

PERANCANGAN DAN PROSES FABRIKASI HIDROGEN GENERATOR UNTUK *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL* (PEMFC) DENGAN VARIASI KONSENTRASI AIR LAUT

Rafi Akbar Heriyansyah ^{1*}, Dr. Eng Muh. Anis Mustaghfirin, S.T., M.T. ², Mardi Santoso, S.T., M.
Eng. Sc. ³

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri
Surabaya, Indonesia

Email: rafiakbar@student.ppns.ac.id^{1*}; mustaghfirin@ppns.ac.id^{2*}; mardisantoso@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - The use of hydrogen in storage is widely used for stationary fuel cells, one of which is ship propulsion fuel. Hydrogen can be utilized through a Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) which has many advantages, namely more energy yield, higher energy density, no emissions, and no need for recharging compared to using batteries. The Hydrogen Generator testing process will produce 3 variations of quantitative and qualitative data results. The use of a seawater catalyst has the highest efficient value at a percentage of 100% with electrolyzer efficiency reaching 13.36% and the lowest SFC, namely 0.24 kg/kWh. Based on these results, the use of hydrogen Generators for Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC) needs to be developed.

Keywords: Hydrogen Generator, Proton Exchange Membrane, Fuel Cell, Catalyst, and Energy.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan baterai sebagai penyimpan energi masih belum mampu menyimpan listrik dengan jumlah besar dalam massa atau volume yang kecil (kepadatan energi/energy density rendah), dapat menimbulkan emisi berupa Karbon, Kobalt, maupun Litium yang dapat mencemari tanah dan mengganggu kesehatan, serta perlu dilakukan pengisian ulang. Maka dari itu diperlukan pemanfaatan penyimpan energi lain yang lebih unggul salah satunya Hidrogen. Pemanfaatan Hidrogen dalam penyimpanan banyak digunakan untuk sel bahan bakar stationer meliputi listrik, mesin pembakaran internal, dan kendaraan sel bahan bakar. Hidrogen menghasilkan lebih banyak energi dengan kepadatan energi (energy density) jauh lebih tinggi dibandingkan media penyimpanan energi lainnya. Jika suatu sistem mempunyai kepadatan energi (energy density) yang tinggi maka sistem tersebut mampu menyimpan banyak energi dalam jumlah massa yang kecil. Hidrogen sebagai energi konversi tidak menimbulkan emisi karena diproses melalui elektrolisis dengan hasil samping berupa air. Hidrogen juga tidak diperlukan isi ulang dan tidak akan habis asalkan selalu memiliki pasokan. Hidrogen merupakan gas paling melimpah sekitar 75% total massa matahari [12]. Dalam keadaan normal di Bumi, Hidrogen berada dalam bentuk gas diatomik terdiri atas 2 atom dengan lambang H₂. Sebagian besar Hidrogen di bumi berada dalam bentuk senyawa dengan unsur lain seperti hidrokarbon dan air. Oleh karena itu, gas Hidrogen perlu dipisahkan dari senyawanya sebelum dimanfaatkan. Salah satu metode untuk memproduksi gas Hidrogen dengan

menggunakan *Green Hydrogen* yaitu dengan cara elektrolisis air.

Elektrolisis air merupakan peristiwa penguraian senyawa air (H₂O) menjadi gas Hidrogen (H₂) dan Oksigen (O₂) menggunakan arus listrik [9]. Produksi gas Hidrogen dari proses elektrolisis terjadi di Hidrogen Generator dan salah satunya bergantung pada penggunaan jenis dan konsentrasi katalis. Katalisator berfungsi sebagai zat yang dapat meningkatkan laju reaksi kimia namun tidak ikut bereaksi. Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan terkait penggunaan variasi konsentrasi katalis KOH dan arus input menghasilkan jumlah produksi gas Hidrogen paling tinggi pada konsentrasi 2M dengan arus 20A sebesar 189,3 ml dan efisiensi tertinggi sebesar 93,5% [3]. Penelitian lain menggunakan katalis NaOH dan NaCl dimana penelitian menunjukkan bahwa produksi gas H₂ dengan konsentrasi tertinggi diperoleh pada katalis aqua DM + NaCl + NaOH dengan tegangan 12 volt 4500ppm [9].

