

Produksi Hidrogen dengan Memanfaatkan Sumber Daya Energi Surya dan Angin di Indonesia

Muhammad Syukri Hasan¹, Widayat²

¹Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro;

²Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro;

Email : msyukrih@students.undip.ac.id (M.S.H), widayat@lecturer.undip.ac.id (W);

Abstrak : Kebutuhan energi final per jenis masih didominasi oleh penggunaan energi BBM. Sektor transportasi merupakan pengguna energi terbesar diantara sektor-sektor lainnya. Energi yang digunakan pada sektor transportasi hamper mayoritas menggunakan BBM. Oleh karena itu perlu dilakukan substitusi BBM ke energi hidrogen sebagai energi alternatif untuk sektor transportasi. Besarnya potensi energi surya dan energi angin di Indonesia serta perkembangan teknologinya yang semakin efisien dan murah maka produksi hidrogen dapat dilakukan menggunakan metode elektrolisis yang mudah diterapkan dan murah untuk diproduksi untuk masa depan. Produksi Hidrogen skala besar menggunakan Elektrolisis air membutuhkan banyak suplai air. Oleh karena itu potensi air laut di Indonesia dapat digunakan sebagai bahan baku substitusi air tawar. Pemanfaatan Hidrogen dengan fuel cell dapat digunakan sebagai sumber energi listrik untuk moda transportasi seperti mobil listrik dan sepeda motor listrik yang saat ini mulai berkembang.

Kata Kunci : Sektor Transportasi, Hidrogen, Energi Surya, Air Laut, PV, Elektrolisis

Abstract : Final energy demand per type is still dominated by oil fuel. The transportation sector is the largest energy user among other sectors. Most of the energy used in the transportation sector uses fuel. Therefore, it is necessary to substitute fuel oil for hydrogen energy as an alternative energy for the transportation sector. the potential of solar energy and wind energy in Indonesia and the development of technology which is increasingly efficient and inexpensive, hydrogen production can be carried out using electrolysis methods that are easy to apply and inexpensive to produce for the future. Large-scale Hydrogen production using water electrolysis requires a large supply of water. Therefore, the potential of sea water in Indonesia can be used as raw material for freshwater substitution. Utilization of hydrogen with fuel cells can be used as a source of electrical energy for transportation modes such as electric cars and electric motorcycles which are currently starting to develop.

Keywords : Transportation Sector, Hydrogen, Solar Energy, Wind Energy, Seawater, Electrolysis

1. Pendahuluan

Saat ini hampir seluruh negara-negara di dunia sedang berupaya untuk melakukan substitusi energi fosil ke energi terbarukan. Energi terbarukan merupakan energi bersih dan berkelanjutan yang

dapat memenuhi kebutuhan energi berbagai sektor dan mengatasi dampak lingkungan akibat penggunaan energi konvensional yang menimbulkan efek gas rumah kaca. Manfaat dari energi terbarukan yaitu menjamin keamanan energi, menjamin ketersediaan energi, dan mengurangi polusi udara yang dapat membahayakan kesehatan

Teknologi sumber daya energi primer selalu dikembangkan untuk menghasilkan efisiensi energi yang tinggi, harganya terjangkau, dan ramah lingkungan. Perkembangan teknologi diimplementasikan berdasarkan sumber daya energi primer yang tersedia, mudah dan murah untuk didapatkan. Total konsumsi energi final di Indonesia pada tahun 2018 sebesar 875 juta SBM (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019). Kebutuhan energi final per jenis masih didominasi oleh penggunaan energi BBM yaitu bensin dan solar. Minat penggunaan BBM lebih tinggi dikarenakan penggunaan BBM masih lebih menguntungkan secara ekonomi dibandingkan penggunaan energi konvensional lainnya khususnya untuk sektor transportasi. Moda transportasi yang menggunakan energi terbarukan dinilai masih belum ekonomis sehingga pemilihan BBM masih menjadi pilihan terbaik saat ini.

