

Pengaruh Variasi Elektroda (G-G; G-SS; G-Ti; Ti-SS) Pada Proses Elektrolisis Air Untuk Sintesis Biodiesel Tanpa Katalis

Ardika Lathif Marcharis^{1,a)}, Akbar Haditya^{1,b)}, Rachmania Aurel Yulianty^{1,c)}
dan Rudy Syah Putra^{1,2,d*)}

¹ Program Studi Kimia dan ² New and Renewable Energy Research Group,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia,
Jl. Kaliurang KM. 14,5 Sleman Yogyakarta, Indonesia, 55584

a) Ardikalathif11@gmail.com

b) akbarhd93@gmail.com

c) rachmaniaay09@gmail.com

d*) rudy.syahputra@uii.ac.id (Corresponding author)

Abstrak

Telah dilakukan eksperimen pengaruh konsentrasi NaCl, tegangan dan jenis elektroda (grafit, titanium dan stainless steel) dalam proses elektrolisis air terhadap nilai pH. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi produksi ion H⁺ dan OH⁻ dalam proses elektrolisis air sebagai katalis alami dalam produksi biodiesel. Eksperimen dilakukan dengan elektrolisis aquades 100 mL yang ditambahkan elektrolit NaCl dengan variasi konsentrasi 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; dan 0,8 M pada variasi tegangan DC 5; 7,5; 10; 12,5; 15; dan 20 V. Elektroda yang digunakan adalah grafit, stainless steel dan Titanium beserta gabungannya. Pengukuran pH, konduktivitas listrik dan arus dilakukan setiap interval 5 menit selama 60 menit. Hasil penelitian menunjukkan, nilai pH meningkat secara signifikan sebesar 5,6 hingga >9 pada konsentrasi elektrolit yang tinggi dan atau tegangan yang tinggi menggunakan elektroda grafit. Konsentrasi NaCl rendah (4×10^{-4} M) menggunakan elektroda G(Anoda)-SS(Katoda) dan G(Anoda)-Ti(Katoda) pada tegangan 10V menghasilkan nilai pH yang tinggi yaitu 5~10 pada interval 5 menit pertama hingga menit ke 60. Alkalinitas dan asiditas yang terbentuk dapat membantu meningkatkan laju reaksi transesterifikasi dan esterifikasi metil ester. Sehingga pembentukan ion H⁺ dan OH⁻ pada permukaan elektroda berpengaruh pada asiditas dan alkalinitas sistem yang menunjang proses elektrosintesis biodiesel tanpa menggunakan katalis tambahan.

Kata-kata Kunci: Biodiesel, Elektrolisis air, pH, NaCl, Elektroda

PENDAHULUAN

Dewasa ini, pemakaian energi bahan bakar minyak (BBM) sangat menanjak pesat sedangkan sumber bahan bakar minyak tersebut semakin menipis dari sumbernya [12]. Menurut analisis Hubbert, saat ini telah melewati puncak (Hubbert's peak) produksi minyak fosil pada tahun 2008 dan akan terus menurun produksinya hingga beberapa puluh tahun kedepan [8]. Oleh karena itu pemerintah mengeluarkan kebijakan energi nasional melalui Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 5 tahun 2006 tentang pengembangan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak [11]. Biodiesel merupakan solusi untuk menggantikan bahan bakar solar pada mesin diesel. Disamping biodiesel adalah bahan bakar ramah lingkungan juga dapat diperbaharui dari bahan baku yang melimpah dan dapat di produksi secara periodik [17].

Sintesis biodiesel dengan metode elektrolisis merupakan metode yang sangat memberi keuntungan. Aliran listrik yang digunakan pada metode ini dapat menciptakan efek katalitik yang bersifat asam dan basa. Sehingga terjadi fenomena elektrolisis air pada anoda dan katoda dimana air mengalami peruraian molekul

menjadi ion H^+ dan OH^- pada suhu ruang ($\pm 25^\circ C$) [13]. Pembentukan metil ester terjadi melalui proses reaksi esterifikasi dan transesterifikasi yang membutuhkan katalis asam dan basa. Maka dengan terbentuknya ion H^+ dan OH^- pada permukaan elektroda akan dimanfaatkan sebagai katalis asam maupun basa dalam sistem untuk membantu kedua proses reaksi yang berjalan dalam satu waktu [13] [1].

Pada penelitian yang lain, diketahui penggunaan katalis tambahan pada proses elektrosintesis biodiesel dapat meningkatkan tingkat rendemen %FAME. Katalis homogen seperti KOH [5] mendapatkan tingkat konversi biodiesel mencapai lebih dari 90%. Katalis heterogen seperti chitosan [13] [14] dan atau CaO dari cangkang telur [15] yang bersifat basa menghasilkan biodiesel mencapai lebih dari 94%. Hasil rendemen yang didapat cukup tinggi akan tetapi proses pada penelitian ini belum mengoptimalkan efek katalitik yang ditimbulkan dari proses elektrolisis.

