

# Pengaruh Penggunaan Pelat Elektroda Tekstur terhadap laju Produksi gas pada Generator HHO

Asmawi<sup>1</sup>, M.R. Mansor<sup>2</sup>, N. Tamaldin<sup>3</sup>, V. Vekky R. Repi<sup>4</sup>, Ajat Sudrajat<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup> Fakultas Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Hang Tuah Jaya, 76100 Durian Tunggal, Melaka, Malaysia.

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, Universitas Nasional Jakarta, Jakarta 12520, Indonesia.

<sup>4,5</sup> Department of Engineering Physics, Universitas Nasional Jakarta, Jakarta 12520, Indonesia.

\*Korespondensi penulis: asmawi@civitas.unas.ac.id

(Received: 08-11-2022; Revised: 16-11-2022; Accepted: 24-11-2022)

**ABSTRACT.** SS316L iron plate is a material that is often used in construction on machinery. In this study, 6 sheets of SS316L plates as electrode plates measuring 100 mm × 100 mm were assembled into a spacer shape arranged parallel to the distance of 2 mm. The SS316L electrode plate consists of two types, namely the original electrode plate or flat plate and the electrode plate through a treatment process where the surface is made of lines (texture). Both flat and textured electrode plate is formed into a spacer which then inserted to the HHO generator as the main component in the water electrolysis process. Measurements and calibrations are performed on each HHO generator with flat electrode plates and textured electrode plates with KOH catalyst 10 grams, 20 grams and 30 grams. The results of the calibration of the two types of HHO generators show that the HHO generator with texture plates is better than the plain plate with an average value of 1.03 L/minute.

**Keywords:** SS316L plate, surface texture, KOH, HHO generator.

**ABSTRAK.** Pelat besi SS316L merupakan material yang sering digunakan dalam konstruksi pada permesinan. Pada penelitian ini 6 lembar pelat SS316L sebagai pelat elektroda berukuran 100 mm × 100 mm dirangkai yang disusun sejajar dengan jarak 2 mm. Pelat elektroda SS316L yang digunakan terdiri atas dua jenis yaitu pelat elektroda tanpa tekstur dan pelat elektroda yang permukaannya dibuat tekstur linear atau bergaris-garis. Setiap pelat elektroda tanpa tekstur dan bertekstur dimasukkan ke generator HHO sebagai komponen utama dalam proses elektrolisis air. Pengukuran dilakukan pada masing-masing generator HHO dengan pelat elektroda tanpa tekstur atau pelat elektroda bertekstur dengan katalis KOH 10 gram, 20 gram dan 30 gram. Hasil pengukuran kedua jenis pelat generator HHO menunjukkan bahwa generator HHO dengan pelat tekstur lebih baik jika dibandingkan dengan pelat polos dengan nilai rata-rata laju produksi gas 1.03 L/menit.

**Kata kunci:** pelat SS316L, tekstur permukaan, KOH, generator HHO

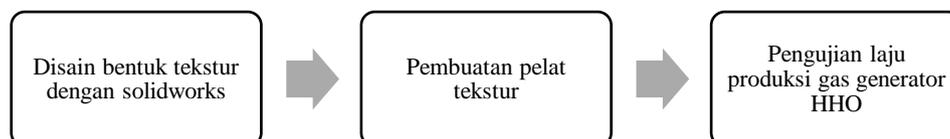
## PENDAHULUAN

Tekstur permukaan adalah salah satu teknik saat ini yang telah digunakan untuk menyelidiki peningkatan kinerja di banyak aplikasi seperti pada tribologi, sel bahan bakar dan generator hidrogen [1]-[3]. Tekstur permukaan dapat menguntungkan dalam beberapa cara yang dapat mengurangi gesekan dan keausan, meningkatkan kapasitas pengangkutan beban dan meningkatkan kekakuan film fluida. Tekstur permukaan dalam ukuran nm ~ μm berubah menjadi parameter desain baru yang signifikan untuk sistem tribo di samping area permukaan yang tampak, jarak bebas, beban kontak, kecepatan geser, bahan kontak, kekasaran permukaan, pelumas, suhu, dan atmosfer [4]. Studi teoritis dan eksperimental penyelidikan pada permukaan bertekstur telah menunjukkan peningkatan kinerja karakteristik tribologi. [5]. Dalam penelitian ini pelat generator HHO yang ada dengan modifikasi permukaan atau metode tekstur permukaan dapat meningkatkan kinerja produksi hidrogen dalam generator HHO [4], [6]. Generator Hydrogen-Hydrogen Oxygen (HHO) adalah bahan bakar alternatif yang menjanjikan