Sektor transportasi merupakan pengguna energi terbesar diantara sektor-sektor lainnya. Energi yang digunakan pada sektor transportasi hampir mayoritas menggunakan BBM. Oleh karena itu perlu dilakukan substitusi BBM ke energi hidrogen sebagai energi alternatif untuk sektor transportasi. Pemanfaatan Hidrogen dengan fuel cell dapat digunakan sebagai sumber energi listrik untuk moda transportasi seperti mobil listrik dan sepeda motor listrik yang saat ini mulai berkembang. Beberapa proses untuk memproduksi gas hidrogen itu salah satu caranya yaitu menggunakan proses elektrolisis air. Pada proses ini air diuraikan menjadi hidrogen dan oksigen dengan menggunakan listrik searah (DC). Proses yang terjadi pada elektrolisis yaitu, Air (H_2O) dipisahkan ke dalam molekul diatomik hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2). Hidrogen ini yang digunakan sebagai bahan bakar substitusi untuk moda transportasi energi hidrogen.

Dalam rangka substitusi energi fosil ke energi terbarukan, maka pembangkitan listrik untuk proses elektrolisis juga harus menggunakan sumber energi terbarukan yang mudah didapatkan dan diaplikasikan. Menggunakan sumber energi terbarukan agar kita dapat memproduksi hidrogen dengan cara yang bersih yaitu tidak menimbulkan emisi gas rumah kaca. Produksi Hidrogen skala besar menggunakan Elektrolisis air membutuhkan banyak suplai air. Di masa depan, teknologi elektrolisis menggunakan air tawar sebagai bahan baku berpotensi mengakibatkan keterbatasan air bersih untuk kebutuhan manusia. Oleh karena itu substitusi bahan baku air tawar perlu dilakukan.

2. Potensi Energi Surya di Indonesia

Energi surya merupakan salah satu energi terbarukan di Indonesia yang sangat potensial dikarenakan Indonesia secara geografis terletak digaris katulistiwa dengan rata-rata energi sekitar 4,80 kWh/m²/hari. Oleh karena itu, Indonesia berpeluang untuk mengaplikasikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS merupakan salah satu energi alternatif terbarukan yang menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan energi untuk Indonesia. Potensi energi surya di Indonesia bisa mencapai 207,8 Giga Watt (GW) (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019). Energi surya dikonversi menjadi energi listrik menggunakan sel surya/sel photovoltaic. Potensi surya untuk setiap provinsi di Indonesia dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1.

Potensi surya per provinsi di Indonesia (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019)

Provinsi	Potensi (MW)	Provinsi	Potensi (MW)
Kalimantan Barat	20.113	Sumatera Barat	5.898
Sumatera Selatan	17.233	Kalimantan Utara	4.643
Kalimantan Timur	13.479	Sulawesi Tenggara	3.917
Sumatera Utara	11.851	Bengkulu	3.475
Jawa Timur	10.335	Maluku Utara	3.036
Nusa Tenggara Barat	9.931	Banga Belitung	2.810
Jawa Barat	9.099	Banten	2.461
Jambi	8.847	Lampung	2.238
Jawa Tengah	8.753	Sulawesi Utara	2.113
Kalimantan Tengah	8.459	Papua	2.035
Aceh	7.881	Maluku	2.020
Kepulauan Riau	7.763	Sulawesi Barat	1.677
Sulawesi Selatan	7.588	Bali	1.254
Nusa Tenggara Timur	7.272	Gorontalo	1.218
Papua Barat	6.307	DI Yogyakarta	996
Sulawesi Tengah	6.187	Riau	753
Kalimantan Selatan	6.031	DKI Jakarta	225
		Total	207.898

Untuk mencapai sasaran pengaplikasian PLTS di Indonesia, rencana kegiatan/upaya yang dilakukan pemerintah Indonesia, antara lain (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019):

- 1) Memberlakukan kewajiban pemasangan PLTS minimum sebesar 30% dari luas atap untuk seluruh bangunan pemerintah
- 2) Memberlakukan kewajiban pemasangan PLTS minimum sebesar 25% dari luas atap (rooftop) bangunan rumah mewah, kompleks perumahan, apartemen, kompleks melalui Izin Mendirikan Bangunan (IMB)
- 3) Memfasilitasi pendirian industri hulu hilir PLTS

