
MENUJU INDONESIA BEBAS POLUSI UDARA: SUMBER ENERGI HIDROGEN BAGI KEBUTUHAN LISTRIK RUMAH TANGGA

Agita, Rifka Annisa Rahmah

Program Studi Kesehatan Masyarakat, Gizi, Fakultas Kesehatan Masyarakat,
Universitas Airlangga

Jl. Dr. Ir. H. Soekarno, Mulyorejo, Kecamatan Mulyorejo, Surabaya, Jawa Timur 60115

E-mail : agita-2021@fkm.unair.ac.id

ABSTRAK

Kebutuhan listrik rumah tangga yang terus meningkat merupakan salah satu penyebab tidak langsung terjadinya polusi udara di Indonesia. Hal ini dikarenakan sebagian besar listrik dalam rumah tangga berasal dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil yang menghasilkan emisi gas rumah kaca dan berbagai macam polutan lainnya di udara. Salah satu solusi alternatif dari permasalahan ini adalah penggunaan energi hidrogen sebagai sumber energi listrik dalam rumah tangga. Sumber energi hidrogen merupakan bahan bakar tanpa emisi bagi pembangkitan listrik sehingga berpotensi untuk mengurangi jumlah polusi udara. Penulisan *paper* ini menggunakan metode studi pustaka yang mengkaji kemungkinan penggunaan sumber energi hidrogen sebagai bahan bakar pembangkit listrik dalam rumah tangga. Hidrogen diubah menjadi listrik melalui proses *fuel cell cycle*, reaksi antara hidrogen dengan oksigen di udara menyebabkan pemisahan proton dan elektron pada hidrogen. Elektron yang terpisah akan bergerak menuju sirkuit eksternal dan menghasilkan arus listrik kemudian dapat digunakan sebagai pembangkit listrik yang dialirkan untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat, sedangkan proton akan bergerak dari sisi sel ke sisi lainnya. Kombinasi dari elektron dan proton yang berada di sisi anoda menyebabkan keduanya kembali bersatu dan berinteraksi dengan oksigen yang akan menghasilkan produk sampingan utama berupa air dalam bentuk uap air. Proses pembentukan listrik menggunakan hidrogen merupakan proses yang bersih dan efisien karena produk samping utama berupa air memiliki dampak berbeda dengan emisi polutan dari penggunaan bahan bakar fosil sehingga dapat menjadi solusi alternatif untuk mengurangi permasalahan polusi di Indonesia. Penggunaan hidrogen sebagai sumber energi listrik dalam rumah tangga menunjukkan potensi yang besar untuk mengurangi dampak polusi udara. Oleh karena itu, diperlukan dukungan kerja sama dari semua pihak. Masyarakat, pemerintah, industri dan berbagai sektor lainnya harus berintegrasi untuk mewujudkan lingkungan rumah tangga yang lebih bersih dan berkelanjutan melalui sumber energi hidrogen sebagai bahan bakar listrik.

***Kata Kunci* : Sumber energi hidrogen, Polusi udara, Pembangkit listrik rumah tangga**

ABSTRACT

The increasing electricity demand in households is one of the indirect causes of air pollution in Indonesia. This is due to the fact that the majority of household electricity comes from fossil fuel power plants that emit greenhouse gasses and various pollutants into the air. One alternative solution to this issue is the utilization of hydrogen energy as a source of electrical power for households. Hydrogen energy is a zero-emission fuel for electricity generation, thus having the potential to reduce air pollution levels. This article is conducted through a literature review that examines the feasibility of using hydrogen energy as a fuel for household electricity generation. Hydrogen is converted into electricity through the fuel cell cycle process, where the reaction between hydrogen and oxygen in the air causes disruption of protons and electrons in hydrogen. The separated electrons move towards the external circuit, generating an electric current that can be utilized as electricity to meet the community's power needs, while protons move from one side of the cell to the other. The combination of electrons and protons on the anode side causes them to reunite and interact with oxygen, resulting in the main byproduct of air in the form of water vapor. The process of electricity generation using hydrogen is clean and efficient as the main by-product, air, has a different impact compared to pollutant emissions from fossil fuel usage, thus presenting an alternative solution to reduce pollution issues in Indonesia. The use of hydrogen as a source of household electrical energy demonstrates significant potential to mitigate the impact of air pollution. Therefore, collaborative efforts from all parties are required. The community, government, industry, and various sectors must integrate to realize a cleaner and more sustainable household environment through hydrogen energy as an electrical fuel.

