

TEKNOLOGI PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI BARU TERBARUKAN MENGUNAKAN *PROTON EXCHANGE MEMBRANE (PEM) FUEL CELL* SKALA KECIL

Yusuf Dewantoro H, Anis Roihatin

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang
masyusufdh@polines.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menguji dan menganalisa unjuk kerja paling baik PEM Fuel Cell terhadap pengaruh laju aliran gas hidrogen dan oksigen. Metode yang digunakan dari studi literatur dan pengumpulan data untuk mendesain alat, disertai bimbingan dengan dosen agar hasilnya maksimal. Setelah itu, barulah diadakan pengadaan bahan untuk proses pembuatan alat agar dapat diuji. Pada pengujian elektroliser dilakukan variasi konsentrasi KOH dan arus input, sedangkan pada pengujian fuel cell dilakukan variasi laju aliran gas H₂ dan O₂ serta beban menggunakan lampu LED dioda. Dari hasil pengujian dan perhitungan elektroliser jumlah produksi gas hidrogen paling tinggi pada konsentrasi 2M dengan arus 20A sebesar 189,3 ml dan efisiensi tertinggi sebesar 93,5% . Dari data tersebut digunakan untuk menguji fuel cell. Pada fuel cell efisiensi tertinggi dan unjuk kerja paling bagus ada 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.

Kata kunci: Fuel Cell, pembangkit listrik, konsentrasi KOH, laju aliran dan variasi beban.

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan pokok manusia dan konservasi energi terus dilakukan. Kayu, batubara hingga minyak bumi adalah sederetan sumber energi yang ketersediannya sudah mulai menipis. Energi fosil khususnya minyak bumi dan batu bara adalah sumber energi utama dan sebagai sumber devisa negara. Salah satu penggunaannya adalah sebagai pembangkit listrik. Dan salah satu bentuk energi terbarukan yang saat ini menjadi perhatian besar pada banyak negara, terutama di negara maju adalah hidrogen. Hidrogen diproyeksikan oleh banyak negara akan menjadi bahan bakar masa depan yang lebih ramah lingkungan dan lebih efisien. Dimana suplai energi yang dihasilkan sangat bersih karena hanya menghasilkan uap air sebagai emisi selama berlangsungnya proses (Neni Muliawati, 2008).

Fuel cell atau sel bahan bakar adalah perangkat elektrokimia, yang secara langsung mengubah energi kimia (gas hidrogen) menjadi energi listrik. Dasar struktur fisik fuel cell terdiri dari lapisan elektrolit, diapit oleh anoda dan katoda di sisi lain. Salah satu jenis Fuel Cell yaitu Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cell

PEM Fuel Cell beroperasi pada suhu di bawah 100 °C, dengan efisiensi stack dari urutan 50%. Operasinya rendah suhu memungkinkan sel bahan bakar ini untuk memulai relatif cepat, membuat teknologi ini sangat baik disesuaikan dengan aplikasi transportasi. Kisaran daya PEMFC khas adalah dari beberapa miliwatt ke beberapa ratus kilowatt. Elektrolit PEMFC umumnya adalah polimer perfluorinated membran yang mampu membawa ion hidrogen (yaitu proton). Keuntungan utama PEMFC adalah sebagai berikut:

- Elektrolit padat: tidak ada risiko kebocoran elektrolit ;
- Suhu operasi rendah, yang berarti bahwa sel tidak butuh waktu lama untuk pemanasan sebelum beroperasi penuh;
- Daya spesifiknya tinggi, dan bisa setinggi 1 kW / kg.

Namun, mereka memiliki Kekurangannya sendiri :

- Membran harus disimpan dalam tingkat hidrasi yang baik untuk mentransfer proton hidrogen. Jika kondisi ini tidak terpenuhi, ada risiko kerusakan membran, yang akan menyebabkan degradasi sel bahan bakar itu sendiri. (Fei Gao, dkk, 2012).

Perumusan Masalah

Dalam penulisan Penelitian ini digunakan beberapa perumusan masalah dalam pengujian Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cell, antara lain:

1. Bagaimana proses alat uji PEM Fuel Cell menghasilkan listrik?
2. Bagaimana cara menghasilkan daya output PEM Fuel Cell yang optimum dengan mengatur debit gas H₂ dan O₂ ?
3. Apa saja parameter yang dikaji pada pengujian PEM Fuel Cell agar kinerjanya optimal ?