Pemanfaatan Hidrogen yang dihasilkan dari proses elektrolisis kemudian dialirkan menuju *fuel cell* untuk dikonversi menjadi energi listrik. *Fuel cell* merupakan alat pengkonversi energi yang diperoleh dari proses elektrokimia diubah menjadi energi listrik. *Fuel cell* salah satu teknologi yang baik diaplikasikan karena berasal dari sumber bahan bakar ramah lingkungan yaitu *Green Hydrogen*, tidak menghasilkan emisi karena hasil samping berupa air, dan kerapatan energi (energy density) yang lebih tinggi dibanding energi konversi lain seperti baterai atau accu [3]. Penggunaan *fuel cell* pada era ini harus dilakukan mengingat dunia menghadapi dua

krisis yaitu bahan bakar fosil yang semakin nipis dan kenaikan iklim secara global [2].

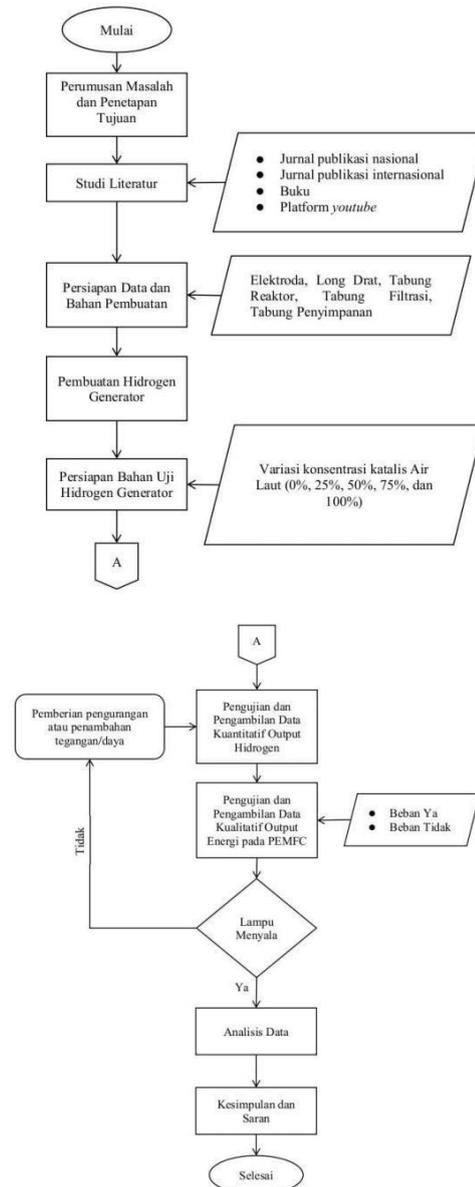
Salah satu jenis *fuel cell* yaitu *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) dapat menjadi pilihan karena suhu operasi yang rendah pada rentang 40°C sampai 100°C, tidak menghasilkan emisi yang mempengaruhi jumlah polutan, dan memiliki umur *stack* yang panjang [3]. *Proton exchange membrane fuel cell* (PEMFC) menghasilkan air dan energi panas sebagai produk sampingan sedangkan hasil elektron (e⁻) digunakan sebagai energi listrik yang dihasilkan [7]. *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) hanya memerlukan Hidrogen dan Oksigen dari udara dan air sehingga bersifat tidak korosif. Selain itu dapat beroperasi pada temperatur rendah, beroperasi dengan cepat, waktu pemanasannya rendah sehingga memiliki daya tahan tinggi [6].

Aplikasi Hidrogen *fuel cell* telah di desain hingga diuji cobakan pada beberapa penelitian yaitu Agustin (2017) memanfaatkan *fuel cell* sebagai desain kapal motor penyebrangan dimana *fuel cell* digunakan sebagai salah satu penggerak kapal hibrida. Wibowo (2021) juga menuliskan bahwa *fuel cell* dapat digunakan sebagai penerangan pada kapal nelayan untuk mengurangi kerja generator kemudian didapatkan hasil daya sel bahan bakar pemakaian elektrolit 250gram menghasilkan 122,24Kwh. Aplikasi teknologi *fuel cell* yang sangat terkini adalah uji coba *fuel cell* pada kapal Yanmar di Oita, Jepang pada 25 Maret 2021 [5].

