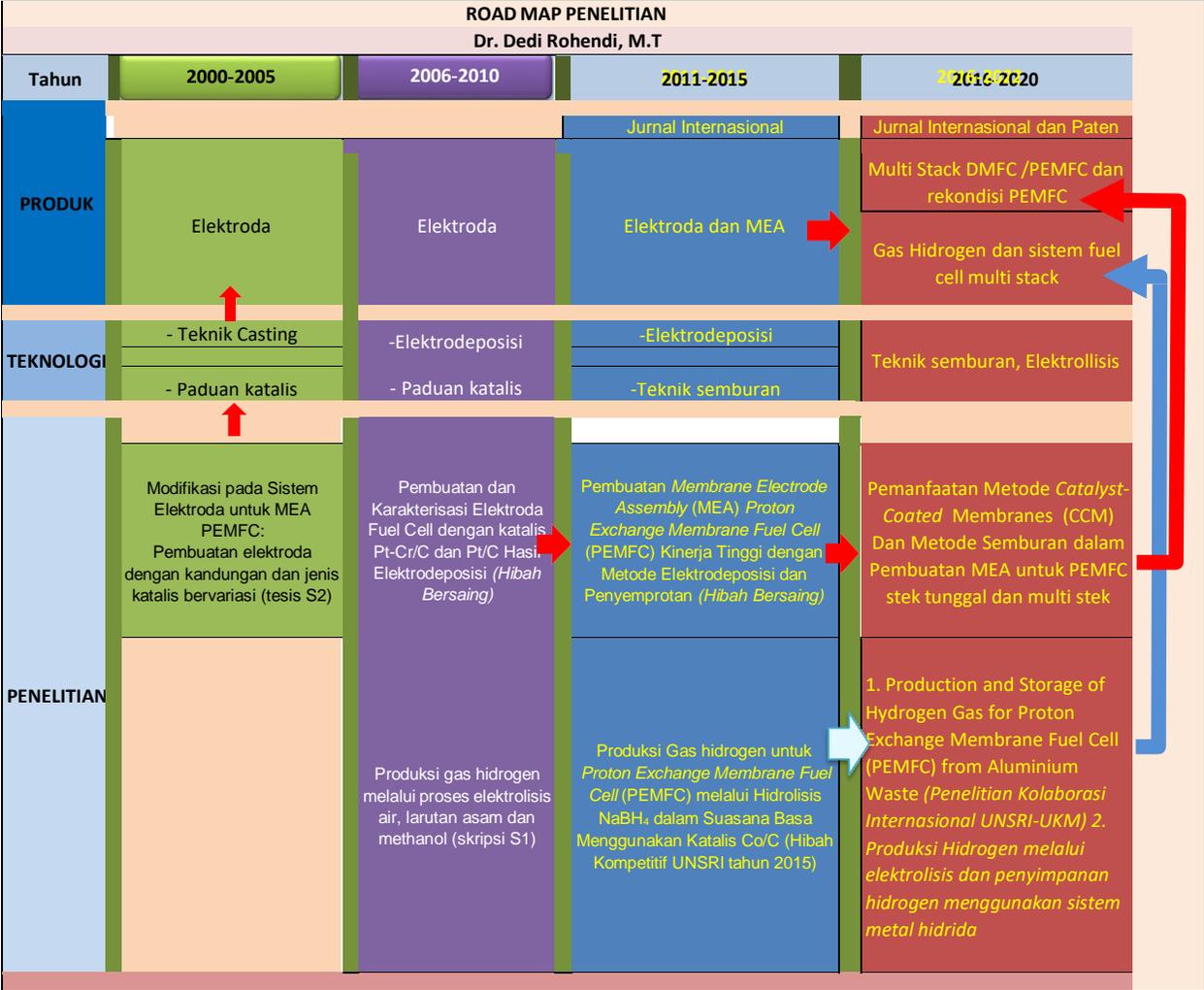
Protokol uji ketahanan	Kajian degradasi PEMFC, protokol ujian percepatan komponen dan stek	[16]
Pengaruh pembuatan MEA terhadap ketahanan	MEA yang dibuat dengan kaedah CCM menghasilkan laju degradasi terendah berbanding kaedah lainnya.	[17]
Uji ketahanan dalam kondisi OCV	Perubahan struktur dalam membran 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 (Disertasi S3)					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

Metode atau cara untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan ditulis tidak melebihi 600 kata. Bagian ini dilengkapi dengan diagram alir penelitian yang menggambarkan apa yang sudah dilaksanakan dan yang akan dikerjakan selama waktu yang diusulkan. Format diagram alir dapat berupa file JPG/PNG. Bagan penelitian harus dibuat secara utuh dengan penahapan yang jelas, mulai dari awal bagaimana proses dan luarannya, dan indikator capaian yang ditargetkan. Di bagian ini harus juga mengisi tugas masing-masing anggota pengurus sesuai tahapan penelitian yang diusulkan.

METODE

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 awal proyeksi 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 capaian penelitian 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	<ol style="list-style-type: none"> a. Mengkoordinir Penelitian b. Membuat MEA dan analisis kinerja MEA c. Menyusun Laporan
2	Dr. Nirwan Syarif, M.Si	Anggota Tim Peneliti/ Elektrokimia - Baterai	<ol style="list-style-type: none"> a. Analisis CV-EIS b. Stacking – rangkaian listrik
3	Dwi Hawa Yulianti, M.Si	Pembantu Peneliti / Kimia - MEA	<ol style="list-style-type: none"> a. Pembuaan GDL-MEA b. Uji knierja dan ketahanan MEA
4	Nyimas Febrika Sya'baniah, M.Si	Pembantu Peneliti / Kimia-	<ol style="list-style-type: none"> a. Karakterisasi elektroda b. Proses Stacking
5	Icha Amelia, S.Si	Tenaga Administrasi / Kimia	<ol style="list-style-type: none"> a. Administrasi penelitian + log book b. Desain percobaan c. Penyusunan laporan

