

# Konversi Langsung Limbah Kayu Sengon dan Kayu Jati Menjadi *Bioelectric* Menggunakan Metode *Biomass Fixed Cell*

Atik Muryati<sup>1,a)</sup>, Zaina Rohayati<sup>1,b)</sup>, Afifah Elok Fitriati<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 Research Group  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584

<sup>a)</sup>[atikmuryati.18@gmail.com](mailto:atikmuryati.18@gmail.com)

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

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

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

## Abstrak

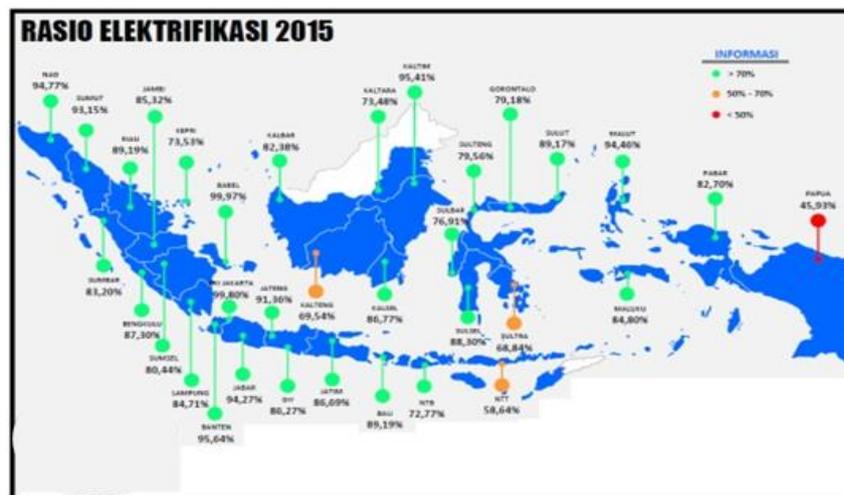
*Biomassa merupakan sumber energi terbarukan untuk produksi energi listrik. Kandungan selulosa yang relatif tinggi dalam kayu sengon dan jati berpotensi sebagai bahan baku produksi energi listrik yang baik. Meskipun pendekatan termokimia (pirolisis dan gasifikasi) telah praktis digunakan untuk menghasilkan energi listrik, namun proses ini membutuhkan suhu tinggi (600-1.000 °C) dan katalis yang mahal. Sedangkan proses biologis yang dapat mengubah biomasa menjadi listrik dapat bekerja pada suhu rendah, namun energi yang dihasilkan rendah, kondisi reaksi yang spesifik dan membutuhkan waktu yang lama. Metode Biomass Fixed Cell (BFC) dapat digunakan secara langsung untuk mengoksidasi biomassa menghasilkan arus listrik pada suhu rendah (<100 °C) dengan penambahan katalis asam. Pada penelitian ini serbuk gergaji kayu sengon dan jati dioksidasi dengan  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  (0,1790 mol) melalui proses refluks pada suhu 95-98 °C selama 0, 2 dan 5 jam serta penambahan HCl sebagai katalisator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu refluks tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap densitas daya yang dihasilkan. Nilai densitas daya biomassa sengon dan jati masing-masing sebesar 0,5935 mW/cm<sup>2</sup> dan 0,5905 mW/cm<sup>2</sup> dengan waktu optimum proses refluks selama 2 jam. Pengukuran konsentrasi sisa oksidator  $FeCl_3$  menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya waktu refluks. Persentase penguraian biomassa serbuk kayu sengon berbanding lurus dengan peningkatan waktu proses refluks, sedangkan hasil yang berbeda ditunjukkan pada penguraian biomassa serbuk kayu jati.*

*Kata Kunci:* Biomass Fixed Cell;  $FeCl_3$ ; Listrik; Jati; Sengon.

