

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Dari hasil penelitian menggunakan *membrane reverse electro dialysis* didapatkan data hasil penelitian pada **Tabel 4.1**

kecepatan		OCV			Σ	Rata2	Resistance			Σ	Rata2	Power Density			Σ	Rata2					
cm ³ /s		mV														ohm/cm ²			mW/m ²		
AL	AS	1	2	3												1	2	3			
8	8	4,500	4,400	4,100	13,000	4,333	0,005	0,005	0,004	0,014	0,005	0,101	0,097	0,101	0,299	0,100					
14	8	5,300	5,200	5,100	15,600	5,200	0,005	0,004	0,004	0,013	0,004	0,140	0,162	0,156	0,459	0,153					
19	8	6,800	6,600	6,500	19,900	6,633	0,003	0,003	0,003	0,008	0,003	0,347	0,436	0,423	1,205	0,402					
8	14	6,800	6,600	6,500	19,900	6,633	0,003	0,003	0,002	0,008	0,003	0,347	0,436	0,634	1,416	0,472					
14	14	7,400	7,300	7,100	21,800	7,267	0,003	0,002	0,002	0,006	0,002	0,548	0,799	0,756	2,103	0,701					
19	14	7,600	7,500	7,300	22,400	7,467	0,002	0,002	0,003	0,006	0,002	0,866	0,844	0,533	2,243	0,748					
8	19	7,400	7,100	6,800	21,300	7,100	0,002	0,003	0,002	0,006	0,002	0,821	0,504	0,694	2,019	0,673					
14	19	7,500	7,400	7,100	22,000	7,333	0,002	0,003	0,002	0,006	0,002	0,844	0,548	0,756	2,148	0,716					
19	19	8,400	8,100	7,600	24,100	8,033	0,003	0,002	0,001	0,005	0,002	0,706	0,984	1,733	3,423	1,141					

Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian

Pada **Tabel 4.1** data hasil penelitian, dengan tiga parameter pengujian pengaruh kecepatan aliran air laut dan sungai sintetis terhadap tegangan atau OCV (*Open Circuit Voltage*), *resistance*, dan *power density*, serta untuk mengetahui energi listrik tertinggi berdasarkan perbedaan kecepatan aliran air laut dan sungai sintesis pada membran *reverse electro dialysis* dengan menggunakan metode rancangan acak kelompok dengan kecepatan aliran air laut dan sungai 8 cm³/s, 14 cm³/s, dan 19 cm³/s. Dengan menggunakan waktu 20 detik sekali. Menurut Wenten (2015) penggunaan waktu 20 detik sekali dikarenakan waktu yang optimal untuk mendapatkan nilai *power density* tertinggi dikarenakan jika bertambahnya waktu

maka *power density* akan menurun, karena garam pada larutan umpan dorong sehingga dapat mengurangi salinitas atau kadar garam pada kedua larutan air sungai dan laut sintetis untuk ditangkap oleh membran selektivitas. Untuk pengambilan hasil energi listrik yang terbaik tergantung pada waktu yang optimal dalam sistem RED, sehingga dari waktu yang optimal dapat membantu mengurangi kerugian modal untuk menerapkan sistem energi listrik terbarukan. Pengamatan yang lama dapat menghasilkan energi listrik yang lebih sedikit lebih kecil.

Pada data hasil penelitian **Tabel 4.1** didapatkan nilai OCV rata-rata tertinggi pada kecepatan air laut dan sungai sintetis 19 cm³/s sebesar 8.033 mV, nilai *resistance* rata-rata tertinggi pada kecepatan air laut dan sungai sintetis 8 cm³/s sebesar 0.005 ohm/cm², dan pada nilai *power density* rata-rata tertinggi pada kecepatan air laut dan sungai sintetis 19 cm³/s sebesar 1.141 mW/m². Untuk mendapatkan nilai OCV diukur dengan menggunakan multimeter digital dengan satuan mV. Pada nilai *resistance* diukur dengan menggunakan multimeter digital dengan satuan ohm, kemudian dimasukkan kedalam rumus $R_{stack} = \frac{R_{alat}}{A}$, dimana R_{stack} adalah nilai *resistance* setiap *stack* membran (ohm/cm³), R_{alat} adalah nilai *resistance* pada multimeter digital (ohm), dan A adalah luasan membran (cm³) (Gilstrap, 2013). Kemudian untuk mendapatkan nilai *power density* didapatkan dengan menggunakan rumus $P_{gross} =$

$\frac{OCV^2}{4R_{stack}N_m}$, dimana OCV adalah besarnya *voltage*, R_{stack} adalah hambatan per stack, dan N_m adalah nomer kontribusi membran terhadap voltase (Vermass, 2011).