untuk aplikasi mesin pembakaran internal. Ini membantu mengurangi konsumsi bahan bakar, karakteristik pembakaran yang lebih ramping dan mengurangi emisi gas [7]. Gas oxy-hidrogen adalah campuran oksigen dan gas hidrogen yang dihasilkan oleh generator HHO melalui proses elektrolisis air. Elektrolisis air diperkenalkan oleh M. Faraday pada tahun 1820. Proses ini melibatkan penggunaan pelat logam, khususnya baja *stainless steel* 316L yang berfungsi sebagai elektrolit karena sifat listrik, termal dan fisiknya yang baik. Pelat *stainless steel* merupakan bagian penting di antara komponen HHO. Desain tekstur permukaan linier bidang aliran pada pelat ini dan metode fabrikasi adalah masalah utama dalam proyek ini. Selama beberapa dekade, berbagai metode untuk membuat tekstur permukaan diperkenalkan ketika minat akan efek tribologis dari tekstur permukaan meningkat. Generator Hidrogen-Hidrogen-Oksigen (HHO) merupakan salah satu alat penghasil gas hidrogen yang dapat digunakan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar pada mesin pembakaran dalam. Pada mesin pembakaran, generator HHO mampu meningkatkan efisiensi bahan bakar dengan cara meningkatkan energi yang dihasilkan per mol bahan bakar selama proses penyalaan. Hasilnya dapat menurunkan emisi gas dan menurunkan pencemaran lingkungan [8]. Dalam sistem ini, elektrolisis air merupakan proses yang penting karena menghasilkan gas hidrogen yang dapat digunakan sebagai sumber energi [6], [9], [10]. Objektif dari artikel ini pada penggunaan dua jenis tekstur permukaan pelat yaitu pelat bergaris atau linier dan pelat tanpa tekstur atau polos yang dibuat menggunakan mesin CNC [11]. Pelat yang dimodifikasi yang berukuran 316L *stainless steel* 10 cm × 10 cm diuji secara eksperimental untuk menentukan kinerjanya. Selain itu, hubungan antara laju produksi hidrogen juga diamati.

## METODE PENELITIAN

Dalam bagian ini, metodologi untuk melakukan penelitian ini akan dijelaskan. Ini termasuk mengembangkan berbagai jenis desain pola tekstur permukaan linier, proses pembuatan bahan pelat, baja *stainless steel* 316L dan untuk menguji kinerja pelat elektroda yang dimodifikasi [12]. Data akan dikumpulkan dari generator HHO untuk menentukan produksi hidrogennya. Diagram alir proyek ditunjukkan pada gambar 1.



GAMBAR 1. Proses tahapan penelitian

### Desain Pola Linear

Bahan yang digunakan sebagai pelat elektroda adalah logam baja *stainless steel* (SS316L) dengan ukuran luas permukaan pelat SS316L 100 mm × 100 mm dengan tebal 1 mm. Dalam penelitian ini, tekstur permukaan dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu pelat polos dan tekstur bergaris. Dalam studi sebelumnya, kebanyakan menggunakan proses goresan dengan menggunakan kertas pasir untuk meningkatkan kekasaran permukaan pelat baja, tetapi dalam penelitian ini metode tekstur permukaan digunakan untuk meningkatkan modifikasi pelat permukaan dengan menggunakan mesin tekstur permukaan [6], [13].