## PENDAHULUAN

Permasalahan energi bagi kelangsungan hidup manusia merupakan masalah besar yang dihadapi oleh hampir seluruh negara di dunia. Menurut data Energi Mix Indonesia sampai saat ini bahan bakar fosil dengan kontribusinya yang lebih dari 50% menjadi sumber pemenuh kebutuhan energi utama di Indonesia. Konsumsi migas tersebut kian meningkat dari tahun ke tahun khususnya minyak bumi, sedangkan produksinya terus mengalami penurunan [1]. Hal tersebut yang mendorong untuk membatasi penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik.

Konsumsi listrik Indonesia semakin meningkat tiap tahunnya sejalan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional. Sejumlah wilayah di Indonesia yang belum teraliri listrik terdiri dari 12.559 desa/kelurahan yang hanya teraliri listrik kurang dari 24 jam sehari dan dari sejumlah desa/kelurahan tersebut terdapat 2.519 desa/kelurahan yang sama sekali belum teraliri listrik. Hal ini dibuktikan dengan rasio elektrifikasi Indonesia tahun 2015 (lihat Gambar 1) yang baru mencapai angka 88,3%. Artinya dari total penduduk Indonesia hanya 88,3% yang sudah menikmati listrik. 12.559 desa/kelurahan tersebut terbagi dalam 34 provinsi dengan 4 provinsi terparah yaitu Sulawesi Tenggara, Kalimantan Tengah, Nusa Tenggara Timur dan Papua yang memiliki rasio elektrifikasi kurang dari 70% [2].



**Gambar 1.** Rasio elektrifikasi 34 Provinsi di Indonesia 2015  
Sumber: Dirjen Ketenagalistrikan, 2015

Sebagai langkah alternatif untuk mengantisipasi kekurangan pasokan tenaga listrik pada beberapa tahun mendatang pemerintah mengambil kebijakan program percepatan *diversifikasi* pembangkit dengan pemanfaatan sumber energi alternatif pada pembangkitan PLN. Langkah ini dilakukan dengan mensubsidi energi primer BBM dengan sumber energi alternatif tersebut. Sumber energi alternatif idealnya berasal dari sumber energi yang dapat diperbarui, seperti energi air, angin, biomassa, panas bumi dan energi surya [3].

Kayu sengon dan kayu jati digunakan sebagai bahan baku industri meubel. Limbah pengolahan kayu mencapai 2-5 m<sup>3</sup> perhari dan belum terolah secara maksimal [4]. Limbah biomassa kayu sengon dan jati sisa industri meubel yang belum termanfaatkan dengan baik memiliki kadar selulosa relatif tinggi sehingga berpotensi sebagai bahan baku produksi energi listrik yang baik.

Meskipun pendekatan termokimia (pirolisis dan gasifikasi) telah praktis digunakan untuk menghasilkan energi listrik, namun proses ini membutuhkan suhu tinggi (600-1.000°C) dan katalis yang mahal [5,6]. Sedangkan proses biologis yang dapat mengubah biomassa menjadi listrik dapat bekerja pada suhu rendah, namun energi yang dihasilkan rendah, kondisi reaksi yang spesifik dan membutuhkan waktu yang lama [7,8]. Metode *Biomass Fixed Cell* (BFC) dapat digunakan secara langsung untuk mengoksidasi biomassa menghasilkan arus listrik pada suhu rendah (<100°C) dengan penambahan katalis asam [9].

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan konversi langsung biomassa jati dan sengon menggunakan variasi waktu proses refluks, massa dari biomassa jati dan sengon serta variasi konsentrasi oksidator FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O

### Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Spektrofotometer UV-Vis (Hitachi UH53000), multimeter yang terhubung dengan program *data logger* (Krisbow *heavy duty*), seperangkat alat refluks, neraca analitik, labu ukur (Pyrex), mikropipet (Finn), kertas saring, corong gelas, batu didih, *magnetic stirrer*, *heating* mantels, Vortex.

