

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian

(Terlampir)

4.1.2 Contoh Perhitungan Data

Dalam penelitian ini digunakan variabel penelitian jarak celah elektroda 1.5, 1.8, 2 dan 3 mm serta dengan ketebalan pelat 0.3, 1 dan 1.5 mm. Perhitungan data hasil penelitian dilakukan untuk mencari serta mengetahui performansi optimal dari kinerja *electrolyzer dry cell* dalam memproduksi *Brown's gas* pada suatu proses elektrolisis air. Parameter yang digunakan untuk menentukan performansi kinerja *electrolyzer* yaitu meliputi konsumsi daya yang digunakan, produktivitas *Brown's gas* yang dihasilkan serta efisiensi dari *electrolyzer*. Untuk contoh perhitungan data hasil pengujian *electrolyzer* tipe *dry cell* terhadap produktivitas *Brown's gas* (gas HHO), konsumsi daya *electrolyzer* dan efisiensi *electrolyzer* diambil dari data pengujian variasi jarak celah elektroda 1.5 mm pada ketebalan pelat 0.3 mm. Parameter-parameter yang diketahui dari hasil pengujian terlihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Produktivitas *Brown's Gas* Pada Jarak Celah Elektroda 1.5 mm dan Ketebalan Pelat 0,3 mm

| No. | Waktu Elektrolisis (second) | Kuat Arus (Ampere) | Beda Potensial (Voltage) (Volt) | Temperatur (°C) | Volume <i>Brown's gas</i> (liter) |
|------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 1 | 10 | 10 | 43,3 | 42,6 | 0,145 |
| 2 | 20 | 10 | 43,2 | 42,6 | 0,2883 |
| 3 | 30 | 10 | 42,9 | 42,9 | 0,4416 |
| 4 | 40 | 10 | 42,4 | 41,7 | 0,5916 |
| 5 | 50 | 10 | 42,5 | 41,5 | 0,7333 |
| 6 | 60 | 10 | 42,6 | 41,7 | 0,8833 |
| 7 | 70 | 10 | 42,3 | 41,3 | 1,03000 |
| 8 | 80 | 10 | 43,2 | 42,5 | 1,19167 |
| 9 | 90 | 10 | - | - | - |
| 10 | 100 | 10 | - | - | - |
| Rata-Rata | | | 42,8 | 42,1 | |

1. Perhitungan konsumsi daya yang digunakan *electrolyzer dry cell*

Jumlah energi listrik yang merupakan sebagai pemicu terjadinya reaksi elektrolisis dan digunakan oleh *electrolyzer* untuk melakukan suatu proses pemecahan molekul air (H_2O). Perhitungan konsumsi daya dilakukan untuk mencari besar energi yang dibutuhkan proses elektrolisis sehingga menghasilkan *Brown's gas* dengan volume tertentu dapat dihitung dengan Persamaan (2-7) berikut.

$$P = V \cdot I \text{ [Watt]}$$

Berdasarkan Tabel 4.1 didapatkan nilai beda potensial (Volt) rata-rata dari 8 data dan besar kuat arus (I) yang digunakan dalam proses:

$$V = 42,8 \text{ Volt}$$

$$I = 10 \text{ Ampere}$$

Maka konsumsi daya yang digunakan oleh *electrolyzer* untuk melakukan proses elektrolisis air adalah :

$$P = 42,8 \text{ Volt} \times 10 \text{ Ampere}$$

$$P = 428 \text{ Watt}$$

2. Perhitungan produktivitas *Brown's gas*

Pada pengujian ini pengambilan data volume *Brown's gas* dilakukan setiap 10 detik sekali selama 10 kali pengambilan data, maka untuk mendapatkan nilai volume alir data volume *Brown's gas* harus dikonversi menjadi mililiter per *second* (ml/s). Perhitungan volume alir dapat ditunjukkan pada Persamaan (2-8) berikut.

$$Q = \frac{V}{t} \left[\frac{l}{s} \right]$$

Untuk nilai volume *Brown's gas* diambil data hasil terakhir pada hasil pengujian, maka didapatkan volume alir *Brown's gas* :

$$Q = \frac{1,19167}{80} \left[\frac{l}{s} \right]$$

$$Q = 0,014896 \text{ l/s}$$

3. Perhitungan efisiensi (η) *electrolyzer dry cell*

Perhitungan efisiensi digunakan untuk mengetahui performa terbaik dari kinerja *electrolyzer dry cell*. Efisiensi *electrolyzer* (η) yang digunakan dalam melakukan proses elektrolisis air dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-11) berikut.

$$\eta = \frac{\text{Energi yang dimiliki oleh HHO hasil elektrolisis}}{\text{Energi yang dibutuhkan untuk memproduksi gas HHO}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{Q_{HHO} \times \rho_{HHO} \times LHV_{HHO}}{P}$$

Dalam menentukan efisiensi dari kinerja *electrolyzer dry cell* maka terlebih dahulu harus mengetahui beberapa parameter pengujian diantaranya massa jenis dan *Lower Heating Value (LHV)* dari *Brown's gas*, contoh perhitungannya dapat dilihat sebagai berikut :

- Menentukan massa jenis *Brown's gas*

Dalam persamaan kimia reaksi elektrolisis air, dapat dihitung seberapa besar kandungan massa hidrogen yang terdapat dalam HHO. Untuk mengetahui massa jenis dari *Brown's gas*, terlebih dahulu kita perlu mengetahui perbandingan massa yang terdapat pada reaksi elektrolisis seperti pada Persamaan (4-1) berikut. Jika massa molekul air (H₂O) yang digunakan dalam proses elektrolisis sebanyak 1 kg, maka massa produk total hidrogen (H₂) dan oksigen (O₂) juga sebesar 1 kg, sehingga diketahui massa molekul relatif Mr H₂O=18, Mr H₂=2, Mr O₂=32, maka didapat :