### Proses Fabrikasi

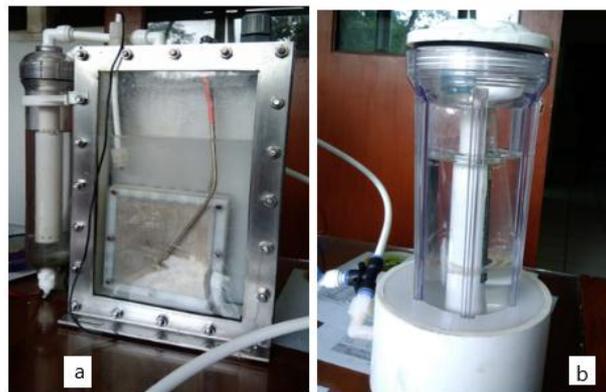
Proses dimulai dengan mengembangkan desain dan membuat jig menggunakan mesin penggilingan CNC karena pelat terlalu tipis, mesin tidak dapat menahan pelat. Fungsi jig adalah untuk memegang dan mengontrol pelat agar permukaannya rata. Bahan yang digunakan untuk memproduksi jig ini adalah blok aluminium panjang 150 mm dengan lebar 120 mm dan tebal 20 mm. Kemudian, permukaan jig dipotong seukuran piring dengan kedalaman 0.6 mm. Diameter 4 lubang 5 mm adalah bor untuk membuat ulir sekrup yang berfungsi menahan pelat dengan mesin cuci dan memastikan pelat tidak

bergerak selama proses pemesinan. Gambar 2 menunjukkan pelat elektroda bentuk polos dan bentuk tekstur.



**GAMBAR 2** a) Pelat elektroda polos dan b) pelat elektroda tekstur

Setelah proses treatment pada pelat elektroda, selanjutnya merangkai pelat elektroda polos dan tekstur dalam bentuk spacer, menyusun enam (6 pcs) lembaran pelat elektroda ukuran 100 mm × 100 mm secara parallel dengan jarak 2 mm dan selanjutnya dirakit masuk kedalam generator HHO, sehingga dapat menjadi generator HHO secara komplit. Gambar 3 menunjukkan bentuk generator HHO secara komplit disertai dengan flowmeter untuk mengukur volume produksi gas HHO dalam satuan Liter per menit.



**GAMBAR 3** (a) HHO generator dan (b) *Flowmeter* gas HHO.

Proses berikutnya persiapan mengambil data kalibrasi terhadap generator HHO dengan cara mengukur volume produksi gas HHO melalui *flowmeter* dan *stop-watch* untuk mengukur waktu tempuh gas HHO didalam tabung *flowmeter*. Gambar 4 menunjukkan persiapan proses pengukuran dan kalibrasi generator HHO.



**GAMBAR 4.** Persiapan pengukuran gas HHO menggunakan beberapa komponen alat; (a) gelas ukur; (b) timbangan elektrik; (c) air aquades; (d) *stop-watch*.

Parameter pengukuran dilakukan untuk arus listrik yang dihasilkan dari generator HHO sebagai keluaran dari tegangan input sebesar 13.8 volt, temperatur dalam derajat celcius, waktu dalam detik yang diperlukan untuk mengukur laju aliran gas HHO dalam generator HHO. Sehingga laju aliran gas HHO merupakan volume produksi gas HHO dari generator HHO dengan satuan liter per menit. Unjuk kerja generator HHO dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu luasan elektroda, larutan elektrolit, katalis yang digunakan, konsentrasi katalis, jarak elektroda, dan jumlah elektroda. Pada penelitian ini dirancang sebuah susunan generator HHO dengan 1 ukuran elektroda, akan tetapi ketebalan elektroda yang digunakan berbeda yaitu elektroda dengan ketebalan pelat 10 mm, dengan jarak antar elektroda 0.5 mm. Elektroda yang terpasang pada setiap generator berjumlah 6 elektroda yang terdiri atas 3 pelat katoda dan 3 pelat anoda.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor yang mempengaruhi keluaran gas hidrogen dapat dipertimbangkan untuk menyelidiki kinerjanya. Salah satu faktornya adalah tekstur permukaan pelat elektroda. Berdasarkan faktor ini, metode dengan modifikasi permukaan pada pelat baja *stainless* 316L menggunakan metode tekstur permukaan sehingga akan meningkatkan luas permukaan pelat. Ada beberapa jenis tekstur permukaan seperti linear dan spiral [6]. Namun, tekstur permukaan pada generator HHO belum pernah diteliti. Oleh karena itu, beberapa desain tekstur permukaan linier akan diproduksi untuk menentukan kinerja gas hidrogen menggunakan generator HHO diproduksi sedangkan pada elektroda bermuatan positif (anoda) oksigen akan diproduksi. Berdasarkan latar belakang dan masalah diatas, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan volume produksi gas HHO dari dua jenis pelat elektroda original atau polos dan pelat elektroda model tekstur [13]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa generator HHO dengan pelat tekstur lebih baik daripada pelat polos dengan nilai efisiensi sebesar 32.325%, hal ini disebabkan karena terdapat perbedaan luas permukaan pada permukaan yang tekstur [13].