### Bahan

Biomassa serbuk gergaji kayu jati dan kayu sengon yang digunakan diperoleh dari sisa industri furnitur. Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini di dapat dari Merck Germany tanpa melalui proses pemurnian lanjut antara lain FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O, HCl 37%, 1,10-Penantroline, Hidroksilamin, Natrium Asetat, Fero ammonium sulfat (FAS), agar, KCl, elektroda grafit, akuades, K<sub>4</sub>(FCN)<sub>6</sub>.3H<sub>2</sub>O.

### Cara Kerja

#### Peparasi Sampel

Serbuk gergaji kayu sengon dan kayu jati diambil dari sisa industri furnitur dikeringkan dengan penyinaran matahari secara langsung selama satu hari dan dioven pada suhu 60 °C selama 24 jam. Kemudian dihaluskan hingga berukuran 0,88 mm (setara dengan ayakan mesh 20 mesh).

#### Proses Oksidasi Biomassa

Metode ini merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Gong dkk (2016). Sebanyak 0,5 gram serbuk gergaji kayu sengon dan kayu jati dicampur dengan 10 gram FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O, kemudian ditambahkan akuades 45 mL

dan larutan HCl [50 mL, 10% (V/V)] kedalam labu alas bulat 250 mL. Dilakukan pemanasan dengan menggunakan metode refluks pada suhu 95 °C dengan variasi waktu (0, 2 dan 5 jam). Selanjutnya larutan didinginkan pada suhu kamar dan disaring. Larutan ini digunakan sebagai anolit di anoda. Residu yang dihasilkan kemudian dicuci menggunakan akuades dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 75 °C selama 24 jam. Konsentrasi  $\text{Fe}^{2+}$  diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis oleh 1, 10-*phenantroline*.

Elektrolit katoda, elektrolit yang digunakan adalah larutan  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  0,05 M. Pada penelitian ini  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  dengan massa 1,056 gram dilarutkan ke dalam 50 mL akuades. Kemudian dipindahkan ke dalam sel katoda.

### Preparasi Jembatan Garam

Jembatan garam dibuat dengan mencampur 4% agar dan 1 M KCl. Kemudian ditambahkan dengan 70 mL akuades dan dipanaskan hingga mendidih disertai dengan pengadukan. Campuran ini kemudian di masukkan kedalam pipa PVC berbentuk U dan didinginkan pada suhu kamar. Jembatan garam digunakan sebagai media aliran elektron pada proses pengukuran arus.

### Pengukuran Power Density

Kuat arus dari sistem oksidasi biomassa diukur dengan menggunakan multimeter data logger heavy duty. Pengambilan data dilakukan tiap 30 detik sekali selama 11 jam. Data berupa kuat arus akan diolah menjadi nilai *power density*. Nilai *power density* dihitung menggunakan persamaan :

$$V = I \times R \quad (1)$$

$$P = V \times I \quad (2)$$

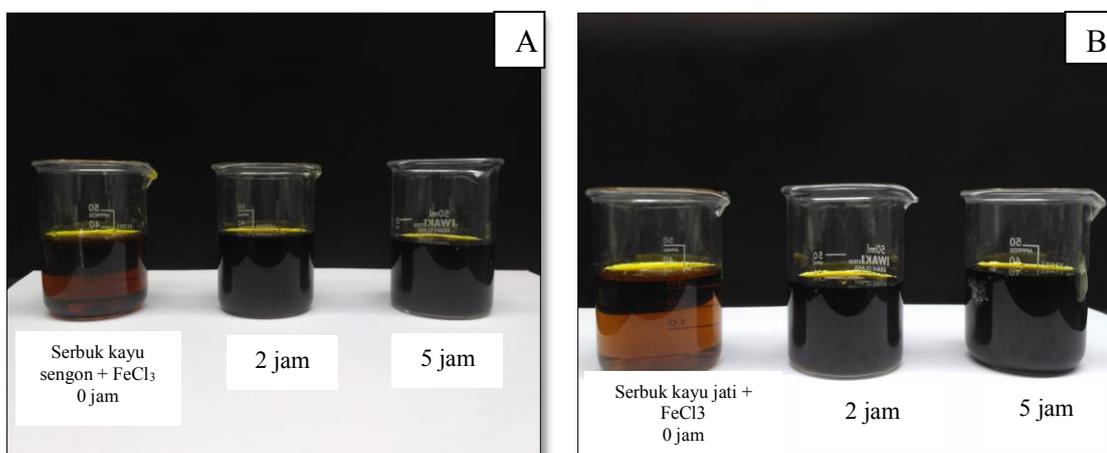
$$\frac{P}{A} = \text{Power density} \quad (3)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Proses Oksidasi Biomassa

