

PEMANFAATAN SISTEM HIBRID FOTOVOLTAIK – PLN PADA ELEKTROLISIS KONTINYU UNTUK MENGHASILKAN HIDROGEN

HYBRID SYSTEM OF FOTOVOLTAIC-PLN IN CONTINUOUS WATER ELECTROLYSIS FOR HYDROGEN PRODUCTION

Pramujo Widiatmoko^{*1}, Tatto Bustomi², Muhammad Mara Ikhsan¹, Rizky Eka Rachmatillah Ahmad¹, Isdiriyani Nurdin¹, Hary Devianto¹

¹Program Studi Teknik Kimia - Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132

²Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Jl. Sangkuriang 14, Bandung 40135

Diterima: 19 Oktober 2020

Direvisi: 2 Nopember 2020

Disetujui: 22 Desember 2020

ABSTRAK

Produksi hidrogen melalui elektrolisis menggunakan energi matahari sangat potensial di Indonesia, namun terkendala oleh ketidakstabilan penyinaran matahari. Penggunaan sumber listrik konvensional sebagai komplementer dapat mengatasi ketidakstabilan tersebut. Dalam penelitian ini, elektrolisis air dilakukan dalam sel dengan ruang ganda dengan elektrolit larutan KOH 3 M. Variasi dilakukan terhadap jenis dan bentuk elektroda serta laju alir elektrolit. Sumber energi listrik divariasikan dengan sumber listrik konvensional dari PLN, modul fotovoltaik, serta hibrid dari kedua sistem tersebut. Kinerja elektrolisis dianalisis dengan mengukur volum hidrogen yang terbentuk, rapat energi yang dibutuhkan, serta efisiensi arus listrik. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan sistem hibrid dapat menstabilkan produksi hidrogen untuk elektrolisis pada tegangan 15 V selama 7 jam operasi. Dibandingkan dengan penggunaan listrik PLN sepenuhnya, sistem hibrid memberikan peluang penghematan energi hingga 81,64%.

Kata kunci: elektrolisis, hidrogen, hibrid, kinerja, fotovoltaik

ABSTRACT

Hydrogen production through electrolysis using solar energy has potential application in Indonesia. However, instability of solar radiation become significant problem. The use of complement stable electricity sources would overcome that instability. In this study, water electrolysis was carried out in a double chamber cell with solution KOH 3 M as electrolyte. Variations on electrodes type and shape were conducted. The electrolyte flow rate was also varied. The electrical energy was obtained from conventional photovoltaic modules, and hybrid. Volume of product hydrogen, energy consumption, and current efficiency were analyzed. The use of a hybrid system could stabilize hydrogen production for electrolysis at a voltage of 15 V for 7 hours. The hybrid system offered energy saving up to 81.64% compared to full electricity from PLN.

Keywords: *electrolysis, hydrogen, hybrid, performance, photovoltaic*

PENDAHULUAN

Hidrogen merupakan salah satu senyawa penting dalam industri kimia, petrokimia, dan penyediaan energi. Produksi hidrogen global pada tahun 2018 mencapai 120 juta ton dengan 73,9 juta ton dalam bentuk hidrogen murni dan 46,1 juta ton dalam bentuk campuran dengan gas lain [1]. Saat ini, metode produksi hidrogen masih didominasi 95% dari hasil pengolahan gas

alam, minyak, dan batubara. Sementara itu, metode produksi hidrogen dengan elektrolisis mengambil porsi 5% dari seluruh proses produksi hidrogen dunia [2].

Biaya produksi hidrogen dari elektrolisis air lebih mahal (3–7,5 USD/kg) bila dibandingkan dengan reformasi kukus gas alam (0,9–3,2 USD/kg) atau gasifikasi batubara (1,2–2,2 USD/kg) [1]. Namun, biaya tersebut diprediksi akan turun hingga 1,6 USD/kg pada

