

# Karakteristik *Cyclic Voltammetry* Katalis Platina-Titanium Dioksida Didukung *Vulcan XC 72 - Reduced Graphene Oxide* Dengan Variasi Perbandingan Massa

Dewa Made Dwi Adnyana Putra<sup>1</sup>, I Made Joni<sup>2</sup>, Made Suarda<sup>1</sup>, Ketut Astawa<sup>1</sup>, Made Sucipta<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran Bali

<sup>2</sup>Finder U-CoE- Universitas Padjadjaran, Jatinanggor, Jawa Barat

## Abstrak

*Proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) merupakan sebuah teknologi konversi elektrokimia yang dapat menghasilkan listrik dan kalor dengan memanfaatkan energi hidrogen. PEMFC memiliki efisiensi yang tinggi, temperatur pengoperasian rendah serta memiliki sifat yang ramah lingkungan jadi sangat mendukung penggunaan green energy untuk dimanfaatkan dalam keperluan sehari-hari. Penelitian ini berfokus untuk mengoptimalkan kinerja dari alat PEMFC dengan katalis platina-titanium dioksida yang didukung Vulcan XC 72-reduced graphene oxide (Pt.TiO<sub>2</sub>/VC-rGO) dengan menggunakan metode hummer yang sudah dimodifikasi, metode hidrotermal dan metode fotodeposisi untuk sintesis katalis. Variasi VC dan rGO yang digunakan adalah variasi massa, dengan variasi pertama 0.1 gr Pt : 0.1 gr TiO<sub>2</sub> : 0.1 gr VC : 0.2 gr rGO, kedua 0.1 gr Pt : 0.1 gr TiO<sub>2</sub> : 0.15 gr VC : 0.15 gr rGO, dan ketiga 0.1 gr Pt : 0.1 gr TiO<sub>2</sub> : 0.2 gr VC : 0.1 gr rGO. Dengan pengujian cyclic voltametry (CV) didapatkan hasil yang baik dalam pembacaan tegangan arus listrik pada ketiga sampel pengujian, dimana pada variasi ketiga menunjukkan rentang reaksi oksidasi dan reduksi paling lebar.*

*Kata Kunci: fuel cell, Katalis, PEMFC, Pt/C, Titanium Dioksida, Sintesis,*

## Abstract

*Proton exchange membrane fuel (PEMFC) cell is an electrochemical conversion technology that can produce electricity and heat by utilizing hydrogen energy. PEMFC has high efficiency, low operating temperature and has environmentally friendly properties so it strongly supports the use of green energy to be utilized in daily needs. This research focuses on optimizing the performance of PEMFC devices with platinum-titanium dioxide catalyst supported by Vulcan XC 72-reduced graphene oxide (Pt. TiO<sub>2</sub>/VC-rGO). This study used the modified hummer method, hydrothermal method and photodeposition method for the synthesis of Pt. TiO<sub>2</sub>/VC-rGO catalyst. The variation of VC and rGO used is mass variation, with the first variation 0.1 gr Pt : 0.1 gr TiO<sub>2</sub> : 0.1 gr VC : 0.2 gr rGO, second 0.1 gr Pt : 0.1 gr TiO<sub>2</sub> : 0.15 gr VC : 0.15 gr rGO, and third 0.1 gr Pt : 0.1 gr TiO<sub>2</sub> : 0.2 gr VC : 0.1 gr rGO. with cyclic voltametry (CV) testing, the results are not good in reading the electric current voltage in the three test samples. The third variation shows the widest range of oxidation and reduction reactions.*

*Keywords: fuel cell, Catalyst, PEMFC, Pt/C, titanium dioxide, Synthesis,*

## 1. Pendahuluan

Mobilitas dan pertumbuhan penduduk yang masif mengakibatkan meningkatnya kebutuhan energi untuk transportasi, terutama kendaraan dengan berbahan bakar fosil. Bahan bakar fosil yang digunakan sebagai energi kendaraan konvensional saat ini merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui yang mana suatu saat akan habis [1]. Seiring dengan kemajuan teknologi, saat ini produsen kendaraan berlomba-lomba menciptakan kendaraan listrik sebagai upaya untuk beralih ke energi alternatif dari bahan bakar fosil [2]. Energi listrik yang digunakan umumnya didapatkan dari melakukan proses kimia untuk mengubah bahan bakar seperti hidrogen, gas alam, metanol, etanol, dan lain-lain agar nantinya dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik untuk menggerakkan kendaraan [3].

