

# Sintesis Katalis Platina-Titanium Dioksida Dengan Substitusi *Reduced Graphene Oxide* Dan Karakterisasinya Menggunakan Pengujian *Cyclic Voltammetry*

B. Gde Edy Triana Adi Jaya<sup>1</sup>, 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, Jatinangor, Jawa Barat

---

## Abstrak

Peningkatan penggunaan energi fosil sebagai bahan bakar menjadi penyebab utama krisis dan polusi. Beberapa energi terbarukan dikembangkan seperti hidrogen yang dapat diaplikasikan pada Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). PEMFC adalah alat yang dapat mengubah hidrogen menjadi energi listrik melalui komponen utama yaitu Membrane Electrode Assembly (MEA). Pada MEA terdapat katalis sebagai tempat reaksi reduksi-oksidasi. Katalis Pt/C umum digunakan sebagai elektrokatalis, namun kelangkaan, biaya tinggi serta rentan terjadi korosi menjadi kelemahan. Penambahan material pendukung seperti TiO<sub>2</sub> dan rGO mampu meningkatkan kinerja katalis Pt. Maka sintesis katalis Pt.TiO<sub>2</sub>/rGO dengan variasi massa tertentu dan beberapa metode lanjutan meliputi Hummers Modifikasi, Hidrotermal dan Fotodeposisi dilakukan untuk mendapatkan katalis dengan biaya yang terjangkau. Karakterisasi dari katalis dilakukan pengujian Cyclic Voltammetry (CV) untuk mengetahui karakteristik konduktivitas tegangan-arus pada reaksi reduksi-oksidasi pada katalis Pt.TiO<sub>2</sub>/rGO. Hasil pengujian didapatkan bahwa katalis dengan variasi massa Pt terbanyak menunjukkan puncak potensial anoda untuk reaksi oksidasi dan mengeluarkan arus sebesar 1,1 mV.

Kata kunci: PEMFC, Katalis, Pt.TiO<sub>2</sub>/rGO, Cyclic voltammetry

## Abstract

The increased use of fossil fuels as an energy source has become a major cause of crises and pollution. Some renewable energies are being developed, such as hydrogen, which can be applied in Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC). PEMFC is a device that converts hydrogen into electrical energy through a key component known as the Membrane Electrode Assembly (MEA). The MEA includes a catalyst where the reduction-oxidation reactions occur. Pt/C catalysts are commonly used as electrocatalysts, but their scarcity, high cost, and susceptibility to corrosion are significant drawbacks. The addition of supporting materials such as TiO<sub>2</sub> and rGO can enhance the performance of Pt catalysts. Therefore, the synthesis of Pt.TiO<sub>2</sub>/rGO catalysts with specific mass variations and several advanced methods including modified Hummers, hydrothermal, and photodeposition were performed to obtain cost-effective catalysts. The characterization of the catalysts was conducted using Cyclic Voltammetry (CV) to determine the conductivity characteristics of voltage-current in the reduction-oxidation reactions on the Pt.TiO<sub>2</sub>/rGO catalyst. The results showed that the catalyst with the highest Pt mass variation exhibited the anodic peak potential for the oxidation reaction and produced a current of 1.1 mV.

Keywords: PEMFC, Catalyst, Pt.TiO<sub>2</sub>/rGO, Cyclic voltammetry

---

## 1. Pendahuluan

Tingginya penggunaan energi fosil sebagai bahan bakar pada alat transportasi menjadi penyebab utama krisis energi dan polusi bagi lingkungan. Upaya mengembangkan energi terbarukan telah dilakukan untuk menjawab masalah tersebut. Salah satu pengembangan energi alternatif untuk mengurangi penggunaan energi fosil, adalah hidrogen. Hidrogen dianggap sebagai sumber energi yang menjanjikan untuk bahan bakar alat transportasi karena kandungan yang melimpah, nol-emisi, dan massa atom rendah [1]. Salah satu pemanfaatan hidrogen adalah dapat diaplikasikan pada Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) sebagai pengganti mesin pembakaran dalam berbasis energi fosil [2]. PEMFC merupakan perangkat yang mampu mengubah energi kimia yang terdapat didalam bahan bakar menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia pada komponen utamanya yaitu Membrane Electrode Assembly (MEA) [3]. Pada

MEA terdapat katalis yang menjadi tempat reaksi reduksi oksigen pada lapisan katoda dan reaksi oksidasi hidrogen pada lapisan anoda [4].