Dari persamaan reaksi stoikiometri di atas dapat diketahui massa jenis dari *Brown's gas*. Jika pada kondisi STP (*standard temperature pressure*) massa jenis hidrogen (H₂) memiliki nilai sebesar ρ_{H₂} = 0,08235 gr/lit dan oksigen (O₂) sebesar ρ_{O₂} = 1,3088 gram/liter (*Cole Parmer Instrument, 2005*), maka massa jenis *Brown's gas* (ρ_{HHO}) dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (4-2) berikut ini :

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{HHO}} &= \frac{m_{\text{HHO}}}{V_{\text{HHO}}} = \frac{(m_{\text{H}_2} + m_{\text{O}_2})}{V_{\text{HHO}}} = \frac{(\rho_{\text{H}_2} \cdot V_{\text{H}_2} + \rho_{\text{O}_2} \cdot V_{\text{O}_2})}{V_{\text{HHO}}} & (4-2) \\
 &= \frac{(\rho_{\text{H}_2} \cdot \frac{2}{3} V_{\text{HHO}} + \rho_{\text{O}_2} \cdot \frac{1}{3} V_{\text{HHO}})}{V_{\text{HHO}}} \\
 &= \frac{2}{3} \rho_{\text{H}_2} + \frac{1}{3} \rho_{\text{O}_2} \\
 \rho_{\text{HHO}} &= \left(\frac{2}{3} \times 0,08235 \frac{\text{gr}}{\text{lt}} \right) + \left(\frac{1}{3} \times 1,3088 \frac{\text{gr}}{\text{lt}} \right) \\
 &= 0,491167 \text{ gram/lt}
 \end{aligned}$$

- *Lower Heating Value (LHV) Brown's gas*

Untuk gas hidrogen (H₂) sendiri memiliki nilai kalor sebesar 119,93 kJ/gram (O'Connor, 2006). Jika ingin mengetahui nilai kalor dari *Brown's gas*, maka terlebih dahulu harus mengetahui perbandingan massa antara gas hidrogen (H₂) yang terdapat dalam *Brown's gas*. Jika massa H₂ dalam *Brown's gas* adalah sebesar 1/9, maka nilai LHV (*Lower Heating Value*) *Brown's gas* merupakan 1/9 kali dari nilai

LHV (*Lower Heating Value*) gas H_2 , yaitu = $1/9 \times 119,93 \text{ kJ/g} = 13,25 \text{ kJ/g}$ atau $3812,754 \text{ kcal/kg}$.

Untuk contoh perhitungan efisiensi *electrolyzer*, nilai volume *Brown's gas* digunakan data terakhir yaitu pada data pada waktu ke-80 *second* yang terdapat pada Tabel 4.1 sedangkan untuk konsumsi daya yang digunakan oleh *electrolyzer* untuk melakukan proses elektrolisis air diambil dari perhitungan sebelumnya. Untuk nilai volume dan konsumsi daya yang digunakan adalah sebagai berikut :

V_{HHO} = Volume *Brown's gas* yang di hasilkan dalam satu detik (1/s), pada perhitungan ini diambil data terakhir sehingga nilai volume per *sekon* sebesar $0,014896 \text{ l/s}$.

P_{HHO} = Daya yang digunakan *electrolyzer* merupakan nilai rata-rata daya dari keseluruhan data, sehingga nilai $P = 428 \text{ Watt} = 428 \text{ J/s}$.

Maka nilai efisiensi *electrolyzer dry cell* adalah :

$$\eta = \frac{0,014896 \left(\frac{l}{s}\right) \times 0,491167 \left(\frac{gr}{l}\right) \times 13250 \left(\frac{J}{gr}\right)}{428 \left(\frac{J}{s}\right)} \times 100\%$$

$$\eta = 22,649839 \%$$

Hasil secara keseluruhan perhitungan efisiensi dari kinerja *electrolyzer dry cell* yang diambil dari data ke -80 *second* dan nilai rata-rata konsumsi daya dari 8 data pertama dari hasil pengujian ditunjukkan pada Lampiran 4.

4. Perhitungan persentase fraksi massa katalis $NaHCO_3$ yang digunakan dalam pengujian

$$\% \text{ Fraksi massa katalis} = \frac{\text{massa katalis}}{\text{massa larutan (air + katalis)}}$$

Dalam penelitian ini massa katalis yang digunakan adalah sebesar 45 gram

$$\text{Massa air} = \rho \text{ air} \times V \text{ air}$$

$$\text{Massa air} = 1 \text{ gram/ml} \times 2500 \text{ ml} = 2500 \text{ gram}$$

Maka persentase fraksi massa katalis yang digunakan dalam pengujian adalah :