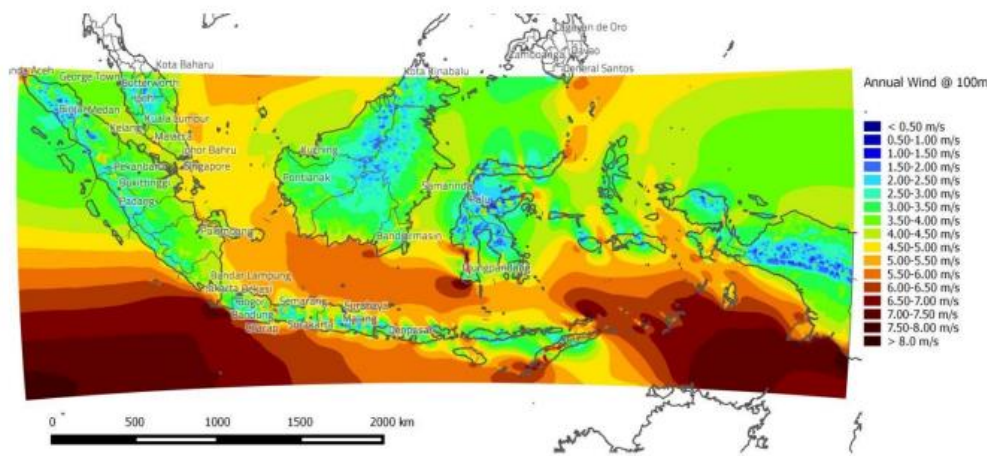
Instalasi energi surya di Amerika Serikat hampir mencapai 1,6 juta instalasi (SEIA, 2018). Salah satu alasan terjadi peningkatan kapasitas energi surya yitu dikarenakan dukungan publik meningkat pesat sejak tahun 2000, dan banyak kebijakan telah diadopsi secara eksplisit untuk mempromosikan energi terbarukan (Beck & Martinot, 2004). Sumber daya surya, atau radiasi matahari, secara langsung mempengaruhi keluaran panel surya (Thekaekara, 1973).

Pemerintah harus menetapkan kebijakan terkait pengembangan pemanfaatan energi surya untuk mencapai keberlanjutan dan keamanan pasokan energi terbarukan (Scarpa & Willis, 2010). Kebijakan energi surya dibuat untuk memicu pertumbuhan pasar energi surya menggunakan insentif keuangan pemerintah (Barbose et al., 2015). Sebagai contoh Pemerintah federal AS telah menawarkan kredit pajak investasi (ITC) 30%, sementara beberapa negara bagian AS menawarkan program pemotongan harga, insentif produksi, dan insentif pajak untuk mempromosikan energi terbarukan (Xiarchos dan Vick, 2011). Insentif dukungan negara memberikan pajak kredit kepada penyedia listrik untuk memasang sistem energi terbarukan (Berry & Jaccard, 2001). Secara keseluruhan, jenis insentif

ini meringankan beban keuangan untuk instalasi sistem energi surya. Selain kebijakan promosi energi surya, kepedulian konsumen terhadap lingkungan juga dapat menentukan sikap konsumen untuk memilih energi surya sebagai sumber energi.

3. Potensi Energi Angin di Indonesia

Sumber daya energi angin di Indonesia terbilang cukup besar sehingga memungkinkan untuk membangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin. Berdasarkan hasil penelitian Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), diperoleh hasil bahwa ada 35 titik lokasi di Indonesia memiliki kecepatan angin lebih dari 5 m/s pada ketinggian 50 meter. Terbaik diantaranya yaitu daerah Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, pantai selatan Jawa dan pantai selatan Sulawesi.



Gambar 1. Peta Potensi Energi Angin di Indonesia
 (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019)

Berikut ini merupakan hasil studi potensi angin di Indonesia dengan mengukur nilai kecepatan angin rata-rata (m/s). Kecepatan angin rata-rata di beberapa daerah di Indonesia yang dilakukan studi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2.

Kecepatan Angin Rata-Rata di Indonesia

Tempat Studi	Kecepatan Angin Rata-Rata (m/s)
Baron, DIY	6,13
Lebak, Banten	5,58
Nusa Penida, Bali	2,73
Oelbubuk, NTT	6,1
Bantul, DIY	4
Sukabumi, Jawa Barat	6,27
Purworejo, Jawa Tengah	5,16
Garut, Jawa Barat	6,57
Sidrap, Sulawesi Selatan	6,43
Joneponto, Sulawesi Selatan	7,96
Selayar, Sulawesi Selatan	4,6

Potensi angin di beberapa wilayah Indonesia cukup besar. Pada Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) potensi angin diseluruh wilayah Indonesia mencapai 60.647,0 MW dengan kecepatan angin \pm 4 m/s. Lokasi potensi angin tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3.