Energi kimia yang tersimpan dalam biomassa dikonversi menjadi listrik melalui oksidasi biomassa pada anoda. Proses oksidasi biomassa berkaitan erat dengan interaksi antara biomassa dengan oksidator. Salah satu hal yang patut diperhatikan adalah waktu refluks, dimana menunjukkan lamanya waktu yang dibutuhkan oksidator untuk mengoksidasi biomassa. Pada penelitian ini, serbuk gergaji kayu jati dan kayu sengon mengalami penguraian senyawa organik melalui prses refluks, dimana  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  berfungsi sebagai oksidator yang akan mengoksidasi biomassa dan HCl (37%) sebagai katalisator yang akan mempercepat proses reaksi. Waktu yang digunakan pada proses refluks yaitu 0, 2 dan 5 jam.

Degradasi biomassa serbuk kayu jati dan kayu sengon dilakukan dalam larutan  $\text{FeCl}_3$  dan HCl (konsentrasi awal masing-masing 0,74 mol dan 1,3 mol) pada suhu 95 °C dan tekanan atmosfer. Biomassa jati dan sengon secara bertahap yang dilarutkan dengan pemanasan sederhana oleh  $\text{FeCl}_3$  ditunjukkan pada Gambar 2. Setelah waktu reaksi 2 jam, diperoleh larutan berwarna coklat gelap. Secara visual dapat dilihat bahwa semakin lama waktu refluks maka warna larutan yang dihasilkan semakin pekat.



Gambar 2. Hasil degradasi serbuk kayu dengan  $\text{FeCl}_3$  (A) kayu sengon (B) kayu jati

Massa sisa biomassa serbuk kayu jati dan kayu sengon setelah degradasi dianalisis dengan pemisahan filtrasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. menunjukkan bahwa pada biomassa kayu jati dan kayu sengon masing-masing sebesar 0,36% dan 42,4% berat dari biomassa terdegradasi setelah 5 jam. Persentase penguraian biomassa serbuk kayu sengon berbanding lurus dengan peningkatan waktu proses refluks, sedangkan hasil yang berbeda ditunjukkan pada penguraian biomassa serbuk kayu jati. Hal ini dikarenakan bentuk morfologi dari kayu jati dan sengon yang berbeda, dimana kayu jati memiliki tekstur kayu yang keras sedangkan kayu sengon cenderung lebih lunak dan ringan.

Tabel 1. Persentase biomassa yang terlarut

No.	Sampel	Waktu Refluks (Jam)	Biomassa yang terlarut (%)
1.	Jati	0	36,92
		2	32,96
		5	0,36
2.	Sengon	0	0,28
		2	39,08
		5	42,4

Pengukuran sisa konsentrasi oksidator besi (III) dilakukan menggunakan instrumen Spektrofotometer UV-Vis dengan metode 1,10-Phenantroline.  $\text{FeCl}_3$  berperan sebagai oksidator yang berfungsi mendegradasi senyawa organik yang terkandung didalam biomassa. Konsentrasi  $\text{FeCl}_3$  yang ditambahkan sebesar 0,1790 mol. Pengaruh lama proses refluks terhadap konsentrasi sisa oksidator besi (III) yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 2.