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

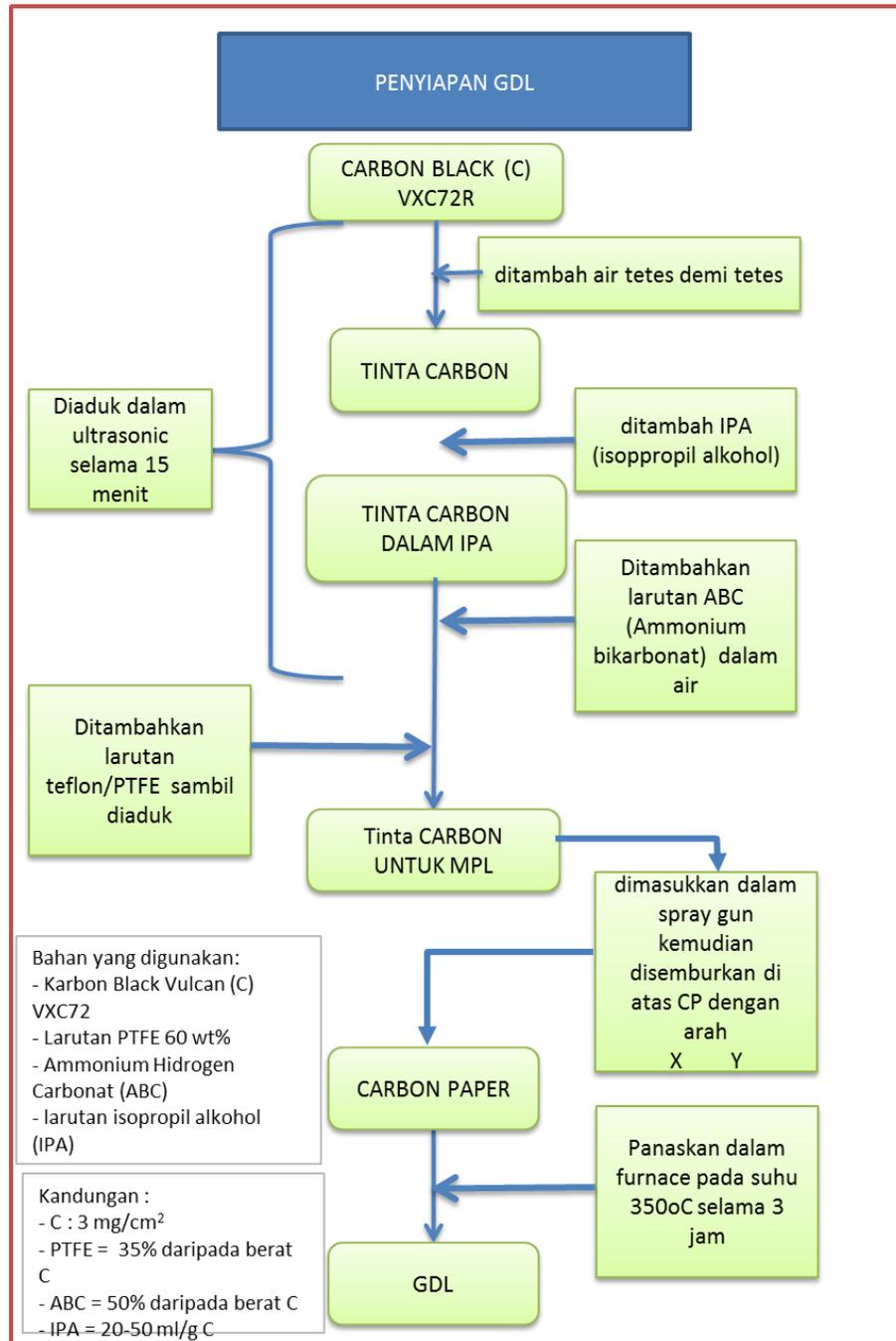
Tahapan Pekerjaan	Mekanisme Pekerjaan	Peralatan dan bahan yang digunakan	Indikator Capaian	Personil yang terlibat dan Tugas Masing masing	Luaran
1. Pembuatan Gas Diffusion Layer (GDL) merujuk (Rohendi, Majlan et al. 2013) <i>(tahun pertama)</i>	a. Pembuatan GDL dilakukan dengan menempelkan tinta MPL (Microporous Layer) menggunakan metode semburan ke atas <i>Backing layer</i> (BL) berupa <i>carbon paper</i> b. Pengeringan GDL dalam furnace selama 3 jam pada 350°C	a. ultrasonic homogenizer b. peralatan spraying gun c. karbon vulcan XC-72R (10 g), d. Carbon paper Avcab P75T (5 lembar 10 x 10 cm) e. Isopropanol (200 mL), f. ammonium bikarbonat (2 g) g. emulsi PTFE (1 g)	Dihasilkan GDL sebagai penopang lapisan katalis dan MEA	Dr. Dedi Rohendi, M.T (Koordinator) / Kimia Dwi Hawa Yulianti, M.Si /Kimia (Pembantu Peneliti)	
2. Pembuatan/sintesis Katalis Pt-Co/C (Tahun pertama)	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. b. Campuran katalis dialirkan gas Hidrogen dan dipanaskan pada suhu 450°C. c. Katalis yang terbentuk dicuci dengan air untuk menghilangkan ion klorida. d. Katalis yang terbentuk dianalisis menggunakan XRD	a. Hotplate b. Vakuun Furnace c. Gas Hidrogen d. $H_2PtCl_6.6H_2O$ (4 g) e. $CoCl_2.6H_2O$ (100 g) f. Carbon vulcan XC72R (100 g) g. Air demin	Dihasilkan katalis Pt-Co/C yang dibuktikan dengan analisis XRD	Dr. Dedi Rohendi, M.T (Koordinator) Dr. Nirwan Syarif, M.Si Nyimas Febrika, M.Si (Pembantu peneliti)	
3. Pembuatan elektroda dengan metode Semburan merujuk (Rohendi, Majlan et al. 2013) 4. Pembuatan draft paten <i>(tahun pertama)</i>	a. Pembuatan CL (berupa campuran katalis, propanol, nafion solution dan PTFE solution) b. Menempelkan lapisan catalyst layer dengan katalis Pt-Co/C (berupa pasta katalis dalam karbon dengan kandungan bervariasi) ke atas GDL dengan metode semburan c. karakterisasi elektroda dengan CV, EIS	a. ultrasonic homogenizer b. peralatan spraying gun c. karbon vulcan XC-72 (10g), d. Isopropanol (200 mL) e. Pt-Co/C (10 g) f. ammonium bikarbonat (10 g) g. emulsi PTFE (10 g) h. nafion solution (50 mL) i. oven j. Potensiostat/Galvanostat	a. Dihasilkan elektroda diperoleh data data CV dan EIS b. Tersedia draft paten	Dr. Dedi Rohendi, M.T (Koordinator) Dr. Nirwan Syarif, M.Si (Analisis CV dan EIS) Dwi Hawa Yulianti, M.Si (Pembantu Peneliti)	Submit Paten
5. Pembuatan dan pengujian kinerja dan daya tahan MEA untuk sel tunggal <i>(tahun kedua)</i> 6. Merancang draft publikasi dan submit paper ke Jurnal Internasional	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 b. MEA diuji kinerja dan daya tahannya pada PEMFC stek tunggal menggunakan fuel cell test station	a. Elektroda dengan berbagai perbandingan katalis b. Membran elektrolit nafion 212 (100 cm ²) c. Hot press k. Potensiostat/Galvanostat d. EIS e. Fuel Cell test Station WonAtech Smart 2	a. Dihasilkan MEA dengan kinerja tinggi a. diperoleh data CV dan EIS b. Diperoleh data kinerja PEMFC sel tunggal.	a. Dr. Dedi Rohendi, M.T (Pembuatan MEA) b. Dr. Nirwan Syarif (Karakterisasi MEA) c. Dwi Hawa Yulianti, M.Si (Pembantu Peneliti)	1. Dihasilkan Prototype MEA untuk PEMFC stek tunggal. 2. Submit Paper ke Jurnal Internasional
7. Perancangan dan pembuatan perangkat PEMFC multi stek <i>(tahun ketiga)</i>	a. PEMFC multi stek terdiri atas bipolar plate, end Plate, dan gasket serta MEA b. MEA dibuat	a. MEA (Elektroda plus membran nafion 212) - Katalis Pt-Co/C - Karbon vulcan - Carbon paper Avcab P75T - PTFE Solution - Nafion Solution	Dihasilkan PEMFC Multi stek	a. Dr. Dedi Rohendi, M.t. (Pembuatan MEA) b. Dr. Nirwan Syarif (Pembuatan Bipolar Plate) c. Nyimas Febrika, M.Si (pelaksana)	Dihasilkan prototype PEMFC multi stek

Tabel 5. Tahapan Pekerjaan dan Mekanisme Pekerjaan serta peralatan dan Indikator Capaian (lanjutan)

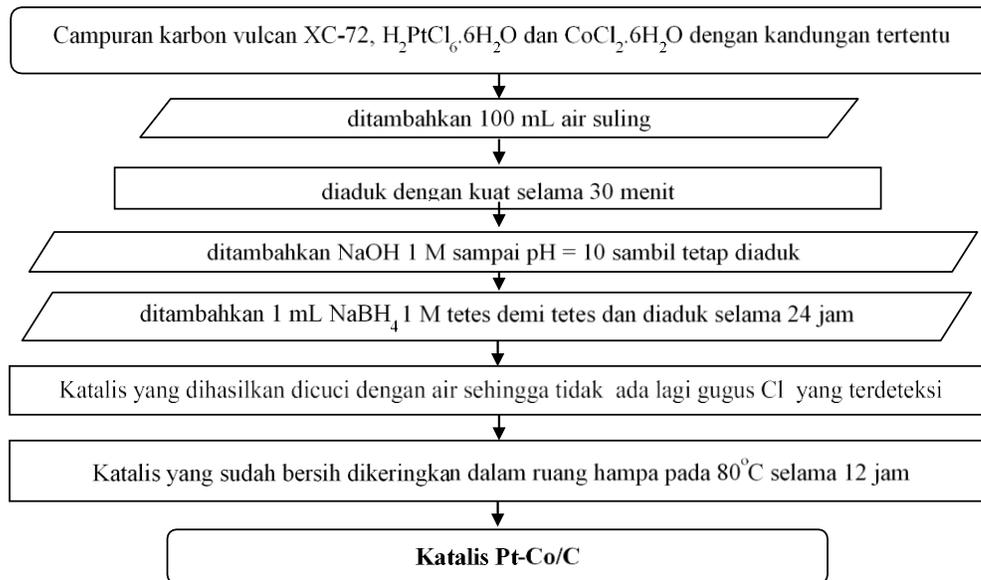
		<ul style="list-style-type: none"> - Membran Nafion 212 - Isopropanol - Ammonium bikarbonat <p>b. Bipolar plate c. Gasket d. Pengumpul arus</p>			
8. Pengujian kinerja dan ketahanan fuel cell multi stek (<i>tahun ketiga</i>)	<p>a. Perancangan dan pemasangan alat</p> <p>b. Uji prestasi dan ketahanan</p>	<p>a. Gas Hidrogen</p> <p>b. Gas oksigen</p> <p>c. Gas Nitrogen</p> <p>d. Stack PEMFC</p> <p>e. Fuel cell station</p> <p>f. Potensiostat /galvanostat</p>	Didapatkan hasil pengujian prestasi dan ketahanan PEMFC multi stek	<p>a. Dr. Dedi Rohendi, M.T (Pengujian kinerja MEA)</p> <p>b. Dr. Nirwan Syarif, M.Si (Pembuatan sistem Fuel cell)</p> <p>c. Dwi Hawa Yulianti, M.Si (Pelaksana)</p> <p>d. Icha Amelia, S.Si (tenaga admin)</p>	<p>a. Jurnal accepted</p> <p>b. Prototype PEMFC Multi stek</p>

Diagram alir penelitian sebagai berikut:

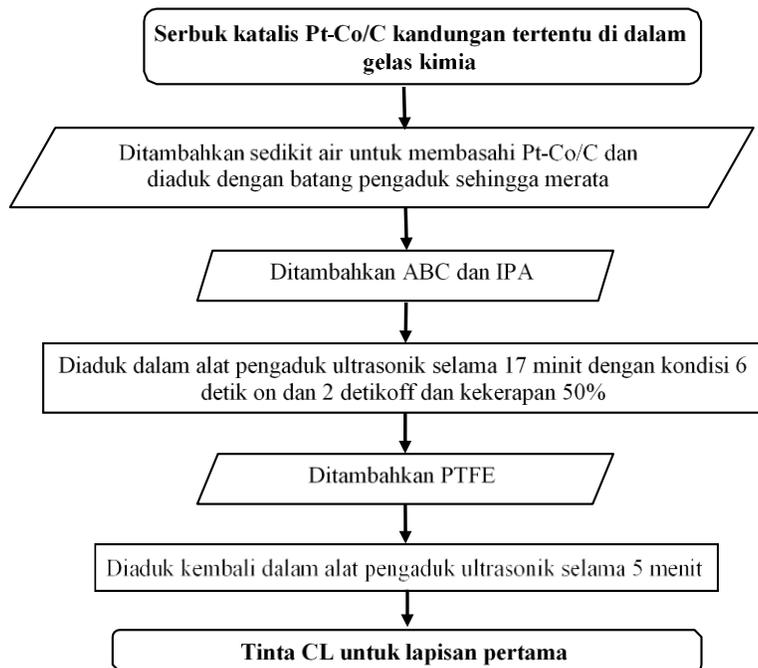
1) Pembuatan GDL



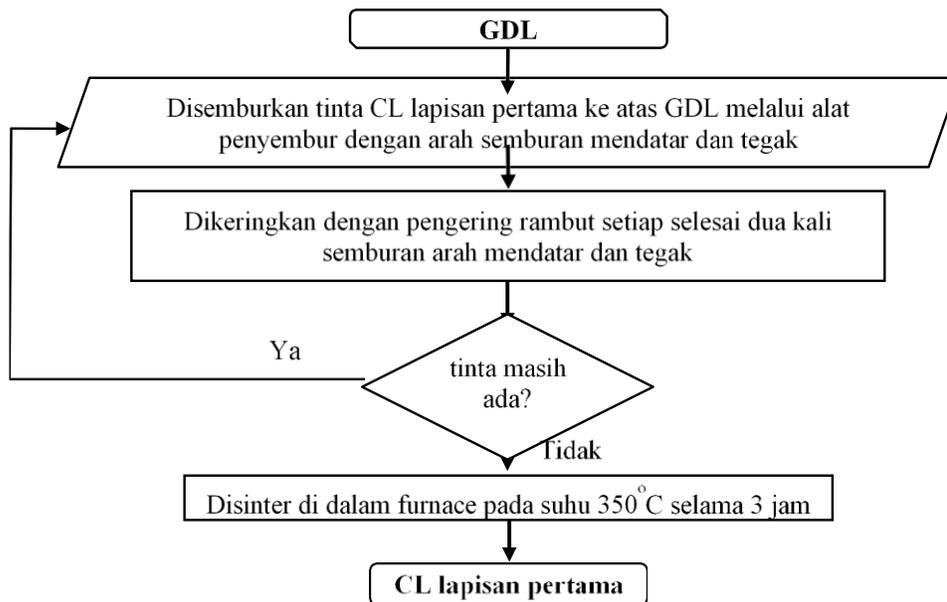
2) Pembuatan Katalis Pt-Co/C dengan Metode Reduksi



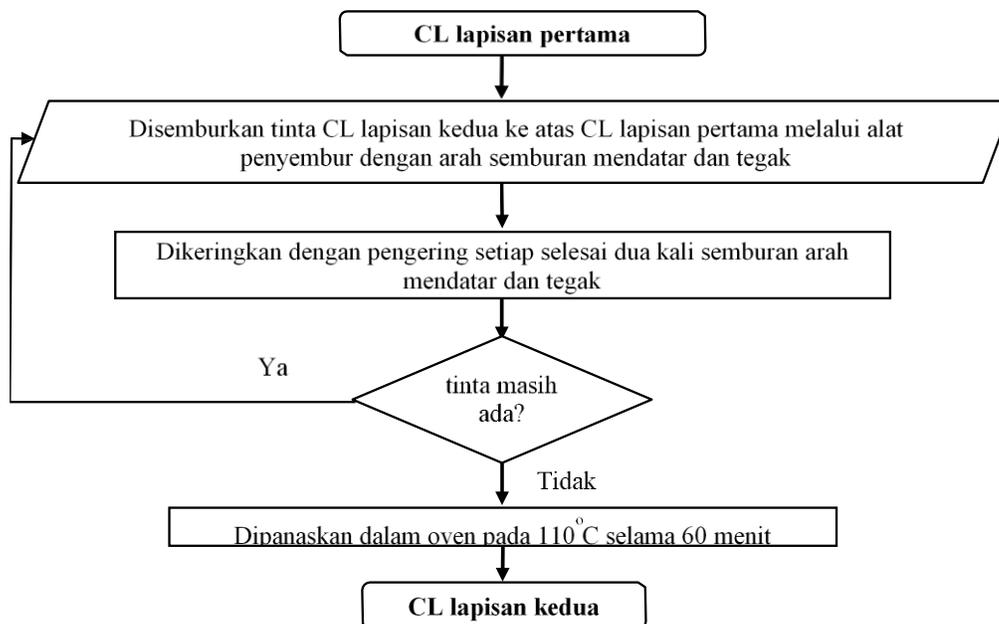
3) Pembuatan Tinta CL untuk lapisan pertama



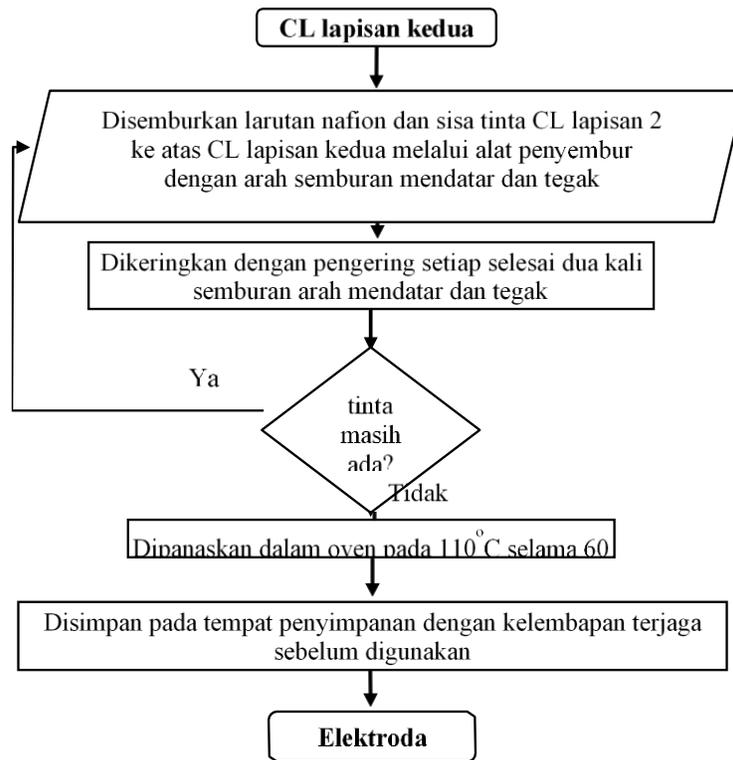
4) Pembuatan CL Lapisan pertama



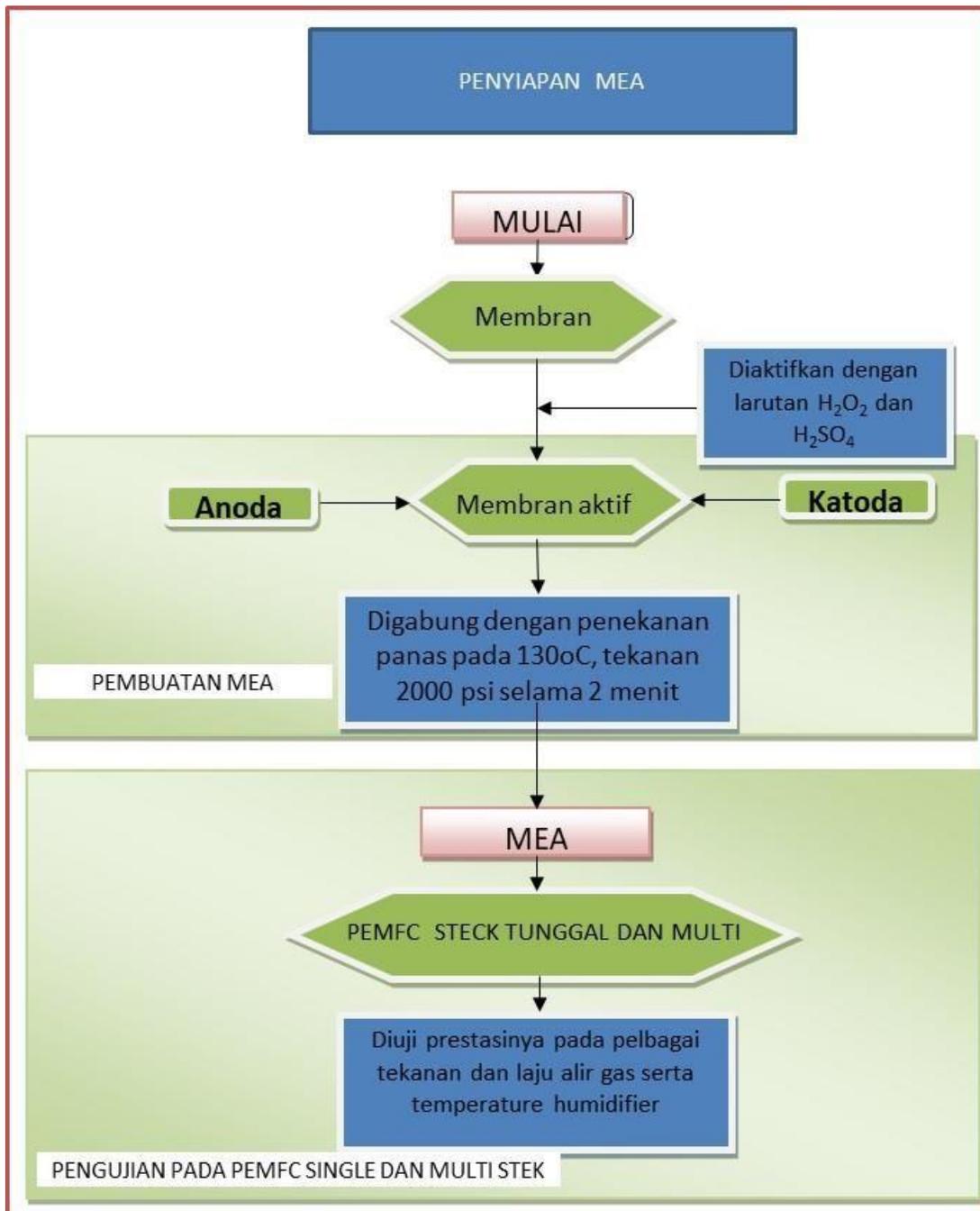
5) Pembuatan CL Lapisan Kedua



6) Pembuatan CL Lapisan Ketiga (Elektroda)



7) Pembuatan dan uji kinerja MEA



Daftar pustaka disusun dan ditulis berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada usulan penelitian yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

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 fuel

- cells,” 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..

