

TINJAUAN PRODUKSI HIDROGEN DAN OPTIMASI FUEL CELL DALAM *HYDRO-POWER PLANT*

Erdiansyah

Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Kebangsaan

Email: erdianz@gmail.com

Abstrak

Kebutuhan Hidrogen sebagai solusi dari Sistem Energi Baru dan Terbarukan dari tahun ke tahun semakin meningkat. Indonesia yang berada di daerah katulistiwa dan sebagian besar wilayahnya berupa kepulauan mempunyai potensi yang sangat besar dalam menghasilkan hidrogen. Menjadi tantangan bagaimana kita dapat memanfaatkan hal tersebut dengan salah satu cara memproduksi hidrogen yang diintegrasikan dengan pembangkit listrik tenaga air (Hydro Power) dengan varian teknologi elektrolisis yang tersedia. Hidrogen yang diproduksi oleh hydro-power dapat langsung digunakan dalam sistem pembangkit *Fuel Cell*, sehingga dapat menghasilkan listrik lebih besar. Penelitian dan pengembangan prototype jenis-jenis fuel cell sangat diperlukan untuk meningkatkan daya saing kita sebagai bangsa. Pemanfaatan sensor dan teknologi informasi dalam meningkatkan optimalisasi kerja fuel cell menjadi kebutuhan dalam era revolusi industri 4.0.

Kata kunci: hidrogen, elektrolisis, hydro-power, fuel cell, sensor

Abstract

The need for Hydrogen as a solution of the New and Renewable Energy System from year to year is increasing. Indonesia, which is in the equator and most of its territory in the form of islands, has huge potential in producing hydrogen. It is a challenge how we can utilize this with one of the ways to produce hydrogen which is integrated with hydro power with the available electrolysis technology variants. Hydrogen produced by hydro power can be directly used in Fuel Cell generating systems, so that it can produce more electricity. Research and development of prototype types of fuel cells is needed to improve our competitiveness as a nation. The use of sensors and information technology in improving the optimization of fuel cell work has become a necessity in the era of the industrial revolution 4.0.

Keywords: hydrogen, electrolysis, hydro power, fuelcell, sensors

I. PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia telah berhasil mengidentifikasi potensi terbesar yang terkandung di alam untuk energi terbarukan berupa tenaga air, hal tersebut dilakukan untuk meningkatkan produksi energi diluar energi fosil. Hasilnya diperkirakan terdapat 75 GW tenaga air akan tetapi sampai dengan tahun 2008 baru sekitar 5% yang telah dimanfaatkan. Kapasitas dari pembangkit listrik tenaga air berkisar dari 1 sampai dengan 10 MW yang mana hal tersebut dapat memenuhi kebutuhan untuk pulau terpencil dan pedesaan (Hanafi, Riman, 2015).

Potensi pemanfaatan Mikrohidro di Indonesia pada Gambar 1 memperlihatkan banyaknya lokasi yang dapat dijadikan potensi produksi hidrogen. Hal ini juga dapat menggambarkan potensi pembangkit listrik tenaga fuel cell yang dapat mendorong produktivitas masyarakat daerah sekitar. Sistem energi hibrid menggunakan lebih dari satu sumber untuk menghasilkan listrik dan mendistribusikannya kepada pengguna akhir (Poudel, et al, 2020). Oleh

karena itu dapat dikatakan potensi pemanfaatan mikrohidro di Indonesia berbanding lurus dengan potensi sistem energi hibrid terutamanya dalam produksi hidrogen yang kemudian dapat dikonveksi menjadi energi listrik melalui sistem Fuel Cell.