Perubahan pH merupakan parameter yang membantu dalam mengetahui konsentrasi ion H^+ dan OH^- yang dibentuk pada proses elektrolisis. Perubahan pH yang dialami dalam proses sintesis biodiesel sebesar 7~12 dalam 10 menit dengan elektroda Platina (Pt) [6]. Beberapa hasil penelitian juga melaporkan bahwa perubahan pH pada sistem elektrolisis air dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jenis elektroda, konsentrasi elektrolit [3], dan tegangan listrik [16]. Penggunaan elektroda dalam sintesis biodiesel menentukan hasil pH dan konversi biodiesel. Faktanya perubahan pH juga dialami pada elektroda *stainless steel* dan *hybrid Anion-Exchange* (hAEM) dalam sintesis biodiesel. Elektroda *stainless steel* mengalami perubahan pH dari 5~10 pada tegangan 10 V dan suhu $40^\circ C$. Demikian pada dengan elektroda hAEM mengalami kenaikan pH hingga diatas nilai 9 pada suhu $20^\circ C$ [1].

Pada penelitian ini akan dilakukan elektrolisis air dengan pengaruh konsentrasi elektrolit NaCl yang bertujuan untuk mengevaluasi intensitas produksi ion H^+ pada anoda dan ion OH^- pada katoda yang terbentuk dari proses elektrolisis air yang akan digunakan pada sintesis biodiesel tanpa katalis. Proses elektrolisis dievaluasi melalui ragam elektroda, besar tegangan DC dan konsentrasi garam elektrolit yang digunakan.

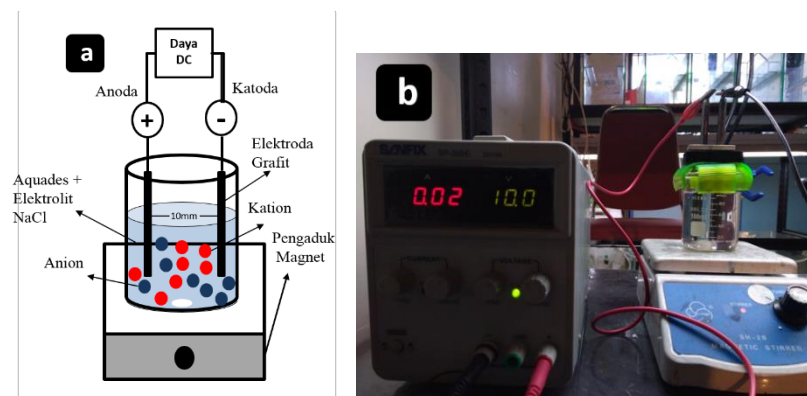
METODE PENELITIAN

1. Bahan Kimia dan Peralatan

Bahan yang digunakan pada eksperimen ini yaitu garam NaCl (Merck, Germany) dan aquades. Alat yang digunakan berupa sumber daya listrik DC (Sanfix SP-305E, Taiwan), pengaduk magnet (TYFSF SH-2B, China), Neraca analitik (Fujitsu FS-AR210, Jepang), elektroda Grafit (\varnothing 8mm x 150mm), elektroda *stainless steel* batang (ketebalan 1,5mm-120mm x 20mm), elektroda Titanium batang (ketebalan 5mm-120mm x 20mm), pengukur pH/EC/TDS/suhu (Hanna Instrument-Romania).

2. Proses Elektrolisis Air

Eksperimen elektrolisis air dilakukan dengan penambahan elektrolit NaCl pada konsentrasi 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; dan 0,8 M dalam 100 mL aquades pada tegangan DC 5V dengan elektroda grafit sebagai anoda dan katoda yang berjarak 10 mm. Elektrolisis ini dilakukan selama 60 menit dengan pengadukan konstan. Pengukuran pH, konduktivitas listrik ($mS.cm^{-1}$) dan nilai arus (A) dilakukan dengan interval 5 menit. Pekerjaan yang sama juga dilakukan untuk pengaruh setiap tegangan konstan DC yaitu 5; 7,5; 10; 15; dan 20 V dengan konsentrasi elektrolit NaCl 0,1 M. Rangkaian reaktor elektrolisis ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian alat elektrolisis air. Skema reaktor (a) elektrolisis dan foto reaktor (b) proses elektrolisis air.