Sel kering menjadi lebih populer di kalangan manusia karena efisiensinya yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan sel basah. Dalam sel kering, kedua pelat dan sendi disegel dari area basah. Pelat dalam penutup generator dengan gasket untuk mencegah kebocoran air. Selama proses tersebut, tangki yang terhubung ke generator menyimpan elektrolit tempat ia bersirkulasi melalui sistem karena gravitasinya. Gas HHO akan mengisi tangki dan memberi tekanan pada elektrolit yang membantu membuat aliran. Dalam sistem ini, lebih sedikit panas yang dihasilkan jika dibandingkan dengan generator sel basah sehingga gas HHO dihasilkan dengan efisiensi yang lebih tinggi. Selain jumlah yang lebih kecil saat ini selama elektrolisis, sistem sel kering mengurangi biaya perawatan. Ini juga mengurangi jumlah energi yang terbuang karena tidak ada panas berlebihan yang dihasilkan. Selain itu, dapat mengurangi korosi pelat elektroda karena oksidasi yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan sel basah [8].

Generator HHO memiliki dua jenis sel tergantung pada konstruksinya, yaitu sel basah dan sel kering. Sel basah yang khas memiliki dua elektroda dan pelat netral yang terhubung bersama. Dalam proses ini elektroda dan pelat netral sepenuhnya terendam dalam elektrolit [14], dan oksigen yang dihasilkan di sekitar elektroda positif mulai bereaksi dengan pelat logam yang digunakan dalam sistem. Dalam sistem ini, pembuangan panas meningkat ketika generator beroperasi yang menyebabkan uap air bercampur dengan gas HHO. Efisiensi hasil sistem berkurang.

Sel kering menjadi lebih populer di kalangan manusia karena efisiensinya yang lebih tinggi jika dibandingkan sel basah. Pelat dalam penutup generator dengan gasket untuk mencegah kebocoran air. Selama proses tersebut, tangki yang terhubung ke generator menyimpan elektrolit tempat ia bersirkulasi melalui sistem karena gravitasinya. Gas HHO akan mengisi tangki dan memberi tekanan pada elektrolit yang membantu membuat aliran. Dalam sistem ini, lebih sedikit panas yang dihasilkan jika dibandingkan dengan generator sel basah sehingga gas HHO menghasilkan dengan efisiensi yang lebih tinggi.

Selain jumlah yang lebih kecil saat ini selama elektrolisis, sistem sel kering mengurangi biaya perawatan. Ini juga mengurangi jumlah energi yang terbuang karena tidak ada panas berlebihan yang dihasilkan. Selain itu, dapat mengurangi korosi pelat elektroda karena oksidasi yang lebih sedikit dibandingkan dengan sel basah [8]. Pada bagian katoda menghasilkan gas hidrogen dan anoda menghasilkan gas oksigen.

Gambar 4 menunjukkan pelat elektroda polos dan pelat elektroda tekstur. Hasil pengukuran menunjukkan pengaruh ketebalan elektroda terhadap gas HHO yang dihasilkan menggunakan energi listrik arus searah (DC) guna input proses elektrolisis. Masukan energi listrik arus searah diperoleh dari Baterai 13.8 volt. Larutan elektrolit yang dielektrolisis yaitu air AC dengan KOH (Kalium Hidroksida), Larutan elektrolit diuraikan menjadi gas H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>, secara teoretis menghasilkan 2 mol hidrogen dan 1 mol oksigen [7]. Pada penelitian ini penggunaan KOH mulai 10 gram, 20 gram, dan 30 gram, selanjutnya dilarutkan dengan air distilasi non mineral berasal dari keluaran mesin tata udara yang dikondisikan (*air contioning-AC*). Tegangan input generator HHO menggunakan arus listrik DC (*direct current*) 13.8 volt, dengan cara ini generator HHO berfungsi sebagai pembangkit gas HHO [7]. Hasil pengukuran generator HHO dibedakan terhadap penggunaan pelat elektroda polos dan pelat elektroda tekstur [15]. Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran volume gas HHO pda pelat elektroda polos.