Inovasi terhadap kendaraan listrik masih sangat diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dari penggunaan energi listrik tersebut. Sumber listrik dari kendaraan listrik saat ini didominasi oleh penggunaan baterai, hal ini belum cukup efisien dikarenakan baterai memiliki kapasitas penyimpanan yang terbatas serta memerlukan waktu lama yang cukup lama untuk sekali pengisian [4]. Salah satu teknologi terbaru hasil dari inovasi pemanfaatan energi listrik untuk kendaraan adalah memanfaatkan hidrogen dengan fuel cell [5]. *Fuel cell* adalah sebuah teknologi yang berupa alat konversi elektrokimia yang dapat menghasilkan listrik dari hasil reaksi antara hidrogen dan oksigen, yang mana tentunya teknologi ini sangat ramah lingkungan dan dapat dimanfaatkan sebagai listrik portabel dan stasioner [6]. *Proton*

*exchange membrane fuel cell* (PEMFC) merupakan salah satu jenis *fuel cell* yang sangat baik digunakan untuk keperluan listrik portable disamping karena ramah lingkungan PEMFC memiliki efisiensi yang tinggi dan temperatur pengoperasian yang rendah jadi akan aman digunakan dalam jangka Panjang. [6]. Dalam pengoperasiannya, PEMFC memerlukan katalis yang berperan sebagai pembuatan energi hidrogen, dan katalis yang umum digunakan adalah logam mulia platina yang didukung oleh karbon (Pt/C), namun kinerja katalis ini masih perlu untuk ditingkatkan guna mencapai performa yang optimal [7]. Pt yang didukung dengan titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) menjadi salah satu alternatif katalis yang efektif untuk mengolah polutan di udara baik sebagai katalis, TiO<sub>2</sub> memiliki keunggulan diantaranya ketersediaan melimpah di bumi, biaya rendah, tidak beracun dan memiliki stabilitas yang tinggi [8]. Sebagai alternatif pengganti karbon, Vulcan XC 72 (VC) dapat menjadi opsi yang bagus karena luas permukaannya yang besar, kemudian porositas yang sesuai, tahan terhadap korosi, serta memiliki konduktivitas listrik yang baik [9]. *Reduced graphene oxide* (rGO) yang dihasilkan dari oksidasi graphene telah menarik minat yang semakin besar sebagai bahan pendukung untuk aplikasi elektrokatalitik, graphene dapat meningkatkan dispersi struktur nano Pt yang menghasilkan luas permukaan besar untuk aktivitas elektrokatalitik. Maka penggabungan VC dan rGO menjadi kombinasi yang luar biasa antara rasio aspek tinggi, luas permukaan spesifik tinggi dan memberikan penguatan pada matriks, 3 sehingga menghasilkan ketahanan yang lebih tinggi terhadap deformasi [10].

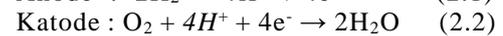
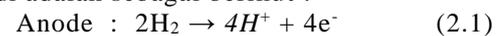
Tujuan dari dilakukannya penelitian ini yaitu, untuk meningkatkan performa katalis pada PEMFC dengan pembuatan katalis Pt.TiO<sub>2</sub>/VC-rGO dengan variasi perbandingan massa Vulcan XC-72 dan rGO. Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah, bagaimana karakteristik hubungan tegangan- arus listrik katalis Pt.TiO<sub>2</sub>/VC- rGO apabila diterapkan sebagai katalis pada MEA. Karena luasnya permasalahan yang ada, maka perlu dilakukan pembatasan untuk mencapai hasil yang diinginkan. Dalam penelitian ini batasan yang dijaga seperti, spesifikasi penyusun material katalis yang digunakan sesuai dengan standar yang dikeluarkan oleh industri pabrik.dan suhu serta tekanan dianggap konstan pada setiap proses.

