

Pengaruh Daya Listrik Terhadap Produksi Hidrogen Dengan Metode Elektrolisis Air Alkali

Armeisia Daun Rara, Made Sucipta, dan Made Suarda
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Ketergantungan global pada bahan bakar fosil mendorong pencarian sumber energi alternatif yang lebih bersih. Hidrogen (H_2) menjadi kandidat utama karena memiliki kepadatan energi tinggi dan fleksibilitas penggunaan. Salah satu metode produksi H_2 yang menjanjikan adalah Alkaline Water Electrolysis (AWE), yang unggul dalam biaya relatif rendah, umur pakai panjang, dan kondisi operasi sederhana. Namun, efisiensi AWE masih terbatas akibat kehilangan energi dari pembentukan serta pelepasan gelembung gas. Faktor yang berpengaruh dalam AWE adalah elektrolit, elektroda, membran, jarak elektroda, termasuk daya listrik. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh variasi daya listrik terhadap massa H_2 yang dihasilkan pada sel elektrolisis dengan jarak elektroda tetap 8 cm dan konsentrasi elektrolit KOH 7%. Variasi daya yang digunakan adalah 0,01 W; 0,07 W; 0,09 W; 0,14 W; dan 0,31 W. Produksi H_2 dianalisis menggunakan image processing berbasis MATLAB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan daya listrik secara signifikan meningkatkan massa H_2 yang dihasilkan. Massa terbesar diperoleh pada daya 0,31 W, mengonfirmasi peran arus listrik dalam menentukan jumlah molekul H_2 sesuai hukum Faraday. Temuan ini menegaskan pentingnya optimasi parameter operasional dalam meningkatkan efisiensi AWE.

Kata kunci: Hidrogen, elektrolisis air alkali, jarak elektroda, daya listrik

Abstract

Global dependence on fossil fuels drives the search for cleaner alternative energy sources. Hydrogen (H_2) emerges as a prime candidate due to its high energy density and versatile applications. One promising method for H_2 production is Alkaline Water Electrolysis (AWE), which offers advantages such as relatively low cost, long lifespan, and simple operating conditions. However, the efficiency of AWE remains limited due to energy losses from gas bubble formation and release. Key influencing factors in AWE include the electrolyte, electrodes, membrane, electrode spacing, and electrical power. This study aims to examine the effect of varying electrical power on the mass of H_2 produced in an electrolyzer cell with a fixed electrode spacing of 8 cm and a KOH electrolyte concentration of 7%. The applied power variations were 0.01 W, 0.07 W, 0.09 W, 0.14 W, and 0.31 W. H_2 production was analyzed using MATLAB-based image processing. The results show that increasing electrical power significantly enhances the mass of H_2 produced. The highest mass was obtained at 0.31 W, confirming the role of electric current in determining the number of H_2 molecules in accordance with Faraday's law. These findings highlight the importance of optimizing operational parameters to improve the efficiency of AWE.

Keywords: Hydrogen, alkaline water electrolysis, electrode gap, electrical power.

1. Pendahuluan

Peningkatan populasi dunia menyebabkan lonjakan konsumsi energi, terutama dari bahan bakar fosil yang berdampak buruk pada lingkungan dan iklim [1], [2], [3]. Untuk itu, transisi ke energi terbarukan sangat penting, dan hidrogen (H_2) menjadi kandidat utama karena sifatnya yang serbaguna dan kepadatan energi tinggi [4], [5], [6]. Hidrogen dapat diproduksi melalui berbagai metode, namun elektrolisis air dinilai paling menjanjikan untuk jangka panjang karena kondisi operasi yang ringan [7], [8], [9].

Elektrolisis air terbagi menjadi empat metode utama: *proton exchange membrane* (PEM), *anion exchange membrane* (AEM), *solid oxide electrolysis* (SOE), dan *alkaline water electrolysis* (AWE) [10]. Saat ini, AWE dan PEM lebih siap diterapkan secara teknologi, sedangkan AEM dan SOE masih dalam pengembangan [11]. Dibandingkan PEM, AWE lebih ekonomis karena menggunakan elektrolit alkali dan

elektroda logam murah, serta memiliki masa pakai lebih lama [12].