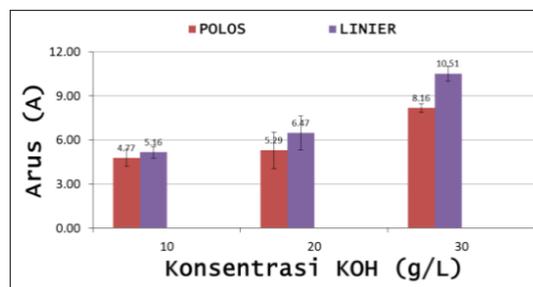
**TABEL 1.** Hasil pengukuran generator HHO rata-rata pada pelat polos.

No.	Konsentrasi KOH (g/L)	Arus (A)	Temperatur (°C)	Waktu (detik)	Laju (L/menit)
1	10	4,77	28.72	127.70	3.92
2	20	5.29	30.49	86.40	5.79
3	30	8.16	31.64	71.07	7.04

**TABEL 2.** Hasil pengukuran Standard deviasi generator HHO pada pelat polos.

No.	Konsentrasi KOH (g/L)	Arus (A)	Temperatur (°C)	Waktu (detik)	Laju (L/menit)
1	10	0,58	3.07	13.14	0,07
2	20	1.24	2,70	16.20	0,03
3	30	0.31	0.87	16.75	0,04

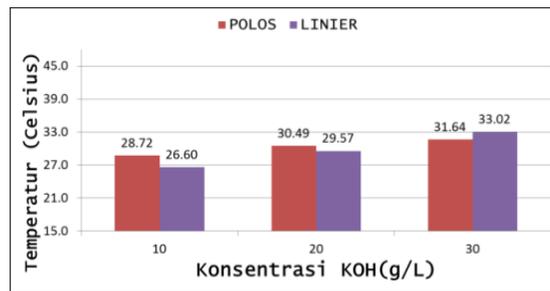
Tabel 1 dan tabel 2 menunjukkan hasil yang diperoleh dari pengukuran kalibrasi terhadap generator HHO yang menggunakan pelat elektroda standar, dimana pengukuran dilakukan pada konsentrasi katalis KOH 10 gram, 20 gram dan 30 gram per liter air. Parameter pengukuran dilakukan terhadap arus listrik yang dihasilkan dari generator HHO sebagai keluaran dari tegangan input sebesar 13.8 volt, temperatur dalam derajat celcius, waktu (detik) yang diperlukan untuk mengukur laju aliran gas HHO dalam generator HHO [15]. Sehingga laju aliran gas HHO merupakan volume produksi gas HHO dari sebuah generator HHO dengan satuan liter per menit. Hasil pengukuran di atas ditampilkan juga dalam bentuk grafik seperti terlihat pada gambar 5, gambar 6, gambar 7 dan gambar 8.



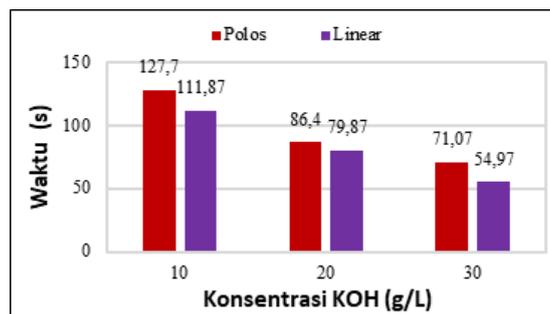
**GAMBAR 5.** Diagram perbandingan rata-rata arus.

Berdasarkan data pengukuran, terlihat pada gambar 5 adalah grafik hubungan keluaran arus listrik terhadap konsentrasi katalis KOH. Dari tiga jenis konsentrasi katalis KOH 10 gram/liter, 20 gram/liter dan 30 gram per liter menunjukkan bahwa arus listrik tertinggi

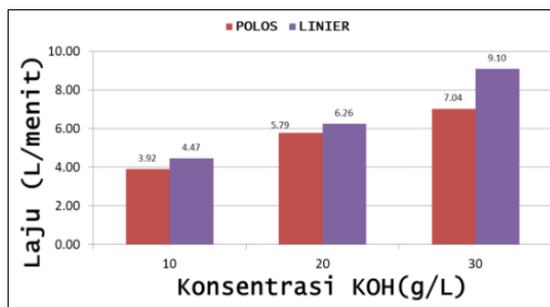
berada pada konsentrasi katalis 30 gram/liter air. Namun secara keseluruhan parameter ukur sedikit saja perbedaannya dan lebih didominasi oleh pelat elektroda linier.



GAMBAR 6. Diagram perbandingan rata-rata temperatur



GAMBAR 7. Diagram perbandingan rata-rata waktu



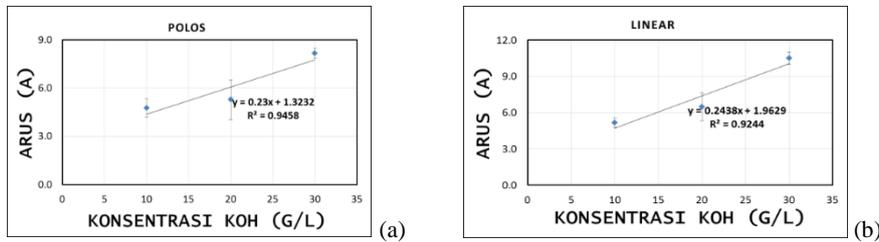
GAMBAR 8. Diagram perbandingan rata- rata laju produksi

Pada hubungan konsentrasi katalis terhadap temperatur sebagaimana terlihat pada gambar 6, kenaikan temperatur secara keseluruhan didominasi pada pelat elektroda linier. Berbeda halnya dengan hubungan konsentrasi katalis KOH terhadap waktu seperti pada gambar 7, dimana waktu tercepat yang dibutuhkan untuk mendapatkan laju produksi gas HHO setiap 500 mL gas HHO didapatkan maksimal pada konsentrasi katalis 30 gram/liter. Namun demikian untuk laju produksi gas HHO terbanyak didominasi pelat elektroda jenis tekstur pada setiap konsentrasi katalis, seperti terlihat pada gambar 8.

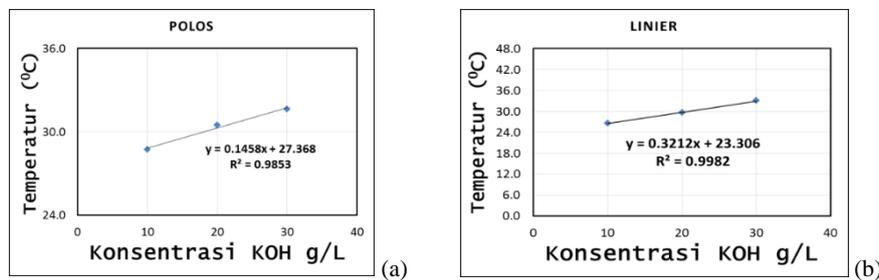
Pada gambar 9, dan gambar 10, menunjukkan nilai regresi linier hubungan keluaran arus listrik terhadap konsentrasi katalis KOH dan terhadap temperatur. Berdasarkan data pengukuran, terlihat pada gambar 9 adalah grafik regresi linier hubungan keluaran arus listrik terhadap konsentrasi katalis KOH pada pelat polos nilai regresi  $R^2 = 0.9458$  yang berarti terdapat hubungan antara arus yang dihasilkan generator HHO terhadap penambahan konsentrasi katalis KOH pada larutan air per satu liter. Demikian pada hubungan konsentrasi katalis KOH terhadap temperatur seperti pada dengan nilai regresi  $R^2 = 0.9244$ . Hal ini menunjukkan bahwa hubungan yang hampir sama dengan gambar 10 yang terjadi pada pelat elektroda polos.

Berdasarkan data pengukuran, terlihat pada gambar 9, menunjukkan grafik regresi linier hubunganyang biasa saja keluaran arus listrik terhadap konsentrasi katalis KOH pada pelat tekstur nilai regresi  $R^2 = 0.9833$  yang berarti terdapat hubungan antara arus yang

dihasilkan generator HHO terhadap penambahan konsentrasi katalis KOH pada larutan air ser satu liter. Demikian pula hubungan konsentrasi katalis KOH terhadap temperatur seperti pada gambar 10 dengan nilai regresi  $R^2 = 0.9948$  menunjukkan hubungan yang sangat buruk dan dapat dikategorikan tidak terdapat hubungan antara temperatur dengan konsentrasi katalis. Pada gambar 10 yang terjadi pada pelat elektroda polos, nilai regresi  $R^2 = 0.9379$  hubungan konsentrasi katalis KOH dengan waktu terjadi biasa saja dan dapat dikategorikan terjadi hubungan yang erat.