## 2. Dasar Teori

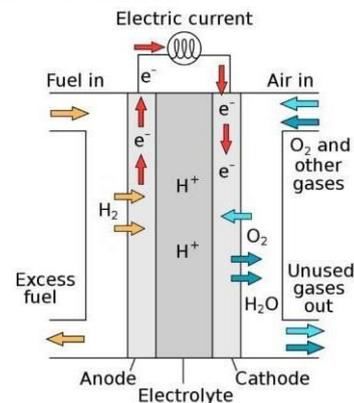
### 2.1 Proton Exchange Membrane Fuel Cell

PEMFC adalah salah satu konverter energi yang paling menjanjikan karena memiliki efisiensi tinggi, bebas polutan, dan keberlanjutan energi. PEMFC biasanya disuplai dengan hidrogen di anoda dan udara di katoda. PEMFC mempunyai fungsi utama menghantarkan proton, memisahkan pengoksidasi bahan bakar dan mengisolasi proton, dan kinerjanya secara langsung mempengaruhi kinerja PEMFC. PEMFC yang ideal harus menunjukkan tingkat konduktivitas proton yang tinggi, kandungan air dan permeabilitas molekul gas yang tepat, stabilitas elektrokimia dan stabilitas mekanik yang baik dengan karakteristik ideal suhu dekomposisi 250–500°C. Proses PEMFC menggunakan reaksi redoks pada hidrogen (anode) dan oksigen (katode) [11].

Seperti yang terlihat pada Gambar 1, proses kerja PEMFC beroperasi menggunakan reaksi redoks yang melibatkan hidrogen di anoda dan oksigen di katoda. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Pada anoda, asam dari elektrolit, hidrogennya akan terionisasi menghasilkan elektron dan ion hidrogen (proton). Reaksi ini akan membebaskan energi (Pers 2.1). Sementara di katoda, oksigen bereaksi dengan elektron yang diambil dari elektroda dan proton (ion hidrogen) membentuk air (Pers 2.2). Reaksi tersebut di atas berlangsung kontinyu, elektron yang dihasilkan pada anoda harus dapat melewati rangkaian elektrik menuju katoda. Demikian juga ion hidrogen (proton) harus dapat melewati elektrolit.



Gambar 1. Prinsip kerja PEMFC [17].

### 2.2. Material Sintesis

Platina (Pt) merupakan logam terbaik yang dapat digunakan sebagai katalis proton exchange membrane fuel cell (PEMFC). Karena Platina merupakan elektrokatalis yang sangat konduktif serta memiliki aktivitas katalitik yang tinggi dan stabilitas kimia yang sangat baik dalam mereduksi oksigen dan

mengoksidasi hidrogen pada pengoperasian PEMFC [12].

Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) adalah salah satu bahan menarik dengan banyak keunggulan signifikan seperti rasio kekuatan/berat yang tinggi, kelembaman kimia, dan baik ketahanan terhadap ketahanan korosi, yang secara efektif meningkatkan kinerja sel.  $\text{TiO}_2$  memiliki stabilitas luar biasa dalam atmosfer oksidasi dibandingkan dengan bahan oksida, nitrida, dan karbida lainnya yang telah diteliti secara menyeluruh sebagai bahan pendukung sehingga sangat berpotensi sebagai katalis yang efektif mengolah polutan [8].

Vulcan XC 72 (VC) merupakan bahan pendukung katalis Pt yang umum digunakan dalam PEMFC juga berfungsi sebagai bahan pengatur jarak antar lembaga graphene dalam PEMFC. Bahan berbasis VC dianggap sebagai bahan pendukung yang paling cocok karena karakteristik intrinsiknya seperti sifat berpori, luas permukaan yang tinggi dan konduktivitas listrik yang baik untuk memperpanjang masa pakai katalis [9].

*Reduced graphene oxide* (rGO) memiliki sifat penting yang sangat dibutuhkan untuk katalis, diantaranya luas permukaan spesifik yang tinggi, sifat mekanik yang dapat memberikan stabilitas dan durabilitas yang baik, serta kemampuan dispersi dan absorpsi yang baik. Semua sifat tersebut dapat meningkatkan masa pakai katalis [13].