Potensi Angin per provinsi di Indonesia (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019)

Provinsi	Potensi (MW)	Provinsi	Potensi (MW)
Nusa Tenggara Timur	10.188	Kepulauan Riau	992
Jawa Timur	7.907	Sulawesi Tengah	908
Jawa Barat	7.036	Aceh	894
Jawa Tengah	5.213	Kalimantan Tengah	681
Sulawesi Selatan	4.193	Kalimantan Barat	554
Maluku	3.188	Sulawesi Barat	514
Nusa Tenggara Barat	2.605	Maluku Utara	504
Bangka Belitung	1.787	Papua Barat	437
Banten	1.753	Sumatera Barat	428
Bengkulu	1.513	Sumatera Utara	356
Sulawesi Tenggara	1.414	Sumatera Selatan	301
Papua	1.411	Kalimantan Timur	212
Sulawesi Utara	1.214	Gorontalo	137
Lampung	1.137	Kalimantan Utara	73
DI Yogyakarta	1.079	Jambi	37
Bali	1.019	Riau	22
Kalimantan Selatan	1.006	DKI Jakarta	4
		Total	60.647

Untuk mencapai sasaran pengaplikasian PLT Angin upaya yang dapat dilakukan antara lain:

- 1) Meningkatkan frekuensi survey potensi angin di seluruh Indonesia sehingga mendapat data yang valid agar dapat dijadikan bahan pertimbangan pembangunan PLT Angin.
- 2) Melakukan studi kelayakan pembangunan PLT Angin
- 3) Memprioritaskan pembangunan PLT Angin di daerah 3T
- 4) Membuat kebijakan agar pemerintah daerah wajib membangun dan mengelola PLT Angin.

4. Potensi Air Laut di Indonesia

Elektrolisis air skala besar untuk produksi hidrogen membutuhkan banyak air. Di masa depan, teknologi elektrolisis menggunakan air tawar sebagai bahan baku mungkin menghadapi kekurangan sumber daya air. Teknologi elektroliser air suhu rendah menggunakan sejumlah besar pasokan air tawar untuk menghasilkan H₂ (yaitu, sekitar 9 L air murni per 1 kg H₂; dengan asumsi efisiensi 100%). 40 GW terpasang elektroliser di Uni Eropa akan mewakili 10 juta ton H₂ dan 90 juta liter air tawar (European Commission., 2020).

Elektrolisis air skala besar untuk produksi hidrogen membutuhkan banyak air. Di masa depan, teknologi elektrolisis menggunakan air tawar sebagai bahan baku mungkin akan mengakibatkan keterbatasan air bersih untuk kebutuhan manusia. Oleh karena itu jika air laut bisa digunakan sebagai

bahan baku untuk menghasilkan hidrogen melalui proses elektrolisis dengan menggunakan tenaga surya dan angin, maka akan membawa manfaat ekonomi dan lingkungan bagi manusia (Shaner et al., 2016). Air laut berlimpah dan mudah untuk didapatkan (Myers N., 1993). Jadi, memproduksi hidrogen dari air laut tampaknya menjadi alternatif yang sangat menarik, terutama di daerah yang keterbatasan air tawar.

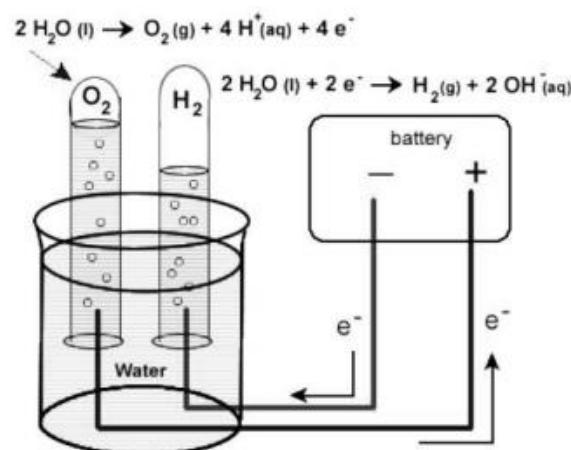
Indonesia memiliki lautan yang sangat luas yaitu 3.544.743,900 km² (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2011). Air laut yang melimpah di Indonesia dapat dimanfaatkan sebagai sumber air untuk proses elektrolisis untuk menghasilkan hidrogen. Produksi gas hidrogen menggunakan air laut yang mengandung natrium klorida (NaCl) merupakan solusi yang tepat dikarenakan NaCl yang terkandung dalam air laut tersebut merupakan katalis alami.