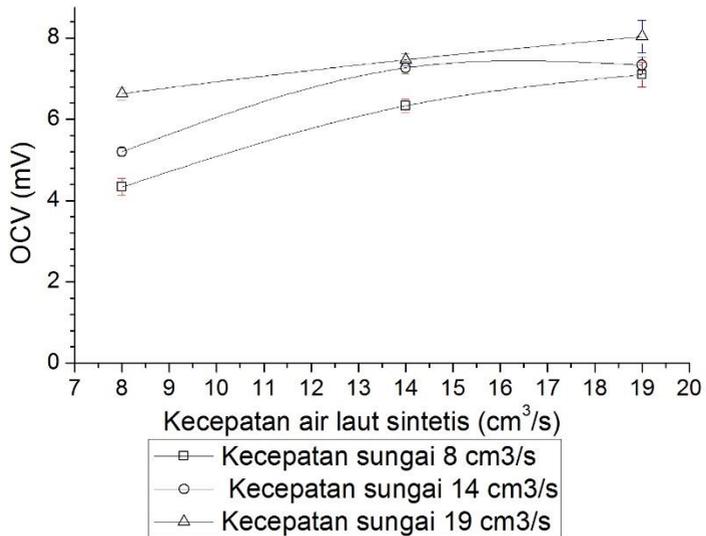
Gambar 4.1 Alat *Cassing Membrane*

Pada **Gambar 4.1** alat *cassing membrane* yang digunakan sebagai tempat membran RED (*Reverse electro dialysis*) yang sudah terpasang, dan dilengkapi dengan kran input serta output, dan juga sudah dilengkapi dengan karbon yang berfungsi sebagai pembangkit listrik, dimana ketika larutan air sungai dan laut sintetis dimasukan kedalam kran input kemudian diproses oleh membran RED, dikarenakan perbedaan muatan antar membran menyebabkan proses *reverse electro dialysis* ini dapat menarik ion Cl^- di dalam air laut yang sebagian besar memiliki kandungan senyawa $NaCl$, ion Cl^- ini akan tertarik ke *anode* sehingga mengalami reaksi oksidasi dan menghasilkan elektron e^- , sedangkan, ion Na^+ akan tertarik ke

cathode sehingga mengalami proses reduksi dan menangkap elektron e^- . Selain dengan menggunakan perbedaan muatan membran, proses ini juga menggunakan perbedaan salinitas garam dalam air laut, sehingga akan lebih efisien jika kadar garamnya tidak terlalu pekat, maka dari itu proses ini menggunakan campuran air laut dan air sungai agar ion Na^+ dan Cl^- dapat berpindah dengan bebas di dalam air. Proses ini kemudian menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi (Guler, 2014). Kemudian untuk pengukuran energi listrik sendiri meliputi tegangan dan hambatan diukur dengan menggunakan multimeter digital selama 20 detik sekali, sehingga untuk 3 kali ulangan 9 perlakuan, sehari membutuhkan waktu sekitar 2 jam per 1 kali ulangan dalam sehari, dikarenakan menggunakan metode RAK (Rancangan Acak Kelompok).

