

PENGARUH VARIASI DIAMETER LUBANG DAN BENTUK PROFIL ELEKTRODA SERTA JUMLAH PELAT NETRAL TERHADAP PRODUKSI BROWN GAS

Henry Valentino de Fretes

Politeknik Negeri Ambon
Jurusan Teknik Mesin
valentinodef@gmail.com

Sudjito Soeparman

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
sudjitosp@ub.ac.id

Denny Widhiyanuriawan

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
denny_w@ub.ac.id

Electrolysis is a process of decomposing water molecules (H_2O) into hydrogen (H_2) and oxygen (O_2) with the help of electrical energy as a trigger for the process. In the electrode process, it takes two electrodes to be placed in water. Electrolysis reaction is a redox reaction, in which the reduction reaction occurs at the cathode forming hydrogen and oxidation occurs at the anode and forms oxygen. The purpose of this study was to determine the effect of variations in the diameter of the electrode hole, the shape of the electrode and the number of neutral plates on the production of Brown Gas by using NaOH as a catalyst. The electrodes used are plain, square, circle and cross shape, and the diameter of the electrode hole is 5 mm, 8 mm, 10 mm and 12 mm. besides that the number of neutral plates varied 4 pieces, 6 pieces and 8 pieces. NaOH dissolved in water has a percentage of 1.77%. From the results of the study, it shown that the rate of production increased as the number of neutral plates increased and the power needed by the generator also increased, but the efficiency of the generator was smaller. The diameter of the electrode hole and the shape of the electrode also affect Brown gas production, this is because the electrode cross-sectional area in contact with the electrolyte also has different values. The highest productivity value on cross shape electrode, 10 mm electrode hole diameter and the number of neutral plate 8 pieces, and the lowest in the form of plain electrode, 5 mm hole diameter and 4 neutral plates. The lowest generator efficiency in the electrode variation is circular shape, the diameter of the electrode hole is 12 mm and the use of 8 neutral plates and the largest in the square electrode, 12 mm electrode hole diameter and 4 neutral plates.

Keywords: Electrolysis, Brown Gas, Neutral Plates

1. PENDAHULUAN

Sumber energi yang berasal dari bahan bakar fosil masih dieksplorasi secara besar-besaran seiring dengan pesatnya pertumbuhan jumlah penduduk bumi. Penggunaan bahan bakar fosil secara berlebihan ini mengakibatkan terjadinya polusi udara yang mengakibatkan lingkungan hidup yang tidak sehat. Sebagai contoh pembakaran dari pabrik dan kendaraan bermotor yang menghasilkan emisi gas buang dengan kandungan unsur yang berbahaya apabila tidak terkontrol dengan baik misalnya CO_2 , CO, HC, serta partikel lain yang tidak terbakar sempurna (Siregar 2005).

Sumber energi lain perlu dimanfaatkan sebagai pengganti sumber bahan bakar fosil. Elektrolisis merupakan proses penguraian unsur air (H_2O) menjadi Hidrogen dan oksigen dengan bantuan arus listrik (Utomo dkk, 2015). Proses elektrolisis ini menghasilkan gas hidrogen dan oksigen dengan komposisi 2 hidrogen dan 1 oksigen (HHO), yang biasa dikenal sebagai gas Oksihidrogen atau *Brown Gas* (Hidayatullah, 2015). Proses reduksi dan oksidasi terjadi dalam elektrolisis, elektroda yang dialiri arus listrik berfungsi sebagai konduktor yang bermuatan negatif dan positif. Pada katode terdapat ion positif yang menyerap elektron dan menghasilkan molekul ion H_2 (reduksi), dan ion negatif akan bergerak menuju anode untuk melepaskan elektron dan menghasilkan ion O_2 (oksidasi).

Banyak penelitian mengenai elektrolisis dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan produktifitas *Brown*

Gas dan efisiensi yang tinggi. Beberapa faktor yang sangat berpengaruh pada proses elektrolisis di antaranya luas permukaan yang tercelup elektrolit, penggunaan katalis (Lestari dkk, 2012), sifat material elektroda yang digunakan (Gunawan 2012), tebal pelat (Sari dkk, 2015; Sopandi 2015; Nugraha dkk, 2016), dan suhu elektrolit saat proses elektrolisis berlangsung (Julianto 2013; Denny dkk, 2013; Todd, 2014). Semakin besar luas permukaan yang tersentuh elektrolit maka semakin mudah elektrolit mentransfer elektron. Penggunaan katalisator seperti NaOH atau KOH berfungsi mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion yang terdapat pada katalisator mampu mempengaruhi kestabilan ion H^+ dan OH^- yang lebih mudah dilakukan elektrolisis karena terjadi penurunan energi pengaktifan. Sifat logam material elektroda yang digunakan juga berpengaruh terhadap proses elektrolisis karena berhubungan dengan sifat konduktivitas. Konduktivitas listrik didefinisikan sebagai rasio rapat arus terhadap kuat medan listrik. Semakin besar konsentrasi larutan katalis dalam larutan elektrolit maka semakin besar pula laju reaksinya. Suhu elektrolit dipertahankan kisaran 25-28°C. Kecepatan alir larutan elektrolit juga mempunyai pengaruh signifikan terhadap proses elektrolisis. Semakin besar kecepatan larutan elektrolit, produktifitas produksi *Brown Gas* semakin meningkat.