2. METODE PENELITIAN

Tahap pertama yang dilakukan untuk memulai pembuatan tugas akhir ini yaitu menentukan judul terlebih dahulu yang mengacu pada sumber literasi, buku, jurnal, maupun internet. Kemudian untuk mendukung penelitian tersebut dilakukan pengumpulan data dengan cara studi lapangan yang akan dilanjutkan untuk mendesain alat yang akan dibuat dan wawancara dengan pihak yang berkaitan dengan kebutuhan data. Selain itu juga berkonsultasi dengan dosen pembimbing sebelum memulai proses pembuatan alat agar sesuai dengan teori dan hasilnya tepat. Selanjutnya setelah semuanya dirancang dari mulai gambar, ukuran alat, sampai biaya kemudian dilanjutkan dengan pembuatan alat tersebut dimulai dari pembelian alat dan bahan yang dibutuhkan untuk perakitan alat tersebut dari awal hingga akhir. Setelah jadinya alat dan siap untuk dioperasikan kemudian tahap selanjutnya alat tersebut diuji untuk pengambilan data laporan tugas akhir. Tahap akhir adalah mengolah data pengujian dan menganalisa data tersebut menjadi kesimpulan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum pengujian Fuel Cell dilakukan terlebih dahulu menguji alat produksi gas hidrogen yaitu Elektroliser Selanjutnya dari data hasil pengujian Elektroliser yang memiliki produksi gas hidrogen paling tinggi akan digunakan untuk menguji Fuel Cell. Elektroliser diuji dengan

variasi konsentrasi, dengan setiap konsentrasi akan divariasi dengan pemberian arus. Sedangkan Fuel Cell diuji dengan variasi debit gas hidrogen dan oksigen hasil keluaran Elektroliser, dengan setiap debit gas akan divariasi dengan pemberian beban.

Data Hasil Pengujian Elektroliser

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Elektroliser 0,5 M

NO	Arus (A)	Tegangan (V)	Volume H ₂ (mL)	Volume O ₂ (mL)
1	2	3.5	15.2	8.3
2	4	6	37	26.7
3	6	9	56	37.3
4	8	12	72.3	42.5
5	10	14.3	79.3	53
6	12	17	94.3	53.3
7	14	18	113.3	69
8	16	20	126.0	87.8
9	18	22	146	92.0
10	20	26	156.7	101.67

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Elektroliser 1 M

NO	Arus (A)	Tegangan (V)	Volume H ₂ (mL)	Volume O ₂ (mL)
1	2	3.2	22.7	13.5
2	4	4.5	39.5	25.3
3	6	6	64.5	37.2
4	8	8	82.8	44.3
5	10	8	89.3	54.2
6	12	10	110.3	67.3
7	14	11.5	124.67	74.2
8	16	12.5	135.0	86.7
9	18	13.5	154.7	95.7
10	20	15	164.0	105.3

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Elektroliser 1,5 M

NO	Arus (A)	Tegangan (V)	Volume H ₂ (mL)	Volume O ₂ (mL)
1	2	3.0	25.0	17.8
2	4	3.5	46.2	35.8
3	6	5	70.8	39.3
4	8	5.5	90.0	52.5
5	10	7	92.3	63.5
6	12	8	121.3	72.3
7	14	8.8	130.7	77.7
8	16	9.8	144.3	91.3
9	18	10.5	163.7	98.3
10	20	11	173.7	108.0

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Elektroliser 2 M

NO	Arus (A)	Tegangan (V)	Volume H ₂ (mL)	Volume O ₂ (mL)
1	2	2.7	28.0	19.0
2	4	3.2	53.3	41.7
3	6	4	88.5	44.0
4	8	5	98.3	62.7
5	10	5.5	110.7	73.0
6	12	7	125.1	78.7
7	14	8	155.0	90.7
8	16	9	162.7	100.3
9	18	10	175.1	105.3
10	20	10.5	189.3	116.7

