

# Produksi Gas Hidrogen dari Biomassa Jerami padi menggunakan metode *Biomass Electrolysis* untuk menghasilkan hidrogen *fuel cell* ramah lingkungan

Siti Aminah<sup>1,a</sup>, Mega Maghfirotul Fajrin<sup>1,b</sup>, Abdurrahman Hanif<sup>1,c</sup>, Rudy Syah Putra<sup>1,2,d\*</sup>

<sup>1</sup>Prodi kimia dan <sup>2</sup>*New and Renewable Energy Reaserch Group*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia, Jl.kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584

<sup>a)</sup> [siti.aminah01827372@gmail.com](mailto:siti.aminah01827372@gmail.com)

<sup>b)</sup> [megamaghfiroh22@gmail.com](mailto:megamaghfiroh22@gmail.com)

<sup>c)</sup> [abdurhanif@gmail.com](mailto:abdurhanif@gmail.com)

<sup>d)</sup> [rudy.syahputra@uii.ac.id](mailto:rudy.syahputra@uii.ac.id)

## Abstrak

Telah dilakukan penelitian produksi gas hidrogen menggunakan metode *biomass electrolysis* melalui penguraian biomassa dengan proses oksidasi menggunakan oksidator  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (0,179 mol) dan 5 mL HCl 37% sebagai katalisator selama 2 jam pada suhu 95-97 °C. *Biomass electrolysis* adalah penguraian senyawa dalam biomassa menggunakan arus listrik searah. Biomassa jerami padi di refluks dengan variasi berat 0,5 g ; 5,0 g dan 10 g dan filtrat yang diperoleh dianalisis dengan spektroskopi UV-vis untuk mengetahui sisa konsentrasi  $\text{Fe}^{2+}$ . Filtrat kemudian dicampur dengan aquadest dengan perbandingan rasio volume 1:5, 1:10, dan 1:15 sebelum dielektrolisis dengan tegangan DC sebesar 15 V menggunakan titanium pada anoda dan *stainles steel* pada katoda. Volume gas  $\text{H}_2$  yang terbentuk dihitung dengan menggunakan prinsip tekanan gas dalam media air mengikuti hukum bernouli. Perubahan arus yang terbentuk akibat pembentukan gas  $\text{H}_2$  selanjutnya digunakan untuk menghitung volume gas  $\text{H}_2$  yang diperoleh secara teoritik menggunakan hukum Faraday. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio campuran tidak berpengaruh secara signifikan terhadap volume gas  $\text{H}_2$  yang dihasilkan, akan tetapi semakin besar rasio campuran maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk pembentukan gas. Secara berturut turut kecepatan pembentukan volume gas  $\text{H}_2$  pada proses elektrolisis yaitu 1:5 > 1:10 > 1:15. Perhitungan volume gas  $\text{H}_2$  yang terbentuk mengikuti hukum persamaan faraday berbeda  $\pm 12\%$  dibandingkan dengan perhitungan percobaan.

Kata kunci: *Biomass electrolysis, fuel cell, Gas H<sub>2</sub>, jerami Padi*

## Pendahuluan

Krisis energi yang melanda Indonesia merupakan salah satu dampak dari jumlah penduduk yang semakin meningkat, hal ini akan berpengaruh langsung terhadap konsumsi bahan bakar. Energi yang berasal dari fosil termasuk energi yang tidak dapat diperbaharui sehingga stoknya semakin menipis. Di sisi lain isu lingkungan global yang menuntut tingkat kualitas lingkungan yang lebih baik, mendorong berbagai pakar energi untuk mengembangkan energi yang lebih ramah lingkungan dan mendukung keamanan pasokan berkesinambungan. (Miyamoto dkk.1997)

Biomassa adalah salah satu sumber daya yang paling melimpah dan terbarukan. Biomassa telah digunakan selama berabad-abad. Saat ini, biomassa menyumbangkan sekitar 12% atau bahkan 40-50% dari pasokan energi. Peningkatan efisiensi pemanfaatan biomassa yang sekarang dikembangkan yaitu sebagai sumber ketahanan energi yang dapat digunakan untuk memproduksi gas hidrogen. Salah satu biomassa yang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk memproduksi gas hidrogen adalah jerami padi. Jerami padi dianggap sebagai biomassa yang berpotensi menghasilkan energi karena didalamnya terdapat kandungan selulosa yang cukup besar yaitu lebih dari 40% (Lee dkk, 2007). Pada penelitian Liu dkk (2014) disebutkan bahwa kandungan selulosa pada biomassa berpengaruh terhadap kepadatan tenaga sel bahan bakar hibrida yang diinduksi matahari.