Keywords: *Hydrogen energy sources, Air pollution, Household power generati*

PENDAHULUAN

Polusi udara menjadi salah satu persoalan lingkungan global yang tidak luput dialami oleh Indonesia, khususnya daerah perkotaan. Konsentrasi rata-rata PM2.5 di Indonesia yang tercatat oleh IQAir Indonesia adalah 89 yang termasuk dalam kategori sedang, namun telah melebihi 6,1 kali standar panduan kualitas udara yang telah ditetapkan oleh WHO.

Menurut Abidin dan Hasibuan (2019), sumber polusi udara terbagi menjadi 3 yaitu sumber perkotaan dan industri, sumber pedesaan atau pertanian, dan sumber alami. Keduanya juga menuturkan bahwa sumber polusi udara perkotaan adalah dari kemajuan teknologi yang menjadikan peningkatan pabrik industri, pembangkit listrik, serta kendaraan bermotor.

Keparahan polusi udara yang terus meningkat tentunya berdampak buruk bagi kesehatan masyarakat, gangguan pernapasan ringan seperti batuk dan pilek hingga gangguan kardiovaskuler atau penyakit berat lainnya yang beresiko kematian. Berdasar pernyataan Kemenkes (2023), polusi udara menyebabkan meningkatnya risiko penyakit respirasi. Penyakit respirasi seperti Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK) memiliki risiko 36,6%, pneumonia 32%, asma 27,95%, kanker paru 12,5%, dan tuberkulosis

12,2%. Selain berdampak bagi kesehatan, polusi udara juga mempengaruhi keseimbangan lingkungan karena kontribusi polusi dalam peningkatan kejadian hujan asam yang dapat merusak tanah, tanaman, air tanah hingga kesehatan kulit manusia apabila terjadi kontak kulit. Keadaan kesehatan masyarakat dan lingkungan yang buruk tentunya akan berimbas pula pada kondisi perekonomian menjadi tidak stabil karena produktivitas masyarakat yang terganggu.

Perkotaan identik dengan pertumbuhan populasi yang bertumbuh pesat, pertumbuhan populasi yang cepat menjadikan kebutuhan listrik rumah tangga meningkat sehingga untuk memenuhi kebutuhan listrik penggunaan pembangkit listrik menggunakan bahan bakar fosil turut melonjak. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2019) memperkirakan kenaikan permintaan listrik pada tahun 2025 akan meningkat 11-12% sehingga akan mencapai 576,2 TWh (BaU), 537 TWh (PB) dan 520,7 TWh (RK). Sayangnya, untuk memenuhi kebutuhan tersebut, pembangkit listrik yang digunakan banyak menggunakan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama. Dalam prosesnya bahan bakar fosil banyak menghasilkan emisi gas yang pada dasarnya bersifat toksik. Gas emisi yang dimaksud diantaranya karbon dioksida,

Methana, Nitrogen oksida, Hidrofluorokarbon, Fluorokarbon, dan Sulfur heksafluorida (Meilani dan Wuryandani, 2010). Karbon monoksida yang terhirup bereaksi secara metabolis dengan darah menjadi karboksihemoglobin (COHb) yang dapat mengganggu kesehatan manusia (Damara, Yus. 2017). Soedomo mengatakan bahwa (2001), Karbon Monoksida dapat mempengaruhi kesehatan, yaitu tekanan fisiologikal, terutama pada penderita penyakit jantung. Dapat dikatakan bahwa secara tidak langsung kebutuhan listrik rumah tangga yang akan terus bertambah menjadi penyebab tidak langsung polusi udara yang terjadi di Indonesia.

Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah penggunaan energi hidrogen sebagai sumber energi listrik pengganti bahan bakar fosil. Banyak negara maju seperti Jerman, Jepang, Korea Selatan, dan negara lainnya yang telah mengaplikasikan inovasi energi hidrogen sebagai sumber energi dengan dampak positif bagi peningkatan kualitas udara yang berada pada negara tersebut. Air sebagai produk samping utama yang dihasilkan dalam proses pembentukan listrik menggunakan energi hidrogen, tidak memiliki dampak berbahaya bagi udara. Hal tersebut menjadi alasan menggunakan hidrogen sebagai pengganti bahan bakar

fosil menjadi solusi menarik yang patut dipertimbangkan untuk langkah dalam penanganan permasalahan polusi udara di Indonesia sehingga derajat kesehatan masyarakat dapat meningkat dan berimbas pada kualitas hidup yang dimiliki.