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Elektroliser 2,5 M

NO	Arus (A)	Tegangan (V)	Volume H ₂ (mL)	Volume O ₂ (mL)
1	2	2.5	25.7	18.0
2	4	3	48.7	37.0
3	6	4	71.8	37.0
4	8	5	84.8	49.7
5	10	5.5	106.7	55.0
6	12	6	111.5	63.0
7	14	7	137.0	75.2
8	16	7.5	158.0	86.3
9	18	8	173.7	94.7
10	20	9	187.0	103.8

Setelah dilakukan perhitungan data, ternyata hasil produksi gas hidrogen yang tertinggi ada pada konsentrasi 2 M. Setelah itu dilakukan lagi pengujian Elektroliser konsentrasi 2 M dengan variasi arus 4 A, 6 A, 8 A, 10 A dan 12 A. Didapatkan data pengujian sebagai berikut:

Tabel 6. Data Hasil Pengujian Elektroliser 2 M untuk Fuel Cell

NO	Arus (A)	Tegangan (V)	Volume H ₂ (mL)	Volume O ₂ (mL)
1	4	3	48.50	27.17
2	6	4	77.83	37.17
3	8	5	91.17	51.50
4	10	5.5	100.17	58.50
5	12	7	112.33	66.50

Pengujian Fuel Cell

Pengujian Fuel Cell dilakukan dengan variasi debit gas hasil keluaran Elektroliser konsentrasi 2 M pada arus 4 A, 6 A, 8 A, 10 A dan 12. Pada setiap pengujian variasi debit gas, Fuel Cell diuji dengan memberi beban berupa lampu LED. Didapatkan data pengujian sebagai berikut :

Tabel 7. Data Hasil Pengujian Fuel Cell dari Elektroliser 2 M dengan Arus 4 A

No	Beban	Tegangan (V)	Arus (mA)
1	0	4.3	0
2	1	3.95	55
3	2	3.8	70
4	3	3.75	75
5	4	3.7	80
6	5	3.65	85
7	6	3.5	100
8	7	3.45	105
9	8	3.42	107.5
10	9	3.415	108
11	10	3.4	108.5
12	11	3.38	110
13	12	3.36	110
14	13	3.32	110
15	14	3.31	110
16	15	3.29	110

Tabel 8. Data Hasil Pengujian Fuel Cell dari Elektroliser 2 M dengan Arus 6 A

No	Beban	Tegangan (V)	Arus (mA)
1	0	4.42	0
2	1	4.1	70
3	2	3.8	90
4	3	3.76	97
5	4	3.67	100
6	5	3.62	102
7	6	3.6	103
8	7	3.57	105
9	8	3.55	110
10	9	3.5	115
11	10	3.47	117.5
12	11	3.44	120
13	12	3.43	123
14	13	3.41	123
15	14	3.4	123
16	15	3.39	123

Perhitungan Data

Setelah pengambilan data pengujian dilakukan, selanjutnya data hasil pengujian tersebut diolah dengan perhitungan menggunakan rumus. Berikut contoh perhitungannya Elektroliser dan Fuel Cell:

1. Perhitungan Elektroliser

Contoh perhitungan menggunakan data pada konsentrasi 0,5 M, dengan data yang diketahui sebagai berikut :

- Arus : 2 A
- Tegangan : 3,5 V
- Waktu : 1 menit
- Volume gas H₂ : 15,2 ml
- Volume gas O₂ : 8.3 ml
- Volume Air : 6,5 liter
- Massa Jenis gas H₂ : 0,09 kg/m³

LHV Hidrogen : 120,21 MJ/Kg

1. Menghitung Massa KOH

Massa KOH dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$M = \frac{n}{V}$$

$$0,5 = \frac{n}{6,5}$$

$$n = 3,25 \text{ mol}$$

sehingga didapatkan mol sebesar 3,25 mol.