4.2 Hubungan Kecepatan dengan OCV (*Open Circuit Voltage*)

Setelah dilakukan pengujian OCV atau tegangan pada membran RED, didapatkan grafik hubungan kecepatan dengan OCV pada **Gambar 4.2**



Gambar 4.2 Hubungan Kecepatan dengan OCV (*Open Circuit Voltage*)

Pada **Gambar 4.2** Hubungan Kecepatan dengan OCV (*Open Circuit Voltage*), didapatkan hasil rata-rata pada kecepatan air laut 8 cm³/s dan sungai 8 cm³/s sebesar 4.333 mV, kemudian pada kecepatan air laut 14 cm³/s dan sungai 8 cm³/s semakin naik sebesar 5.200 mV, kemudian pada kecepatan air laut 19 cm³/s dan sungai 8 cm³/s semakin naik

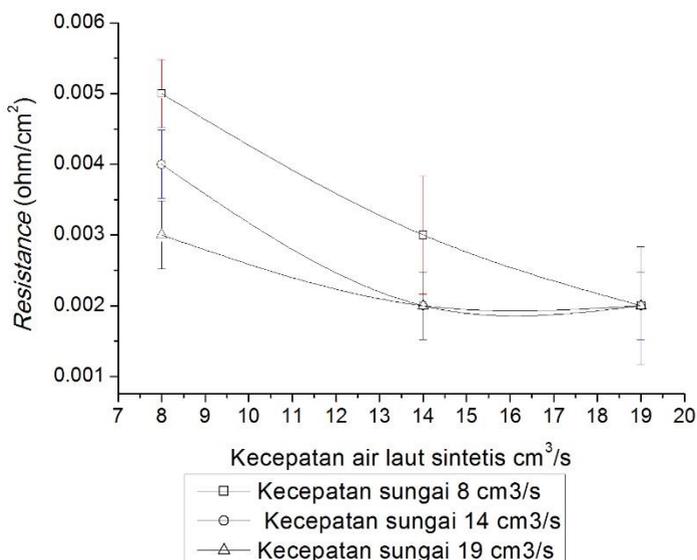
pula sebesar 6.633 mV, kemudian pada kecepatan air laut 8 cm³/s dan sungai 14 cm³/s masih sama sebesar 6.633 mV dikarenakan kecepatan air laut lebih rendah dibandingkan air sungai, kemudian pada kecepatan air laut 14 cm³/s dan sungai 14 cm³/s semakin naik kembali sebesar 7.267 mV, kemudian pada kecepatan air laut 19 cm³/s dan sungai 14 cm³/s semakin naik sedikit sebesar 7.467 mV, kemudian pada kecepatan air laut 8 cm³/s dan sungai 19 cm³/s semakin menurun sebesar 7.100 mV, kemudian pada kecepatan air laut 14 cm³/s dan sungai 19 cm³/s semakin naik kembali sebesar 7.333 mV, kemudian pada kecepatan air laut 19 cm³/s dan sungai 19 cm³/s semakin naik sebesar 8.033 mV.

Pada saat pengujian pada kecepatan terendah didapatkan hasil tegangan yang sangat rendah pula, dan kecepatan tertinggi didapatkan nilai tegangan yang tertinggi pula, dan hasil yang terbaik untuk mendapatkan nilai tegangan yang tertinggi yaitu pada kecepatan air laut 19 cm³/s dan sungai 19 cm³/s sebesar 8.033 mV. Hal ini, sesuai dengan literatur bahwa penggunaan metode *reverse electrodialysis* dimana laju kecepatan aliran yang tinggi, menyebabkan tegangan OCV (*Open Circuit Voltage*) yang meningkat pula (Gilstrap, 2013). Namun, jika dilihat dari standart deviasi dari setiap perlakuan dimana didapatkan hasil standar deviasi atau nilai error yang paling kecil yaitu pada perlakuan kecepatan air laut dan sungai 8 cm³/s yaitu memiliki nilai error 0.100, dan nilai error tertinggi

yaitu pada perlakuan kecepatan air laut dan sungai 19 cm³/s yaitu memiliki nilai error 0.404.