Tujuan dari paper ini adalah memperkenalkan hidrogen sebagai solusi alternatif permasalahan polusi udara di Indonesia disertai identifikasi dari implementasi energi hidrogen menggantikan bahan bakar fosil bagi sumber energi listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga yang menjadi sebab tidak langsung polusi udara di Indonesia.

METODE

Tulisan ini disusun dengan menggunakan jenis penelitian kualitatif, dimana penulis akan mencari pemahaman yang mendalam terkait topik atau masalah tertentu dengan menggali literatur yang ada dan menganalisisnya melalui pendekatan deskriptif. Adapun penulis menggunakan teknik penelitian studi pustaka untuk mendapatkan informasi serta data yang akurat. Studi pustaka berkaitan dengan kajian teoritis dan referensi yang berasal dari literatur-literatur ilmiah (Sugiyono, 2012). *Paper* yang berjudul “*Menuju Indonesia Bebas Polusi Udara : Sumber Energi Hidrogen bagi Kebutuhan Listrik*

Rumah Tangga” ini disusun dengan cara mengumpulkan data dan teori-teori dari berbagai sumber berupa jurnal ilmiah, artikel, makalah konferensi, dan sumber-sumber digital lainnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Saat ini, hidrogen merupakan bahan bakar yang mendapatkan banyak perhatian untuk dikembangkan karena terbukti ramah lingkungan dan mampu menggantikan bahan bakar fosil. Seperti contohnya negara Jepang yang menciptakan Kota Hidrogen Kitakyushu untuk mengatasi masalah polusi. Kota Hidrogen Kitakyushu menggunakan sumber energi hidrogen untuk memasok listrik ke kawasan perumahan dan fasilitas umum melalui jaringan yang ditanam di jalan kota (Awazu Y, 2016).

Hidrogen merupakan unsur yang banyak terdapat di alam, namun memiliki bentuk yang berbeda dengan unsur lainnya, dimana hidrogen tidak ditemukan dalam bentuk gas akan tetapi dalam bentuk senyawa. Hidrogen dapat dijadikan sebagai bahan bakar bagi pembangkitan listrik dalam rumah tangga bersama dengan oksigen menggunakan suatu unit yang dinamakan *hydrogen fuel cell*. *Hydrogen fuel cell* memiliki dua kutub, yaitu anoda (-) dan katoda (+). Pada kutub anoda, dua molekul air akan terurai menjadi oksigen

dan melepaskan empat ion H^+ kemudian akan dialirkan ke kutub katoda. Pada kutub katoda, hidrogen terpecah menjadi elektron serta ion hidrogen. Aliran elektron pada sirkuit eksternal akan menghasilkan listrik, sementara ion hidrogen akan bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan produk sampingan berupa uap air. Oleh karena itu, sumber energi hidrogen merupakan jenis energi yang sangat bersih karena tidak menghasilkan emisi polutan yang berbahaya (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2021).

1. Potensi Energi Hidrogen Menjadi Sumber Energi Listrik

Energi hidrogen berpotensi untuk menjadi sumber energi listrik yang bersih, efisien, dan berkelanjutan. Selain itu, penggantian sumber listrik dari bahan bakar fosil menjadi energi hidrogen dapat membawa perubahan signifikan yang positif baik bagi lingkungan, kesehatan, maupun perekonomian Indonesia. Potensi energi hidrogen sebagai sumber listrik rumah tangga diantaranya:

- a. Produk samping utama yang bersih dan ramah lingkungan

Keunggulan utama energi hidrogen adalah produk sampingan yang dihasilkan berupa uap air (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2021). Dengan begitu

pemanfaatan energi hidrogen sebagai listrik rumah tangga tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polutan udara yang merusak lingkungan. Hal ini mendukung upaya penurunan polusi udara untuk peningkatan kualitas udara bersih di Indonesia