AWE memecah air menjadi H_2 dan O_2 melalui arus listrik menggunakan elektrolit seperti KOH atau NaOH, dengan KOH dianggap lebih unggul karena sifat kimianya [13], [14]. Proses ini memerlukan membran untuk memisahkan gas dan memfasilitasi pertukaran ion hidroksida [15], [16], [17], [18], dengan membran berbasis keramik menawarkan stabilitas dan efisiensi lebih tinggi [19].

Elektroda mulia awalnya digunakan, namun karena mahal, logam seperti stainless steel menjadi alternatif yang lebih ekonomis dan tahan korosi [20], [21]. Efisiensi AWE juga dipengaruhi oleh jarak antar elektroda dan daya listrik. Jarak terlalu sempit atau terlalu lebar dapat meningkatkan resistensi, sementara peningkatan kerapatan arus dapat menyebabkan overpotential [22], [23], [24].

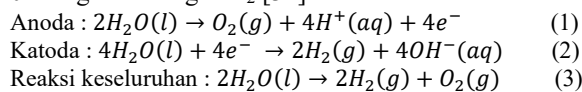
Meskipun AWE sudah digunakan dalam industri, tantangan efisiensi dan biaya masih ada [20], [25]. Efisiensi rendah terutama disebabkan oleh kehilangan

energi dalam pembentukan dan pelepasan gelembung gas [26]. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus untuk meningkatkan efisiensi pada pembentukan dan pelepasan gelembung H₂ dengan memvariasikan daya listrik.

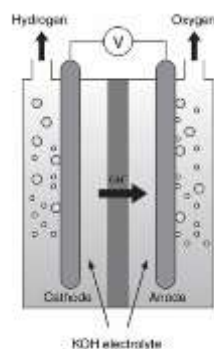
2. Dasar Teori

Elektrolisis air merupakan metode produksi gas H₂ dengan sistem pemisahan air menjadi molekul H₂ dan O₂ menggunakan energi listrik [27]. Metode ini juga dianggap sebagai metode produksi H₂ yang paling sederhana serta ramah lingkungan bila menggunakan sumber energi terbarukan [28]. Terdapat 2 reaksi yang terjadi dalam proses elektrolisis air, yaitu *hydrogen evolution system* (HER) ketika gelembung H₂ terbentuk di katoda dan *oxygen evolution system* (OER) dimana gelembung O₂ terbentuk di anoda [29].

Persamaan 1 dan 2 merupakan reaksi yang terjadi pada anoda dan katoda, sedangkan persamaan 3 merupakan reaksi keseluruhan yang menghasilkan 2 mol air menjadi 2 mol H₂ dan 1 mol O₂ pada proses elektrolisis air [30]. H₂ dan O₂ memiliki perbandingan jumlah gas 2:1. Pada katoda, atom H dalam H₂O mengalami reduksi dari biloks +1 menjadi 0 membentuk gas H₂, sedangkan pada anoda atom O dalam H₂O mengalami oksidasi dari biloks -2 menjadi 0 menghasilkan gas O₂ [31].



Terdapat beberapa metode yang dilakukan dalam elektrolisis air, yaitu AEM, PEM, SOE, dan AWE. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah AWE. AWE merupakan metode elektrolisis air yang menggunakan larutan basa alkali sebagai elektrolitnya [32]. KOH dan NaOH adalah larutan yang biasanya digunakan dalam AWE dengan konsentrasi larutan hingga 40 wt% dan temperatur konduktivitas listrik mencapai 90°C. Namun, untuk larutan KOH memiliki konduktivitas $54.3 \times 10^{-2} \text{ } \Omega/\text{cm}$ pada temperatur 25°C. Gambar 1 menunjukkan skematik AWE secara umum.



Gambar 1. Skematik AWE

Seperti yang terlihat pada gambar, terdapat dua buah elektroda yaitu anode dan katoda sebagai tempat pertumbuhan dan pelepasan gelembung H₂ dan O₂. Di

tengah dua buah elektroda diberikan diafragma atau membran pembatas agar O₂ dan H₂ tidak dapat menyatu [33], [34].