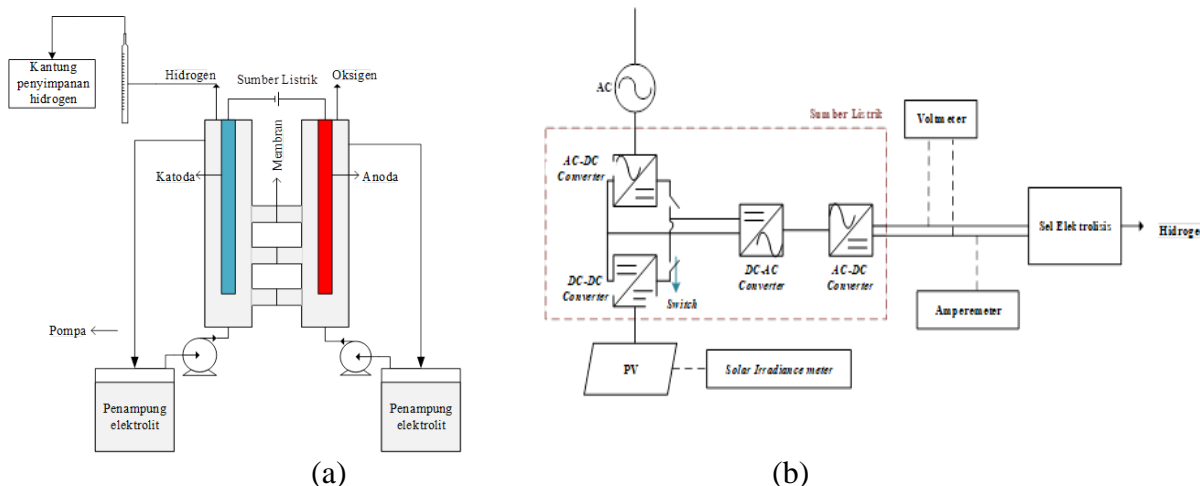
*Corresponding author

Email: pramujo@che.itb.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.37209/jtbbt.v10i2.184>

tahun 2030 dengan penggunaan energi terbarukan seperti hibrid fotovoltaik dan tenaga angin [2]. Penurunan tersebut didorong oleh biaya instalasi PV dan turbin angin yang semakin murah tiap

tahunnya, perkembangan teknologi *fuel cell* yang berbahan bakar hidrogen, serta penurunan cadangan gas alam dan batubara.



Gambar 1. Skema Peralatan Percobaan

(a) Konfigurasi Sel Elektrolisis

(b) Konfigurasi Elektrolisis dengan Sumber Listrik Power Supply, Panel Surya, dan Hibrid

Dengan intensitas penyinaran matahari rata-rata $4,8 \text{ kWh/m}^2$ [3], Indonesia berpotensi besar untuk memproduksi hidrogen menggunakan listrik dari sel fotovoltaik [4]. Namun, fluktuasi intensitas penyinaran harian berakibat pada ketidakstabilan produksi listrik. Ketidakstabilan tersebut dapat dikurangi dengan penggunaan sistem hibrid, misalnya dengan listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN).

Untuk itu, penelitian ini dilakukan dengan sistem hibrid fotovoltaik-PLN. Kedua sumber listrik tersebut digabungkan dengan terlebih dahulu mengubah listrik AC dari PLN menjadi DC. Tujuan dari penggabungan tersebut untuk mendapatkan luaran tegangan dan arus listrik yang konstan. Selanjutnya, percobaan ini dilakukan dengan sistem elektrolit mengalir untuk mengurangi laju deaktivasi permukaan elektroda akibat penumpukan gelembung hidrogen.

Dikarenakan sistem yang digunakan tidak dilengkapi pemisah hidrogen dan elektrolit, hidrogen hasil elektrolisis dapat terbawa aliran elektrolit dan menyebabkan penurunan perolehan hidrogen. Karena itu, kajian mengenai efisiensi kinerja sistem hibrid fotovoltaik-PLN tersebut perlu dilakukan, dengan terlebih dahulu mempelajari parameter yang memberikan hasil seperti jenis dan bentuk elektroda serta laju alir elektrolit.

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

Elektrolisis air dilakukan menggunakan elektrolit larutan KOH 3 M dalam sel dua ruang (*double chamber cell*). Jenis elektroda yang digunakan adalah nikel dan *stainless steel* (SS304). Elektroda divariasikan dalam bentuk *spiral wire* dan *mesh*. Laju sirkulasi elektrolit divariasikan 0; 3,72; dan 10 mL/s. Percobaan elektrolisis dengan fotovoltaik dilakukan dengan panel surya berkapasitas 100 Wp. Percobaan sistem hibrid dilakukan dengan panel surya berkapasitas 1000 Wp dan DC *power supply*. Sketsa peralatan percobaan disajikan pada Gambar 1.

Prosedur Percobaan

Percobaan elektrolisis air dilakukan selama 7 jam, dari pukul 09.00 WIB hingga 16.00 WIB. Tegangan dan arus listrik diukur dengan voltmeter dan amperemeter yang terhubung dengan data logger (Gambar 1b). Volum hidrogen hasil elektrolisis diukur menggunakan metode *water displacement* pada gelas ukur.

Pengujian kinerja elektrolisis air dilakukan pada *overpotential* 1,2 V dari tegangan minimum elektrolisis. Data yang didapatkan berupa arus dan beda potensial pada elektrolisis, serta laju produksi hidrogen. Parameter kinerja yang

digunakan adalah efisiensi elektrolisis (η_c), kebutuhan energi (E), serta penghematan energi (E_h) pada sistem hibrid. Ketiga parameter kinerja tersebut dihitung menggunakan persamaan-persamaan (1), (2) dan (3).

$$\eta_c = \frac{PVnF}{RTit} \quad (1)$$

$$E = \frac{(\int U(t)i(t)dt)}{V_{H_2}} \quad (2)$$

$$E_h = E_t - E_k \quad (3)$$

dengan:

- n = jumlah elektron terlibat
- F = konstanta Faraday
- P = tekanan hidrogen
- V = volume hidrogen terproduksi
- R = konstanta gas ideal
- E_k = konsumsi listrik konvensional
- E_t = konsumsi listrik hibrid total
- U = tegangan kerja