- b. Efektif untuk penyimpanan energi
Energi hidrogen dapat difungsikan sebagai media penyimpanan energi terbarukan yang efisien (Breeze, 2018). Apabila energi dari sumber terbarukan diproduksi berlebih maka energi tersebut dapat dialihkan untuk memproduksi air melalui proses elektrolisis, sehingga hidrogen yang terbentuk dapat disimpan untuk menghasilkan listrik.
- c. Jumlah sumber energi tak terbatas
Kemudahan produksi hidrogen baik dari sumber fosil maupun sumber energi terbarukan (Rosyid dan Oktaufik, 2009). Serta keberadaannya yang tersebar luas di bumi menjadi arti bahwa energi hidrogen dapat menjadi pengganti bahan bakar fosil yang terbatas.
- d. Diversifikasi energi
Diversifikasi menuju energi hidrogen sebagai pengganti bahan bakar fosil dapat membantu ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang telah

lama terjadi, terlebih diversifikasi energi juga akan berimbas sebagai solusi permasalahan lingkungan yang banyak disebabkan oleh bahan bakar fosil.

2. Pihak-Pihak yang Terlibat

Pihak-pihak terkait yang mampu mendukung dan memiliki wewenang untuk merealisasikan penggunaan sumber energi hidrogen sebagai bahan bakar pembangkit listrik rumah tangga, meliputi:

- a. Pemerintah: pemerintah berperan untuk menciptakan kebijakan dan regulasi yang mendukung pengembangan infrastruktur energi hidrogen dan keberlanjutannya, serta memberikan dukungan finansial untuk implementasi penggunaan energi hidrogen.
- b. Pihak swasta: pihak swasta dapat berkolaborasi dengan pemerintah dalam mengembangkan infrastruktur yang digunakan untuk produksi energi hidrogen sebagai pembangkit listrik rumah tangga.
- c. Akademisi: akademisi terlibat dalam penelitian dan inovasi yang mendorong pengembangan energi hidrogen yang berkelanjutan.
- d. Komunitas: komunitas dalam mengambil peran dalam meningkatkan kesadaran masyarakat terkait

penggunaan sumber energi hidrogen melalui kampanye, edukasi, seminar, atau kegiatan lainnya.

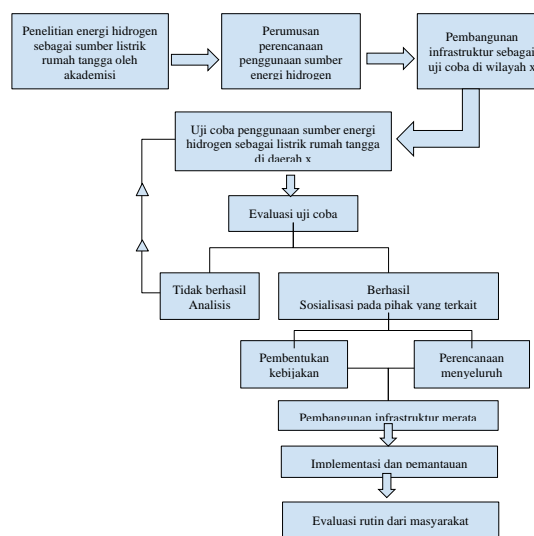
- e. Masyarakat: masyarakat memiliki peran dalam berpartisipasi dalam pengembangan dan penggunaan sumber energi hidrogen sebagai bahan bakar pembangkit listrik rumah tangga. Selain itu, masyarakat dapat memberikan evaluasi dan timbal balik terkait penggunaan energi hidrogen.

Adapun tantangan terbesar dalam pengembangan sumber energi hidrogen adalah tidak tersedianya sumber daya dan infrastruktur yang kurang memadai, kurangnya dukungan pemerintah, dan besarnya jumlah biaya yang digunakan (R.A.Felshegi, 2019). Di Indonesia, hidrogen masih dianggap sebagai senyawa kimia non-bahan bakar sehingga masih sulit untuk dikembangkan. Di sisi lain, energi hidrogen di Indonesia hanya diproduksi oleh 4 industri gas, sehingga untuk meningkatkan produksi hidrogen dalam jumlah yang signifikan, diperlukan lebih banyak industri yang terlibat (Sinaga, 2022).

3. Implementasi

Dalam implementasi hidrogen sebagai sumber energi hidrogen pengganti bahan bakar fosil untuk listrik rumah tangga, dibutuhkan koordinasi dari

berbagai *stakeholder* dan perencanaan disertai evaluasi yang mendukung. Tanpa koordinasi antar pihak, tentunya tidak mudah untuk mendapat manfaat signifikan dari penggunaan energi hidrogen sebagai listrik rumah tangga bagi lingkungan, khususnya polusi udara.