$$n = \frac{m}{Mr}$$

$$3,25 = \frac{m}{56}$$

$$m = 182 \text{ gram}$$

2. Daya yang Dibutuhkan untuk Menghasilkan Gas H₂

Daya yang dibutuhkan untuk menghasilkan gas H₂ dengan rumus:

$$P_{listrik} = V \times I$$

$$= 3,5 \times 2$$

$$= 7 \text{ Watt}$$

3. Debit gas H₂ dan O₂

Volume gas H₂ dan O₂ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q_{H_2} = \frac{V_{H_2}}{t} (m^3/s) \quad Q_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{t} (m^3/s)$$

$$= \frac{15,2 \times 10^{-6}}{60} = \frac{8,3 \times 10^{-6}}{60}$$

$$= 0,253 \times 10^{-6} m^3/s \quad = 0,138 \times 10^{-6} m^3/s$$

4. Daya Gas Hidrogen

Daya gas H₂ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\dot{m}_{H_2} = \rho_{H_2} \cdot Q_{H_2} (kg/s)$$

$$= 0,253 \times 10^{-6} m^3/s \times 0,09 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0,023 \times 10^{-6} \text{ kg/s}$$

$$P_{H_2} = \dot{m}_{H_2} \cdot LHV_{H_2} (\text{Watt})$$

$$= 0,023 \times 10^{-6} \text{ kg/s} \times 120,21 \times 10^6 \text{ J/kg}$$

$$= 2,735 \text{ Watt}$$

5. Efisiensi Elektroliser

Effisiensi elektroliser dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\eta_{el} = \frac{P_{H_2}}{P_{listrik}} \times 100\%$$

$$= \frac{2,735}{7} \times 100\%$$

$$= 39,068 \%$$

2. Perhitungan Fuel Cell

Contoh perhitungan menggunakan data Elektroliser dengan konsentrasi 2 M pada arus 4 A dan beban Fuel Cell pada beban 15 lampu LED, dengan data sebagai berikut:

Data Elektroliser 2 M, 4 A

$$\text{Debit gas H}_2 : 0,81 \text{ ml/s}$$

$$\text{Debit gas O}_2 : 0,45 \text{ ml/s}$$

Data Fuel Cell

$$\text{Tegangan} : 3,29 \text{ V}$$

$$\text{Arus} : 0,11 \text{ A}$$

$$\text{Massa Jenis gas H}_2 : 0,09 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{LHV Hidrogen} : 120,21 \text{ MJ/kg}$$

1. Menghitung Daya Gas Hidrogen

Daya gas hidrogen yang masuk ke Fuel Cell dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\dot{m}_{H_2} = \rho_{H_2} \cdot Q_{H_2} (kg/s)$$

$$= 0,81 \times 10^{-6} m^3/s \times 0,09 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0,073 \times 10^{-6} \text{ kg/s}$$

$$P_{H_2} = \dot{m}_{H_2} \cdot LHV_{H_2} (\text{Watt})$$

$$= 0,073 \times 10^{-6} \text{ kg/s} \times 120,21 \times 10^6 \text{ J/kg}$$

$$= 8,75 \text{ Watt}$$

2. Menghitung Daya Output pada Beban

Daya yang diserap oleh beban dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P_{listrik} = V \times I$$

$$= 3,29 \times 0,11$$

$$= 0,36 \text{ Watt}$$

3. Efisiensi Fuel Cell

Effisiensi Fuel Cell dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\eta_{FC} = \frac{P_{listrik}}{P_{H_2}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,36}{8,75} \times 100\%$$

$$= 4,14 \%$$

4. Rapat Daya

Rapat Daya adalah jumlah daya (energi yang dihabiskan per satuan waktu) per satuan volume, dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_r = \frac{P_{listrik}}{V_{H_2}}$$

$$= \frac{0,36}{0,81 \times 10^{-3}} \left(\frac{\text{Watt}}{\text{ltr}} \right)$$

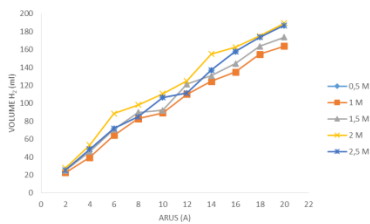
$$= 447,71 \left(\frac{\text{Watt}}{\text{ltr}} \right)$$