Stainless steel 304L dipakai sebagai material elektroda, pelat netral dan pelat sisi merupakan jenis logam dengan kadar karbon rendah dan pada umumnya mengandung campuran 18% krom dan 8% nikel, tahan terhadap asam dan terhadap suhu rendah maupun tinggi, dan memiliki lapisan pelindung anti korosi (*protective layer*) (Arifin dkk, 2015). Korosi pada stainless steel adalah kromium oksida yang secara otomatis terbentuk pada permukaan bahan sehubungan afinitas kromium yang tinggi untuk bergabung dengan oksigen. Proses korosi cepat terjadi akibat dilewati elektrolit baik bersifat asam maupun garam. Elektrolit yang melewati elektroda dan pelat netral sama-sama mengalami reaksi kimia. Hal ini dapat dilihat pada permukaan baik elektroda, pelat netral maupun pelat sisi terdapat endapan yang menempel pada permukaan pelat (*adsorpsi*) atau peristiwa menempelnya molekul ion atau atom pada permukaan.

Pelat netral pada generator tipe kering berada di antara elektroda positif dan negatif dan tidak dialiri arus listrik. Ketika pelat netral ditambahkan maka luasan area elektrolit yang mengalami elektrolisis pada generator juga bertambah. Dengan demikian maka produktifitas *Brown Gas* juga mengalami kenaikan. Penambahan pelat netral menurunkan tegangan jika diukur besar tegangan antara satu sel kutub dengan elektroda. Disebabkan terjadinya penambahan resistansi pada arus listrik pada elektroda, sehingga semakin rendah pula panas yang dihasilkan. Panjang jarak anode dan katode yang dipengaruhi penambahan pelat netral mempengaruhi besarnya daya yang dibutuhkan, hal ini disebabkan jarak sel yang semakin panjang maka jarak perpindahan elektron dari satu sel ke sel yang lain semakin panjang sebelum menjadi *Brown Gas*.

Bertambahnya jumlah pelat netral pada rangkaian generator akan cenderung menaikkan konsumsi daya yang dibutuhkan generator karena nilai hambatan juga semakin besar. Akan tetapi dengan penambahan 2 pelat sisi dapat menurunkan konsumsi daya generator HHO.

Syaifuddin (2017) meneliti tentang performa *electrolyzer dry cell* pada beberapa jenis material elektroda dan jumlah pelat netral. Penelitian ini menggunakan 3 tipe generator, tanpa pelat sisi, 1 pelat sisi dan 2 pelat sisi, serta variasi 2, 4 dan 6 pelat netral. Dari hasil penelitian disimpulkan produktifitas *Brown Gas* paling stabil pada generator tipe C dengan 4 pelat netral dan 2 pelat sisi sebesar 0,69 l serta efisiensi generator terbesar 64,26%.

Reaksi yang terjadi pada proses elektrolisis dapat dibedakan reaksi asam, basa dan setengah asam dan basa (*alkaline electrolysis*). Katalis NaOH dan KOH merupakan jenis basa (basa dari golongan periode IA, Alkali tanah), reaksi reduksi terjadi di katode di mana molekul air mengikat elektron (e^-) sehingga terpecah menjadi gas $H_2(g)$ dan anion OH^- . Anion tersebut kemudian tertarik ke sisi anode dan terpecah menjadi gas oksigen dan molekul H_2O (Takeuchi, 2006).

Beberapa variasi pemakaian jenis katalis KOH, NaOH, $NaHCO_3$, NaCl dilakukan bertujuan agar produksi *Brown Gas* dapat dipergunakan sebagai bahan bakar yang bisa diaplikasikan pada kendaraan bermotor. Pengaruh penggunaan katalis $NaHCO_3$ (Natrium Bikarbonat) terhadap produksi *Brown Gas* dengan fraksi masa yang berbeda-beda yaitu 0%, 0,99%, 1,15%, 1,31%, 1,47%, 1,64%, dilarutkan di dalam aquades dan dimasukkan di dalam generator HHO. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa produksi *Brown Gas* bisa saja tanpa menambahkan katalis. Akan tetapi terdapat kekurangan yaitu dibutuhkan daya yang besar dan produksi *Brown Gas* yang tidak maksimal. Dari keenam variasi fraksi massa tersebut, efisiensi elektrolisis terbaik pada arus 6A dan fraksi massa 1,31% yaitu sebesar 40,0578% (Laksono & Widhiyanuriyawan, 2013)

Penggunaan katalis NaOH menghasilkan efisiensi tertinggi dan hanya membutuhkan daya listrik yang rendah apabila dibandingkan dengan penggunaan jenis katalis lain. Penambahan pelat sisi berpengaruh terhadap luasan area proses elektrolisis yang secara otomatis jumlah elektrolit yang terelektrolisa juga bertambah. Tetapi pelat sisi lebih berfungsi sebagai media untuk menurunkan kalor yang terjadi pada pelat elektroda, kalor yang terjadi pada elektroda maupun pelat netral akibat elektrolit yang terjebak di dalam generator dapat ditransfer ke pelat sisi. Pengaruh penambahan pelat netral terhadap generator HHO tipe *dry*

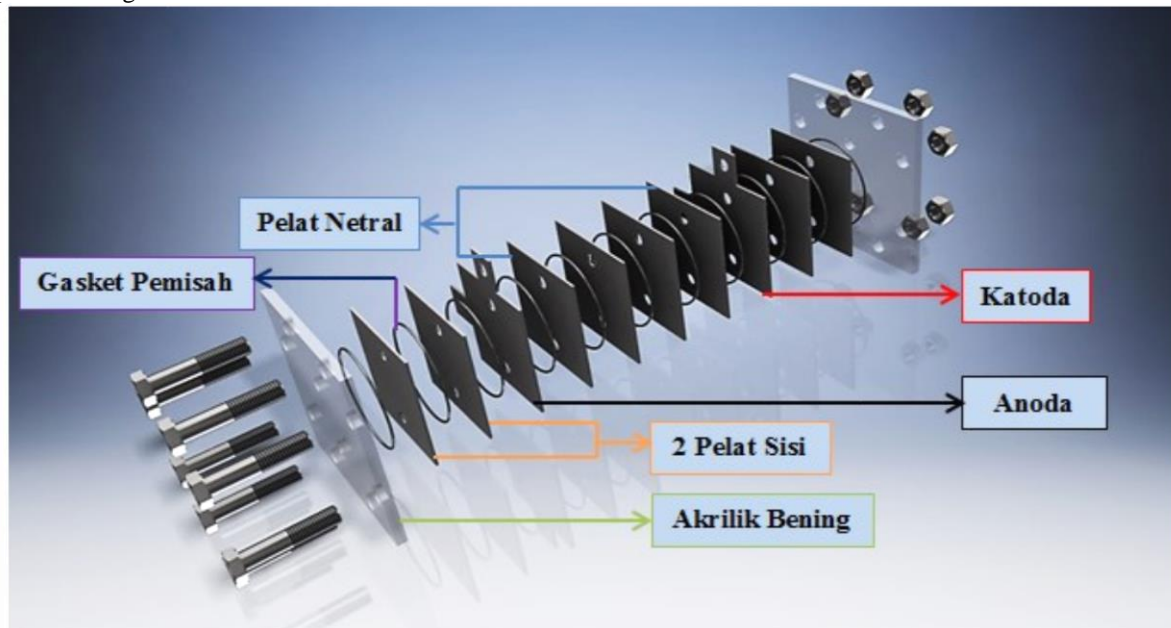
cell menunjukkan produksi *Brown Gas* cenderung konstan terhadap pertambahan waktu dan didapati konfigurasi 4 pelat netral, 2 pelat sisi samping elektroda menghasilkan produktifitas terbesar 0,015l/s. (Prayitno, 2016).

Marlina (2013) meneliti tentang karakteristik produktifitas *Brown Gas* dengan penambahan katalis NaHCO_3 dengan variasi penambahan katalis dimulai dari 2,5% - 15%. Dari hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar katalis maka daya yang dibutuhkan semakin besar untuk melakukan proses elektrolisis tersebut. Dan pada katalis 12,5% didapatkan produktifitas yang tertinggi, tetapi efisiensi tertinggi terjadi pada kadar 10% katalis NaHCO_3 .

Tujuan daripada penelitian ini adalah dengan melakukan penambahan beberapa variasi di antaranya diameter lubang elektroda, jumlah pelat netral dan variasi profil elektroda adalah untuk mencapai produktifitas *Brown Gas* yang tinggi dan Efisiensi generator HHO yang tinggi, tetapi membutuhkan daya yang listrik yang rendah.

2. METODE DAN BAHAN PENELITIAN.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi diameter lubang elektroda, bentuk profil elektroda serta jumlah pelat netral pada generator HHO terhadap produktifitas *Brown Gas*. Generator yang digunakan tipe kering (*Dry Cell*) yang memiliki keuntungan elektrolit yang dielektrolisa hanya seperlunya karena terjebak di antara lempengan sel (elektroda dan pelat netral), panas yang ditimbulkan kecil dan Arus listrik yang dibutuhkan relatif kecil. Variasi bentuk profil elektroda meliputi bentuk elektroda polos, elektroda dengan profil persegi, lingkaran, dan silang. Kemudian diameter lubang elektroda divariasikan sebesar 5 mm, 8 mm, 10 mm dan 12 mm serta jumlah pelat netral 4, 6 dan 8 buah. Dan penambahan masing-masing 2 buah pelat di sisi generator HHO.

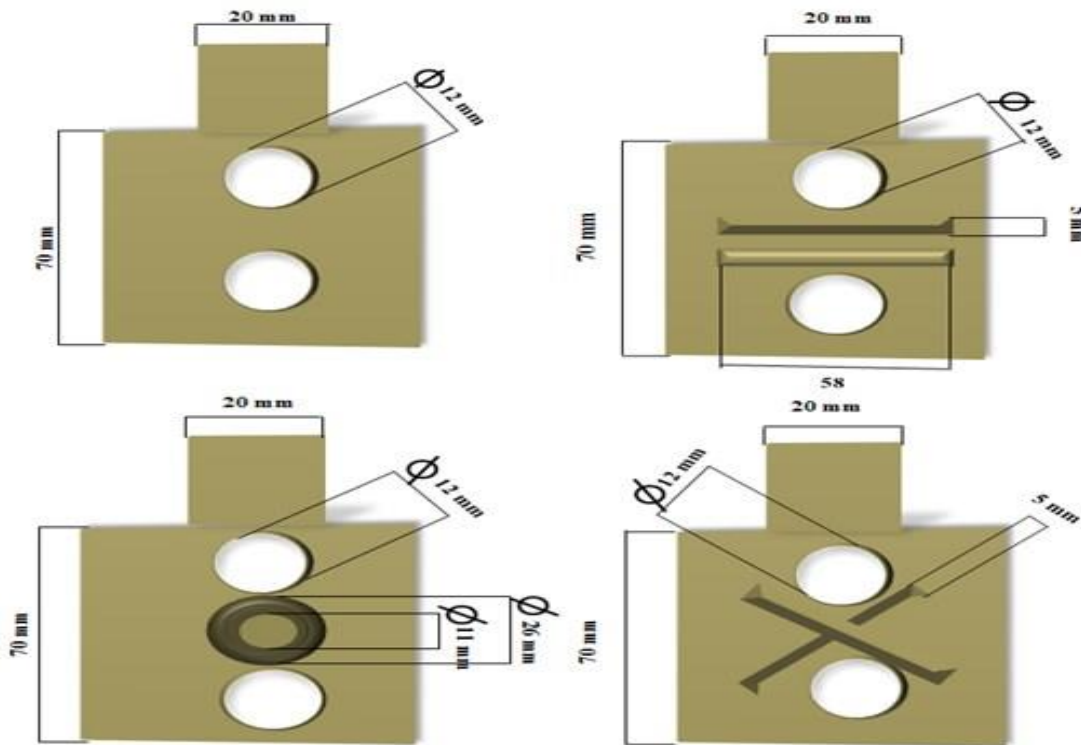


Gambar 1. Desain generator HHO

Gambar 1 menunjukkan susunan generator HHO menggunakan elektroda polos, 4 buah pelat netral dan 2 buah pelat sisi. NaOH digunakan sebagai katalis untuk mempercepat proses elektrolisis dengan fraksi masa 1,77% yang dibuat dengan melarutkan 45 gram NaOH dalam 2,5 liter air. Kemudian gasket pemisah pelat terdiri dari 2 ukuran, yaitu O ring berdiameter 60 mm dengan ketebalan 1.5 mm dan 3 mm.

Variasi tambahan profil pada elektroda berupa lempengan logam berbentuk balok dan lingkaran yang dibuat dengan ukuran tertentu direkatkan dengan lem dengan tujuan agar tidak lepas saat proses elektrolisis berlangsung. Fungsi penambahan variasi profil elektroda dimaksudkan untuk menambah luas permukaan yang bereaksi dengan elektrolit, demikian halnya juga dengan variasi diameter lubang elektroda serta jumlah pelat netral. Semakin besar luasan yang dilewati elektrolit pada generator HHO tipe kering (*Dry Cell*) maka semakin mudah elektrolit melepaskan elektron.

Arus listrik sebagai sumber energi untuk proses elektrolisis diubah dari AC ke DC menggunakan inverter 900 Watt. Besar tegangan yang dihasilkan inverter diukur dengan multimeter digital dan nilainya diusahakan konstan.



Gambar 2. Variasi bentuk profil elektroda

2.1 Performa Generator HHO

Performa generator HHO ditentukan oleh beberapa parameter yang meliputi daya yang dibutuhkan generator, produktifitas *Brown Gas* serta efisiensi generator HHO. Performa generator HHO ditentukan dengan menggunakan persamaan 1-3, berturut-turut untuk menghitung besarnya daya untuk proses elektrolisis, volume gas HHO yang dihasilkan dari proses elektrolisis dan efisiensi generator HHO.

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

Keterangan

P = Daya yang dibutuhkan generator HHO (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Kuat arus listrik (Ampere)

$$Q = \frac{v}{t} \quad (2)$$

Keterangan

Q = Produktifitas *Brown Gas* (l/s)

v = Volume *Brown Gas* (l)

T = Waktu yang digunakan untuk menghasilkan *Brown Gas* (s)

$$\eta = \frac{Q_{HHO} \times \rho_{HHO} \times LHV_{HHO}}{P} \times 100\% \quad (3)$$

$$\eta = \frac{\text{Energi yang dimiliki Brown Gas hasil elektrolisis}}{\text{Energi yang dibutuhkan untuk memproduksi Brown Gas}} \times 100\%$$

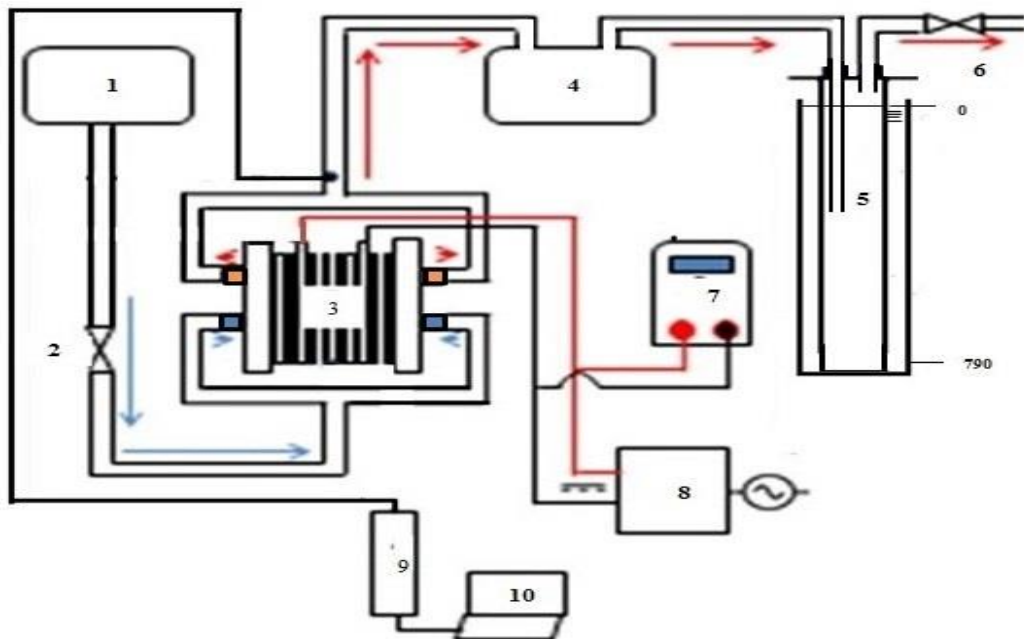
Keterangan

Q_{HHO} = Debit Gas HHO yang dihasilkan pada proses elektrolisis (l/s)

LHV_{HHO} = Nilai energi terendah yang diperlukan agar gas HHO dapat bereaksi (J/gr)

- ρ_{HHO} = Massa jenis gas HHO (gr/l)
 P = Daya yang digunakan (Watt)

2.2 Instalasi Alat Penelitian



Keterangan

1. Wadah penampung larutan elektrolit sebelum masuk generator HHO.
2. Keran buka dan tutup elektrolit masuk
3. Generator HHO
4. Wadah penampung elektrolit setelah mengalami elektrolisis
5. Tabung pengukuran pertambahan HHO
6. Keran untuk membuang HHO setelah percobaan sebelumnya
7. Multieter digital
8. Inverter AC ke AC
9. Arduino Nano
10. Laptop

Gambar 3. Skema penelitian

Prosedur pelaksanaan penelitian pertama-tama keran buka dan tutup elektrolit masuk ditutup (gambar 2), larutan elektrolit dimasukkan ke dalam wadah penampungan (Gambar 1). Kemudian pada generator dialiri arus listrik yang sudah diubah menjadi DC oleh inverter, setelah itu keran dibuka agar elektrolit bisa mengalir. Elektrolit masuk ke generator sesuai dengan arah panah berwarna biru melalui 2 buah katup masuk (intake valve) dan kemudian proses elektrolisis dimulai. Terjadi proses pemecahan molekul-molekul air menjadi gas yang mana terdapat gelembung pada elektroda yang terus mengalir dalam generator HHO hingga menuju katup keluar. Pada elektroda yang bermuatan positif (katode) akan terjadi reduksi, menyerap elektron sehingga menghasilkan molekul molekul H_2 sedangkan pada anode yang bermuatan negatif akan melepaskan elektron dan menghasilkan molekul ion O_2 . Hasil proses elektrolisis berupa cairan berwarna merah yang mengandung gas HHO ditampung di wadah no 4, dan gas HHO ditampung di gelas ukur pada gambar 5. Sensor suhu berupa Arduino nano dipasang pada selang setelah katup keluar, dan berfungsi untuk mengukur suhu elektrolit yang telah mengalami elektrolisis. Besar tegangan (V) dan kuat arus (I) yang terjadi saat proses elektrolisis diukur menggunakan multimeter digital. Pengukuran pertambahan produksi *Brown Gas* dicatat per 10 detik hingga tabung gelas ukur penuh untuk satu kali pengujian. Pengujian dilakukan sebanyak 144 kali di mana setiap variasi dilakukan 3 kali pengujian.

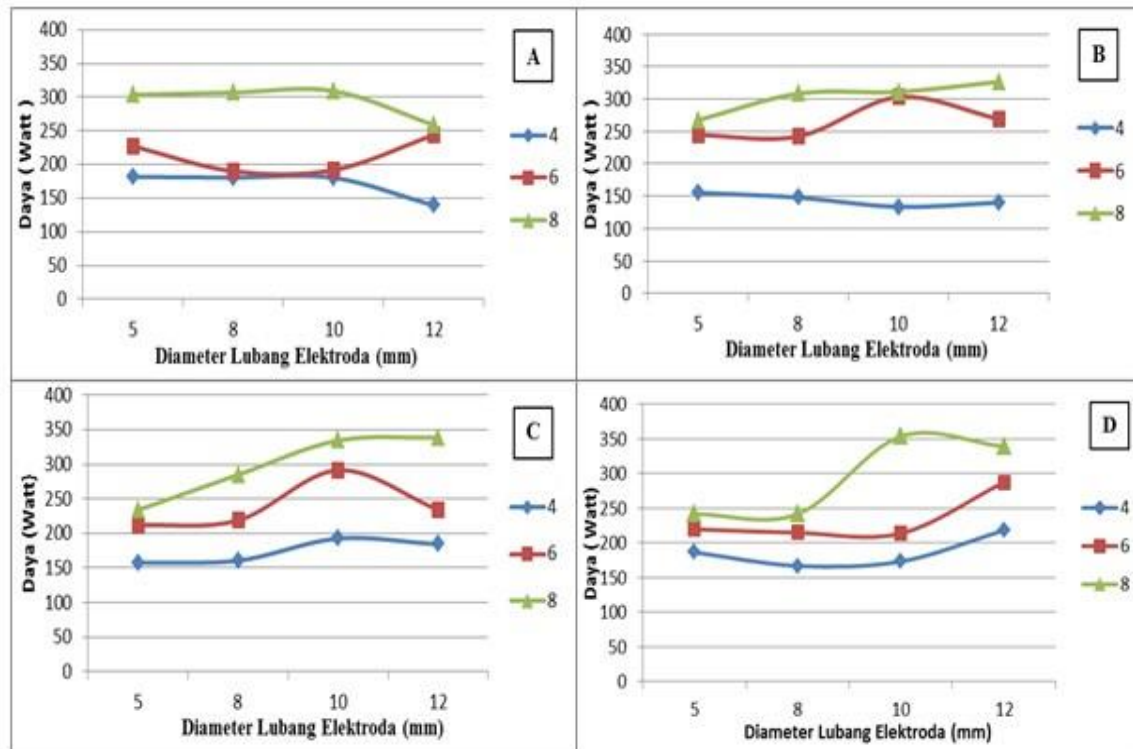
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan desain elektroda pada Gambar 2 didapatkan luas penampang elektroda yang akan dilewati larutan elektrolit dan dibatasi gasket pemisah berupa O ring berdiameter 60 mm. dengan masing-masing 2 buah elektroda sesuai pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi lubang dan luas penampang elektroda

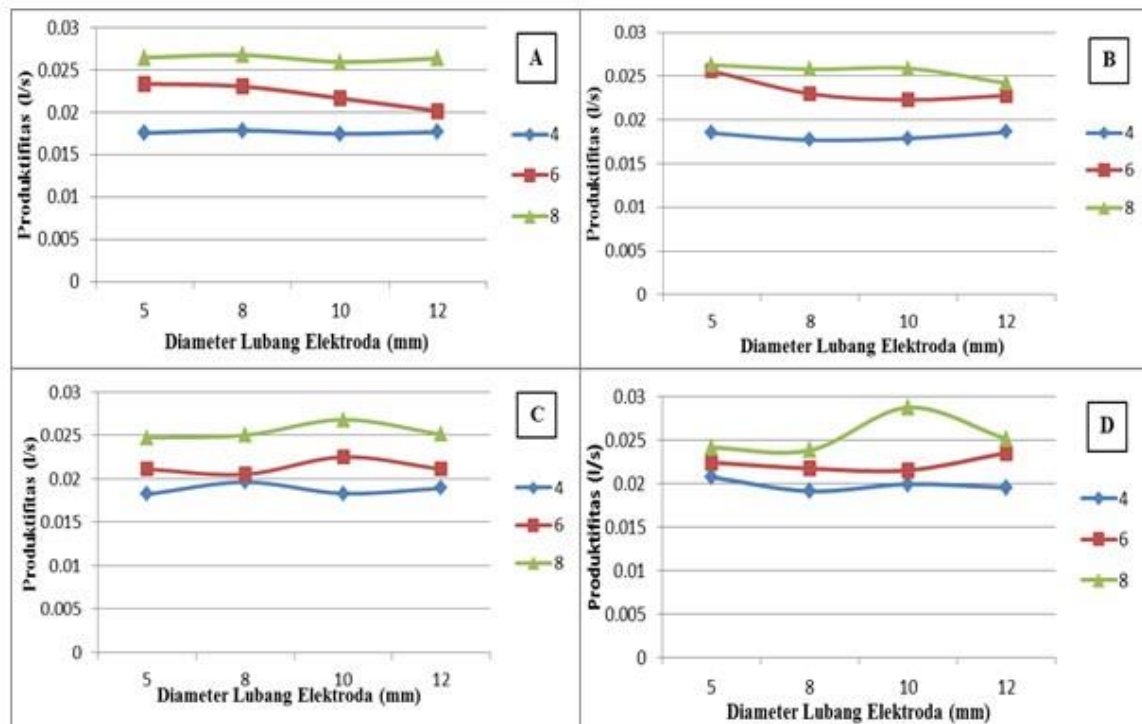
LUAS PERMUKAAN (mm ²)				
DIAMETER LUBANG ELEKTRODA	POLOS	PERSEGI	LINGKARAN	SILANG
5 mm	5612.75	6462.35	5821.874	6030.35
8 mm	5551.52	6401.12	5760.644	5969.10
10 mm	5495.00	6344.60	5704.124	5912.60
12 mm	5385.92	6235.52	5595.044	5803.50

Luas permukaan terbesar pada elektroda dengan variasi diameter lubang elektroda 5 mm, bentuk persegi yaitu 6462.35 mm untuk 2 buah elektroda, dan terkecil pada elektroda bentuk polos, diameter lubang elektroda 12 mm yaitu 5385.92 mm.

**Gambar 4.** Hubungan diameter lubang elektroda terhadap daya yang dibutuhkan generator HHO pada berbagai jumlah pelat netral dengan bentuk (A) polos, (B) persegi, (C) lingkaran dan (D) silang.

Gambar 4 menunjukkan bahwa penambahan jumlah pelat netral, daya yang dibutuhkan Generator akan semakin bertambah. Hal ini dikarenakan banyaknya larutan elektrolit yang bereaksi di dalam generator semakin banyak sehingga dibutuhkan daya yang semakin besar untuk melakukan proses elektrolisis. Fungsi pelat netral sebagai pemisah antara katode dan anode, semakin banyak pelat netral yang digunakan pada generator tipe kering maka semakin banyak luasan area elektrolisis untuk menghasilkan *Brown Gas*. Semakin banyak larutan elektrolit yang bereaksi akan memperbesar konsentrasi atom hidrogen yang terkandung pada NaOH bereaksi. Dengan demikian Produksi *Brown Gas* akan bertambah. Konsumsi daya terkecil pada generator HHO yang menggunakan elektroda polos, 4 buah pelat netral serta diameter lubang elektroda 12 mm yaitu sebesar 139,3 Watt, dan daya terbesar pada generator HHO dengan susunan elektroda silang, 8 pelat netral serta diameter lubang elektroda 10 mm yaitu 353,4 Watt. Luas permukaan elektroda serta luasan area elektrolit bereaksi mempengaruhi daya yang dibutuhkan generator HHO melakukan elektrolisis. Luas permukaan elektroda yang mengalami variasi penambahan profil mengakibatkan konsentrasi elektrolit yang bereaksi di elektroda bertambah. Kemudian apabila jumlah pelat netral ditambah maka luasan area elektrolit yang terelektrolisa juga bertambah, sehingga daya yang dibutuhkan elektroliser untuk memecah atom-atom air menjadi gas juga bertambah. Luas permukaan area elektrolis pada generator tipe kering meliputi bentuk dan variasi profil elektroda, jumlah pelat netral, celah elektroda, diameter lubang elektroda serta 2 pelat sisi generator. Generator HHO yang menggunakan elektroda silang dengan diameter lubang 5 mm memerlukan daya yang besar dibandingkan dengan bentuk elektroda yang lain dengan diameter lubang yang sama, 4 pelat netral yaitu

sebesar 185,99 Watt dan terendah pada elektroda bentuk persegi dengan daya generator 155,36 Watt. Akan tetapi bentuk elektroda silang dengan diameter lubang 12 mm, 4 pelat netral mengalami kenaikan daya yang signifikan yaitu 217,8 Watt. Hal ini disebabkan disaat semakin besar diameter lubang elektroda maka aliran elektrolit akan semakin lancar dan cepat.

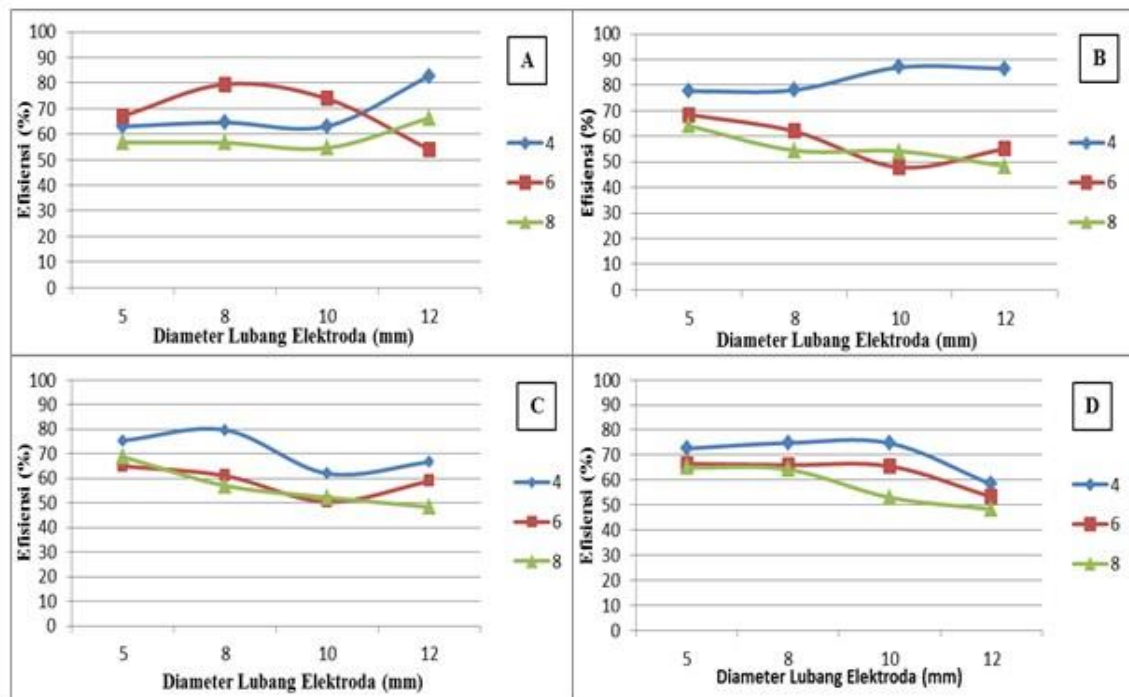


Gambar 5. Hubungan jumlah pelat netral, diameter lubang, serta bentuk elektroda terhadap produktifitas *Brown Gas* dengan bentuk (A) polos, (B) persegi, (C) lingkaran dan (D) silang.

Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin bertambah jumlah pelat netral maka semakin bertambah pula produktifitas *Brown Gas*. Penambahan jumlah pelat netral maka luasan area aliran elektrolit juga bertambah. Dengan demikian konsentrasi elektrolit yang terelektrolisa juga bertambah, produktifitas akan bertambah. Penambahan aksesoris serta diameter lubang elektroda berpengaruh terhadap luas permukaan elektroda yang bersentuhan dengan elektrolit dan mengalami elektrolisis, karena bertambahnya atom hidrogen yang bereaksi, dengan demikian produktifitas akan bertambah. Produktifitas tertinggi pada generator HHO yang menggunakan 8 pelat netral, elektroda bantu silang dan diameter lubang 10 mm yaitu sebesar 0,02871 l/s, dan terendah yaitu 0,0175 l/s pada generator HHO dengan variasi elektroda polos, diameter lubang 5 mm serta menggunakan 4 pelat netral.

Efisiensi generator merupakan perbandingan energi teoritis yang digunakan dengan energi yang diberikan pada suatu sistem. Gambar 6 (A) terlihat berbeda dengan grafik (B), (C), dan (D). pada jumlah pelat netral 6 nilai efisiensi generator lebih tinggi daripada jumlah pelat netral 4. Hal ini bisa disebabkan oleh besar tegangan yang dihasilkan oleh inverter rendah dan hampir sama dengan variasi 4 pelat netral yaitu kisaran 18-19V, sehingga mempengaruhi kinerja dari generator HHO. Efisiensi generator HHO akan cenderung tinggi apabila daya rendah dan produktifitas meningkat. Nilai efisiensi sangat dipengaruhi oleh laju pertambahan nilai produktifitas dan daya yang dibutuhkan selama elektrolisis berlangsung. Rumus efisiensi diketahui nilai ρ LHV adalah konstan karena material yang digunakan sama sedangkan yang berbeda nilai (Q) atau produktifitas dan daya yang dibutuhkan saat reaksi terjadi (P). dengan demikian terjadi penurunan efisiensi diakibatkan bertambah besarnya nilai tegangan dan hambatan sehingga nilai pembagi turun. Dan terhadap diameter lubang elektroda apabila dilihat dari besar luas permukaan elektroda yang dilewati elektrolit maka semakin besar diameter lubang elektroda maka elektrolit yang bereaksi berkurang. Hal ini mempengaruhi nilai efisiensi generator. Tetapi secara keseluruhan dapat dijelaskan bahwa semakin bertambah jumlah pelat netral akan menurunkan efisiensi Generator HHO. Hubungan diameter lubang elektroda terhadap efisiensi dapat dilihat bahwa semakin besar diameter lubang elektroda maka cenderung menurunkan nilai efisiensi generator. Gambar 3A yaitu terhadap bentuk elektroda silang, diameter lubang elektroda 12 mm, nilai efisiensi mengalami penurunan jika dibandingkan dengan diameter lubang elektroda 5 mm. Efisiensi tertinggi terjadi pada susunan generator 4 pelat netral, bentuk elektroda persegi serta diameter lubang elektroda 10 mm yaitu 87 %, dan

terendah pada generator dengan variasi bentuk elektroda lingkaran, 8 pelat netral serta diameter lubang elektroda 12 mm yaitu 48.3 %.



Gambar 6. Hubungan jumlah pelat netral, diameter lubang, serta bentuk elektroda terhadap efisiensi generator HHO dengan bentuk (A) polos, (B) persegi, (C) lingkaran dan (D) silang.