KETERLIBATAN MITRA PT. CASCADIANT INDONESIA

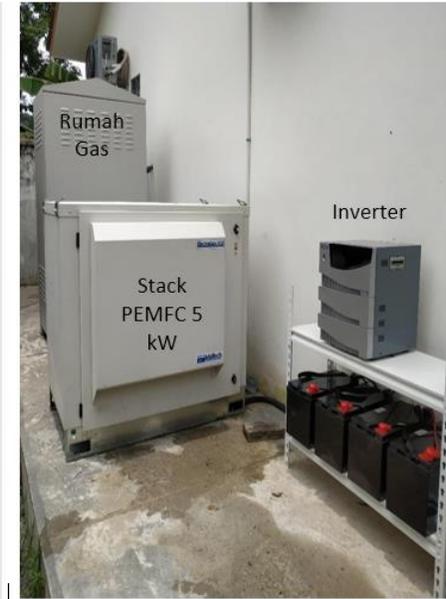
1. Hibah Peralatan PEMFC 5 Kw sebagai back up power di Pusat Unggulan Riset Fuel Cell dan Hidrogen Universitas Sriwijaya

**BERITA ACARA SERAH TERIMA
HIBAH PERALATAN FUEL CELL 5 KW DAN ASESORIS
DARI PT. CASCADIANT INDONESIA KE UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

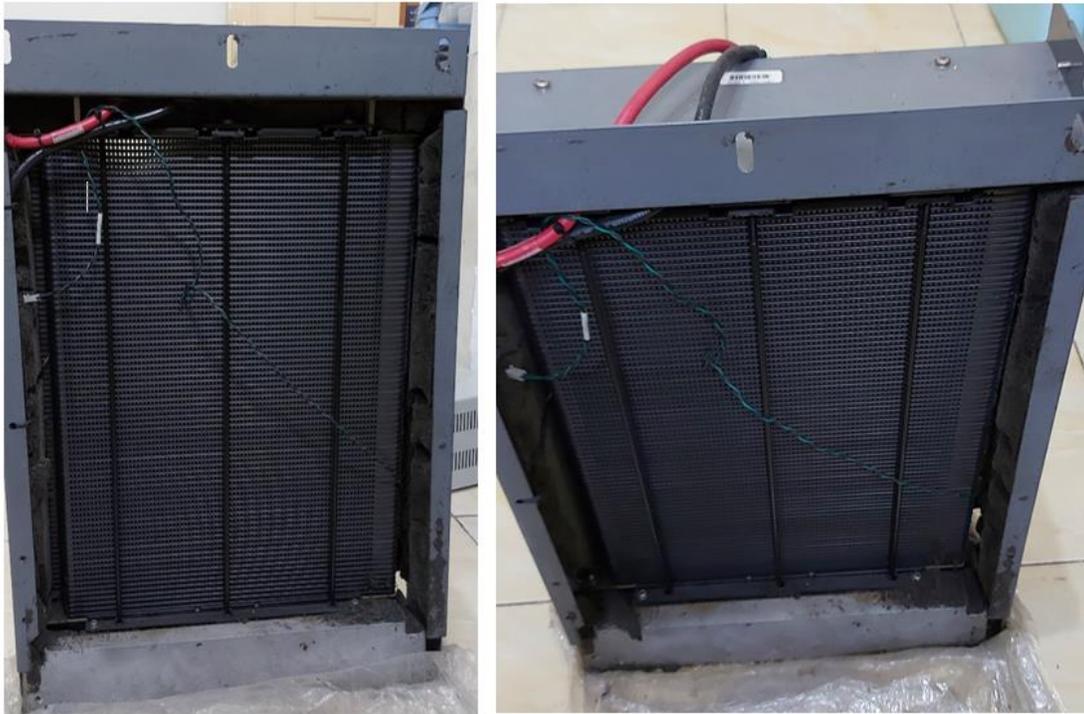
NOMOR : 005/LGL-AGREEMENT/UNSRI-CASCA/04122018
NOMOR : 0341/UN-9/SB2.UPT.KLI/2018

Pada hari ini Selasa tanggal empat bulan Desember tahun dua ribu delapan belas (04-12-2018) bertempat di PT. Cascadiant Indonesia Jakarta, kami yang bertanda tangan di bawah ini:

1. Rahmadi Budiman	: Managing Durector berkedudukan di Prudential Centre, #21-B, Jl. Casablanca Raya Kav.88, Jakarta -12870, Indonesia, dalam hal ini menjalani jabatannya dan bertindak untuk dan atas nama serta mewakili PT. Cascadiant Indonesia dan untuk selanjutnya disebut sebagai PIHAK PERTAMA ;
2. Dr. Ir. A. Muslim, M.Agr.	: Wakil Rektor IV Bidang Kerjasama, berkedudukan di Jalan Palembang-Prabumulih Km.32 Indralaya, Ogan Ilir, Sumatera Selatan, dalam hal ini menjalani jabatannya dan bertindak untuk dan atas nama serta mewakili Universitas Sriwijaya, selanjutnya disebut sebagai PIHAK KEDUA .



2. Hibah Stack PEMFC untuk BTS beserta MEA untuk dianalisa dan direkondisi



Stack PEMFC untuk direkondisi dengan kapasitas 2,5 kW



Peralatan stack PEMFC PT. Cascadiant yang berisi 4 sel untuk tes kinerja



Bipolar dan MEA dari stack PEMFC untuk BTS untuk diteliti

PERSETUJUAN SEBAGAI MITRA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Rahmadi Budiman**

Jabatan : **Direktur Utama PT. Cascadiant Indonesia**

Menyatakan persetujuan sebagai mitra riset dari:

Nama : **Dedi Rohendi**

NIP : **196704191993031001**

Instansi : **Pusat Unggulan Riset Fuel Cell dan Hidrogen Universitas Sriwijaya**

Dalam bidang riset Fuel Cell dan Methanol serta bersedia bekerja sama dalam proses hilirisasi produk riset fuel cell dan methanol sepanjang produk memenuhi spesifikasi yang diharapkan.

Demikian persetujuan ini diberikan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 27 Maret 2019



(Rahmadi Budiman)

Direktur Utama

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

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

1. Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda

Kajian yang dibuat dalam penelitian ini adalah penggunaan katalis Pt-Co/C hasil proses impregnasi $H_2PtCl_6 \cdot 6H_2O$ dan $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ pada matriks karbon vulcan XC-72R. Proses impregnasi dilakukan untuk mendistribusikan katalis Pt dan Co ke dalam matriks karbon. Pada proses ini ditambahkan amoniak untuk membentuk senyawa hidroksida. Campuran katalis dalam pelarut air diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Campuran hasil impregnasi katalis Pt dan Co pada matriks karbon dalam proses penetralan

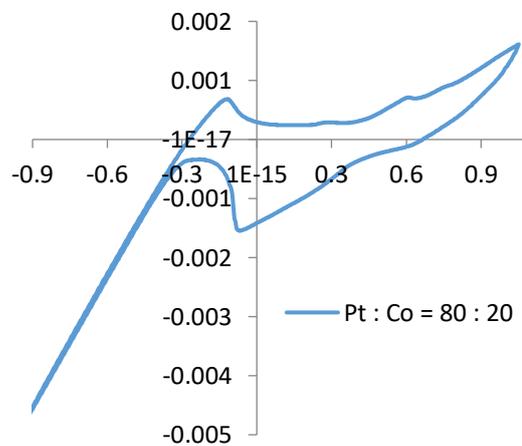
Campuran katalis dalam bentuk senyawa hidroksida kemudian dilakukan proses kalsinasi pada suhu $550^{\circ}C$ dan dilanjutkan dengan proses reduksi menggunakan gas hidrogen pada suhu $450^{\circ}C$. Katalis yang terbentuk digunakan untuk membuat elektroda dengan metode spraying (semburan) ke atas Gas Diffusion layer (GDL). GDL sendiri dibuat dari bahan kertas karbon (*carbon paper*) sebagai backing layer dan lapisan Microporous layer (MPL) yang terdiri atas campuran carbon vulcan, amonium bikarbonat dan teflon emulsion yang di campur dalam ultrasonic homogenizer membentuk tinta. Lapisan MPL berfungsi sebagai media pendistribusi gas dan ditempelkan di atas backing layer dengan metode penyemprotan dengan arah horizontal dan vertikal. GDL yang terbentuk kemudian di sintering di dalam furnace pada suhu $250^{\circ}C$ selama 3 jam. Fungsi sintering adalah untuk meresapkan teflon emulsion ke dalam lapisan MPL. Fungsi penambahan teflon emulsion adalah untuk membuat GDL

bersifat cukup hidrofobik dan masih tetap konduktif. Sementara itu fungsi penambahan anium bikarbonat adalah untuk membuat pori GDL ketika GDL dipanaskan.