Perubahan pH dari proses elektrolisis air juga dipelajari dengan pengaruh jenis elektroda. Variasi elektroda ditandai dengan kode G(Anoda)-G(Katoda); G(Anoda)-SS(Katoda); G(Anoda)-Ti(Katoda) dan Ti(Anoda)-SS(Katoda) dengan G adalah Grafit; SS adalah *stainless steel*; dan Ti adalah Titanium. Elektrolisis dilakukan pada tegangan DC 10 dan 12,5V pada masing-masing kode tipe elektroda dengan konsentrasi elektrolit NaCl 0,4 M dalam 100 mL selama 60 menit proses elektrolisis. Perlakuan yang sama juga dilakukan dengan menggunakan konsentrasi elektrolit NaCl 0,0004 M.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengaruh konsentrasi elektrolit NaCl terhadap perubahan pH

Pada elektrosintesis biodiesel dibutuhkan katalis asam dan katalis basa untuk membantu proses reaksi esterifikasi dan transesterifikasi metil ester, sehingga dengan kandungan air pada minyak menyebabkan terjadinya proses elektrolisis air membentuk ion H^+ dan OH^- yang memberikan efek katalitik. Intensitas konsentrasi kedua ion tersebut dapat di tunjukan oleh satuan pH (potensial Hidrogen) yang dihasilkan pada suatu proses elektrolisis.

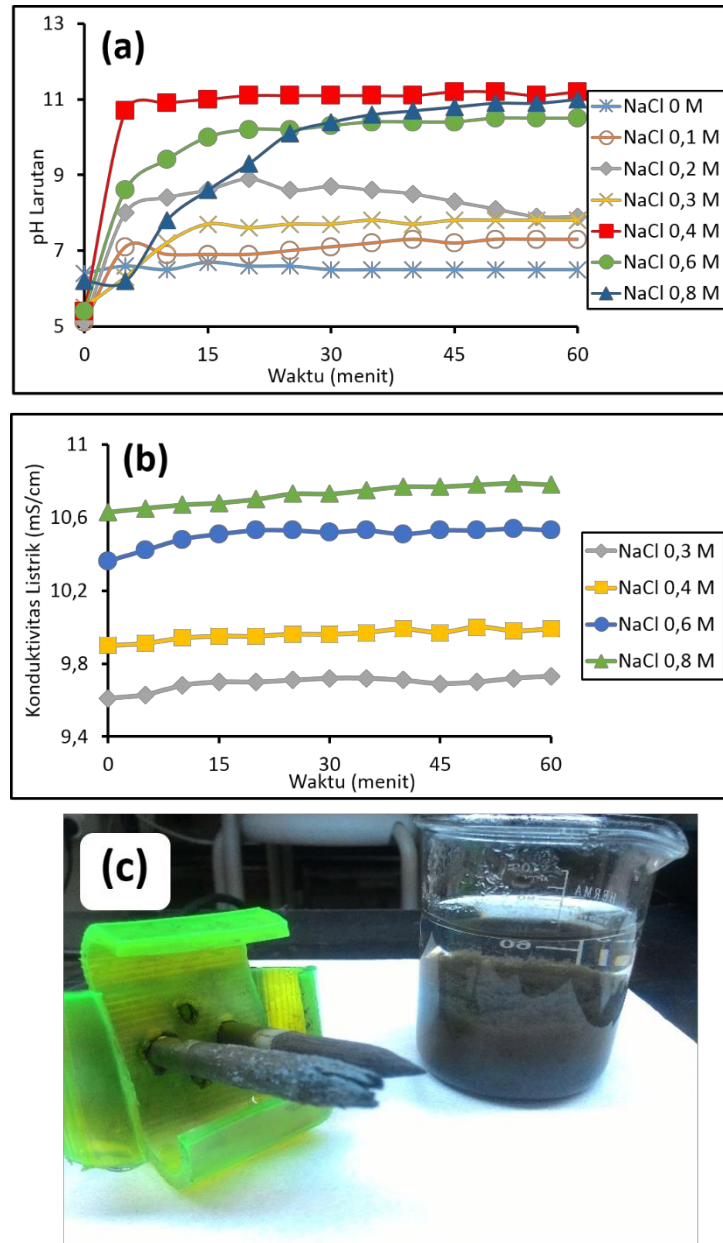
Elektrolisis air pada variasi konsentrasi elektrolit NaCl sangat mempengaruhi perubahan pH pada sistem. Gambar 2. menunjukan pengaruh konsentrasi elektrolit terhadap perubahan pH menggunakan elektroda grafit pada anoda dan katoda. Pergeseran nilai pH yang terjadi pada reaktor elektrolisis merupakan hasil produksi ion-ion H^+ dan OH^- . Gambar 2.(a) menunjukan kenaikan nilai pH pada 5 menit pertama untuk konsentrasi 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,6 M NaCl namun intensitas kenaikannya berbeda. Konsentrasi NaCl 0,4 M menghasilkan kenaikan pH yang paling besar pada menit ke 5 dibandingkan konsentrasi NaCl lain dengan nilai 10,7 dan dapat mempertahankan nilai pH nya (11,1) hingga akhir proses elektrolisis. Kenaikan pH pada konsentrasi elektrolit NaCl 0,6 dan 0,8 M juga dialami hingga pada nilai pH masing-masing 10,6 dan 10,7 pada menit ke 60. Disisi lain konsentrasi NaCl < 0,4 M menunjukan nilai pH netral (6,5~8,5).