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian dan pembahasan terhadap data penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi terhadap diameter lubang dan bentuk profil elektroda serta jumlah pelat netral sangat berpengaruh terhadap produktifitas *Brown Gas*. Hal ini berkaitan dengan besar luas penampang elektroda dan luasan area yang dilewati elektrolit proses elektrolisis.
2. Daya Generator HHO terkecil terjadi pada Generator HHO dengan susunan elektroda polos, 4 pelat netral dan diameter lubang elektroda 12 mm yaitu sebesar 139.3 Watt, sedangkan terkecil pada generator HHO yang menggunakan elektroda silang, diameter lubang elektroda 10 mm dan 8 pelat netral yaitu sebesar 353,4 Watt.
3. Produksi *Brown Gas* tertinggi pada generator HHO dengan variasi profil elektroda bentuk silang, diameter lubang elektroda 10 mm dan 8 pelat netral sebesar 0.287 l/s. Sedangkan terendah pada variasi elektroda bentuk polos, diameter lubang elektroda 5 mm dan 4 pelat netral sebesar 0.175 l/s.
4. Efisiensi generator HHO terbesar pada variasi profil elektroda bentuk persegi, menggunakan 4 pelat netral dan diameter lubang elektroda 12 mm sebesar 86,5 %, dan terendah pada variasi lingkaran dengan 8 pelat netral dan diameter lubang elektroda 12 sebesar 48,3 %.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ARIFIN, T., B. RUDIANTO, Y. SUSMIATI. 2015. Studi Penggunaan Pelat Netral *Stainless Steel* 316 dan Aluminium terhadap Performa Generator HHO *Dry Cell*. *Journal Rona Teknik Pertanian*. Vol. 8 No 2, pp 116-129, ISSN: 2085-2614
- [2] GUNAWAN, ERRY. 2012. *Tinjauan Produksi Gas HHO dari 4 Jenis elektrode Stainless Steel*. Surabaya: Teknik Mesin, FTI, ITS
- [3] HIDAYATULLAH, P. 2015. Diskursus Bahan Bakar Air. *SINERGI*. Vol. 19, No. 2, pp 129-138, ISSN: 1410-2331
- [4] JULIANTO, BANGUN, 2013. *Pengaruh Suhu terhadap Hambatan Rangkaian Listrik*. *Jurnal Fisika UNS*. Vol. 3, No. 2, pp. 102-104, P-ISSN 2088-1509

- [5] LAKSONO, S.D & WIDHIYANURIYAWAN, DENNY. 2013. *Pengaruh Variasi Fraksi Massa NaHCO₃ Terhadap Produksi Brown's Gas Pada Elektrolisis*. Skripsi. Tidak Dipublikasi. Malang: Teknik Mesin, Universitas Brawijaya
- [6] LESTARI, DEWI YUANITA. 2012. *Pemilihan Katalis Yang Ideal. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*. Yogyakarta; UNY
- [7] MARLINA, ENA. WAHYUDI, SLAMET dan YULIANTI, LILIS. 2013. *Produksi Brown's Gas Hasil Elektrolisis H₂O Dengan Katalis NaHCO₃*, *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol. 4, No. 1. ISSN: 0216-468X.
- [8] NUGRAHA, EKA F. WIDYA, WIDHIYANURIYAWAN, DENNY & HASLINDA KUSUMANINGSIH. 2016. *Pengaruh Jarak Celah Elektrode dan Ketebalan Pelat Terhadap Produktifitas Brown's Gas Pada Elektrolyzer Dry Cell*. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Malang: Teknik Mesin, Uneversitas Brawijaya.
- [9] PRAYITNO, YOGIE, WIDHIYANURIYAWAN, DENNY & HASLINDA KUSUMANINGSIH. 2016. *Pengaruh Penambahan Pelat Terhadap Produksi Brown's Gas Pada Generator HHO tipe Dry Cell*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang : Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- [10] SARI, TRI P, WIDHIYANURIYAWAN, DENNY & HASLINDA KUSUMANINGSIH. 2016. *Pengaruh Ketebalan Pelat Elektrode dan Fraksi Massa Katalis terhadap Produktifitas Brown's Gas pada Elektrolisis Dry Cell*. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Malang: Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- [11] SIREGAR, EDY B. MULYA. 2005. *Pencemaran Udara, Respon Tanaman Dan Pengaruhnya Pada Manusia*. Medan: Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, USU.
- [12] SOPANDI, IHSAN. HANANTO, YULI, RUDIANTO dan BAYU. 2015. Studi ketebalan Elektrode Pada Produksi Gas Brown (HHO) oleh Generator HHO tipe basah dengan katalis NaHCO₃ (Natrium Bikarbonat). *Jurnal Rona Teknik Pertanian*. ISSN : 2085-2614.
- [13] SYAIFUDDIN, FAHMI. 2016. *Performansi Elektrolyzer Dry Cell Pada Beberapa Jenis Material Elektrode dan Jumlah Pelat Netral*. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- [14] TAKEUCHI, YASHITO. 2006. *Buku Text Pengantar Kimia*. Tokyo: Iwanami Shoten.
- [15] TODD, D.,M. SCHWAGER, W. MERIDA. 2014. Thermodynamics of High-Temperature, High-Pressure Water Electrolysis. *Journal of Power Sources*. Vol. 269, pp.424-429, doi:10.1016/j.jpowsour.2014.06.144
- [16] UTOMO, GATUT P dan WIYJAYA, RHONY M. 2015. Pemanfaatan Elektrolisis Air Sebagai Alternatif Penghemat Bahan Bakar Sepeda Motor Honda 100 cc. *Mekanika Mekanika Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 1. No. 1. Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
- [17] WIDHIYANURIYAWAN, D., HAMIDI, NURKHOLIS., WIJONO. 2013. Karakteristik Produksi Brown's Gas Dengan Menggunakan Tenaga Matahari. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol. 4, No. 1. ISSN 021-468X.