Secara umum, elektrolisis air terjadi dalam larutan elektrolit kemudian arus listrik dialirkan pada anoda dan katoda yang dibatasi oleh diafragma, dimana elektron mengalir ke kutub negatif menghasilkan H₂ lalu berpindah ke kutub positif melalui diafragma dan menghasilkan O₂ [35]. Arus listrik yang dialirkan merupakan arus searah (DC) dengan beda potensial dan kuat arus listrik yang mengalir dalam elektrolit dapat dinyatakan dalam hukum ohm di persamaan 4 dan besaran listriknya dinyatakan dengan Coulomb pada persamaan 5 [36].

$$I = \frac{V}{R} \quad (4)$$

I = kuat arus listrik (ampere)

R = hambatan listrik (ohm)

V = beda potensial (volt)

$$Q = I \cdot t \quad (5)$$

Q = muatan listrik (coloumb)

t = waktu (detik)

I = kuat arus listrik (ampere)

Dalam hukum faraday, arus listrik total yang mengalir melalui sel disebut kerapatan arus. Rapat arus menghasilkan perhitungan seluruh jumlah logam yang terendap. Persamaan 6 merupakan rumus untuk mencari kerapatan arus pada permukaan elektroda [37].

$$j = \frac{I}{A} \quad (6)$$

j = Kerapatan arus (A/cm²)

I = Arus listrik (ampere)

A = Luas penampang (cm²)

Hukum faraday I menyatakan bahwa arus listrik yang digunakan dalam elektrolisis berbanding lurus dengan jumlah gas H₂ yang dihasilkan pada elektroda dimana massa zat yang di produksi dapat dihitung dengan persamaan 7 [38].

$$m = \frac{Q \cdot M}{F \cdot z} \quad (7)$$

m = massa zat yang diproduksi (gr)

Q = muatan listrik yang dialirkan oleh elektrolit (coulomb)

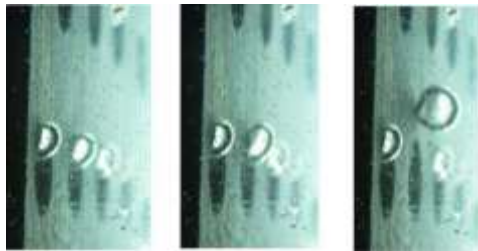
M = massa molar zat (gr/mol)

z = jumlah elektron pada reaksi (valensi)

F = konstanta Faraday (F)

Terdapat empat tahap yang terjadi dalam pembentukan dan pelepasan gelembung H₂, yaitu nukleasi, pembentukan, datasen dan pelepasan gelembung H₂. Nukleasi terjadi saat elektrolit di sekitar elektroda menjadi jenuh dengan gas terlarut [39]. Nukleasi tersebut menghasilkan lapisan yang menyebabkan masking gelembung, dimana gelembung gas yang terbentuk mengurangi luas permukaan aktif dan menghalangi pembentukan gelembung baru. Gelembung gas tidak menghasilkan arus, sehingga dapat menyebabkan resistensi ohmik sel meningkat [40]. Gelembung gas bertumbuh semakin besar dan semakin banyak hingga gaya tarik gelembung melebihi gaya adhesinya dan

menyebabkan terjadinya pelepasan gelembung [41]. Gelembung akan terus tumbuh apabila elektrolit yang berada disekitar elektroda tetap jenuh, pada gambar 2 Menunjukkan proses pembentukan dan pelepasan gelembung hidrogen [42].