GAMBAR 9. Regresi linear parameter arus pada (a). pelat tampa tekstur/polos, (b). pelat bertekstur/linear



GAMBAR 10. Regresi linear parameter temperatur pada (a). pelat tampa tekstur/polos, (b). pelat bertekstur/linear

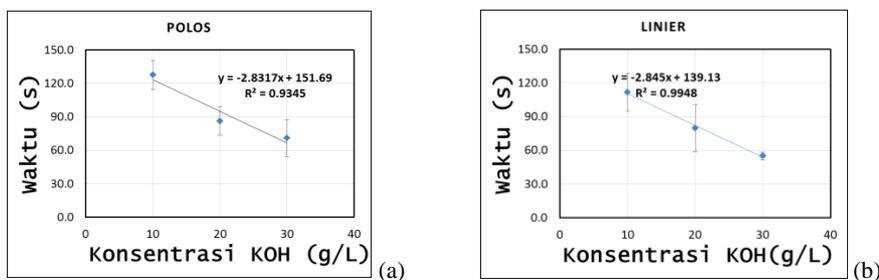
TABEL 3. Hasil pengukuran generator HHO rata-rata pelat linier.

No.	Konsentrasi KOH (g/L)	Arus (A)	Temperatur (°C)	Waktu (detik)	Laju (L/menit)
1	10	5,16	26.60	111.87	4.47
2	20	6.47	29.57	79.87	6.26
3	30	10.51	33.02	54.97	9.10

TABEL 4. Hasil pengukuran generator HHO Standard deviasi pelat linier.

No.	Konsentrasi KOH (g/L)	Arus (A)	Temperatur (°C)	Waktu (detik)	Laju (L/menit)
1	10	0,39	2.35	16.67	0,07
2	20	0,17	2,89	20.76	0,03
3	30	0,51	3.52	3.27	0,04

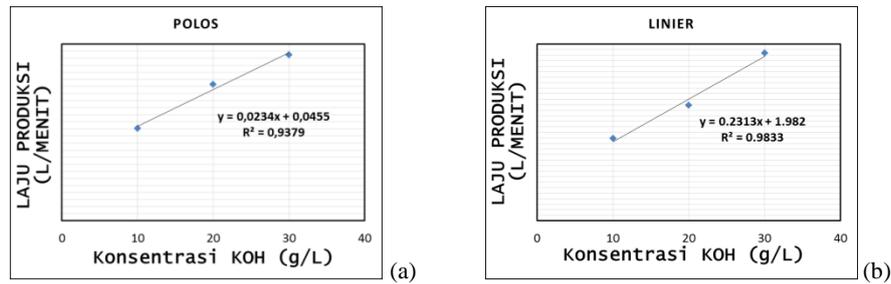
Tabel 3 dan tabel 4 menunjukkan hasil yang diperoleh dari pengukuran kalibrasi terhadap generator HHO yang menggunakan pelat elektroda jenis tekstur, dimana pengukuran dilakukan pada konsentrasi katalis KOH 10 gram, 20 gram dan 30 gram per liter air.



GAMBAR 11. Regresi kienar parameter waktu pada (a) pelat polos; (b) pelat linear

Berbeda halnya dengan hubungan konsentrasi katalis KOH dengan waktu seperti terlihat pada gambar 11, dimana nilai regresi hampir sempurna adanya hubungan erat antara

waktu yang dibutuhkan untuk laju gas HHO pada tabung ukur dengan nilai regresi  $R^2 = 0.9853$ . Demikian juga volme produksi gas HHO, hubungan erat dengan nilai regresi  $R^2 = 0.9982$ .



GAMBAR 12. Regresi kienar laju produksi gas HHO pada (a) pelat polos; (b) pelat linear

Demikian juga terhadap laju produksi gas HHO, hubungan erat dengan nilai regresi  $R^2 = 0.9833$  seperti terlihat pada gambar 12.