Jerami padi merupakan salah satu limbah agrobisnis yang paling banyak ketersediaannya di Indonesia. Berdasarkan data pra angka ramalan II (Aram II) yang dikeluarkan Kementerian Pertanian (Kementan) yang berkoordinasi dengan Badan Pusat Statistik (BPS), produksi padi tahun 2016 mencapai 79,141 juta ton gabah kering giling (GKG), sedangkan produksi jerami padi yang dihasilkan dapat mencapai 50% dari produksi gabah kering panen atau sekitar 39,57 juta ton Yang bersumber Kementerian Pertanian dan Badan Pusat Statistik (BPS). Namun demikian, pemanfaatan jerami padi oleh para petani maupun industri umumnya masih rendah.

Hidrogen dimungkinkan menjadi alternatif bahan bakar masa depan (Miyamoto dkk.1997) yang 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 sehingga tidak menimbulkan dampak polusi. Gas hidrogen biasanya diproduksi melalui proses termokimia (pirolisis dan gasifikasi) yang pada umumnya membutuhkan temperatur tinggi dan katalis yang mahal. Selain itu proses biologi melalui fermentasi biomassa juga dapat digunakan untuk memproduksi gas hidrogen namun efisiensi yang dihasilkan masih terbilang rendah sehingga diperlukan proses lain yang lebih baik (Meng dkk.2006).

Elektrolisis biomassa merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk memproduksi gas hidrogen, melalui proses ini biomassa akan diuraikan melalui reaksi redoks menggunakan bantuan sel elektrolisis dengan menggunakan elektroda stianless steel pada katoda dan titanium pada anoda sehingga akan menghasilkan energi. Menurut penelitian Liu dkk (2016) proses elektrolisis dapat dilakukan pada temperatur rendah sehingga konsumsi energi yang dihasilkan juga rendah yaitu sekitar 16,7% dari energi konsumsi pada elektrolisis air. Dengan demikian metode elektrolisis biomassa jerami dapat dijadikan solusi energi masa depan berbasis hidrogen *fuel cell* yang ramah lingkungan.

Penelitian Produksi Gas Hidrogen dari Biomassa Jerami padi menggunakan metode *Biomass Electrolysis* ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh massa jerami padi terhadap lama reaksi dan arus yang dihasilkan untuk memproduksi gas hidrogen.

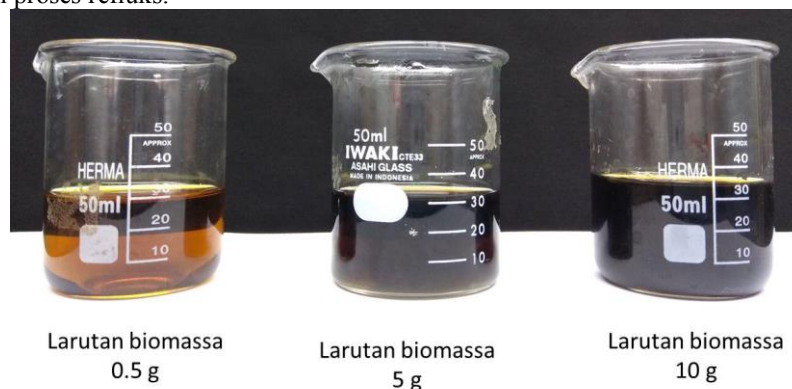
## Metode penelitian

### 1. Preparasi Sampel

Sampel biomassa yang digunakan pada penelitian ini adalah jerami padi. Sampel dicuci untuk menghilangkan pengotor-pengotor kemudian dicacah kecil-kecil dan dijemur hingga kering. Selanjutnya sampel di haluskan hingga berukuran 70 mesh dan dikeringkan dalam oven pada suhu 45 °C selama 24 jam.