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Parameter Percobaan

Parameter percobaan yang perlu diuji untuk mendapatkan kondisi operasi yang paling sesuai adalah jenis dan bentuk elektroda serta laju alir elektrolit. Jenis elektroda menentukan tegangan minimum operasi dan kebutuhan energi listrik. Bentuk elektroda dan laju alir berpengaruh pada pembentukan turbulensi di permukaan elektroda. Aliran turbulen akan menurunkan ketebalan lapisan difusi Nernst sehingga perpindahan massa berlangsung lebih efektif sesuai hukum Ficks [6]. Selain itu, turbulensi juga mengurangi penumpukan gelembung gas di permukaan elektroda yang dapat menghambat perpindahan massa di antarmuka elektroda-elektrolit.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa kinerja terbaik diperoleh menggunakan elektroda Ni berbentuk *mesh* dengan laju alir 3,72 mL/s. Pengaruh jenis dan elektroda dapat dilihat pada Tabel 1, dan pengaruh laju alir disajikan pada Tabel 2. Penjelasan lebih lanjut untuk masing-masing parameter percobaan yang diuji disajikan pada pasal-pasal berikut.

Jenis dan Bentuk Elektroda

Logam Ni dan SS304 dipilih sebagai bahan elektroda karena mudah diperoleh dan relatif

murah sehingga cocok untuk aplikasi elektrolisis air skala besar. Percobaan dilakukan dengan kondisi elektrolit statis. Kurva tegangan-arus untuk elektroda Ni dan SS304 disajikan pada Gambar 2. Gas hidrogen mulai terbentuk di permukaan katoda Ni pada tegangan yang lebih rendah daripada katoda SS304 (1,4 dibanding 1,6 V). Hambatan listrik Ni ($7,2 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$) yang lebih rendah dibandingkan SS304 ($9,5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$) menurunkan *potential drop* di katoda [8]. Dengan menggunakan acuan *overpotential* sebesar 1,2 V, tegangan kerja elektrolisis menggunakan Ni dan SS304 berturut-turut menjadi 2,6 dan 2,8 V. Dengan demikian, konsumsi listrik (yang sebanding dengan tegangan) elektrolisis dengan katoda Ni akan lebih rendah dibandingkan terhadap yang katoda SS304.

Jumlah hidrogen yang dihasilkan dengan katoda Ni lebih besar dibandingkan dengan katoda SS304 (Tabel 1). Katoda Ni memiliki sifat elektro katalis untuk *hydrogen evolution reaction* (HER) yang lebih baik dibandingkan SS304. Fenomena tersebut sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Hu, dkk (2019). *Tafel slope* katoda Ni *foam* (130 mv dec^{-1}) dan katoda Ni *mesh* (143 mv dec^{-1}) lebih kecil dibandingkan dengan SS304 *mesh* (233 mv dec^{-1}) [9]. Oleh karena itu, katoda Ni mampu melangsungkan reaksi pembentukan hidrogen lebih cepat.

Katoda Ni relatif stabil, sementara anoda Ni mengalami *poisoning* dengan terbentuknya NiO_2 yang menempel di permukaannya [10]. Hal tersebut mengakibatkan penurunan drastis arus di awal reaksi (Gambar 3) [7]. Dengan anoda SS304, arus listrik yang teramati lebih tinggi seiring dengan waktu percobaan. Namun, anolit berubah warna menjadi kekuningan akibat korosi SS304 yang menghasilkan Fe dan Cr terlarut. Hal tersebut didukung data dari Moranchell dkk. (2020) yang melakukan elektrolisis larutan basa (pH 14,12) menggunakan elektroda *stainless steel* pada tegangan kerja 1,5 – 4 V selama 70 jam [11]. Dalam penelitian tersebut, *chromium hexavalent* ditemukan pada anolit dengan konsentrasi 1,766 mg/L dan lapisan pasif Fe_2O_3 tipis terbentuk di permukaan *stainless steel*.

Bentuk elektroda *mesh* dan *spiral wire* disesuaikan dengan ketersediaan bahan di pasaran. Hal ini penting terutama untuk aplikasi di lapangan. Pengaruh bentuk elektroda dapat dilihat di Tabel 1. Pada tegangan kerja yang