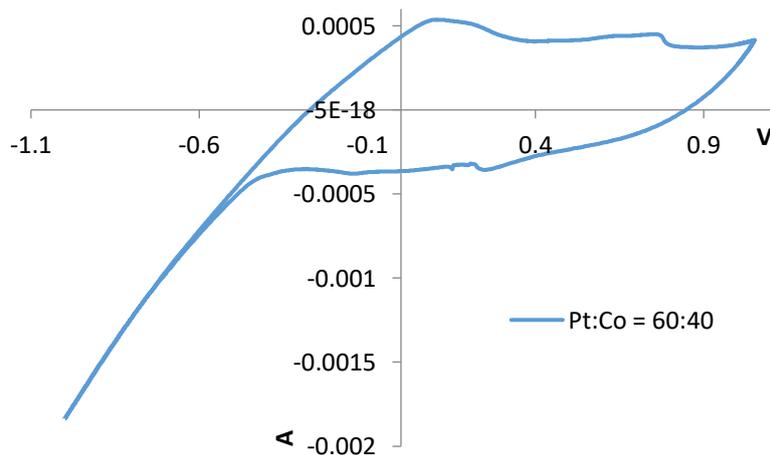
Elektroda yang telah dibuat dikarakterisasi menggunakan metode Cyclic Voltammetry (CV), dan metode Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS). Analisis CV digunakan untuk menentukan ECSA (Electrochemical Surface Area) yang menunjukkan permukaan aktif katalistik dari katalis. Sebuah elektroda yang baik diharapkan mempunyai nilai ECSA yang tinggi. Sementara itu, analisis EIS digunakan untuk menentukan konduktivitas elektrik dari elektroda yang ditandai dengan nilai impedansi dari elektroda.

1.1. Analisa CV Elektroda

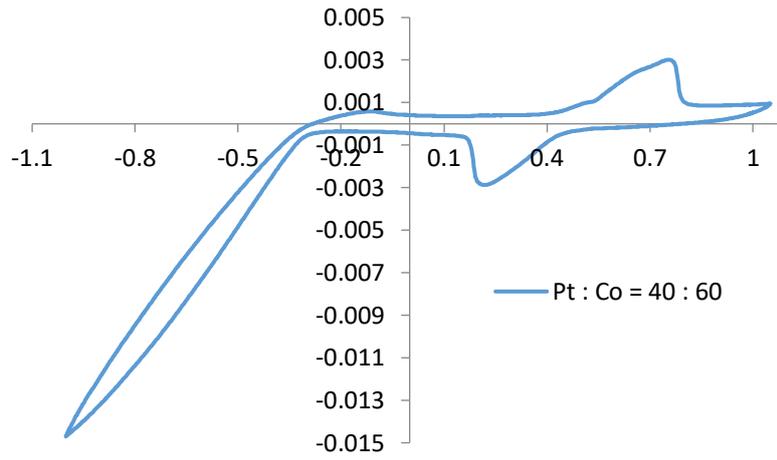
Analisis CV untuk elektroda dengan katalis Pt-Co/C dengan berbagai perbandingan disajikan pada gambar 2 s.d. 7.



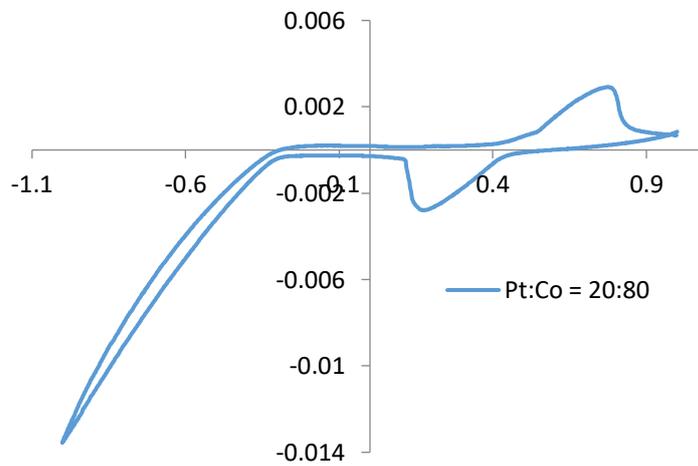
Gambar 2. Voltammogram untuk katalis Pt-Co/C (kandungan Pt:Co = 80:20)



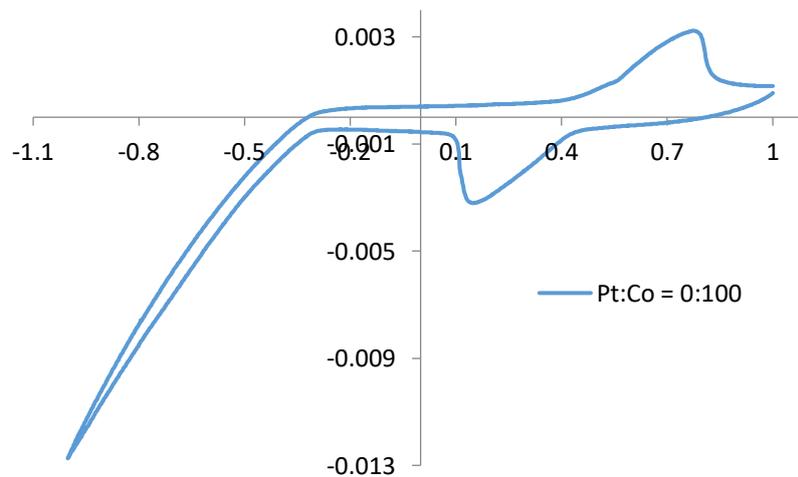
Gambar 3. Voltammogram untuk katalis Pt-Co/C (kandungan Pt:Co = 60:40)



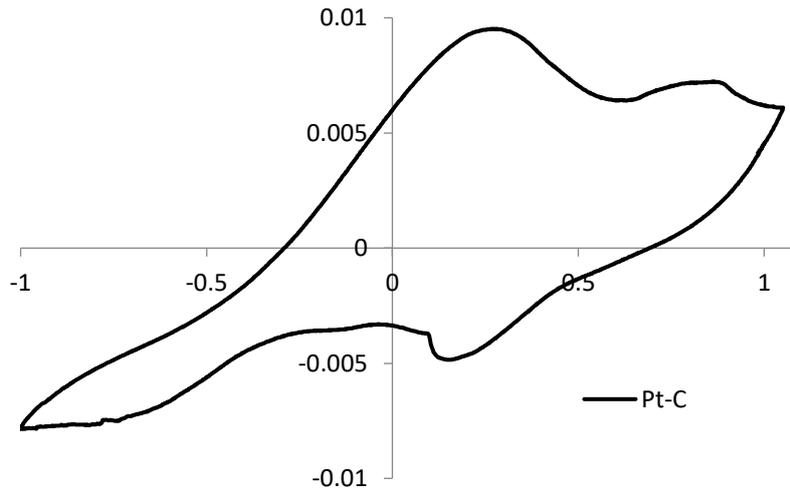
Gambar 4. Voltammogram untuk katalis Pt-Co/C (kandungan Pt:Co = 40:60)



Gambar 5. Voltammogram untuk katalis Pt-Co/C (kandungan Pt:Co = 20:80)



Gambar 6. Voltammogram untuk katalis Pt-Co/C (kandungan Pt:Co = 0:100)



Gambar 7. Voltammogram untuk katalis Pt/C (kandungan Pt:Co = 100:0)

Karakterisasi aktivitas katalistik katalis dilakukan dengan menggunakan analisa CV (cyclic voltammetry). Berdasarkan gambar 2 s.d. 7, dapat dilihat bahwa terdapat aktivitas katalitik pada hampir semua komposisi katalis Pt-Co/C, terutama mulai komposisi Pt : Co = 40 : 60 yang menunjukkan aktivitas katalitik reversibel. Hal ini menunjukkan harapan penggunaan katalis Co sebagai pendukung katalis Pt.

Hasil karakterisasi CV digunakan untuk menentukan nilai *electrochemical surface area* (ECSA) yang merupakan luas permukaan katalitik dari katalis. Analisa CV menunjukkan terbentuknya puncak anodik (kurva atas) dan katodik (kurva bawah) yang mengidentifikasi terjadinya reaksi redoks dan menentukan nilai Electrochemical Surface Area (ECSA) elektoda [1] Nilai ECSA untuk masing-masing komposisi katalis Pt-Co/C disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Data ECSA untuk katalis Pt/C dan Pt-Co/C pada berbagai komposisi

Katalis	ECSA (m ² /g)
Pt/C 100 : 0	37,4
Pt-Co/C 80 : 20	18,7
Pt-Co/C 60 : 40	16,4
Pt-Co/C 40 : 60	17,3
Pt-Co/C 20 : 80	17,6
Pt-Co/C 0 : 100	25,3