### 2. Penguraian Biomassa Melalui Proses Refluks

Sebanyak 0,5, 5, dan 10 gram sampel ditimbang kemudian ditambahkan 10 gr  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan 5 ml HCl 37% kemudian ditambahkan 120 ml aquades. Selanjutnya direfluks menggunakan labu leher 3 pada suhu 95 °C selama 2 jam. Setelah di refluks larutan yang diperoleh disaring menggunakan kertas saring hingga diperoleh filtrat berwarna coklat seperti pada Gambar 2. 50 mL larutan dipindahkan dalam kompartemen Anoda yang digunakan sebagai anolit. Gambar 2 menunjukkan larutan biomassa yang diperoleh setelah proses refluks.



Gambar. 2 larutan biomassa dengan variasi berat massa biomassa

Untuk larutan katolit digunakan  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  0.05 M ditimbang 1.5065 g dan dilarutkan ke dalam 50 mL. Kemudian dipindahkan ke dalam kompartemen katoda.

Penghubung larutan anolit dan katolit menggunakan jembatan garam yang dibuat dari KCl 1 M seberat 7.45 g dilarutkan dalam 100 mL akuades. Kemudian diambahkan agar sebanyak 4 g [4% (w/v)].

**3. Pengukuran Densitas Daya**

Rangkaian pengukuran densitas daya dilakukan dalam 3 tahap yaitu (i) pembuatan jembatan garam dan larutan elektrolit, (ii) pengukuran dengan menggunakan multimeter digital dan (iii) perhitungan densitas daya. Pembuatan jembatan garam dilakukan dengan melarutkan KCl 0,0745 mol dalam media agar 4g dalam 100 mL aquades. Campuran ini kemudian dimasukkan kedalam pipa PVC berbentuk U yang berfungsi sebagai jembatan agar. Jembatan garam digunakan sebagai media aliran elektron pada proses pengukuran arus. Pembuatan larutan elektrolit pada kompartemen katoda (katolit) dilakukan dengan melarutkan 1,506 g  $K_4[Fe(CN)_6].3H_2O$  dalam 50 mL aquades. Larutan  $K_4[Fe(CN)_6].3H_2O$  sebagai elektrolit pada komponen katoda dan larutan biomassa sebagai elektrolit pada kompartemen anoda (anolit) masing-masing diletakkan dalam gelas beaker 50 mL yang keduanya dihubungkan langsung dengan jembatan garam, selanjutnya arus diukur dengan elektroda grafit menggunakan multimeter digital selama 10 jam.

Pengukuran densitas daya dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi operasi terhadap kinerja biomassa. Parameter yang digunakan adalah kuat arus (I) dan tegangan (V) yang dihasilkan melalui pengukuran digital multimeter selama 10 jam.

$$V = I \times R \tag{1}$$

$$P = V \times I \tag{2}$$

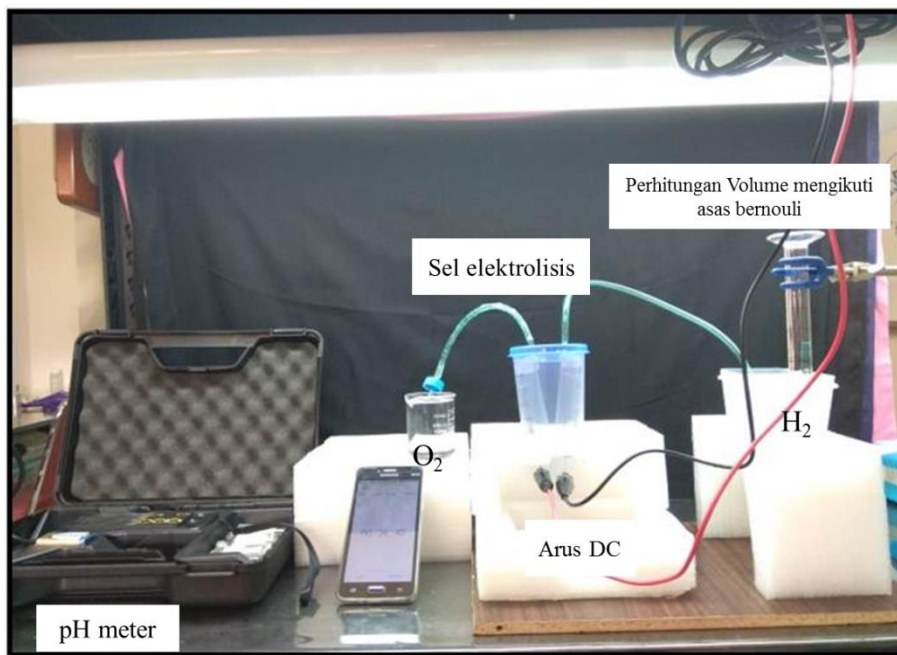
Selanjutnya dari data kuat arus dan tegangan, dapat diperoleh nilai densitas arus (mW/cm<sup>2</sup>), yaitu daya per satuan elektroda. Data berupa kuat arus akan diolah menjadi nilai *power density*. Nilai *power density* dihitung menggunakan persamaan :

$$\text{Power Density (mW/cm}^2\text{)} = \frac{I(\text{mA}) \times V(\text{volt})}{A (\text{m}^2)} \tag{3}$$

**4. Elektrolisis Biomassa Untuk Produksi Gas H<sub>2</sub>**

Penambahan rasio air pada larutan biomassa hasil refluks dibuat pada perbandingan 1:2, 1:5, 1:10, dan 1:15 v/v yang bertujuan untuk menurunkan pH larutan agar tidak menimbulkan korosi terlalu cepat pada elektroda titanium dan stainless steel. Proses elektrolisis dilakukan dengan menggunakan tegangan DC 15 volt dan volume larutan biomassa sebesar 300 mL menggunakan elektroda titanium pada anoda dan stainless steel pada katoda.

Pengukuran volume gas H<sub>2</sub> dilakukan dengan 2 cara yaitu percobaan yang dilakukan melalui proses elektrolisis dan teoritis yang dihitung menggunakan hukum Faraday. Proses elektrolisis dilakukan selama 25 menit, untuk mengetahui volume gas H<sub>2</sub> sampling gas dilakukan melalui pengamatan perpindahan masa gas kedalam bejana berisi air mengikuti asas bernaouli seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Rangkaian Sel Elektrolisis Biomassa

Perubahan arus yang terbentuk akibat pembentukan gas H<sub>2</sub> selanjutnya digunakan untuk menghitung volume gas H<sub>2</sub> yang diperoleh secara teoritik menggunakan hukum Faraday seperti yang ditunjukkan pada persamaan (4), (5) dan (6).

$$Q = \int_{t_0}^{t.akhir} dt \tag{4}$$

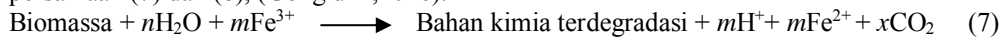
$$M = \frac{(Q \times Ar)}{n \times F} \tag{5}$$

$$V = \frac{n \times R \times T}{P} \tag{6}$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Penentuan Sisa massa oksidator

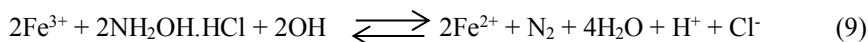
Degradasi biomassa jerami padi yang terlarut dengan FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O akan mereduksi Fe<sup>3+</sup> menjadi Fe<sup>2+</sup>, dimana degradasi dilakukan pada reaksi pemanasan dengan FeCl<sub>3</sub> dan HCl (konsentrasi awal masing-masing 0,74 mol dan 1,3 mol) pada suhu 95 °C dan tekanan atmosfer, Sehingga akan menghasilkan reaksi menurut persamaan (7) dan (8), (Gong dkk,2016).



Reduksi Fe<sup>3+</sup> menjadi Fe<sup>2+</sup> ditunjukkan pada persamaan (8):



Konsentrasi sisa Fe<sup>3+</sup> diperoleh dari pengukuran spektrofotometer UV-Vis menggunakan 1,1 penantrolin. Reaksi pada saat analisis menggunakan UV-Vis yaitu:



Hasil residu sisa biomassa serbuk jerami padi setelah degradasi ditunjukkan pada Tabel 1. Tingkat kelarutan biomassa jerami padi terhadap oksidator FeCl<sub>3</sub> paling besar terjadi massa 10 gr dengan sisa mol sebesar 7.1291 x 10<sup>-3</sup>.

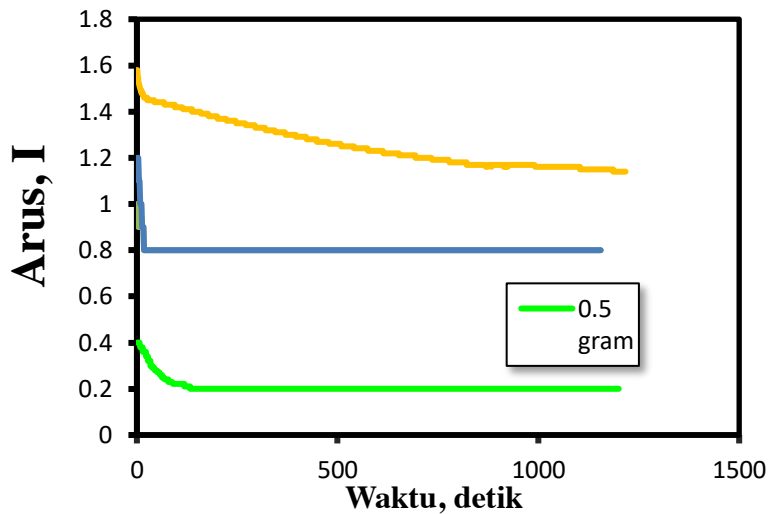
Tabel. 1 Konsentrasi Fe<sup>2+</sup>

Berat sampel (g)	Biomassa terlarut	konsentrasi Fe <sup>2+</sup> tersisa(mol)
0.5	39.18%	0.010362
5	88.14%	7.21 x 10 <sup>-3</sup>
10	79.64%	7.1291 x 10 <sup>-3</sup>

Hasil tersebut menunjukkan angka penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah berat massa biomassa. Sisa konsentrasi mol Fe<sup>2+</sup> menunjukkan bahwa banyaknya mol biomassa yang tidak ikut bereaksi pada proses refluks sehingga sedikitnya sisa biomassa mengindikasikan banyaknya biomassa yang teroksidasi pada proses refluks

### 2. Pengukuran Densitas Daya

Densitas daya merupakan kemampuan suatu massa untuk menyimpan energi dalam mW/cm<sup>2</sup>. Hasil pengukuran arus menggunakan digital multimeter pada gambar 4 menunjukkan bahwa biomassa dengan variasi berat 5 gr menghasilkan arus yang lebih besar dibandingkan dengan kedua variasi lain. Dari data arus yang diperoleh maka dapat dilakukan perhitungan densitas daya, hasil perhitungan menunjukkan biomassa dengan berat 5 gr lebih memiliki nilai densitas daya yang lebih besar.