Namun beberapa kekurangan dapat membatasi penggunaan aplikasi sel hidrogen sebagai bahan bakar. Sel bahan bakar efisien tinggi menggunakan hidrogen murni tetapi, selama fungsi normal Fuel Cell, kelebihan kadar nitrogen dapat melintasi membran elektrolit, sehingga menipiskan konsentrasi hidrogen dalam kompartemen anoda, yang mengakibatkan penyebab utama ketidak efisienan energi tersebut pada perangkat *Fuel Cell*. Untuk itu harus dipastikan kerja *Fuel Cell* dapat membuat konsentrasi hidrogen setinggi mungkin (mendekati 100%). Selain itu terdapat kekurangan dari hidrogen adalah karakter eksplosifnya yang dalam perspektif keamanan dan alasan teknis sangat rentan yang mengakibatkan pemantauan hidrogen dalam aplikasi sel bahan bakar sangat penting. (Leonardi,, et. al, 2018). Untuk itu

pemanfaatan sensor yang didukung oleh teknologi informasi sangatlah penting untuk menjamin efektifitas dan mengoptimalkan kerja sistem *fuel cell*. Artikel ini membahas bagaimana memproduksi hidrogen dan optimasi fuel cell dalam pembangkit listrik tenaga air (*hydro power cell*).

II. TINJAUAN PUSTAKA

Life Cycle Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Terintegrasi

Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di pulau terpencil dan daerah pedalaman diperlukan pembangkit listrik mandiri dana pembangkit listrik mikrohidro sangat tepat untuk di implementasikan. Pada table 1 terlihat klasifikasi pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Perbedaan klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) terletak pada besarnya tenaga listrik yang dihasilkan, (lihat pada Tabel 1) PLTA ukuran 100 – 1000 kW digolongkan sebagai minihidro (Mantiri, et. al, 2018).

Tabel 1. Klasifikasi PLTA

Klasifikasi Pembangkit	Daya
Large Hydro	> 100 MW
Medium Hydro	15 – 100 MW
Small Hydro	1 – 15 MW
Mini Hydro	100 kW – 1 MW
Micro Hydro	5 100 kW
Piko Hydro	< 5 kW

Sumber: Mantiri, at all, 2018

Indonesia memiliki keuntungan geografis karena memiliki banyak sungai yang dapat menghasilkan tenaga air. Potensi tenaga air Indonesia dari sungai untuk menghasilkan listrik sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro sekitar 15 kW atau lebih banyak ditunjukkan pada Tabel 2. Dapat dilihat bahwa potensi total untuk aplikasi mikrohidro di seluruh negeri ini 143.845,30 kW. Selain itu, hampir semua jenis turbin dapat diterapkan dengan head lebih rendah kurang dari 5 meter saat ini, sehingga akan meningkatkan potensi tenaga air sungai bahkan dari beberapa irigasi (Erinofiardi, et. al, 2017).

Tabel 2. Energi potensial dari sungai untuk mikro hidro

No	Province	Number of Location	Potential Capacity (kW)
1	Aceh	3	2,862.4
2	Sumatera Utara	11	9,329.2
3	Sumatera Barat	13	26,819.0
4	Sumatera Selatan	4	10,238.0
5	Jambi	2	1,360.0
6	Bengkulu	13	21,458.4
7	Lampung	3	3,494.0
8	Jawa Timur	1	2,486.9
9	Kalimantan Barat	3	2,079.8
10	Kalimantan Selatan	4	2,743.9
11	Kalimantan Timur	4	980.0
12	Kalimantan Tengah	6	2,838.0
13	Sulawesi Utara	5	5,059.4
14	Sulawesi Tengah	12	10,225.0
15	Sulawesi Selatan	14	14,135.3
16	Sulawesi Tenggara	2	1,154.4
17	Nusa Tenggara Barat	10	4,143.6
18	Nusa Tenggara Timur	18	14,849.8
19	Maluku	5	1,809.0
20	Papua	8	5,743.2
Total			143,845.3

