

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

Pada analisa data akan dilakukan perhitungan data-data yang telah diperoleh dari uji eksperimen secara langsung, yaitu berupa data tegangan listrik yang dibutuhkan, arus yang dipakai, suhu katoda (T1), suhu pelat netral (T2), suhu larutan keluar generator (T3), daya yang diperlukan selama proses reaksi, volume gas HHO yang dihasilkan dan efisiensi dari generator HHO tersebut, berikut tabel 4.1 merupakan contoh hasil data pengukuran performansi generator HHO dan selengkapnya pada lampiran 1.

Tabel 4.1

Hasil Pengukuran Generator HHO dengan Diameter Lubang 5 mm dan Bentuk Permukaan 2 Persegi Panjang

	t (sekon)	Tegangan (V)	Arus (A)	Kenaikan (mm)	Volume (l)	T1 (C)	T2 (C)	T3 (C)	Daya (W)	Q (l/s)	η (%)
lubang 5 mm dan persegi	10	19.70	9.80	100	0.1964	25.33	26.50	27.33	193.060	0.0196	66.215
	20	19.47	9.73	200	0.3929	25.33	26.50	27.83	189.476	0.0196	67.468
	30	19.40	9.70	303	0.5958	25.33	26.42	28.17	188.180	0.0199	68.687
	40	19.13	9.73	410	0.8054	25.33	26.50	28.50	186.231	0.0201	70.359
	50	19.10	9.67	503	0.9887	25.42	26.67	28.67	184.633	0.0198	69.699
	60	19.00	9.70	600	1.1786	25.50	26.83	28.83	184.300	0.0196	69.362
	70	19.07	9.67	703	1.3815	25.50	26.92	29.00	184.311	0.0197	69.689
	80										
	90										
	100										
	Rata-rata		19.27	9.71	403	0.7913	25.39	26.62	28.33	187.170	0.0198

4.1.1 Contoh Perhitungan Data

Pada penelitian ini menggunakan pelat dengan ketebalan pelat 1,8 mm dengan jarak antar pelat sebesar 1,5 mm kecuali bagian elektroda dan plat netral menggunakan jarak 3 mm. Jenis material yang digunakan adalah *stainless steel* 304L. Dari data yang telah diperoleh akan dilakukan perhitungan untuk melihat parameter-parameter generator HHO tersebut. Berikut merupakan contoh perhitungan variasi lubang 5 mm dan bentuk permukaan 2 persegi panjang pada detik ke 40 dari tabel 4.1:

1. Daya generator HHO

Arus listrik (A) dan tegangan (Volt) yang dialirkan pada rangkaian generator HHO sangat berpengaruh pada proses elektrolisis berlangsung, sehingga akan berdampak pada produktivitas gas HHO. Arus listrik dan voltase yang terpakai merupakan besar energi yang terpakai pada proses reaksi elektrolisis, energi tersebut dapat dihitung dengan persamaan (2-14) berikut:

$$P = V \cdot I$$

$$P = 19,13 \cdot 9,73$$

$$P = 186,231 \text{ Watt}$$

2. Laju produksi Gas Brown

Laju produksi adalah banyaknya produk gas HHO per satuan waktu, pada penelitian kali ini data yang telah didapatkan yaitu berupa volume (l) per sepuluh detik. Hasil data dari tabel 4.1 dapat diketahui melalui persamaan (2-15) berikut:

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

$$Q = \frac{0,805}{40} \left[\frac{l}{s} \right]$$

$$Q = 0,0201 \left[\frac{l}{s} \right]$$

3. Efisiensi generator

Perhitungan efisiensi dapat diketahui melalui persamaan (2-18), dimana efisiensi ini untuk melihat performa generator HHO *dry cell* dan bergantung pada produktivitas gas brown serta daya yang dibutuhkan. Perhitungan efisiensi dapat dilihat di persamaan dibawah ini:

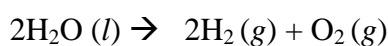
$$\eta = \frac{\text{Energi HHO hasil elektrolisis}}{\text{Energi untuk memproduksi gas HHO}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{QH_{HO} \times \rho_{HHO} \times LHV_{HHO}}{P} \times 100\%$$

Dari persamaan tersebut perlu diketahui terlebih dahulu massa jenis HHO serta *Lower Heating Value* (LHV) dari gas HHO, dibawah ini adalah cara menentukan parameter-parameter tersebut:

- Massa Jenis Gas HHO

Pada persamaan reaksi kimia yang terjadi pada elektrolisis di generator HHO terdapat kandungan massa oksigen (O_2) dan hidrogen (H_2). Misalkan massa air (H_2O) yang reaksi pada sebuah generator HHO adalah 1 kg, maka hasil produk *Brown's gas* yang merupakan massa total hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) adalah 1 kg. Menurut tabel periodik nilai $Mr H_2O=18$, $Mr H_2=2$, $Mr O_2=32$, maka didapatkan mol H_2 :



$$36 \text{ kg} \quad 4 \text{ kg} \quad 32 \text{ kg}$$

$$\frac{36}{36} \text{ kg} \quad \frac{4}{36} \text{ kg} \quad \frac{32}{36} \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} \quad \frac{1}{9} \text{ kg} \quad \frac{8}{9} \text{ kg}$$

Dari persamaan dapat di ketahui berapa nilai massa jenis dari Gas Brown tersebut. Jika pada kondisi STP (*Standard Temperature Pressure*) massa jenis H_2 diketahui $\rho_{H_2} = 0.08235 \text{ g/l}$ dan O_2 sebesar $\rho_{O_2} = 1.3088 \text{ g/l}$ (Cole Parmer Instrument, 2005), maka ρ_{HHO} dapat diketahui dengan persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned} \rho_{HHO} &= \frac{m_{hho}}{V_{hho}} = \frac{(m_{H_2} + m_{O_2})}{V_{hho}} = \frac{(\rho_{H_2} \cdot V_{H_2} + \rho_{O_2} \cdot V_{O_2})}{V_{hho}} \\ &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot \frac{2}{3} V_{hho} + \rho_{O_2} \cdot \frac{1}{3} V_{hho})}{V_{hho}} \\ &= \frac{2}{3} \rho_{H_2} + \frac{1}{3} \rho_{O_2} \\ \rho_{HHO} &= \left(\frac{2}{3} \times 0,08235 \frac{\text{g}}{\text{l}} \right) + \left(\frac{1}{3} \times 1,3088 \frac{\text{g}}{\text{l}} \right) = 0.491167 \text{ g/l} \end{aligned}$$

- *Low Heating Value* gas Brown

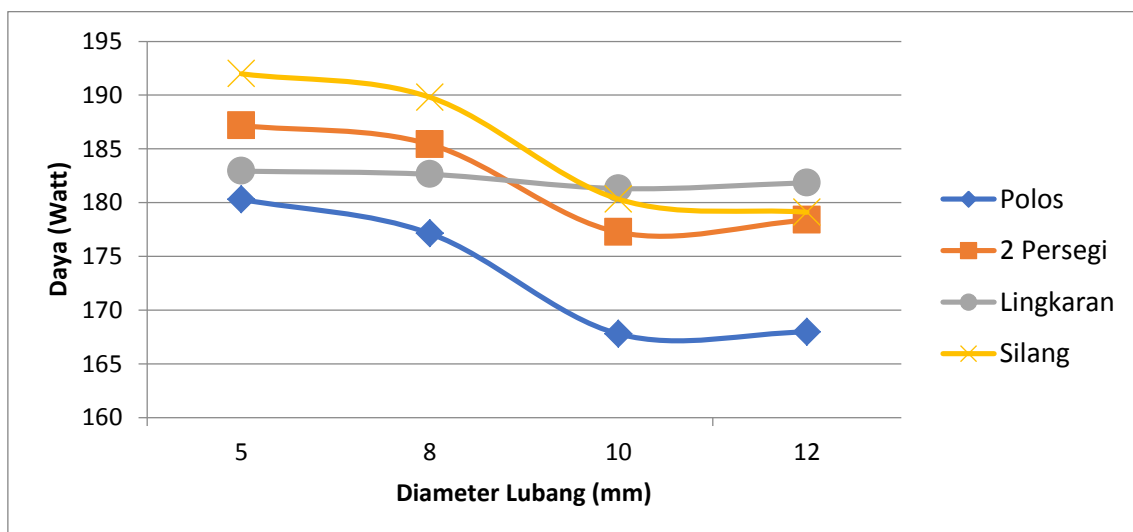
Gas hidrogen mempunyai nilai kalor sebesar 119,93 kJ/g , maka massa *hydrogen* dalam *brown's gas* seperti pada persamaan sebelumnya adalah 1/9 maka *hydrogen* memiliki LHV sebesar 13,25 kJ/g.

