

Pabrikasi Membrane Electrode Assembly Menggunakan Metode Decal Transfer Dengan Variasi Suhu Hot Press Terhadap Katalis Platina-Titanium Dioksida Didukung Vulcan XC-72

Ilham Fauzi¹, Made Joni², Made Suarda^{1*}, Ketut Astawa^{1*}, Made Sucipta^{1*}

¹Program Studi Teknik Mesin - Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

²Finder U-CoE – Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Jawa Barat

Abstrak

Meningkatnya penggunaan energi fosil diberbagai negara, terkhusus pada sektor otomotif adalah salah satu penyebab krisis energi dan pencemaran udara. Upaya yang dapat dilakukan adalah beralih dari energi fosil menuju energi baru & terbarukan. Beberapa energi baru & terbarukan telah banyak dikembangkan contohnya energi hidrogen. Contoh pengaplikasian energi hidrogen adalah fuel cell. Jenis fuel cell yang dapat digunakan pada sektor otomotif adalah proton exchange membrane fuel cell (PEMFC). PEMFC memiliki komponen terpenting yaitu membrane electrode assembly (MEA). Pabrikasi MEA yang rumit dan materialnya yang mahal menjadi penyebab permasalahan yang harus di pecahkan. Salah satu solusinya adalah dengan mensubstitusi platina dengan titanium dioksida. Metode decal transfer banyak digunakan karena mampu meningkatkan kontak ionik catalyst ke membran. Pada penelitian ini dilakukan pabrikasi MEA menggunakan metode decal transfer dengan memvariasikan suhu hot press, yaitu 40°C, 60°C, dan 80°C untuk mengetahui suhu yang optimal dan performa MEA yang dihasilkan menggunakan pengujian kinerja MEA. Ketebalan katalis yang digunakan adalah 30 µm dan ketebalan MEA diatur 140 µm. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa MEA dengan variasi suhu 40°C dan 60°C menghasilkan tegangan terkecil yaitu 0,1 µV dan 0,2 µV, sedangkan pada suhu 80°C tegangan yang dihasilkan mencapai tegangan terbesarnya yaitu 0,4 µV. Jadi, dapat disimpulkan suhu terbaik adalah 80°C

Kata kunci: PEMFC, MEA, Suhu hot press

Abstract

The increasing use of fossil fuels in various countries, especially in the automotive sector, is one of the causes of the energy crisis and air pollution. Efforts that can be made are to switch from fossil fuels to new and renewable energy. Several new and renewable energies have been widely developed, for example hydrogen energy. An example of the application of hydrogen energy is fuel cells. The type of fuel cell that can be used in the automotive sector is the proton exchange membrane fuel cell (PEMFC). PEMFC has the most important component, namely the membrane electrode assembly (MEA). The complicated fabrication of MEA and its expensive materials are the causes of problems that must be solved. One solution is to substitute platinum with titanium dioxide. The decal transfer method is widely used because it can increase the contact of the ionic catalyst to the membrane. In this study, MEA fabrication was carried out using the decal transfer method by varying the hot press temperature, namely 40°C, 60°C, and 80°C to determine the optimal temperature and performance of the MEA produced using MEA performance testing. The thickness of the catalyst used was 30 µm and the thickness of the MEA was set at 140 µm. From the test results, it was obtained that MEA with temperature variations of 40°C and 60°C produced the smallest voltage, namely 0.1 µV and 0.2 µV, while at a temperature of 80°C the voltage produced reached its largest voltage, namely 0.4 µV. So, it can be concluded that the best temperature is 80°C

Keywords: PEMFC, MEA, Hot press temperature

1. Pendahuluan

Meningkatnya penggunaan energi fosil diberbagai negara, terkhusus penggunaan pada sektor otomotif menyebabkan semakin menipisnya cadangan energi fosil dan polusi udara. Dalam beberapa tahun terakhir polusi udara meningkat sebesar 31% [1]. Upaya yang dapat dilakukan yaitu beralih dari energi fosil menuju energi hidrogen [2]. Salah satu pengaplikasian energi hidrogen adalah teknologi Fuel cell.

Fuel cell adalah teknologi yang dapat mengubah hidrogen menjadi listrik dengan reaksi elektrokimia [3]. Jenis fuel cell yang dapat digunakan pada otomotif adalah proton exchange membran feul cell (PEMFC) yang memiliki kemampuan operasi pada

suhu rendah di bawah 100°C [4]. PEMFC memiliki komponen penyusun seperti current collector, membrane electrode assembly (MEA), dan bipolar plate [5]. Komponen terpenting dalam PEMFC adalah MEA, yang tersusun dari beberapa bagian yaitu gas diffusion layer (GDL), catalyst, dan proton exchange membrane (PEM) [6].