Berdasarkan penjabaran di atas, maka perlu dilakukan penelitian untuk melakukan perancangan dan fabrikasi Hidrogen Generator untuk *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) serta melakukan pengujian variasi konsentrasi katalis air laut. Pada penelitian ini menggunakan jenis katalis air laut dengan konsentrasi katalis 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% untuk melihat hasil kuantitas produksi Hidrogen dan kualitas energi listrik yang dihasilkan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fluida Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya dengan metode penelitian eksperimental dan dilakukan dalam skala laboratorium. Proses fabrikasi hingga analisis dilakukan selama bulan Januari hingga Mei 2024 Adapun langkah penelitian dijelaskan pada diagram alir pada gambar 2.1 berikut:



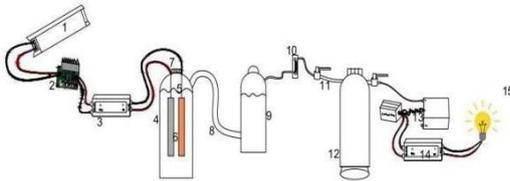
Gambar 2.1 Diagram Alur Penelitian

Pelaksanaan penelitian dimulai dengan mempersiapkan data kontrol meliputi waktu elektrolisis selama 6 menit, elektrolit berupa air destilata 1 liter, elektroda pada Hidrogen Generator menggunakan bahan *stainless steel* pada anoda dan Tembaga (Cu) pada katoda dengan bentuk lempengan persegi panjang (15cm×4cm×2mm), jumlah susunan anoda dan katoda masing-masing 6 plat, daya masuk Hidrogen Generator 60 Watt, pembebanan lampu ditetapkan. Bahan pembuatan Hidrogen Generator untuk *Proton Exchane Membrane Fuel Cell* (PEMFC) juga disiapkan meliputi elektroda, *long drat*, tabung reaktor, tabung penyimpanan, tabung filtrasi, dan bahan pendukung lainnya. Tahap uji eksperimen dilakukan dengan melakukan uji pada tiap-tiap variasi pada Hidrogen Generator. Pada penelitian

ini variasi dilakukan pada penggunaan jenis katalis yaitu KOH, NaCl, dan NaOH serta variasi konsentrasi katalis yaitu 0,01M; 0,02M; 0,03M; 0,04M; dan 0,05M. Adapun kombinasi variasi menjadi 15 tipe. Variasi-variasi kemudian dieksperimen dan didapatkan hasil data kuantitas laju produksi gas Hidrogen yang dihasilkan pada Hidrogen Generator kemudian dialirkan menuju *fuel cell* untuk diubah menjadi energi listrik dan diidentifikasi *power density* yang dihasilkan. Adapun perhitungan yang dilakukan meliputi laju produksi gas Hidrogen, *power density*, SFC, dan *efisiensi elektroliser* serta *efisiensi fuel cell* pada Hidrogen Generator untuk *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perancangan dan Proses Fabrikasi Hidrogen Generator untuk *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC)



Gambar 3.1 Skema Prototype Hidrogen Generator untuk *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC)

Sistem Hidrogen Generator dirancang dengan menggabungkan beberapa komponen alat seperti tabung reaktor, tabung penyaring, hingga tabung penyimpanan sementara. *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) yang digunakan berupa alat yang telah terangkai dengan spesifikasi merk H2Gatech dengan output maksimum 10 Watt. Selanjutnya sistem Hidrogen Generator disambungkan dengan alat *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) sedemikian rupa agar dapat menjadi Sistem kesatuan untuk mengubah Air menjadi energi listrik melalui pembebanan lampu. Hidrogen Generator menggunakan prinsip kerja elektrolisis air dan digunakan untuk memproduksi gas Hidrogen. Pada Hidrogen Generator dilengkapi dengan plat katoda dan anoda yang dialiri arus listrik dalam elektrolisis menghasilkan gelembung-gelembung gas berupa gas Hidrogen dan Oksigen. Pada pelat positif (anoda) terbentuk gelembung gas Oksigen dan pada pelat negatif (katoda) terbentuk gelembung gas Hidrogen [10]. Pada penelitian ini Hidrogen Generator menggunakan *stainless steel* pada anoda dan Tembaga (Cu) pada katoda. Pemilihan *stainless steel* pada anoda karena jenis *stainless steel* paling baik pada anoda adalah *stainless steel* 304 [8]. Sedangkan pemilihan bahan Tembaga (Cu) pada katoda karena termasuk dalam oksidator