**Gambar 2. (a) Bubuk Platina, (b) Titanium dioksida, (c) Vulcan XC 72 dan (d) r-GO**

### 2.3 Metode Sintesis Material

#### 2.3.1 Metode Hummer yang Dimodifikasi

Metode Hummers yang telah dimodifikasi digunakan untuk mensintesis rGO. Metode tersebut digunakan untuk menghasilkan *graphene oxide* melalui sintesis *graphene*, kemudian *reduced graphene oxide* (rGO) diperoleh setelah melalui proses reduksi *graphene*. Kelebihan metode ini diantaranya

biaya produksi yang rendah, hasil material yang dapat dibuat lebih banyak, waktu proses pembuatan yang singkat, serta tingkat keamanan dari reaksi yang ditimbulkan lebih aman karena tidak menggunakan bahan yang berbahaya [14].

#### 2.3.2 Metode Hidrotermal

Pada sintesis  $\text{TiO}_2$  didukung Vulcan XC-72 dan rGO, digunakan metode hidrotermal. Metode ini melibatkan autoklaf untuk menciptakan reaksi yang optimal. Metode ini digunakan karena memiliki efisiensi keberhasilan yang tinggi dan kontrol morfologi yang lebih baik terhadap ukuran dan bentuk partikel  $\text{TiO}_2$  [15].

#### 2.3.2 Metode Fotodeposisi

Metode Fotodeposisi merupakan teknik untuk mensintesis material dengan cara mendepositkan partikel logam pada permukaan material lain melalui proses fotokatalisis. Metode ini berfungsi untuk meningkatkan sifat katalitik dari  $\text{TiO}_2$  dan menjadikan kinerjanya lebih efektif dalam aplikasi PEMFC [16].

### 2.4. Karakteristik Katalis

*Cyclic Voltammetry* (CV) adalah alat standar dalam elektrokimia dan telah sering digunakan di fuel cell untuk mempelajari kinerja elektroda dan mengkarakterisasi transfer elektron yang melibatkan sel mikroba atau biofilm. Pengukuran CV memberikan informasi yang sangat efektif tidak hanya mengenai evolusi reaksi redoks atau reaksi elektrokimia yang dilakukan tetapi juga pada kinerja superkapasitor, seperti perilaku jangka panjang dan jendela potensial serta kapasitansi [17].

### 3. Metode penelitian

Penelitian ini memvariasikan massa dari VC dan rGO dan digunakan 3 macam variasi. Dengan variasi masing-masing 0.1 gr Pt : 0.1 gr  $\text{TiO}_2$  : 0.1 gr VC : 0.2 gr rGO untuk variasi pertama, 0.1 gr Pt : 0.1 gr  $\text{TiO}_2$  : 0.15 gr VC : 0.15 gr rGO untuk variasi kedua, 0.1 gr Pt : 0.1 gr  $\text{TiO}_2$  : 0.2 gr VC : 0.1 gr rGO untuk variasi ketiga.

Metode yang digunakan adalah metode Hummer dimodifikasi, metode hidrotermal dan metode fotodeposisi. Dalam metode Hummer yang dimodifikasi serbuk grafit disintesis dengan material bahan pendukung hingga berubah menjadi *graphene oxide* (GO).

Setelah itu dilakukan metode hidrotermal untuk mensintesis  $\text{TiO}_2$  yang didukung Vulcan XC-72 dan rGO dengan memasukkan serbuk rGO dan vulcan XC-72 ke dalam larutan etanol anhidrat dengan

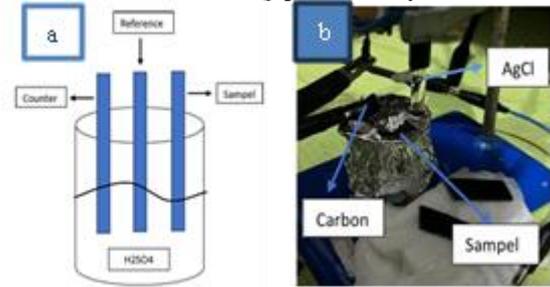
ultrasonik selama 1 jam kemudian ditambahkan  $\text{TiO}_2/\text{P25}$  dan diaduk kuat selama 2 jam, setelah itu dipindahkan ke autoklaf untuk dipanaskan pada suhu  $180^\circ\text{C}$  selama delapan jam hingga terakhir melalui proses pendinginan pada suhu ruangan, dicuci dan dikeringkan pada vakum dengan suhu  $60^\circ\text{C}$  untuk mendapatkan GNT tereduksi.