Sumber: Erinofiardi, at all, 2017

Pengembangan pembangkit listrik mikrohidro tampaknya bergerak lambat di Indonesia, meskipun banyak sumber daya untuk mikro hidro tersedia di seluruh negara ini. Sementara itu, rasio elektrifikasi di Indonesia menunjukkan masih banyak daerah memiliki jumlah yang rendah. Pada tahun 2010, rasio elektrifikasi di Indonesia adalah 67,15% dan naik menjadi 84,35% pada akhir tahun 2014. Jawa dan Sumatera adalah daerah dengan rasio elektrifikasi lebih dari 70%, diikuti oleh Kalimantan, Sulawesi, dan Maluku dengan 60%, Nusa Tenggara Barat 50%, Nusa Tenggara Timur 40% dan Papua lebih dari 35%. Hal ini membutuhkan perhatian dan dukungan dari pemerintah Indonesia untuk meningkatkan rasio elektrifikasi untuk daerah khususnya Indonesia bagian Timur. Dengan memberikan upaya lebih dari pemerintah untuk meningkatkan jumlah mikrohidro yang terpasang adalah salah satunya solusi alternatif untuk menaikkan rasio elektrifikasi di Indonesia. (Erinofiardi, et. al, 2017)

Metodologi Life Cycle Assessment (LCA) digunakan untuk menyusun dan mengevaluasi input, output dan potensi dampak lingkungan yang terkait dengan sistem produk melalui siklus hidupnya. Empat tahap terlibat dalam studi LCA:

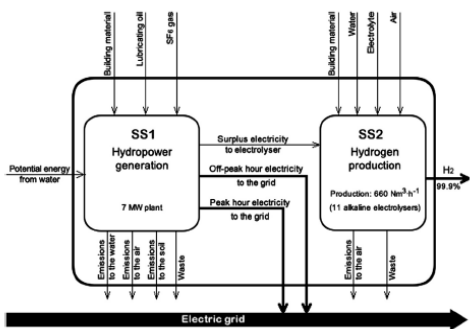
- a. tujuan dan definisi ruang lingkup, tujuan dan potensi penggunaan studi didefinisikan, serta aspek kunci lainnya seperti batas sistem, unit fungsional (FU), asumsi dan pembatasan.

- b. analisis inventaris siklus hidup, berfokus pada pengumpulan data, membutuhkan inventaris data input dan output sistem yang diteliti.
- c. dampak siklus hidup penilaian, terdiri dari tiga langkah wajib:
 - i. seleksi kategori dampak, indikator dan karakterisasi model;
 - ii. klasifikasi, yaitu asosiasi data inventaris dengan kategori dampak yang dipilih;
 - iii. karakterisasi, mis. perhitungan hasil masing-masing indikator kategori oleh mengubah elemen inventaris siklus hidup ke unit umum (menggunakan faktor karakterisasi) dan menggabungkan yang dikonversi hasil dalam kategori dampak yang sama;
- d. interpretasi, hasilnya dirangkum dan didiskusikan untuk mengidentifikasi masalah yang relevan dan memberikan kesimpulan, rekomendasi dan informasi, sehingga mendukung proses pengambilan keputusan (Valente, et. al, 2015).

pembangkit tenaga air), sedangkan hidrogen diproduksi melalui elektrolisis menggunakan kelebihan listrik dari pembangkit listrik tenaga air (lihat Sub Sistem produksi hidrogen). Bila diperhatikan jumlah elektrolisis yang digunakan produksi hidrogen pada jam tidak sibuk tidak maksimal dan juga diperhatikan oksigennya aliran yang berasal dari elektroliser diasumsikan dilepaskan ke atmosfer, dan karena itu tidak dianggap menjadi produk sampingan dari sistem (Valente, et. al, 2015).

Produksi Hidrogen

Hidrogen adalah pembawa energi yang paling efisien. Hidrogen dapat diperoleh dari berbagai sumber mentah bahan termasuk air. Di antara banyak metode produksi hidrogen, ramah lingkungan dan kemurnian tinggi hidrogen dapat diperoleh dengan elektrolisis air. Namun, dari segi keberlanjutan dan lingkungan dampaknya, elektrolisis air PEM dianggap sebagai teknik yang paling menjanjikan untuk efisiensi tinggi murni produksi hidrogen dari sumber energi terbarukan dan hanya mengeluarkan oksigen sebagai produk sampingan tanpa emisi karbon. Selain itu, hidrogen (H₂) dan oksigen (O₂) yang dihasilkan langsung digunakan untuk sel bahan bakar dan aplikasi industri. Namun, pemisahan air secara keseluruhan hanya menghasilkan 4% dari industri global hidrogen diproduksi oleh elektrolisis air, terutama karena masalah ekonomi. Saat ini meningkatkan keinginan produksi hidrogen hijau telah meningkatkan minat elektrolisis air *Proton Exchange Membrane (PEM)* (Kumar, Himabindu, 2019).