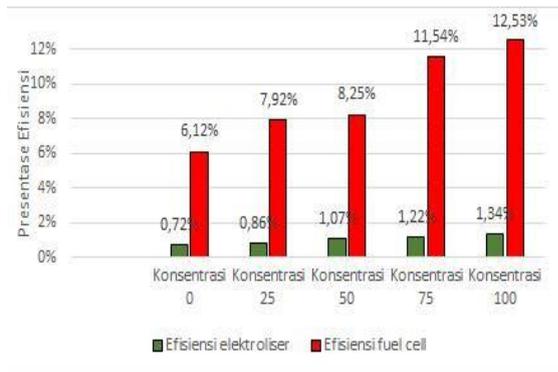
yang kuat dan diharapkan dapat lebih efektif menghasilkan produksi gas Hidrogen yang terbentuk pada reaksi kimia di bagian katoda. Selanjutnya oksigen dan hidrogen memasuki tabung penyaringan/bubler dimana oksigen akan terikat oleh Air pada tabung tersebut karena berkaitan dengan kelarutan gas dalam air dimana gas Oksigen lebih larut dalam air dengan kelarutan 0,0034 sedangkan Hidrogen hanya 0,00016. Adapun gas hidrogen kemudian melalui Rotameter dan disimpan sementara dalam tabung penyimpanan sementara. Setelah memiliki cadangan hidrogen pada tabung penyimpanan selanjutnya dialirkan menuju *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) agar bisa diubah menjadi energi listrik untuk menghidupkan lampu sebagai pembebanan. Adapun spesifikasi elektroda ditetapkan sama pada bagian anoda maupun katoda yakni berbentuk persegi panjang (15cm×4cm×2mm), jumlah plat pada anoda 6 dan pada katoda 6 sehingga jumlah elektroda 12 plat. Penggunaan listrik input menggunakan *Power Supply Unit*. Pembacaan tegangan, arus, dan daya masuk keluar menggunakan *wattmeter* dalam waktu 6 menit. Rangkaian hasil fabrikasi alat Hidrogen Generator untuk *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) dapat di lihat sebagai berikut.



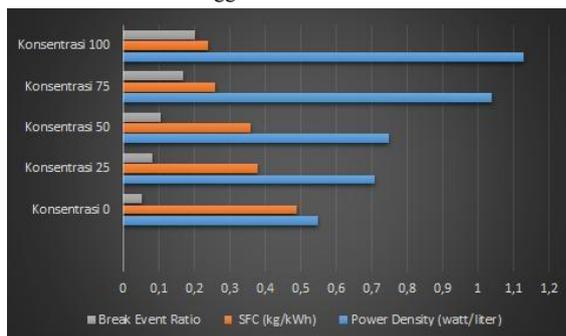
Gambar 3.2 Skema Prototype Hidrogen Generator untuk *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC)

3.2 Hasil Efisiensi Elektroliser, *Power Density*, Efisiensi Fuel Cell, dan *Spesific Fuel Consumption* (SFC) pada Penggunaan Katalis Air Laut

Penggunaan Air Laut secara langsung diambil dari Pantai Kenjeran, Surabaya dengan 3 variasi terdiri atas 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Pemanfaatan air laut pada penelitian ini diharapkan dapat menjadi gambaran dalam pemanfaatan Hidrogen Generator untuk proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) dalam bidang perairan dan perkapalan. Adapun data yang dihasilkan sebagai berikut.



Gambar 3.3 Grafik Efisiensi Elektroliser dan Efisiensi fuel cell Penggunaan Katalis Air Laut



Gambar 3.4 Grafik BER, Specific Fuel Consumption, dan Power Density Penggunaan Katalis Air Laut

Berdasarkan data katalis air laut dengan persentase 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% didapatkan bahwa semakin tinggi persentase katalis air laut maka semakin tinggi pula debit Hidrogen yang dihasilkan serta efisiensi elektroliser. Perolehan debit Hidrogen dan efisiensi elektroliser tertinggi terdapat pada persentase 100% dengan nilai berturut-turut 3,760 m³/s dan 1,34% sedangkan debit Hidrogen dan efisiensi elektroliser terendah terdapat pada konsentrasi 0% dengan debit 2,018 m³/s dan efisiensi elektroliser hanya 0,72%. Hal ini berkaitan dengan kemampuan katalisator dalam mengubah substrat menjadi produk dimana semakin banyak air laut sebagai katalis maka semakin cepat proses pengubahan Air (H₂O) menjadi Hidrogen dan Oksigen [3].