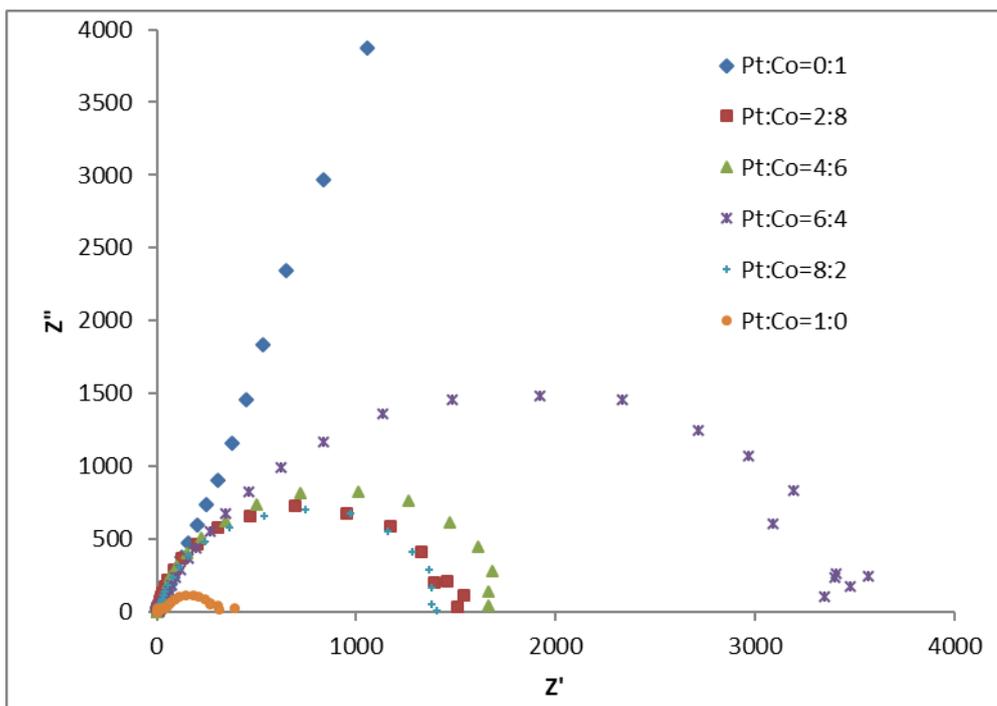
Katalis Pt/C (tabel 1) mempunyai nilai ECSA paling tinggi. Hal ini dapat difahami karena Pt merupakan katalis utama yang digunakan dalam PEMFC untuk mengkonversi gas hidrogen dan oksigen menjadi air. Secara umum, nilai ECSA elektroda dengan katalis Pt/C akan mengalami penurunan jika ditambahkan katalis pendukung Co dalam bentuk Pt-Co/C [2]. Hasil yang hampir sama didapatkan dari

penelitian tentang pemanfaatan paduan logam katalis Pt-Co untuk reaksi reduksi oksigen pada suasana asam [3]. Akan tetapi, aktivitas katalitik Co sebagai pendukung katalis Pt cukup dominan, bahkan pada komposisi Pt-Co/C 0:100 mempunyai ECSA cukup tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa Co merupakan katalis yang cukup responsif dalam mengkatalisis reaksi dan bisa digunakan sebagai aktalis pendukung untuk Pt [4]. Peranan Co sebagai pendukung katalis Pt dilaporkan makin meningkatkan kinerja katalis jika menggunakan perseduksi NaBH₄ [5].

Berdasarkan hasil analisis CV, nilai ECSA gabungan katalis Pt-Co/C menurun dengan meningkatnya kandungan Co sampai kandungan Co 40%, akan tetapi naik kembali dengan meningkatnya kandungan Co.

1.2. Analisis EIS Elektroda

Analisis EIS dimaksudkan untuk menentukan konduktivitas elektrik dari elektroda. Konduktivitas elektrik menunjukkan kemampuan elektroda dalam menghantarkan listrik baik secara *in-plane* maupun *through-plane*. Data hasil analisis EIS ditampilkan pada gambar 8.



Gambar 8. Hasil analisa EIS untuk elektroda Pt-Co/C (Inset perbandingan antara hasil analisa EIS untuk Pt:Co=0:1 dengan perbandingan Pt:Co lainnya)

Berdasarkan gambar 8, impedansi dari elektroda dengan katalis Pt 100% (Pt:Co = 1: 0) paling kecil yang menunjukkan konduktivitas yang tinggi. Konduktivitas makin menurun dengan bertambahnya kandungan Co. Konduktivitas berbanding terbalik dengan impedansi sesuai persamaan 1 [6]:

$$\sigma = \frac{1}{ZR} \times \frac{l}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

σ = Konduktivitas elektrik (S/cm²)

Z_R = impedansi total (ohm)

l = jarak antar elektroda/ketebalan elektroda (cm)

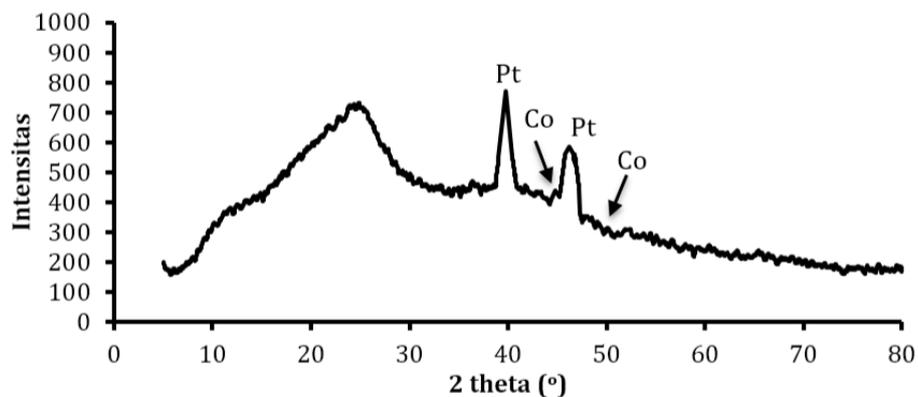
A = luas permukaan elektroda (cm²)

Hasil pengukuran EIS digambarkan dalam bentuk plot Nyquist yang menggambarkan impedansi real dan imajiner. Bentuk kurva nyquist umumnya berbentuk semi lingkaran. Bentuk kurva nyquist yang tidak berupa setengah lingkaran atau setengah lingkaran yang sangat besar menunjukkan adanya resistensi transfer muatan yang tinggi [7].

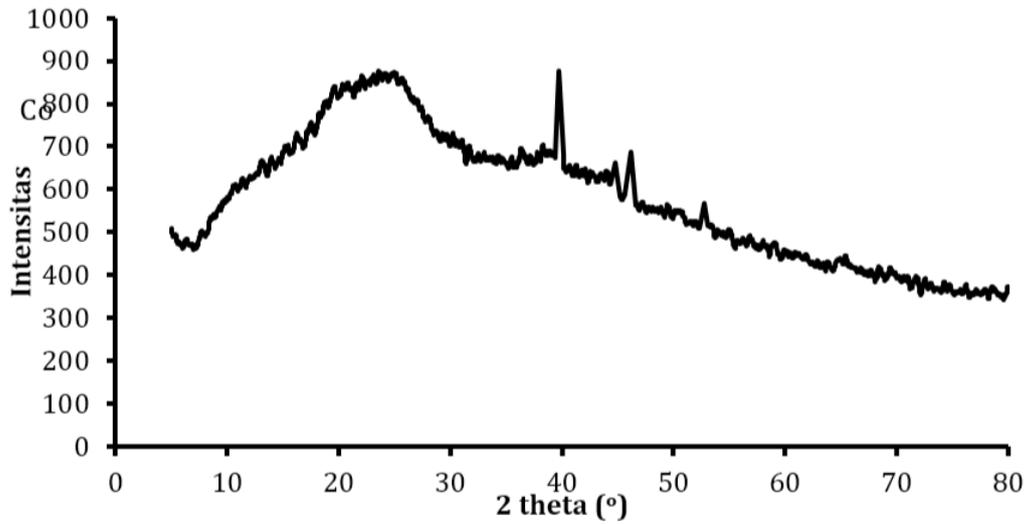
Berdasarkan analisis EIS dapat dilihat bahwa penambahan Co sampai 40% masih dapat digunakan untuk katalis pendukung Pt.

1.3. Analisis XRD

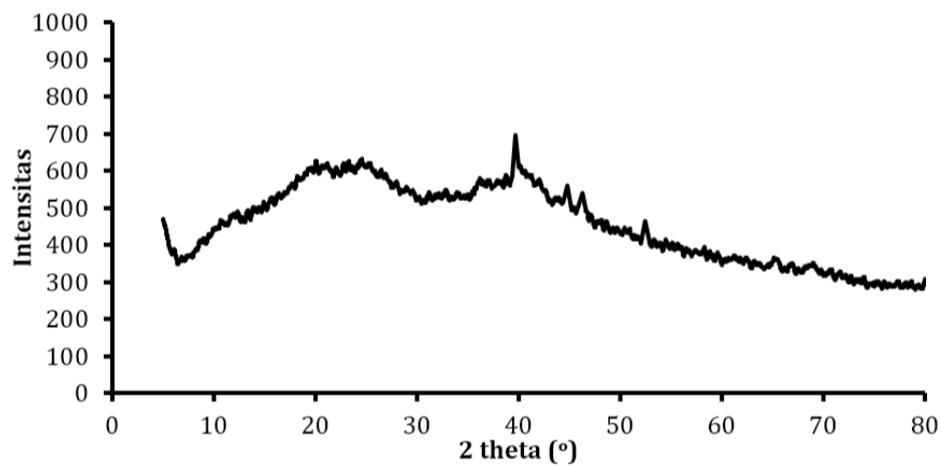
Analisis XRD diperlukan untuk menentukan struktur kristal dari campuran katalis Pt-Co/C. Difraktogram untuk elektroda dengan berbagai perbandingan katalis Pt: Co disajikan pada gambar 9 s.d. 13.