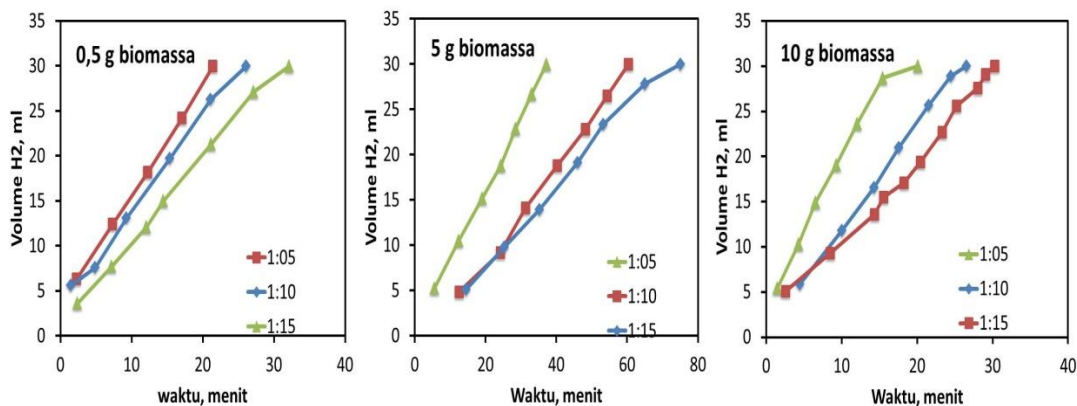
Gambar 4. produksi listrik pada variasi berat biomassa

Nilai power density biomassa jerami padi dengan variasi berat 0,5, 5, 10 g yaitu 0.2547 mW/cm<sup>2</sup>, 7.06695 Mw/cm<sup>2</sup>, 2.8308mW/cm<sup>2</sup> dengan waktu refluks 2 jam. Sebanding dengan arus yang terbentuk, nilai densitas terbesar berada pada variasi berat 5 gr. Hasil menunjukkan bahwa dimungkinkan berat biomassa 5 gram merupakan bera optimum dalam menghasilkan power densitas terbaik.

3. Volume Gas H<sub>2</sub> yang diperoleh melalui proses *biomass electrolysis*

Penambahan air pada larutan biomassa dilakukan pada perbandingan 1:5, 1:10, 1:15. Elektrolisis dilakukan untuk menghasilkan gas H<sub>2</sub> dengan menggunakan elektroda *stainless steel* pada katoda dan titanium pada anoda. Gambar 6 menunjukkan volume H<sub>2</sub> yang dihasilkan dari proses elektrolisis pada berbagai massa biomassa.

Elektrolisis dilakukan hingga volume gas H<sub>2</sub> yang dihasilkan mencapai volume 97.6323 ml (konversi dari tinggi tabung menjadi volume tabung), sehingga diperoleh perbedaan waktu elektrolisis pada masing-masing variasi rasio larutan dengan perbedaan berat sampel biomassa.



Gambar 6. grafik elektrolisis larutan biomassa (a). berat biomassa 0,5 gram, (b). berat biomassa 5 gram, (c). berat biomassa 10 gram.

Hasil elektrolisis biomassa menunjukkan bahwa semakin besar jumlah rasio perbandingan biomassa maka semakin cepat terbentuknya gas, rasio 1:5 merupakan rasio terbaik pada masing-masing variasi. Semakin besar rasio air yang ditambahkan maka semakin besar nilai pH yang dihasilkan. Rasio campuran 1:5 mempunyai nilai pH yang lebi asam dibandingkan dengan 1:10 dan 1:15 sehingga dapat memberikan kontribusi besar untuk menghasilkan ion H<sup>+</sup> pada proses elektrolisis.

Tabel. 2 hasil elektrolisis larutan biomassa

berat biomassa	rasio limbah	waktu (menit)	volume gas H <sub>2</sub>	
			percobaan	teoritis
0.5	1:05	21,40	97.632	71.94
	1:10	26,08	97.63	84.59
	1:15	32,14	97.63	33.32
5	1:05	37,17	97.63	117.38
	1:10	1,00,35	97.63	85.89
	1:15	1,15,09	97.63	71.47
10	1:05	20,12	97.63	57.68
	1:10	26,56	97.63	99.33
	1:15	30,28	97.63	140.57

Waktu yang digunakan untuk memperoleh jumlah gas dari masing-masing variasi berat dengan rasio yang berbeda. Semakin besar variasi berat biomassa maka semakin besar jumlah gasnya, dalam penelitian ini pada berat 10 g biomassa dengan rasio 1:5 diperoleh waktu perolehan gas yang paling cepat yaitu 20 menit 12 detik dibandingkan dengan berat lainnya. Hal ini terjadi karena pada berat jerami padi 10 g biomassa yang teroksidasi lebih besar dibandingkan pada berat 0,5 dan 5 g sehingga gas yang dihasilkan lebih besar.