Dari tabel 4.1 maka efisiensi dari *electrolyzer dry cell* tersebut adalah:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{0,0201 \left[\frac{\text{l}}{\text{s}} \right] \times 0.491167 \left[\frac{\text{gr}}{\text{l}} \right] \times 13250 \text{ J/g}}{186,231} \times 100\% \\ &= 70,36 \% \end{aligned}$$

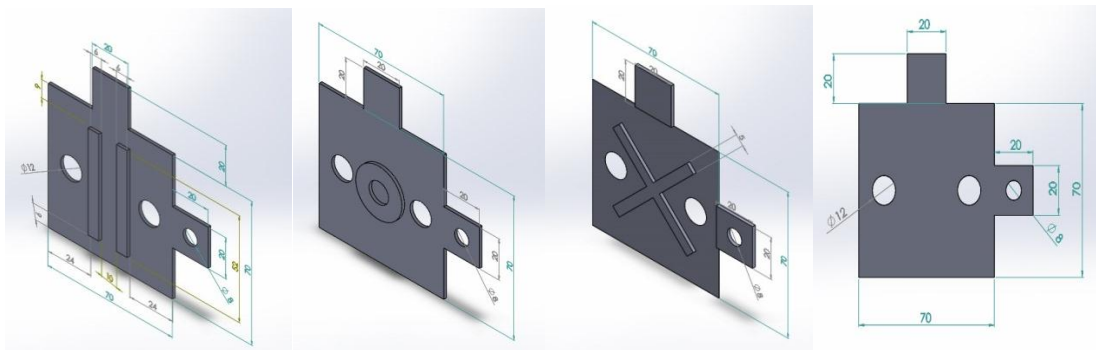
4.2 Grafik dan Pembahasan

4.2.1 Grafik Hubungan Antara Daya Terhadap Diameter Lubang Elektroda



Gambar 4.1 Hubungan antara daya terhadap diameter lubang elektroda

Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa kecenderungan dengan penambahan diameter lubang akan mengurangi hambatan yang ada pada elektroda sehingga daya yang dibutuhkan akan turun, namun pada diameter lubang 12 mm justru mengalami kenaikan. Untuk elektroda yang mengalami penurunan disebabkan berkurangnya luas permukaan kontak antara elektroda dan larutan elektrolit berkurang. Namun dengan diameter lubang 12 mm justru mengalami peningkatan disebabkan debit aliran semakin tinggi sehingga daya yang dialirkan untuk reaksi akan semakin meningkat juga.



Gambar 4.2 Desain bentuk permukaan elektroda

Tabel 4.2
Hasil Pengukuran Luas Permukaan Masing-Masing Elektroda

Luas Permukaan (mm ²)				
	Polos	Persegi	Lingkar	Silang
5 mm	2808.93	3226.53	3018.24	3226.53
8 mm	2778.29	3195.89	2987.6	3195.89
10 mm	2750	3167.6	2959.31	3167.6
12 mm	2715.43	3133.03	2924.74	3133.03

Dari tabel diatas didapatkan luas permukaan tertinggi ada pada persegi dan silang dengan diameter 5 mm yakni memiliki dimensi 3226.53 mm². Sehingga dapat disimpulkan gambar 4.1 konsumsi daya tertinggi ada pada bentuk silang dengan diameter 5 mm mencapai 191.98 Watt sedangkan penggunaan daya terendah ada pada tanpa bentuk atau polos dengan diameter 10 mm yakni sebesar 167.793 Watt dimana hanya memiliki selisih sedikit dengan polos berdiameter 12 mm yaitu 167.967 Watt.