Gambar 1. Bagan Implementasi

Pertama-tama penelitian hidrogen sebagai pengganti bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik dapat dilakukan oleh akademisi. Diharapkan hasil penelitian dapat mengidentifikasi faktor pendukung dan penghalang implementasi energi hidrogen di Indonesia, estimasi kebutuhan infrastruktur, dampak dari transformasi sumber energi pembangkit listrik, dan lainnya. Kemudian dilakukan perumusan rencana untuk uji coba pada wilayah tertentu, disertai dengan pembangunan infrastruktur yang dibutuhkan.. Uji coba

akan dilakukan dalam rentang waktu tertentu untuk mengamati perubahan yang terjadi pada lingkungan sebagai bahan evaluasi efektivitas hidrogen sebagai sumber energi listrik rumah tangga. Hasil evaluasi akan menentukan langkah selanjutnya yang perlu diambil, apabila hasil evaluasi tidak sesuai perencanaan maka diperlukan analisis kendala agar dapat dilakukan uji coba kembali. Sebaliknya, apabila hasil evaluasi sesuai dengan perencanaan maka dapat dilanjutkan pada langkah selanjutnya yaitu pembuatan regulasi dari berbagai pihak sehingga dapat mendukung implementasi menyeluruh ke daerah lainnya.

Setelah pembangunan infrastruktur energi hidrogen dirampungkan di tiap daerah, maka implementasi energi hidrogen sebagai pengganti bahan bakar fosil untuk listrik rumah tangga dapat dilakukan. Dalam pelaksanaan tentunya dibutuhkan pemantauan oleh pemerintah yang berwenang, dukungan masyarakat tentunya diperlukan untuk memaksimalkan manfaat yang diperoleh dengan memberikan tanggapan masyarakat setelah penggunaan energi hidrogen sebagai sumber listrik. Hasil pemantauan dan tanggapan masyarakat merupakan evaluasi bagi pemerintah untuk membenahi kekurangan dari sarana prasarana produksi listrik rumah tangga dari hidrogen.

KESIMPULAN

Energi hidrogen berpotensi untuk menjadi sumber energi listrik yang bersih, efisien, dan berkelanjutan. Selain itu, penggantian sumber listrik dari bahan bakar fosil menjadi energi hidrogen dapat membawa perubahan signifikan yang positif baik bagi lingkungan, kesehatan, maupun perekonomian Indonesia. Demi terrealisasinya penggunaan energi hidrogen sebagai bahan bakar pembangkit listrik rumah tangga yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, diperlukan koordinasi dan sinergi antara pemerintah, pihak swasta, akademisi, komunitas, dan masyarakat.

SARAN

Pengembangan sumber energi hidrogen sebagai bahan bakar pembangkit listrik rumah tangga adalah sebuah usaha yang kompleks yang memerlukan kerja sama lintas sektor. Oleh karena itu, kolaborasi dalam bentuk pentahelix memungkinkan berbagai pihak yang berwenang untuk berbagi ide, pengetahuan, sumber daya, dan dukungan untuk mempercepat realisasi dan perkembangan sumber energi hidrogen.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, J., Artauli Hasibuan, F., Kunci, K., Udara, P., & Gauss, D. (2019). Pengaruh Dampak Pencemaran