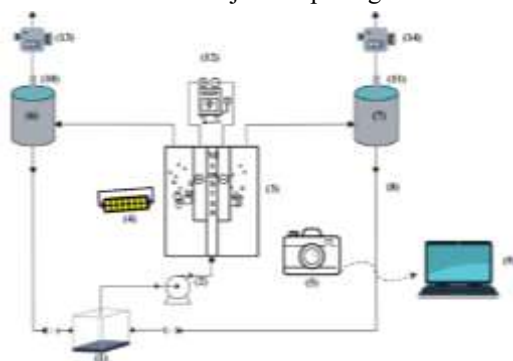


Gambar 2. Pembentukan dan pelepasan gelembung H₂

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dalam skala laboratorium untuk menghasilkan H₂. Dalam penelitian ini menggunakan metode AWE dimulai dengan membuat larutan elektrolit yang terbuat dari campuran aquades dan KOH 7%. Elektrolit kemudian dimasukkan kedalam *alkaline water tank* dan dipompa menuju *electrolyzer*. Setelah larutan mengisi *electrolyzer*, daya listrik dari *Power Supply* kemudian dialirkan pada elektroda, sehingga terjadi proses pembentukan dan pelepasan gelembung H₂ dan O₂. Gelembung yang dihasilkan kemudian bergerak menuju O₂ separator dan H₂ separator bersama dengan elektrolit. Lampu LED dan kamera dinyalakan untuk memulai proses pengambilan data. Data yang termuat dalam gambar kemudian ditransfer ke laptop. Di dalam separator, larutan elektrolit dengan gelembung H₂ dan O₂ dipisah, dimana elektrolit kembali menuju ke *alkaline water tank*, sedangkan gelembung H₂ dan O₂ menuju *outlet flowmeter*.

Dalam penelitian ini, elektrolit yang digunakan adalah KOH dengan konsentrasi 7%, Jarak elektroda 8 cm, serta daya listrik yang diberikan terdapat 5 variasi yaitu 0,01 watt; 0,07 watt; 0,09 watt; 0,14 watt; 0,31 watt. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi daya listrik terhadap massa H₂ yang dihasilkan. Hasil pengujian akan dianalisis dengan *image processing* pada *software* MATLAB. Skema penelitian ini akan ditunjukkan pada gambar 3.



(a) Skematik



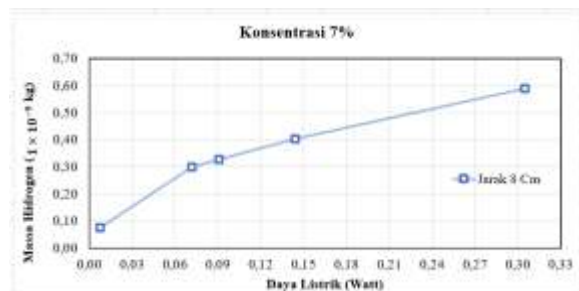
(b) Foto peralatan
Gambar 3. Set Up alat penelitian

Keterangan:

1. *Alkaline water tank*
2. *Pompa*
3. *Electrolyzer*
4. *Lampu LED*
5. *High-speed camera*
6. *Alkaline oxygen separator*
7. *Alkaline hydrogen separator*
8. *Alkaline water stream*
9. *Laptop*
10. *Oxygen ventilation*
11. *Hydrogen ventilation*
12. *Power supply*
13. *Oxygen flowmeter*
14. *Hydrogen flowmeter*

4. Hasil dan Pembahasan

Gambar 4 menyajikan grafik hubungan antara daya listrik yang diberikan dengan massa H₂ yang dihasilkan pada setiap variasi, yaitu 0,01 W; 0,07 W; 0,09 W; 0,14 W; dan 0,31 W. Massa H₂ terbanyak terletak pada daya listrik sebesar 0,31 watt. Terlihat bahwa peningkatan massa H₂ terjadi secara signifikan dengan meningkatnya daya listrik yang diberikan. Penambahan daya listrik meningkatkan arus yang dialirkan ke dalam sel elektrolisis. Berdasarkan hukum Faraday, massa gas yang dihasilkan sebanding dengan jumlah muatan listrik, sehingga semakin besar arus maka semakin banyak molekul H₂ yang terbentuk [43].



Gambar 4. Massa H₂ yang dihasilkan

5. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan daya listrik yang diberikan pada sel elektrolisis secara langsung meningkatkan massa H₂ yang dihasilkan. Massa H₂ terbesar diperoleh pada

daya listrik 0,31 watt, yang menegaskan bahwa arus listrik berperan penting dalam menentukan jumlah molekul H₂ yang terbentuk sesuai hukum Faraday.