Dapat diketahui bahwa kelima katalis air laut memiliki kemampuan sebagai katalisator dilihat dari kemampuan untuk membantu penguraian air menjadi Hidrogen dan Oksigen. Hal ini dikarenakan air laut tersebut memiliki ion-ion katalisator yang mampu mempengaruhi kesetabilan molekul air menjadi menjadi ion H⁺ dan OH⁻ yang lebih mudah di elektrolisis karena terjadi penurunan energi aktivasi [9]. Selain itu, adapun pH air laut di Kenjeran, Surabaya yakni 7,6 dan salinitas 22,9% [4]. Selain jenis katalis, konsentrasi katalis juga mempengaruhi hasil debit Hidrogen dan efisiensi elektroliser dimana semakin tinggi konsentrasi katalis maka semakin tinggi pula hasil debit Hidrogen dan efisiensi elektroliser. Hal ini berkaitan dengan kepekatan

dan salinitas dimana semakin tinggi kepekatan katalis maka semakin baik dalam menghasilkan debit Hidrogen. Hal ini selaras dengan penelitian Dewantoro (2019) dan Wahyono (2017) bahwa semakin tinggi konsentrasi maka semakin cepat proses elektrolisis. Efisiensi elektroliser tertinggi terdapat pada katalis air laut persentase 100% dengan nilai efisiensi 1,34%. Hal ini dikarenakan penggunaan energi listrik input yang sama sebesar 30 Watt pada persentase air laut tetapi dapat menghasilkan daya Hidrogen yang lebih tinggi yakni mencapai 3,760 m³/s pada air laut persentase 100%.

Dapat diketahui bahwa semakin tinggi persentase katalis air laut maka semakin tinggi nilai Power density dan efisiensi fuel cell namun semakin rendah SFC (*Specific Fuel Consumption*). Hal ini menandakan bahwa semakin sedikit penggunaan bahan bakar Hidrogen saat dikonversi oleh fuel cell menghasilkan energi listrik yang besar maka fuel cell akan semakin efisien dan baik digunakan untuk menghasilkan energi yang lebih besar daripada penggunaan bahan bakar. Pada katalis air laut, *Power density* dan efisiensi *fuel cell* tertinggi terdapat pada persentase 100% dengan nilai berturut-turut 1,13 Watt/liter dan 12,53%, dengan asumsi hidrogen dalam tekanan 400 bar. Selain itu didapatkan SFC (*Specific Fuel Consumption*) terendah bernilai 0,24 kg/kWh. Sedangkan pada katalis air laut dengan *Power density* dan efisiensi *fuel cell* terendah terdapat pada persentase 0% dengan nilai berturut-turut 0,55 Watt/liter dan 6,12% namun memiliki SFC (*Specific Fuel Consumption*) tertinggi bernilai 0,49 kg/kWh. Hal ini berkaitan dengan power density, efisiensi *fuel cell*, dan SFC (*Specific Fuel Consumption*). *Power density* atau rapat daya merupakan jumlah daya (energi yang dihabiskan persatuan waktu) per satuan volume, Efisiensi *fuel cell* merupakan perbandingan daya yang paling baik antara daya listrik (daya output beban) dengan daya input (gas Hidrogen), serta SFC (*Specific Fuel Consumption*) merupakan ukuran efisiensi suatu mesin yang menggambarkan rasio antara jumlah pemakaian bahan bakar dan energi listrik yang dihasilkan. Hubungan antara daya output listrik berbanding lurus dengan power density dan efisiensi fuel cell sedangkan berbanding terbalik dengan SFC (*Specific Fuel Consumption*). Semakin tinggi power density dan efisiensi fuel cell maka semakin efisien penggunaan alat fuel cell sebagai pengkonversi energi. Semakin rendah SFC (*Specific Fuel Consumption*) maka semakin baik dalam segi rasio pemakaian antara energi input dan output agar tidak terjadi kerugian. Pada umumnya, energi yang dihasilkan harus lebih besar dari penggunaan bahan bakar input. Selain itu, pada keluaran energi listrik dari *fuel cell* juga

