



Analisis Pengaruh Hubungan Suhu Cahaya Matahari Terhadap Tegangan Listrik Dan Tekanan Gas Yang Dihasilkan Pada Prototype Stasiun Pengisian Gas Hidrogen Untuk Kendaraan *Fuel Cell*

Dani Ramadan¹, Ananda Yhuto Wibisono Putra², Abdul Hamid Budiman³

^{1,2} Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang

³ PUSPIPTEK Tangerang

Email : 2284200038@untirta.ac.id

Received : 26 April 2024; Received in revised form : 21 Juni 2024; Accepted : 27 Juni 2024

Abstract

Efforts to create vehicles that have high efficiency and do not produce polluting exhaust gases have become the subject of research that is increasingly being developed by various automotive industry companies. Coupled with the issue of climate change which has ultimately prompted various vehicle innovations to immediately reduce the use of petroleum fuel, making various advances in the automotive sector to find substitutes for fuel to drive engines such as electricity, hybrid systems, and most recently the use of fuel cells. The research was carried out at the Tangerang Science and Technology Research Center (Puspipstek) with the aim of analyzing, studying and designing a gas refueling system (hydrogen gas refueling station). The data collection technique was carried out using an experimental descriptive method by testing the variable temperature of sunlight on the electrical voltage produced. The research results show that the hydrogen gas filling system station has a more practical filling system for filling fuel for fuel cell vehicles compared to hydrogen cylinders in general. The relationship between the temperature variables of sunlight is directly proportional to the increase in electrical voltage in the battery. Variable sunlight temperature and electrical voltage influence the increase in pressure of the gas produced. However, the gas pressure storage system has been set so as not to exceed the maximum capacity. However, vehicle systems that use fuel cells to transmit power to the engine only emit water as the end result of the combustion process. Of course, with exhaust emissions that are only water, this will make a vehicle powered by hydrogen an environmentally friendly vehicle. Even though the application in the world automotive market of vehicles with fuel cells is still limited, further developments in vehicles with fuel cells will create updated solutions in reducing the high use of petroleum as a save the earth movement on the issue of climate change.

Keywords: fuel cells, hydrogen, gas filling stations, automotive, climate change

Abstrak

Upaya untuk mewujudkan kendaraan yang memiliki efisiensi tinggi, serta tidak menimbulkan gas buang yang berpolutan sudah menjadi subjek penelitian yang semakin banyak dikembangkan oleh berbagai perusahaan industri otomotif. Ditambah dengan isu perubahan iklim (*climate change*) yang akhirnya mendesak berbagai inovasi kendaraan untuk segera mengurangi pemakaian bahan bakar minyak bumi, membuat berbagai kemajuan di bidang otomotif untuk mencari pengganti bahan bakar untuk menggerakkan mesin seperti listrik, sistem hybrid, dan yang paling terbaru adalah penggunaan fuel cell. Penelitian dilakukan di Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi (PUSPIPTEK) Tangerang dengan tujuan untuk menganalisis, mengkaji, dan merancang sistem pengisian gas (*refuelling station gas hydrogen*). Teknik pengumpulan data dilakukan dengan metode deskriptif-eksperimental dengan uji variable suhu cahaya matahari terhadap tegangan listrik yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa stasiun sistem pengisian gas hidrogen memiliki sistem pengisian yang lebih praktis dalam mengisi bahan bakar untuk kendaraan fuel cell dibandingkan dengan tabung hidrogen pada umumnya. Hubungan

Analisis pengaruh hubungan suhu cahaya matahari terhadap tegangan listrik dan tekanan gas yang dihasilkan pada prototype stasiun pengisian gas hidrogen untuk kendaraan fuel cell (Dani)

antar variabel suhu cahaya matahari berbanding lurus dengan naiknya tegangan listrik pada baterai. Variabel suhu cahaya matahari dan tegangan listrik berpengaruh pada naiknya tekanan gas yang dihasilkan. Namun, sistem penyimpanan tekanan gas sudah *disetting* agar tidak melebihi kapasitas maksimum. Bagaimanapun, sistem kendaraan yang menggunakan fuel cell sebagai penyalur tenaga menuju mesin (*engine*) hanya mengeluarkan air sebagai hasil akhir proses pembakaran. Tentu, dengan emisi buang yang hanya berupa air, akan menjadikan kendaraan dengan tenaga hidrogen ini kendaraan ramah lingkungan. Meskipun penerapannya di pasar otomotif dunia kendaraan dengan fuel cell ini masih terbatas, namun perkembangan lebih lanjut pada kendaraan dengan fuel cell akan membuat solusi pembaruan dalam menekan tingginya pemakaian minyak bumi sebagai gerakan *save the earth* pada isu perubahan iklim (*climate change*).

Kata kunci: — fuel cell, hidrogen, stasiun pengisian gas, otomotif, climate change

1. PENDAHULUAN

Memasuki abad yang baru ini, isu mengenai bahan bakar minyak bumi yang semakin menipis membuat banyak penelitian untuk mencari pengganti bahan bakar utama semakin marak dilakukan. Kebutuhan akan energi terbarukan ini semakin mendesak ketika isu mengenai pemakaian bahan bakar minyak bumi pada kendaraan akan dihentikan pada tahun 2040 mendatang. Mengingat kebutuhan energi pada kendaraan dibutuhkan sebagai bagian dari aspek kehidupan yang penting dalam dunia transportasi, pencarian energi alternatif adalah solusi jangka panjang yang bisa ditawarkan. Energi yang dihasilkan tentunya juga harus mendukung kemampuan mesin layaknya bahan bakar minyak bumi sebelumnya, atau memiliki *durability* dan efisiensi yang lebih baik [1].

Tabel 1. Cadangan Minyak Bumi Dan Gas Alam (*International Energy Annual*)

	Crude oil (billion barrels)	Crude oil (billion barrels)	Natural gas (trillion cubic feet)	Natural gas (trillion cubic feet)
Country	Oil and gas journal	World oil	Oil and gas journal	World oil
North america	55.1	55.6	261.3	261.3
Central & south america	89.5	69.2	222.7	227,9
Western europe	18.8	17.6	259.5	152,7
Middle east	675.6	629.2	1,749.2	1,836.2
Africa	74.9	86.5	392.2	409.7
Far east & oceania	44	58.7	363.5	375,4
Eastern europe & former U.U.S.R	58.9	64.7	1,999.2	1,947.6
Total	1,016.8	981.4	5,149.6	5,210.8

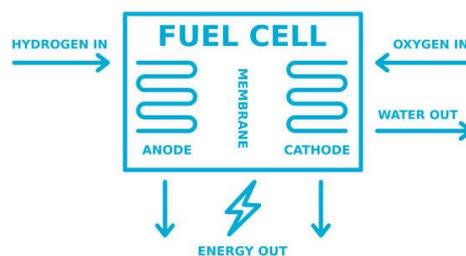
Berdasarkan Tabel 1. Mengenai cadangan minyak bumi dan gas alam yang terdata pada tahun 2000, tentu selain menipisnya gas alam dan minyak bumi 40 tahun mendatang, pertimbangan lain seperti penggunaan minyak bumi pada kendaraan yang menimbulkan gas karbon monoksida yang berbahaya bagi tubuh manusia, akan membuat isu pemberhentian pemakaian bahan bakar minyak bumi pada kendaraan benar-benar terjadi. Pemberhentian penggunaan bahan bakar minyak bumi pada kendaraan sudah direspon oleh beberapa perusahaan besar otomotif dunia. Peralihan penggunaan bahan bakar minyak bumi menuju energi listrik sudah dipatenkan oleh beberapa perusahaan otomotif seperti Tesla, Hyundai, dan Toyota. Meskipun kendaraan listrik (*electric vehicle*) telah diterima oleh masyarakat, namun isu mengenai gas emisi buang yang dihasilkan mobil listrik, ternyata masih menjadi perdebatan diantara produsen mobil listrik. Kendaraan listrik (*electric vehicle*) memanglah tidak membuat hasil akhir sistem pembakaran yang menimbulkan gas polutan. Namun, proses pemasokan listrik sebelum masuk menuju mesin diproduksi menggunakan batu bara dengan persentase 63 % bahan yang digunakan adalah batu bara mentah sebagai bahan bakar pada listrik primer. Batubara bukanlah sumber daya alam yang dapat

diperbaharui dan dapat menimbulkan gas yang berpolusi. Dengan demikian, mobil listrik tidak bisa dikatakan kendaraan dengan presentase 100% bersih atau tidak berpolusi.

Inovasi terbaru dari kendaraan listrik adalah sebuah kombinasi dari sistem konvensional dan sistem EV (*electric vehicle*) dalam satu kendaraan. Sistem ini disebut *Hybrid system*. Mobil hybrid memadukan kinerja baterai yang diisi ulang oleh solar. Sistem mobil hybrid memiliki efisiensi tinggi dalam menempuh jarak yang relatif jauh dan perawatan yang minimal jika dibandingkan dengan kendaraan konvensional ataupun kendaraan listrik. Meskipun mobil hybrid telah menjawab masalah mengenai akselerasi dan efisiensi, namun pemakaian bahan bakar minyak bumi pada sistem hybrid tidak menjawab atas permasalahan *climate change* yang akan terjadi. Ditambah dengan harga kendaraan hybrid yang sangat mahal, membuat eksistensi mobil hybrid, khususnya di Indonesia semakin terasingkan.

Fuel cell adalah solusi terbaru jangka panjang mengenai masalah energi alternatif pada kendaraan yang ramah lingkungan. Selain efisiensi yang hampir sama dengan sistem pada kendaraan hybrid, fuel cell hanya menghasilkan air sebagai hasil akhir proses pembakaran. Teknologi terbaru ini bisa menjadi teknologi masa depan pengganti bahan bakar minyak bumi karena kendaraan dengan sistem fuel cell hanya membutuhkan hidrogen untuk mengisi bahan bakar. Hidrogen merupakan gas alam yang berlimpah sumber dayanya dan bisa dihasilkan dari proses elektrolisis air. Atau dengan kata lain, hidrogen merupakan salah satu sumber bahan bakar yang dapat diperbaharui dan melimpah di alam. [2]

Secara prinsip, fuel cell hampir sama dengan baterai. Namun, Fuel cell dapat diisi sepanjang waktu untuk membuat sebuah proses mengubah reaksi kimiawi menjadi arus listrik searah. Fuel cell terdiri dari katoda dan anoda, serta elektrolit yang mengalir untuk menghantarkan ion. Elektron tidak dapat melewati elektrolit. Karena itu, fungsi elektrolit hanya sebagai pengantar ion. Pada anoda akan dialirkan bahan bakar (hidrogen) dan pada katoda akan dialirkan oksigen. Pengaliran bahan bakar dan oksigen dilakukan secara terpisah. Reaksi yang terjadi akan menimbulkan elektron bebas pada katoda untuk diikat. Reaksi ini akan terus berlangsung dan elektron harus dialirkan keluar agar proses kimiawi bisa terus berlanjut. Arus listrik searah bisa langsung digunakan pada komponen elektronik atau diubah oleh inverter menjadi arus AC (*alternating current*). Sebagai hasil akhir dari proses yang terjadi pada fuel cell, akan terjadi oksidasi antar molekul, sehingga terbentuklah air [3][4].

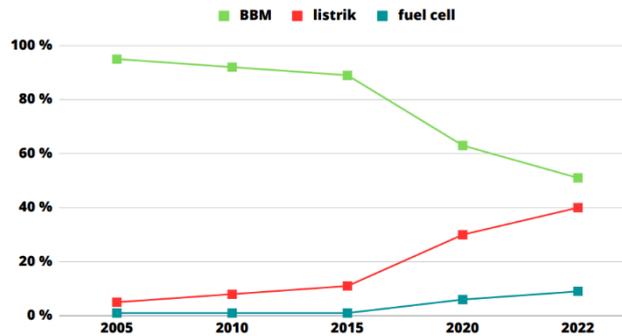


Gambar 1. Sistem Fuel Cell Dalam Menghasilkan Listrik

Penggunaan fuel cell pada mesin kendaraan akan jauh lebih efisien dibandingkan sistem pembakaran pada umumnya. Karena pada sistem fuel cell, efisiensi mesin tidak terganggu oleh persamaan efisiensi Carnot. Sehingga proses pembakaran pada mesin fuel cell bahan bakar akan awet serta mendekati mesin bakar ideal untuk kendaraan. Hasil akhir pembuangan pada mesin kendaraan yang menggunakan sistem fuel cell, tidak berpolutan tergantung dari bahan awal yang dipakai. Bahkan, jika hidrogen yang dijadikan bahan bakar merupakan hidrogen alami dari udara atau air, maka hasil persentase pembuangan sisa pembakaran yang berpolutan bisa ditekan hingga 0% [5].

Meskipun demikian, kendaraan yang menggunakan fuel cell dan gas hidrogen sebagai bahan bakarnya, rentan untuk terjadi kecelakaan jika perlakuan yang diberikan untuk menyimpan gas hidrogen sangat tidak berhati-hati. Hidrogen merupakan gas alam yang memiliki sifat reaktif terhadap titik nyala yang rendah sekalipun. Jika penempatan tabung hidrogen tidak diatur dengan baik, maka dengan sedikit percikan yang menyala dekat sumbu tabung hidrogen yang sedang mengalir akan membuat ledakan secara spontan [6].

Inovasi kendaraan yang menggunakan fuel cell telah dikembangkan sejak tahun 90-an. Namun, perkembangan yang terjadi tidak naik secara signifikan karena beberapa faktor seperti ekonomi pasar, paradigma masyarakat, politik & kebijakan, dan faktor lainnya yang menghambat laju produksi kendaraan yang menggunakan fuel cell. Terdata hanya beberapa perusahaan besar otomotif saja yang memproduksi mobil yang menggunakan sistem fuel cell. Walaupun demikian, kendaraan dengan fuel cell dengan beberapa inovasi terbaru akan perlahan menggantikan mobil-mobil lain dengan sistem bahan bakar minyak bumi ataupun baterai [7].



Gambar 2. Studi Komparatif Presentase Penggunaan Kendaraan Di Indonesia Dari Tahun 2005-2022

Gambar 2. Bisa disimpulkan bahwa penggunaan kendaraan tipe BBM memiliki penggunaan yang cukup tinggi dari tahun 2005 dengan presentase sebesar 98%. Hal ini dikarenakan inovasi kendaraan listrik maupun fuel cell tidak menjadi pembahasan utama yang menjadi permasalahan gas emisi buang ataupun kendaraan ramah lingkungan pada tahun 2005. Baru pada tahun 2015, penggunaan kendaraan BBM menurun dan penggunaan kendaraan listrik mulai meningkat. Sedangkan kendaraan fuel cell sendiri, masih pada konsep kendaraan ramah lingkungan yang tidak diproduksi besar-besaran. Kendaraan fuel cell hanya di produksi untuk sekedar penelitian dan bukan secara massal. Pada tahun 2022, presentase penggunaan kendaraan listrik meningkat dikarenakan berbagai faktor seperti trend, penggalakkan kendaraan ramah lingkungan dan sebagainya. Penggunaan kendaraan listrik sebagai kendaraan ramah lingkungan menyentuh angka 40% pada tahun 2022. Angka ini turut membuat kendaraan fuel cell sebagai salah satu kendaraan yang mendukung gerakan ramah lingkungan juga turut meningkat. Kendaraan fuel cell mulai diproduksi lebih lanjut untuk penelitian bahkan beberapa perusahaan otomotif raksasa seperti Toyota mulai mengembangkan kendaraan berbahan bakar hidrogen. Dengan isu yang sedang berkembang mengenai global warming dan climate change, trend penggunaan kendaraan dengan bahan bakar hidrogen akan menggeser penggunaan kendaraan dengan sistem konvensional ataupun sistem baterai beberapa tahun mendatang. Dengan efisiensi dan durability yang baik, tidak menutup kemungkinan bahwa kendaraan dengan bahan bakar hidrogen akan menjadi energi alternatif sebagai pengganti solar di masa depan [8].

Tuntutan akan ekologi pada lingkungan yang dari masa ke masa semakin ketat akan membuat pemanfaatan energi minyak bumi, gas alam, dan semua sumber daya yang tidak bisa diperbaharui akan dihentikan total suatu saat. Energi alternatif yang dikembangkan akan menjadi faktor penentu serta harus diperhitungkan demi kelangsungan hidup manusia kedepannya. Kesiapan akan teknologi baru ini yang akan menggantikan teknologi lama akan diharapkan oleh seluruh bagian masyarakat untuk dipakai dan dijadikan sebagai sumber energi utama pengganti sumber energi lama. Fuel cell sebagai teknologi yang masih disiapkan sebagai teknologi baru yang menunjang efisiensi serta ramah lingkungan merupakan opsi utama sebagai penggerak abad menuju pemakaian *green technology*. [9][8][10]

Hingga hari ini, telah banyak uji coba penggunaan energi fuel cell pada berbagai aplikasi yang diterapkan dan hasilnya adalah memuaskan. Disamping pemanfaatan energi regeneratif lain seperti angin, matahari, udara dan sebagainya, fuel cell yang dimanfaatkan pada sistem kendaraan merupakan sistem ideal yang cocok dengan kebutuhan umat manusia dan lingkungan. Pembaruan dari penelitian ini akan membawa semua pemahaman mendasar tentang teknologi terbaru dan ramah lingkungan pada realisasi yang sebenarnya pada penerapan dan pengembangan fuel cell sebagai penyuplai tenaga mesin kendaraan.

2. METODE PENELITIAN

penelitian dilakukan di lab Balai Besar Teknologi Konversi Energi, Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK) Tangerang. Pengambilan data dilakukan dengan metode deskriptif-eksperimen melalui pendekatan kuantitatif. Metode eksperimental merupakan metode yang dilakukan dengan langkah-langkah saintifik untuk menguji dua variabel atau lebih yang saling berkaitan dan mengendalikan. Metode penelitian eksperimen pada umumnya digunakan dalam penelitian yang bersifat laboratoris. Namun, bukan berarti bahwa pendekatan ini tidak dapat digunakan dalam penelitian sosial, termasuk penelitian pendidikan. Pada pendekatan kuantitatif, pembahasan dilakukan dengan analisis pada data yang berupa angka dan nilai untuk menjelaskan situasi yang sedang terjadi. [11]Pengambilan data dimulai dengan studi literatur pada kajian-kajian jurnal yang membahas mengenai energi fuel cell. Kemudian analisis data dilakukan dengan menguji data pada rangkaian mengenai beberapa variabel untuk menganalisis keberhasilan prototype. Variabel yang diuji berupa pengaruh suhu cahaya matahari pada tegangan listrik yang mengalir ke panel surya dalam kondisi berbeda (cuaca mendung, cerah, sebelum dibersihkan), serta pengaruh tegangan listrik pada gas hidrogen.

a. Alat dan bahan

1. Alat

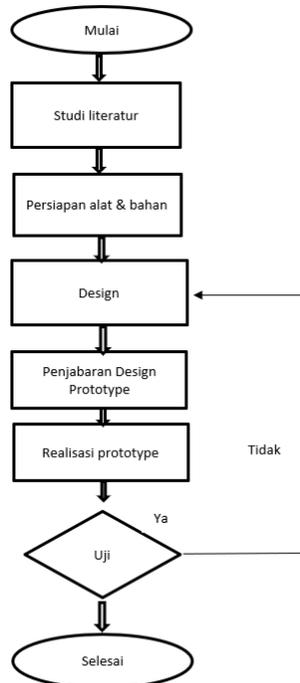
- 1 set Toolbox
- Tang pemotong
- Kunci pas ring (1 set)
- Pisau cutter
- Tespen
- Solder
- Avometer
- gerinda tangan
- meteran
- Obeng min dan plus
- Mur & baut

2. Bahan

- Panel surya tipe MSX50
- Solar charge controller 60 A FOXSUR
- Fuel cell tipe PEM (*proton exchange membrane*)
- Panel interlock switch chint
- Sambungan kabel connector
- Selang inhalasi hidrogen
- Relay 24 DC
- Inverter DC 220 W (2 buah)
- Kipas (*exhaust fan ventiling*)
- Tabung gas hidrogen
- Kabel NYAF 2,5 mm²
- Box panel
- Baterai charger 30 A/12v/24 v
- Elektrolizer PEM
- HMI weintek display
- Siemen PLC programming

b. Alur penelitian

Alur penelitian bisa digambarkan melalui *flowchart* berikut :

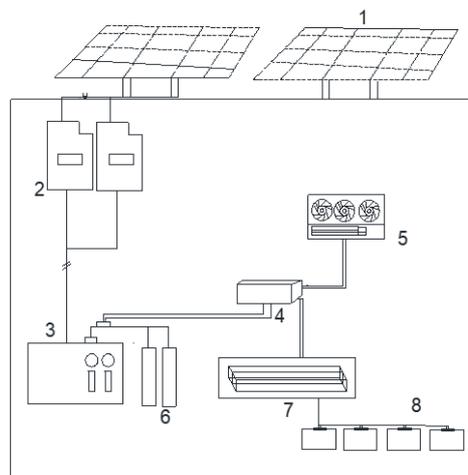


Gambar 3. Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengamatan (observasi) dan Perancangan Design Prototype Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (Refuelling Hydrogen Gas Station)

Pengisian bahan bakar kendaraan yang menggunakan sistem fuel cell, tidak serumit dan memakan waktu yang lama layaknya kendaraan listrik. Melainkan, kendaraan fuel cell hanya perlu diisi kembali dengan bahan bakar yang dipakai (hidrogen). Pengisian gas hidrogen bisa dilakukan dengan manual seperti mengganti tabung kosong dengan tabung baru yang tentu akan memakan waktu lama dan kurang praktis. Stasiun pengisian gas hidrogen (*refuelling hydrogen gas station*) akan berbentuk layaknya sistem pengisian solar pada umumnya. Design prototype Stasiun pengisian gas hidrogen (*refuelling hydrogen gas station*) pada Gambar 4.



Gambar 4. Design Prototype Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (*Refuelling Hydrogen Gas Station*)

3.2. Penjabaran Design dan Realisasi Prototype Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (Refuelling Hydrogen Gas Station).

Berdasarkan Gambar 4. Komponen yang tersusun dan sistem kerja pada prototype bisa dijelaskan sebagai berikut:

1. **Panel surya**, komponen ini berfungsi untuk menyerap cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya sebesar 200 watt akan dimonitori oleh sistem kontrol.
2. **Sistem kontrol**, ada dua box panel yang tersusun sebagai pusat kendali prototype Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (Refuelling Hydrogen Gas Station). Kedua box panel ini akan memonitori seluruh aktivitas kerja mesin dan semua komponennya. Termasuk aliran listrik yang mengalir dari panel surya menuju inverter. Pada sistem kontrol menggunakan tampilan HMI dari luar box agar lebih praktis dalam memonitori sistem.
3. **Elektrolizer**, komponen ini berfungsi untuk menguraikan atau melepaskan ikatan zat yang terlarut pada sistem anoda-katoda. Pada sistem ini, elektrolizer berfungsi untuk memisahkan oksigen dan hidrogen yang terkandung dalam air. Atau dengan kata lain, elektrolizer berfungsi untuk mengelektrolisis air. Untuk berfungsi, elektrolizer membutuhkan power supply tenaga listrik. Listrik yang digunakan untuk menghidupkan elektrolizer berasal dari panel surya yang dimonitori oleh sistem kontrol.
4. **Inverter**, inverter berfungsi sebagai komponen yang mengubah arus. AC-DC ataupun DC-AC. Inverter yang pertama memiliki tugas yang fleksibel. Atau dengan kata lain, inverter ini bisa digunakan sebagai pengubah tegangan DC ketika dibutuhkan ataupun tegangan AC ketika diperlukan.
5. **Fuel cell (PEM) & fan**, pada sistem fuel cell di prototype Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (Refuelling Hydrogen Gas Station), oksigen yang digunakan merupakan oksigen alami dari udara. Pasokan udara yang masuk sebagai oksigen harus didorong secara manual untuk mendapatkan oksigen secara maksimum. Kipas (fan) dipasang didepan fuel cell untuk menghembuskan udara lebih banyak menuju fuel cell dan mendapatkan pasokan oksigen yang lebih banyak. Dengan demikian, fuel cell dapat bekerja secara maksimum untuk memasok listrik. Listrik yang dihasilkan dari fuel cell merupakan aliran DC yang harus diubah menjadi aliran AC. Listrik yang dihasilkan oleh fuel cell akan dialirkan menuju inverter yang dimonitori sistem kontrol untuk diubah menjadi aliran AC.
6. **Tabung gas**, komponen ini berfungsi sebagai penyimpan gas. Gas yang dihasilkan oleh elektrolizer akan disimpan di dalam tabung sebagai hasil akhir (output) sistem Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (Refuelling Hydrogen Gas Station) ataupun kembali mengalirkannya pada fuel cell sebagai bahan bakar. Semua aktivitas yang terjadi dimonitori oleh sistem kontrol.
7. **Inverter**, ada 2 buah inverter yang dipasang untuk mengubah aliran listrik yang masuk dari panel surya dan fuel cell. Kedua inveter memiliki fungsi untuk mengubah aliran listrik yang dibutuhkan. Pada inverter yang kedua ini, listrik akan diubah menjadi aliran DC. Aliran DC ini khusus untuk memberikan power supply pada komponen yang berada pada sistem kontrol.
8. **Baterai**, komponen baterai berfungsi untuk memasok aliran listrik tegangan DC. Baterai akan menerima tegangan DC dari inverter ataupun hasil akhir proses pada fuel cell. Baterai dipasang diluar rangkaian untuk mengefesienkan tempat. Kapasitas maksimum baterai untuk menerima arus tergantung dari jenis baterai dan spesifikasi yang dimilikinya.

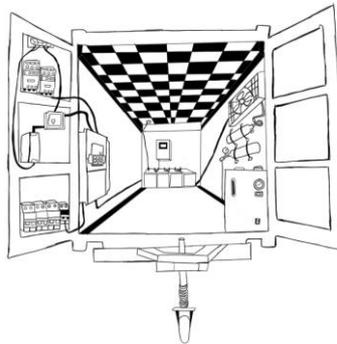
Secara sederhana, sistem Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (Refuelling Hydrogen Gas Station) Berfungsi atas prinsip konversi energi. Panel surya akan memasok aliran listrik untuk menghidupi komponen yang dimonitori oleh sistem kontrol. Bagian panel surya akan dikendalikan oleh Solar charge controller 60 A FOXSUR. Pasokan listrik yang kedua berasal dari sistem kerja fuel cell. Fuel cell akan mengalirkan tegangan DC pada komponen, Baterai, ataupun diubah menuju inverter. Listrik akan dialirkan kembali untuk menyalakan elektrolizer. Sebelum menyalakan elektrolizer, arus akan melewati inverter untuk diubah sesuai kebutuhan. Setelah elektrolizer menyala, air akan dimasukkan dengan takaran tertentu untuk memisahkan hidrogen dan oksigen yang terkandung didalam air. Setelah proses elektrolisis selesai, gas hidrogen akan masuk kedalam tangki penyimpanan dan oksigen akan dibuang. Pada tangki penyimpanan inilah gas hidrogen bisa di transfusikan melalui selang khusus menuju kendaraan yang menggunakan sistem fuel cell dengan hidrogen sebagai bahan bakarnya.

Sesuai dengan design yang telah dibuat, komponen-komponen dirancang dan direalisasikan ke dalam perancangan prototype Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (Refuelling Hydrogen Gas Station). Prototype Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (Refuelling Hydrogen Gas Station) yang telah direalisasikan adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Realisasi prototype Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (*Refuelling Hydrogen Gas Station*)

Perancangan prototype Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (*Refuelling Hydrogen Gas Station*) direalisasikan dengan menambahkan box besar pada semua komponennya. Box besar ini akan diberi roda yang dimaksudkan untuk memudahkan pengisian gas hidrogen. Dengan sistem yang sama menggunakan prinsip konversi energi, Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (*Refuelling Hydrogen Gas Station*) memiliki alur kerja dan sistem yang sama dengan prototype yang telah dibangun.



Gambar 6. Sketsa Awal Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (*Refuelling Hydrogen Gas Station*)



Gambar 7. Tampak Belakang Box Kontainer Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (*Refuelling Hydrogen Gas Station*)



Gambar 8. Tampak Samping Box Kontainer Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (*Refuelling Hydrogen Gas Station*)

3.3. Pengujian & Analisis Variabel pada prototype Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (*Refuelling Hydrogen Gas Station*).

Pengamatan dan analisis prototype dilakukan untuk mengetahui sejauh mana keberhasilan prototype yang telah dibangun. Uji yang pertama adalah variabel suhu cahaya matahari terhadap tegangan listrik yang dihasilkan oleh panel surya.

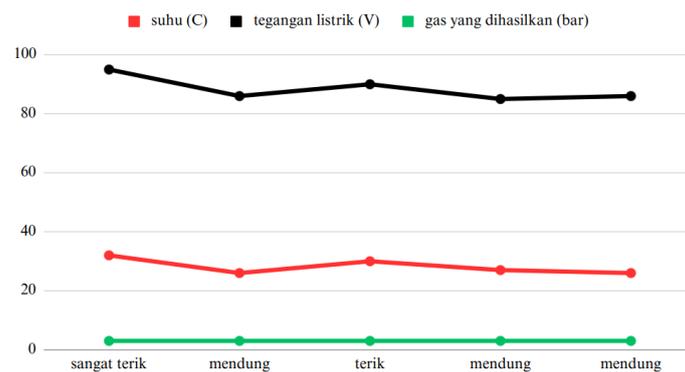
Tabel 2. Pengaruh Suhu Cahaya Matahari Terhadap Tegangan Listrik Yang Terisi Pada Baterai

No	Kondisi	Tegangan Pengisian
1	Suhu 32,4 °C (terik)	95,5 V
2	Suhu 30° C (cerah)	90,02 V
3	Suhu 29 °C (mendung)	89,97 V
4	Suhu 27 °C (mendung)	85,76 V
5	Sebelum dibersihkan (normal)	90 V

Kondisi sinar matahari yang diserap oleh panel surya sangat bergantung pada tegangan listrik yang dihasilkan. Variabel bebas merupakan suhu sinar cahaya matahari (X) yang kemudian mengikat variabel tegangan listrik (Y) dengan hubungan antar variabel yang sangat signifikan. Jika variabel X memiliki nilai yang tinggi, atau suhu cahaya matahari memiliki suhu yang panas maka variabel Y juga memiliki kecenderungan untuk naik, atau tegangan listrik yang terisi pada baterai semakin tinggi pula. Maka secara sederhana, semakin panas cuaca yang sedang berlangsung dan semakin tinggi suhu sinar matahari yang dihasilkan, maka semakin banyak pula tegangan listrik yang mengalir. Karena demikianlah, panel surya diatur penempatannya agar bisa menyerap sinar matahari secara maksimal. Sudut kemiringan panel surya saat matahari redup atau kondisi mendung adalah 1° , dengan radiasi rata-rata 13,128 MJ/m²/hari. Sedangkan saat matahari dalam kondisi terik, panel surya bisa dipasang dengan sudut kemiringan 24° dengan radiasi maksimal sebesar 15,284 MJ/m²/hari. Tegangan listrik yang berasal dari panel surya akan digunakan untuk menghidupi elektrolizer. Saat proses elektrolisis air dalam elektrolizer, oksigen akan dibuang dan hidrogen akan masuk menuju tabung penyimpanan. Besarnya tegangan listrik yang mengalir pada elektrolizer akan berpengaruh pada tekanan gas hidrogen yang dihasilkan. Akan tetapi, pada sistem Perancangan prototype Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (*Refuelling Hydrogen Gas Station*), elektrolizer sudah diatur agar tidak melebihi batas maksimum kapasitasnya. Uji kedua berupa pengaruh tegangan listrik yang mengalir dalam proses elektrolisis air. Hasil yang di dapatkan adalah nilai X berada pada posisi konstan yaitu X tidak kurang dari 1 bar dan tidak lebih dari 3 bar tekanan gas.

$$14,504 \text{ Psi} \geq X \leq 43,5113 \text{ Psi}$$

Nilai X mengindikasikan bahwa gas hidrogen yang dihasilkan pada prototype Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (*Refuelling Hydrogen Gas Station*), merupakan gas hidrogen yang dihasilkan saat proses elektrolisis air. Nilai X berada diantara 1 bar dan 3 bar tekanan gas hidrogen. Hidrogen bisa mengalir pada tabung sesaat setelah elektrolizer sudah terindikasi penuh (full). Karena itu, gas hidrogen tidak bisa diambil ketika belum mencapai batas maksimum. Atau dengan kata lain, variabel suhu cahaya matahari tidak akan berpengaruh secara signifikan pada tekanan gas hidrogen yang dihasilkan, karena tekanan gas hidrogen telah diatur untuk tidak melewati batas maksimum meskipun arus tegangan yang mengalir dari panel surya sangat tinggi. Elektrolizer hanya akan mencapai batas maksimum untuk menghasilkan tekanan gas hidrogen sebesar 3 bar atau 43,5113 Psi.



Gambar 8. Hubungan Variabel Suhu Cahaya Matahari, Tegangan Listrik, Dan Tekanan Gas Hidrogen Yang Dihasilkan

Dari Gambar 8. Hubungan antara suhu cahaya matahari terhadap tegangan listrik cenderung terlihat saling mengikat. Semakin tinggi suhu cahaya matahari yang masuk semakin banyak pula tegangan listrik yang mengalir. Namun, variable suhu cahaya matahari tidak memengaruhi pada tekanan gas yang dihasilkan. Tekanan Gas akan tetap stabil pada angka maksimum 3 bar tekanan gas. Meskipun dalam kondisi mendung, elektrolizer bisa menunggu untuk tegangan listrik masuk dan menghasilkan tekanan gas yang konstan.

4. SIMPULAN

Prototype Stasiun Pengisian Gas Hidrogen (*Refuelling Hydrogen Gas Station*) untuk kendaraan fuel cell memiliki pengisian ulang gas hidrogen yang praktis jika dibandingkan dengan pengisian manual. Dengan berpusat pada sistem kontrol, panel surya dapat menghasilkan tegangan listrik untuk menyalakan komponen dan fuel cell sebagai pasokan arus yang kedua akan mengisi baterai dengan tegangan DC. Elektrolizer akan memisahkan air dan hidrogen untuk digunakan sebagai bahan bakar. Stasiun pengisian gas hidrogen dapat mengisi kendaraan dengan sistem fuel cell secara praktis tanpa harus melepas tabung gas pada rangkaian kendaraan. Variable yang diuji menunjukkan data bahwa naiknya tegangan listrik pengisian baterai berbanding lurus dengan suhu cahaya matahari. Sedangkan suhu cahaya matahari tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tekanan gas hidrogen yang dihasilkan Pada proses akhir elektrolisis air, karena elektrolizer sudah di *set-up* agar tidak melebihi batas kapasitas maksimum sebesar 3 bar atau 43, 5113 Psi. walaupun suhu cahaya matahari berbanding lurus dengan naiknya tekanan gas hidrogen, namun penyetyelan penyimpanan tekanan gas agar konstan membuat kondisi tersebut tidak terjadi. Meskipun kondisi cuaca sedang terik dan panel surya siap memasok listrik dengan jumlah tegangan yang tinggi untuk dialirkan, tekanan gas yang dihasilkan tetap stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Suhada, "Fuel Cell Sebagai Penghasil Energi Abad 21," vol. 3, no. 2, pp. 92–99, 2001.
- [2] S. Garg, "Unique PEM fuel cell for hydrogen vehicles," no. December, 2022, doi: 10.13140/RG.2.2.18116.09604.
- [3] E. L. Dewi, T. Ismujanto, and G. T. Chandrasa, "Pengembangan dan aplikasi fuel cell," *Pros. Semin. Nas. Teknoin 2008*, vol. 3169887, no. 021, pp. A51–A5Dewi, E. L., Ismujanto, T., Chandrasa, G., 2018.
- [4] Hendrata Suhada, "Fuel Cell Sebagai Pengganti Motor Bakar Pada Kendaraan," *J. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 85–91, 2001, [Online]. Available: <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/mes/article/view/15945>
- [5] C. Pisanti, "Design and energetic evaluation of a mobile photovoltaic roof for cars," vol. 81, pp. 182–192, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.073.
- [6] F. Alavi, E. Park, N. Van De Wouw, B. De Schutter, and Z. Lukszo, "Fuel cell cars in a microgrid for synergies between hydrogen and electricity networks," *Appl. Energy*, vol. 192, pp. 296–304, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.10.084.
- [7] G. Carle, P. Keller, G. Carle, and P. Keller, "Conference paper WCTR 2004 Fuel cells for cars - a competitive analysis," no. May 2014.

-
- [8] A. Hasan, "Aplikasi Sistem Fuel Cell Sebagai Energi Ramah Lingkungan di Sektor Transportasi dan Pembangkit," *Tek. Lingkung.*, vol. 8, no. 3, pp. 277–286, 2007.
- [9] C. Lodi, A. Seitsonen, E. Pa, M. De Gennaro, T. Huld, and S. Malfettani, "Reducing CO₂ emissions of conventional fuel cars by vehicle photovoltaic roofs," vol. 59, no. February 2018, pp. 313–324, 2021, doi: 10.1016/j.trd.2018.01.020.
- [10] T. Takahashi, Y. Kokubo, and K. Murata, "ScienceDirect Cold start cycling durability of fuel cell stacks for commercial automotive applications," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 47, no. 97, pp. 41111–41123, 2022, doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.09.172.
- [11] A. Jaedun, "METODOLOGI PENELITIAN EKSPERIMEN," *perimenMetodologi Penelit. Eks*, pp. 0–12, 2011.