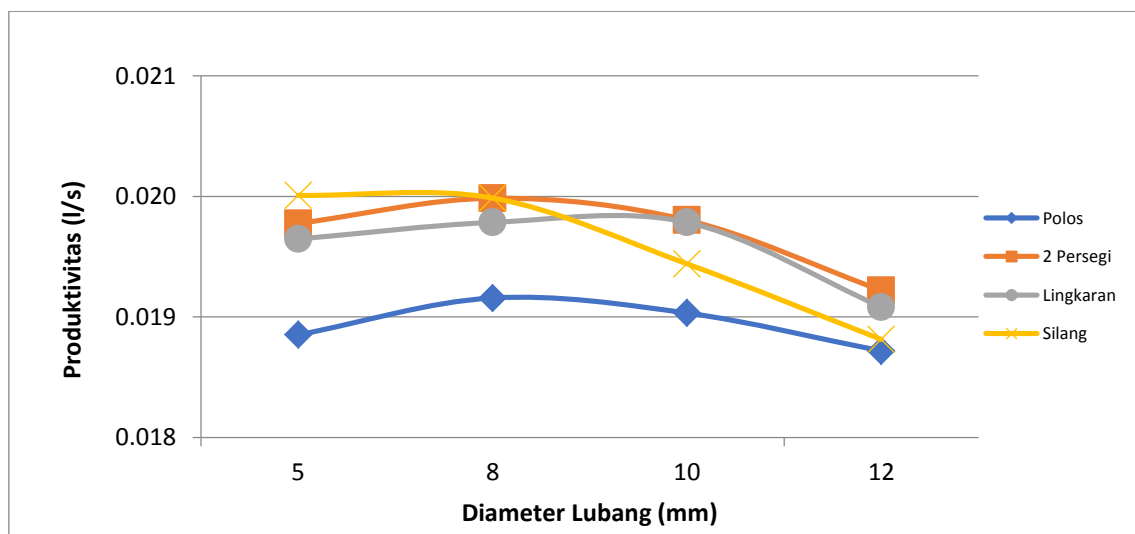
Pada tabel luas permukaan tertinggi ada pada persegi dan silang, akan tetapi dari hasil penelitian didapatkan perbedaan konsumsi daya, hal ini diakibatkan pada saat proses elektrolisis bentuk silang terdapat gas HHO yang terjebak antara elektroda dan bentuk

silang sehingga menimbulkan *losses energy* atau berubahnya energi menjadi kalor dimana seharusnya berubah menjadi gas HHO. Dapat dibuktikan dengan gambar dibawah ini:



Gambar 4.3 *Losses energy* pada pelat elektroda

4.2.2 Grafik Hubungan Antara Produktivitas Terhadap Diameter Lubang Elektroda



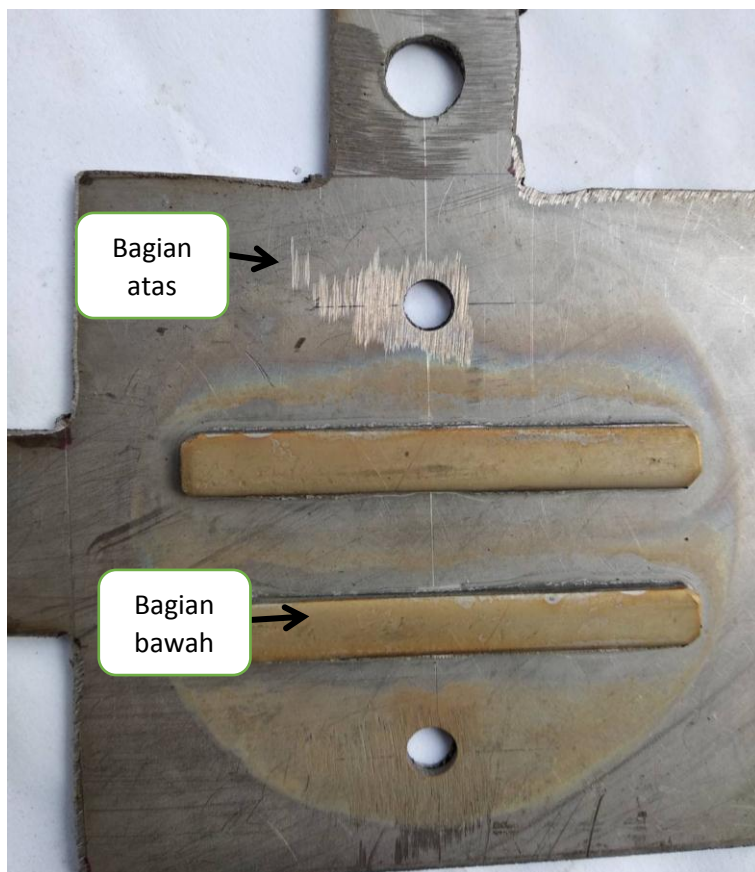
Gambar 4.4 Hubungan antara produktivitas terhadap diameter lubang elektroda

Pada gambar 4.4 dapat kita lihat kecenderungan grafik diatas naik namun pada diameter 10 dan 12 mengalami penurunan dimana produktivitas gas brown tertinggi ada pada lubang elektroda diameter 8 mm dengan bentuk silang dan persegi mencapai 0.0200 l/s. Sementara produksi gas HHO terendah ada pada elektroda polos diameter 12 mm yang hanya mampu produksi sebesar 0.0187 l/s.