MEA berperan sebagai tempat terjadinya proses elektrokimia pada PEMFC, prosesnya terjadi ketika oxygen reduction reaction (ORR) terjadi di dalam catalyst katoda, lalu hydrogen oxidation reaction (HOR) di catalyst anoda [7]. Sehingga catalyst berperan penting pada kinerja PEMFC. Bahan yang banyak digunakan untuk catalyst adalah platina (Pt) yang didukung carbon (C) [8]. Namun,

penggunaan Pt mengakibatkan biaya produksi yang tinggi dan pabrikasi MEA yang rumit. Upaya yang saat ini dilakukan untuk menekan biaya penggunaan Pt adalah mensubstitusi katalis tanpa mengurangi kinerjanya, serta melakukan pemilihan metode pabrikasinya [9].

Dalam pabrikasi MEA, terdapat dua cara teknik pabrikasi yang dapat digunakan yaitu *catalyst-coated-membranes* (CCM) atau *catalyst-coated-substrates* (CCS) [10]. Teknik CCM banyak digunakan pada pabrikasi MEA karena kemampuan dan keunggulannya, yaitu mampu meningkatkan kontak permukaan ionik antara membran dan *catalyst* [11]. CCM memiliki metode yaitu *decal transfer* (DT). Metode DT dipilih karena paling layak secara pabrikan [12]. Metode DT memiliki keuntungan yaitu MEA yang dihasilkan memiliki karakteristik yang baik. Prosesnya, substrat dilapisi katalis menggunakan alat *doctor blade*, selanjutnya *catalyst* ditransfer ke membran menggunakan hotpress [13].

Hot press dilakukan supaya memperoleh hasil kontak antar muka yang baik antara katalis dan PEM. Parameter hotpress seperti tekanan, waktu, dan suhu berpengaruh penting dalam hasil performa MEA secara keseluruhan [14].

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian adalah untuk mengetahui uji performa MEA yang di pabrikasi menggunakan metode *decal transfer* dengan parameter suhu *hotpress* yang divariasikan pada katalis Pt.TiO₂/Vulcan XC-72. Adapun permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini meliputi analisis uji performa MEA sebagai komponen pada PEMFC. Untuk mendapatkan hasil optimal, maka perlu adanya batasan yang dimiliki meliputi: material komponen MEA yang digunakan sesuai dengan yang tersedia secara komersial dan tekanan, waktu diasumsikan konstan pada proses hotpress.

2. Dasar Teori

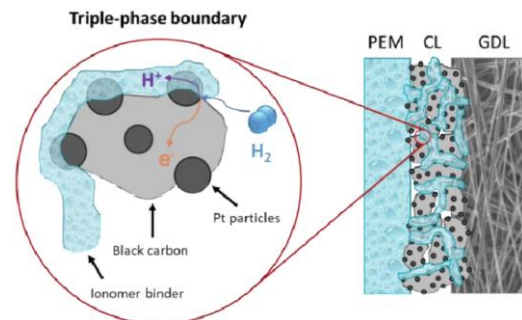
2.1 Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)

PEMFC merupakan suatu jenis *fuel cell* yang mampu bekerja pada temperatur rendah yaitu 40-80 °C dan memiliki efisiensi sebesar 60 % serta memiliki kerapatan arus yang tinggi [15]. PEMFC memiliki beberapa komponen penyusun terdiri dari *end plate*, *current collector*, *bipolar plate*, *gasket*, *gas diffusion layer* (GDL), *CL*, *MEA*. Proses reaksi kimia yang terdapat pada PEMFC terjadi di dalam MEA, oksigen reaksi reduksi terjadi di katoda dan reaksi oksidasi hidrogen terjadi di anoda [6-8].