5. Produksi Hidrogen menggunakan Metode Elektrolisis

Hidrogen merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa. Hidrogen memiliki sifat yang sangat mudah terbakar. Produksi gas hidrogen dihasilkan menggunakan salah satu metodenya yaitu elektrolisis air. Pada proses ini penguraian senyawa air (H₂O) menjadi gas hidrogen (H₂) dan oksigen (O₂) dengan menggunakan listrik DC (Achmad H, 1992). Gas H₂ sangat potensial digunakan sebagai sumber energi karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca (Bari & Mohammad Esmaeil, 2010). Proses elektrolisis dalam mengurai senyawa air membutuhkan katalis untuk mempercepat reaksi agar meningkatnya produksi gas hidrogen.

Senyawa ionik yang dialiri arus listrik sehingga terjadi reaksi kimia merupakan proses Elektrolisis. terjadi ketika aliran arus listrik melalui senyawa ionik dan mengalami reaksi kimia. Elektron pada katoda akan diambil oleh ion, molekul, atau atom tertentu pada larutan, sedangkan elektron dilepas oleh spesi lainnya ke anoda. Setelah itu elektron akan mengalir ke katoda (Suyuty A, 2011).

Pada anoda, dua molekul air lain terurai menjadi O₂, melepaskan 4 ion H⁺ serta mengalirkan elektron ke katoda. Sedangkan Pada katoda, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi H₂ dan OH⁻. Ion H⁺ dan OH⁻ akan terbentuk kembali menjadi beberapa molekul air karena netralisasi (Achmad H, 1992). Proses Elektrosis ini akan menghasilkan hidrogen yang akan digunakan sebagai energi penghasil listrik melalui fuel cell untuk menggerakkan motor listrik pada moda transportasi hidrogen. Gambar 2 merupakan skema dan mekanisme reaksi elektrolisis air.



Gambar 2. Skema dan Mekanisme Reaksi Elektrolisis Air (Achmad H, 1992)

Berikut merupakan uraian faktor yang mempengaruhi elektrolisis: (Suyuty A, 2011)

a) Penggunaan katalisator

Air laut yang mengandung NaCl sebagai katalis alami namun belum cukup maksimal dalam proses penguraian ikatan hidrogen dan oksigen di dalam air (Yilmaz et al., 2010). Sehingga, dibutuhkan tambahan katalis yang dapat memaksimalkan proses penguraian ikatan hidrogen dan oksigen di dalam air berupa H_2SO_4 , KOH, dan NaOH.

b) Luas permukaan tercelup

Semakin besar luasan permukaan yang menyentuh elektrolit maka akan semakin memudahkan suatu elektrolit untuk mentransfer elektronnya dan sebaliknya

c) Konsentrasi Perekasi

Presentase katalis tinggi dapat mereduksi hambatan pada elektrolit sehingga transfer elektron dapat lebih cepat proses elektrolisis. Semakin besar jumlah konsentrasi suatu larutan pereaksi maka akan semakin besar juga laju reaksinya dan sebaliknya

d) Besar Tegangan Eksternal

Berdasarkan Hukum Ohm Semakin besar tegangan maka semakin besar arus yang menghantarkan ion-ion bebas pada larutan sehingga membuat laju reaksi semakin besar dan sebaliknya (Petrucci R H., 2011).

6. Teknologi Photovoltaik (PV) PLTS

PV/Sel surya berfungsi menyerap foton dan mengubah cahaya menjadi energi listrik. Beberapa jenis sel PV yang tersedia saat ini yaitu monocrystalline, multi-crystalline, multi-junction kristal, dan sel konsentrasi. sel mono-kristal mempunyai efisiensi yang tinggi, tetapi produksi silikon monocrystalline membutuhkan lebih banyak proses yang rumit yang membuatnya lebih mahal. Sel multi-crystalline lebih murah dan memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan dengan jenis monocrystalline. Sebuah sel PV dengan bahan tunggal hanya memiliki efisiensi sekitar 15%. Multi-junction sel memiliki efisiensi hingga 40%, tetapi teknologi ini rumit, lebih mahal, dan mengurangi kelayakan ekonomi dibandingkan dengan modul PV konvensional (Dhass et al., 2016).