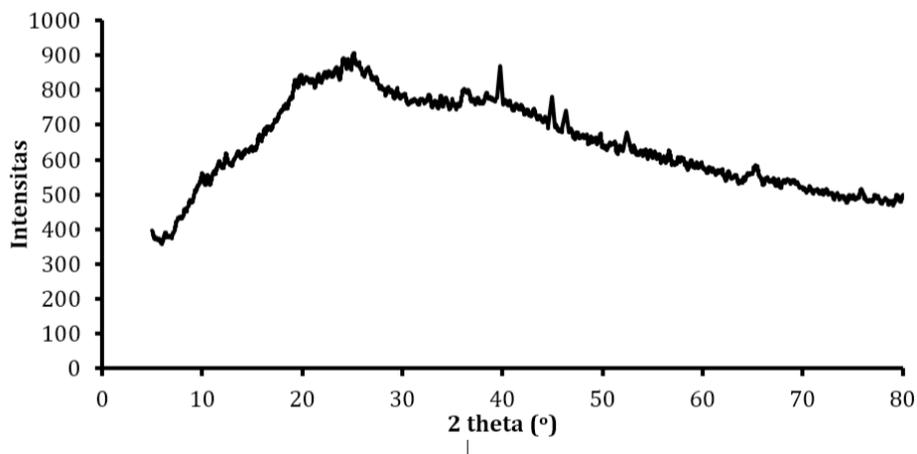
Gambar 9. Difraktogram elektroda untuk katalis Pt-Co/C (kandungan Pt:Co = 80:20)



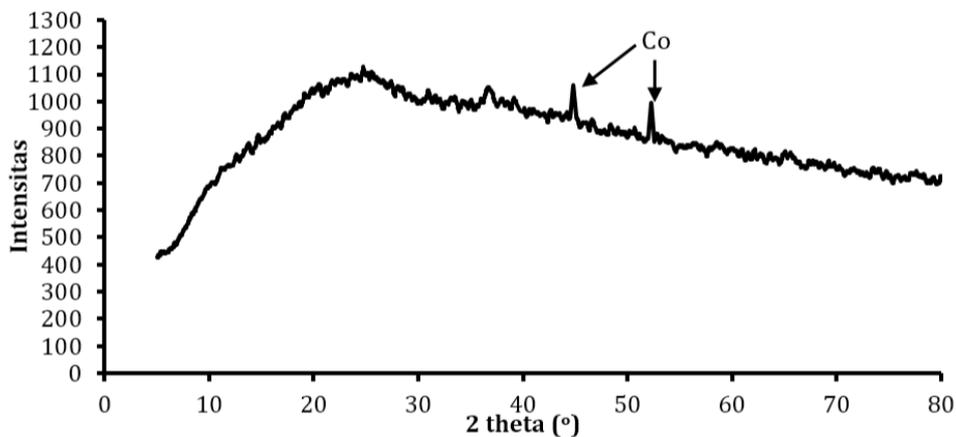
Gambar 10. Difraktogram elektroda untuk katalis Pt-Co/C (kandungan Pt:Co = 60:40)



Gambar 11. Difraktogram elektroda untuk katalis Pt-Co/C (kandungan Pt:Co = 40:60)



Gambar 12. Difraktogram elektroda untuk katalis Pt-Co/C (kandungan Pt:Co = 20:80)



Gambar 13. Difraktogram elektroda untuk katalis Pt-Co/C (kandungan Pt:Co = 0:100)

Gambar 9 s.d. 13 menunjukkan spektrum XRD untuk katalis Pt-Co/C pada berbagai perbandingan. Gambar 9 menunjukkan munculnya puncak Pt pada $2\theta = 39,76^\circ$ (111) dan $46,23^\circ$ (200) [8]. Kehadiran Co tidak begitu kentara pada $2\theta = 44,51^\circ$ dan $51,85^\circ$. Hal ini disebabkan partikel Co merupakan bagian dari aloi dengan Pt dengan konsentrasi yang relatif kecil (20%). Sebaran puncak antara $2\theta = 19$ s.d. 26° menunjukkan puncak karbon. Seiring dengan makin meningkatnya kandungan Co, maka puncak Co semakin terlihat. Gambar 13 memperlihatkan puncak Co pada $2\theta = 44,51^\circ$ dan $51,85^\circ$ dan tidak muncul puncak Pt. Semakin meningkat kandungan Co, intensitas Co semakin tinggi.

2. Kesimpulan

- a. Berdasarkan hasil karakterisasi CV dan EIS, penambahan Co hingga 60% dapat digunakan sebagai substitusi katalis Pt.
- b. Berdasarkan hasil analisis XRD proses sintesis katalis Pt-Co/C berhasil berdasarkan kemunculan puncak khas untuk Pt, Co dan C.

D. STATUS LUARAN: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta unggah bukti dokumen ketercapaian luaran wajib dan luaran tambahan melalui Simlitabmas.

1. Jenis luaran : Wajib
2. Identitas Luarannya : Draft paten
3. Status Ketercapaian : Draft
4. Luarannya : Tidak ada

E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PPUPT serta KRUPPT). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui Simlitabmas.

Mitra dalam penelitian ini adalah PT. Cascadiant Indonesia yang bergerak dalam penyediaan stack PEMFC untuk back up power Base Transceiver Station (BTS).

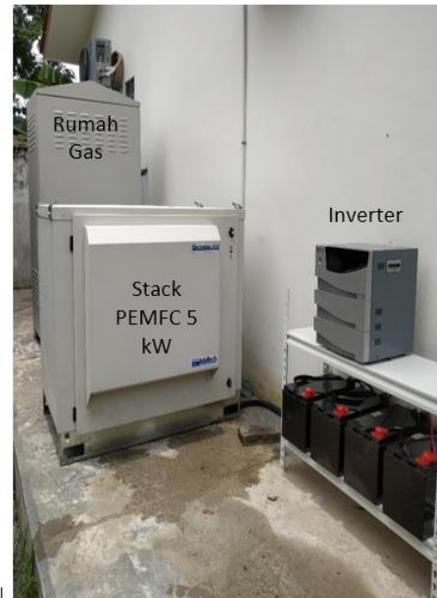
Peran mitra dalam ikut menunjang penelitian fuel cell dimulai dengan pemberian sumbangan PEMFC 5 Kw beserta rumah gas sebagai back up power di PUR Fuel Cell dan Hidrogen Universitas Sriwijaya. Pemberian ini merupakan dukungan nyata PT. Cascadiant dalam menunjang riset Fuel Cell khususnya PEMFC lebih khusus lagi pengembangan MEA untuk proyeksi PEMFC pada BTS (gambar 1).

**BERITA ACARA SERAH TERIMA
HIBAH PERALATAN FUEL CELL 5 KW DAN ASESORIS
DARI PT. CASCADIANT INDONESIA KE UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

NOMOR : 005/LGL-AGREEMENT/UNSRI-CASCA/04122018
NOMOR : 0341/UN-9/SB2.UPT.KLI/2018

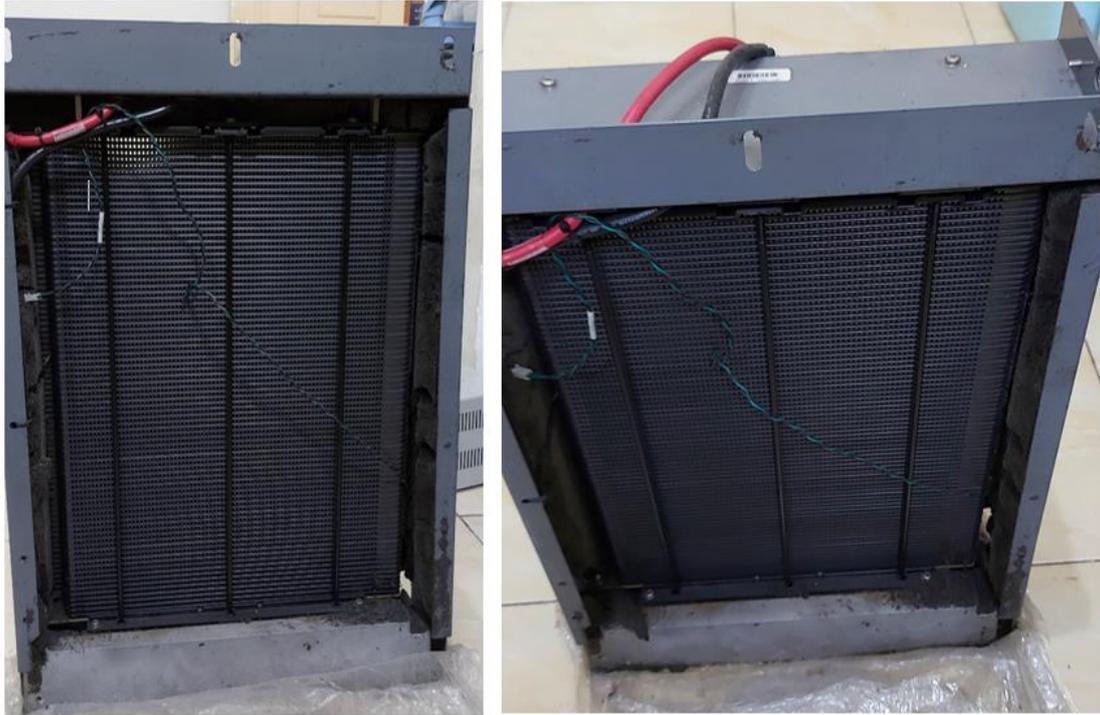
Pada hari ini Selasa tanggal empat bulan Desember tahun dua ribu delapan belas (04-12-2018) bertempat di PT. Cascadiant Indonesia Jakarta, kami yang bertanda tangan di bawah ini:

1. Rahmadi Budiman	: Managing Director berkedudukan di Prudential Centre, #21-B, Jl. Casablanca Raya Kav.88, Jakarta -12870, Indonesia, dalam hal ini menjalani jabatannya dan bertindak untuk dan atas nama serta mewakili PT. Cascadiant Indonesia dan untuk selanjutnya disebut sebagai PIHAK PERTAMA ;
2. Dr. Ir. A. Muslim, M.Agr.	: Wakil Rektor IV Bidang Kerjasama, berkedudukan di Jalan Palembang-Prabumulih Km.32 Indralaya, Ogan Ilir, Sumatera Selatan, dalam hal ini menjalani jabatannya dan bertindak untuk dan atas nama serta mewakili Universitas Sriwijaya, selanjutnya disebut sebagai PIHAK KEDUA .