2.2 Membrane Electrode Assembly

Dalam PEMFC, reaksi elektrokimia dalam MEA terutama terjadi di zona *three phase boundaries* (TPB), dimana komponen seperti elektrolit, dan katalis disusun berlapis-lapis untuk membentuk zona TPB. Struktur TPB sangat menguntungkan untuk perpindahan massa dan muatan melalui reaksi elektrokimia pada lapisan katalis. Artinya TPB

mempunyai dampak signifikan terhadap aktivitas dan daya tahan elektroda PEMFC yang merupakan kunci peningkatan kinerja MEA [16]. Gambar 1 merupakan ilustrasi zona TPB



Gambar 1. ilustrasi zona TPB [17]

2.3 Pabrikasi Membrane Electrode Assembly

MEA dapat dipabrikasi dengan dua metode yaitu CCM dan CCS. CCM dan CCS memiliki kelebihan dan kekurangannya masing masing. Kelemahan terbesar untuk metode fabrikasi CCS adalah persyaratan penggunaan Pt yang tinggi untuk mencapai kinerja yang sama pada metode CCM [11-12].

2.2.2 Catalyst Coated Membrane (CCM)

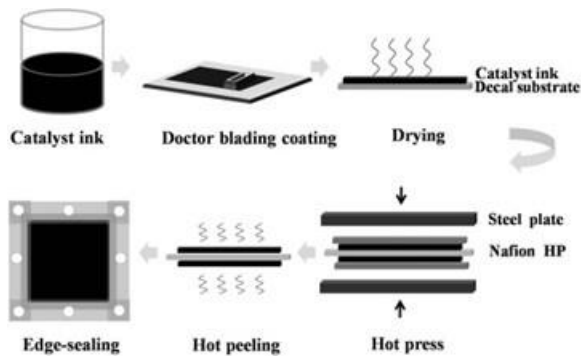
Metode CCM dimulai dengan menerapkan *catalyst ink* langsung ke membran dengan menggunakan beberapa teknik tertentu yaitu *direct wet spray*, *decal transfer*, *painting*, *screen and injection printing*. Teknik CCM juga dapat dikombinasikan seperti teknik *decal transfer* yang dikombinasikan dengan teknik *spray* [12].

2.3.2 Decal transfer Methode

Decal transfer banyak digunakan secara massal. Teknik ini dapat menghasilkan resistensi yang rendah pada MEA karena proses pabrikasinya. Dimana lapisan katalis dibentuk dengan cara menuangkan katalis ke media substrat sebelum dipindahkan ke membran dengan perlakuan hotpress. Temperatur tinggi untuk memperoleh hasil yang optimal [12]. Gambar 2 merupakan contoh dari *decal transfer methode*.

2.4 Karakteristik performa PEMFC testing ED 9741-2.

MEA dapat diketahui kualitasnya dengan cara menguji performa MEA dengan menggunakan alat uji PEMFC testing ED 9741-2. Prinsip kerja alat ini, adalah dengan menghubungkan elektrolisis air untuk menghasilkan hidrogen. gas yang dihasilkan dari elektrolisis akan dialirkan menuju anoda sedangkan pasokan oksigen diambil melalui udara di sisi katoda. Selanjutnya akan terjadi reaksi elektrokimia pada MEA yang akan menghasilkan *output* listrik dan air, lalu kolektor elektron dihubungkan dengan pengukur tegangan listrik untuk mengukur tegangan yang dikeluarkan. Selain itu beban tertentu akan diberikan untuk mengukur arus listrik yang dihasilkan [19].



Gambar 2. Decal transfer metode [18]

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan secara eksperimental dengan menggunakan tiga parameter variasi suhu pada saat proses *hotpress* diatur pada suhu 40°C, 60°C, dan 80°C dengan masing masing ketebalan katalis 30 µm dan ketebalan MEA 140 µm. Metode yang digunakan pada saat pabriaksi adalah *decal transfer* dengan teknik CCM. Pengujian pada MEA dilakukan dengan uji performa untuk mengetahui tegangan yang dihasilkan oleh MEA.

3.1. Pretreatment membrane

Membran (PFSA D170-U) potong dengan ukuran 3x3 cm, panaskan membran dengan *magnetic stirrer* pada suhu 60-80°C dalam larutan H₂O₂ konsentrasi 3-5% 50mL dalam gelas beaker. Kemudian panaskan kembali membran dengan cairan H₂SO₄ 0,5M pada suhu 60-80°C, selanjutnya bilas membran dengan suhu 70°C dengan aquades hingga pH 7, lalu simpan membran dengan air dieionisasi.