Secara konvensional katalis yang digunakan pada PEMFC adalah katalis berbasis platina (Pt) yang didukung karbon (C). Katalis Pt/C mampu bekerja dengan baik sebagai elektrokatalis, namun kelangkaan platina serta harga yang tinggi menjadi kelemahan material ini, Selain itu katalis Pt/C rentan mengalami keracunan karbon monoksida (CO) dan adsorpsi karbon lainnya [5]. Maka penambahan serta substitusi material pendukung dapat dilakukan. Penambahan material dukungan seperti titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) pada katalis berbasis platina dapat meningkatkan kinerja katalis. (TiO<sub>2</sub>) dikatakan mampu menahan korosi, memiliki stabilitas yang baik pada kondisi asam, mudah didapat dan biaya yang rendah [6]. Substitusi penggunaan *reduction graphene oxide* (rGO) sebagai pengganti karbon juga mampu

menghasilkan dispersi yang baik pada material Pt serta dapat bertindak sebagai material pengontrol reaksi elektrokimia secara terkendali [7]

Tujuan dari dilakukannya penelitian adalah untuk mengetahui karakteristik konduktivitas listrik serta titik potensial puncak reaksi reduksi-oksidasi dari katalis Pt.TiO<sub>2</sub>/rGO dengan biaya yang lebih terjangkau. Adapun permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini meliputi analisis karakteristik konduktivitas listrik dari katalis Pt.TiO<sub>2</sub>/rGO sebagai katalis penyusun MEA pada PEMFC. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dari permasalahan, maka perlu adanya batasan meliputi: kemurnian material katalis yang digunakan sesuai dengan yang dikeluarkan oleh pabrikan dan parameter lingkungan seperti Suhu dan tekanan dianggap konstan.

## 2 Dasar Teori

### 2.1 Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC).

*Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) merupakan suatu alat yang dapat secara langsung mengubah hidrogen menjadi listrik dengan proses elektrokimia. PEMFC terdiri dari *end plate*, *current collector*, *bipolar plate*, *gaskets*, dan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) [8]. Reaksi elektrokimia terdapat di dalam MEA, dimana proses ini berlangsung pada *catalyst layers* (CL) [4]. Pada katalis terjadi reaksi reduksi oksigen di lapisan katoda dan reaksi oksidasi hidrogen dilapisan anoda.

### 2.2 Material katalis

Umumnya material penyusun katalis pada PEMFC adalah berbasis platina (Pt). Pt dikatakan sebagai bahan terbaik untuk reaksi elektrokimia. Pt memiliki stabilitas katalik yang tinggi dan dapat menahan elektroda-oksidasi[9]. Pada penyusunan katalis, material Pt biasanya didukung dengan karbon sebagai tempat penyebaran atau dudukan dari Pt. Namun dalam penggunaannya, katalis Pt/C rentan terkena korosi yang mengakibatkan melemahnya kinerja katalis [10]. Maka material pendukung dapat ditambahkan seperti TiO<sub>2</sub> yang baik digunakan karena dapat meningkatkan kinerja katalis, stabil terhadap termal dan bersifat hidrofilik sebagai pengelolaan air pada katalis [11]. Substitusi material rGO sebagai pengganti karbon juga dapat dilakukan. rGO mampu bertindak sebagai bahan konduktif untuk reaksi elektrokimia, mampu meningkatkan dispersi Pt secara merata, serta memiliki stabilitas kerja katalik yang baik [12].

### 2.3 Sintesis katalis

Sintesis katalis merupakan suatu proses pembentukan sebuah senyawa baru dari gabungan unsur atau prekursor kimia. Proses sintesis digunakan untuk memperoleh suatu katalis. Sintesis katalis dapat dilakukan dengan metode tertentu

#### 2.3.1 Metode Hummers Modifikasi

Metode Hummers merupakan suatu metode sintesis sederhana yang umum dalam pembuatan *graphene oxide* (GO). Metode Hummers memiliki keunggulan seperti kesederhanaan dan efisiensi namun masih memiliki kekurangan yaitu menghasilkan gas beracun akibat oksidasi natrium nitrat (NaNO<sub>3</sub>), maka metode Hummers dimodifikasi dengan penggunaan asam sulfat pekat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dan Kalium Permanganat (KMnO<sub>4</sub>) [13][14].