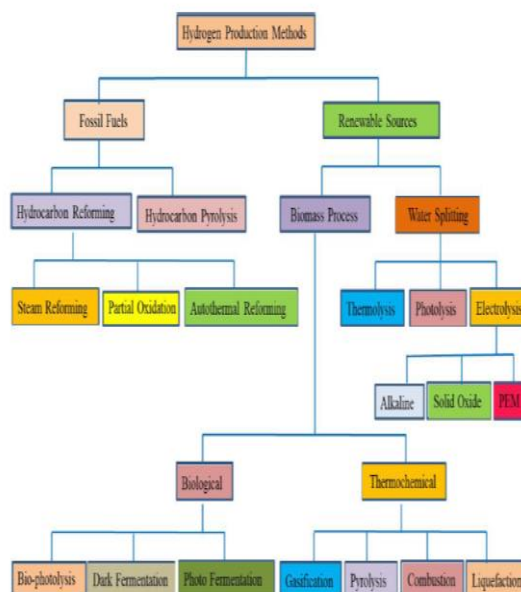
Gambar 2. Diagram *LifeCycle* Sederhana Sistem Hidro-H₂
(Sumber: Valente, et. al, 2015)

III. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode studi pustaka (*library research*), dimana data yang diperlukan dalam pembahasan masalah, dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari berbagai sumber pustaka berupa teori-teori tentang konsep listrik, pembangkit listrik serta dan hasil penelitian di lapangan yang sudah pernah ada sebelumnya. Kemudian dianalisis dan disimpulkan hasilnya.

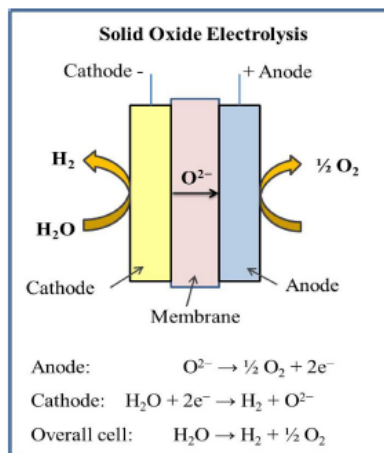
IV. PEMBAHASAN

Sistem Hidro-H₂ menghasilkan produk-produk energi seperti terlihat pada gambar 2. termasuk listrik pada jam sibuk dan di luar jam sibuk dimasukkan ke jaringan dan hidrogen dengan kemurnian 99,9 vol%. Listrik di kedua puncak dan jam tidak sibuk diproduksi di pembangkit listrik tenaga air itu sendiri (SS1, lihat subsistem



Gambar 3. Metode produksi hidrogen
(Kumar, Himabindu, 2019)

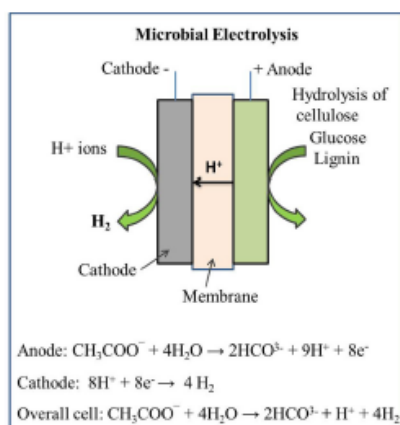
masalah terkait dengan kurangnya stabilitas dan degradasi, yang harus diselesaikan sebelum pergi ke komersialisasi pada skala besar.



