

# PENINGKATAN PRODUKSI BAHAN BAKAR HIDROGEN DENGAN BANTUAN NATURAL SURFACTANT PADA PROSES WATER SPLIT

Purnami <sup>1)</sup> ✉, Fransisca Gayuh Utami Dewi <sup>1)</sup>, ING Wardana <sup>1)</sup>, Mega Nur Sasongko <sup>1)</sup>, M Umar Yusuf A.A.S <sup>1)</sup>, Willy Satrio Nugroho <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik  
Universitas Brawijaya  
purnami.ftub@ub.ac.id  
fransiscadewi@ub.ac.id  
wardana@ub.ac.id  
megasasongko@ub.ac.id  
umary44@student.ub.ac.id  
wily113101307@gmail.com

## Abstract

*Hydrogen is an alternative fuel due to its environmental friendliness and abundance. Hydrogen can be produced through water-splitting technique, in which the Oxygen (O<sub>2</sub>) and Hydrogen (H<sub>2</sub>) are separated. Water electrolysis is one of many causes of water-splitting that effectively results H<sub>2</sub> with high purity. One drawback of electrolysis is the low efficiency. In this study, a rice straw natural surfactant was utilized to improve the efficiency. Rice straw with the volume of 5 ml, 10 ml, dan 15 ml were added to the electrolyte solution. This study shows the rice straw based natural surfactant contains hydrophilic and hydrophobic sides. Both sides capable to reduce the surface tension of the solution which destabilizes water molecules. The aromatic magnetic field of rice straw surfactant homogenizes the water net dipole moment due to the diamagnetism of water. These contributes towards the weakened hydrogen bond of the water in the solution. The synergy between hydrophobic and hydrophilic sides is potent to alter hydrogen production rate through intrinsic magnetism.*

**Keywords:** Water Electrolysis, Natural Surfactant, Rice Straw.

## 1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi di seluruh dunia telah mengalami peningkatan secara signifikan karena laju pertumbuhan demografis dan sektor perindustrian. Energi mutlak diperlukan untuk memenuhi pasokan kebutuhan perekonomian global, yang pada saat ini sekitar 65% dari total kebutuhan energi dunia berasal dari sumber tidak terbarukan yaitu bahan bakar fosil <sup>[1]</sup>. Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang juga dapat menghasilkan gas rumah kaca yang berbahaya seperti: CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan SO<sub>x</sub> yang dapat mendorong terjadinya pemanasan global, korosi <sup>[2]</sup> pada komponen dan sistem industri serta pencemaran lingkungan berdampak buruk pada kehidupan masyarakat dan sektor perindustrian <sup>[3]</sup>. Energi terbarukan merupakan cara yang efektif untuk mengatasi permasalahan kompleks ini dengan memanfaatkan energi alternatif <sup>[4]</sup> atau melakukan rekayasa untuk meningkatkan kinerja suatu alat <sup>[5][6]</sup>. Teknik dan metode produksi energi terbarukan dengan menggunakan elektrokimia sudah diakui sebagai proses paling efisien dalam bidang konversi energi terbarukan <sup>[7]</sup>. Pada studi ini dilakukan perbaikan pada proses konverse energi elektrokimia melalui pemanfaatan bahan alami.

Corresponding Author:

✉ Purnami

Received on: 2022-11-19

Revised on: 2024-01-03

Accepted on: 2024-04-19

Elektrolisis air didefinisikan sebagai peristiwa penguraian senyawa air ( $H_2O$ ) menjadi gas oksigen ( $O_2$ ) dan hidrogen ( $H_2$ ) dengan bantuan arus listrik yang dialirkan ke air tersebut. Gas Hidrogen mempunyai potensial yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai sumber energi dan sifatnya yang ramah terhadap lingkungan. Elektrolisis air memanfaatkan listrik yang memiliki eksergi lebih baik dibandingkan dengan metode steam reforming minyak alam<sup>[8]</sup>. Sehingga, potensi daya produksi hidrogen melalui elektrolisis lebih baik dibandingkan dengan metode produksi hidrogen dengan energi berbasis panas. Mekanisme elektrolisis dalam mengurai senyawa air berlangsung cukup lambat sehingga diperlukan adanya katalis untuk mempercepat reaksi kimia dan dapat menaikkan jumlah gas hidrogen yang diproduksi<sup>[9]</sup>. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya proses elektrolisis air diantaranya adalah tekanan, kualitas elektron, temperatur, arus listrik, tegangan listrik, bahan elektroda, dan penambahan katalis<sup>[10]</sup> ataupun surfaktan<sup>[11]</sup>.

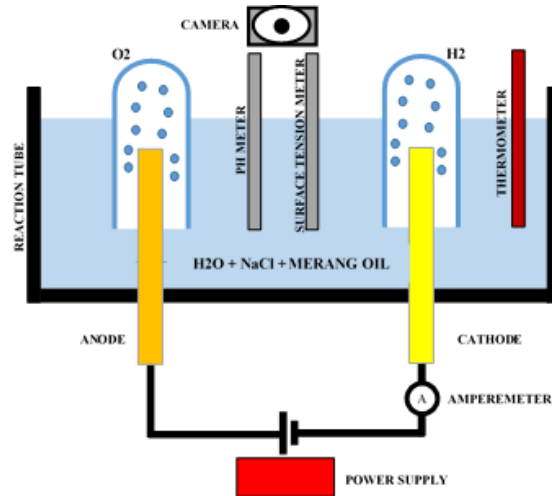
*Surface active agent* atau dalam istilah populer disebut surfaktan adalah molekul yang memiliki sifat amfifilik yaitu memiliki sifat hidrofilik dan juga lipofilik. Hidrofilik didefinisikan sebagai jenis senyawa yang dapat mengikat air, sementara lipofilik didefinisikan sebagai senyawa yang mampu menghindari air (hidrofobik) dan mengikat minyak. Surfaktan pada umumnya diaplikasikan dalam dunia industri, obat-obatan dan farmakologi. Selain itu, surfaktan juga telah diaplikasikan dalam bidang sintesis polimer, nanoteknologi, mikrobiologi, dan aplikasi lain pada pengolahan limbah cair dan sebagai katalisator<sup>[12]</sup>.

Surfaktan memainkan peranan penting sebagai katalis yang berfungsi untuk mengurangi atau melemahkan ikatan hidrogen yang terdapat pada molekul air. Hal ini dapat ditandai dengan turunnya tegangan permukaan air sebagai indikasi khusus bahwa ikatan hidrogen melemah<sup>[13]</sup>. Dengan karakteristik yang dimiliki surfaktan, maka perlu dilakukan penelitian untuk upaya peningkatan produksi Hidrogen dengan proses *water split* khususnya pada proses elektrolisis air.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental nyata. Surfaktan Merang Padi sudah dalam bentuk minyak murni. Variasi uji sampel pada penelitian ini dilakukan menggunakan perbandingan elektrolisis konvensional dengan penambahan Surfaktan Merang Padi sebesar 5 ml, 10 ml dan 15 ml. Gambaran penempatan dan pemasangan alat dalam penelitian ini dirancang dan disusun secara sistematis sesuai dengan gambar 1.

Hidrogen hasil proses elektrolisis molekul air ditampung dalam tabung yang diletakkan di bagian atas katode. pH larutan diukur dengan menggunakan pH meter yang ditempatkan pada wadah elektrolisis, arus listrik diukur memakai amperemeter yang sudah dikoneksikan pada *power supply*. NaCl digunakan sebagai larutan elektrolit. NaCl seberat 29.25 gram dicampurkan kedalam aquades dengan volume 500 ml untuk memperoleh molaritas larutan sebesar 1 Mol.



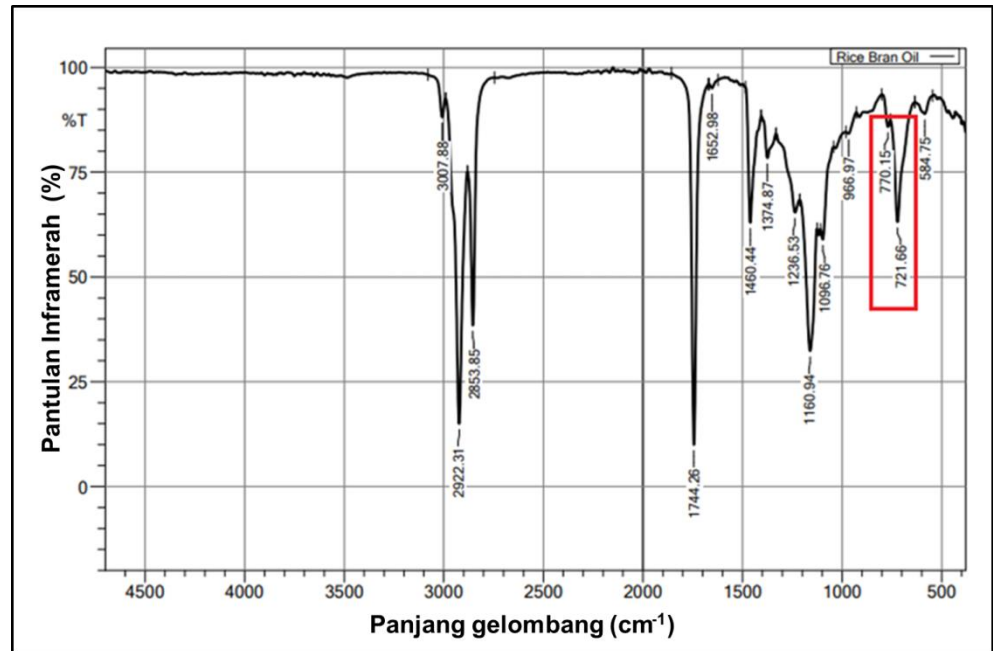
**Gambar 1.** Skema Instalasi Alat Penelitian

Pengambilan data ppm gas hidrogen, pH dan arus listrik dapat dimulai dengan menekan tombol saklar pada *power supply*. Proses elektrolisis terjadi selama 5 menit. Pengambilan data arus listrik dilakukan setiap 10 detik sekali. Pengujian yang dilakukan pertama yaitu pengujian secara konvensional tanpa surfaktan merang selama selang waktu 5 menit. Kemudian dilanjutkan dengan proses penambahan surfaktan sebesar 5 ml, 10 ml dan 15 ml.

