

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN HIDROGEN GENERATOR UNTUK BAHAN BAKAR *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL* (PEMFC) DENGAN VARIASI KATALIS NaOH, NaCl, DAN CaOH₂ SERTA BENTUK ELEKTRODA

Haidhar Wahyu Syahputra ^{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: haidharwahyu@student.ppns.ac.id^{1*}; mustaghfirin@ppns.ac.id²; mardisantoso@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - A battery is an energy source consisting of one or more electrochemical cells with external connections to power electrical devices. The use of batteries has several disadvantages such as having a lifespan, chemical waste and having to be refilled. Therefore, the use of hydrogen is a fuel cell system. offers many advantages. This includes higher energy yield, greater energy density, zero emissions and no need to recharge. The first step in operating the tool is to prepare the catalyzed water, then prepare the electrodes which are connected by electricity. The hydrogen produced will be filtered and entered into the PEMFC device to be converted into electrical energy. This research aims to design and study a Hydrogen Generator Fuel Cell system with a focus on the quality of hydrogen production with variations in catalyst and electrode shape. The results include metrics such as electrolyzer and fuel cell efficiency, power density, break-even ratio, and specific fuel consumption (SFC). The highest electrolyzer efficiency was achieved using a NaCl catalyst with a hollow rectangular electrode, showing a value of 1,61%.

Keywords: *Spesific Fuel Consumtion, Break Event Ratio, Power Density, Efisiensi Fuel Cell, Energy.*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan konsumsi energi masyarakat saat ini terus meningkat, dengan proyeksi pemerintah mencapai peningkatan sebesar 23% pada tahun 2050. Namun, realitasnya, sumber energi global masih didominasi oleh sumber daya alam tak terbarukan, seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam, dengan porsi penggunaan masing-masing mencapai 35,03%, 24,59%, dan 20,44% (Pratama, 2018). 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. Untuk menghadapi tantangan ini, pendekatan yang diambil adalah beralih ke sumber energi terbarukan seperti matahari, angin, air, panas bumi, dan pasang surut air laut (Vigueras et al., 2023). Salah satu alternatif lainnya adalah pemanfaatan Hidrogen, yang merupakan gas yang melimpah dan mencapai sekitar 75% dari total massa matahari (Wijaya, 2022). Pada umumnya, untuk kapal listrik elektrolisa diperoleh dari arus untuk pengisian baterai dari alternator. Tegangan dan arus yang mengalir pada elektroda tersebut akan meningkat seiring meningkatnya rpm mesin, sesuai dengan asumsi bahwa kebutuhan gas Hidrogen untuk pembakaran meningkat seiring dengan

meningkatnya rpm mesin. Dengan mengadopsi teknologi energi terbarukan dan memanfaatkan potensi Hidrogen, diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam tak terbarukan.

Elektrolisis adalah suatu proses di mana senyawa air (H₂O) diuraikan menjadi gas Hidrogen (H₂) dan Oksigen (O₂) dengan menggunakan arus listrik yang dialirkan melalui air (Wahyono, 2017). Tingkat produksi gas Hidrogen dalam proses elektrolisis dapat dipengaruhi oleh jenis katalis dan bentuk elektroda yang digunakan. Katalisator berperan sebagai zat yang dapat meningkatkan laju reaksi kimia tanpa ikut bereaksi. di mana ditemukan bahwa produksi gas Hidrogen paling tinggi terjadi pada konsentrasi 2M dengan arus 20A, mencapai 189,3 ml, dan efisiensi tertinggi sebesar 93,5% (Dewantoro, 2019). Beberapa penelitian juga menggunakan katalis NaOH dan NaCl (Wahyono, 2017). Selain katalisator, produksi gas Hidrogen juga terkait dengan material elektroda. Elektroda bermuatan positif disebut anoda, sementara elektroda bermuatan negatif disebut katoda. Sebelumnya, penelitian telah membandingkan penggunaan Stainless Steel 304 dan 430, menunjukkan bahwa plat Stainless Steel 304 memiliki performa yang lebih baik (Suardamana, 2014). Selain itu, penelitian lain mengenai bentuk elektroda dalam proses elektrolisis menunjukkan bahwa volume gas Hidrogen yang dihasilkan paling besar terdapat pada elektroda berbentuk

lempengan (Irfana, 2013). Penggunaan Stainless Steel dengan variasi konsentrasi katalisnya juga dilakukan oleh Irfana (2013).