3.2. Preperasi tinta katalis

Preperasi tinta katalis dimulai dengan mencampurkan katalis (Pt.TiO₂/Vulcan XC-72) sebanyak 1g, dengan *distilled water* sebanyak 2,4g nafion solution 5 wt% sebanyak 1,2g etilen glikol sebanyak 0,75g dan isopropanol alkohol sebanyak 1,2g dimasukkan dalam gelas vial. Campuran diultrasonikasi dengan menggunakan ultrasonic bath yang di isi ice cube pada 60 Hz selama 3 jam. Kemudian campuran katalis di teteskan pada kapton film berukuran 3,5 x 3,5 cm dan diratakan ketebalannya yaitu 30 µm menggunakan *doctor blade machine*. Kemudian dikeringkan dengan oven vacuum pada suhu 90°C selama 70 menit.

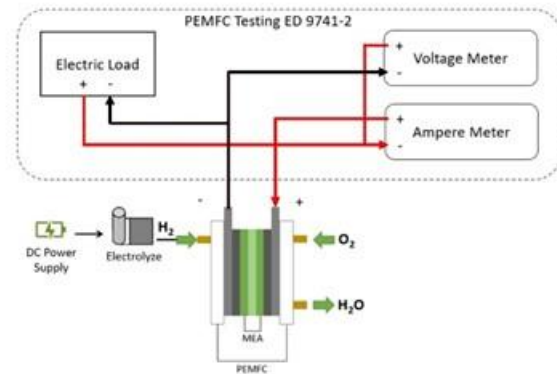
3.3. Proses Decal Transfer & Hot press

Proses *decal transfer* dan *hot press* dimulai dengan membran yang sudah dipretreatment kemudian diletakkan dikedua sisi kapton film yang sudah di keringkan kemudian dilakukan proses *hot press* dengan menggunakan mesin *hot press* dengan variasi suhu yang sudah di tentukan pada penelitian dan ketebalan MEA 140 µm serta ketebalan katalis 30 µm. Setelah *hotpress* selesai, kapton film dilepas dari kedua sisi membran sehingga MEA berhasil dibuat.

3.4. Metode Pengujian Performa MEA

Pengujian Performa dilakukan menggunakan mesin Uji performa (PEMFC) testing ED 9741-2

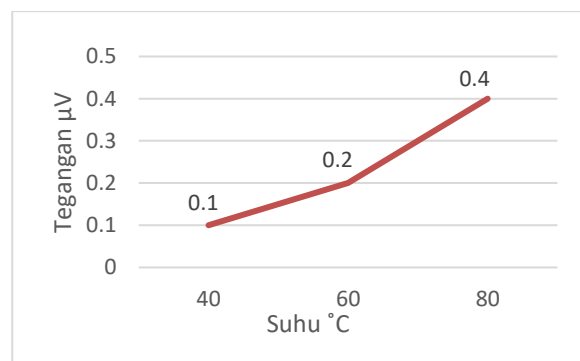
untuk mengetahui tegangan pada MEA yang dibuat. MEA dirakit dengan menggabungkan komponen penyusun (endplat, current collector, gasket, GDL AvCarb (2230) lalu hubungkan kabel yang tersedia pada alat uji dengan *current collector* pada *single cell* PEMFC, pasang elektrolisis air pada *single cell* PEMFC dan alirkan gas hidrogen pada selang menuju PEMFC dengan *power supply* sebesar 10 volt pada elektrolisis. Setelah tegangan keluar pada setiap variasi didapatkan lakukan proses analisis. Gambar 3 merupakan skema pengujian performa MEA.



Gambar 3. Skema Uji performa

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian performa dari Pabriaksi MEA menggunakan katalis Pt.TiO₂/Vulcan XC-72) dengan variasi suhu *hotpress* berhasil dilakukan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui performa listrik yang dikeluarkan pada MEA katalis Pt.TiO₂/Vulcan XC-72 akibat variasi suhu *hotpress* seperti yang di tunjukan pada Gambar (4.1) merupakan grafik hubungan tegangan terhadap variasi.



Gambar 4. Grafik hubungan tegangan terhadap variasi

Pada Gambar 4 dilihat terdapat grafik hubungan tegangan terhadap variasi suhu *hot press*. Pada variasi suhu 40°C tegangan yang dikeluarkan sangat kecil sebesar 0,1 µV dan pada variasi suhu 60°C tegangan yang dikeluarkan cukup kecil sebesar 0,2 µV. Hal ini dapat terjadi mungkin disebabkan kurang optimalnya suhu pada saat proses *hot press*. Suhu *hot press* yang optimal akan mempengaruhi kontak permukaan katalis dan pem [20]. Pada variasi suhu

80°C tegangan yang dihasilkan mampu menghasilkan tegangan sebesar 0,4 μ V lebih besar dari variasi suhu 40°C dan 60°C. Hal ini mungkin disebabkan karena mampu terciptanya zona TPB dan mampu menghasilkan kontak permukaan yang baik antara katalis dan pem, namun material katalis yang digunakan pada penelitian ini hanya mampu mengeluarkan tegangan sebesar μ V.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan didapatkan hasil bahwa suhu *hot press* akan mempengaruhi tegangan yang dihasilkan, semakin optimal suhu *hot press* maka tegangan yang dihasilkan akan semakin besar. Pada variasi suhu 80°C tegangan yang dihasilkan mampu menghasilkan tegangan terbesar yaitu 0,4 μ V lebih besar dibandingkan dengan variasi suhu 40°C dan 60°C yang hanya mampu menghasilkan 0,1 μ V dan 0,2 μ V.

Daftar Pustaka

- [1] Eren, B. M., Taspinar, N., & Gokmenoglu, K. K., 2019, *The impact of financial development and economic growth on renewable energy consumption, Empirical analysis of India*. Science of the Total Environment, 663, pp. 189-197.
- [2] Tenar, T., 1994, *Energy and exergy analyze of PEM fuel cell: A case study of modeling and simulations.*, Energy. 143, pp. 284-294.
- [3] Bhosale, A. C., Ghosh, P. C., & Assaud, L., 2020, *Preparation methods of membrane electrode assemblies for proton exchange membrane fuel cells and unitized regenerative fuel cells: A review*, In Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 133.
- [4] Olabi, A. G., Wilberforce, T., Alanazi, A., Vichare, P., Sayed, E. T., Maghrabie, H. M., Elsaid, K., & Abdelkareem, M. A., 2022, *Novel Trends in Proton Exchange Membrane Fuel Cells*, In Energies., Vol. 15, pp. 14.
- [5] Sim, J., Kang, M., & Min, K., 2021, *Effects of basic gas diffusion layer components on PEMFC performance with capillary pressure gradient*, International Journal of Hydrogen Energy, 46(54), pp. 27731–27748.
- [6] Majlan, E. H., Rohendi, D., Daud, W. R. W., Husaini, T., & Haque, M. A., 2018, *Electrode for proton exchange membrane fuel cells: A review*, In Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 89, pp. 117-134.
- [7] Chen, M., Zhao, C., Sun, F., Fan, J., Li, H., & Wang, H., 2020, *Research progress of catalyst layer and interlayer interface structures in membrane electrode assembly (MEA) for proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) system*, In eTransportation, Vol 5.
- [8] Zhang, X., Li, H., Yang, J., Lei, Y., Wang, C., Wang, J., Tang, Y., & Mao, Z., 2021, *Recent advances in Pt-based electrocatalysts for PEMFCs*, In RSC Advances, Vol 5, pp. 13316-13328.
- [9] Liu, H., Ney, L., Zamel, N., & Li, X., 2022, *Effect of Catalyst Ink and Formation Process on the Multiscale Structure of Catalyst Layers in PEM Fuel Cells*, Applied Sciences, Switzerland, 12 (8).
- [10] Parekh, A., 2022, *Recent developments of proton exchange membranes for PEMFC: A review*, In Frontiers in Energy Research, Vol. 10.
- [11] Lim, B. H., Majlan, E. H., Tajuddin, A., Husaini, T., Wan Daud, W. R., Mohd Radzuan, N. A., & Haque, M. A. 2021. *Comparison of catalyst-coated membranes and catalyst-coated substrate for PEMFC membrane electrode assembly: A review*, In Chinese Journal of Chemical Engineering, Vol. 33. Pp. 1-16.
- [12] Jie un. choi, Kyeong, M. K., Kim, M. S., Lee, S. S., Seo, B., Park, H. S., Park, H. Y., Henkensmeier, D., Lee, S. Y., & Kim, H. J. 2021. *Synthesis of sulfonated poly(Arylene ether sulfone)s containing aliphatic moieties for effective membrane electrode assembly fabrication by low-temperature decal transfer methods*, Polymers, 13,11.
- [13] Mihwa, C., Kim, J. K., Kim, J., Yang, S., Park, J. E., Kim, O. H., & Cho, Y. H. 2018. *PtRu/C catalyst slurry preparation for large-scale decal transfer with high performance of proton exchange membrane fuel cells*, RSC Advances, 8.13. pp. 36313-36322.
- [14] Gatto, I., Saccà, A., Baglio, V., Aricò, A. S., Oldani, C., Merlo, L., & Carbone, A. 2019. *Evaluation of hot pressing parameters on the electrochemical performance of MEAs based on Aquivion® PFSA membranes*, Journal of Energy Chemistry, Vol 35, pp. 168-173
- [15] Alaswad, A., Omran, A., Sodre, J. R., Wilberforce, T., Pignatelli, G., Dassisti, M., ... & Olabi, A. G. 2020. *Technical and commercial challenges of proton-exchange membrane (PEM) fuel cells*. Energies, 14(1), 144..
- [16] Cai, X., Lin, R., Wang, H., Liu, S., & Zhong, D. 2021. *One simple method to improve the mass transfer of membrane electrode assembly to realize operation under wide humidity*. Journal of Power Sources, 506, 230185.
- [17] Robert, M., Vito Di Noto, M., & Jean-Christophe Perrin, M 2021. *Impact of degradation and aging on properties of PFSA membranes for fuel cells Impact des dégradations et du vieillissement sur les propriétés des membranes PFSA pour piles à combustible Présentée par Composition du jury*. Énergie et Mécanique

- [18] Liang, X., Pan, G., Xu, L., & Wang, J. 2015. *A modified decal method for preparing the membrane electrode assembly of proton exchange membrane fuel cells*, Fuel, vol. 139, pp. 393–400.
- [19] Sucipta, M., Sibarani, J., Gede Nengah Wika Gunawan, I., Galang Bhuna Putra, S., Anderson Robert, R., Kandou, S., & Brahmanda Sudarsana, P. 2023. *Proton Exchange Membrane Fuel Cell Using Membrane Electrode Assembly Based on Platinum-Carbon Electrocatalyst with Activated Carbon-Chitosan-Nickel*, Vol. 13, Issue 1.
- [20] Wang, M., Medina, S., Ochoa-Lozano, J., Mauger, S., Pylypenko, S., Ulsh, M., & Bender, G. 2021. *Visualization, understanding, and mitigation of process-induced-membrane irregularities in gas diffusion electrode-based polymer electrolyte membrane fuel cells*. International Journal of Hydrogen Energy, 46(27), pp. 14699-14712

	Ilham Fauzi menyelesaikan studi S1 tahun 2024 Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bali.
Bidang penelitian yang diminati adalah konversi energi mengenai Pabrikasi Membrane Electrode Assembly dari Proton Exchange Membrane Fuel cell.	

	Made Sucipta menyelesaikan studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya pada tahun 1998, kemudian melanjutkan program S2 di Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya 2001, serta S3 di Shibaura Institute of Technology, Jepang 2007, dan Profesi di Universitas Udayana, Bali tahun 2020.
Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan fuel cell, penyimpan energi, dan green energy. Saat ini beliau bekerja sebagai staf pengajar di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana	

	I Made Joni menyelesaikan studi program S1 di Universitas Padjadjaran tahun 1998. S2 di Jawaharlal Nehru University, New Delhi, India tahun 2000. Dan S3 di Hiroshima University Japan pada tahun 2011. Saat ini beliau bekerja pada Departemen
-------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran.
Bidang penelitian yang diminati adalah teknologi nanopartikel serta perkembangan baterai. Saat ini beliau bekerja pada departemen fisika, FMIPA Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Jawa Barat.	

	Made Suarda menyelesaikan studi S1 tahun 1989 program studi Teknik Permesinan Kapal di Universitas ITS Surabaya, Jawa Timur. Kemudian Menyelesaikan studi S2 tahun 2004 program studi Advanced Manufacturing Technology di University of South Australia, Adelaide dan menyelesaikan studi S3 tahun 2020 program studi ilmu teknik di Universitas Udayana, Bali.
Bidang penelitian yang diminati adalah mengenai modelling dan simulasi planar mechanism using bondgraph. Analisis dinamika fluida pada pompa. Saat ini beliau bekerja sebagai staf pengajar di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana.	

	Ketut Astawa menyelesaikan studi S1 tahun 1996 program studi Teknik Mesin di Universitas Udayana, Bali. Kemudian menyelesaikan studi S2 program studi teknik mesin tahun 2006 di Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur.
Bidang penelitian yang diminati adalah konversi energi meliputi perencanaan ketel uap serta topik mengenai kolektor surya.	