Pada perhitungan teoritis yang dilakukan dengan menggunakan hukum Faraday diperoleh volume seperti yang ada pada tabel, data tersebut dapat diperoleh dengan menghitung eksponensial dari arus saat elektrolisis yang dimasukkan kedalam persamaan hukum Faraday. Perhitungan volume teoritis dapat dihitung dengan salah satu contoh variasi sampel yaitu dengan berat sampel 0,5 gram rasio 1:5 :

$$I(A) = 0,4119, x e^{0,0002 x t}$$

$$\int_0^{1300} I dt = \left( \frac{0,4119}{0,0002} \right) (\exp(0,0002 x 1300) - \exp(0,0002 x 0))$$

$$Q = \left( \frac{0,4119}{0,0002} \right) x (1.547437-1)$$

$$Q = 1127.446 \text{ C.}$$

$$M = (Q x Ar) / (n x F)$$

$$M = (1127.446 \text{ C} x 1 \text{ g/mol}) / (2 (1/mol) x 96500 \text{ C})$$

$$M = 0,005842 \text{ g.}$$

$$V = (n x R x T) / P$$

$$V = [(0.005842 \text{ g} / 2 \text{ g/mol}) x 0.0821 \text{ L.atm/K.mol} x 300 \text{ K}] / 1 \text{ atm}$$

$$V = 0,07194 \text{ X } 1000 = 71,94 \text{ L.}$$

Pada variasi lain dengan menggunakan angka eksponensial yang telah diperoleh dapat dilakukan pula perhitungan volume teoritis pada masing-masing variasi rasio massa biomassa. Dari tabel 2 dapat dilihat perolehan volume percobaan dengan volume teoritis yang diperoleh pada penelitian, dari hasil perhitungan terdapat berbagai perbedaan jumlah volume antara keduanya dimana hasil perhitungan volume teoritis sangat bergantung pada kestabilan arus pada saat percobaan.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa metode *biomass electrolysis* dapat digunakan untuk menghasilkan gas H<sub>2</sub>. Variasi berat dan rasio tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap volume yang dihasilkan, namun memberikan perubahan yang signifikan terhadap waktu terbentuknya gas.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (KEMENRISTIKDIKTI) Republik Indonesia atas bantuan dana penelitian melalui PENELITIAN PRODUK TERAPAN, Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) tahun 2017 dan Direktorat *Pengembangan Bakat/ Minat* dan Kesejahteraan Mahasiswa (DPBMKM) *Universitas Islam Indonesia*.

## REFERENSI

- Gong J., Liu W., Du X., Liu C., Zhang Z., Yang L., Xu D., Guo H., Deng Y. 2016. Direct Conversion of Wheat Straw into Electricity with a Biomass Flow Cell Mediated by Two Redox Ion Pairs. *Journal Energy and Materials ChemSusChem* vol **9**, 1-9
- Liu W., Mu W., Liu M., Zhang X., Cai H., Deng Y., 2014. Solar-Induced Direct Biomass-to-Electric Hybrid Fuel Cell Using Polyoxometalates as Photocatalyst and Charge Carrier. *Journal of Nature Communication* 5:3208
- Liu, W., Cui, Y., Du, X., Zhang, Z., Chao, Z., Deng, Y. 2016. High Efficiency Hydrogen Evolution From Native Biomass Electrolysis. *Journal of Energy and Enviromental Science* 2016, 9, 467-472.
- Meng, Ling Wu. 2006. Corporate Social Performance, Corporate Financial Performance, and Firm Size : A Meta Analysis. *Journal of American Academy of Business*, 8, 1 : ABI/INFORM Global pg.163
- Miyamoto, K. 1997. Renewable Biological System for Alternative Sustainable Energy Production. *FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- Wahyono Y, Indrawan W, Sonitia I, Wulansari A, Sutanto H. 2017. Analisis Produksi Gas Hidrogen Pada Elektrolisis Air Laut Dengan Penambahan Katalis Asam Asetat. *JCNA*.8: 75-85.