Perbedaan pH pada setiap konsentrasi NaCl menunjukan perbedaan intensitas ion H^+ dan OH^- yang dihasilkan pada reaktor yang sama. Konsentrasi NaCl > 0,4 M dengan tegangan 5 V menggunakan elektroda grafit mampu menghasilkan ion OH^- lebih besar. Karena tingginya konsentrasi elektrolit NaCl menyebabkan peningkatan kerapatan arus sehingga proses transfer elektron untuk memproduksi ion OH^- pada katoda meningkat [3] dan mampu dijadikan sebagai katalis basa untuk reaksi transesterifikasi produksi biodiesel.

Gambar 2.(b) menunjukan nilai konduktivitas listrik yang berbeda intensitasnya dari setiap konsentrasi NaCl yang berbeda. Kenaikan nilai konduktivitas listrik pada proses elektrolisis dialami oleh seluruh konsentrasi NaCl. Perbedaan intensitas konduktivitas listrik pada setiap konsentrasi menunjukan bahwa elektrolisis sangat dipengaruhi oleh konsentrasi NaCl [10].

Nilai pH basa dicapai dengan menggunakan elektroda G(Anoda)-G(Katoda) jika konsentrasi elektrolit melebihi 0,4 M. Selain dengan naiknya arus dan aktivitas elektrolisis (proses transfer elektron), besarnya konsentrasi elektrolit memicu percepatan proses korosi [9]. Mengingat elektroda grafit merupakan elektroda yang hanya memiliki ketahanan tinggi terhadap suhu [2] bukan terhadap aktivitas elektrolitik, sehingga dengan tegangan yang rendah grafit mudah mengalami korosi dan meningkatnya suhu pada larutan

[9] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.(c) Hal yang sama juga dialami pada proses elektrolisis dengan konsentrasi NaCl 0,6 dan 0,8 M.



Gambar 2. Nilai pH (a) dan nilai konduktivitas listrik (b) terhadap pengaruh konsentrasi NaCl. Pada proses elektrolisis tegangan konstan DC 5 V, pengadukan konstan dan menggunakan elektroda G(Anoda)-G(Katoda). Kondisi korositas elektroda grafit dan suspensi peluruhannya di larutan (c).

2. Pengaruh Tegangan DC terhadap perubahan pH

Intensitas tegangan DC memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perubahan nilai pH dan konduktivitas listrik [16]. Gambar 3.(a) menunjukkan telah terjadi perubahan pH yang berbeda berdasarkan perbedaan tegangan pada konsentrasi NaCl yang sama. Kenaikan nilai pH yang besar terjadi pada 5 menit pertama untuk semua jenis tegangan. Kenaikan pH paling tinggi di alami pada tegangan 20

V dengan nilai pH 9,4 di menit ke 5 dan 10. Kemudian nilai pH naik lagi pada menit ke 15 sebagai puncaknya dengan nilai 9,8 lalu setelahnya pH menurun perlahan hingga menit ke 60. Pola naik dan turun terhadap nilai pH juga dialami oleh semua jenis intensitas tegangan yang diberikan. Pada rentang waktu 5-20 menit merupakan waktu puncak dengan nilai pH tertinggi. Kemudian nilai pH justru menurun ketika sudah memasuki menit ke 25 dan akan menjadi stabil hingga akhir elektrolisis. Pola naik dan turunnya nilai pH menunjukkan bahwa proses reaksi oksidasi reduksi pada permukaan elektroda semakin meningkat seiring dengan naiknya tegangan pada konsentrasi elektrolit NaCl yang sama [7]. Namun turunnya nilai pH dalam kondisi tersebut pada dasarnya terjadi pada elektrolisis air. Pers. (2) menunjukkan bahwa pembentukan H^+ pada suatu proses elektrolisis dua kali lebih cepat daripada pembentukan ion OH^- pada pers. (3). Bedanya kuantitas ion H^+ dan OH^- juga disebabkan oleh adanya proses netralisasi kembali oleh ion OH^- dan sebagian ion H^+ membentuk molekul air (H_2O) [18].

Reaksi kutub anoda:



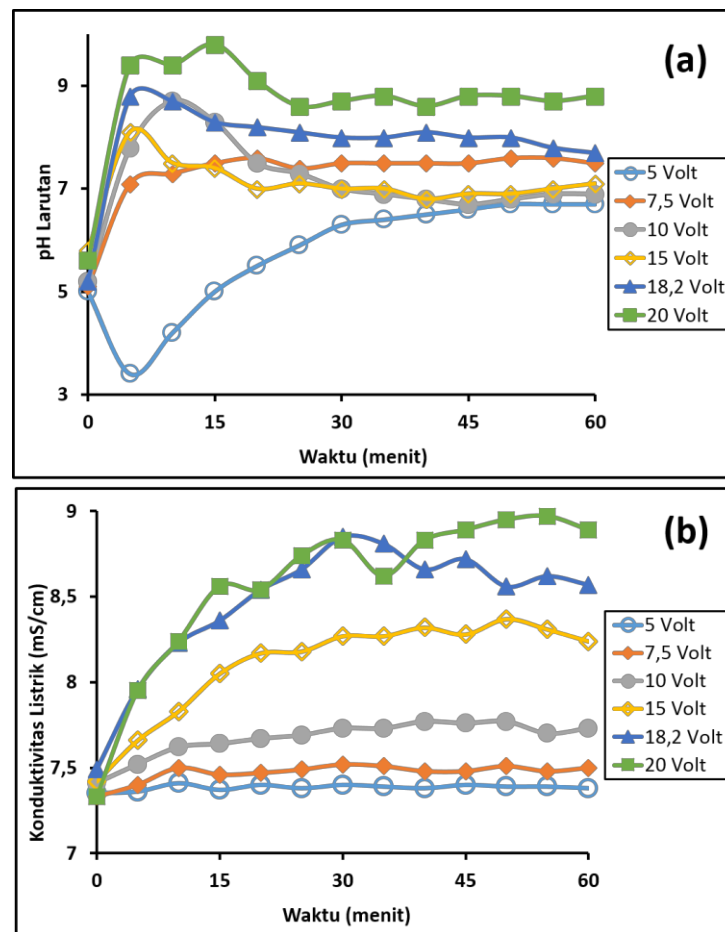
Reaksi kutub katoda:



[6]

Tegangan yang tinggi pada konsentrasi elektrolit yang rendah akan memberikan respon perubahan pH seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.(a) Konsentrasi OH^- yang tinggi hanya didapatkan pada menit 5-20 sedangkan setelah menit ke 20 hingga 60 produksinya menurun. Artinya proses transesterifikasi metil ester hanya optimal pada menit ke 5 hingga 20 sedangkan selanjutnya optimalisasi proses esterifikasi pada tegangan sebesar 20 V dengan konsentrasi elektrolit NaCl 0,1 M.

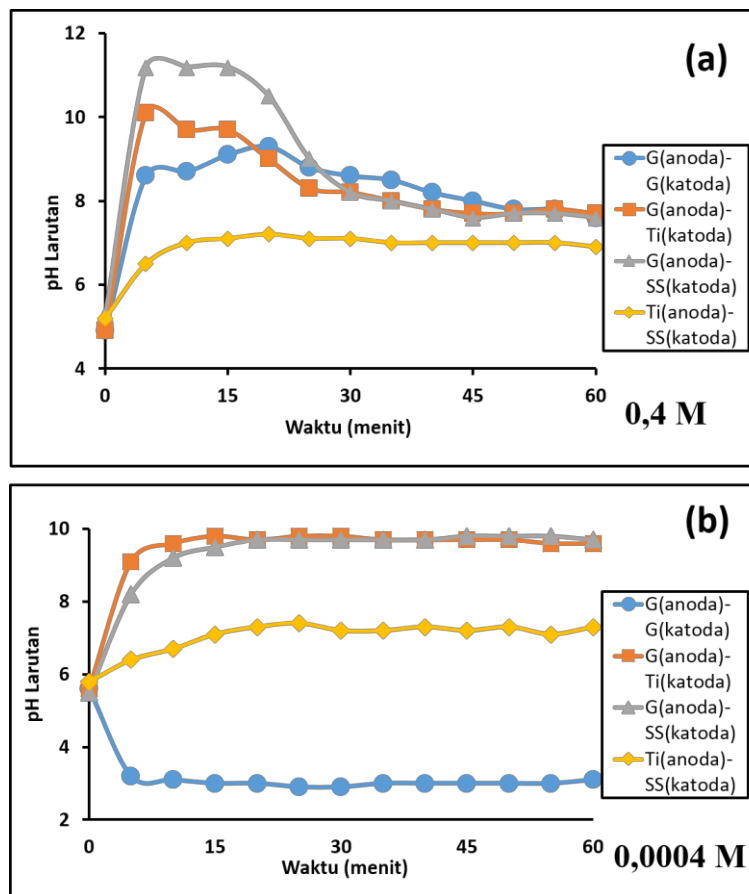
Konduktivitas listrik yang ditunjukkan pada Gambar 3.(b) menunjukkan perubahan dengan meningkatnya tegangan yang diberikan. Perubahan konduktivitas listrik terjadi semakin cepat dengan meningkatnya intensitas tegangan. Kenaikan konduktivitas listrik terbesar terjadi pada 1-15 menit pertama pada tegangan 20 V. Berbeda dengan nilai konduktivitas listrik yang ditunjukkan pada Gambar 2.(b) menunjukkan nilai konduktivitas listrik yang berbeda setiap konsentrasi NaCl pada kondisi tanpa elektrolisis akan tetapi perubahannya tak jauh dengan kondisi awal tanpa elektrolisis.



Gambar 3. Nilai (a) dan nilai konduktivitas listrik (b) terhadap pengaruh konsentrasi NaCl. Dielektrolisis dengan elektrolit NaCl 0,1 M, pengadukan konstan dan menggunakan elektroda G(Anoda)-G(Katoda).

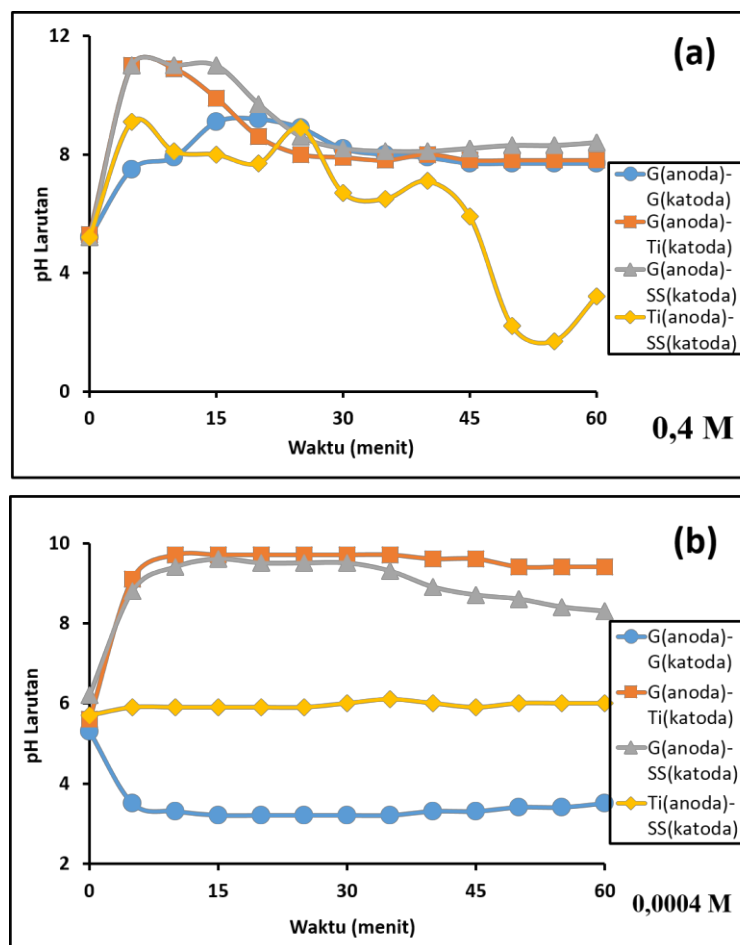
3. Pengaruh jenis elektroda terhadap perubahan pH