Hidrogen yang dihasilkan dari proses elektrolisis dapat dimanfaatkan dengan mengalirkannya ke fuel cell untuk diubah menjadi energi listrik. Pada perancangan sebelumnya menggunakan simulasi matlab menghasilkan semakin besar tekanan, suhu, dan kuat arus Hidrogen maka tegangan semakin rendah (Setiabudi, 2018). Proses konversi energi di fuel cell bersifat bersih, tanpa kebisingan, dan memiliki efisiensi yang tinggi (Departement of Energy, 2015). Efisiensi tinggi pada fuel cell memiliki dampak positif terhadap penggunaan gas, membuatnya lebih hemat. Pada penelitian sebelumnya juga di dapat pada fuel cell efisiensi tertinggi dan unjuk kerja paling bagus pada pemberian input gas H₂ 0,81 ml/s dan O₂ 0,45 ml/s dengan nilai efisiensi 4,25% dan nilai SFC 0,7 kg/kWh (Dewantoro, 2019). Fuel cell dianggap sebagai teknologi yang menjanjikan karena efisiensi operasionalnya yang tinggi, berkisar antara 40% hingga 60%, keandalan, dan potensi yang lebih tinggi (Santoso, 2020).

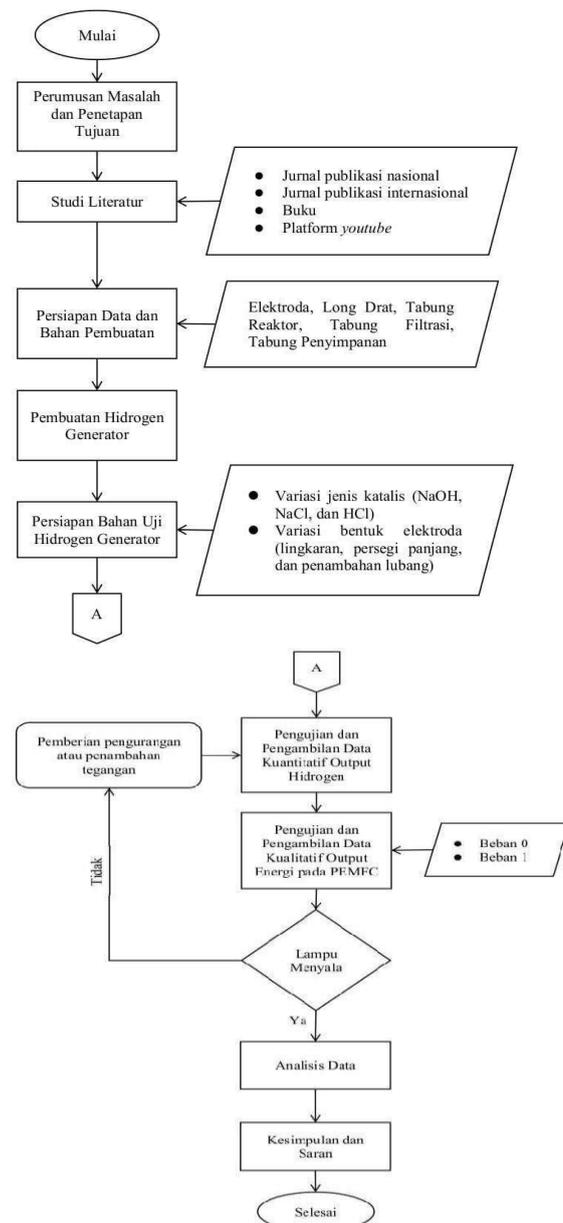
Fuel cell memiliki beberapa jenis, di antaranya adalah alkaline fuel cell (AFC), phosphoric acid fuel cell (PAFC), molten carbonate fuel cell (MCFC), solid oxide fuel cell (SOFC), polymer electrolyte fuel cell (PEFC), dan Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) (O'Hayre, 2009). Dari berbagai jenis tersebut, Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) menjadi pilihan yang menarik karena memiliki efisiensi tinggi, suhu operasi rendah (40°C sampai 100°C), nol emisi, kepadatan daya tinggi, dan umur stack yang panjang (Dewantoro, 2019). PEMFC terdiri dari perangkat elektrokimia yang menghasilkan energi listrik melalui konversi energi kimia dari Hidrogen dan Oksigen. Struktur PEMFC melibatkan satu membran, dua elektroda dengan lapisan katalis, dan dua papan sebagai tempat molekul. Membran tersebut hanya memungkinkan ion hidrogen (H⁺) melewatinya, memisahkan gas Hidrogen dan Oksigen. Gas Hidrogen mengalami oksidasi menjadi ion H⁺ dan elektron (e⁻), di mana ion H⁺ kemudian bergabung dengan Oksigen untuk menghasilkan air dan energi panas sebagai produk sampingan. Elektron (e⁻) yang dihasilkan digunakan sebagai energi listrik (Santoso, 2020).

Berdasarkan uraian di atas, perlu dilakukan penelitian yang mencakup perancangan, pembuatan, dan pengujian variasi penggunaan katalis serta bentuk elektroda pada Hidrogen Gas Generator untuk bahan bakar Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). Penelitian ini akan memanfaatkan katalis seperti NaOH, NaCl, dan CaOH₂ sementara material elektroda yang digunakan adalah Stainless Steel

304 untuk anoda dan Tembaga untuk katoda dengan bentuk persegi panjang dan lingkaran. Masing-masing variasi diberi lubang dengan maksud semakin luas area elektroda yang dialiri arus listrik yang menyentuh elektrolit maka akan semakin mudah suatu elektrolit untuk mentransfer elektronnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi perbandingan hasil produksi Hidrogen, efisiensi elektroliser guna mencari kondisi yang paling optimal.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun penelitian ini dilakukan dengan alur sebagai berikut:



Gambar 2.1 Diagram Alur Penelitian

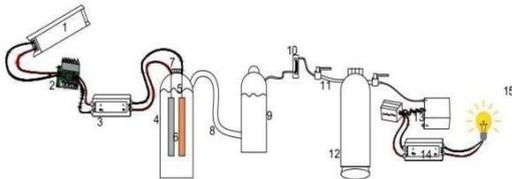
Penelitian dilakukan di Laboratorium Fluida Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

dengan metode penelitian adalah penelitian eksperimental dan dilakukan skala laboratorium. Pelaksanaan dimulai dari mempersiapkan data kontrol meliputi waktu elektrolisis selama 6 menit, elektrolit berupa air 2 liter, elektroda pada Hidrogen Generator menggunakan bahan Stainless Steel pada anoda dan Tembaga (Cu) pada katoda, jumlah plat anoda 6 dan katoda 6, tegangan masuk Hidrogen generator 5V, pembebanan lampu ditetapkan. Bahan pembuatan Hidrogen Generator untuk Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) juga disiapkan meliputi elektroda, long drat, tabung reaktor, tabung penyimpanan, tabung filtrasi, dan bahan pendukung lainnya.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan variasi penggunaan jenis katalis yaitu NaOH, NaCl, dan CaOH₂ serta variasi bentuk elektroda yaitu persegi panjang, lingkaran, dan penambahan lubang. Variasi-variasi kemudian dieksperimen dan didapatkan hasil data kuantitatif laju gas Hidrogen yang dihasilkan pada Hidrogen Generator meliputi volume hingga debit Hidrogen. Selain itu, dituliskan juga data daya Hidrogen yang dihasilkan serta tegangan dan arus input dari Power Supply. Perhitungan efisiensi elektroliser juga dilakukan untuk mengetahui efisien dari Hidrogen Generator.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

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

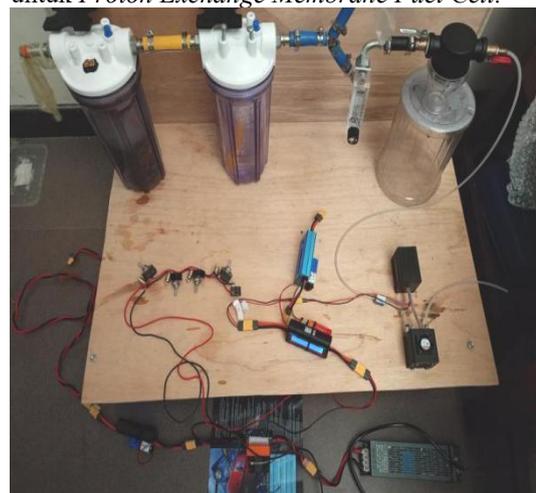


Gambar 3.1 Skema Prototype Hidrogen Generator untuk Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)

Desain alat Hidrogen Generator untuk Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) ini menerapkan prinsip sel elektrokimia untuk mengubah energi dari air menjadi hidrogen sebagai bahan bakar. Alat ini terdiri dari beberapa komponen, termasuk tabung reaktor, tabung penyaring, dan tabung penyimpanan sementara. Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) yang digunakan memiliki spesifikasi merk H2Gatech dengan output maksimum 10 Watt. Hidrogen Generator dan PEMFC disusun sedemikian rupa sehingga membentuk satu sistem yang dapat mengubah air menjadi energi listrik untuk menyalakan lampu. Proses hidrogenasi menggunakan prinsip elektrolisis air, di mana senyawa air (H₂O) diurai menjadi gas hidrogen

(H₂) dan oksigen (O₂) menggunakan arus listrik. Pada plat katoda dan anoda, arus listrik menghasilkan gelembung gas hidrogen dan oksigen. Selanjutnya, gas-gas ini melewati tabung penyaringan/bubler di mana gas oksigen larut dalam air karena kelarutan gas yang lebih tinggi daripada hidrogen. Gas hidrogen kemudian dialirkan melalui Rotameter dan disimpan sementara sebelum dialirkan ke PEMFC untuk diubah menjadi energi listrik. Dengan demikian, sistem ini memanfaatkan prinsip elektrolisis air dan proses konversi hidrogen menjadi energi listrik melalui PEMFC untuk memberikan daya pada lampu sebagai beban.

Dalam penelitian ini, anoda pada Hidrogen Generator menggunakan stainless steel, sementara katoda menggunakan tembaga (Cu). Pemilihan stainless steel untuk anoda didasarkan pada hasil penelitian Suardamana (2014) yang menunjukkan bahwa stainless steel 304 merupakan pilihan terbaik untuk anoda. Tembaga dipilih untuk katoda karena sifatnya sebagai oksidator yang kuat, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi produksi gas hidrogen pada reaksi kimia di katoda. Spesifikasi elektroda pada anoda dan katoda sama, yaitu berbentuk persegi panjang dan jajargenjang (15cm × 4cm × 2mm), dengan penambahan lubang dan tidak. Jumlah plat sebanyak 6 pada masing-masing anoda dan katoda, sehingga total terdapat 12 plat elektroda. Pemasok listrik input menggunakan Power Supply Unit, sedangkan pembacaan tegangan, arus, dan daya masukan dan keluaran dilakukan menggunakan wattmeter selama periode pengujian selama 6 menit. Berikut merupakan hasil fabrikasi Hidrogen Generator untuk Proton Exchange Membrane Fuel Cell.

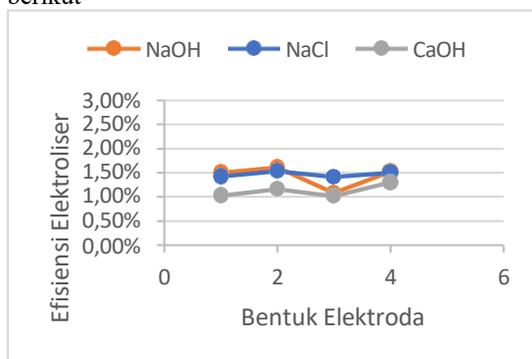


Gambar 3.2 Skema Prototype Hidrogen Generator untuk Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)

3.2 Hasil Efisiensi Elektroliser Ditinjau dari Kuantitas Produksi gas Hidrogen

terhadap Variasi Jenis dan Bentuk Elektroda

Pengujian efisiensi elektroliser dan kuantitas produksi gas hidrogen dilakukan pada variasi jenis katalis dan bentuk elektroda sehingga pada penelitian ini memiliki total 12 variasi terdiri atas Jenis Katalis NaOH pada masing-masing bentuk elektroda persegi panjang dan jajar genjang tanpa lubang dan ditambahkan lubang serta Jenis Katalis NaCl pada masing-masing bentuk elektroda persegi panjang dan jajar genjang tanpa lubang dan ditambahkan lubang ; serta Jenis Katalis CaOH₂ pada masing-masing bentuk elektroda persegi panjang dan jajar genjang tanpa lubang dan ditambahkan lubang. Adapun hasil tiap variasi dijabarkan sebagai berikut



Keterangan :

- 1 = Bentuk Elektroda Persegi Panjang Tanpa Lubang
- 2 = Bentuk Elektroda Persegi Panjang Dengan Lubang
- 3 = Bentuk Elektroda Jajar Genjang Tanpa Lubang
- 4 = Bentuk Elektroda Jajar Genjang Dengan Lubang

Gambar 3.3 Grafik Hubungan Jenis Katalis dan Bentuk Elektroda

Berdasarkan data perhitungan katalis NaCl dengan konsentrasi 0,05M dengan bentuk elektroda persegi panjang dan jajar genjang tanpa lubang dan ditambahkan dengan lubang didapatkan bahwa semakin banyak luas permukaan elektroda maka semakin tinggi pula debit Hidrogen yang dihasilkan serta efisiensi elektroliser. Karena semakin banyak luas permukaan semakin mudah untuk menghasilkan gelembung-gelembung hidrogen. Perolehan debit Hidrogen dan efisiensi elektroliser tertinggi terdapat pada NaCl 0,05M bentuk elektroda persegi panjang dengan penambahan lubang dengan nilai berturut 410 ml/menit dan 1,53% sedangkan debit Hidrogen dan efisiensi elektroliser terendah terdapat pada NaCl 0,05M dengan bentuk elektroda jajar genjang tanpa lubang dengan debit 370 ml/menit dan efisiensi elektroliser hanya 1,41% . Selanjutnya, Oksigen dan Hidrogen yang terbentuk akan menuju tabung bubbler. Oksigen akan terikat Air yang ada di tabung Bubbler namun Hidrogen akan terus menuju tabung penyimpanan sementara. Hal ini dikarenakan kelarutan gas Oksigen lebih larut

dalam air dengan kelarutan 0,0034 sedangkan Hidrogen hanya 0,00016.

Berdasarkan data perhitungan katalis NaOH dengan konsentrasi 0,05M dengan bentuk elektroda persegi panjang dan jajar genjang tanpa lubang dan ditambahkan dengan lubang didapatkan bahwa semakin banyak luas permukaan elektroda maka semakin tinggi pula debit Hidrogen yang dihasilkan serta efisiensi elektroliser. Karena semakin banyak luas permukaan semakin mudah untuk menghasilkan gelembung-gelembung hidrogen. Perolehan debit Hidrogen dan efisiensi elektroliser tertinggi terdapat pada NaOH 0,05M bentuk elektroda persegi panjang dengan penambahan lubang dengan nilai berturut 430 ml/menit dan 1,61% sedangkan debit Hidrogen dan efisiensi elektroliser terendah terdapat pada NaOH 0,05M dengan bentuk elektroda jajar genjang tanpa lubang dengan debit 290 ml/menit dan efisiensi elektroliser hanya 1,08% . Selanjutnya, Oksigen dan Hidrogen yang terbentuk akan menuju tabung bubbler. Oksigen akan terikat Air yang ada di tabung Bubbler namun Hidrogen akan terus menuju tabung penyimpanan sementara. Hal ini dikarenakan kelarutan gas Oksigen lebih larut dalam air dengan kelarutan 0,0034 sedangkan Hidrogen hanya 0,00016.

Berdasarkan data perhitungan katalis CaOH₂ dengan konsentrasi 0,05M dengan bentuk elektroda persegi panjang dan jajar genjang tanpa lubang dan ditambahkan dengan lubang didapatkan bahwa semakin banyak luas permukaan elektroda maka semakin tinggi pula debit Hidrogen yang dihasilkan serta efisiensi elektroliser karena semakin banyak luas permukaan semakin mudah untuk menghasilkan gelembung-gelembung hidrogen. Perolehan debit Hidrogen dan efisiensi elektroliser tertinggi terdapat pada CaOH₂ 0,05M bentuk elektroda jajar genjang dengan penambahan lubang dengan nilai berturut 350 ml/menit dan 1,3% sedangkan debit Hidrogen dan efisiensi elektroliser terendah terdapat pada CaOH₂ 0,05M dengan bentuk elektroda jajar genjang tanpa lubang dengan debit 280 ml/menit dan efisiensi elektroliser hanya 1,01% . Selanjutnya, Oksigen dan Hidrogen yang terbentuk akan menuju tabung bubbler. Oksigen akan terikat Air yang ada di tabung Bubbler namun Hidrogen akan terus menuju tabung penyimpanan sementara. Hal ini dikarenakan kelarutan gas Oksigen lebih larut dalam air dengan kelarutan 0,0034 sedangkan Hidrogen hanya 0,00016.

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. Efisiensi Elektroliser tertinggi diamati pada katalis NaOH dengan bentuk persegi panjang dengan lubang, mencapai 1,61%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak luas permukaan elektroda semakin banyak gelembung-gelembung hidrogen yang dihasilkan dan, semakin tinggi juga efisiensi Elektroliser.
- 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 keluarga besar penulis yang telah 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. 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**
- Agustin, Dwi. 2017. “Desain Kapal Motor Penyebrangan dengan Sistem Penggerak Hibrida untuk Rute Ujung Surabaya-Kamal Bangkalan”. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Basori. 2018. “Experimental Investigation on Dry Cell HHO Generator With Catalyst Variation for Reducing The Emmisions”. *Journal of echanical Engineering and Vocational Education (JoMEVE)*. 1(1): 1-8.
- 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.
- Guo, Xiaoqiang et al. 2023. “Overview of Electrolyser and Hydrogen Production Power Supply Industrial Perspective”. Elsevier.
- Hasan, Achmad. 2007. “Aplikasi Sistem Fuel Cell sebagai Energi Ramah Lingkungan di Sektor Transportasi dan Pembangkit”. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 8(3):277-286.
- Hasanah, Luthfi M et al. 2018. “Desain Sistem Fuel Cell untuk Pembangkit Listrik Daerah Terpencil”. *Seminar Nasional Teknik Kimia Ecosmar*.
- Islam, Ibrahim FH., Widyastuti, Risa W., & Rizky Adzon N. 2022. “Antasena Biohidrogen: Generator Berbasis Limbah Kelapa Sawit Guna Meningkatkan Kerja Sama Indonesia-Tiongkok di Bidang Renewable Energy” *OISAA Journal of Indonesia Emas*. 5: 43-56.
- 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.
- Suhada, Hendrata. 2001. “Fuel Cell sebagai Penghasil Energi Abad 21”. *Jurnal Teknik Mesin*. 3(2): 92-100.
- US Departement of Energy. 2015. *Fuel cell Technologies Office*.
- Vigueras et al. 2023. “Feasibility Analysis of Green Hydrogen Production from Marine Energy”. *Celpress Heliyo*
- 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.
- 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.

Wibowo, Bayu Setyo. 2021. “Prototype Fuel
Cell Katoda Udara untuk Penerangan
Kapal Nelayan”. Skripsi. Universitas
Semarang.

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.
7: 38-42.