dikaitkan dengan pembebanan berupa 4 lampu masing-masing 2,5 Volt dirangkai secara paralel. Pada semua percobaan katalis air laut dengan 5 persentase dapat menyalakan lampu dengan intensitas cahaya terang. Pemanfaatan air laut sebagai katalis dengan persentase 50-100% memberikan hasil sangat bagus melebihi penggunaan katalis murni NaCl, KOH, dan NaOH sehingga dalam pemanfaatan selanjutnya dapat dikembangkan supaya pemanfaatan Hidrogen Generator untuk *proton exchange membrane fuel cell* (PEMFC) dapat bermanfaat bagi kelautan dan perkapalan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses fabrikasi Hidrogen Generator untuk *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) dilakukan selama Januari-Mei 2024 di Laboratorium Fluida Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya menghasilkan alat Hidrogen Generator untuk *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC).
2. Penggunaan Katalis Air Laut memiliki nilai efisien tertinggi pada persentase 100% dengan efisiensi elektroliser mencapai 1,34% dan Specific Fuel Consumption (SFC) terendah yakni 0,24 kg/kWh.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian penelitian ini tidak terlepas atas bimbingan, doa, dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua orangtua serta adik penulis yang memberikan semangat, dukungan, serta do'a selama menempuh pendidikan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
2. Bapak Dr. Eng Muh. Anis Mustaghfirin, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan arahan dan saran selama penulisan Tugas Akhir.
3. Bapak Mardi Santoso, S.T., M. Eng. Sc. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan dan saran selama penulisan Tugas Akhir.
4. Seluruh Dosen dan Karyawan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah memberikan banyak ilmu selama masa perkuliahan.
5. Dewi Komalasari yang senantiasa membantu secara mental, moral, dan selalu memberikan semangat.
6. Teman – teman seperjuangan Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal angkatan 2020 atas kerjasama dan kekompakan selama menempuh studi di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agustin, Dwi. 2017. “Desain Kapal Motor Penyebrangan dengan Sistem Penggerak Hibrida untuk Rute Ujung Surabaya-Kamal Bangkalan”. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [2] Basori. 2018. “Experimental Investigation on Dry Cell HHO Generator With Catalyst Variation for Reducing The Emmisions”. *Journal of Mechanical Enggineering and Vocational Education* (JoMEVE). 1(1): 1-8.
- [3] Dewantoro, Yusuf., Roihatin, Anis. 2019. “Teknologi Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan menggunakan Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cell Skala Kecil”. *Jurnal Teknik Energi*. 15(1):27-34.
- [4] Hariyati, Lutfia., Syah, A.F., & Triajie, H. 2010. “Studi Komunitas Fitoplankton di Pesisir Kenjeran Surabaya sebagai Bioindikator Kualitas Perairan”. *Jurnal Kelautan*. Vol 3(2): 11-131.
- [5] Millikin, M. 2021. *Yanmar Conducts Field Demonstration Test for Maritime Hydrogen Fuel Cell System* (<https://www.greencarcongress.com/2021/03/20210325-yanmar.html>, diakses 16 Januari 2024).
- [6] Rahmawan, Anton et al. 2018. “Desain Sistem Kontrol dan Operasi untuk Proton Exchange Membran Fuel Cell”. *Jurnal Energi dan Lingkungan*. 14(2):75-80.
- [7] Santoso, Tegar Hery. 2020. “Analisis Pemodelan Hydrogen Fuel Cell dengan Boost Converter menggunakan Matlab”. *Skripsi*. Universitas Islam Indonesia.
- [8] Suardamana, I Made et al. 2014. “Rancangan Alkaline Fuel Cell Sederhana dengan Menggunakan Stainless Steel sebagai Elektrodanya”. *Jurnal Energi dan Manufaktur*. 7(1):73-80.
- [9] Wahyono, Yoyon., Sutanto, H., & Hidayanto, E. 2017. “Produksi Gas Hidrogen menggunakan Metode Elektrolisis Elektrolit Air Laut dengan Penambahan Katalis NaOH. *Youngster Physics Journal*. 6(4):353-359.
- [10] Wahyutomo, Alam. 2018. “Analisa Penggunaan Gas HHO dari Elektrolisis NaOH Terhadap Proses Pembakaran, Performa, dan Emisi Gas Buang Pada Mesin

- Diesel”. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [11] Wibowo, Bayu Setyo. 2021. “Prototype Fuel Cell Katoda Udara untuk Penerangan Kapal Nelayan”. *Skripsi*. Universitas Semarang.
- [12] Wijaya, Danu Dharma *et al.* 2022. “Analisis Perbandingan Material Plat Stainless Steel 304 dengan Graphite Sheet dalam Produksi Gas Hidrogen pada Generator Dry Cell”. *Seminar Nasional Teknoka*. Vol 7: 38-42.