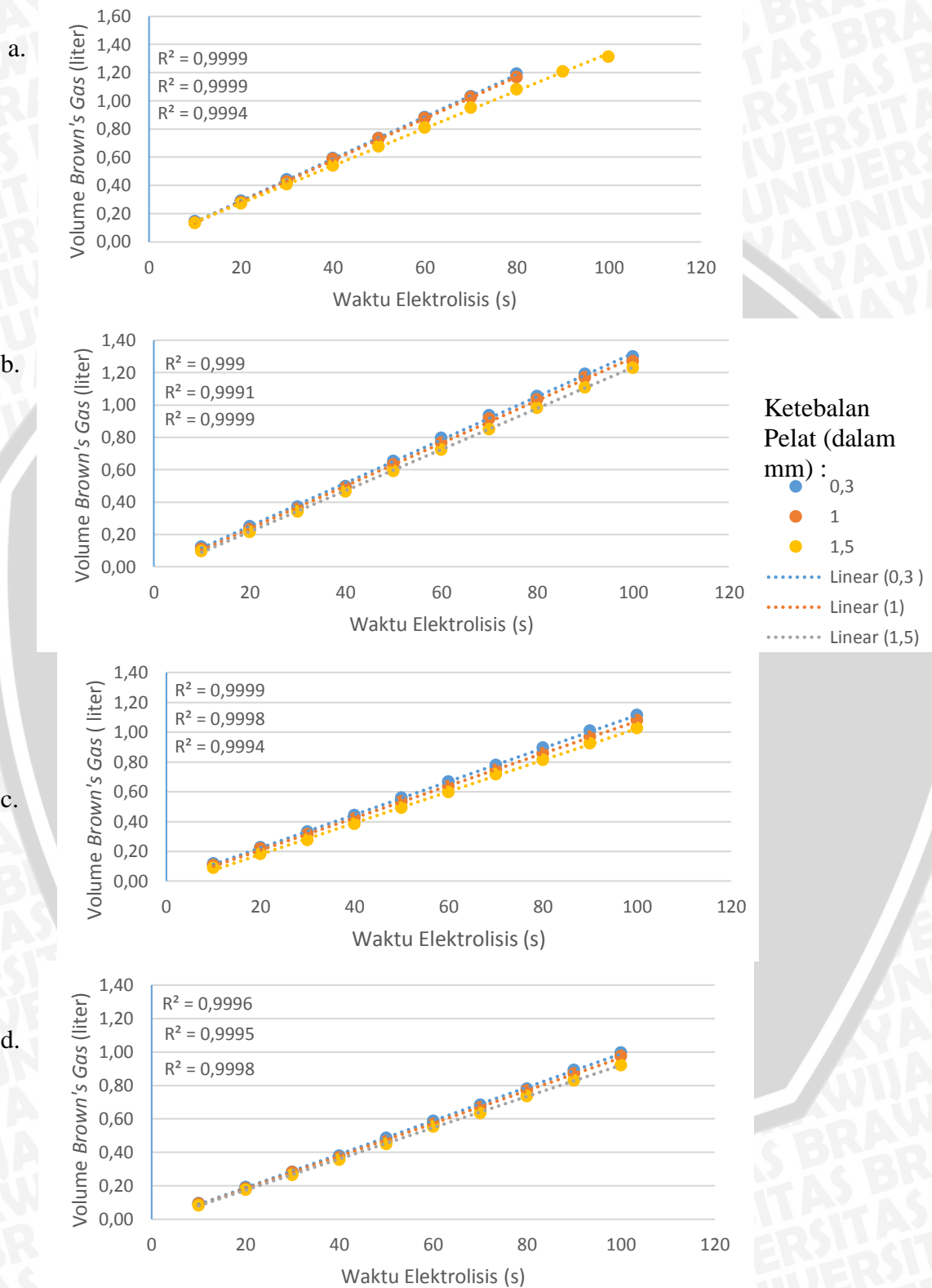
$$\% \text{ Fraksi massa katalis} = \frac{45 \text{ gram}}{2500 \text{ gram} + 45 \text{ gram}} \times 100 \%$$

$$\% \text{ Fraksi massa katalis} = \frac{45 \text{ gram}}{2545 \text{ gram}} \times 100 \%$$

$$\% \text{ Fraksi massa katalis} = 1,77 \%$$

4.2 Analisis dan Pembahasan Grafik

4.2.1 Hubungan Waktu Elektrolisis Terhadap Volume *Brown's Gas* Dengan Variasi Ketebalan Pelat 0,3, 1 dan 1,5 mm.



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Waktu Elektrolisis Terhadap Volume *Brown's Gas* pada Jarak Celah Elektroda (dalam mm) : (a)1,5; (b)1,8; (c)2; (d) 3

Gambar 4.1 menunjukkan hubungan antara waktu elektrolisis terhadap volume *Brown's gas* yang dihasilkan dengan penggunaan ketebalan pelat yang berbeda yaitu 0.3, 1, dan 1,5 mm pada masing-masing jarak celah elektroda. Gambar 4.1 meliputi grafik (a), (b), (c) dan (d) terlihat menunjukkan bahwa hasil produksi volume *Brown's gas* tertinggi terdapat pada penggunaan ketebalan pelat 0.3 mm dibandingkan dengan penggunaan ketebalan pelat 1 dan 1.5 mm. Semakin tipisnya pelat yang digunakan dalam konstruksi *electrolyzer* akan meningkatkan produksi *Brown's gas* yang dihasilkan dibandingkan dengan penggunaan pelat yang lebih tebal. Hal ini dikarenakan pelat yang lebih tebal memiliki nilai hambatan yang lebih besar dibandingkan pelat yang tipis sehingga akan menurunkan produksi *Brown's gas* yang dihasilkan. Sesuai dengan Persamaan (4-3) yang menunjukkan bahwa ketebalan pelat elektroda (dalam mm) berbanding lurus terhadap besarnya hambatan yang dihasilkan.

(4-3)

Keterangan :

R = Resistansi (Ohm)

α = Tahanan jenis (Ohm.mm)

l = Ketebalan Pelat (mm)

A = Luas Permukaan (mm²)

$$R = \frac{\alpha \cdot l}{A}$$

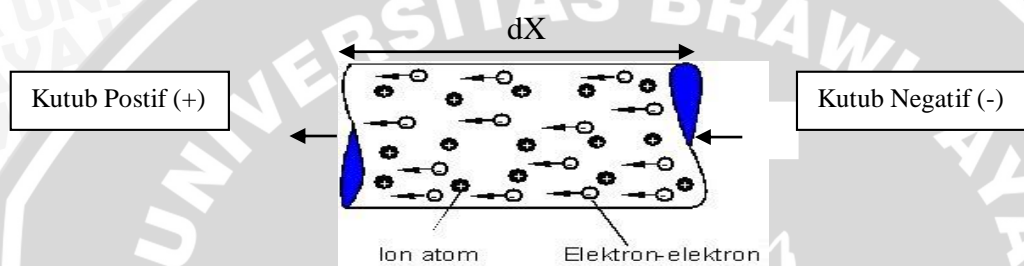
Nilai resistivitas jenis material elektroda dan luas permukaan elektroda dalam penelitian pada setiap variasi adalah konstan. Faktor yang mempengaruhi besar atau kecilnya hambatan jika mengacu pada Persamaan (4-3) adalah dimensi ketebalan pelat yang digunakan (dalam satuan mm). Apabila semakin besar ketebalan pelat elektroda dan pelat netral yang digunakan maka laju elektron untuk memecah molekul air akan semakin terhambat. Hal ini dikarenakan pelat yang lebih tebal memiliki hambatan yang lebih besar dibandingkan pelat yang lebih tipis. Secara teoritis nilai hambatan yang dihitung sesuai dengan Persamaan (4-3) pada masing-masing ketebalan pelat yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Nilai Hambatan Pada Setiap Ketebalan Pelat