4.3 Hubungan Kecepatan dengan *Resistance*

Setelah dilakukan pengujian *resistance* pada membran RED, didapatkan grafik hubungan kecepatan dengan *resistance* pada **Gambar 4.3**



Pada **Gambar 4.3** Hubungan Kecepatan dengan *Resistance*

Pada **Gambar 4.3** Hubungan kecepatan dengan *resistance*, didapatkan hasil rata-rata pada kecepatan air laut 8 cm³/s dan sungai 8 cm³/s sebesar 0.005 ohm/cm², kemudian pada kecepatan air laut 14 cm³/s dan sungai 8 cm³/s semakin

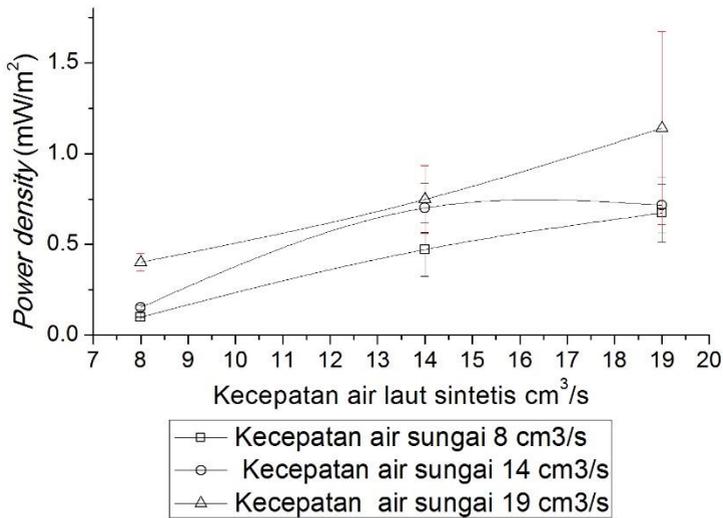
menurun sebesar 0.004 ohm/cm^2 , kemudian pada kecepatan air laut $19 \text{ cm}^3/\text{s}$ dan sungai $8 \text{ cm}^3/\text{s}$ semakin menurun sebesar 0.003 ohm/cm^2 , kemudian pada kecepatan air laut $8 \text{ cm}^3/\text{s}$ dan sungai $14 \text{ cm}^3/\text{s}$ konstan sebesar 0.003 ohm/cm^2 , kemudian pada kecepatan air laut $14 \text{ cm}^3/\text{s}$ dan sungai $14 \text{ cm}^3/\text{s}$ menurun sebesar 0.002 ohm/cm^2 , kemudian pada kecepatan air laut $19 \text{ cm}^3/\text{s}$ dan sungai $14 \text{ cm}^3/\text{s}$ hasil yang didapatkan konstan sebesar 0.002 ohm/cm^2 , kemudian pada kecepatan air laut $8 \text{ cm}^3/\text{s}$ dan sungai $19 \text{ cm}^3/\text{s}$ hasil yang didapatkan konstan sebesar 0.002 ohm/cm^2 , kemudian pada kecepatan air laut $14 \text{ cm}^3/\text{s}$ dan sungai $19 \text{ cm}^3/\text{s}$ hasil yang didapatkan konstan sebesar 0.002 ohm/cm^2 , kemudian pada kecepatan air laut $19 \text{ cm}^3/\text{s}$ dan sungai $19 \text{ cm}^3/\text{s}$ hasil yang didapatkan menurun konstan sebesar 0.002 ohm/cm^2 .

Pada saat pengujian didapatkan hasil yang naik turun, dan didapatkan beberapa hasil hambatan yang konstan tidak terdapat perubahan, dan hambatan tertinggi didapatkan pada kecepatan yang terendah, dan kecepatan tertinggi didapatkan hasil hambatan yang terendah, dan hasil yang terbaik untuk mendapatkan hasil hambatan tertinggi yaitu pada kecepatan $8 \text{ cm}^3/\text{s}$ sebesar 0.005 ohm/cm^2 , hal ini sesuai dengan literatur bahwa semakin cepat laju aliran yang diumpankan maka hambatan listrik yang terjadi di dalam proses akan berkurang sehingga tegangan listrik (OCV) yang dihasilkan akan lebih banyak (Gilstrap, 2013). Namun, jika dilihat dari standart deviasi

dari setiap perlakuan dimana didapatkan hasil standar deviasi atau nilai error yang paling kecil yaitu pada perlakuan kecepatan air laut dan sungai 8 cm³/s, kecepatan air laut 14 cm³/s dan sungai 8 cm³/s, kecepatan air laut 19 dan sungai 8 cm³/s, kecepatan air laut 14 cm³/s dan sungai 14 cm³/s, kecepatan air laut 19 cm³/s dan sungai 14 cm³/s, kecepatan air laut 8 cm³/s dan sungai 19 cm³/s, kecepatan air laut 14 cm³/s dan sungai 19 cm³/s yaitu memiliki nilai error 0.00048, dan nilai error tertinggi yaitu pada perlakuan kecepatan air laut 8 cm³/s dan sungai 14 cm³/s dan kecepatan air laut 19 cm³/s dan sungai 19 cm³/s yaitu memiliki nilai error 0.00083.

4.4 Grafik Hubungan Kecepatan dengan *Power Density*

Setelah dilakukan pengujian tegangan dan hambatan pada membran RED, kemudian dilakukan perhitungan untuk menghitung *power density* yang dihasilkan pada proses membran RED, dengan menggunakan rumus $P_{gross} = \frac{OCV^2}{4R_{stack}N_m}$, dimana OCV adalah besarnya *voltage*, R_{stack} adalah hambatan per stack, dan N_m adalah nomer kontribusi membran terhadap voltase (Vermass, 2011). didapatkan grafik hubungan kecepatan dengan *power density* pada **Gambar 4.4**



Gambar 4.4 Hubungan Kecepatan dengan *Power Density*

Pada **Gambar 4.4** Hubungan kecepatan dengan *power density* didapatkan hasil rata-rata pada kecepatan air laut 8 cm³/s dan sungai 8 cm³/s sebesar 0.100 mW/m², kemudian pada kecepatan air laut 14 cm³/s dan sungai 8 cm³/s naik sebesar 0.153 mW/m², kemudian pada kecepatan air laut 19 cm³/s dan sungai 8 cm³/s naik sebesar 0.402 mW/m², kemudian pada kecepatan air laut 8 cm³/s dan sungai 14 cm³/s naik sebesar 0.472 mW/m², kemudian pada kecepatan air laut 14 cm³/s dan sungai 14 cm³/s naik sebesar 0.701 mW/m², kemudian pada kecepatan air laut 19 cm³/s dan sungai 14 cm³/s naik sebesar 0.748 mW/m², kemudian pada kecepatan air laut 8 cm³/s dan sungai 19 cm³/s menurun sebesar 0.673 mW/m²,

kemudian pada kecepatan air laut $14 \text{ cm}^3/\text{s}$ dan sungai $19 \text{ cm}^3/\text{s}$ naik sebesar $0.716 \text{ mW}/\text{m}^2$, kemudian pada kecepatan air laut $19 \text{ cm}^3/\text{s}$ dan sungai $19 \text{ cm}^3/\text{s}$ naik sebesar $1.141 \text{ mW}/\text{m}^2$.

Pada data penelitian yang didapatkan sangat fluktuatif yaitu mengalami kenaikan dan penurunan, kemungkinan dikarenakan beberapa faktor berkurangnya tingkat konsentrasi garam, dengan hal itu didapatkan hasil *power density* yang tertinggi yaitu pada kecepatan air laut $19 \text{ cm}^3/\text{s}$ dan sungai $19 \text{ cm}^3/\text{s}$ sebesar $1.141 \text{ mW}/\text{m}^2$, dan terendah pada kecepatan air laut $8 \text{ cm}^3/\text{s}$ dan sungai $8 \text{ cm}^3/\text{s}$ sebesar $0.100 \text{ mW}/\text{m}^2$. Hal tersebut sesuai dengan literatur bahwa, Kemudian peningkatan laju aliran umpan kedua jenis larutan garam akan memaksimalkan perbedaan konsentrasi dengan cara mempercepat laju perpindahan ion menuju elektroda sehingga *power density* yang dihasilkan juga akan semakin meningkat, dan laju alir umpan merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap *power density* yang dihasilkan (Verman et. al, 2009). Namun, jika dilihat dari standart deviasi dari setiap perlakuan dimana didapatkan hasil standar deviasi atau nilai error yang paling kecil yaitu pada perlakuan kecepatan air laut dan sungai $8 \text{ cm}^3/\text{s}$ yaitu memiliki nilai error 0.002, dan nilai error tertinggi yaitu pada perlakuan kecepatan air laut dan sungai $19 \text{ cm}^3/\text{s}$ yaitu memiliki nilai error 0.531.

4.5 Perbandingan dengan Data Literatur

Tabel 4.2 Perbandingan dengan data literatur

	Hasil Penelitian	(Vermaas, 2011).	Gilstrap, 2013).	(Veerman, 2009).
OCV (mV)	8.033	15600	150	6320
Resistance (ohm/cm²)	0.005	0.6	-	-
Power density (mW/m²)	1.141	440	-	480
Jumlah sel	1	5	10	25
Tipe Membran	Fumasep FKS-15 dan FAS-15	Fumasep dan FAS	FT-ED 40	Fumasep FAD dan FKD
Elektroda	Karbon	Ti dan Pt	Ti	Ti
Elektrolit	FeCl ₃ + NaCl	K ₃ Fe(CN) ₆ + K ₂ Fe(CN) ₆ + NaCl	FeCl ₃ + FeCl ₂ + NaCl	Ag/AgCl
Kecepatan Aliran (cm³/s)	8, 14, 19 dan 19	0.017 dan 4.17	8, 14, dan 19	116.667

Dari hasil penelitian jika dibandingkan dengan hasil literatur bahwa pada hasil penelitian didapatkan nilai OCV

sebesar 8.033 mV, *resistance* sebesar 0.005 ohm/cm², dan *power density* sebesar 1.141 mW/m², sedangkan pada literatur (Vermaas, 2011) nilai OCV yang didapatkan yaitu 15600 mV dengan waktu 3.5 detik sekali, *resistance* sebesar 0.6 ohm/cm², dan *power density* sebesar 440 mW/m², dikarenakan menggunakan elektroda Ti/Pt, dengan menggunakan kecepatan 0.017 dan 4.17 cm³/s, dan menggunakan 5 *cells* dengan menggunakan elektrolit K₃Fe(CN)₆ + K₂Fe(CN)₆ + NaCl, dengan menggunakan tipe membran. Sedangkan, pada literatur (Gilstrap, 2013) bahwa nilai OCV sebesar 150 mV didapatkan pada kecepatan tertinggi 19 cm³/s, pada literatur ini menggunakan 10 *cells*, menggunakan elektroda Ti, dan menggunakan membran tipe FT-ED 40, namun menggunakan elektrolit FeCl₃ + FeCl₂ + NaCl yang sangat lemah dibandingkan elektrolit yang digunakan oleh Vermaas dan Veerman, serta menggunakan kecepatan aliran 8 cm³/s, 14 cm³/s, dan 19 cm³/s. Sedangkan, pada literatur (Veerman, 2009) bahwa nilai OCV yang didapatkan yaitu sebesar 6320 mV, dan *power density* yang didapatkan sebesar 480 mV/m², pada penelitian dalam literatur ini tidak membahas tentang hambatan, dan hasil yang didapatkan lebih besar dikarenakan menggunakan 25 *cells* dan menggunakan membran tipe fumasep FAD dan FKD, dengan kecepatan aliran sebesar 116.667 cm³/s, serta pada penelitian literatur ini menggunakan elektroda Ti dan menggunakan elektrolit Ag/AgCl. Dengan itu, hasil yang didapatkan pada saat

penelitian lebih kecil, dikarenakan menggunakan 1 *cell* membran tipe FKS-15 dan FAS-15, dan dengan menggunakan elektroda karbon yang merupakan tingkat penggunaan elektroda yang paling rendah dibandingkan dengan Ti, serta menggunakan elektrolit hanya $\text{FeCl}_3 + \text{NaCl}$ yang sangat lemah karena hanya menggunakan 1 elektrolit.

4.6 Perbandingan dengan Hasil ANOVA

Dari hasil penelitian dibandingkan dengan hasil dari tabel ANOVA pada **Lampiran 4**. Data Hasil Percobaan dan Rancangan Percobaan, didapatkan pada pengujian tegangan atau OCV (*Open Circuit Voltage*) yaitu ($F_{\text{hit}} > F_{\text{tab}5\%}$ dan $F_{\text{hit}} > F_{\text{tab}1\%}$) ($60.71 < 3.63$ dan $60.71 < 6.23$), sehingga disimpulkan bahwa kecepatan air laut sintesis (A) memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap tegangan, ($F_{\text{hit}} > F_{\text{tab}5\%}$ dan $F_{\text{hit}} > F_{\text{tab}1\%}$) ($17.98 < 33.36$ dan $17.98 < 6.23$), sehingga disimpulkan bahwa kecepatan air sungai sintesis (B) memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap tegangan. Pada uji BNT juga didapatkan perbedaan yang sangat signifikan.

Kemudian untuk *resistance* didapatkan ($F_{\text{hit}} > F_{\text{tab}5\%}$ dan $F_{\text{hit}} > F_{\text{tab}1\%}$) ($1928.00 < 3.63$ dan $1928.00 < 6.23$), sehingga disimpulkan bahwa kecepatan air laut sintesis (A) memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap *resistance*, ($F_{\text{hit}} > F_{\text{tab}5\%}$ dan $F_{\text{hit}} > F_{\text{tab}1\%}$) ($328.00 < 33.36$ dan $328.00 < 6.23$), sehingga disimpulkan bahwa kecepatan air sungai sintesis (B)

memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap *resistance*. Pada uji BNT juga didapatkan perbedaan yang sangat signifikan.

Kemudian untuk *power density* didapatkan ($F_{hit} < F_{tab5\%}$ dan $F_{hit} < F_{tab1\%}$) ($19.56 < 3.63$ dan $19.56 < 6.23$), sehingga disimpulkan bahwa kecepatan air laut sintetis (A) memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap *power density*, ($F_{hit} < F_{tab5\%}$ dan $F_{hit} < F_{tab1\%}$) ($6.24 < 3.63$ dan $6.24 < 6.23$), sehingga disimpulkan bahwa kecepatan air sungai sintetis (B) memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap *power density*. Pada uji BNT juga didapatkan perbedaan yang sangat signifikan.

4.7 Hasil Perlakuan Terbaik

Pada perlakuan terbaik pada penelitian ini dibuktikan dengan menggunakan metode zeleny, yaitu suatu metode untuk menentukan nilai ideal masing - masing parameter yaitu OCV (*Open Circuit Voltage*), *resistance*, dan *power density*. Nilai ideal adalah nilai yang sesuai dengan pengharapan yaitu nilai maksimal atau minimal dari suatu parameter seperti OCV (*Open Circuit Voltage*), *resistance*, dan *power density*. Untuk parameter seperti OCV (*Open Circuit Voltage*), *resistance*, dan *power density* dengan rerata semakin tinggi semakin baik, maka nilai terendah sebagai nilai terjelek. Kemudian setelah itu, menghitung derajat kerapatan (dk) berdasarkan nilai ideal dari

masing – masing parameter. Setelah itu, menghitung jarak kerapatan (L_p) Dengan asumsi bahwa semua parameter penting seperti OCV (*Open Circuit Voltage*), *resistance*, dan *power density*, jarak kerapatan (λ) dihitung berdasarkan jumlah parameter seperti OCV (*Open Circuit Voltage*), *resistance*, dan *power density* pada masing-masing perlakuan. Kemudian, perlakuan seperti OCV (*Open Circuit Voltage*), *resistance*, dan *power density* terbaik dipilih dari perlakuan yang mempunyai nilai L_1 , L_2 , dan L_∞ minimal (Sukardi dkk, 2014). Dengan menggunakan metode zeleny didapatkan nilai hasil perlakuan terbaik dengan nilai kerapatan yang terendah. Pada penelitian ini perlakuan terbaik dapat dilihat pada **Lampiran 6** didapatkan perlakuan kombinasi kecepatan air laut sintetis $19 \text{ cm}^3/\text{s}$ dan air sungai sintetis $19 \text{ cm}^3/\text{s}$ dengan nilai kerapatan rendah yaitu 3.100.