#### 2.3.2 Metode Hidrotermal

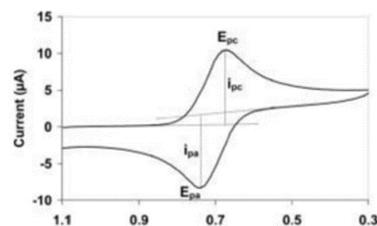
Metode Hidrotermal merupakan metode sintesis dengan menggunakan reaksi dari pelarut dengan suhu berkisar (100-1000 °C) dan tekanan (1-100 Mpa). Metode Hidrotermal dilakukan pada wadah khusus yang tertutup rapat atau autoklaf [15]. Metode Hidrotermal adalah salah satu metode sintesis yang umum digunakan, karena proses yang sederhana dan ramah lingkungan.

#### 2.3.3 Metode Fotodeposisi

Metode Fotodeposisi adalah metode yang umum digunakan sebagai metode untuk membentuk fotokatalis yang terkandung pada logam. Metode Fotodeposisi merupakan metode yang mudah dikerjakan. Memanfaatkan sinar dari sumber cahaya UV dengan waktu dan daya penyinaran yang disesuaikan. Pemanfaatan sinar cahaya akan diserap melalui celah pita untuk membentuk nanokompasit logam/semi konduktor [16].

## 2.4 Karateriasi *Cyclic voltammetry*

*Cyclic voltammetry* merupakan salah satu pengujian karakteristik untuk mengetahui konduktivitas tegangan-arus pada katalis. CV dapat memberikan informasi elektrokimia seperti tegangan-arus dalam proses reduksi oksidasi [17]. Hasil analisis akan ditunjukkan pada grafik *Cyclic Voltammogram* [18]. Gambar 2.1 menunjukkan contoh grafik *Cyclic Voltammogram*.



Gambar 2. 1 Grafik Voltammogram [18]

## 3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan secara eksperimental dengan menggunakan tiga variasi massa material Pt dan TiO<sub>2</sub>. Variasi A terdiri atas 0,05g Pt : 0,15g TiO<sub>2</sub>, variasi B terdiri atas 0,1g Pt : 0,1g TiO<sub>2</sub>, variasi C terdiri atas 0,15g Pt : 0,05g TiO<sub>2</sub> dengan substitusi massa 0,3g GO disetiap variasi. Beberapa metode sintesis lanjutan dilakukakan untuk mendapatkan katalis, seperti Metode Hummers

Modifikasi sebagai sintesis GO, Metode Hidrotermal sebagai sintesis  $\text{TiO}_2/\text{rGO}$  dan Metode Fotodeposisi sebagai sintesis  $\text{Pt.TiO}_2/\text{rGO}$ . Pengujian karakteristik katalis penyusun MEA dapat dilakukan uji *cyclic voltammetry* (CV) untuk mengetahui konduktivitas listrik pada katalis  $\text{Pt.TiO}_2/\text{rGO}$ .

### 3.1 Sintesis Graphene Oxide (GO)

Grafrit alami 2,5g dan Natrium Nitrat 1,25g dicampurkan dengan 60mL Asam Sulfat pekat pada kondisi suhu dibawah  $5^\circ\text{C}$  selama 30 menit. Kemudian 7,5g Kalium Permanganat ditambahkan perlahan dengan menjaga suhu reaksi dibawah  $20^\circ\text{C}$ . Campuran dihangatkan  $35^\circ\text{C}$  dan terus diaduk. Penambahan 150mL aquades secara terkontrol lalu campuran dipanaskan dengan menahan suhu pada  $98^\circ\text{C}$  selama 45 menit. Setelah mencapai suhu ruang, ditambahkan tetesan Hidrogen Peroksida sebanyak 10mL. Kemudian larutan disaring dan di cuci dengan aquades hingga mencapai pH 7. Kemudian endapan dikeringkan dengan oven pada suhu  $50^\circ\text{C}$ .