| No. | l (mm) | A (mm ²) | α (Ω.mm) | R (Ω) |
|-----|--------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| 1 | 0,3 | (3,14.28 ²).2 = 4923,52 | 6,9 x 10 ⁻⁴ | 4,204 x 10 ⁻⁸ |
| 2 | 1 | (3,14.28 ²).2 = 4923,52 | 6,9 x 10 ⁻⁴ | 1,401 x 10 ⁻⁷ |
| 3 | 1,5 | (3,14.28 ²).2 = 4923,52 | 6,9 x 10 ⁻⁴ | 2,102 x 10 ⁻⁷ |

Dapat dilihat pada Tabel 4.2 diatas bahwa secara teoritis dengan penggunaan tebal pelat 1,5 mm memiliki nilai hambatan terbesar yaitu 2,012 x 10⁻⁷ Ω dibandingkan dengan pelat dengan tebal 0,3 mm dan 1 mm yang hanya memiliki nilai hambatan 4,204 x 10⁻⁸ Ω dan

$1,401 \times 10^{-7} \Omega$. Hal yang menyebabkan rendahnya nilai produksi *Brown's gas* pada proses elektrolisis salah satunya adalah dengan penggunaan pelat yang semakin tebal dikarenakan memiliki nilai hambatan yang tinggi. Selain dengan semakin meningkatnya nilai hambatan yang terjadi, penggunaan pelat yang lebih tebal juga akan memberi jarak yang jauh antara kutub elektroda. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa dengan semakin jauhnya jarak antara kedua kutub elektroda maka transfer elektron yang terjadi juga akan berlangsung semakin lama. Hal ini akan menyebabkan proses pemecahan molekul air menjadi 2 molekul hidrogen dan 1 molekul oksigen (*Brown's Gas*) dengan memanfaatkan pergerakan elektron akan berlangsung dalam waktu yang semakin lama pula sehingga tentu akan berdampak pada penurunan hasil produksi *Brown's gas* dalam proses elektrolisis air.



Gambar 4.2 Pergerakan Elektron Ketika Terjadi Beda Potensial
Sumber: Kanarev (2002)

Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa ketebalan pelat semakin tipis cenderung menghasilkan produktivitas *Brown's gas* semakin besar dibanding dengan ketebalan pelat yang lebih besar.

Pada penelitian yang telah dilakukan terhadap masing-masing ketebalan pelat yang digunakan juga ditemukan suatu fenomena dimana apabila semakin tipisnya pelat yang digunakan maka temperatur larutan elektrolit juga akan semakin meningkat. Hal ini ditunjukkan pada Lampiran 5 yang menunjukkan pengaruh ketebalan pelat terhadap peningkatan temperatur larutan elektrolit. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2, fenomena ini terjadi dikarenakan dengan semakin tipisnya pelat yang digunakan akan menyebabkan tabrakan elektron dengan atom-atom yang terdapat pada pelat pada menjadi semakin intens dan semakin cepat. Dengan semakin intens dan cepatnya pergerakan elektron akan menimbulkan gesekan yang berlebih sehingga temperatur pelat juga akan meningkat. Dikarenakan pelat dilalui oleh larutan elektrolit yang terus bersirkulasi pada sistem maka terjadilah perpindahan panas dari pelat yang memiliki suhu lebih tinggi kepada larutan elektrolit sehingga terjadi peningkatan temperatur pada larutan elektrolit. Fenomena lain yang ditemukan dalam penelitian yaitu terjadinya pada sisi katoda yang merupakan tempat

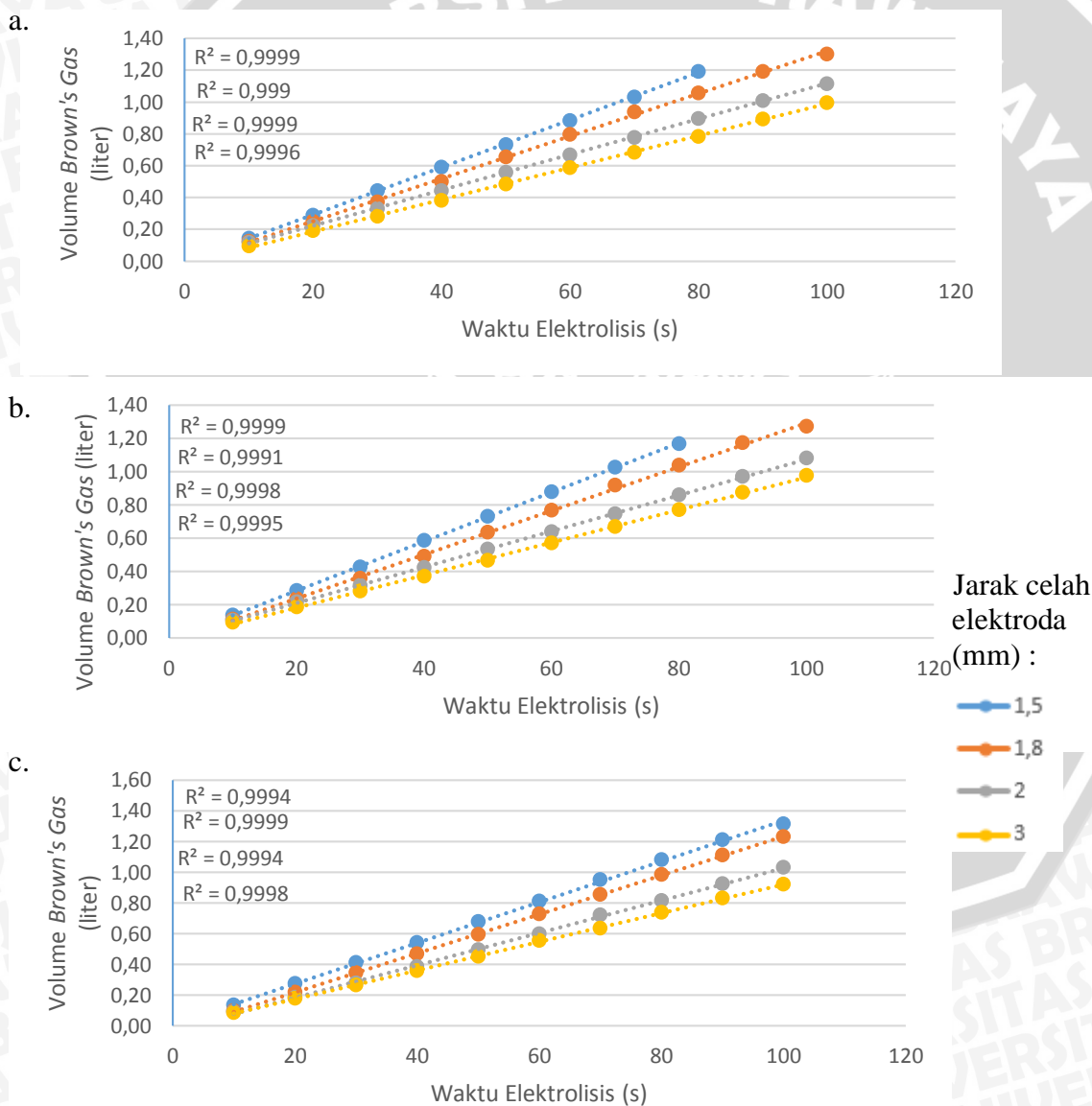
terjadinya reaksi reduksi terlihat berwarna kuning kecoklatan diakibatkan penempelan ion positif Na^+ . Fenomena ini ditunjukkan pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Reaksi yang terjadi pada pelat sisi :