Gambar 5. Elektrolisis oksida padat
(Sumber: Kumar, Himabindu, 2019)

Microbial Electrolysis (MEC)

Produksi hidrogen dengan teknologi Microbial electrolysis cell (MEC) dapat dicapai dengan bahan organik termasuk biomassa terbarukan dan wastewaters dan teknologi MEC ini terkait erat ke sel bahan bakar mikroba (MFC) tetapi prinsip operasionalnya terbalik MFC [170]. Pendekatan Microbial electrolysis cell (MEC) pertama kali diperkenalkan oleh dua organisasi penelitian independen seperti Penn universitas negeri dan Universitas Wageningen, Belanda pada tahun 2005. Dalam sel elektrolisis mikroba (MEC), energi listrik diubah menjadi energi kimia. MEC menghasilkan hidrogen dari bahan organik di pengaruhi arus listrik.



Gambar 6. Elektrolisis Mikro Biologi
(Sumber: Kumar, Himabindu, 2019)

PEM Water Electrolysis

Elektrolisis air PEM pertama kali diidealkan oleh Grubb dalam awal lima puluhan dan General Electric Co. dikembangkan pada tahun 1966 hingga mengatasi kelemahan elektrolisis air alkali. Teknologi elektrolisis air PEM serupa dengan Teknologi sel bahan bakar PEM, di mana membran polisulfonasi padat (Nafion, fumapem) digunakan sebagai elektrolit (konduktor proton).

Tabel 4. Perbandingan jenis eletrolisis

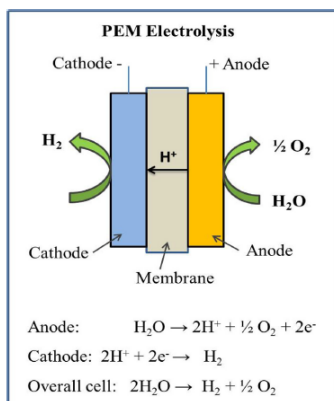
Electrolysis process	Advantages	Disadvantages
Alkaline Electrolysis	Well established technology Non-noble electro catalysts Low cost technology The energy efficiency is (70-80%) Commercialized	Low current densities Formation of carbonates on the electrode decreases the performance of the electrolyser Low purity of gases Low operational pressure (3-30 bar) Low dynamic operation
Solid Oxide Electrolysis	Higher efficiency (90-100%) Non-noble electro catalysts High working Pressure	Laboratory stage Large system design Low durability
Microbial Electrolysis	Used different organic waste waters	Under development Low hydrogen production rate Low purity of hydrogen
PEM Electrolysis	High current densities Compact system design and Quick Response Greater hydrogen production rate with High purity of gases (99.99%) Higher energy efficiency (80-90%) High dynamic operation	New and partially established High cost of components Acidic environment Low durability Commercialization is in near term

Sumber: (Kumar, Himabindu, 2019)

Karena itu, salah satunya tantangan utama dalam elektrolisis air PEM adalah untuk mengurangi produksi biaya dan untuk mempertahankan efisiensi tinggi. Sejak itu, substansi dari banyak penelitian telah dikhususkan untuk meningkatkan komponen PEM elektrolisis air sehingga teknologi ini dapat masuk pasar komersial.

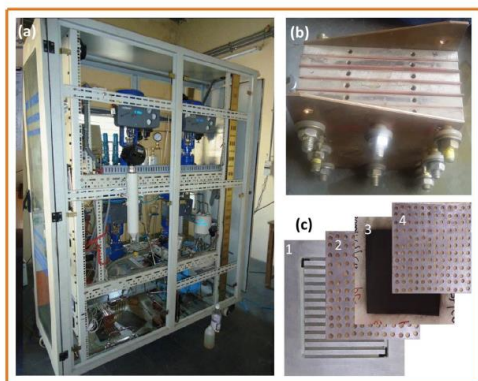
a. Prinsip PEM Elektrololisis Air

Dalam elektrolisis air PEM, air secara elektrokimia dipecah menjadi hidrogen dan oksigen pada masing-masing elektroda seperti hidrogen di katoda dan oksigen di anoda. Elektrolisis air PEM diperoleh dengan memompa air ke anoda di mana ia tumpah ke oksigen (O2), proton (H +) dan elektron (e). Proton-proton ini berjalan melalui membran konduktor melakukan ke sisi katoda. Elektron keluar dari anoda melalui rangkaian daya eksternal, yang memberikan kekuatan pendorong (tegangan sel) untuk reaksi. Di sisi katoda, proton dan elektron bergabung kembali untuk menghasilkan hidrogen, mekanisme berikut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Elektrolisis air alkali
(Sumber: Kumar, Himabindu, 2019)

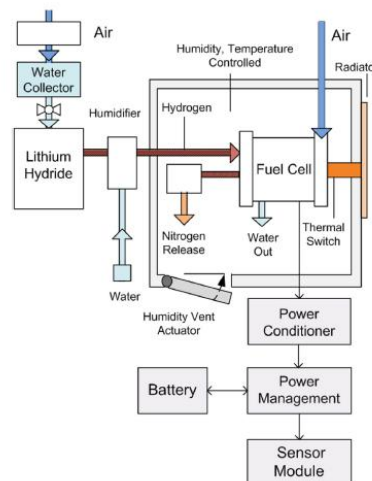
- b. **Komponel PEM Elektrolisis Air**
Komponen sel elektrolisis air PEM yang utama adalah Membrane Electrode Assemblies (MEA), Kolektor Arus (lapisan pemisah gas), dan pelat pemisah. Gambaran umum air PEM perakitan sel elektrolisis ditunjukkan pada Gambar. 8. Namun, inti dari elektrolisis MEA adalah memisahkan sel menjadi dua bagian (anoda dan katoda).



Gambar 8. Komponen PEM Elektrolisis
(Sumber: Kumar, Himabindu, 2019)

APLIKASI SENSOR DAN TEKNOLOGI INFORMASI

Pada bagian ini akan di jelaskan bagaimana sistem control pada fuel cell diterapkan untuk mencapai umur panjang. Diagram blok dari catu daya sel bahan bakar ditunjukkan pada Gambar. 9. Sel bahan bakar catu daya terdiri dari beberapa komponen penting, generator hidrogen, sel bahan bakar, kelembaban dan suhu pengontrol, sistem manajemen udara, dan manajemen daya pengontrol (Thangavelautham, et. al, 2017).



Gambar 9. Komponen PEM Elektrolisis
(Sumber: Thangavelautham, et. al, 2017)

Pengaturan Tenaga (Daya)

Catu daya sel bahan bakar yang diusulkan terdiri dari sel bahan bakar sistem hybrid. Sel bahan bakar secara konstan mengisi a baterai dan sistem sel baterai / bahan bakar secara berkala memberi daya pada a beban listrik. Dengan memiliki beberapa sel bahan bakar secara seri, bersih voltase dapat diatur cukup tinggi untuk mengisi baterai tanpa baterai penggunaan elektronik tambahan (Thangavelautham, et. al, 2017).

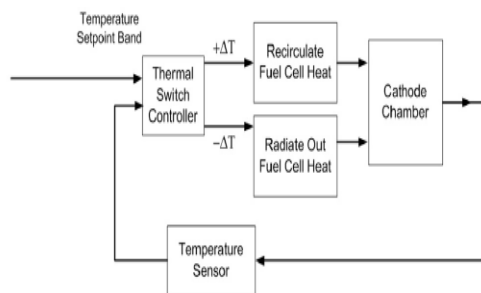
Pengaturan Udara dan Air

Tujuan dari sistem manajemen udara adalah untuk memastikan oksigen dikirim ke katoda sel bahan bakar dan memastikan inert gas seperti nitrogen tidak menumpuk di anoda. Kami berasumsi Sel bahan bakar PEM udara yang bernapas digunakan, karenanya oksigen secara bebas diekstraksi dari udara. Diperkirakan kerugian kebocoran hidrogen sebesar 5% (Thangavelautham, et. al, 2017).