### 3.2 Sintesis $\text{TiO}_2\text{-rGO}$

Serbuk GO sebanyak 0,3g dilarutkan dengan 35mL Etanol Anhidrat dan diultrasonikasi selama 1 jam. Kedalam larutan ditambahkan Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$  Degussa P-25) sesuai variasi massa dengan diaduk kuat selama 2 jam. Kemudian larutan dipindahkan ke dalam autoklaf dan dipanaskan pada suhu  $180^\circ\text{C}$  selama 8 jam. Campuran disaring dan dicuci dengan aquades. Kemudian campuran dikeringkan pada oven dengan suhu  $60^\circ\text{C}$ .

### 3.3 Sintesis $\text{Pt.TiO}_2/\text{rGO}$

Serbuk  $\text{TiO}_2/\text{rGO}$  sesuai variasi massa dilarutkan dengan 100mL Metanol dan diaduk. Kemudian ditambahkan Asam kloroplatinat ( $\text{H}_2\text{PtCl}_6\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) sesuai dengan variasi massa dan diultrasonikasi selama 1 jam sambil terus diaduk. Larutan dipindahkan pada reaktor kaca dan dibersihkan dengan Nitrogen ( $\text{N}_2$ ) selama 1 jam. Kemudian diradiasi dengan lampu hologen 10 Watt selama 5 jam. Larutan suspensi selanjutnya disaring dan dibersihkan dengan alkohol dan aquades. Kemudian dikeringkan pada oven dengan suhu  $70^\circ\text{C}$ .

### 3.4 Metode Pengujian *Cyclic voltammetry*

Pada penelitian dilakukan pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV) untuk mengetahui konduktivitas (teganga-arus) serta titik puncak potensial yang dihasilkan oleh reaksi reduksi-oksidasi dari elektroda katalis  $\text{Pt.TiO}_2/\text{rGO}$ . Metode uji CV menggunakan sel elektrokimia meliputi elektroda *Counter*, elektroda *refrence*, elektroda *working*, dan elektrolit. Elektroda *counter* yang digunakan adalah lembaran carbon, untuk elektroda *refrence* menggunakan  $\text{Ag}/\text{Ag Cl}$  (perak/perak klorida), elektroda *working* yang digunakan adalah katalis  $\text{Pt.TiO}_2/\text{rGO}$ , dan elektrolit yang digunakan adalah larutan Asam Sulfat pekat 0,1 M. Masing-masing elektroda terhubung pada alat uji

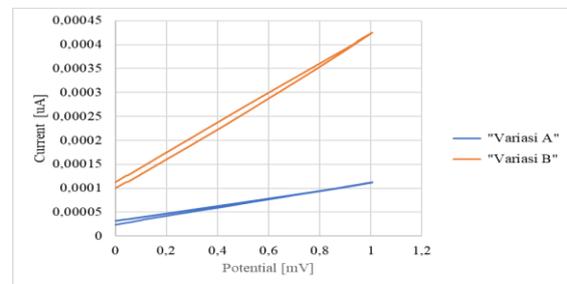
melalui kabel penghubung, dan di rendam pada larutan elektrolit. Kemudian elektroda discan secara *reversibel* dengan *scan rate* 0.1 mV/s dan rentang potensial 1-2 mV. Skema pengujian CV dapat ditunjukkan pada Gambar 3.1.



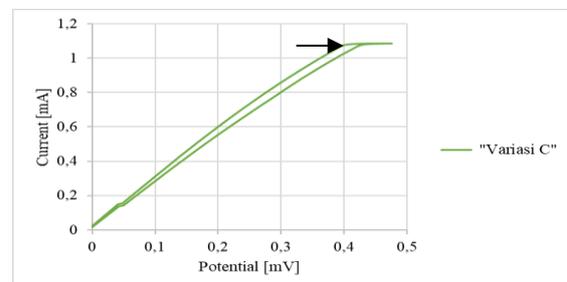
Gambar 3. 1 Skema pengujian cyclic voltammetry

## 4 Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian *Cyclic voltammetry* dari katalis  $\text{Pt.TiO}_2/\text{rGO}$  dengan tiga variasi massa yang berbeda berhasil dilakukan. Hasil dari pengujian CV berupa grafik *voltammogram* yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4. 1 Hasil uji CV variasi A & B



Gambar 4. 2 Hasil uji CV variasi C

Pada Gambar 4.1 menunjukkan grafik hasil uji CV variasi A & B. Grafik dengan warna biru menunjukkan hasil variasi A sedangkan grafik warna orange menunjukkan hasil variasi B. Kedua variasi tersebut mengeluarkan arus dengan besaran  $\mu\text{A}$ . Hasil uji variasi A & B tidak dapat ditentukan potensial puncak anodik dan katodik karena tidak terdapat pick puncak dari garis grafik tersebut. Hal ini mungkin disebabkan oleh elektrodanya yang kurang stabil untuk menghantarkan arus-tegangan listrik yang dihasilkan, serta disebabkan oleh elektrolitnya yang terkontaminasi. Untuk Variasi C ditunjukkan dengan Gambar 4.2, dimana variasi C mengeluarkan arus dengan besaran mA. Hasil uji variasi C, terlihat bahwa potensial puncak anodik ditunjukkan pada garis panah warna hitam dengan besaran arus 1,1 mA.

sedangkan puncak katodik tidak dapat ditentukan. Hal memungkinkan bahwa variasi C hanya dapat digunakan di lapisan katalis anoda karena hanya terlihat puncak potensial pada saat reaksi oksidasi saja.

## 5 Kesimpulan

Katalis Pt.TiO<sub>2</sub>/rGO dengan tiga variasi berbeda berhasil dilakukan. Karakteristik dari katalis dilakukan karakterisasi dengan pengujian CV. Hasil dari pengujian CV berupa grafik *Voltammogram* dengan hasil uji terbaik dimiliki oleh variasi massa Pt terbanyak. Pada variasi C menunjukkan adanya reaksi oksidasi yang terlihat dari munculnya titik puncak potensial anodik pada grafiknya. Besaran dari reaksi tersebut menunjukkan 1,1mV pada arusnya. Untuk variasi lainnya tidak dapat ditentukan puncak potensial dari anoda dan katodanya, hal ini mungkin disebabkan oleh penggunaan elektroda kerja yang tidak sesuai atau tidak stabil.

## Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai melalui hibah Penelitian Grup Riset Udayana (PGRU) sesuai dengan kontrak Nomor: B/255.326/UN14.4.A/PT.01.03/2024.

## Daftar Pustaka

- [1] Singla, M. K., Nijhawan, P., & Oberoi, A. S. (2021). *Hydrogen fuel and fuel cell technology for cleaner future: a review*. Environmental Science and Pollution Research, 28, 15607-15626.
- [2] Ren, X., Wang, Y., Liu, A., Zhang, Z., Lv, Q., & Liu, B. (2020). *Current progress and performance improvement of Pt/C catalysts for fuel cells*. Journal of Materials Chemistry A, 8(46), 24284-24306.
- [3] Jung, G. B., Chan, S. H., Lai, C. J., Yeh, C. C., & Yu, J. W. (2019). *Innovative membrane electrode assembly (MEA) fabrication for proton exchange membrane water electrolysis*. Energies, 12(21), 4218.
- [4] Ger Mohideen, M. M., Liu, Y., & Ramakrishna, S. (2020). *Recent progress of carbon dots and carbon nanotubes applied in oxygen reduction reaction of fuel cell for transportation*. Applied Energy, 257, 114027.
- [5] Baronia, R., Goel, J., Kaswan, J., Shukla, A., Singhal, S. K., & Singh, S. P. (2018). *PtCo/rGO nano-anode catalyst: enhanced power density with reduced methanol crossover in direct methanol fuel cell*. Materials for Renewable and Sustainable Energy, 7, 1-13.
- [6] Karuppanan, K. K., Panthalingal, M. K., & Biji, P. (2018). *Nanoscale, catalyst support materials for proton-exchange membrane fuel cells*. In Handbook of nanomaterials for industrial applications (pp. 468-495). Elsevier.
- [7] Lagarteira, T., Delgado, S., Fernandes, C., Azenha, C., Mateos-Pedrero, C., & Mendes, A. (2020). *The role of Pt loading on reduced graphene oxide support in the polyol synthesis of catalysts for oxygen reduction reaction*. International Journal of Hydrogen Energy, 45(40), 20594-20604.
- [8] Xie, F., Shao, Z., Hou, M., Yu, H., Song, W., Sun, S., ... & Yi, B. (2019). *Recent progresses in H<sub>2</sub>-PEMFC at DICP*. Journal of Energy Chemistry, 36, 129-140.
- [9] Eshghi, A., & Sabzehmeidani, M. M. (2018). *Platinum-Iron nanoparticles supported on reduced graphene oxide as an improved catalyst for methanol electro oxidation*. international journal of hydrogen energy, 43(12), 6107-6116.
- [10] Mirshekari, G. R., & Rice, C. A. (2018). *Effects of support particle size and Pt content on catalytic activity and durability of Pt/TiO<sub>2</sub> catalyst for oxygen reduction reaction in proton exchange membrane fuel cells environment*. Journal of Power Sources, 396, 606-614.
- [11] Bharti, A., Muliankeezhu, S., & Cheruvally, G. (2018). *Pt-TiO<sub>2</sub> nanocomposites as catalysts for proton exchange membrane fuel cell: prominent effects of synthesis medium pH*. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 18(4), 2781-2789.
- [12] Purkait, M. K., & Chang, C. T. (2020). *Experimental evaluation of Pt/TiO<sub>2</sub>/rGO as an efficient HER catalyst via artificial photosynthesis under UVB & visible irradiation*. International Journal of Hydrogen Energy, 45(35), 17174-17190.
- [13] Zaaba, N. I., Foo, K. L., Hashim, U., Tan, S. J., Liu, W. W., & Voon, C. H. (2017). *Synthesis of graphene oxide using modified hummers method: solvent influence*. Procedia engineering, 184, 469-477.
- [14] Muzyka, R., Kwoka, M., Smędowski, Ł., Diez, N., & Gryglewicz, G. (2017). *Oxidation of graphite by different modified Hummers methods*. New Carbon Materials, 32(1), 15-20.
- [15] Feng, S. H., & Li, G. H. (2017). *Hydrothermal and solvothermal syntheses*. In Modern inorganic synthetic chemistry (pp. 73-104).
- [16] Lee, Y., Kim, E., Park, Y., Kim, J., Ryu, W., Rho, J., & Kim, K. (2018). *Photodeposited metal-semiconductor nanocomposites and their applications*. Journal of Materiomics, 4(2), 83-94.
- [17] Kim, T., Choi, W., Shin, H. C., Choi, J. Y., Kim, J. M., Park, M. S., & Yoon, W. S. (2020). *Applications of voltammetry in lithium ion battery research*. Journal of Electrochemical Science and Technology, 11(1), 14-25.
- [18] Pandiarajan, M., & Rajendran, S. (2016). *Applications of Cyclic voltammetry*. Int J Nano Corr Sci and Engg, 3(4), 166-180.

|  |   |
|--|---|
|   | <p>B. Gde Edy Triana Adi Jaya menyelesaikan studi S1 tahun 2024 Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bali.</p> |
| <p>Bidang penelitian yang diminati adalah konversi energi mengenai pengembangan katalis dari Proton Exchange Membrane Fuel cell.</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, Adelaide dan menyelesaikan studi S3 tahun 2020 program studi ilmu teknik di Universitas Udayana, Bali.</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> |   |

|  |   |
|--|---|
|    | <p>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.</p> |
| <p>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</p> |   |

|   |  |
|---|--|
|    | <p>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.</p> |
| <p>Bidang penelitian yang diminati adalah konversi energi meliputi perencanaan ketel uap serta topik mengenai kolektor surya.</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. Saat ini beliau bekerja pada Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran.</p> |
| <p>Bidang penelitian yang diminati adalah teknologi nanopartikel serta perkembangan baterai. Saat ini beliau bekerja pada departemen fisika, FMIPA Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Jawa Barat.</p> |  |