Langkah selanjutnya adalah mensintesis menggunakan metode fotodeposisi, yang mana setelah Sintesis  $\text{Pt TiO}_2$  didukung Vulcan XC-72-rGO, 0,2 g GNT disuspensikan ke dalam larutan metanol (100 mL) pada suhu  $25^\circ\text{C}$ , kemudian ditambahkan  $\text{H}_2\text{PtCl}_6\text{H}_2\text{O}$  kemudian dilakukan pengadukan magnetik diikuti ultrasonikasi selama 1 jam, kemudian diradiasi dengan lampu 8 W Hg selama 5 jam, setelah itu disaring dan dicuci dengan air DI dan alkohol untuk menghilangkan klorida dan akhirnya dikeringkan dengan vakum pada suhu  $70^\circ\text{C}$  semalaman. Dengan demikian sintesis  $\text{Pt.TiO}_2/\text{VC-rGO}$  dengan tiga variasi tadi sudah selesai dilakukan. Setelah melakukan sintesis dengan tiga metode tadi dilakukan pengujian karakteristik elektrokimia hubungan tegangan-arus yang di hasilkan dengan melakukan pengujian *cyclic voltammetry* (CV).

Pada penelitian ini alat yang digunakan untuk pengujian adalah CV tester tipe BST8-Stat dengan skema pada kurva uji CV meliputi rentang potensial 0 hingga 2 V dengan *scan rate* 0.1 mV/s. Jika pemindaian dilakukan dari potensial rendah ke potensial tinggi maka akan terjadi reaksi oksidasi, sedangkan jika pemindaian dilakukan dari potensial tinggi ke potensial rendah maka akan terjadi reaksi reduksi. Selama proses reduksi, arus maksimum yang dihasilkan disebut arus puncak katodik dan potensial maksimum disebut potensial puncak katodik. Sebaliknya pada reaksi oksidasi, arus maksimum yang diperoleh disebut arus puncak anodik dan potensial maksimumnya disebut potensial puncak anodik.

Elektroda merupakan salah satu komponen yang sangat penting digunakan dalam uji CV. Elektroda memiliki fungsi sebagai tempat terjadinya reaksi elektrokimia, mengukur stabilitas dan mengukur respons listrik. Ada 3 jenis elektroda yang digunakan dalam pengujian ini, diantaranya *reference*, *counter*, dan sampel (*working*). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 (a) Skema pengujian dan Gambar 3 (b) Proses pengujian, elektroda *reference* menggunakan AgCl, kemudian untuk elektroda *counter* menggunakan *carbon*, dan elektroda sampel (*working*) menggunakan sampel yang telah dibuat sebelumnya yaitu katalis  $\text{Pt.TiO}_2/\text{VC-}$

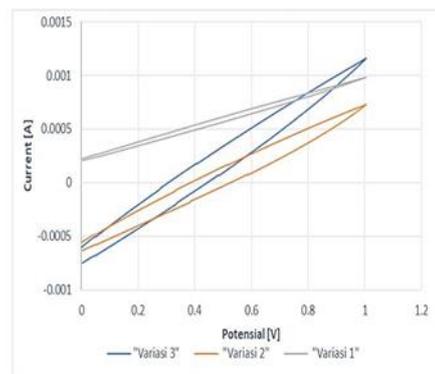
rGO. Pada proses pengujian CV yang dimana masing – masing elektroda di jepit dan dihubungkan ke alat pengujian CV, dan diatur *scan rate* serta rentang potensialnya.



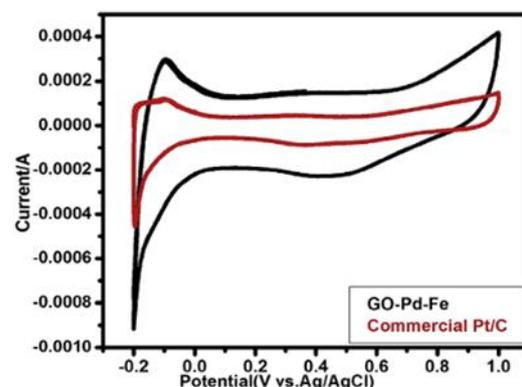
Gambar 3. (a) Skema pengujian, (b) Proses pengujian.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Setelah proses sintesis katalis  $\text{Pt.TiO}_2/\text{VC-rGO}$  selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data dengan melakukan pengujian CV. Data yang diperoleh dalam pengujian nantinya dapat diolah pada excel maupun aplikasi pengolah data lainnya.