Menurut Rahayu (1995) bahwa reaksi elektrolisis adalah reaksi heterogen, karena reaksinya terjadi pada elektroda dan tanpa elektroda reaksi tersebut tidak berlangsung. Dalam reaksinya terdapat 2 tahap penentu laju reaksi yakni adsorpsi pereaksi di permukaan

dan reaksi pada permukaan. Adsorpsi merupakan peristiwa menempelnya molekul, ion, maupun atom pada permukaan. Proses ini menghasilkan lapisan tipis adsorbat (zat yang dijerat) pada permukaan adsorben. Sementara itu reaksi permukaan posisi pereaksi yang teradsorpsi harus berdekatan sehingga reaksi dapat terjadi.

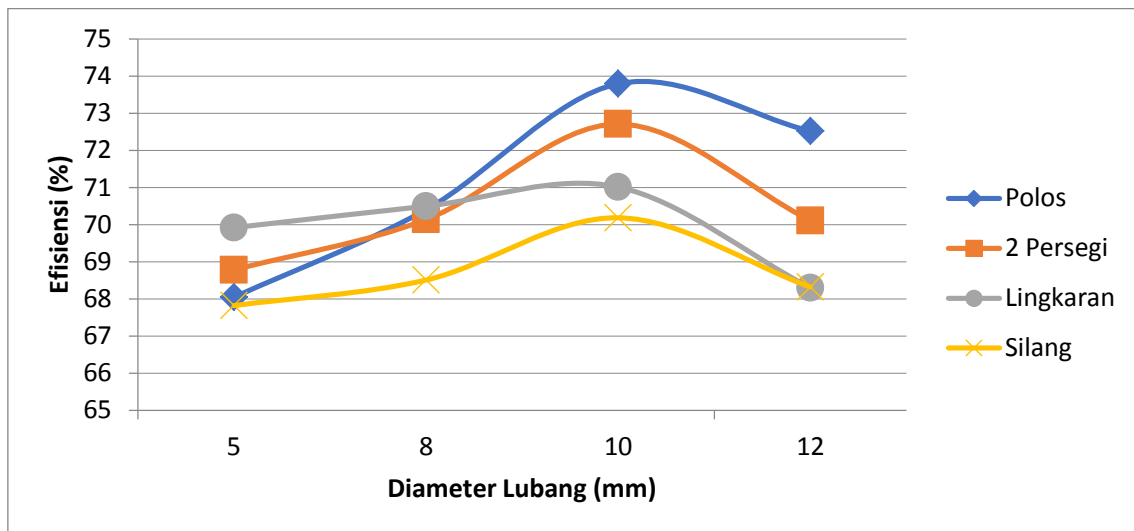
Pada lubang diameter 5 mm gas HHO yang dihasilkan sebenarnya banyak, namun karena lubang untuk keluar dari pelat elektroda kecil sehingga terjadi penumpukan pada bagian atas elektroda yang dapat dibuktikan dengan gambar 4.5



Gambar 4.5 Terdapat bagian yang tidak terendam larutan elektrolit (bagian atas)

Sedangkan pada lubang berdiameter 12 mm produktivitasnya juga rendah dikarenakan aliran larutan elektrolit yang cepat sehingga reaksi belum terjadi sempurna larutan elektrolit sudah meninggalkan elektroda. Produktivitas berhubungan dengan daya yang digunakan, apabila daya yang digunakan maka sesuai dengan teori akan terjadi banyak reaksi pada elektroda sehingga menyebabkan produksi gas HHO meningkat. Namun pada bentuk silang dengan diameter 10 dan 12 mm mengalami penurunan yang signifikan dikarenakan seperti gambar 4.3 adanya *losses energy* diakibatkan terjebaknya gas diantara pelat dan bentuknya.

4.2.3 Grafik Hubungan Antara Efisiensi Terhadap Diameter Lubang Elektroda



Gambar 4.6 Hubungan antara efisiensi terhadap diameter lubang elektroda

Dapat dilihat dari gambar 4.3 menunjukkan bahwa efisiensi generator cenderung naik namun pada diameter 12 mm turun. Hal ini berhubungan dengan gambar 4.1 dan gambar 4.2 dimana efisiensi akan cenderung meningkat apabila daya rendah dan produktivitas tinggi. Efisiensi tertinggi didapat pada elektroda polos dengan diameter lubang 10 mm yakni mencapai 73,796 % . Sementara efisiensi terendah ada pada bentuk silang dengan diameter lubang 5 mm sebesar 67,82 % dikarenakan terdapat reaksi pada bagian bawah bentuk permukaan seperti pada gambar 4.3 serta adanya penumpukan endapan Na^+ dimana endapan tersebut dapat menghalangi bertemunya elektroda dan elektrolit.



Gambar 4.7 Terdapat Na^+ pada pelat elektroda

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa endapan pada elektroda polos lebih sedikit dibanding dengan yang persegi, lingkaran dan silang karena pada gambar 4.1 dan 4.4 hanya mengkonsumsi daya sedikit dan menghasilkan gas sedikit namun efisiensinya tertinggi. *Losses energy* adalah faktor yang membedakan antara polos dengan yang

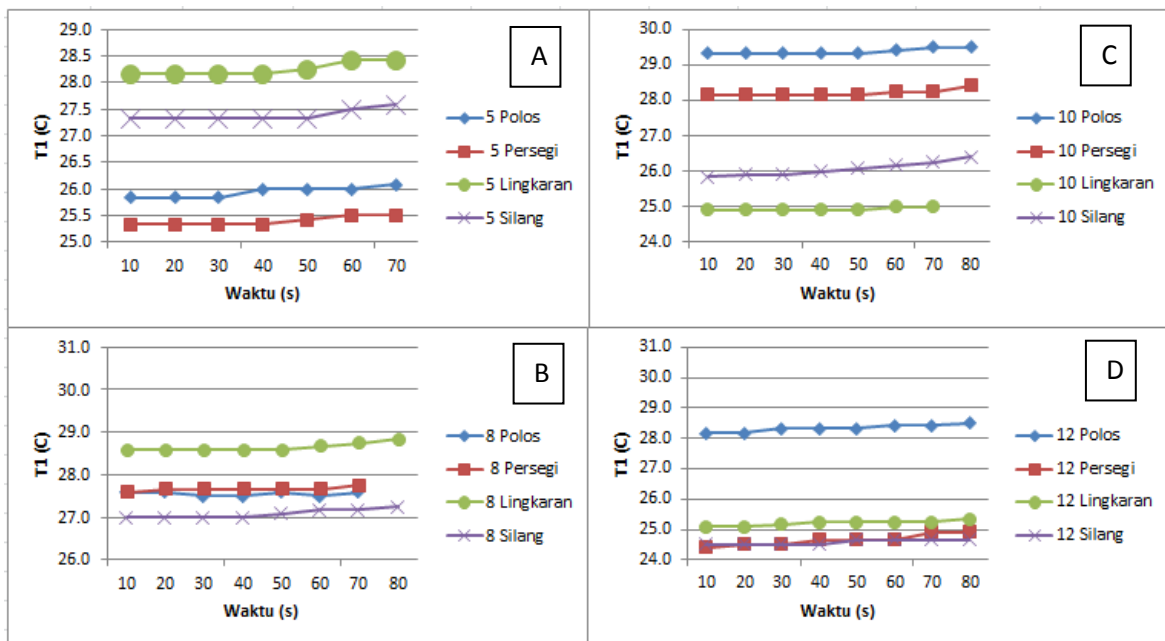
memiliki bentuk. Dari gambar 4.6 didapatkan bahwa *losses energy* pada polos paling sedikit. Penempelan Na^+ dan ion lainnya pada elektroda dapat menambah hambatan listrik pada proses elektrolisis air. Semakin luas dan tebal penumpukan atau penempelan Na^+ dan ion lainnya dapat mengurangi efisiensi karena hambatan semakin meningkat. Dapat dilihat pada persamaan 2-14, 2-17 serta 2-18.

Selain itu terdapat beberapa permukaan yang tidak bekerja maksimal saat elektrolisis diakibatkan terdapat lem disekitar bentuk sehingga gas HHO yang diproduksi tidak sebanding dengan daya yang mengalir ke semua bagian permukaan elektroda sampai ke bagian bentuknya. Hal ini dapat dibuktikan dengan gambar dibawah ini