Gambar 4. menunjukkan perbedaan respon yang diberikan pada proses elektrolisis akibat pengaruh jenis elektroda. Gambar 4.(a) menunjukkan kenaikan pH yang sangat cepat pada menit ke 5 bagi seluruh jenis elektroda. Perbedaan pola perubahan pH dapat diamati bahwa pada Gambar 4.(a) dan Gambar 4.(b) didapatkan nilai pH dan respon yang berbeda. Gambar 4.(a) menunjukkan pola kenaikan nilai pH yang tinggi pada menit ke 10-20 dan kemudian menurun secara perlahan. Gambar 4.(b) menunjukkan perubahan nilai pH secara perlahan pada 5 menit pertama untuk semua tipe elektroda kemudian konstan hingga akhir elektrolisis. Kenaikan pH yang tinggi dialami pada jenis elektroda G(Anoda)-Ti(Katoda) dan G(Anoda)-SS(Katoda) hingga >9,5. Begitu juga elektroda Ti(And)-SS(Ktd) yang naik menuju ke arah netral (5~8). Elektroda G(Anoda)-G(Katoda) memberikan respon nilai pH menuju ke arah asam dengan konsentrasi elektrolit yang sangat rendah akan tetapi pada Gambar. 4 (a) elektroda G(Anoda)-GKatoda) didapatkan nilai pH menuju ke arah basa. Hal ini menunjukkan perbedaan kuantitas produksi ion OH⁻ pada kedua proses elektrolisis. Sehingga dapat dipastikan bahwa elektroda grafit pada posisi anoda dan katoda sangat bergantung pada konsentrasi elektrolit untuk bisa meningkatkan kerapatan arus yang dibutuhkan. Perbedaan pola yang terjadi antar tipe elektroda menunjukkan bahwa setiap elektroda memiliki tingkat konduktivitas listrik [4].



Gambar 4. Nilai pH terhadap pengaruh jenis elektroda dengan konsentrasi elektrolit NaCl 0,4 M (a) dan 0,0004 M pada tegangan DC 10 V (b).

Pola yang sama juga dialami pada Gambar 5. dengan perlakuan yang sama pada tegangan sebesar 12,5 V. Pola dan pergeseran nilai pH yang ditunjukkan ini, kenaikan intensitas tegangan justru menurunkan nilai pH. Hal ini dikarenakan dengan kondisi konsentrasi elektrolit yang sama tinggi suatu tegangan menjadikan meningkatnya proses oksidasi reduksi. Namun turunnya nilai pH tidak mempengaruhi pola perubahan pH walaupun dengan konsentrasi NaCl yang rendah. Jenis elektroda G(Anoda)-Ti(Katoda) dan G(Anoda)-SS(Katoda) yang ditunjukkan pada Gambar 4. dan Gambar 5. adalah jenis elektroda yang dapat memproduksi ion OH⁻ lebih besar dibandingkan jenis elektroda lainnya. Perbedaan resistivitas listrik pada tiap elektroda mengakibatkan cepat atau lambatnya proses transfer elektron. Grafit merupakan elektroda yang memiliki nilai resistivitas listrik yang tinggi dibandingkan *stainless steel* dan titanium. Artinya semakin besar nilai resistivitas listrik maka semakin besar juga medan listrik yang dibutuhkan untuk menimbulkan suatu kerapatan arus [4]. Hal ini yang menjadikan perbedaan kebutuhan daya sehingga jumlah produksi ion OH⁻ pada katoda (*stainless steel* dan titanium) lebih banyak dan cepat terproduksi dari pada ion H⁺ pada anoda (grafit). Maka, Jenis elektroda G(Anoda)-Ti(Katoda) dan G(Anoda)-SS(Katoda) rangkaian elektroda terbaik dalam menunjang proses transesterifikasi biodiesel pada tegangan DC 10 V.



Gambar 5. Nilai pH terhadap pengaruh jenis elektroda dengan konsentrasi elektrolit NaCl 0,4 M (a) dan 0,0004 M pada tegangan 12,5 V (b)

Dari evaluasi tipe elektroda terhadap perubahan pH pada Gambar 4. dan Gambar 5. menunjukkan bahwa tiap elektroda memiliki kemampuan yang berbeda dalam menghasilkan ion H^+ dan OH^- untuk elektrosintesis biodiesel. Pembentukan katalis alami dari proses elektrolisis air yang dibutuhkan dapat diatur sedemikian rupa sesuai kebutuhan katalis pada proses sintesis dan dapat dioptimalkan penggunaannya.

KESIMPULAN

Elektrosintesis biodiesel memanfaatkan katalis sistem dapat dilakukan dengan mengoptimalkan proses elektrolisis yang diatur berdasarkan aspek konsentrasi elektrolit, tegangan konstan DC dan jenis elektroda. Konsentrasi NaCl 0,4 M mampu membentuk konsentrasi ion OH^- yang tinggi pada tegangan DC 5 V. Hal yang sama terjadi pada tegangan DC 20 V dengan konsentrasi elektrolit NaCl 0,1 M menggunakan elektroda grafit. Jenis elektroda G(Anoda)-Ti(Katoda) dan G(Anoda)-SS(Katoda) juga membentuk konsentrasi ion OH^- yang tinggi dengan tegangan konstan DC 10 V pada larutan berkonsentrasi 0,4 dan 0,0004 M NaCl.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada KEMENRISTEKDIKTI yang telah memberi bantuan biaya penelitian melalui Hibah Penelitian Produk Terapan (2017) dan melalui kegiatan Program Kegiatan Mahasiswa – Penelitian Eksakta (PKM-PE) 2018. Ucapan terima kasih juga di sampaikan kepada Direktorat Pengembangan Bakat/Minat dan Kesejahteraan Mahasiswa (DPBMKM) Universitas Islam Indonesia atas bantuan biaya perjalanan menghadiri SNIPS 2018 ITB.