Gambar 4. Hasil kurva uji CV



Gambar 5. Bentuk Kurva Hasil pengujian CV yang seharusnya [18]

Seperti yang terlihat pada Gambar 4 hasil kurva dari uji CV, menunjukkan pada variasi pertama, kedua dan ketiga tidak

ditemukannya puncak potensial anodik dan katodik. Jika mengacu pada Gambar 5 yang merupakan bentuk seharusnya dari kurva hasil pengujian CV, terlihat bentuk kurva yang melengkung menunjukkan adanya puncak potensial anodik dan katodik yang artinya bahwa proses pengujian dan pembacaan datanya berlangsung sebagaimana mestinya. Namun dari ketiga variasi yang telah diujikan variasi ketiga menunjukkan hasil yang baik dikarenakan mempunyai rentang potensial anodik dan katodik yang lebar dibandingkan dengan variasi yang lain. Pada ketiga variasi mengeluarkan arus  $\mu\text{A}$ .

Ketiga variasi tersebut tidak adanya puncak potensial anodik dan katodik bisa disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya persiapan elektroda yang kurang baik atau elektroda yang digunakan telah terkontaminasi. Larutan elektrolit juga dapat menjadi faktor yang menyebabkan kegagalan dalam pengujian, elektrolit yang digunakan harus stabil dan tidak tercemar untuk memastikan respon pada voltameteri yang konsisten.

## 5. Kesimpulan

Setelah serangkaian prosedur penelitian yang dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil adalah ketiga variasi tidak menunjukkan adanya hubungan tegangan arus-listrik yang dihasilkan. Ketiga variasi tidak menunjukkan adanya puncak saat dilakukan pengujian CV. Kegagalan dalam pembacaan data dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti elektroda sampel yang terkontaminasi, dan kurangnya kestabilan elektrolit sehingga menyebabkan terjadi kegagalan mengintrepetasikan data. Namun pada variasi ketiga merupakan hasil yang baik dikarenakan memiliki rentang reaksi reduksi dan oksidasi yang lebar.

## 6. Daftar Pustaka

- [1] Hasan, M. S., & Widayat, W. (2022). **Produksi Hidrogen dengan Memanfaatkan Sumber Daya Energi Surya dan Angin di Indonesia.** *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 3(1), 38-48.
- [2] Padang, Y. A., Mirmanto, M. M., Syahrul, S. S., Sinarep, S. S., & Pandiatmi, P. P. (2020). **Pemanfaatan energi alternatif dan terbarukan.** *Jurnal Karya Pengabdian*, 2(2), 77-84.
- [3] Zhang, G., Xie, X., Xie, B., Du, Q., & Jiao, K. (2019). **Large-scale multi-phase simulation of proton exchange membrane fuel cell.** *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 130, 555-563.
- [4] Rath, R., Kumar, P., Mohanty, S., & Nayak, S. K. (2019). **Recent advances, unsolved deficiencies, and future perspectives of hydrogen fuel cells in transportation and portable sectors.** *International Journal of Energy Research*, 43(15), 8931-8955.
- [5] Vikrant, Kumar, dkk. (2021). **Titanium dioksida (Pt/TiO<sub>2</sub>) yang diplatinisasi sebagai katalis multi-fungsi untuk termokatalisis, fotokatalisis, dan katalisis fototermal untuk menghilangkan polutan udara.** *Materi Terapan Hari Ini 23* (2021): 100993.
- [6] Rachman, B. A., Noerochim, L., & Purniawan, A. (2021). **Analisis Pengaruh Variasi Tekanan Hot Press Decal Transfer terhadap Morfologi Membrane Electrode Assembly dan Performa Elektrokimia PEM Fuel Cell.** *Jurnal Teknik ITS*, 10(2), B92-B97.
- [7] Chen, Y., Jian, Q., Huang, Z., Zhao, J., Bai, X., & Li, D. (2021). **Improvement of thermal management of proton exchange membrane fuel cell stack used for portable devices by integrating the ultrathin vapor chamber.** *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(74), 36995-37006.
- [8] Naik, Keerti M., Eiji Higuchi, dan Hiroshi Inoue. (2020). **Nanopartikel Pt yang didukung lembaran nano TiO<sub>2</sub> yang kekurangan oksigen dua dimensi sebagai katalis tahan lama untuk reaksi reduksi oksigen dalam sel bahan bakar membran penukar proton.** *Jurnal Sumber Daya* 455: 227972.
- [9] Rahman, M. M., Inaba, K., Batnyagt, G., Saikawa, M., Kato, Y., Awata, R., ... & Takeguchi, T. (2021). **Synthesis of catalysts with fine platinum particles supported by high-surface-area activated carbons and optimization of their catalytic activities for polymer electrolyte fuel cells.** *RSC advances*, 11(33), 20601-20611.
- [10] Apandi, N. M., Zailani, W. W. A., Izwan, K. N. K., Zakaria, M., & Zulkarnain, N. N. (2024). **Graphene oxide as carbon-based materials: A review of geopolymer with addition of graphene oxide towards sustainable construction materials.** *Construction and Building Materials*, 411, 134410.