6. Daftar Pustaka

- [1] S. Shiva Kumar and H. Lim, 2022, *An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production*, Energy Reports, vol. 8, pp. 13793–13813.
- [2] G. F. Feng and M. Zheng, 2022, *Economic policy uncertainty and renewable energy innovation: International evidence*, Innovation and Green Development, vol. 1, no. 2, p. 100010.
- [3] E. Galitskaya and O. Zhdaneev, 2022 *Development of electrolysis technologies for hydrogen production: A case study of green steel manufacturing in the Russian Federation*, Environ Technol Innov, vol. 27, p. 102517.
- [4] S. Sebbahi, N. Nabil, A. Alaoui-Belghiti, S. Laasri, S. Rachidi, and A. Hajjaji, 2022, *Assessment of the three most developed water electrolysis technologies: Alkaline Water Electrolysis, Proton Exchange Membrane and Solid-Oxide Electrolysis*, Mater Today Proc, vol. 66, pp. 140–145.
- [5] D. Chauhan and Y. H. Ahn, 2023, *Alkaline electrolysis of wastewater and low-quality water*, J Clean Prod, vol. 397, p. 136613.
- [6] S. Kim et al., 2025, *Simple and efficient fabrication of cathode using activated polyaniline as binder for alkaline water electrolysis*, Appl Surf Sci, vol. 693, p. 162785.
- [7] S. Shiva Kumar and V. Himabindu, 2019, *Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review*, Mater Sci Energy Technol, vol. 2, no. 3, pp. 442–454.
- [8] H. Shang, F. Yu, X. Yang, Y. Xing, and X. Gui, 2024, *Mechanistic insights into the use of flotation tail coal for enhanced water electrolysis in hydrogen production*, Int J Hydrogen Energy, vol. 96, pp. 870–881.
- [9] S. Zhang et al., 2025, *Application of high-frequency pulsed electrolysis technology in enhancing hydrogen production efficiency and energy saving potential analysis*, Int J Hydrogen Energy, vol. 109, pp. 684–693.
- [10] S. Sebbahi et al., 2024, *A comprehensive review of recent advances in alkaline water electrolysis for hydrogen production*, Int J Hydrogen Energy, vol. 82, pp. 583–599.
- [11] C. Daoudi and T. Bounahmidi, 2024, *Overview of alkaline water electrolysis modeling*, Int J Hydrogen Energy, vol. 49, pp. 646–667.
- [12] L. Deng et al., 2024, *Bubble evolution dynamics in alkaline water electrolysis*, eScience, p. 100353.
- [13] Y. Yang et al., 2022, *The scheduling of alkaline water electrolysis for hydrogen production using hybrid energy sources*, Energy Convers Manag, vol. 257, p. 115408.
- [14] B. Mandal, A. Sirkar, P. De, and S. Baran Kuila, n.d., *Studies On The Effect Of Electrolyte Concentration On Alkaline Electrolysis And Ion Exchange Membrane Water Splitting For Production Of Hydrogen*, Available: <http://www.esatjournals.org>.
- [15] M. Paidar, V. Fateev, and K. Bouzek, 2016, *Membrane electrolysis—History, current status and perspective*, Electrochim Acta, vol. 209, pp. 737–756.
- [16] Z. Zhang et al., 2024, *Bubbles Management for Enhanced Catalytic Water Splitting Performance*, Catalysts, vol. 14, no. 4, p. 40254.
- [17] J. Brauns et al., 2021, *Evaluation of Diaphragms and Membranes as Separators for Alkaline Water Electrolysis*, J Electrochem. Soc., vol. 168, no. 1, p. 014510.
- [18] J. Gravelle, J. Y. Hihn, and B. G. Pollet, 2025, *Power ultrasound as performance enhancer for alkaline water electrolysis: A review*, Int J Hydrogen Energy, vol. 100, pp. 428–441.
- [19] D. Burnat et al., 2015, *Composite membranes for alkaline electrolysis based on polysulfone and mineral fillers*, J Power Sources, vol. 291, pp. 163–172.
- [20] A. N. Colli, H. H. Girault, and A. Battistel, 2019, *Non-precious electrodes for practical alkaline water electrolysis*, Materials, vol. 12, no. 8.
- [21] R. Gani, S. R. Adawiah, and A. Nur, 2021, *Elektroplating Grafena-Polianilina pada Stainless Steel sebagai Elektroda pada*