5. SFC (Specific Fuel Consumption)

SFC adalah ukuran efisiensi suatu mesin yang menggambarkan rasio antara jumlah pemakaian bahan bakar dan energi listrik yang dihasilkan, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} \text{SFC} &= \frac{\dot{m}_{H_2}}{P_{\text{listrik}}} \text{ (kg/kWh)} \\ &= \frac{261,9 \times 10^{-6}}{0,36 \times 10^{-3}} \left(\frac{\text{kg/h}}{\text{kW}} \right) \\ &= 0,72 \text{ kg/kWh} \end{aligned}$$

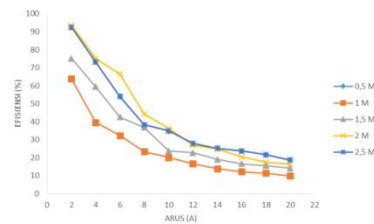
Karakteristik Elektroliser



Gambar 1. Grafik Hubungan Antara Arus dengan Volume Gas Hidrogen untuk Konsentrasi yang Berbeda

Dari grafik tersebut terlihat bahwa untuk semua konsentrasi bertambahnya arus akan meningkatkan jumlah produksi gas hydrogen, sesuai dengan Hukum 1 Faraday yang berbunyi “massa zat yang dihasilkan pada suatu electrode selama proses elektrolisis berbanding lurus dengan muatan listrik yang digunakan”. Pada grafik tersebut jumlah produksi gas terbesar ada pada konsentrasi 2 M dengan arus 20 A yaitu mencapai 189,3 ml gas hidrogen.

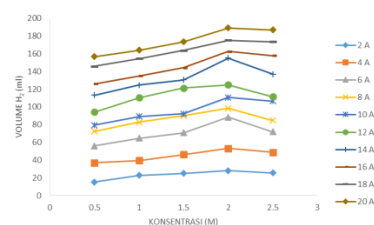
Bertambahnya konsentrasi untuk arus yang sama akan meningkatkan produksi gas hidrogen. Pada konsentrasi 0,5 M sampai dengan 2 M jumlah produksi gas meningkat, akan tetapi pada konsentrasi 2,5 M produksi gas hydrogen menurun. Ini disebabkan karena adanya penjenuhan konsentrasi, dengan volume air yang sama tetapi massa KOH bertambah akan membuat ion-ion, atom atau molekul juga bertambah banyak, hal ini akan membuat pergerakan elektron dari anoda ke katoda menjadi terhambat. Hal itulah yang membuat produksi gas menurun.



Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Arus dengan Efisiensi untuk Konsentrasi yang Berbeda

Dari gambar grafik diatas menunjukkan bahwa bertambahnya arus akan menurunkan efisiensi kerja dari elektroliser. Bertambahnya arus memang akan menambah produksi gas hydrogen, akan tetapi bertambahnya arus juga menimbulkan panas. Sebagian energi listrik diubah menjadi energi panas yang merupakan rugi – rugi.

Bertambahnya konsentrasi akan meningkatkan efisiensi, karena konsentrasi KOH sebagai katalis yang membuat energi aktivasi menurun. Penambahan konsen-trasi KOH juga membuat produksi gas meningkat. Dengan menurunnya energi ak-tivasi dan bertambahnya produksi gas hidrogen akan membuat efisiensi meningkat. Efisiensi paling tinggi yaitu sebesar 93,5% pada konsentrasi 2 M dengan arus sebesar 2 A.

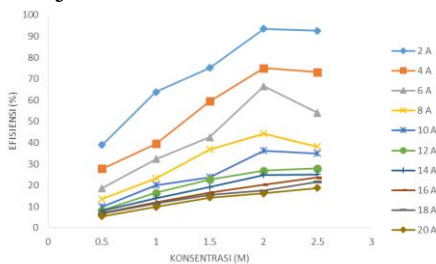


Gambar 3. Grafik Hubungan antara Konsentrasi dengan Volume Gas Hidrogen untuk Arus yang Berbeda

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa, semakin tinggi arus maka jumlah produksi gas yang dihasilkan akan semakin tinggi pula. Dari grafik diatas jumlah produksi gas hydrogen yang paling tinggi sebesar 189,3 ml pada konsentrasi 2 M dengan arus 20 Ampere.