- Udara Terhadap Kesehatan untuk Menambah Pemahaman Masyarakat Awam Tentang Bahaya dari Polusi Udara. In *Prosiding Snfur-4*.
- Awazu, Y. (2016). Kitakyushu Hydrogen Town. *The Journal of The Institute of Electrical Installation Engineers of Japan*, 36(4), 254–258. <https://doi.org/10.14936/ieiej.36.254>
- A. Zhou And J. Wang, “Behind-The-Meter Renewable Hydrogen: Challenges And Solutions,” *Electr. J.*, Vol. 35, No. 5, 2022, Doi: 10.1016/J.TeJ.2022.107134.
- Breeze, P. (2018). Hydrogen Energy Storage. *Power System Energy Storage Technologies*, 69–77. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812902-9.00008-0>
- Damara, Y. D., Wardhana, W. I., & Sutrisno, E. (2017). Penulis. In *Jurnal Teknik Lingkungan* (Vol. 6, Issue 1)
- Dewantoro H, Y., & Roihatin, A. (2019). *View Of Graphite As A Hydrogen Storage In Fuel Cell System: Computational Material Study For Renewable Energy*. *Jurnal Teknik Energi*. <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/jid/article/view/3499/4228>
- Dewi, E. L. (N.D.). *Potensi Hidrogen Sebagai Bahan Bakar Untuk Kelistrikan Nasional*.
- Gani, R., Rabiatal Adawiah, S., Nur, A., & Andriani, T. (2020). *Peluang Hidrogen Sebagai Bahan Bakar Alternatif Di Indonesia*.
- 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. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.13374>
- Indonesia Indeks Kualitas Udara (Aqi): Tingkat Polusi Udara Waktu Nyata*. (N.D.). Retrieved September 2, 2023, from <https://www.aqi.in/id/dashboard/indonesia>
- Informasi Indeks Kualitas Udara (Aqi) Dan Polusi Udara Di Indonesia | Iqair*. (2023.). Retrieved September 2, 2023, from <https://www.iqair.com/id/indonesia>
- Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral (2021). *Hydrogen Fuel Cell*. Jakarta : Kementrian Esdm Dari <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-apa-itu-teknologi-hydrogen-fuel.pdf>

- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2019. Outlook Energi Indonesia 2019. Jakarta (Id) : Kementerian Esdm dari <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-outlook-energi-indonesia-2019-bahasa-indonesia.pdf>
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (2023). Polusi Udara Sebabkan Angka Penyakit Respirasi Tinggi. Sehat Negeriku. Tersedia di: <https://sehatnegeriku.kemkes.go.id/baca/rilis-media/20230404/2642721/polusi-udara-sebabkan-angka-penyakit-respirasi-tinggi/> (diakses pada 12 September 2023).
- Madury, S. A., Fakhrunnisa, F., Panjaitan, R., Niã™Mah, S. And Chandra, T. P. (2014) “Prohilila (Produksi Hidrogen Dari Limbah Laboratorium) Sebagai Mediator Energi Pembangkit Listrik Dengan Metode Fuel Cell”, *Khazanah: Jurnal Mahasiswa*, 6(2), Pp. 55–66. doi: 10.20885/khazanah.vol6.iss2.art.
- Meilani, H., Wuryandani, D., Panas Bumi, P., Kunci, K., Panas Bumi, E., & Pemerintah, K. (N.D.). *Potensi Panas Bumi Sebagai Energi Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Di Indonesia*. <http://www.esdm.go.id/siaran-pers/55-siaran-pers/3271-pelaksanaan-program-prioritas->
- R. A. Felseghi, E. Carcadea, M. S. Raboaca, C. N. Trufin, And C. Filote. (2019). “Hydrogen Fuel Cell Technology For The Sustainable Future Of Stationary Applications,” *Energies*, Vol. 12, No. 23, Doi: 10.3390/En12234593.
- Rosyid, O. A., & Oktaufik, M. A. M. (N.D.). *Infrastruktur Hidrogen untuk Aplikasi Fuel Cell dalam Era Ekonomi Hidrogen*.
- Sinaga, N., & Manullang, E. (2022). Potential And Challenges of Hydrogen Development as New Renewable Energy In Indonesia. *Rekayasa Energi Manufaktur Jurna L7(2)*, 2528–3723.
- Suhada, H. (2001). Fuel Cell Sebagai Penghasil Energi Abad 21. In *Fakultas Teknologi Industri* (Vol. 3, Issue 2).<http://puslit.petra.ac.id/journals/mechanical/92>
- Sugiyono. (2012). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

Soedomo, Moestikahadi. 2003. Kumpulan Karya Ilmiah Pencemaran Udara. ITB Press: Bandung.

The Ministerial Council on Renewable Energy, Hydrogen and Related Issues. Basic Hydrogen Strategy. 2017.

http://www.meti.go.jp/english/pres/s/2017/pdf/1226_003b.pdf

T. Sutardi and A. H. Budiman, “Potensi Pemanfaatan Co2 Dan Hidrogen Sebagai Bahan Bakar Alternatif Di Indonesia,” *J. Energi dan Lingkung.*, vol. 16, no. 1, pp. 31–38, 2020, doi: 10.29122/jel.v16i1.4581.