## KESIMPULAN

Dari penelitan ini dapat disimpulkan bahwa hasil kalibrasi dari kedua jenis generator HHO menunjukkan generator dengan menggunakan pelat polos menghasilkan volume produksi generator dengan menggunakan pelat polos menghasilkan volume produksi 3.92 L/menit di 10 gram, 5.79 L/menit di 20 gram, 7.04 L/menit di 30 gram, pada arus listrik 8.16 Ampere dengan tegangan input 13.8 volt, sementara generator HHO dengan menggunakan pelat elektroda tekstur menghasilkan volume produksi menggunakan pelat elektroda tekstur menghasilkan volume produksi 4.47. L/menit di 10 gram, 6.26 L/menit di 20 gram, 9.10 L/menit di 30 gram ,pada arus listrik 7.87 Ampere dengan tegangan input 13.8 volt. Jika dibandingkan dengan hasil terhadap kedua jenis pelat elektroda polos dan tekstur, maka generator HHO dengan pelat tekstur lebih besar daripada pelat polos dengan nilai perbedaan rata rata 1.03 L/menit.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asmawi; Hazim Rozali; MR Mansor; N.Tamaldin; V Vekky R Repi, "The modification of SS316L electrode plate surface texturing to improve hydrogen production on HHO generator," 2020, no. December, pp. 334–335.
- [2] T. Ibatan, M. S. Uddin, and M. A. K. Chowdhury, "Recent development on surface texturing in enhancing tribological performance of bearing sliders," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 272, pp. 102–120, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.04.017>.
- [3] Asmawi, MR Mansor, N Tamaldin, V. V. R. Repi, and A. Sudrajat., "Effect of electrode plate surface texture on HHO generator gas production performance," 2022.
- [4] A. Arslan *et al.*, "Surface Texture Manufacturing Techniques and Tribological Effect of Surface Texturing on Cutting Tool Performance: A Review," *Crit. Rev. Solid State Mater. Sci.*, vol. 41, no. 6, pp. 447–481, Nov. 2016, doi: [10.1080/10408436.2016.1186597](https://doi.org/10.1080/10408436.2016.1186597).
- [5] T. V. V. L. N. Rao, A. Majdi, A. Rani, M. Baharom, H. H. Ya, and M. Awang, "Research on surface texturing in Malaysia for tribological applications: An overview," *Mytribos Symp.*, vol. 3, no. September, pp. 24–27, 2019.
- [6] I. Schulte, D. Hart, and R. van der Vorst, "Issues affecting the acceptance of hydrogen fuel," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 29, no. 7, pp. 677–685, 2004, [Online]. Available: [http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:35052531](http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:35052531)

- [7] T. Nabil, "Efficient Use of Oxy-hydrogen Gas (HHO) in Vehicle Engines," *J. Eur. des Syst. Autom.*, vol. 52, no. 1, pp. 87–96, 2019, doi: 10.18280/jesa.520112.
- [8] T. S. De Silva, L. Senevirathne, and T. D. Warnasooriya, "HHO Generator-An Approach to Increase Fuel Efficiency in Spark Ignition Engines," *Eur. J. Adv. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 4, pp. 1–7, 2015.
- [9] A. K. El Soly, M. A. El Kady, A. E. F. Farrag, and M. S. Gad, "Comparative experimental investigation of oxyhydrogen (HHO) production rate using dry and wet cells," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 46, no. 24, pp. 12639–12653, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.ijhydene.2021.01.110.
- [10] J. Nie, Y. Chen, R. F. Boehm, and S. Katukota, "A Photoelectrochemical Model of Proton Exchange Water Electrolysis for Hydrogen Production," *J. Heat Transfer*, vol. 130, no. 4, Mar. 2008, doi: 10.1115/1.2789722.
- [11] M. Shin *et al.*, "Characteristic of Friction on Texturing Bearing Steel with Ultrasonic Hole Machine," *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, vol. 31, no. 1, pp. 21–27, 2015, doi: 10.9725/kstle.2015.31.1.21.
- [12] L. Lu, Z. Zhang, Y. Guan, and H. Zheng, "Comparison of the effect of typical patterns on friction and wear properties of chromium alloy prepared by laser surface texturing," *Opt. Laser Technol.*, vol. 106, pp. 272–279, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2018.04.020>.
- [13] Y. Shi, Z. Jiang, J. Cao, and K. F. Ehmann, "Texturing of metallic surfaces for superhydrophobicity by water jet guided laser micro-machining," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 500, p. 144286, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144286>.
- [14] J. Smith, "United States Patent: HH0 ELECTROLYSIS CELL FOR INCREASED VEHICLE FUEL MILEAGE," US 8,168,047 B1, 2012
- [15] A. Akbar, I. N. G. Wardana, and L. Yuliati, "Pengaruh Penambahan HHO terhadap Kinerja dan Ionisasi Pembakaran Motor Bensin," vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2014.