Dari grafik tersebut juga menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi KOH maka jumlah produksi gas semakin meningkat. Penambahan KOH sebagai katalis akan

menurunkan energi aktivasi. Dengan menurunnya energi aktivasi akan menambah produksi gas dengan arus yang sama. Akan tetapi bertambahnya konsentrasi tidak serta merta bisa menaikkan produksi gas. Pada konsentrasi 2,5 M produksi gas hydrogen menurun walaupun efisiensinya naik. Hal ini pada 2,5 M ion – ion, atom atau molekul didalam larutan terlalu banyak dan pekat. Kondisi tersebut akan menghambat pergerakan / transfer electron dari anoda menuju katoda terlambat.

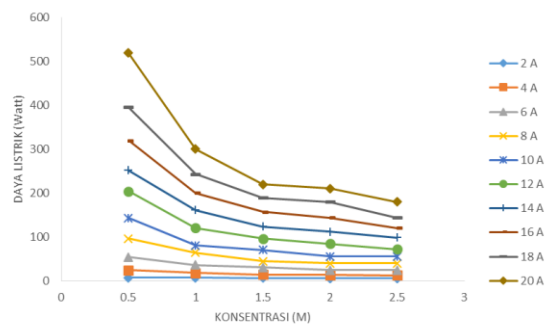


Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Konsentrasi dengan Efisiensi untuk Arus yang Berbeda

Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa bertambahnya konsentrasi akan meningkatkan efisiensi kerja alat. Penambahan KOH sebagai katalis akan mempercepat reaksi dengan menurunkan energi aktivasinya. Tetapi, penambahan KOH yang lebih tidak selalu memberikan hal yang positif. Pada konsentrasi 2,5 M pada range 2 A sampai 10 A grafik efisiensi cenderung menurun, sedangkan pada range 12 A sampai 20 A efisiensi naik meskipun sedikit. Penurunan efisiensi pada konsentrasi yang berlebih disebabkan adanya ion, atom atau molekul dalam larutan tersebut terlalu banyak, sehingga transfer electron dari anoda ke katoda menjadi terhambat. Efisiensi tertinggi ada pada konsentrasi 2 M dengan arus 2 Ampere yaitu sebesar 93,5%.

Dari grafik tersebut juga menunjukkan bahwa semakin tinggi arus maka efisiensi kerja alat semakin menurun. Hal ini disebabkan karena bertambahnya arus juga menimbulkan panas. Sebagian energi listrik yang diberikan diubah menjadi panas yang merupakan rugi – rugi. Akan tetapi dengan

penambahan konsentrasi akan menaikkan efisiensi kerja.

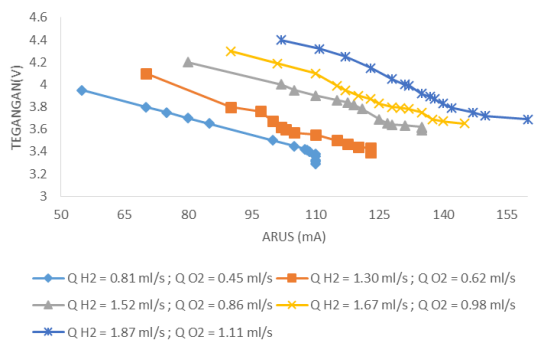


Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Konsentrasi dengan Daya Listrik untuk Arus yang Berbeda

Grafik diatas menunjukkan bahwa untuk arus yang sama dengan penambahan konsentrasi yang berbeda akan menurunkan daya listrik yang digunakan. Ini dikarenakan dengan prosentase katalis yang semakin tinggi dapat mereduksi hambatan pada elektrolit. KOH berfungsi mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kestabilan molekul air menjadi ion H⁺ dan OH⁻ yang lebih mudah di elektrolisis karena terjadi penurunan energy pengaktifan. Semakin besar konsentrasi suatu larutan pereaksi maka akan semakin besar pula laju reaksinya.

Sebagai contoh pada grafik diatas untuk arus 20 A pada konsentrasi 0,5 M daya listrik yang diserap sebesar 520 Watt, pada konsentrasi 1 M daya yang digunakan sebesar 300 watt, kemudian direduksi menjadi 220 watt pada konsentrasi 1,5 M, 210 watt pada konsentrasi 2 M dan daya yang diserap pada konsentrasi 2,5 M hanya 180 watt.

Karakteristik Fuel Cell

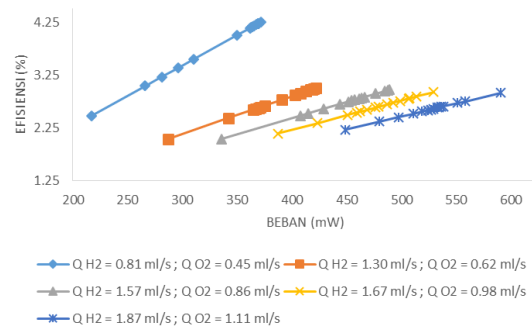


Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Arus dengan Tegangan untuk Debit Gas Hidrogen dan Oksigen yang Berbeda

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa bertambahnya arus pada beban akan menurunkan tegangan output Fuel Cell. Penurunan tegangan disebabkan karena adanya rugi – rugi. Terdapat 3 macam kerugian tegangan tegangan utama sehubungan dengan pengoperasian sel, yaitu rugi tegangan akibat akti-vasi (Activation), rugi tegangan akibat resistansi dan rugi tegangan akibat kon-sentrasi.

Diambil contoh pada debit gas H₂ 0,81 ml/s dan gas O₂ = 0,45 ml/s terjadi rugi tegangan akibat aktivasi dari tegangan nol (tanpa beban) sebesar 4,3 V turun menjadi 3,95 pada pembebanan pertama. Rugi tegangan ini dibutuhkan untuk melepas ion dari elektrode dimana ion tersebut terbentuk. Sedangkan rugi tegangan akibat resistansi terjadi sepanjang pembebanan ke 2 sampai dengan beban ke 10. Rugi tegangan ini hasil kali aliran arus dengan resistansi dalam sel. Selama pembebanan berlangsung, rugi tegangan akibat resistansi juga akan semakin bertambah.

Dan rugi tegangan akibat konsentrasi terjadi sepanjang pembebanan ke 11 sampai dengan beban ke 15. Pada pembebanan 11 ke 12 tersebut arus yang dihasilkan tetap sama yaitu 110 mA, sedangkan tegangannya turun. Rugi ini terjadi akibat beban yang sangat besar, hal ini disebabkan kekosongan ion di sekitar elektroda pada daya output yang tinggi. Dari grafik tersebut juga menunjukkan bahwa semakin besar input gas yang diberikan maka semakin be-sar output tegangan yang dihasilkan.



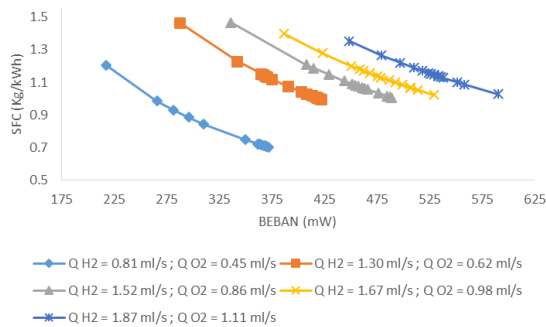
Gambar 7. Grafik Hubungan Antara Daya Output dengan Efisiensi untuk Debit Gas Hidrogen dan Oksigen yang berbeda

Berdasarkan hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin besar input gas yang diberikan maka semakin besar pula daya output yang dihasilkan. Tetapi pemberian input gas yang besar tidak serta merta menghasilkan daya output yang sebanding. Grafik diatas menunjukkan bahwa efisiensi terbaik ada pada pemberian input gas H₂ = 0,81 ml/s dan gas O₂ = 0,45 ml/s dengan efisiensi tertingginya mencapai 4,25%. Akan tetapi pada pemberian beban selanjutnya efisiensinya menurun.