Hasil pengukuran konsentrasi sisa oksidator  $\text{FeCl}_3$  menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya waktu refluks. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu refluks semakin banyak oksidator yang bereaksi dengan biomassa sehingga oksidator yang tersisa semakin sedikit. Pada waktu refluks 5 jam konsentrasi sisa  $\text{FeCl}_3$  yang terukur pada biomassa jati dan sengon masing-masing sebesar 0,00485 dan 0,01148 mol.

Tabel 2. Konsentrasi sisa  $\text{FeCl}_3$  dalam bentuk ion  $\text{Fe}^{2+}$ 

No.	Sampel	Waktu Refluks (Jam)	Konsentrasi $\text{Fe}^{2+}$ (mol)
1.	Jati	0	0,01403
		2	0,00878
		5	0,00485
2.	Sengon	0	0,00912
		2	0,00689
		5	0,01148

## B. Pengukuran *Power Density*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu refluks tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *power density* yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4. *Power density* atau kerapatan daya merupakan kemampuan menyimpan energi yang dinyatakan dengan  $\text{mW}/\text{cm}^2$ . Nilai *power density* biomassa sengon dan jati masing-masing sebesar  $0,5935 \text{ mW}/\text{cm}^2$  dan  $0,5905 \text{ mW}/\text{cm}^2$  dengan waktu optimum proses refluks selama 2 jam. Hal ini disebabkan karena senyawa organik yang terdapat dalam biomassa pada waktu 2 jam hampir secara keseluruhan telah terdegradasi oleh oksidator.

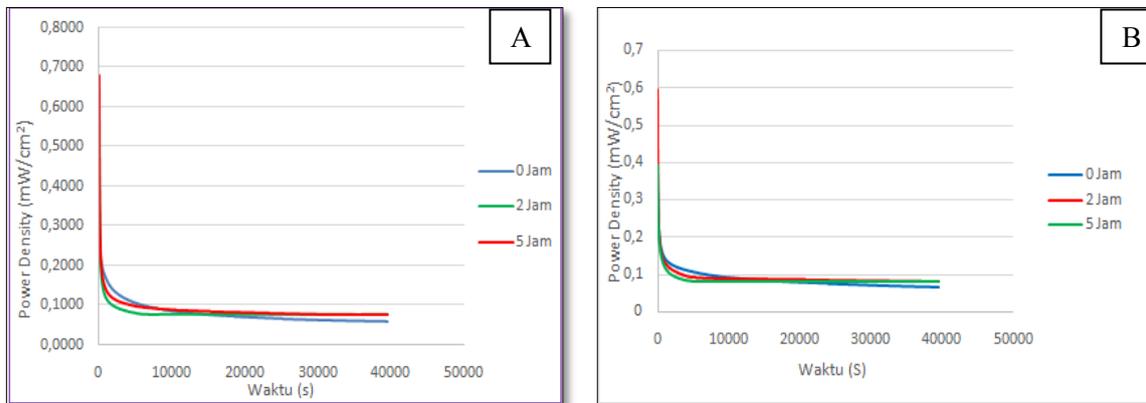
Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Gong dkk. (2016) menunjukkan bahwa bahan bakar biomassa yang berasal dari konversi langsung jerami gandum menjadi listrik dengan metode *Biomass Flow Fuel Cell* (BFFC) pada temperatur rendah ( $80\text{-}90^\circ\text{C}$ ) dan pada tekanan atmosfer menggunakan dua pasang ion redoks,  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{VO}_2^+/\text{VO}^{2+}$  sebagai katalis redoks dan pembawa muatan yang digunakan dalam tangki anoda dan katoda. Bahan bakar jerami gandum dengan metode ini menghasilkan energi sebesar  $100 \text{ mWcm}^{-2}$ . Liu dkk. (2014), menambahkan bahwa oksidasi langsung biomassa jerami padi, selulosa, lignin, rumput dan bubuk kayu menjadi *bioelectricity* pada temperatur rendah menggunakan *polyoxometalate* sebagai fotokatalis dan pembawa muatan dengan metode *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) menghasilkan kepadatan energi sebesar  $0,72 \text{ mWcm}^{-2}$ . Hasil ini hampir 100 kali lebih tinggi dai pada sel bahan bakar mikroba berbasis selulosa.