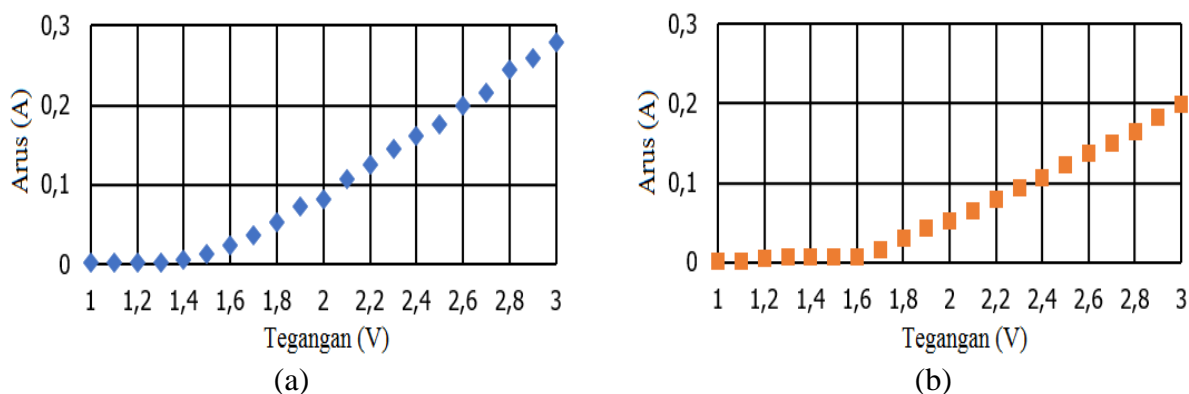
sama, efisiensi arus elektroda berbentuk *mesh* lebih tinggi dibandingkan dengan bentuk *spiral wire*.

Berdasarkan hasil tersebut, elektroda yang digunakan untuk percobaan selanjutnya adalah Ni

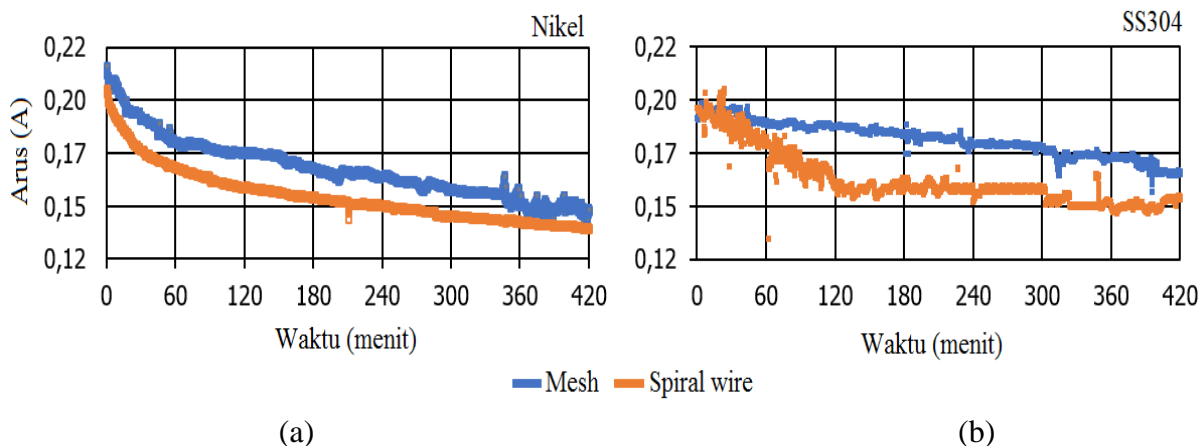
berbentuk *mesh*. Kajian penting berikutnya adalah pengaruh laju alir terhadap kinerja sel elektrolisis.

Tabel 1. Parameter Elektrolisis pada Variasi Jenis dan Bentuk Elektroda

No.	Variasi		Rapat Arus (A/cm ²)	Jumlah energi dibutuhkan (kJ/L)	Volume Hidrogen (L)	Efisiensi arus (%)
	Jenis Elektroda	Bentuk Elektroda				
1.	Ni	<i>Mesh</i>	6,05 x 10 ⁻⁴	19,8	0,540	94,6
2.	SS304	<i>Mesh</i>	5,64 x 10 ⁻⁴	23,8	0,525	84,8
3.	Ni	<i>Spiral wire</i>	5,81 x 10 ⁻⁴	30,2	0,345	66,4
4.	SS304	<i>Spiral wire</i>	5,48 x 10 ⁻⁴	32,7	0,340	61,6



Gambar 2. Kurva I-V Elektrolisis Air dengan Elektrolit KOH 3M Menggunakan Elektroda (a) Ni dan (b) SS304



Gambar 3. Pengaruh Bentuk Elektroda pada Kurva Arus terhadap Waktu pada Elektrolisis (a) Elektroda Ni dan (b) SS304 dengan Elektrolit KOH 3 M pada Kondisi Statis.

Laju Alir Elektrolit

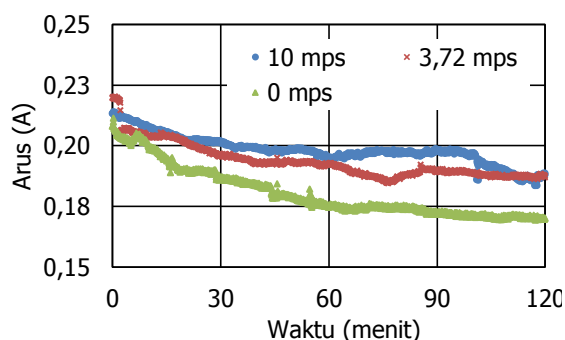
Laju alir elektrolit divariasikan pada 0 (kondisi elektrolit statis); 3,72; dan 10 mL/s. Peningkatan laju alir meningkatkan arus listrik (Gambar 4). Selain itu, penurunan arus selama