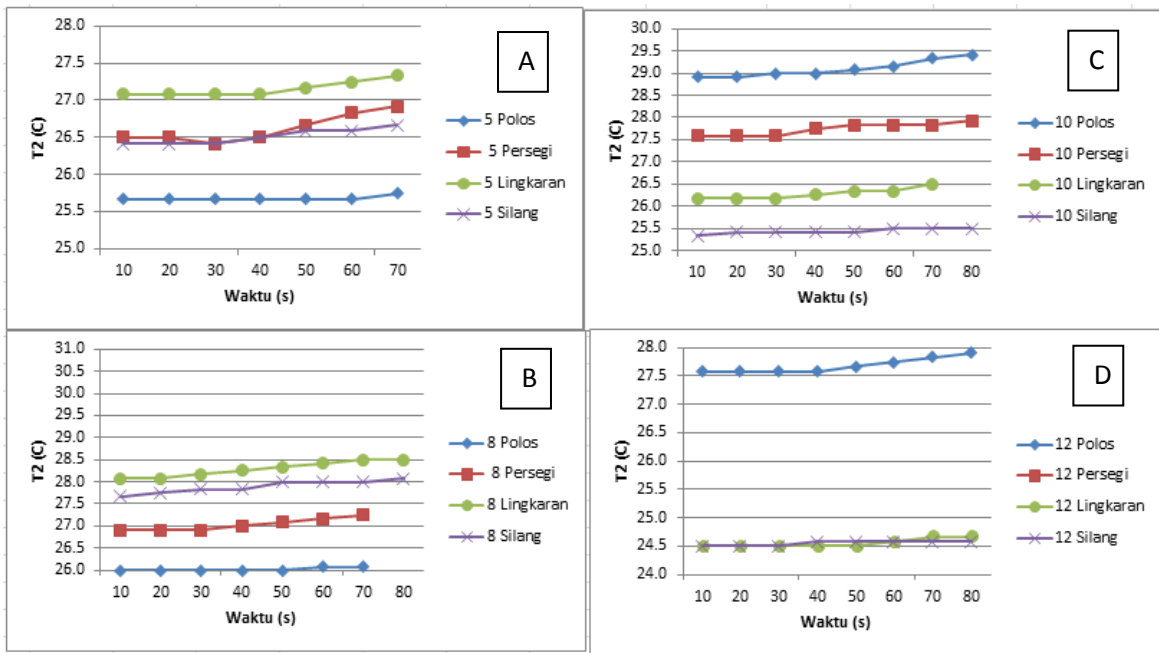


Gambar 4.8 Bekas pengeleman yang menghalangi proses elektrolisis

4.2.4 Grafik Hubungan Antara Suhu Terhadap Diameter Lubang Elektroda

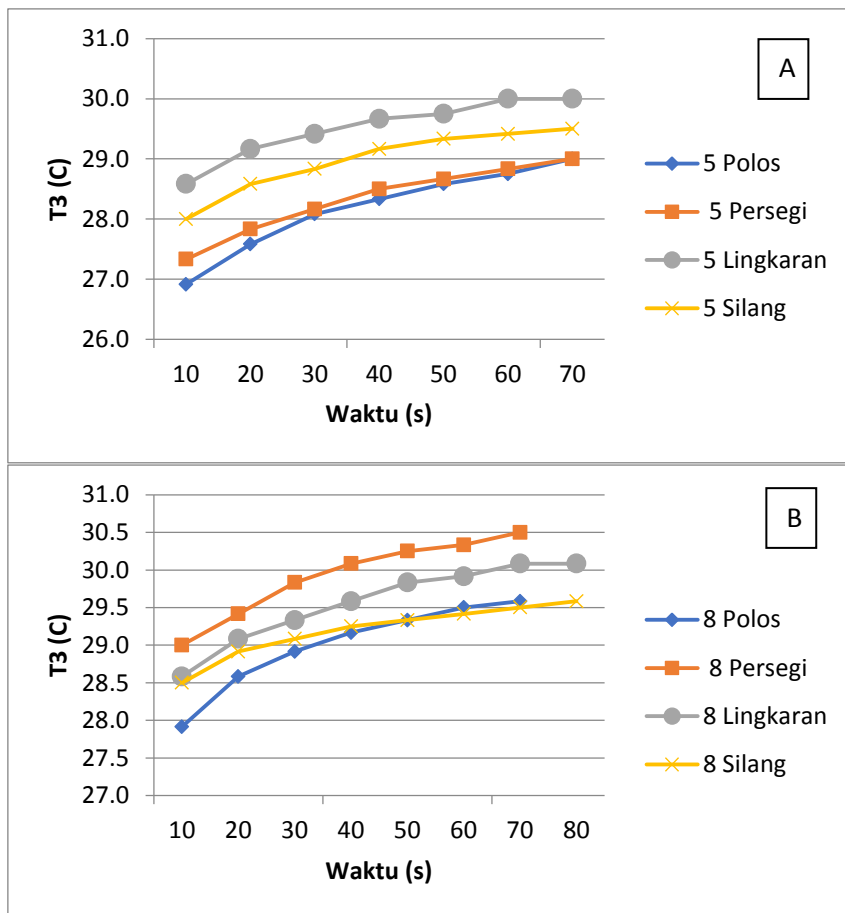


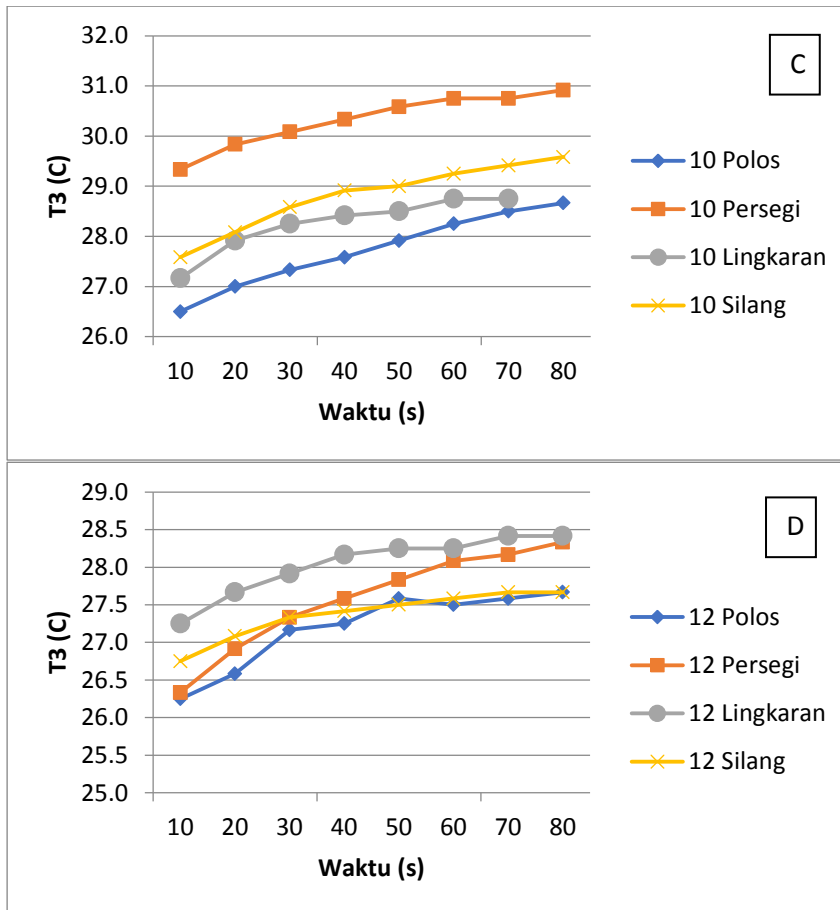
Gambar 4.9 Grafik hubungan T1 (Suhu elektroda) dan waktu; A. Diameter 5 mm ; B. Diameter 8 mm ; C. Diameter 10 mm ; D. Diameter 12 mm



Gambar 4.10 Grafik hubungan T2 (Suhu pelat netral) dan waktu; A. Diameter 5 mm ; B. Diameter 8 mm ; C. Diameter 10 mm ; D. Diameter 12 mm.

Gambar 4.5 dan gambar 4.6 menunjukkan suhu pelat elektroda dan netral , didapatkan bahwa suhu pada kedua daerah tidak signifikan naik, kenaikan hanya berkisar 0.25 – 1 °C.





Gambar 4.11 Grafik hubungan T3 (Suhu elektrolit keluar) dan waktu; A. Diameter 5 mm ; B. Diameter 8 mm ; C. Diameter 10 mm ; D. Diameter 12 mm.

Dari gambar 4.7 menunjukkan suhu tertinggi ada pada bentuk persegi dengan diameter lubang 10 mm yang mencapai suhu 30.92 °C. Sementara suhu terendah ada pada bentuk polos dengan diameter lubang 12 mm yakni sebesar 26.50 °C. Hal ini berbanding lurus dengan produktivitas gas brown dimana bentuk persegi memiliki hasil terbaik dikarenakan banyaknya terjadi reaksi sehingga gesekan antar molekul semakin sering dan menimbulkan panas. Namun hal ini sangat berpengaruh dengan suhu awal atau suhu lingkungan saat memulai data. Apabila mengacu pada suhu awal dan suhu akhir, kenaikan suhu terbesar ada pada bentuk polos diameter 5 mm yang mencapai kenaikan sebesar 2.33 °C. Hal ini dikarenakan dengan diameter lubang kecil akan mengakibatkan molekul lama keluar generator dan bergerak aktif sehingga menimbulkan gesekan antar molekul yang tinggi.