Penelitian Liu dkk. (2014) disebutkan bahwa konversi langsung biomassa menjadi listrik menggunakan metode baru *liquid-catalyst fuel cell* (LCFC) yang mengubah metode reaksi katalis heterogen padat menjadi reaksi katalis cair menggunakan dua larutan POM dengan potensial redoks yang berbeda. Dengan desain ini,

bahan baku biomassa seperti selulosa, pati dan rumput-rumputan ataupun serbuk kayu dapat dikonversi langsung menjadi energi listrik. Kepadatan energi yang dihasilkan dari rumput (bubuk kering) dan tanaman Allamanda yaitu sebesar 44 mWcm<sup>-2</sup> dan 51 mWcm<sup>-2</sup>.

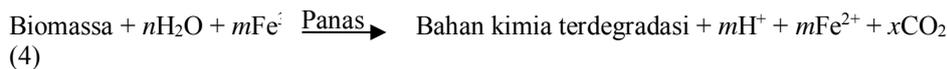
Proses konversi langsung biomassa limbah gergaji kayu sengon dan jati menggunakan prinsip elektrokimia dengan sistem *dual-chamber* yang terdiri dari kompartemen katoda dan kompartemen anoda. Sistem *dual-chamber* termasuk sistem yang paling sering digunakan untuk menguji pengaruh dari kondisi operasi yang divariasikan, kedua kompartemen ini dapat menampung volume yang sama yaitu 100 mL. Kedua kompartemen dipisahkan dengan sebuah jembatan garam yang berfungsi sebagai membran penukar elektron.

Elektroda yang digunakan pada setiap kompartemen adalah elektroda grafit yang berasal dari batang karbon. Luas permukaan dari elektroda ini sebesar 2,75 cm<sup>2</sup> dengan jari-jari sebesar 0,25 cm dan tinggi 1,5 cm. Kabel tembaga digunakan untuk menghubungkan elektroda ke multimeter data logger. Kemudian setelah instrumen lengkap dipasang, eksperimen *Biomass Fixed Cell* (BFC) dijalankan dengan menutup katoda dan anoda dengan sumbat plastik dan *aluminium foil* untuk mencegah terjadinya fotodekomposisi pada biomassa dan larutan kalium ferisianida (K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>).

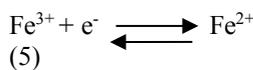


**Gambar 3.** Produksi listrik pada variasi waktu refluks dengan penambahan massa biomassa sebanyak 0,5 gram, FeCl<sub>3</sub> 10 gram dan HCl 5 mL. (A) *Power density* kayu jati (B) *Power density* kayu sengon

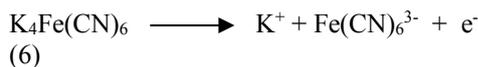
Menurut Gong dkk. (2016) prinsip *biomass fixed cell* yaitu pada sisi anoda, serbuk gergaji kayu jati dan kayu sengon (biomassa) akan doksidasikan oleh Fe<sup>3+</sup> terurai menjadi molekul kecil dan akan menjadi CO<sub>2</sub> pada suhu tinggi. Pada saat yang sama, Fe<sup>3+</sup> direduksi menjadi Fe<sup>2+</sup> menurut persamaan (4):



Reduksi Fe<sup>3+</sup> menjadi Fe<sup>2+</sup> menurut persamaan (2):



Sedangkan pada sisi katoda larutan elektrolit kalium ferisianida (K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>.H<sub>2</sub>O) yang berguna untuk menangkap elektron (akseptor elektron) yang berasal dari anoda. Didalam larutan kalium ferisianida ini mengalami ionisasi menjadi ion K<sup>+</sup> dan K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub><sup>-</sup> sehingga dikatoda akan terjadi reaksi menurut persamaan (6).



Sehingga reaksi redoks pada *Biomass Fixed Cell* ditunjukkan pada persamaan (7).