Data menunjukkan bahwa pada pemberian input gas H₂ = 0,81 ml/s dan O₂ = 0,45 ml/s mengalami penurunan efisiensi sepanjang bembanaan ke 12 dan seterusnya. Pemberian input gas H₂ = 1,30 ml/s dan O₂ = 0,62 ml/s efisiensinya menurun dari pembebanan ke 13. Pemberian input gas H₂ = 1,52 ml/s dan O₂ = 0,86 ml/s efisiensinya turun dari beban ke 14. Sedangkan pemberian input gas H₂ = 1,67 ml/s, O₂ = 0,98 ml/s dan pemberian input gas H₂ = 1,87 ml/s dan O₂ = 1,11 ml/s tidak mengalami penurunan efisiensi selama pembebanan.

Penurunan efisiensi terjadi karena adanya rugi tegangan akibat konsentrasi, yaitu rugi tegangan akibat beban yang sangat besar disebabkan terjadinya kekosongan ion di sekitar elektroda pada daya output yang tinggi. Pada grafik tersebut juga menunjukkan bahwa semakin besar debit gas yang diberikan maka kemungkinan tidak terjadinya rugi tegangan akibat konsentrasi semakin lama, selama tidak mencapai beban penuh. Hal ini menunjukkan juga pem-berian input gas yang

belum mengalami rugi tegangan akibat konsentrasi bisa dilakukan pemberian beban yang lebih besar untuk meningkatkan efisiensi. Ka-rena, sama halnya pembangkit pada umumnya, fuel cell akan mencapai efisiensi tertinggi pada beban penuh.



Gambar 8. Grafik Hubungan Antara Daya Output dengan SFC untuk Debit Gas Hidrogen dan Oksigen yang Berbeda.

Salah satu cara untuk mengetahui kinerja suatu mesin adalah dengan mengetahui nilai SFC (Specific Fuel Consumption), semakin kecil nilai SFC maka semakin bagus unjuk kerja mesin tersebut. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai SFC yang paling bagus ada pada pemberian input gas H₂ = 0,81 ml/s dan O₂ = 0,45 ml/s dengan nilai terendah mencapai 0,7 Kg / kWh. Pada grafik tersebut juga menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diberikan maka nilai SFC akan semakin baik. Hal ini karena fuel cell akan mencapai unjuk kerja paling baik pada saat beban penuh.

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan pengujian, perhitungan data dan analisa grafik pada alat elektroliser dan fuel cell, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada elektroliser jumlah produksi gas hydrogen yang paling tinggi sebesar 189,3 ml pada konsentrasi 2 M dengan arus 20 Ampere, semakin tinggi arus dan konsentrasi larutan maka semakin tinggi pula jumlah produksi gas yang dihasilkan.
2. Efisiensi elektroliser yang tertinggi yaitu sebesar 93,5% pada konsentrasi 2 M dengan

arus sebesar 2 Ampere, trend efisiensi menunjukkan bahwa semakin kecil arus dan semakin besar konsentrasi akan meningkatkan efisiensi.

3. Pada fuel cell efisiensi tertinggi dan unjuk kerja paling bagus ada 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.

4. Spesifikasi Elektroliser

Bak kaca Elektroliser

Panjang : 30 cm

Lebar : 15 cm

Tinggi : 20 cm

Tebal kaca : 5 mm

Jenis elektroda : Stainless steel tipe 304

Ukuran plat

panjang : 12 cm

Tinggi : 9 cm

Tebal : 3 mm

Jumlah plat : 28

Katalis : KOH

5. Spesifikasi Fuel Cell

Jenis Fuel Cell : PEM (Proton - Exchange Membrane)

Bahan bakar : Hidrogen (H₂)

Tekanan : 2-5 psig

Jumlah Stack : 5

Temperatur : 50-120 °C

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, H. 2001. *Elektrokimia dan Kinetika Kimia* (hal. 45-103). Bandung : Citra Aditya Bakti.
- Atlam, Ozcan, dkk. 2011. *A Method For Optimal Sizing Of An Electrolizer Directly To A PV Module*. Turkey : University of Kocaeli.
- Batubara, Taher. 2012. *Sistem Produksi Hidrogen menggunakan Reaktor Glow Discharge Plasma Electrolysis dalam Larutan KOH-Etanol*. Depok: Universitas Indonesia.
- Drake, Javit. 2005. *Fuel Cells: Concept Today, Practical Tomorrow?*. Needham : Gillette Technical Center.