- [11] Olabi, A. G., Wilberforce, T., & Abdelkareem, M. A. (2021). **Fuel cell application in the automotive industry and future perspective.** *Energy*, 214, 118955.
- [12] Okonkwo, P. C., Belgacem, I. B., Emori, W., & Uzoma, P. C. (2021). **Nafion degradation mechanisms in proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) system: A review.** *International journal of hydrogen energy*, 46(55), 27956-27973.
- [13] Nascimento, J. R., D'Oliveira, M. R., Veiga, A. G., Chagas, C. A., & Schmal, M. (2020). **Synthesis of reduced graphene oxide as a support for nano copper and palladium/copper catalysts for selective NO reduction by CO.** *ACS omega*, 5(40), 25568-25581.
- [14] Marcano, D. C., Kosynkin, D. V., Berlin, J. M., Sinitskii, A., Sun, Z., Slesarev, A., ... & Tour, J. M. (2010). **Improved synthesis of graphene oxide.** *ACS nano*, 4(8), 4806-4814.
- [15] Syuhada, N. (2023). **Fabrikasi dan Uji Luas Permukaan Material Microsphere-Nanorod Titanium Dioksida.** *SPIN JURNAL KIMIA & PENDIDIKAN KIMIA*, 5(1), 146-155.
- [16] Hikmah, M., & Wahyuni, N. (2023). **Sintesis Fotokatalis TiO<sub>2</sub> untuk Degradasi Zat Warna Sintetis Metilen Biru dengan Bantuan Sinar Tampak.** *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(3), 878-887.
- [17] Pandiarajan, M., & Rajendran, S. (2016). **Applications of Cyclic voltamme.** *Int J Nano Corr Sci and Engg*, 3(4), 166-180.
- [18] Dhali, Sunil, et al. **"Graphene oxide supported Pd-Fe nanohybrid as an efficient electrocatalyst for proton exchange membrane fuel cells."** *International Journal of Hydrogen Energy* 45.37 (2020): 18704-18715..

	<p>Dewa Made Dwi Adnyana Putra menyelesaikan studi S1 pada tahun 2024 Universitas Udayana Bali dengan program studi Teknik Mesin.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah konversi energi mengenai pengembangan katalis dari Proton Exchange Membrane Fuel Cell</p>	

	<p>Made Sucipta menyelesaikan studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya pada tahun 1998. S2 di Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya 2001. Serta S3 di Shibaura Institute of Technology, Jepang 2007, dan Profesi di Universitas Udayana, Bali tahun 20020.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan <i>fuel cell</i>, penyimpanan energi, dan <i>green energy</i>. Saat ini beliau bekerja sebagai staf pengajar di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana.</p>	

	<p>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.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah teknologi nano partikel dan perkembangan baterai Saat ini beliau bekerja pada Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran.</p>	

	<p>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.</p>
<p>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.</p>	



Ketut Astawa menempuh 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. Saat ini beliau bekerja sebagai staf pengajar di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana.