

Kajian Penerapan Sistem Fuel Cell Sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan Pada Kendaraan Bermotor

Study on Application of Fuel Cell System as Alternative Energy Source Environmentally Friendly Motor Vehicles

Erwin¹, Rico Fernanda², Malvin Dharma P.³, Navis Faiq R.⁴, Izza Rafi K⁵

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Darma Persada, Jakarta, Indonesia

²³⁴⁵Program Studi Teknologi Pulp dan Kertas, Institut Teknologi Sains Bandung, Bekasi, Indonesia

e-mail: Erwin.dosen@gmail.com

Abstrak

Fuel cell merupakan perlengkapan konversi tenaga yang menggunakan prinsip elektrokimia yang mereaksi hidrogen dan oksigen menjadi air. Fuel cell dapat memproduksi listrik seiring dengan ketersediaan suplai dari bahan bakar eksternal, sehingga sifatnya bertentangan dengan penggunaan dari baterai. Karya ilmiah ini mengkaji mengenai topik pengaplikasian sistem fuel cell pada kendaraan bermotor sebagai salah satu bentuk alternatif ramah lingkungan untuk menanggulangi dampak buruk penggunaan BBM yang berlebihan. Metode yang digunakan pada kajian ini yaitu deskripsi kualitatif dan didasarkan pada tinjauan beberapa artikel penelitian terdahulu disertai dengan literatur yang relevan. Berdasarkan penelusuran dan pengkajian dari beberapa referensi terdahulu, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan, antara lain pengolahan gas hidrogen fuel cell ialah suatu tahapan awal sebelum gas tersebut dimasukkan ke dalam sistem fuel cell untuk dijadikan sebagai bahan bakar, proses reforming ialah suatu tahapan alternatif yang menggunakan gas metanol sebagai bahan bakar fuel cell untuk menghindari kendala-kendala yang ditimbulkan gas hidrogen, dan sistem thermal fuel cell ialah suatu tahapan yang digunakan untuk mengatur suhu agar sistem fuel cell tidak cepat rusak akibat panas yang ditimbulkan dari hasil samping kinerja sistem tersebut.

Kata kunci: Energi alternatif; *fuel cell*; ramah lingkungan.

Abstract

A fuel cell is a power conversion device that uses an electrochemical principle that reacts hydrogen and oxygen into the air. Fuel cells can produce electricity and the availability of an external fuel supply so that it is suitable for the use of the battery. This scientific work examines the application of fuel cell systems in motorized vehicles as an environmentally friendly alternative form to overcome the adverse effects of excessive use of fuel. The method used in this study is descriptive and is based on several previous research articles with relevant literature. Based on the search and study of several previous

references, several conclusions can be drawn, including the processing of hydrogen fuel cells is a stage before the gas is introduced into the fuel cell system to be used as fuel. The reform process is an alternative stage that uses gas. The thermal fuel cell system is used to regulate the temperature so that the fuel cell system is not quickly damaged due to heat generated from the by-product of the system's performance. Methanol is a fuel cell fuel to avoid the constraints caused by hydrogen gas.

Keywords : *Alternative energy; eco-friendly; fuel cell.*

1. PENDAHULUAN

Energi fosil merupakan sumber energi yang paling sering digunakan, penggunaannya dalam bentuk BBM (Bahan Bakar Minyak). Saat ini Indonesia sangat bergantung pada energi fosil (Wiratmini, 2019). Sekitar 95% penggunaan energi di Indonesia masih bersumber dari energi fosil (Rahman, 2013). Indonesia sampai sekarang belum dapat memanfaatkan secara signifikan penggunaan energi terbarukan (Gusti, 2008). Energi fosil diperkirakan akan habis beberapa tahun yang akan datang. Di samping energi ini akan habis, dampak terhadap lingkungan sekitar justru semakin berbahaya. Emisi gas rumah kaca yang berasal dari pembakaran BBM berakibat pada peningkatan suhu global yang menyebabkan perubahan iklim (Sulistiyono, 2016). Banyak pabrikan kendaraan dunia seperti VW grup, General Motor, Ford, BMW dan Honda yang akan menghentikan penjualan kendaraan internal combustion engine mereka dan beralih menuju teknologi terbarukan (France-Press, Grzelewski, Gold, 2021). Oleh karena itu, untuk menanggulangi kasus tersebut, masyarakat Indonesia memerlukan tenaga alternatif yang keberadaannya bisa menggantikan bahan bakar fosil. Salah satu tenaga alternatif yang dimaksudkan merupakan pemakaian fuel cell. Hal ini juga sesuai dengan agenda tujuan pembangunan berkelanjutan dengan melestarikan lingkungan yang bermanfaat bagi masyarakat luas (Erwin, 2021).

Fuel cell merupakan perlengkapan konversi tenaga yang menggunakan prinsip elektrokimia yang mereaksi hidrogen dan oksigen menjadi air. Reaksi elektrokimia antara hidrogen dan oksigen menciptakan air, panas, dan tenaga listrik pada prosesnya (Harahap, 2018). Listrik dapat diproduksi fuel cell secara berkepanjangan seiring dengan ketersediaan pasokan bahan bakar eksternal, dan bertentangan dengan baterai yang menggunakan prinsip penyimpanan energi (Edric, 2019).

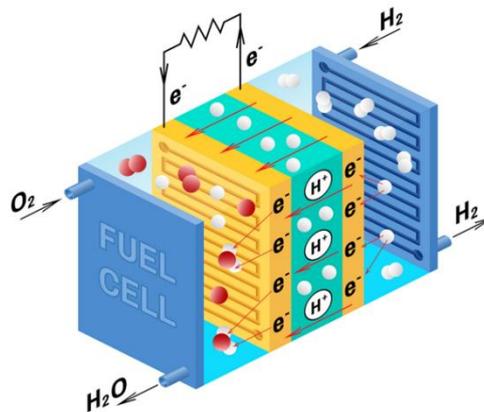
Pemakaian fuel cell pada perlengkapan transportasi mulai banyak dilakukan penelitian di Amerika Serikat, Eropa, Jepang serta sebagian negeri industri baru. Sistem fuel cell dicoba diterapkan pada jenis kendaraan semacam bis, mobil, skuter, serta kendaraan militer semacam kapal laut dan kapal selam (Chandrasa, 2006). Kelebihan utama sistem fuel cell adalah tidak menghasilkan polutan, limbah beradiasi serta tidak berisik (Damisih, 2016). Semakin berkembangnya teknologi, fuel cell bisa bersaing sebab terdapat tendensi yang sangat kuat yaitu harga serta kerapatan tenaga yang dihasilkannya bisa bersaing dengan pembangkit listrik BBM maupun nuklir sekalipun (Hasan, 2007). Yang mana sangat sulit dicapai dengan energi terbarukan lainnya.

Aplikasi teknologi fuel cell yang sangat terkini adalah uji coba fuel cell pada kapal Yanmar di Oita, Jepang pada 25 Maret 2021 (Millikin, 2021). Fuel cell menggunakan gas hidrogen serta gas oksigen buat mekanisme konversi energinya. Semenjak tahun 1970, Kementerian Tenaga Amerika sudah melaksanakan studi jenis Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC) untuk keperluan militer dan energi serta saat ini tahapannya sudah merambah sesi komersialisasi. Sebaliknya di Eropa, pertumbuhan teknologi fuel cell disuport oleh negeri Uni Warga Eropa serta bermacam pihak swasta. Demikian pula di Jepang, berbagai organisasi publik dan swasta menyuport pengembangan teknologi fuel cell (Behling, 2012). Tujuan dari kajian ini adalah

mengkaji energi alternatif fuel cell pada kendaraan bermotor sebagai pengganti energi fosil sehingga dapat mengurangi dampak buruk penggunaan bahan bakar fosil.

1.1 Fuel Cell

Fuel cell atau dalam bahasa Indonesia disebut sel bahan bakar adalah suatu perangkat elektrokimia yang secara kontinu mengkonversikan energi kimia menjadi energi listrik (Fuel Cell Handbook, 2004). Fuel cell memiliki fungsi yang menyerupai baterai, tetapi ada perbedaan yang membedakan keduanya. Perbedaan utama antara fuel cell dan baterai ialah cara kerja suplai energi, dan fuel cell tidak mengandung energi. Namun, untuk terus memperoleh energi melalui reaksi kimia yang berkelanjutan, fuel cell harus terus diisi dengan reagen. Sementara itu, baterai sekadar menyimpan energi, dan energi maksimal yang didapatkan bergantung pada jumlah reagen yang disimpan dalam baterai. Gas oksigen dan gas hidrogen ialah bahan bakar yang diperlukan oleh fuel cell untuk menghasilkan energi. Prinsip kerja ini serupa dengan sebuah mesin internal combustion engine yang memerlukan reaksi antara bahan bakar minyak dan oksigen untuk mengubah energi kimia menjadi energi mekanik.



Gambar 1. Diagram PEM Fuel Cell (Sumber: airbus.com)

1.2 Sejarah Fuel Cell

Proses pembalikan elektrolisis air yang menjadi awal mula fuel cell ditemukan oleh cendekiawan yang bernama Sir William R. G. pada tahun 1839. Menggunakan elektroda berupa platina dan menghasilkan arus sebesar 12 ampere serta tegangan sebesar 1,8 volt (Fuel Cell Handbook, 2004). Terdiri dari elektrolit asam, keping platina, serta silinder dengan gas oksigen dan hidrogen. Di tahun 1889 Ludwig Mond dan Charles Longer melakukan penelitian dan menciptakan istilah fuel cell untuk pertama kalinya. Untuk memaksimalkan mesin awal, pada tahun 1932 seorang peneliti bernama Francis Bacon mulai meneliti fuel cell memakai KOH sebagai elektrolitnya. Sebelumnya, fuel cell memakai elektroda asam sulfat dan platina sebagai elektrolit. Namun kelemahan kedua bahan tersebut adalah platina sangat mahal dan asam sulfat sangat korosif. Bacon mengembangkan fuel cell sebelumnya dengan menggunakan sel hidrogen dan oksigen, serta menggunakan elektrolit alkali yang non korosif dan elektroda nikel murah. Bacon berhasil mengembangkan fuel cell hidrogen-oksigen tersebut pada 1959 dengan efisiensi sebesar 60% dan bernama Bacon Cell atau Alkaline Fuel Cell (AFC) yang kita kenal sekarang. Sejak 1950, NASA Amerika Serikat telah menggunakan fuel cell AFC agar memenuhi kebutuhan listrik program luar angkasanya, yaitu roket Apollo dan Gemini (Suhada, 2001).

1.3. Perkembangan Fuel Cell

Sel bahan bakar telah diberlakukan sejak lama diberlakukan negara maju seperti Jerman, Jepang, Inggris, dan Amerika Serikat. Pembuat mobil seperti General Motors (GM) meluncurkan prototipe mobil dengan menggunakan bahan bakar hidrogen. Mobil ini mampu melaju hampir 500 kilometer tanpa mengisi bahan bakar. Perusahaan Kanada, Astris Energy, pada September 2004 memperkenalkan generator fuel cell yang bernama Generator AFV portabel E8. Pembangkit listrik memiliki output sebesar 2,4 kW dengan tegangan mencapai 48 VDC (Shepard, 2004).

Pengembangan fuel cell di Jepang dimulai pada tahun 2005 dan dipertimbangkan sekitar 600 fuel cell telah dipasang dalam standar domestik. Saat menggunakan fuel cell, tidak dibutuhkan kabel listrik dari pembangkit listrik menuju rumah, maka tidak ada kehilangan energi. Selain dipakai sebagai sumber energi dalam negeri, fuel cell telah banyak dipakai antara lain pada ponsel yang dilengkapi dengan berbagai fitur yang mendukung (JETRO Japan Economic Report, 2006).

Samsung meningkatkan teknologi DMFC (Direct Methanol Fuel Cell) pada pertengahan 2007 dan telah diluncurkan untuk umum pada akhir Desember 2006. Ukurannya telah dikurangi menjadi 15cm x 5cm x 5cm. Daya totalnya sekitar 1,2 x 1000 W dan daya keluarannya 2 x 10 W (Stevens, 2009).

1.4. Sistem Fuel cell

Secara umum pembangkit listrik pada sistem fuel cell dibagi menjadi 4 sub sistem, yakni : Proses fuel, Pembangkit sel bahan bakar, Pemulihan panas (heat recovery) dan Pengkondisian daya (AC-DC inverter). Proses fuel memiliki fungsi untuk mengonversikan fuel (propana, batu bara, metanol, gas alam, dan lain-lain) menjadi gas hidrogen. Pada saat proses elektrokimia berlangsung, maka fuel cell stack yang berada di sub sistem akan menyebabkan adanya arus listrik. Di lain sisi, pada unit power conditioning memiliki fungsi untuk mengonversikan menjadi arus bolak-balik (AC) dari yang sebelumnya arus searah (DC). Proses elektrokimia merupakan suatu proses yang sangat penting pada sub sistem fuel cell. Mekanisme ini penting dikarenakan redoks gas hidrogen akan menunjukkan seberapa efisien arus listrik yang diperoleh. Hal ini sangat berkaitan dengan beberapa segmen utama agar menjadi aliran proton-elektron, aliran gas, reduksi-oksidasi gas sehingga efisiensi dari sistem pembangkit listrik dapat terwujud (Ratnasari, 2016).

1.4.1. Membran Elektrolit

Segmen ini memiliki lubang kecil sehingga atom hidrogen tidak dapat menuju lubang pada membran. Membran elektrolit merupakan tempat pertukaran proton (H⁺) dengan mekanisme pertukaran ion yang terdapat dalam strukturnya, maka dari itu konduktivitas proton yang diperlukan pada keadaan humidified membrane adalah 20 x 10⁻³ S/cm (dengan resistensi sebesar 5 x 10⁻² ohm cm² dan membran setebal 0,5 mm). Disisi lainnya, stabilitas serta daya tahan pada unsur kimia dan temperatur (±300 OC) sangat mempengaruhi kinerja dari arus yang akan diperoleh (Hasan, 2007).

1.4.2. Katalis

Di segmen ini terjadi proses redoks dalam suatu gas yang akan memperoleh elektron dan proton. Ketebalan segmen yang diharapkan berkisar antara 5 - 50 mikrometer bertujuan agar memberikan kaitan yang baik pada membran, sehingga proses pemindahan proton dapat berjalan dengan baik. Sehubungan dengan proses redoks dan katode berupa air yang terbentuk selama proses reaksi, komponen ini harus bersifat hidrofobik, konduktif proton dan juga konduktif elektron. Oleh sebab itu, proses menggabungkan ketiga bahan ini membutuhkan keterampilan dan ilmu pengetahuan, dan itu tidaklah mudah (Nuriana, 2017).

1.4.3. Gas diffuser (*Backing electrode*)

Segmen ini mempunyai ketebalan berkisar antara 100 – 300 mikrometer, sehingga bersentuhan langsung dengan lapisan katalis. Oleh sebab itu, komponen ini bersifat hidrofobik, konduktif elektron yang terbuat dari bahan berpori dan dapat mendistribusikan gas, air serta mentransfer sejumlah elektron (Hasan, 2007).

1.4.4. Current collector

Segmen ini terletak di luar sel utama yang menyimpan machine gas flow field, yaitu plate current collector. Ciri-ciri penting dari current collector ini ialah impermeable terhadap gas, konduktif elektron, dan dapat mendistribusikan gas (Hasan, 2007).

1.5. Pembagian Jenis Fuel cell

Sel bahan bakar juga dapat bersaing sebagai sumber energi alternatif yang bisa digunakan sebagai pembangkit listrik di kalangan otomotif, dan tiga opsi daya standar yang saat ini bersaing untuk memberi daya pada mesin baterai isi ulang (rechargeable), mesin hibrida, dan mesin pembakaran internal (Hasan, 2007). Tergantung pada elektrolitnya, fuel cell secara umum dapat dibagi menjadi 4 macam, yakni : PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell); MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell); SOFC (Solid Oxide Fuel Cell); SPEFC (Solid Polymer Electrolyte Fuel Cell). Pembangkit listrik bertipe Phosphoric Acid Fuel Cell, kondisi teknologinya telah mencapai tahap semi komersial dengan kapasitas mulai dari 50 kW hingga 11 MW, terutama di Jepang, Eropa dan Amerika Serikat. Hambatan yang dihadapi ialah komersialisasi yang dimana daya tahan dan biaya perawatan cukup tinggi dari cell stack (Ratnasari, 2016).

Untuk pembangkit listrik bertipe SOFC, kondisi teknologinya hanya eksperimental, dengan kapasitas mulai dari 1 kW hingga $2,5 \times 10$ kW yang diproduksi oleh negara Italia, Amerika Serikat, dan Jepang. Hambatan yang didapat pada proyek eksperimental meliputi kepadatan energi yang rendah dan cell material sintering (Ratnasari, 2016). Untuk pembangkit listrik bertipe MCFC, kondisi teknologinya sedang dalam tahap uji coba dengan kapasitas mulai dari 30 kW hingga 1 MW (Italia, Amerika Serikat dan Jepang). Selain sebagai pembangkit listrik, tipe ini juga memiliki fungsi sebagai kogenerasi. Hambatan yang didapat pada pengujian ialah pelarutan katoda dalam elektrolit, penurunan tegangan, serta ketahanan material pada temperatur tinggi (Hasan, 2007). Untuk pembangkit listrik bertipe SPEFC, digunakan untuk kendaraan (mobil, bus, kapal). Kondisi teknologi tipe ini baru dalam tahap uji coba dengan kapasitas mulai dari 21 kW hingga 105 kW. SPEFC ini dapat dikembangkan untuk sistem hibrida berbahan bakar hidrogen (Hasan, 2007).

1.6. Penerapan sistem fuel cell di sektor transportasi

Sebuah kendaraan terkait erat pada berat keseluruhan kendaraan dan bahan bakar yang dipakai adalah bahan sistem yang mempengaruhi berat keseluruhan dan kinerja kendaraan. Sebagaimana terlihat, hidrogen sebagai energi alternatif ialah senyawa yang mudah terbakar dan akhirnya akan menjadi sumber energi yang efisien, potensial, dan juga bersih. Jika hidrogen dipakai sebagai bahan bakar fuel cell, kendaraan yang menerapkan teknologi fuel cell lebih ringan daripada kendaraan yang menggunakan bahan bakar lain sebagai sumber daya. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa energi per satuan berat lebih besar (Ratnasari, 2016).

Pengembangan kendaraan listrik menggunakan baterai konvensional dinilai kurang handal karena jarak tempuh yang lebih dekat dan durasi pengisian baterai lebih lama dibandingkan kendaraan umum. Namun, teknologi dan peningkatan fuel cell dapat mengatasi masalah jarak tempuh dan pengisian daya baterai. Selain tangki penyimpanan gas hidrogen, berbagai jenis prototipe kendaraan listrik, menggunakan reformer yang mengubah campuran metana dan

air menjadi gas hidrogen. Misalnya, penggunaan fuel cell pada kendaraan listrik (Hasan, 2007).

Kendaraan listrik fuel cell pada prinsipnya mirip dengan kendaraan listrik yang ada, tetapi menggunakan pembangkit listrik fuel cell dan perangkat penyimpanan gas hidrogen. Pengatur daya juga diperlukan untuk mengontrol suplai daya ke fuel cell, super kapasitor digunakan sebagai penstabil pasokan arus, dan baterai berkapasitas rendah juga bisa untuk sistem hibrida. Chopper DC menyesuaikan besar tegangan yang diberikan pada motor listrik sesuai keinginan pengguna untuk mencapai kecepatan mesin yang bervariasi, kemudian putaran mesin ditransfer ke diferensial / roda (Hasan, 2007).

2. METODE

Karya ilmiah ini mengkaji beberapa artikel terkait dengan topik mengenai pengaplikasian sistem fuel cell pada kendaraan bermotor sebagai salah satu bentuk alternatif ramah lingkungan untuk menanggulangi dampak buruk penggunaan BBM yang berlebihan. Kajian ini didasarkan pada tinjauan beberapa artikel penelitian terdahulu disertai dengan literatur yang relevan. Maka dari itu, metode kajian ini bersifat deskripsi kualitatif. Penelitian ini menganalisis suatu data dengan menggabungkan beberapa data yang berpacu pada peneliti terdahulu (Sugiono, 2013). Tujuan penggunaan metode deskripsi kualitatif ini adalah untuk memberikan gambaran secara sistematis, faktual dan akurat tentang fakta atau fenomena mengenai topik pembahasan yang diteliti.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Proses Pengolahan Gas Hidrogen untuk Fuel Cell

3.1.1. Penggunaan Fuel Cell di Sektor Transportasi dan Pembangkit Ramah Lingkungan (Hasan A, 2007)

Pada penelitian ini dinyatakan bahwa metode elektrolisis air yang dihubungkan dengan energi listrik merupakan salah satu proses produksi hidrogen yang saat ini banyak digunakan. Dekomposisi air pada metode ini terdapat dua macam reaksi pada dua jenis elektroda. Pada proses ini oksigen diproduksi pada anode (+) dan hidrogen pada katode (-), selain itu di proses ini juga terjadi perpindahan muatan dengan aliran ion. Agar dapat mengontrol gas yang dihasilkan tetap terpisah, maka kedua zona reaksi dibatasi oleh separator konduktif ion.

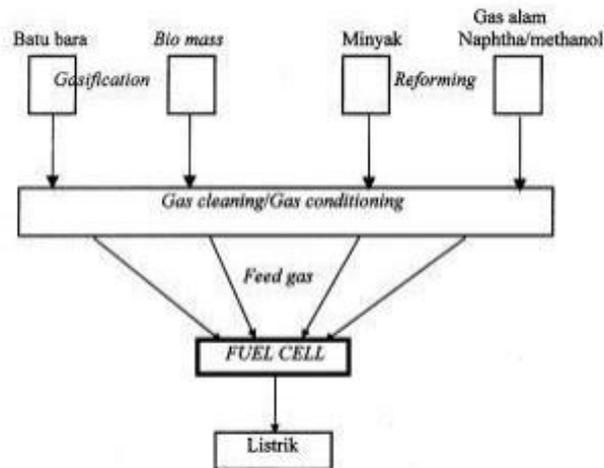
3.1.2. Pengganti Motor Bakar Menggunakan Fuel Cell Pada Kendaraan (Suhada H, 2001)

Pada penelitian ini dinyatakan bahwa sebelum gas hidrogen masuk ke sistem fuel cell harus ditampung terlebih dahulu di dalam tangki yang bertekanan sebesar 25 MPa. Setelah itu, gas hidrogen ini akan dialirkan menggunakan sebuah pipa dan katup pressure regulator yang berfungsi untuk membuat tekanannya menjadi 69 kPa. Sebelum disalurkan masuk ke dalam fuel cell, kelembaban hidrogen wajib dikontrol terlebih dahulu, hal ini karena air yang nantinya ikut masuk akan merusak sistem fuel cell tersebut. Berdasarkan penelitian ini, kelembaban yang dibutuhkan sebesar 60% dengan ditetapkannya suhu 60°C. Agar air tidak masuk ke fuel cell, maka perlu menggunakan water separator yang berfungsi untuk mengangkat air dari aliran gas hidrogen.

3.1.3. Penggunaan Fuel Cell Untuk Menghasilkan Energi Abad 21 (Suhada H, 2001)

Pada penelitian ini dinyatakan bahwa hidrogen merupakan suatu bahan bakar yang bersifat "low density energy", maka dari itu untuk memperoleh energi yang cukup dibutuhkan kadar hidrogen yang cukup besar. Untuk memperoleh hidrogen yang cukup besar, maka perlu dilakukan reaksi dengan uap air. Selama proses pembersihan gas, bagian-

bagian seperti belerang, klorin, dan debu yang semula terkandung dalam bahan bakar akan dibersihkan, sedangkan gas yang tidak diinginkan seperti CO diubah selama pengkondisian. Hasil akhir dari mekanisme ini berupa feed gas dan dapat digunakan dalam fuel cell.



Gambar 2. Proses Pengolahan Hidrogen

3.2. Proses Pengolahan Hidrogen

3.2.1. Peran Hidrogen Pada Aplikasi Fuel Cell Dalam Infrastruktur Ekonomi (Rosyid A.O.O, 2009)

Pada penelitian ini dinyatakan bahwa hidrogen tidak dapat ditemui secara bebas seperti gas lain yang ada di alam, sehingga perlu untuk memisahkan hidrogen dari unsur-unsur lain. Hidrogen secara umum dapat diperoleh dengan mengekstraksi dari hidrokarbon fosil dengan proses kimia. Selain itu, hidrogen juga bisa diperoleh dari air dengan produksi biologis, elektrolisis serta reduksi kimia. Setiap wilayah dari suatu negara maupun dunia memiliki sejumlah sumber daya yang tersedia untuk memproduksi hidrogen.

3.3. Proses Reforming

3.3.1. Steam Reforming Gas Alam Untuk Produksi Hidrogen (Alimah S, 2016)

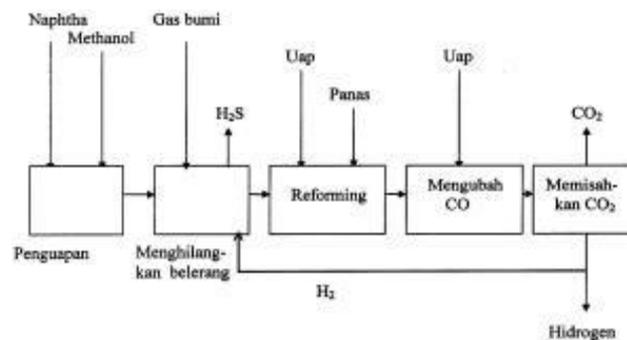
Pada penelitian ini dinyatakan bahwa pada industri otomotif, gas hidrogen juga bisa dipakai selaku fuel cell guna kendaraan. Di zaman sekarang, pembuat kendaraan telah sanggup merancang kendaraan berbahan bakar hidrogen pada standar komersial. Tidak hanya itu, pemerintah sudah merespons pembeberan proses penciptaan batu bara berupa liquid selaku sumber tenaga alternatif, lewat Inpres Nomor. 2/2006. Dalam proses penciptaan batu bara liquid diperlukan hidrogen buat proses hidrogenasi. Maka dari itu, bermacam utilitas dari hidrogen, hingga variasi pada proses penciptaan hidrogen lebih dibutuhkan di zaman yang akan datang.

3.3.2. Penggunaan Fuel Cell Untuk Menghasilkan Energi Abad 21 (Suhada H, 2001)

Pada penelitian ini dinyatakan bahwa setelah melalui proses pengolahan gas hidrogen, terdapat reaksi yang tercipta antara bahan bakar seperti metana, metanol, dan nafta yang

ditambahkan uap air dalam proses reforming, maka akan menghasilkan feed gas atau hidrogen, berikut reaksi kimianya :

- Reforming gas bumi (metana)
 $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$
- Reforming metanol (methyl alcohol)
 $CH_3OH + H_2O \rightarrow CO_2 + 3H_2$
- Reforming nafta
 $C_nH_m + nH_2O \rightarrow nCO + (n+m/2) H_2$
- Reaksi sampingan dan reaksi lanjutan
 $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$
 $CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$



Gambar 3. Proses Reforming

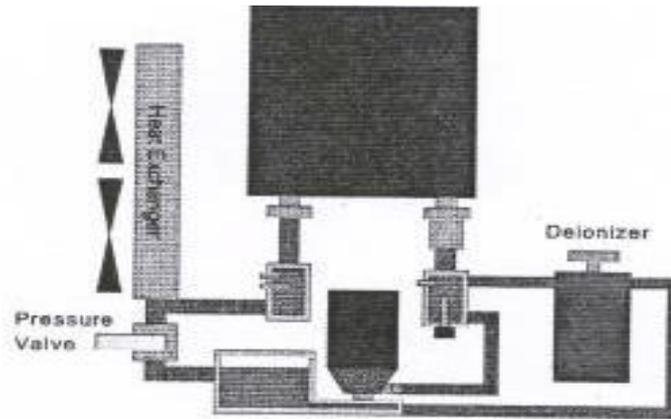
3.3.3. Pengganti Motor Bakar Menggunakan Fuel Cell Pada Kendaraan (Suhada H, 2001)

Pada penelitian ini dinyatakan bahwa sebagai bentuk untuk mencegah hambatan yang dihasilkan gas hidrogen, maka bisa diubah menggunakan metanol, yang memiliki sifat cair pada kondisi lingkungan (<337,65°K). Sifat lainnya dari metanol, antara lain : bersifat asam, mudah menguap dan mudah terurai jika ditambahkan air . Maka dari itu untuk menyimpan metanol perlu digunakan tangki khusus yang rapat. Sebelum gas hidrogen terbentuk, maka metanol harus dicampur dengan uap air di dalam reformer disertai sebuah katalisator.

3.4. Sistem Thermal untuk Mengatur Temperatur Fuel Cell

3.4.1. Pengganti Motor Bakar Menggunakan Fuel Cell Pada Kendaraan (Suhada H, 2001)

Pada penelitian ini dinyatakan bahwa panas merupakan hasil samping dari sistem fuel cell, jika panas yang dihasilkan berlebih dapat merusak fuel cell, sehingga panas yang dihasilkan harus dikeluarkan. Pada tabung reservoir diisi dengan air dingin, setelah itu akan memasuki proses diionized, kemudian air masuk ke fuel cell untuk dikurangi panasnya, lalu dibuang gasnya menggunakan heat exchanger. Dengan ini penggunaan fuel cell dapat bertahan lebih lama. Kualitas bahan bakar dan udara juga perlu diperhatikan. Air dan panas perlu dikeluarkan secara kontinu, karena air dan panas merupakan produk samping dari fuel cell.

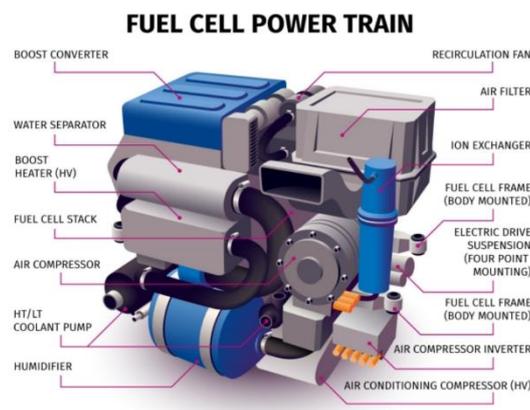


Gambar 4. Rangkaian komponen heat exchanger fuel cell

3.5. Kelengkapan Penerus Energi (Drive Train)

3.5.1. Pengganti Motor Bakar Menggunakan Fuel Cell Pada Kendaraan (Suhada H, 2001)

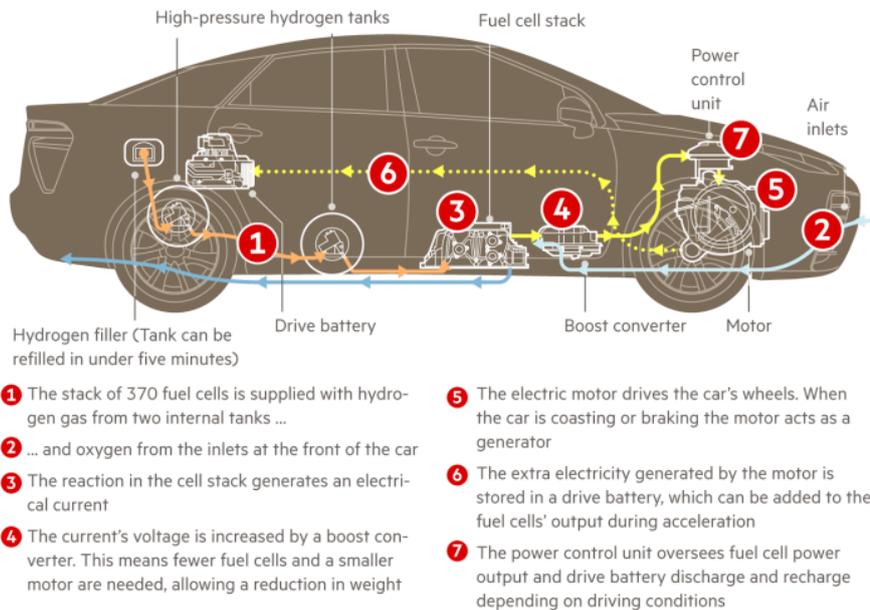
Pada penelitian ini dinyatakan bahwa komponen pada sistem fuel cell berbeda dengan kendaraan konvensional, karena tenaga yang dihasilkan berupa listrik. Bahan bakar pada fuel cell stack bersumber dari tabung hidrogen dan oksigen yang didapatkan dari kompresor udara. Poros roda dapat berputar ketika transaxle diganti dengan tenaga mekanik, yang berasal dari tenaga listrik pada *boost converter*.



Gambar 5. Fuel Cell Power Train (Sumber: dsm.com)

Tegangan listrik pada fuel cell lebih rendah dibandingkan dengan motor bakar, yaitu 60-110V, maka digunakan boost converter, sebagai interface dan beban fuel cell. Beban yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan, supaya meningkatkan efisiensi sistem. Motor dapat berputar karena arus DC dari fuel cell diubah menjadi arus AC menggunakan Traction inverter. Sistem transaxle yang digerakkan motor listrik diubah seperti tenaga penggerak mekanis yang bisa memutar poros roda, digunakanlah Vehicle Interface Module (VIM) untuk mengendalikan kendaraan, termasuk pengaturan kecepatan, pengereman, posisi jalur, berhenti, mundur, maju, netral. Untuk mengetahui keadaan tegangan, temperatur, tekanan, speedometer, tachometer, dapat menggunakan impuls.

How the Mirai works: the drive train



Graphic: Ian Bott
© FT

Gambar 6. Drive Train Toyota Mirai (Sumber: ft.com)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelusuran dan pengkajian dari beberapa referensi terdahulu terkait penggunaan fuel cell sebagai salah satu energi alternatif, diperoleh beberapa proses dan sistem dalam penerapannya seperti: Fuel cell merupakan sebuah perangkat elektrokimia yang secara kontinu mengkonversikan energi kimia menjadi energi listrik. Pengolahan gas hidrogen fuel cell bekerja melalui tahapan awal sebelum gas tersebut dimasukkan ke dalam sistem fuel cell untuk dijadikan sebagai bahan bakar. Proses reforming menjadi tahapan alternatif yang menggunakan gas metanol sebagai bahan bakar fuel cell untuk menghindari kendala-kendala yang ditimbulkan gas hidrogen. Sistem thermal fuel cell, tahapan yang digunakan untuk mengatur suhu agar sistem fuel cell tidak cepat rusak akibat panas yang ditimbulkan dari hasil samping kinerja sistem tersebut. Penerus energi (drive train) fuel cell salah satu alat yang digunakan untuk mengantisipasi transformasi yang ekstrem pada sistem fuel cell, karena sistem ini sangat berbeda dengan motor bakar yang lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ketua Program Studi Teknologi Pulp dan Kertas Ibu Ni Njoman Manik Susantini, ST., MT., Sekretaris Program Studi Teknologi Pulp dan Kertas Ibu Nurul Ajeng Susilo, S.Si., MT., dan seluruh Pengajar di Program Studi Teknologi Pulp dan Kertas Ibu Rachmawati Apriani, ST., MT., Bapak Dr. Edwin K. Sijabat, ST., MT., dan Bapak Ir. Tri Prijadi Basuki yang telah banyak memberikan masukan dan pandangan dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Agence France-Presse. EVS ARE THE FUTURE: A LIST OF ALL CARMAKERS WHO HAVE DECIDED TO PHASE OUT ICE VEHICLES AND GO ELECTRIC, (Online), 25 Juni 2021 (<https://www.firstpost.com/tech/news-analysis/evs-are-the-future-a-list-of-all-carmakers-who-have-decided-to-phase-out-ice-vehicles-and-go-electric-9744401.html>, diakses 1 November 2021).
- Airbus.com. (2020). Hydrogen fuel cells, explained, (Online), 15 Oktober 2020 (<https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2020-10-hydrogen-fuel-cells-explained>, diakses 14 Januari 2022).
- Alimah S, Dewita E & Priambodo D. (2016). Aspek Termodinamika Produksi Hidrogen dengan Proses Steam Reforming Gas Alam.
- Behling, N. H. (2013). Strengths and Weaknesses of Major Government Fuel Cell R&D Programs. *Fuel Cells*, 601-619. doi:10.1016/b978-0-444-56325-5.00008-9
- Behling, N. H. *Fuel Cells Current Technology Challenges and Future Research Needs*, Noriko Hikosaka Behling, 2013.
- Bin, Yu. Tamim Peter Sidiki. Material solutions to increase tank-to-wheel efficiency & reliability of fuel cells, (Online), 10 April 2020 (https://www.dsm.com/engineering-materials/en_US/blog/material-solutions-increase-tank-to-wheel-efficiency-reliability-of-fuel-cells.html, diakses 14 Januari 2022).
- Chandrasa, G. T., Zuhail, Rinaldy, & Hoetman, A. R. FUELCELL HIDROGEN TIPE PEM SEBAGAI SUMBER ENERGI MOBIL LISTRIK ULTRA RINGAN, *Jurnal Ilmiah Teknologi Energi*, Februari 2006.
- Damisih. Teknologi Fuel Cell Yang Ramah Lingkungan dan Aplikasinya, (Online), 22 April 2016 (<https://ptm.bppt.go.id/kegiatan-dan-kerja-sama/berita/341-teknologi-fuel-cell-yang-ramah-lingkungan-dan-aplikasinya>, diakses 1 November 2021).
- Edric Sunfresly Zalukhu, dkk. Produksi Energi Listrik Dengan Sistem Microbial Fuel Cell Menggunakan Substrat Limbah Tempe, (Online), April 2019 (<https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/8965/8851>, diakses 31 Oktober 2021).
- Erwin. (2021). Implementasi Sistem ISO 14001 dalam Mendukung Pencapaian Kinerja Keberlanjutan Perusahaan di Industri Manufaktur Pulp dan Kertas di Indonesia. *Research Paper Vol 3, No 2*, Tahun 2021.
- Gold, A. Honda Plans to Dump Internal-Combustion Engines by 2040, (Online), 23 April 2021 (<https://www.motortrend.com/news/honda-electric-vehicles-2040/>, diakses 1 November 2021).
- Grzelweski, J. Ford slated to spend more on EVs than on internal combustion engine vehicles in 2023, (Online), 2 Agustus 2021
- Kajian Penerapan Sistem (Erwin, dkk), halaman*

(<https://www.detroitnews.com/story/business/autos/ford/2021/08/02/ford-slated-spend-more-evs-than-conventional-vehicles-2023/5454545001/>, diakses 1 November 2021).