- a. Katoda
- b. Anoda

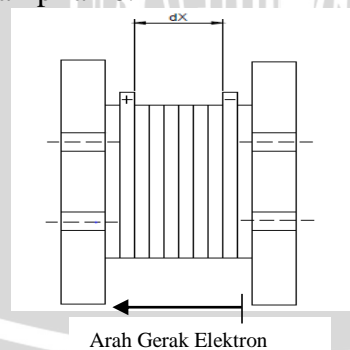
4.2.2 Hubungan Waktu Elektrolisis Terhadap Volume *Brown's Gas* Dengan Variasi Jarak Celah Elektroda 1.5, 1.8, 2 dan 3 mm.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Waktu Elektrolisis Terhadap Volume *Brown's Gas* Pada Ketebalan Pelat (dalam satuan mm) : (a). 0.3 , (b). 1 , (c). 1.5

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan waktu elektrolisis terhadap volume *Brown's gas* yang dihasilkan pada variasi jarak celah elektroda yang digunakan. Pada grafik (a), (b) dan (c) terlihat bahwa dengan penggunaan jarak celah elektroda 1.5 mm menghasilkan volume *Brown's gas* yang lebih tinggi daripada dengan penggunaan variasi jarak celah elektroda 1,8, 2 dan 3 mm pada masing-masing ketebalan pelat yang digunakan. Produksi volume *Brown's gas* tertinggi terdapat pada penggunaan jarak celah elektroda 1.5 mm dengan ketebalan pelat 0.3 mm sebesar 1.19167 liter dalam waktu 80 *second*. Sedangkan pada penggunaan jarak celah 3 mm pada masing-masing ketebalan pelat yang digunakan menghasilkan volume *Brown's gas* paling rendah dengan dibandingkan dengan penggunaan jarak celah lainnya dengan nilai volume sebesar 0.9200 liter dalam waktu 100 *second*. Hal terjadi ini dikarenakan pada jarak celah elektroda 1.5 mm transfer elektron dari kutub katoda menuju kutub anoda berlangsung dalam waktu yang singkat sehingga akan mengakibatkan reaksi pemecahan molekul air akan berlangsung semakin cepat dan volume *Brown's gas* yang dihasilkan akan semakin meningkat. Hasil yang ditunjukkan dari penelitian ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Imamah (2013) bahwa semakin dekat jarak elektroda yang digunakan maka laju reaksi elektrolisis juga akan semakin meningkat.

Jarak celah elektroda yang semakin jauh akan menyebabkan jarak antara katoda (kutub negatif) dan anoda (kutub positif) akan semakin jauh serta akan semakin banyak volume larutan elektrolit yang mengisi celah-celah antar pelat sehingga proses produksi *Brown's gas* akan terhambat. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut dan untuk nilai dari jarak antar elektroda yang dihasilkan pada penggunaan variasi jarak celah pada masing-masing ketebalan ditunjukkan pada Lampiran 6.



Keterangan :

(-) : Katoda

(+) : Anoda

Gambar 4.5 Jarak Transfer Elektron Dari Anoda Menuju Katoda

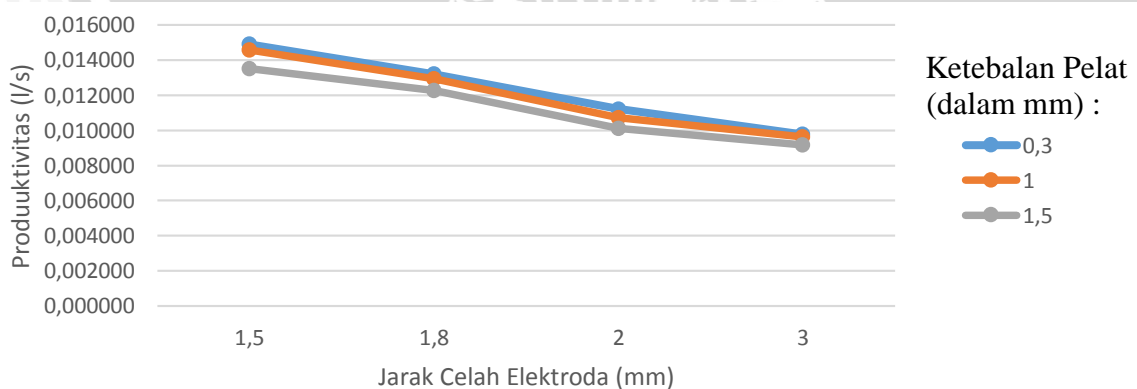
Semakin lamanya transfer elektron yang diakibatkan oleh semakin jauhnya pergerakan elektron (dX) dari katoda menuju anoda yang akan banyak membuang banyak energi untuk memecah molekul air dan tentu akan menurunkan produksi *Brown's gas* yang dihasilkan. Menurut Kurnieli,dkk. (2014) dengan semakin jauhnya jarak antara kutub elektroda ini akan

menyebabkan meningkatnya nilai hambatan yang terjadi pada sistem dikarenakan nilainya berbanding lurus. Hal ini sesuai dengan Persamaan (4-3) pada pembahasan sebelumnya bahwa nilai jarak elektroda berbanding lurus terhadap besar hambatan yang dihasilkan.

Jadi dapat diambil suatu kesimpulan dengan menggunakan jarak elektroda yang semakin tipis akan menurunkan nilai hambatan sehingga transfer elektron untuk memecah molekul H_2O akan semakin cepat yang menyebabkan produksi volume *Brown's gas* semakin meningkat. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Silaban, dkk. (2013) dengan semakin rapatnya jarak celah yang digunakan maka nilai hambatan yang ditimbulkan akan semakin menurun dan laju reaksi yang terjadi akan semakin besar.

Pada penelitian yang telah dilakukan terhadap masing-masing jarak celah elektroda yang digunakan juga ditemukan suatu fenomena dimana apabila semakin rapatnya jarak celah maka temperatur larutan elektrolit juga akan semakin meningkat. Hal ini ditunjukkan pada Lampiran 5 yang menunjukkan pengaruh jarak celah elektroda terhadap temperatur larutan elektrolit. Fenomena ini terjadi dikarenakan dengan semakin rapatnya jarak celah elektroda yang digunakan akan menyebabkan pergerakan elektron dari katoda menuju anoda menjadi semakin intens dan berlangsung dalam waktu yang singkat. Semakin intens dan semakin singkatnya waktu transfer elektron yang mengalir dalam larutan elektrolit akan menyebabkan tabrakan antar elektron semakin besar dan gesekan yang terjadi semakin intens sehingga temperatur larutan elektrolit meningkat.

4.2.3 Hubungan Antara Konfigurasi Jarak Celah Elektroda dan Ketebalan Pelat Terhadap Produktivitas *Brown's Gas* Pada *Electrolyzer Dry Cell*



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Konfigurasi Jarak Celah Elektroda dan Ketebalan Pelat Terhadap Produktivitas *Brown's Gas*

Gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara konfigurasi jarak celah elektroda 1,5, 1,8, 2 dan 3 mm dengan penggunaan ketebalan pelat 0,3, 1, dan 1,5 mm terhadap produktivitas *Brown's gas* yang diambil pada waktu ke-80 *second* pengambilan data. Pada grafik

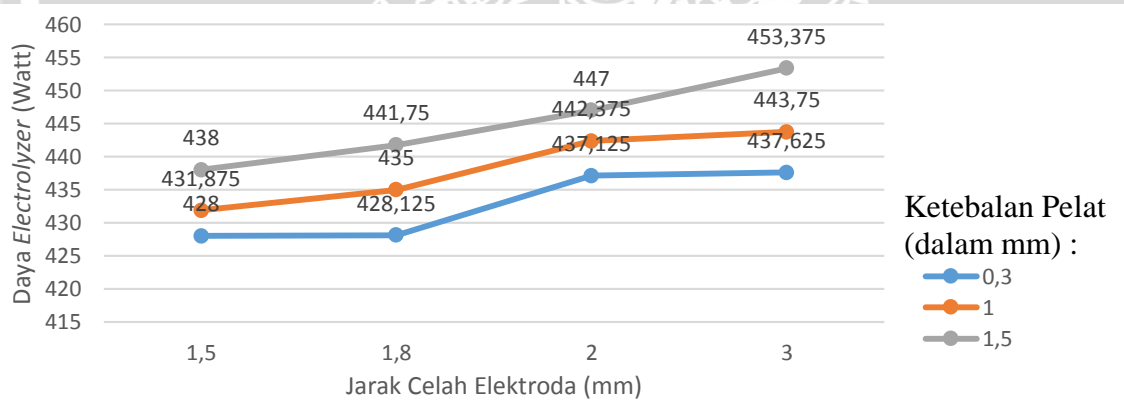
menunjukkan bahwa hasil produktivitas *Brown's gas* tertinggi terdapat pada penggunaan konfigurasi jarak celah elektroda 1,5 mm dengan ketebalan pelat 0.3 mm dengan nilai produktivitas *Brown's gas* sebesar 0.0148958 l/s. Data hasil pengujian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Silaban, dkk. (2013) dengan penggunaan jarak celah elektroda 1,5 mm dan dengan arus input sebesar 10 Ampere yang hanya menghasilkan produktivitas tertinggi 0.00736 l/s. Sedangkan pada penggunaan konfigurasi jarak celah elektroda 3 mm dengan ketebalan pelat 1,5 mm yang digunakan pada konstruksi *electrolyzer dry cell* menghasilkan produktivitas *Brown's gas* paling rendah dengan nilai produktivitas 0.0091875 l/s.

Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Silaban, dkk. (2013) yang menyatakan bahwa dengan semakin dekatnya jarak celah yang digunakan akan meningkatkan nilai produktivitas *Brown's gas* yang dihasilkan. Apabila jarak celah elektroda yang digunakan semakin rapat maka jarak elektroda akan semakin dekat sehingga transfer elektron yang terjadi dari kutub katoda menuju kutub anoda akan berlangsung semakin cepat. Dengan semakin cepatnya transfer elektron memungkinkan reaksi akan berlangsung semakin cepat pula sehingga akan mengakibatkan produktivitas *Brown's gas* yang dihasilkan dalam sistem mengalami peningkatan. Namun apabila jarak celah elektroda yang digunakan semakin jauh maka akan menyebabkan jarak elektroda akan semakin jauh sehingga akan menyebabkan penurunan pada produksi *Brown's gas*. Hal ini sesuai dengan Persamaan (4-3) yang menunjukkan bahwa dengan semakin jauhnya jarak antar elektroda yang digunakan dalam konstruksi *electrolyzer dry cell* maka akan menyebabkan nilai hambatan yang ditimbulkan akan semakin tinggi pula dikarenakan nilainya berbanding lurus.

Selain dengan penggunaan jarak celah elektroda yang semakin dekat untuk meningkatkan produksi *Brown's gas* perlu ditinjau juga dari penggunaan ketebalan pelat pada konstruksi *electrolyzer dry cell*. Gambar 4.6 menunjukkan bahwa hasil produksi *Brown's gas* terbesar terdapat pada penggunaan ketebalan pelat 0.3 mm dengan nilai rata-rata produksi sebesar 0,0148958 l/s dibandingkan dengan penggunaan ketebalan pelat 1 dan 1.5 mm pada setiap jarak celah elektroda yang digunakan. Data hasil pengujian ini juga lebih baik dibandingkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Silaban, dkk. (2013) dengan penggunaan ketebalan pelat 1.5 mm yang hanya menghasilkan nilai produktivitas tertinggi 0.00736 l/s. Dapat ditarik suatu pemahaman bahwa dengan semakin tebalnya pelat yang digunakan dalam sistem elektrolisis air akan menurunkan produktivitas *Brown's gas* yang dihasilkan dalam suatu proses. Sesuai dengan Persamaan (4-3) yang menyatakan dengan semakin tebalnya pelat yang digunakan maka nilai hambatan yang dihasilkan dalam

sistem akan semakin meningkat. Nilai hambatan secara teoritis pada setiap ketebalan pelat yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4.1. Secara teoritis dengan penggunaan tebal pelat 1,5 mm memiliki nilai hambatan terbesar yaitu $2.012 \times 10^{-7} \Omega$ dibandingkan dengan pelat dengan tebal 0,3 mm dan 1 mm yang hanya memiliki nilai hambatan $4.204 \times 10^{-8} \Omega$ dan $1.401 \times 10^{-7} \Omega$. Dengan semakin besarnya hambatan yang ditimbulkan pada proses elektrolisis air maka akan menyebabkan pergerakan elektron dari katoda menuju anoda akan semakin lama. Dikarenakan dengan tebalnya pelat yang digunakan maka jarak antara katoda dan anoda akan semakin jauh sehingga transfer elektron dari kutub katoda menuju anoda akan semakin lama. Telah diketahui bahwa dalam proses elektrolisis proses pemecahan molekul air memanfaatkan dari pergerakan elektron-elektron yang melalui sel elektrolisis. Dengan semakin singkatnya pergerakan elektron dari katoda menuju anoda dan semakin sedikit hambatan yang ditimbulkan pada sel elektrolisis maka akan memungkinkan produksi *Brown's gas* akan semakin besar.

4.2.4 Hubungan Antara Jarak Celah Elektroda dan Ketebalan Pelat Terhadap Konsumsi Daya *Electrolyzer Dry Cell*



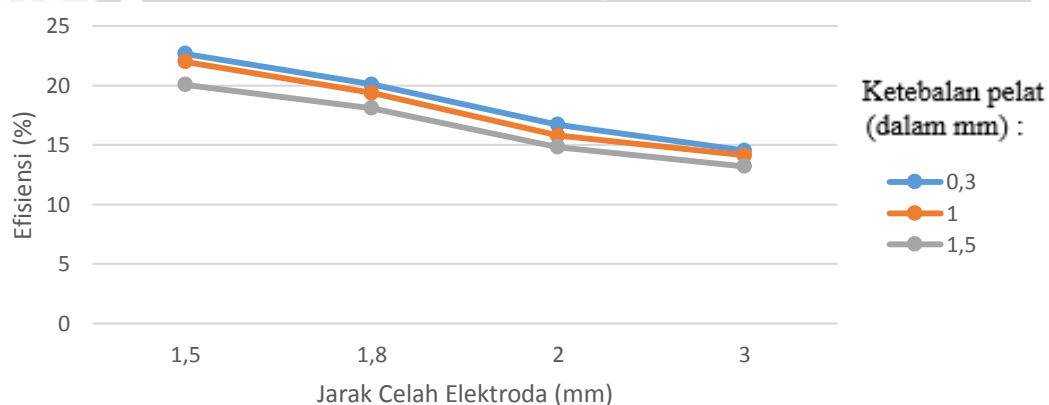
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Antara Konfigurasi Penggunaan Jarak Celah Elektroda dan Ketebalan Pelat Terhadap Konsumsi Daya *Electrolyzer Dry Cell*

Gambar 4.7 menunjukkan nilai konsumsi daya dari *electrolyzer* untuk proses elektrolisis pada masing-masing konfigurasi jarak celah elektroda dan ketebalan pelat yang digunakan dalam konstruksi *electrolyzer dry cell*. Pada grafik hubungan antara daya terhadap jarak celah elektroda dan ketebalan pelat terlihat rata-rata pemakaian daya terbesar terdapat pada jarak celah elektroda 3 mm dibandingkan dengan penggunaan jarak celah elektroda 1,5, 1,8 dan 2 mm. Untuk nilai pemakaian daya terbesar terdapat pada penggunaan konfigurasi jarak celah elektroda 3 mm dengan ketebalan pelat 1,5 mm. Hal ini dikarenakan dengan penggunaan jarak celah elektroda yang semakin rapat akan berbanding terbalik dengan

pemakaian daya yang dihasilkan dari pengukuran beda potensial (*voltage*) yang dihasilkan pada saat pengujian. Dengan kata lain, penggunaan jarak celah elektroda yang semakin jauh pada konstruksi *electrolyzer* akan meningkatkan konsumsi daya. Hal ini dikarenakan jarak celah yang semakin jauh akan menimbulkan hambatan yang semakin besar maka nilai beda potensial akan semakin tinggi pula sehingga akan memperlambat laju reaksi kimia untuk memecah molekul H_2O menjadi 2 hidrogen dan 1 oksigen (*Brown's gas*). Semakin besarnya nilai beda potensial akan memperbesar konsumsi daya yang digunakan oleh *electrolyzer dry cell*. Hal ini sesuai dengan Persamaan (2-7) yang menunjukkan bahwa jika nilai beda potensial semakin besar maka nilai daya akan semakin besar pula dikarenakan berbanding lurus nilainya.

Gambar 4.7 juga menunjukkan dengan semakin tebalnya pelat yang digunakan maka akan meningkatkan nilai daya yang digunakan oleh *electrolyzer*. Hal ini disebabkan dengan semakin tebalnya pelat maka hambatan yang dihasilkan juga akan semakin besar. Nilai hambatan yang semakin besar akan mengakibatkan meningkatnya nilai beda potensial (*voltage*). Sedangkan dengan semakin tipisnya pelat yang digunakan akan mampu menurunkan nilai konsumsi daya yang digunakan dikarenakan pelat tipis memiliki nilai hambatan rendah. Hal ini sesuai dengan Persamaan (2-10) dimana nilai hambatan berbanding lurus terhadap nilai beda potensial (*voltage*). Berdasarkan penjelasan diatas dapat ditarik suatu pemahaman bahwa dengan penggunaan pelat netral maupun pelat elektroda yang semakin tipis dan penggunaan jarak elektroda yang semakin rapat akan mampu menurunkan konsumsi daya yang digunakan oleh *electrolyzer dry cell* dalam melakukan proses pemecahan molekul air.

4.2.5 Hubungan Antara Jarak Celah Elektroda dan Ketebalan Pelat Terhadap Efisiensi *Electrolyzer Dry Cell*



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Antara Konfigurasi Penggunaan Jarak Celah Elektroda dan Ketebalan Pelat Terhadap Efisiensi *Electrolyzer Dry Cell*

Gambar 4.8 menunjukkan nilai efisiensi dari *electrolyzer* untuk proses elektrolisis pada masing-masing konfigurasi jarak celah elektroda dan ketebalan pelat yang digunakan dalam konstruksi *electrolyzer drycell*. Hasil penelitian yang didapatkan dengan penggunaan konfigurasi *electrolyzer* jarak celah 1.5 mm dan ketebalan pelat 0.3 mm memiliki nilai efisiensi tertinggi yaitu 22.6498 %. Sedangkan untuk nilai efisiensi terendah terdapat pada konfigurasi jarak celah elektroda 3 mm dengan ketebalan pelat 1.5 mm dengan nilai sebesar 13.1882 %.

Gambar 4.8 memperlihatkan bahwa dengan penggunaan jarak celah elektroda yang semakin jauh dan juga dengan semakin tebalnya pelat yang digunakan maka efisiensi *electrolyzer* akan terus menurun. Hal ini sesuai dengan Persamaan (2-11) bahwa faktor yang mempengaruhi efisiensi *electrolyzer* yaitu, produktivitas yang dinyatakan dengan volume alir, massa jenis *Brown's gas*, *Lower Heating Value* dari *Brown's gas* serta energi yang di konsumsi oleh *electrolyzer* untuk melakukan suatu proses elektrolisis yang dinyatakan dengan daya *electrolyzer*. Nilai dari LHV dan massa jenis *Brown's gas* dalam tidak mempengaruhi penyebab penurunan efisiensi pada grafik dikarenakan gas hidrogen dan oksigen memiliki nilai perbandingan yang tetap pada setiap variasi yang digunakan dalam penelitian.

Dengan penggunaan jarak celah elektroda yang semakin tebal maka efisiensi *electrolyzer* akan semakin menurun. Hal ini dikarenakan dengan semakin jauhnya jarak celah elektroda yang digunakan maka hambatan yang terjadi akan semakin besar. Besarnya hambatan yang dihasilkan maka akan memperlambat reaksi elektrolisis dan akan menurunkan tingkat produktivitas *Brown's gas* yang dihasilkan dikarenakan transfer elektron dari kutub anoda menuju katoda semakin jauh sehingga banyak energi untuk memecah molekul air yang terbuang. Semakin besarnya nilai hambatan juga akan meningkatkan nilai beda potensial yang dihasilkan sehingga daya yang dikonsumsi oleh *electrolyzer* juga akan semakin meningkat. Hal ini sesuai dengan persamaan (2-7) dimana besarnya nilai beda potensial akan berbanding lurus terhadap besarnya konsumsi daya yang dihasilkan. Dengan semakin besarnya konsumsi daya tetapi diiringi dengan penurunan produktivitas yang dihasilkan maka efisiensi kinerja juga akan semakin menurun.

Semakin tebalnya pelat yang digunakan dalam instalasi maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin menurun. Hal ini disebabkan dengan semakin tebalnya pelat yang digunakan maka nilai hambatan yang dihasilkan dalam sistem akan semakin meningkat. Hal ini sesuai dengan Persamaan (4-3) yang menunjukkan bahwa ketebalan pelat elektroda (dalam satuan

mm) berbanding lurus terhadap besarnya hambatan yang dihasilkan. Besarnya hambatan akan memperlambat reaksi pemecahan molekul air sehingga nilai produktivitas akan menurun dikarenakan semakin jauh dan lamanya proses transfer elektron yang terjadi. Dengan semakin besarnya nilai hambatan maka nilai beda potensial serta konsumsi daya akan semakin meningkat pula. Semakin besarnya nilai konsumsi daya serta dengan menurunnya nilai produktivitas maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin menurun dikarenakan nilainya berbanding terbalik satu sama lain.