Menurut banyak penelitian, parameter yang paling signifikan untuk mempengaruhi kinerja sel PV adalah suhu (Tobnaghi et al., 2013). Oleh karena itu untuk meningkatkan kinerja modul PV maka suhu permukaan PV harus didinginkan. Faktor lain yang dapat mempengaruhi yaitu perawatan PV yaitu dengan cara dibersihkan permukaannya secara periodic sehingga debu tidak menghalangi sebagian sinar matahari sehingga mengurangi efisiensi PV (Furkan et al., 2010)

7. Teknologi Turbin Angin

Saat ini telah tersedia berbagai macam jenis dan desain turbin angin. Desain turbin angin harus berdasarkan kriteria desain terutama terkait dengan aplikasinya dan lokasi pemasangannya sehingga dapat menjadi pertimbangan teknis untuk pemilihan ukuran turbin, jenis generator, metode pengendalian, pembangunan, dan operasionalnya. Energi yang dihasilkan oleh turbin angin bergantung pada efisiensi sudu, karakteristik rotor dan generator, lokasi serta karakteristik energi angin yang tersedia misalnya karakteristik aliran, densitas, rata-rata kecepatan angin dan turbulensi. Pada umumnya terdapat dua kategori desain turbin diantaranya turbin angin sumber horizontal (HAWT) dan vertikal (VAWT).



Fig. 4. Examples of common existing (a) Horizontal axis wind turbines (HAWTs) and (b) Vertical axis wind turbines (VAWTs). (Source: different websites; see references). ¹<http://www.prweb.com/releases/2010/07/prweb4281554.htm>. ²<https://www.energyonthehook.com/Eclectic-Energy-D400-Wind-Generator-p/ecld400.htm>. ³<http://www.fortiswindenergy.com/montana/>. ⁴ <http://www.renugen.co.uk/wind-energy-solutions-wes5-tulipo-2-5-kw-wind-turbine/>. ⁵ http://www.windworks.org/cms/index.php?id=64&tx_ttnews%5Btt_news%5D=95&chHash=702973dca5ecf0c94d5d52e4e6094888. ⁶https://www.alibaba.com/product-detail/WindWall-3kW-Windturbine_109199832.html. ⁷<http://www.netzeroguide.com/savonius-wind-turbine/>. ⁸<https://en.wind-turbine-models.com/turbines/93-dornier-darrieus-55>. ⁹<http://lifefreeenergy.com/v/vertical-wind-turbine.html/page/2/>.

Gambar 3. (a) HAWTs (b) VAWTs

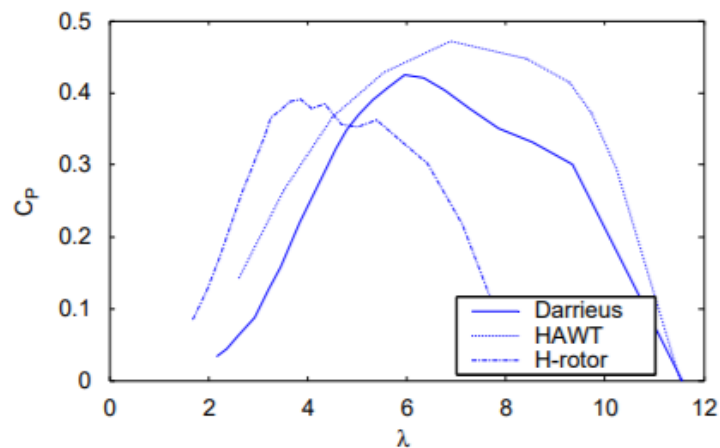
Gambar 3 (a) HAWT yang saat ini digunakan. Gambar 3 (b) VAWT, yaitu turbin Savonius, Darrieus dan H-Darrieus. Desain HAWT digunakan pada area terbuka dengan aliran udara horizontal yang cukup lancar dan sedikit hambatan hulu. Turbin angin sumbu vertikal (VAWT) lebih sedikit dipengaruhi oleh perubahan arah angin dan tingkat kebisingan rendah. Desain VAWT digunakan pada lingkungan perkotaan (Toja-Silva et al., 2013). Rotor Savonius adalah turbin angin kecepatan rendah sumbu vertikal yang lebih murah dan konstruksinya lebih sederhana. Rotor Savonius dianggap sebagai beberapa desain tertua untuk turbin angin dan telah terbukti sangat untuk diaplikasikan pada perkotaan skala mikro karena desainnya yang sederhana dan kecepatan angin yang relatif rendah (Saha et al., 2008). Energi yang dihasilkan tergantung pada efisiensi turbin, sedangkan biaya produksi listrik/kWh meliputi manufaktur, persiapan lokasi, instalasi dan operasi serta biaya pemeliharaan. ringkasan perbandingan turbin HAWT dan dua jenis VAWT (Darrieus dan H-rotor) dapat dilihat pada Tabel 1. HAWT lebih efisien secara komersial daripada VAWT.

Tabel 3.

Perbedaan Turbin H-Rotor, Darrieus, dan HAWT(Eriksson et al., 2008)

Parameter	H-rotor	Darrieus	HAWT
Blade Profile	Simple	Complicated	Complicated
Yaw mechanism needed	No	No	Yes
Pitch mechanism possible	Yes	No	Yes
Tower	Yes	No	Yes
Guy Wires	Optional	Yes	No
Noise	Low	Moderate	High
Blade Area	Moderate	Large	Small
Generator Position	On ground	On ground	On top of tower
Blade Load	Moderate	Low	High
Self-starting	No	No	Yes
Tower interference	Small	Small	Large
Foundation	Moderate	Simple	Extensive
Overall structure	Simple	Simple	Complicated

Kinerja turbin angin tergantung pada koefisien daya(C_p) yang menyatakan kapasitas daya dihasilkan oleh turbin angin. Secara teoritis koefisien daya maksimum disebut batas Betz dan 0,59 untuk turbin angin ideal (Manwell et al., 2002). Untuk HAWT, nilai C_p biasanya antara 0,40 dan 0,50 (Muljadi et al., 2000). Sedangkan nilai C_p pada turbin VAWT tidak disebutkan secara pasti dikarenakan hanya sedikit turbin VAWT yang beroperasi. Kurva daya untuk turbin Darrieus, HAWT, H-rotor dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Daya (C_p) untuk ketiga turbin(Eriksson et al., 2008)

Biaya produksi HAWT lebih murah dibandingkan VAWT dikarenakan HAWT sudah diproduksi sejak lama dan diproduksi dalam jumlah banyak. HAWT sebagai teknologi yang saat ini terus dikembangkan memungkinkan untuk dapat meningkatkan efisiensi HAWT sehingga menurunkan biaya produksi energi per kWh. Energi yang dihasilkan pada turbin tertentu tergantung pada efisiensi turbin yaitu koefisien daya, efisiensi drive train, dan generator.

8. Kesimpulan

Potensi Energi Surya dan Angin di Indonesia cukup besar sehingga dapat menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk proses elektrolisis untuk memproduksi hidrogen. Potensi Air laut yang melimpah di Indonesia dapat digunakan sebagai bahan Produksi gas hidrogen. Meskipun proses penguraian ikatan hidrogen dan oksigen di dalam air laut yang mengandung NaCl sebagai katalis alami belum optimal maka kita dapat menambahkan katalis seperti H_2SO_4 , KOH, dan NaOH.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi jumlah produksi hidrogen melalui proses elektrolisis yaitu penggunaan katalisator untuk memaksimalkan proses penguraian ikatan hidrogen dan oksigen, luas permukaan katoda dan anoda yang tercelup sehingga mempermudah suatu elektrolit mentransfer elektron, sifat logam bahan elektroda yang digunakan, konsentrasi pereaksi yang mereduksi hambatan pada elektrolit, dan besar tegangan/ arus listrik yang digunakan.

Besarnya potensi energi surya dan air laut di Indonesia serta teknologinya yang semakin efisien dan murah maka produksi hidrogen dapat dilakukan menggunakan metode elektrolisis yang mudah diterapkan. Ketersediaan Hidrogen dapat menjadi alternatif untuk energi di sektor transportasi yang merupakan pengguna energi terbesar. Pemanfaatan Hidrogen dengan fuel cell dapat digunakan sebagai sumber energi listrik untuk alat-alat transportasi seperti mobil listrik dan sepeda motor listrik yang saat ini mulai berkembang.