## KESIMPULAN

Metode *Biomass Fixed Cell* dapat mendegradasi biomassa pada suhu rendah dan menghasilkan energi listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu refluks tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap densitas daya yang dihasilkan. Nilai densitas daya biomassa sengon dan jati masing-masing sebesar 0,5935 mW/cm<sup>2</sup> dan

0,5905 mW/cm<sup>2</sup> dengan waktu optimum proses refluks selama 2 jam. Persentase penguraian biomassa serbuk kayu sengon berbanding lurus dengan peningkatan waktu proses refluks, sedangkan hasil yang berbeda ditunjukkan pada penguraian biomassa serbuk kayu jati.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih dan apresiasi setingginya ditujukan kepada KEMENRISTEK DIKTI yang telah mendanai penelitian ini melalui PKM-PE pendanaan tahun 2018. Apresiasi setingginya juga ditujukan kepada Direktorat Pengembangan Minat/Bakat dan Kesejahteraan Mahasiswa Universitas Islam Indonesia (DPMBKM UII) serta Penelitian Produk Terapan (PPT) 2017 atas bantuan dana penelitian. Ucapan terimakasih kepada Prodi Kimia fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia yang telah mendukung penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Pusdatin ESDM, Indonesia Primary Energy Mix 2010-2030, Jakarta (2010)
2. Dirjen Ketenagalistrikan, Kebijakan Pemerintah dalam Pembangunan Infrastruktur Penyedia Tenaga Listrik, Hal.7-10, Kementrian ESDM, Jakarta (2015)
3. Saputra PPS, Studi Pemanfaatan Biomassa Ampas Tebu (dan Perbandingan dengan Batu Bara) sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap 1x3 mW di Asembagus, Kabupaten Situbondo (Studi Kasus Pabrik Gula Asembagus), Procceding Tugas Akhir, ITS, Surabaya, (2012)
4. Saputro DW. dan Widayat W, Karakterisasi Limbah Pengolahan Kayu Sengon sebagai Bahan Bakar Alternatif, Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, *Saintekmol*, **14**, (1), 21-29, (2016)
5. Choudhury A.,Chandra H. & Arora A, Application of Solid Oxide Fuel Cell Technology for Power Generation-a review, *Renewable Sustainable Energy Rev*, **20**, 430-442, (2013)
6. Ruiz JA., Juarez MC., Morales MP., Murioz P. & Mendivil M.A. Biomass Gasification for Electricity Generation: Review of Current Technology Barriers. *Renewable Sustainable Energy Rev*. **18**, 174-183 (2013)
7. Rashid N., Cui YF., Sair ur Rehman, M. & Han JI, Enhanced Electricity Generation by Using Algae Biomass and Activated Sludge in Microbial Fuel Cell, *Sci. Total Environ*, **456-457**, 91-94 (2013)
8. Ahmad F., Atiyeh MN., Pereira B. & Stephanopoulos GN, A Review of Cellulosic Microbial Fuel Cell: Performance and Challenges, *Biomass Bioenergy*, **56**, 179 – 188 (2013)
9. Gong J., Liu W., Du X., Liu C., Zhang Z., Sun F., Yang L., Xu D., Guo H. & Deng, Y, Direct Conversion of Wheat Straw into Electricity with a Biomass Flow Fuel Cell Mediated by Two Redox Ion Pairs, *Chem. Sus. Chem*, **9**, 1-9 (2016)
10. Liu W., Mu W. & Deng Y, High-Performance Liquid-Catalyst Fuel Cell for Direct Biomass-into-Electricity Conversion, *Angew. Chem*, **126**, 13776 – 13780, (2014)
11. Liu W., Mu W., Liu M., Zhang X., Cai H. & Deng Y, Solar-induced Direct Biomass-to-Electricity Hybrid Fuel Cell using Polyoxometalates as Photocatalyst and Charge Carrier, *Nat. Commun*, **5**, 1 – 8 (2014)