Gambar 1. Peralatan PEMFC 5 kW hibah dari PT. Cascadiant sebagai dukungan pada penelitian fuel cell di UNSRI khususnya PEMFC

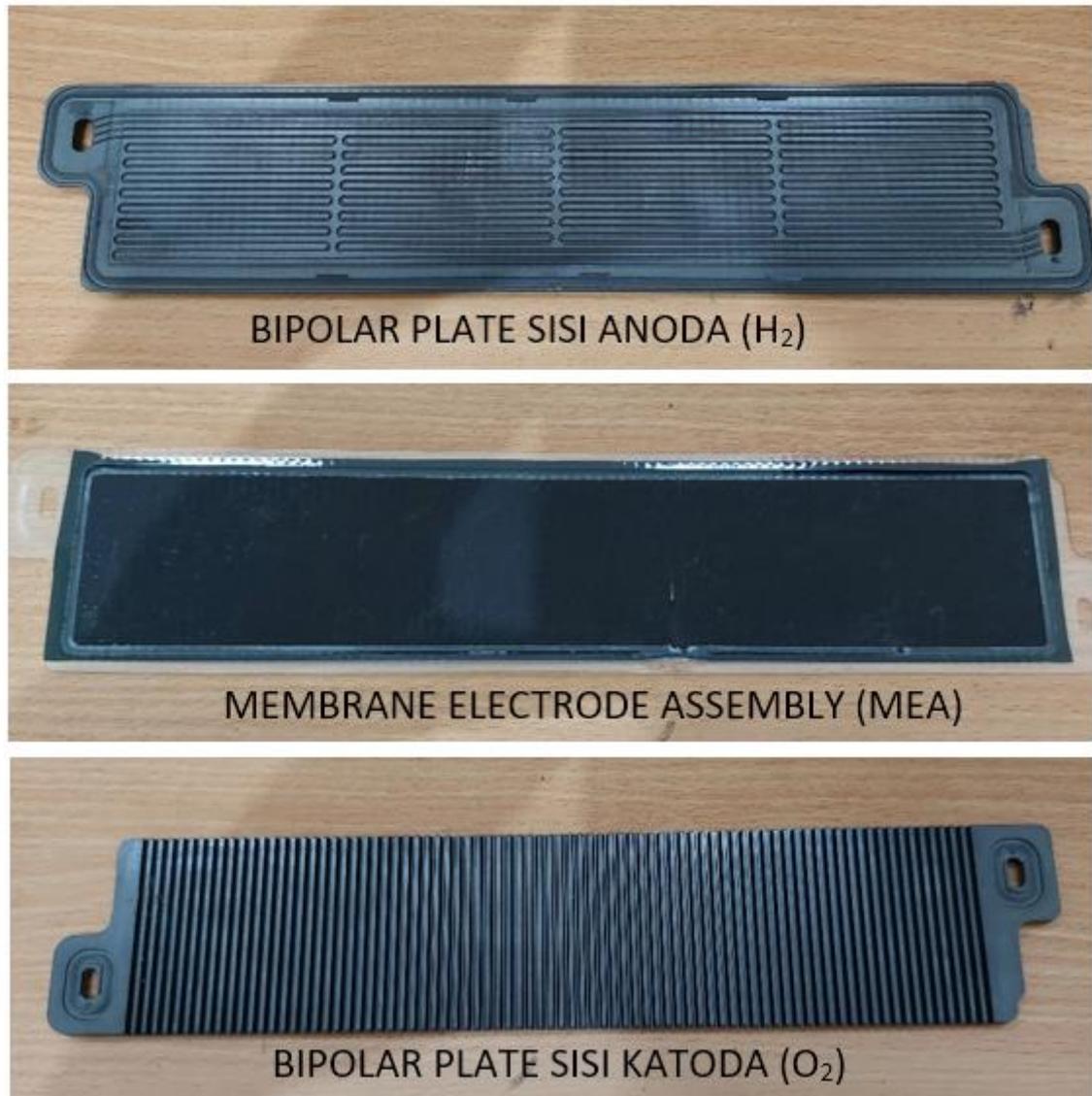
Dukungan berikutnya dari PT. Cascadiant adalah penyerahan stack PEMFC untuk dianalisa kinerja MEA nya dan rekondisi stack (gambar 2 s.d. 4). PT. Cascadiant menghadapi permasalahan bahwa banyak stack PEMFC yang mengalami degradasi kinerja yang diakibatkan beberapa sel yang mengalami kerusakan. PT. Cascadiant berharap, sel yang rusak dapat diperbaiki dengan mengganti MEA yang rusak dengan MEA hasil riset di Unsri.



Gambar 2. Stack PEMFC untuk direkondisi dengan kapasitas 2,5 kW



Gambar 3. Peralatan stack PEMFC PT. Cascadiant yang berisi 4 sel untuk dianalisa



Gambar 4. Bipolar dan MEA dari stack PEMFC untuk BTS untuk diteliti

F. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

Kendala utama yang dihadapi pada penelitian jadwal mulai penelitian yang agak terlambat. Penandatanganan kontrak baru dimulai di awal September 2021, sementara bahan penelitian kebanyakan impor. Hal ini makin menyebabkan keterlambatan dalam memulai penelitian.

H. DAFTAR PUSTAKA: Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

- [1] K. Ding and F. Cheng, "Cyclic voltammetrically prepared MnO₂ – PPy composite material and its electrocatalysis towards oxygen reduction reaction (ORR)," *Synthetic Met.*, vol. 159, pp. 2122–2127, 2009, doi: 10.1016/j.synthmet.2009.08.005.
- [2] S. Ohyagi and T. Sasaki, "Electrochimica Acta Durability of a PEMFC Pt – Co cathode catalyst layer during voltage cycling tests under supersaturated humidity conditions," *Electrochim. Acta*, vol. 102, pp. 336–341, 2013, doi: 10.1016/j.electacta.2013.04.060.
- [3] J. Sriwannaboot, A. Kannan, and N. Tantavichet, "ScienceDirect Pulse-reverse electrodeposition of Pt e Co bimetallic catalysts for oxygen reduction reaction in acidic medium," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 11, pp. 7025–7035, 2020, doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.12.191.
- [4] L. Liang, H. Jin, H. Zhou, B. Liu, C. Hu, and D. Chen, "Nano Energy Cobalt single atom site isolated Pt nanoparticles for efficient ORR and HER in acid media," *Nano Energy*, vol. 88, no. January, p. 106221, 2021, doi: 10.1016/j.nanoen.2021.106221.
- [5] E. B. Fox and H. R. Colon-Mercado, "Effect of pretreatment on Pt-Co/C cathode catalysts for the oxygen reduction reaction," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 8, pp. 3280–3286, 2010, doi: 10.1016/j.ijhydene.2010.01.078.
- [6] E. Pollak, I. Genish, G. Salitra, A. Soffer, and L. Klein, "The Dependence of the Electronic Conductivity of Carbon Molecular Sieve Electrodes on Their Charging States," *J. Phys. Chem. B*, pp. 7443–7448, 2006.
- [7] B. Ruiz-Camacho, J. C. B. Vera, R. F.-R. A, A. Medina-Ramírez, and G. Carreno-Aguilera, "ScienceDirect EIS analysis of oxygen reduction reaction of Pt supported on different substrates," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 51, pp. 1–10, 2017, doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.08.087.
- [8] X. Wang *et al.*, "Carbon-supported Pt-Co nanoparticles as anode catalyst for direct borohydride-hydrogen peroxide fuel cell: Electrocatalysis and fuel cell performance," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 17, pp. 12650–12658, 2012, doi: 10.1016/j.ijhydene.2012.06.065.

Deskripsi

METODE PEMBUATAN MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) UNTUK PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)

5

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.

15 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).

20 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.

30 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
35 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 sebagai katalis dalam CL adalah 0,5 mg.cm² 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:

- 5 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.
- 10 3) *Catalyst Layer* (CL). CL terdiri atas tiga lapisan. Lapisan pertama mengandung katalis Pt/C dengan kandungan katalis Pt $0,25 \text{ mg.cm}^{-2}$ dan PTFE 20% berat dengan pelarut 2-propanol baik di anoda maupun katoda. 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
- 15 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) UNTUK PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)**

5

Invensi ini berhubungan dengan metode pembuatan MEA untuk Proton Exchange membrane Fuel Cell (PEMFC) menggunakan elektroda yang telah dibuat dengan kandungan katalis Pt total $0,5 \text{ mg.cm}^{-2}$ di anoda dan $0,7 \text{ mg.cm}^{-2}$ 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 $0,6 \text{ V}$ dan mempunyai kerapatan daya terbesar 439.15
15 mW.cm^{-2}

20