Daftar Pustaka

- Achmad H, 1992, *Elektrokimia dan Kinetika Kimia*, Citra Aditya Bakti, Bandung
- Barbose, G., Darghouth, N. R., Weaver, S., Feldman, D., Margolis, R., & Wisser, R. (2015). Tracking US photovoltaic system prices 1998–2012: a rapidly changing market. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 23(6), 692–704. <https://doi.org/10.1002/PIP.2482>
- Bari, S., & Mohammad Esmail, M. (2010). Effect of H_2/O_2 addition in increasing the thermal efficiency of a diesel engine. *Fuel*, 89(2), 378–383. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2009.08.030>
- Beck, F., & Martinot, E. (2004). Renewable Energy Policies and Barriers. *Encyclopedia of Energy*, 365–383. <https://doi.org/10.1016/B0-12-176480-X/00488-5>
- Berry, T., & Jaccard, M. (2001). The renewable portfolio standard:: design considerations and an implementation survey. *Energy Policy*, 29(4), 263–277. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00126-9](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00126-9)
- COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. (n.d.). Retrieved December 6, 2021, from <https://www.eu2018.at/calendar-events/political-events/BMNT->
- Dhass, A. D., Lakshmi, P., & Natarajan, E. (2016). Investigation of Performance Parameters of Different Photovoltaic Cell Materials using the Lambert-W Function. *Energy Procedia*, 90, 566–573. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2016.11.225>
- Eriksson, S., Bernhoff, H., & Leijon, M. (2008). Evaluation of different turbine concepts for wind power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(5), 1419–1434. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2006.05.017>
- Furkan, D., (2010). Critical factors that affecting efficiency of solar cells. *energy*, M. M. E. grid and renewable Scirp.Org. Retrieved December 6, 2021, from https://www.scirp.org/html/7-6401007_1947.htm
- Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2011, *Kelautan dan Perikanan dalam Angka 2011*, Pusdatin-KKP, Jakarta.

Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional, Jakarta: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019.

Manwell JF, McGowan JG, Rogers AL. (2002). Wind energy explained, 1st ed. Amherst, USA: Wiley;

Muljadi, E., Pierce, K., & Migliore, P. (2000). Soft-stall control for variable-speed stall-regulated wind turbines. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 85(3), 277–291. [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(99\)00130-0](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(99)00130-0)

Myers N. Water in crisis - a guide to the worlds... - Google Scholar. (n.d.). Retrieved December 6, 2021, from <https://scholar.google.com/scholar?q=Myers%20N.%20Water%20in%20crisis%20-%20a%20guide%20to%20the%20worlds%20fresh-water%20resources%20-%20Gleick,%20PH.%20Nature%201993;366:419.%20https:doi.org.proxy.undip.ac.id10.1038366419a0>.

Petrucci R H, Harwood W S, Herring F G, dan Madura J D, 2011, Kimia Dasar Prinsip-Prinsip dan Aplikasi Modern, Edisi Kesembilan, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.

Saha, U. K., Thotla, S., & Maity, D. (2008). Optimum design configuration of Savonius rotor through wind tunnel experiments. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96(8–9), 1359–1375. <https://doi.org/10.1016/J.JWEIA.2008.03.005>

Scarpa, R., & Willis, K. (2010). Willingness-to-pay for renewable energy: Primary and discretionary choice of British households' for micro-generation technologies. *Energy Economics*, 32(1), 129–136. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2009.06.004>

Shaner, M. R., Atwater, H. A., Lewis, N. S., & McFarland, E. W. (2016). A comparative technoeconomic analysis of renewable hydrogen production using solar energy. *Energy and Environmental Science*, 9(7), 2354–2371. <https://doi.org/10.1039/C5EE02573G>

Solar Industry Research Data | SEIA. (n.d.). Retrieved December 4, 2021, from <https://www.seia.org/solar-industry-research-data>

Suyuty A, 2011, Studi Eksperimen Konfigurasi Komponen Sel Elektrolisis Dalam Rangka Peningkatan Performa dan Reduksi Sox-Nox Motor Diesel, ITS

Thekaekara, M. P. (1973). Solar energy outside the Earth's atmosphere. *Solar Energy*, 14(2), 109–127. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(73\)90028-5](https://doi.org/10.1016/0038-092X(73)90028-5)

Tobnaghi, Madatov, D. M., & Naderi, R. (2013). Terms and conditions Privacy policy The effect of temperature on electrical parameters of solar cells Publication Stage: Final Source: Scopus. In *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering* (Vol. 2, Issue 12).

Toja-Silva, F., Colmenar-Santos, A., & Castro-Gil, M. (2013). Urban wind energy exploitation systems: Behaviour under multidirectional flow conditions—Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 364–378. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2013.03.052>

Xiarchos, I.M., Vick, B., 2011. Solar Energy Use in US Agriculture: Overview and Policy Issues. United States Department of Agriculture, Washington, DC.

Yilmaz, A. C., Uludamar, E., & Aydin, K. (2010). Effect of hydroxy (HHO) gas addition on performance and exhaust emissions in compression ignition engines. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(20), 11366–11372. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2010.07.040>