REFERENSI

1. Allioux, FM., Holland, BJ., Kong, L., Dumez, LF. 2017. Electro-Catalytic Biodiesel Production from Conola Oil in Methanolic and Ethanolic Solutions with Low-Cost Stainless Steel and Hybrid Ion-Exchange Resin Grafted Electrodes. *Frontiers in Material*. **4**, 22-32.
2. Artadi, A. 2007. Penggunaan Grafit Batu Baterai Sebagai Alternatif Elektroda Spektrografi Emisi. *JFN*, **1**(2), 105-120.
3. Ciblak, A., Mao, X., Padilla, I., Vesper, D., Alshawabkeh, I., Alshawabkeh, AN. 2012. Electrode Effects on Temporal Changes in Electrolyte pH and Redox Potential for Water Treatment. *Journal. Env. Sci. Heal.* **47**, 718-726.
4. Couper, A.M., Pletcher D., dan Walsh, E., 1990. Electrode Material For Electrosynthesis. *Chem.Rev.* **90**, 837-865.
5. Fereidooni, L., Tahvildari, K., And Mehrpooya, M. 2017. Trans-esterification of Waste Cooking Oil with Methanol by Electrolisys Process Using KOH. *Renew. Energy*.
6. Guan, G and Kusakabe, K. 2009. Synthesis of Biodiesel Fuel Using an Electrolisys Method. *Chem. Eng. Journal*. **153**, 159-163.
7. Hamid, RA., Purwono., Oktiawan, W. 2017. Penggunaan Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Karbon Dengan Variasi Tegangan Listrik dan Waktu Elektrolisis dalam Penurunan Konsentrasi TSS dan CoD pada Pengolahan Air Limbah Domestik. *Jurnal. Tek. Kim.* **6**, 01.
8. Hubbert, MK. 1956. Nuclear Energy and The Fossil Fuel. *Shell. Dev.Texas.* 07-25.
9. Isana, SYL. 2010. Perilaku Sel Elektrolisis Air dengan Elektroda *Stainless steel*. *Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*. Yogyakarta.
10. Marlina, E., Wahyudi, S., dan Yulianti, L. 2013. Produksi Brown's Gas Hasil Elektrolisis H₂O dengan Katalis NaHCO₃. *Jurnal Rekayasa Mesin*. **4**(1), 53-58.
11. Moeksin, R., Shofahaudy, MZ., dan Warsito, DP. 2017. Pengaruh Rasio Metanol dan Tegangan Arus Elektrolisis Terhadap Yield Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Jurnal Teknik Kimia*. **23**(1), 39-47.
12. Nurjannah. 2010. *Perengkahan Katalitik Minyak Sawit Untuk Menghasilkan Biofuel*. Disertasi. Institut Teknologi Semarang: Semarang
13. Putra, RS., Hartono, P., Julianto, TS. 2015. Conversion of Methyl Ester from Used Cooking Oil: the Combine Use of Electrolysis Process and Chitosan. *Energy Procedia*. **65**, 309-316.
14. Putra, RS., Pratama, K., Antono, Y., Idris, M., Rua, J., Ramadhani, H. 2016. Enhanced Electrocatalytic Biodiesel Production with Chitosan Gel (Hydrogel and Xerogel). *Procedia Engineering*. **148**, 609-614.
15. Putra, RS., Liyanita, A., Arifah, N., Puspitasari, E., Sawaludin., Hizam, MN. Enhanced Electro-Catalytic Process on the Synthesis of FAME Using CaO from Eggshell. *Energ. Procd.* **105**, 289-296
16. Saulis, G., Lape, R., Praneviciute, R., Mickevicius, D. 2005. Changes of the Solution pH Due to Exposure by High-voltage Electric Pulse. *Bioelectrochemistry*. **67**, 101-108
17. Tambun, H. 2009. *Analisis Pengaruh Temperatur Reaksi dan Konsentrasi Katalis KOH dalam Media Etanol terhadap Perubahan Kualitasistik Fisika Biodiesel Minyak Kelapa*. Thesis. Universitas Sumatra Utara: Medan.
18. Wahyono, Y., Sutanto, H., Hidayanto, E. 2017. Produksi Gas Hydrogen Menggunakan Metode Elektrolisis dari Elektrolit Air dan Air Laut dengan Penambahan Katalis NaOH. *Youngster. Phys. Journal*. **6**, 353-359.