proses elektrolisis juga lebih kecil dengan peningkatan laju alir. Hal tersebut menunjukkan bahwa laju alir elektrolit menipiskan lapisan difusi Nernst sehingga perpindahan ion di antar muka elektrolit-elektroda meningkat. Selain itu,

arus yang lebih stabil diindikasikan sebagai penurunan gangguan akumulasi gas di permukaan elektroda. Di sisi lain, peningkatan laju alir berdampak pada penurunan perolehan hidrogen dan efisiensi arus (Tabel 2). Sebagian hidrogen akan terbawa oleh aliran elektrolit karena waktu tinggal yang pendek menyebabkan proses pemisahan gas-elektrolit di sepanjang reaktor tidak sempurna.

Tabel 2. Pengaruh Laju Alir Elektrolit terhadap Kinerja Elektrolisis

Laju alir (mL/s)	Volum hidrogen (L)	Energi yang dibutuhkan (kJ/L)	Efisiensi (%)
0	0,160	21,1	88,6
3,72	0,140	25,9	70,5
10	0,125	29,7	64,5



Gambar 4. Kurva Arus terhadap Waktu, Elektrolisis dengan Variasi Laju Alir Elektrolit 0; 3,72; dan 10 mL/s.

Dengan mempertimbangkan kestabilan arus listrik selama percobaan, laju alir 3,72 mL/s dipilih sebagai parameter yang terbaik untuk percobaan selanjutnya. Arus yang dihasilkan setara dengan laju alir 10 mL/s dan lebih tinggi dari kondisi elektrolit statis, serta efisiensi yang lebih baik (70,5%) dibandingkan pada laju alir 10 mL/s (64,5%). Karena itu, percobaan pemanfaatan sistem hibrid PV-PLN untuk elektrolisis air dilaksanakan menggunakan parameter tersebut dengan elektroda Ni *mesh*.

Kinerja Elektrolisis Air Menggunakan Sistem Hibrid PV-PLN

Dalam percobaan ini, kinerja sistem hibrid PV-PLN dibandingkan dengan sistem elektrolisis air dengan PV saja. Hasil percobaan

menunjukkan bahwa fluktuasi arus dan tegangan yang terjadi di sistem PV dapat diatasi oleh sistem hibrid. Selain itu, sistem hibrid dapat menghemat listrik dari PLN. Ulasan detail hasil percobaan disampaikan dalam pasal-pasal berikut ini.

Kinerja Sistem PV

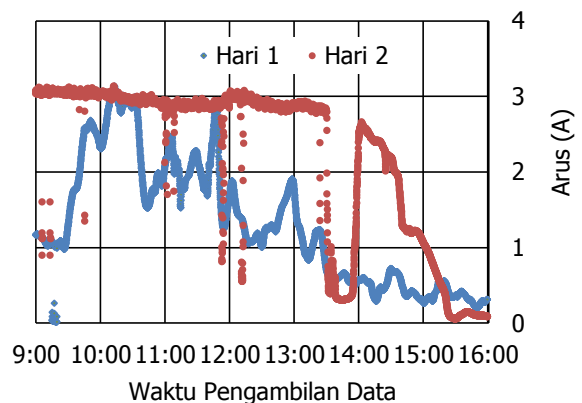
Percobaan elektrolisis dengan sistem PV dilakukan pada rentang waktu pukul 09:00–16:00. Parameter percobaan yang digunakan adalah elektroda nikel *mesh* dalam elektrolit KOH 3 M dengan laju elektrolit 3,72 mL/s. Tipikal arus listrik yang dihasilkan disajikan pada Gambar 5. Arus listrik yang dihasilkan pada kondisi cerah relatif stabil hingga pukul 13.30. Data iradiasi matahari dan arus listrik yang dibangkitkan oleh PV disajikan pada Gambar 6.

Tegangan dan arus yang dibangkitkan oleh panel surya sebanding dengan nilai iradiasi dari sinar matahari. Hal ini sesuai dengan hubungan korelasi arus listrik (I) yang diturunkan dari persamaan *minority-carrier diffusion* pada semikonduktor [12] seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (4).

$$I = q \cdot A \cdot k \quad (4)$$

Energi foton matahari diwakili oleh q yang menunjukkan besar gaya listrik yang diterima oleh panel surya.

Berdasarkan hasil percobaan, temperatur rata-rata elektrolisis dengan PV adalah 35°C dan efisiensi arus 71,07%. Total produksi hidrogen pada rentang waktu percobaan sebesar 5,625 L dengan kebutuhan energi sebesar 68,47 kJ/L.



Gambar 5. Profil Tipikal Arus Listrik yang Dihasilkan oleh Sumber Listrik PV pada Hari dengan Kondisi Penyinaran yang Berbeda

Kinerja Sistem Hibrid

Elektrolisis air menggunakan sumber listrik hibrid dilakukan pada rentang waktu percobaan yang sama, yaitu pukul 09:00–16:00. Variasi tegangan kerja dari sistem hibrid dilakukan pada 2,6 V dan 15 V. Tegangan 2,6 V menyesuaikan tegangan kerja optimum, sedangkan tegangan 15 V menyesuaikan dengan tegangan tertinggi PV selama waktu operasi.

Tabel 3. Parameter Kinerja Sistem Hibrid untuk Elektrolisis Air pada Variasi Tegangan Kerja

Parameter	Tegangan Kerja	
	2,6 V	15 V
Jumlah hidrogen terbentuk (L)	0,525	6,605
Temperatur rata-rata (°C)	27	40
Jumlah energi dibutuhkan (kJ/L)	24,3	175,0
Efisiensi elektrolisis (%)	74,90	60,69
Besar suplai energi konvensional untuk 7 jam elektrolisis (kJ)	21,640	581,082
Efisiensi inverter (%)	2,07	38,90

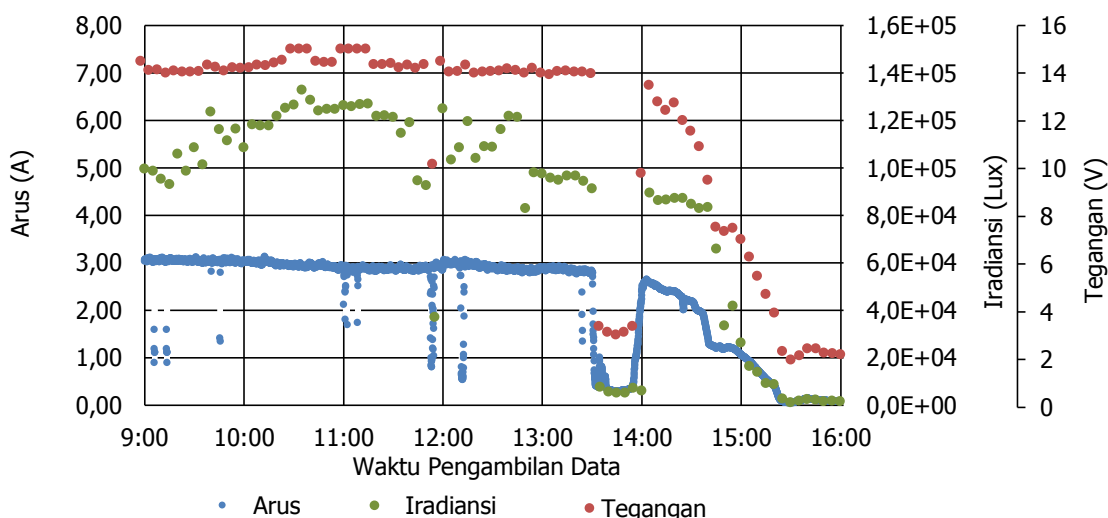
Pada tegangan kerja 2,6 V, PV memasok energi listrik untuk elektrolisis sebesar 633,3 kJ atau 96,69% dari kebutuhan energi total. Gambar 7 menunjukkan hubungan arus dan tegangan

terhadap waktu dengan diberikan *hybrid converter* serta hubungan daya *hybrid converter* dan daya pada tegangan elektrolisis 2,6 V. Peran sistem hibrid tidak signifikan karena daya yang dibutuhkan kecil, pada rentang 0,441–0,557 W.

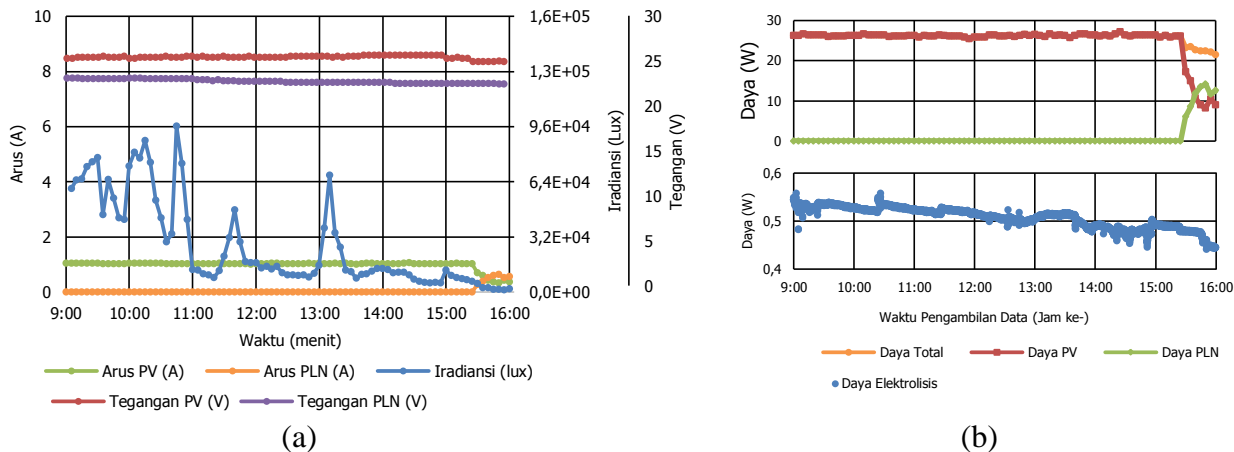
Gambar 8 menunjukkan kinerja sistem hibrid ketika dioperasikan pada tegangan 15 V, sesuai luaran maksimum dari PV. Pengaruh fluktuasi penyinaran matahari terhadap kinerja elektrolisis terlihat karena kebutuhan daya yang lebih besar (50,6–42,7 W). Berdasarkan jumlah energi listrik yang dipasok oleh PV, penghematan listrik PLN untuk melakukan elektrolisis adalah 81,64%. Hasil ini memberikan gambaran yang cukup baik mengenai potensi penggunaan sistem hibrid untuk memproduksi hidrogen.

Efisiensi *inverter* yang digunakan untuk mengubah arus AC PLN menjadi DC pada tegangan kerja elektrolisis 15 V lebih tinggi dibandingkan pada 2,6 V. Hal ini disebabkan semakin besar daya luaran yang dibutuhkan dari suatu alat, efisiensi *inverter* akan meningkat [13].

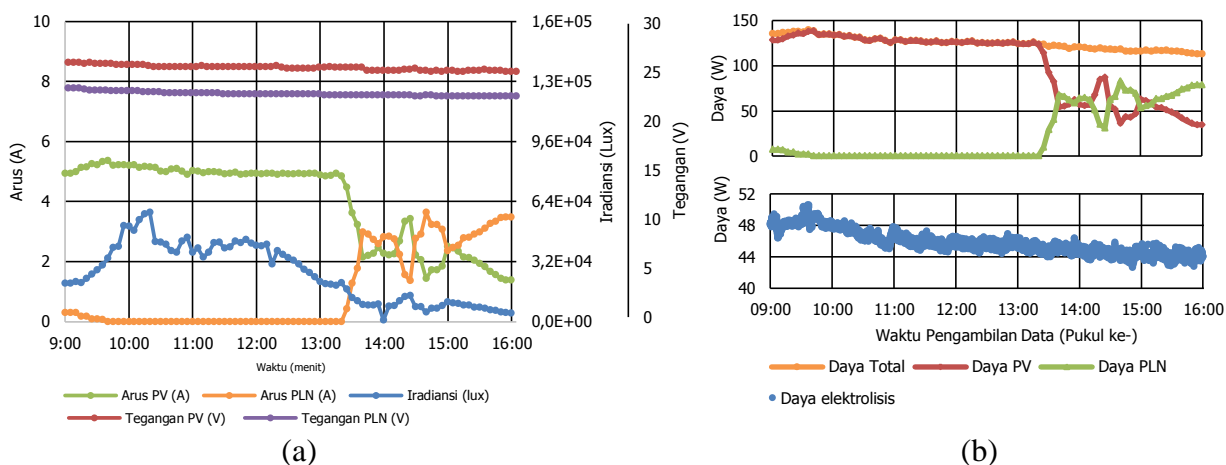
Metode penggabungan daya PV-PLN yang digunakan dalam percobaan ini memiliki kesamaan tipikal operasi dengan penelitian *hybrid inverter* PV-akumulator-biodiesel yang dilakukan oleh Sechilariu dkk. (2015). Akumulator dan energi daya generator biodiesel akan masuk ketika daya dari PV lebih rendah dibandingkan daya *output* yang dibutuhkan [14].



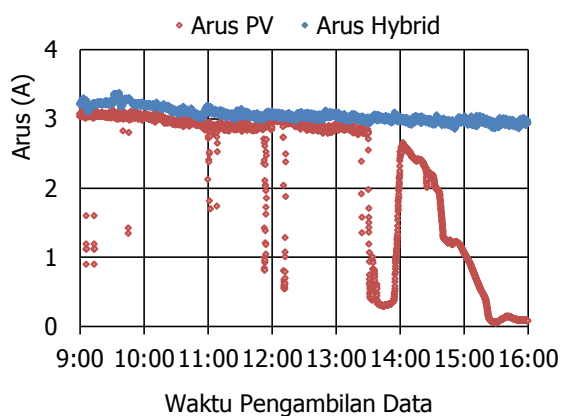
Gambar 6. Tegangan, Arus, dan Iradiansi Elektrolisis KOH 3 M Menggunakan Elektroda Nikel *mesh* dengan Sumber Listrik PV



Gambar 7. Kinerja Sistem Hibrid pada Tegangan Elektrolisis 2,6 V
 (a) arus dan Tegangan sebagai Fungsi Waktu; (b) Daya Sebagai Fungsi Waktu



Gambar 8. Kinerja Sistem Hibrid pada Tegangan Elektrolisis 15 V
 (a) Arus dan Tegangan sebagai Fungsi Waktu; (b) Daya Sebagai Fungsi Waktu



Gambar 9. Perbandingan kuat arus elektrolisis sistem PV dan hibrid tegangan kerja 15 V; elektrolit KOH 3 M dan elektroda nikel *mesh*

Gambar 9 menunjukkan kestabilan arus elektrolisis pada tegangan kerja sistem hibrid 15 V dibandingkan dengan PV. Sistem hibrid menghasilkan hidrogen lebih banyak karena pasokan arus listrik yang lebih stabil. Namun, efisiensi arus pada elektrolisis hibrid 15 V (60,69%) lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan PV (71,07%). Hal tersebut disebabkan lebih banyak energi listrik yang tidak dimanfaatkan dan terkonversi menjadi panas sebagaimana diindikasikan oleh temperatur elektrolisis: 40°C pada 15 V dibandingkan 35°C pada 2,6 V. Untuk meningkatkan kinerja sistem hibrid, penyesuaian beban daya elektrolisis air dengan pasokan listrik dari PV dan PLN perlu dipelajari lebih lanjut.

KESIMPULAN

Penggunaan sumber listrik hibrid fotovoltaik-PLN dapat menstabilkan produksi hidrogen untuk elektrolisis pada tegangan 15 V selama 7 jam. Pada sistem hidrid, penggunaan listrik PLN hanya sebesar 581,08 kJ atau penghematan pasokan listrik PLN 81,64% dari total 3150,2 kJ kebutuhan energi total elektrolisis. Jumlah hidrogen yang dihasilkan 6,6 L dengan efisiensi arus 60,69% dan efisiensi konversi listrik sebesar 38,9%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] International Energy Agency, 2019, "The Future of Hydrogen, Seizing today's Opportunities", Available: <https://www.iea.org/reports/>, diakses 1 Juni 2020
- [2] D. Gielen, E. Taibi and R. Mirand, "Hydrogen: A Renewable Energy Prospective", Abu Dhabi: *International Renewable Energy Agency*, 2019
- [3] S. Hamdi, "Mengenal Lama Penyinaran Matahari sebagai Salah Satu Parameter Klimatologi", *Berita Dirgantara* vol. 15, pp. 7–16, 2014.
- [4] P. Widiatmoko, H. Devianto, I. Nurdin, S.F. Khairunnisa, M. I. Rafi, "Potency of Solar Hydrogen Generation System in Urban Area: Case Study of Bandung City", *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik (JTBBT)* vol. 6, pp. 49-56, 2016.
- [5] W. Tu, Y. Wang, Y. Tang, dan J. Xu, "Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics in a Circular Tube with Mesh Cylinder Inserts", *International Communications in Heat and Mass Transfer* vol. 75, pp. 130–136, 2016.
- [6] M. Schalenbach, A.R. Zeradjanin, O. Kasian, S. Cherevko, dan K.J.J. Mayrhofer, "A Perspective on Low-Temperature Water Electrolysis - Challenges in Alkaline and Acidic Technology", *International Journal of Electrochemical Science* vol. 13, pp. 1173–1226, 2018.
- [7] Callister Jr., W.D. dan Rethwisch, D.G., "Materials Science and Engineering, An Introduction", Danvers, MA, USA: *John Wiley & Sons, Inc.*, 2014.
- [8] D.M.F. Santos, C.A.C. Sequeira, dan J.L. Figueiredo, "Hydrogen Production By Alkaline Water Electrolysis", *Química Nova* vol. 36, pp. 1176–1193, 2013.
- [9] X. Hu, X. Tian, Y.W. Lin, dan Z. Wang, "Nickel Foam and Stainless Steel Mesh as Electrocatalysts for Hydrogen Evolution Reaction, Oxygen Evolution Reaction and Overall Water Splitting in Alkaline Media", *RSC Advances* vol. 9, pp. 31563–31571, 2019.
- [10] Y.I. Tur'yan, "Methods for Determining Oxygen Overvoltage and Anode Poisoning Over Time at Iron-Group Metals under High Current Densities in Alkaline Water Electrolysis", *American Journal of Engineering Research (AJER)* vol. 5, pp. 304–307, 2016.
- [11] F.A.S. Moranchell, J.M. Sandoval Pineda, J.N. Hernández Pérez, U.S. Silva-Rivera, C.A. Cortes Escobedo, dan R. de G. González Huerta, "Electrodes Modified with Ni Electrodeposition Decrease Hexavalent Chromium Generation in an Alkaline Electrolysis Process", *International Journal of Hydrogen Energy* vol. 45 pp. 13683–13692, 2020.
- [12] A. Luque, dan S. Hegedus, *Handbook of "Photovoltaic Science and Engineering"*, West Sussex, UK: John Wiley & Sons, Ltd., 2011.
- [13] K. Mikhaylov, J. Tervonen, dan D. Fadeev, "Embedded Systems - Theory and Design Methodology", Chapter 19: *Development of Energy Efficiency Aware Applications Using Commercial Low Power Embedded Systems*, London, UK: Intech Open Access Publisher, 2012.
- [14] M. Sechilariu, F. Locment, dan B. Wang, "Photovoltaic Electricity for Sustainable Building. Efficiency and Energy Cost Reduction for Isolated DC Microgrid", *Energies* vol. 8, pp. 7945–7967, 2015.