- Elektrolisis Air untuk Produksi Hidrogen*, KOVALEN: Jurnal Riset Kimia, vol. 7, no. 2, pp. 109–120.
- [22] D. M. F. Santos, C. A. C. Sequeira, and J. L. Figueiredo, 2013, *Hydrogen Production By Alkaline Water Electrolysis*.
- [23] A. L. Santos, M. J. Cebola, and D. M. F. Santos, 2021, *Towards the hydrogen economy—a review of the parameters that influence the efficiency of alkaline water electrolyzers*, Energies, vol. 14, no. 11.
- [24] S. Luo et al., 2024, *Optimizing Alkaline Water Electrolysis: A Dual-Model Approach for Enhanced Hydrogen Production Efficiency*, Energies, vol. 17, no. 21.
- [25] F. Rocha, R. Delmelle, C. Georgiadis, and J. Proost, 2022, *Effect of pore size and electrolyte flow rate on the bubble removal efficiency of 3D pure Ni foam electrodes during alkaline water electrolysis*, J Environ Chem Eng, vol. 10, no. 3, p. 107648.
- [26] Y. Liu, S. Li, H. Wu, and Y. Shi, 2023, *Impact of electrode-normal magnetic field on oxygen bubbles generated by alkaline water electrolysis at low current densities*, J Electroanal Chem, vol. 945, p. 117679.
- [27] M. D. Merrill, 2007, *Electronic Theses, Treatises and Dissertations The Graduate School*.
- [28] A. Coskun Avci and E. Toklu, 2022, *A new analysis of two-phase flow on hydrogen production from water electrolysis*, Int J Hydrogen Energy, vol. 47, no. 11, pp. 6986–6995.
- [29] A. J. Shih et al., 2022, *Water electrolysis*, Springer Nature.
- [30] I. M. E. Hoedemakers, 2021, *Study of the bubble behavior in alkaline water electrolysis*, Eindhoven University of Technology.
- [31] R. P. Sihotang, C. Manalu, and R. Simbolon, 2022, *Analysis of Separation of Hydrogen and Oxygen Gases from Water through Water Electrolysis Experiments*.
- [32] J. Brauns and T. Turek, 2020, *Alkaline water electrolysis powered by renewable energy: A review*, Processes, vol. 8, no. 2, p. 248.
- [33] P. Millet and S. Grigoriev, 2013, *Water Electrolysis Technologies*, Renewable Hydrogen Technologies: Production, Purification, Storage, Applications and Safety, pp. 19–41.
- [34] G. Chisholm and L. Cronin, 2016, *Hydrogen From Water Electrolysis*, Storing Energy, pp. 315–343.
- [35] S. Hu et al., 2022, *A comprehensive review of alkaline water electrolysis mathematical modeling*, Appl Energy, vol. 327.
- [36] D. Topayung, 2011, *Pengaruh Arus Listrik Dan Waktu Proses Terhadap Ketebalan Dan Massa Lapisan Yang Terbentuk Pada Proses Elektroplating Pelat Baja*, Jurnal Ilmiah Sains, vol. 11, no. 1.
- [37] I. Hilmi and Sutarno, 2020, *Electroplating Chrome Baja ST 37 Dengan Perubahan Tegangan Listrik 6v, 10v, Dan 12v Terhadap Kekerasan Dan Ketebalan*, Edu Elektriika Journal, vol. 9, no. 1, p. 2020.
- [38] M. Albornoz, M. Rivera, P. Wheeler, and R. Ramirez, 2023, *High Pulsed Voltage Alkaline Electrolysis for Water Splitting*, Sensors, vol. 23, no. 8, p. 3820.
- [39] M. Gomez et al., 2025, *Unveiling OER bubble dynamics in alkaline electrolysis: Impacts on cell resistance*, Int J Hydrogen Energy, vol. 106, pp. 138–145.
- [40] F. Araújo, R. C. Neto, and A. S. Moita, 2024, *Alkaline water electrolysis: Ultrasonic field and hydrogen bubble formation*, Int J Hydrogen Energy, vol. 78, pp. 594–603.
- [41] L. Deng et al., 2024, *Bubble evolution dynamics in alkaline water electrolysis*, eScience, p. 100353.
- [42] M. Sucipta et al., 2024, *Karakteristik Pembentukan dan Pelepasan Gelembung Hidrogen melalui Proses Elektrolisis Air*, Oct.
- [43] C. W. Sun and S. S. Hsiau, 2018, *Effect of electrolyte concentration difference on hydrogen production during PEM electrolysis*, Journal of Electrochemical Science and Technology, vol. 9, no. 2, pp. 99–108.



Armeisia Daun Rara melanjutkan studi di Program Sarjana Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2021. Bidang penelitian yang diminati adalah konversi energi yang kemudian ditekuni sebagai topik penelitian tugas akhir.