Pengaturan Panas

Seperti disebutkan sebelumnya, menjaga sel bahan bakar di tempat yang terkontrol suhu secara substansial dapat mengurangi degradasi sel bahan bakar. Ini menghindari penumpukan hot spot, pengeringan dan pengurangan kelembaban. Dalam studi kami, kami menganggap catu daya sel bahan bakar terletak dalam kondisi di mana suhu sebagian besar di atas titik beku. Pengontrol panas yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 10. Dalam pendekatan kontrol ini, sakelar termal diperkenalkan. Sistem bekerja dengan beroperasi dalam suhu band set-point. Dalam pengaturan aktif, sensor suhu adalah digunakan untuk mengambil

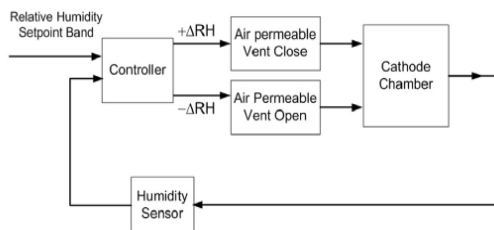
bacaan dan memberi masukan ke saklar termal, sementara di pengaturan pasif, ekspansi termal digunakan untuk menutup sakelar (Thangavelautham, et. al, 2017).



Gambar 10. Komponen PEM Elektrolisis.
(Sumber: Thangavelautham, et. al, 2017)

Pengaturan Kelembaban

Seperti disebutkan sebelumnya, menjaga sel bahan bakar pada kelembaban yang sesuai dapat mengurangi degradasi sel bahan bakar. Perlu kelembaban dipertahankan pada setpoint untuk meminimalkan berespeda kelembaban, yang mengurangi umur membran. Namun, kebutuhan kelembabannya cukup tinggi untuk memastikan membran konduktif, belum tidak terlalu tinggi untuk menghindari banjir. Banjir katoda bisa mengganggu operasi sel bahan bakar atau menyebabkan struktural jangka Panjang kerusakan. Usulan kelembaban controller ditunjukkan pada Gambar. 14. Namun metode tersebut tidak dapat mencapai kontrol kelembaban dalam ± 10% kelembaban relatif (Thangavelautham, et. al, 2017).



Gambar 11. Komponen PEM Elektrolisis
(Sumber: Thangavelautham, et. al, 2017)

V. KESIMPULAN

Terdapat beberapa hal yang dapat di jadikan poin dalam tulisan ini antara lain:

1. Terdapat potensi produksi hidrogen dalam setiap lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro.
2. Ekstentifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro menjadi lokasi produksi hidrogen dan pengembangan Sistem *Fuel Cell*.
3. Pemanfaatan aplikasi sensor dan teknologi informasi dapat mengontrol perilaku aliran fluida di dalam proses *Fuel Cell*.

DAFTAR RUJUKAN

Erinofiardi, et. all., 2017. *A review on Micro Hydropower in Indonesia*. Energy Procedia 110 (2017) 316–321.

Kumar, Himabindu, 2019. *Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review*. Materials Science for Energy Technologies 2 (2019) 442–454.

Mantiri, et. al., 2018. *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Listrik Minihidro Sungai Moayat Desa Kobo Kecil Kota Kotamobagu*. Jurnal Teknik Elektro dan Komputer Vol. 7 no. 3, Juli-Oktober 2018, ISSN : 2301-8402.

Poudel, et. al., 2020. *Performance Analysis of Hybrid Microhydro Power System*. Energy Conversion and Management 215 (2020) 112873.

Thangavelautham, et. all., 2017. *The design of long-life, high-efficiency PEM fuel cell power supplies for low power sensor networks*. International Journal of Hydrogen Energy (2017) 1 – 20.

Valente, et. al., 2015. *Life-cycle performance of hydrogen as an energy management solution in hydropower plants: A case study in Central Italy*. International Journal of Hydrogen Energy (2015) I - I 3.