Gusti. Sampai 2030, Indonesia Masih Bergantung pada Energi Fosil, (Online), 30 Juni 2008 (<https://ugm.ac.id/id/berita/357-sampai-2030-indonesia-masih-bergantung-pada-energi-fosil>, diakses 4 Oktober 2021).

Harahap, I. F. Mengenal Fuel Cell, Teknologi Pembangkit Listrik Tanpa Limbah, (Online), 30 Oktober 2018 (<https://ifanafutrasyahharahap.medium.com/mengenal-fuel-cell-teknologi-pembangkit-listrik-tanpa-limbah-1d193e1f492d>, diakses 1 November 2021).

Hasan, A. APLIKASI SISTEM FUEL CELL SEBAGAI ENERGI RAMAH LINGKUNGAN DI SEKTOR TRANSPORTASI DAN PEMBANGKIT, (Online), September 2007 (<http://ejurnal2.bppt.go.id/index.php/JTL/article/view/435/335>, diakses 31 Oktober 2021).

JETRO Japan Economic Report, Japan's Fuel Cell Industry, JETRO based on data from Fuji-Keizai Co., Ltd, Osaka, 2006.

Miller, Joe. David Keohane. Car groups throw spanner in works of EU's hydrogen drive, (Online), 10 Maret 2021 (<https://www.ft.com/content/a1325d48-6c76-4b6f-81e8-2be504c21791>, diakses 14 Januari 2022).

Millikin, M. Yanmar conducts field demonstration test for maritime hydrogen fuel cell system, (Online), 25 Maret 2021 (<https://www.greencarcongress.com/2021/03/20210325-yanmar.html>, diakses 31 Oktober 2021).

Nuriana Y. (2017). Analisis Pengaruh Waktu Sputtering Pd Dan Ni Pada Sintesis Material Elektrokatalisis Berbahan Pd-Ni/Graphene Terhadap Unjuk Kerja Direct Methanol Fuel Cell (DMFC). Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Rahman, M. A. PEMBUATAN MOBIL LISTRIK UNTUK SOLUSI TRANSPORTASI RAMAH LINGKUNGAN (MOBIL BASKARA), (Online), 2 Agustus 2013 (<https://jrd.bantulkab.go.id/wp-content/uploads/2017/2013/04-jrd-ags-13-1.pdf>, diakses 4 Oktober 2021).

Ratnasari DD. (2016). Pengaruh Material Graphene Oksida/X dan Graphene/X (X= Au, Pd Dan Pdau) sebagai Elektrokatalis terhadap Unjuk Kerja Direct Methanol Fuel Cell (DMFC). Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Rosyid Abdul O.O, Oktaufik M.A.M. (2009). INFRASTRUKTUR HIDROGEN UNTUK APLIKASI FUEL CELL DALAM ERA EKONOMI HIDROGEN. J.Ilm.Tek.Energi Vol. 1 No. 9 Agustus 2009: 1-14.

Shepard, J. Astris Energi Debuts Model E8 Portable Generator, (Online), 22 September 2004 (<https://eepower.com/new-industry-products/astris-energi-debuts-model-e8-portable-generator/>, diakses 31 Oktober 2021).

- Stevens, T. Samsung's latest fuel cell prototype proves again that soldiers get the coolest toys, (Online), 9 April 2009 (<https://www.engadget.com/2009-04-09-samsungs-latest-fuel-cell-prototype-proves-again-that-soldiers.html>, diakses 31 Oktober 2021).
- Sugiono D. (2013). Metode penelitian pendidikan pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R&D. Perpustakaan UNIGRES. (digilib.unigres.ac.id).
- Suhada H. (2001). Fuel Cell Sebagai Pengganti Motor Bakar Pada Kendaraan. JURNAL TEKNIK MESIN Vol. 3, No. 2, Oktober 2001: 85 - 91. (<http://puslit.petra.ac.id/journals/mechanical/>).
- Suhada H. (2001). Fuel Cell Sebagai Penghasil Energi Abad 21. JURNAL TEKNIK MESIN Vol. 3, No. 2, Oktober 2001: 92 - 100. (<http://puslit.petra.ac.id/journals/mechanical/>).
- Sulistiyono. PEMANASAN GLOBAL (GLOBAL WARMING) DAN HUBUNGANNYA DENGAN PENGGUNAAN BAHAN BAKAR FOSIL, (Online), 2012 (<http://ejournal.ppsdmmigas.esdm.go.id/sp/index.php/swarapatra/article/download/60/49/>, diakses 4 Oktober 2021).
- U.S. Department of Energy, Fuel Cell Handbook (Seventh Edition), EG&G Technical Services, Inc., Morgantown November, 2004.
- Wiratmini, N. P. E. Indonesia Masih Bergantung pada Energi Fosil untuk Jangka Panjang, (Online), 25 Maret 2019 (<https://ekonomi.bisnis.com/read/20190925/44/1152391/indonesia-masih-bergantung-pada-energi-fosil-untuk-jangka-panjang>, diakses 4 Oktober 2021).