### 3. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1. Gugus Fungsional Surfaktan Merang

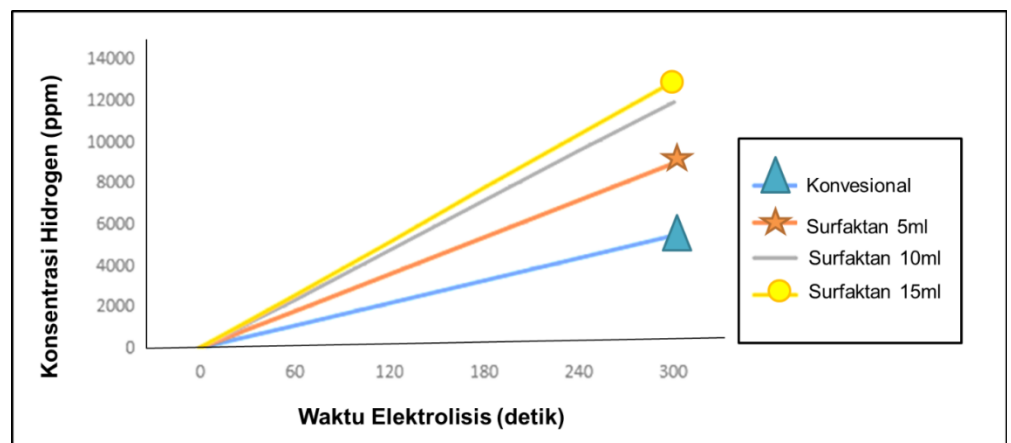
Gugus fungsional pada Surfaktan Merang Padi dianalisis menggunakan instrumen IR *Spirit-T* untuk dilakukan pengujian dengan FTIR (*Fourier Transformation Infrared*). Pengujian FTIR menggunakan sinar inframerah untuk menganalisa sampel uji surfaktan merang dan mengukur rentang panjang gelombang pada batas wilayah inframerah yang diserap oleh bahan uji surfaktan merang untuk menentukan komposisi molekul dan struktur material surfaktan merang. Hasil pengujian dengan menggunakan FTIR terhadap bahan uji surfaktan merang menunjukkan adanya senyawa aromatik ikatan C=C dengan intensitas yang berubah pada batas bilangan gelombang 721,66  $\text{cm}^{-1}$  dan 770,15  $\text{cm}^{-1}$ . Senyawa aromatik mempunyai konfigurasi enam atom karbon yang berbentuk heksagonal dengan *ring graphene* atau *benzene* yang memiliki 3 ikatan tunggal dan 3 ikatan rangkap. Pada bagian cincin aromatik terdapat sebuah elektron yang terdelokasi secara kontinu sehingga dapat mengakibatkan munculnya medan magnet <sup>[14]</sup>. Dari hasil pengujian diatas dapat membuktikan bahwa surfaktan merang memiliki potensi magnetic yang cukup potensial. Sifat magnetik sendiri merupakan salah satu sifat yang dapat mempengaruhi jumlah produksi hidrogen pada proses elektrolisis air dengan memberikan pengaruh terhadap kesetimbangan gaya dalam molekul air, sehingga molekul menjadi mudah untuk diuraikan. Spektrum hasil pengujian dengan FTIR dapat diamati pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Daerah Gusus Fungsi Cincin Aromatik Surfaktan Merang Padi

### 3.2. Produksi Gas Hidrogen

*Output* pada proses elektrolisis air berupa oksigen dan hidrogen selanjutnya akan ditampung pada tabung terpisah yang telah diletakkan diatas batang elektroda katoda (untuk gas Hidrogen) dan elektroda anoda (untuk gas Oksigen). Produksi hidrogen diamati secara langsung dan terus menerus dengan menggunakan sensor MQ-8 yang hasilnya dinyatakan dalam satuan ppm. Produksi Hidrogen ditampilkan pada Gambar 3.

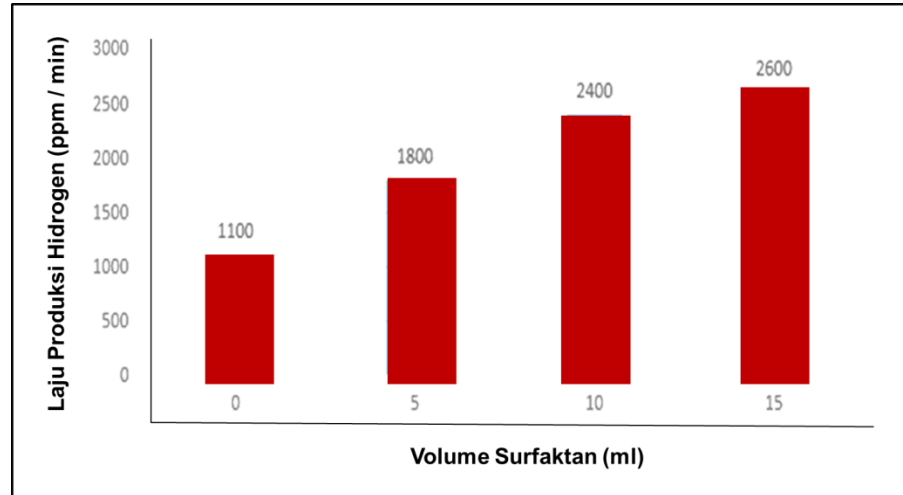


Gambar 3. Hasil Produksi Hidrogen

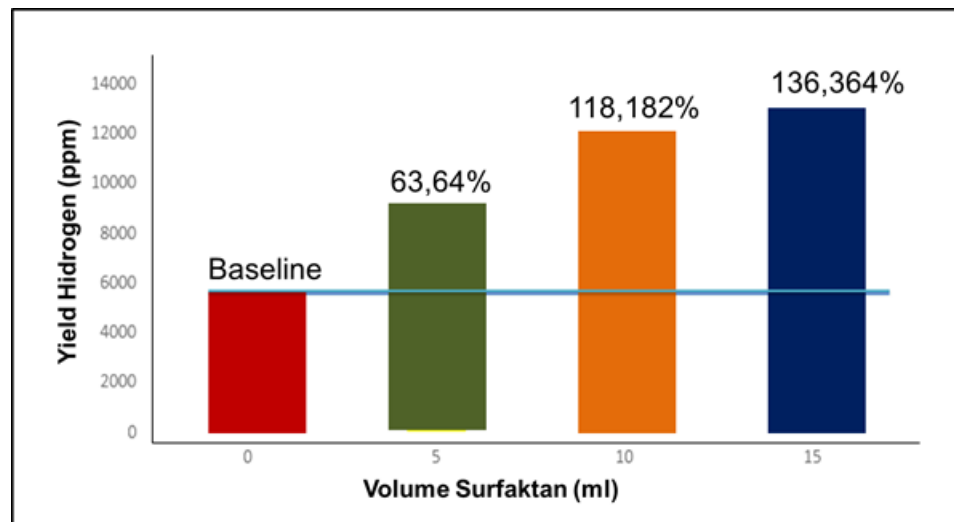
Dapat diamati pada gambar 3 yang telah disajikan, bahwa terdapat perbedaan hasil produksi hidrogen antara elektrolisis air dengan metode konvensional dengan elektrolisis air dengan metode penambahan variasi Surfaktan Merang Padi. Pada pengujian elektrolisis air dengan metode konvensional dilakukan dalam waktu 5 menit dengan produk gas hidrogen sebanyak 5500 ppm. Pada pengujian penambahan 5 ml Surfaktan Merang Padi dihasilkan gas hidrogen sebanyak 9000 ppm. Sedangkan penambahan 10 ml Surfaktan Merang Padi dihasilkan gas

hidrogen 12000 ppm, dan pada penambahan 15 ml Surfaktan Merang Padi dihasilkan gas hidrogen 13000 ppm.

Untuk laju produksi dapat dilihat pada Gambar 4. Pada elektrolisis air dengan metode konvensional menghasilkan laju produksi hidrogen 1100 ppm/menit. Pada elektrolisis air dengan penambahan 5 ml, 10 ml, dan 15 ml berturut-turut dihasilkan laju produksi Hidrogen sebesar 1800 ppm/menit, 2400 ppm/menit, dan 2600 ppm/menit. Dengan demikian dapat diketahui bahwa penambahan Surfaktan Merang Padi pada elektrolisis air mempengaruhi besarnya laju produksi *hydrogen* yang dihasilkan.



Gambar 4. Laju Produksi Hidrogen



Gambar 5. Produktifitas Hidrogen

Dapat diamati pada Gambar 5 bahwa terdapat perbandingan peningkatan produktifitas hidrogen pada proses elektrolisis air dengan penambahan katalis berupa Surfaktan Merang Padi terhadap elektrolisis air metode konvensional. Penambahan 5 ml Surfaktan Merang Padi mampu meningkatkan produktifitas hidrogen sebesar 63,64%. Pada penambahan 10 ml surfaktan merang padi terjadi peningkatan produktifitas hidrogen sebesar 118,182%. Sedangkan pada penambahan 15 ml Surfaktan Merang Padi mampu meningkatkan produktifitas hidrogen hingga mencapai 136,364%. Berdasarkan hasil tersebut dapat

diketahui bahwa penambahan Surfaktan Merang Padi mampu melemahkan kekuatan ikatan hidrogen pada molekul H<sub>2</sub>O yang dicirikan dengan turunnya tegangan permukaan larutan sehingga gas hidrogen yang dihasilkan mengalami peningkatan.

### 3.3. Pengaruh Surfaktan Merang Padi Terhadap Molekul H<sub>2</sub>O

Penambahan Surfaktan Merang Padi pada larutan elektrolit menunjukkan adanya interaksi terhadap molekul H<sub>2</sub>O yang cukup besar. Secara umum surfaktan berfungsi untuk menurunkan nilai tegangan permukaan. Surface active agent atau surfaktan juga bisa dimaknai sebagai molekul yang memiliki sifat hidrofilik dan hidrofobik. Hidrofilik (suka air) merupakan bagian kepala surfaktan yang mengandung senyawa dengan kemampuan mengikat air. Surfaktan mengandung muatan negative pada bagian kepalanya, Sedangkan hidrofobik merupakan bagian ekor dari surfaktan yang mengandung senyawa dengan karakteristik cenderung menjauhi molekul air atau menyukai minyak (lipofilik).

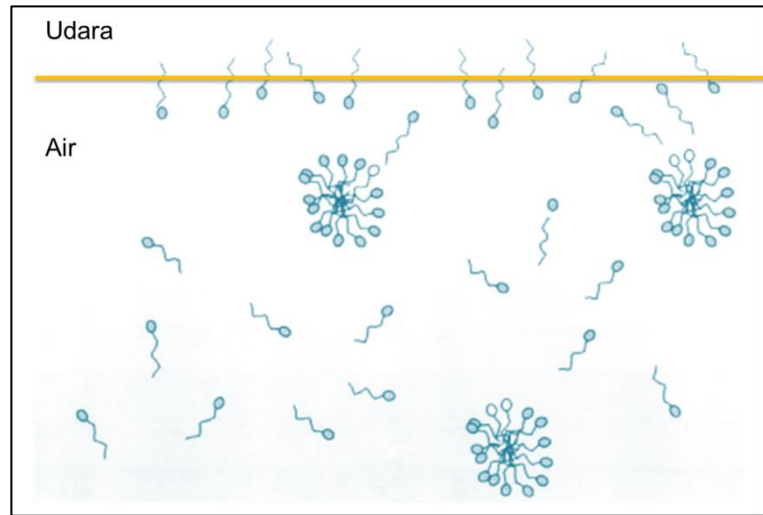
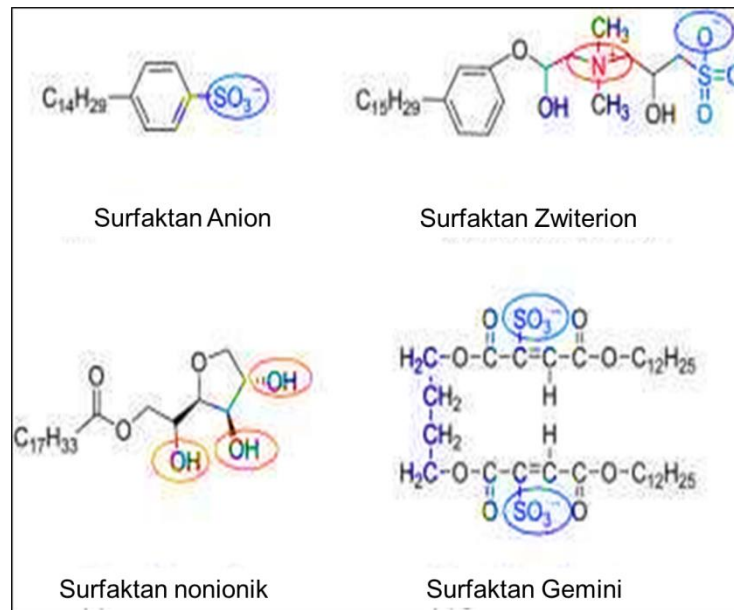
Pada saat Surfaktan Merang Padi ditambahkan ke dalam larutan elektrolit kemudian diagitasi secara merata, maka molekul surfaktan akan membentuk sebuah misel seperti ditunjukkan pada gambar 6 <sup>[15]</sup>. Misel merupakan kumpulan dari surfaktan yang terbentuk pada larutan dan kemudian akan menyelaraskan posisi dengan molekul air. Bagian ekor (hidrofobik) akan cenderung menjauhi molekul air, sedangkan pada bagian kepala (hidrofilik) akan masuk ke dalam air.

### 3.4. Pengaruh Surfaktan Merang Padi Terhadap Molekul H<sub>2</sub>O

Penambahan Surfaktan Merang Padi pada larutan elektrolit menunjukkan adanya interaksi terhadap molekul H<sub>2</sub>O yang cukup besar. Secara umum surfaktan berfungsi untuk menurunkan nilai tegangan permukaan. Surface active agent atau surfaktan juga bisa dimaknai sebagai molekul yang memiliki sifat hidrofilik dan hidrofobik. Hidrofilik (suka air) merupakan bagian kepala surfaktan yang mengandung senyawa dengan kemampuan mengikat air. Surfaktan mengandung muatan negative pada bagian kepalanya, Sedangkan hidrofobik merupakan bagian ekor dari surfaktan yang mengandung senyawa dengan karakteristik cenderung menjauhi molekul air atau menyukai minyak (lipofilik).

Pada saat Surfaktan Merang Padi ditambahkan ke dalam larutan elektrolit kemudian diagitasi secara merata, maka molekul surfaktan akan membentuk sebuah misel seperti ditunjukkan pada gambar 6 <sup>[15]</sup>. Misel merupakan kumpulan dari surfaktan yang terbentuk pada larutan dan kemudian akan menyelaraskan posisi dengan molekul air. Bagian ekor (hidrofobik) akan cenderung menjauhi molekul air, sedangkan pada bagian kepala (hidrofilik) akan masuk ke dalam air.

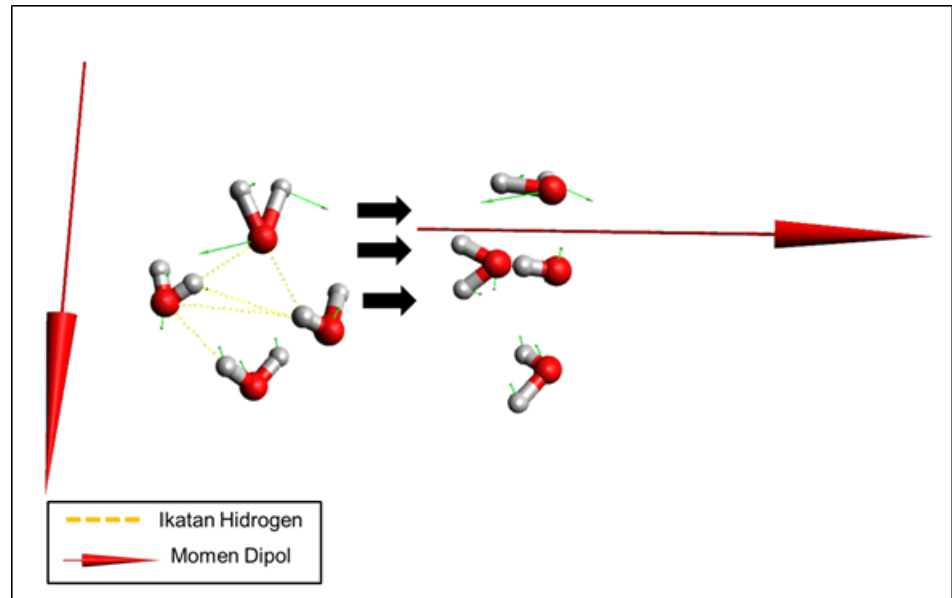
Surfaktan Merang Padi merupakan jenis surfaktan anionik yaitu surfaktan dengan karakteristik pada ujung molekul memiliki muatan negatif pada hidrofilik-nya. Pada daerah hidrofilik umumnya berupa SO<sub>3</sub> seperti pada gambar 7. Daerah hidrofilik mempunyai sifat polar sehingga akan berinteraksi dengan molekul air (*polar*) sedangkan pada bagian hidrofobik (*non polar*) akan mengarahkan diri sejauh mungkin dari molekul air. Keadaan seperti ini akan mampu melemahkan kekuatan ikatan hidrogen dan memutuskan beberapa ikatan hidrogen yang terdapat pada larutan elektrolit.

Gambar 6. *Micelle*

Gambar 7. Macam-Macam Surfaktan Beserta Muatannya

Surfaktan merang juga padi juga memiliki gugus fungsi berbentuk cincin aromatik sehingga memenuhi syarat sebagai senyawa aromatik. Pada senyawa aromatik terjadi peristiwa delokalisasi elektron secara terus menerus sehingga dapat menciptakan adanya medan magnet dan muatan listrik yang dapat menimbulkan gangguan dan memicu ketidakseimbangan pada bagian molekul air. Molekul air dengan sifat alami diamagnetik akan menolak medan magnet yang dipancarkan oleh cincin aromatik pada Surfaktan Merang Padi. Sehingga untuk melakukan penolakan terhadap medan magnet tersebut air akan membuat sebuah medan magnet “tandingan” dengan arah berlawanan dengan medan magnet eksternal. Untuk menciptakan sebuah medan magnet “tandingan” ini, molekul-molekul yang terdapat dalam air akan menyeragamkan arah pergerakan dipolnya. Dari proses penyeragaman arah dipol tersebut akan menimbulkan gaya disosiasi yang mampu mendorong terjadinya proses pembengkokan pada ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen pada molekul air kemudian akan semakin melemah. Ketika larutan elektrolit diberikan perlakuan arus listrik maka akan

terjadi proses penguraian molekul air menjadi hidrogen. Adanya pengaruh dari senyawa aromatik tersebut menyebabkan terjadinya peningkatan laju penguraian molekul air menjadi hidrogen. Hal ini akan mampu menunjang produksi hidrogen menjadi lebih banyak dan optimal <sup>[16]</sup>. Ilustrasi proses penyeragaman arah dipol air dapat diamati secara jelas pada gambar 8.



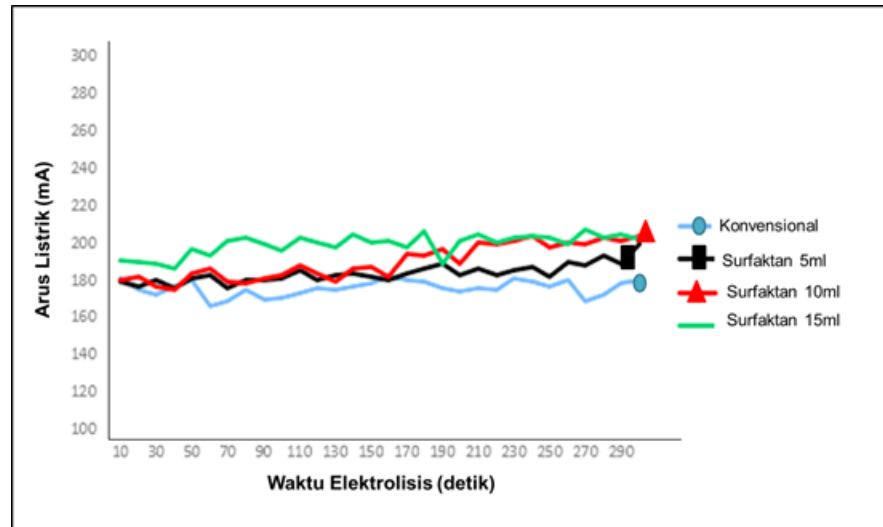
**Gambar 8.** Proses Penyeragaman Arah Dipol Air

### 3.5. Arus Listrik

Pengukuran arus listrik pada larutan elektrolit dilakukan pada bagian terluar elektroda menggunakan alat amperemeter yang telah disambungkan terlebih dahulu dengan *power supply*. Pada Gambar 9 dapat diamati bahwa nilai kuat arus listrik cenderung mengalami peningkatan setelah dilakukan penambahan Surfaktan Merang Padi pada larutan elektrolit. Dengan urutan kuat arus listrik mulai dari yang terkecil yaitu proses secara konvensional, penambahan 5ml surfaktan, penambahan 10ml surfaktan, dan yang paling besar pada penambahan 15ml Surfaktan Merang Padi.

Ion NaCl merupakan ion dengan kemampuan membawa muatan listrik. Banyaknya muatan listrik yang dapat dibawa dipengaruhi oleh kecepatan ion dalam melakukan pergerakan. Semakin cepat ion tersebut bergerak, maka semakin besar pula jumlah muatan listrik yang dapat dibawa. Ketika larutannya memiliki sifat lebih asam, maka akan dapat mempermudah dalam proses menghantarkan arus listrik. Pada sisi yang lain, semakin cepat pergerakan ion dalam membawa muatan listrik bergerak, maka arus listrik yang mengalir juga akan semakin mengalami kenaikan <sup>[17]</sup>. Surfaktan Merang Padi termasuk dalam kelompok surfaktan senyawa fungsional aromatik yang memiliki potensi magnetik. Akibatnya, Surfaktan Merang Padi akan mampu meningkatkan mobilitas ion NaCl, sehingga kemampuan pergerakan ion NaCl akan semakin meningkat dan arus listrik yang mengalir pun juga akan mengalami peningkatan. Hal ini juga dapat dikonfirmasi oleh adanya peningkatan kerapatan arus listrik seperti yang disajikan pada Gambar 9.





Gambar 9. Arus Listrik

#### 4. KESIMPULAN

Dari pemaparan diatas dapat disimpulkan bahwa penambahan katalis berupa surfaktan alami merang padi pada proses elektrolisis air mampu menunjang hasil produksi hidrogen. Hal ini disebabkan karena surfaktan merang dapat melemahkan kekuatan ikatan hidrogen dengan interaksi khusus antara gugus hidrofilik yang bersifat polar pada surfaktan dengan molekul air yang memiliki sifat polar. Hal ini dicirikan dengan penurunan tegangan permukaan yang ditandai dengan rendahnya sudut kontak permukaan ketika larutan ditambahkan dengan Surfaktan Merang Padi. Surfaktan Merang Padi sendiri merupakan golongan senyawa cincin aromatik yang memiliki potensi magnetik sehingga dapat mempengaruhi kecepatan ion NaCl dan menyebabkan terjadinya peningkatan produksi gas hidrogen. Di sisi lain penyeragaman arah dipol pada molekul air juga mengakibatkan kekuatan ikatan hidrogen semakin melemah. Surfaktan merang sendiri dapat bekerja secara efektif untuk menurunkan tegangan permukaan larutan, menarik ion OH<sup>-</sup> dan menolak ion H<sup>+</sup> dalam larutan elektrolit serta mengakibatkan semakin banyak ion H<sup>+</sup> yang bergerak bebas dalam larutan sehingga sifat larutan menjadi lebih asam dan mudah untuk menghantarkan arus listrik disertai reaksi elektrolisis yang berlangsung semakin cepat. Hasil produksi hidrogen menggunakan katalis surfaktan alami merang padi memiliki rata-rata produksi hidrogen paling tinggi yaitu sebesar 13000 ppm dengan laju produksi sebesar 2600 ppm/menit dan mampu menunjang produktifitas hidrogen sebesar 136,364%.

#### PERNYATAAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memberikan dana Hibah Penelitian Doktor Non Lektor Kepala dengan nomer kontrak 45/UN10.F07/H.PN/2022

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. B. Ali, R. Saidur, and M. S. Hossain, "A review on emission analysis in cement industries," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011, doi: 10.1016/j.rser.2011.02.014.
- [2] Syarif Hidayatullah, Femiana Gapsari, and P. H. Setyarini, "PENGARUH VARIASI KONSENTRASI INHIBITOR DARI KITOSAN SISIK IKAN TERHADAP

- PERILAKU KOROSI BESI ASTM A36: STUDI EKSTRAPOLARISASI TAFEL DAN EIS,” *Rekayasa Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 51–59, 2020.
- [3] Sulistyono, “Pemanasan Global (Global Warming) Dan Hubungannya Dengan Penggunaan Bahan Bakar Fosil,” *Forum Teknol.*, 2005.
- [4] Yustia Wulandari Mirzayanti, “KONVERSI MINYAK BIJI KAPUK MENJADI BIODIESEL MENGGUNAKAN KATALIS CaO/HTC,” *Rekayasa Mesin*, vol. 3, no. 11, pp. 417–425, 2022.
- [5] Slamet wahyudi and P. Purnami, “Pengaruh Variasi Tebal Sudu Terhadap Kinerja Kincir Air Tipe Sudu Datar,” *Rekayasa Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 337–342, 2012.
- [6] Nurdin Hasananto Teguh, Djarot B. Darmadi, and L. Yuliati, “SIMULASI PERUBAHAN BEBAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP: STUDI KASUS DI GORONTALO UTARA,” *Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 3, pp. 331–342, 2022.
- [7] P. Purnami, “PENAMBAHAN KATALIS BIO KARBON AKTIF UNTUK PENINGKATAN PRODUKSI HDROGEN PADA ELEKTROLISIS AIR,” *Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 28, pp. 283–290, 2022.
- [8] B. Crisanto Putra, I. N. G. Wardana, and E. Siswanto, “Produksi Hidrogen dari Campuran Air dan Minyak Kelapa Murni (VCO) melalui Porous Media Tembaga menggunakan Prinsip Hydrogen Reformer,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 87–93, Oct. 2016, doi: 10.21776/ub.jrm.2016.007.02.6.
- [9] M. Carmo, D. L. Fritz, J. Mergel, and D. Stolten, “A comprehensive review on PEM water electrolysis,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 38, no. 12, pp. 4901–4934, 2013, doi: 10.1016/j.ijhydene.2013.01.151.
- [10] Purnami, N. Hamidi, M. N. Sasongko, D. Widhiyanuriyawan, and I. N. G. Wardana, “Strengthening external magnetic fields with activated carbon graphene for increasing hydrogen production in water electrolysis,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 38, pp. 19370–19380, 2020, doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.05.148.
- [11] Z. D. Wei et al., “Water electrolysis on carbon electrodes enhanced by surfactant,” *Electrochim. Acta*, 2007, doi: 10.1016/j.electacta.2006.10.011.
- [12] A. Singh, K. R. Chaturvedi, and T. Sharma, “Natural surfactant for sustainable carbon utilization in cleaner production of fossil fuels: Extraction, characterization and application studies,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 9, no. 5, p. 106231, 2021, doi: 10.1016/j.jece.2021.106231.
- [13] Y. Fujimura and M. Iino, “The surface tension of water under high magnetic fields,” *J. Appl. Phys.*, vol. 103, no. 12, 2008, doi: 10.1063/1.2940128.
- [14] Purnami, I. Wardana, Sudjito, D. Widhiyanuriyawan, and N. Hamidi, “Adding the activated carbon of rice husk to increase hydrogen production on water electrolysis,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1034, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1034/1/012075.
- [15] J. Eastoe and J. S. Dalton, “Dynamic surface tension and adsorption mechanisms of surfactants at the air-water interface,” *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 85, no. 2, pp. 103–144, 2000, doi: 10.1016/S0001-8686(99)00017-2.
- [16] N. Bidin et al., “The effect of magnetic and optic field in water electrolysis,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 26, pp. 16325–16332, 2017, doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.05.169.
- [17] C. Article, “Physical Chemistry Chemical Physics,” *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2008, doi: 10.1039/.