

## PENGEMBANGAN TEKNOLOGI DESULFURISASI MELALUI METODE *CHEMICAL ABSORBER* PADA PRODUKSI BIOGAS YANG BERASAL DARI LIMBAH PALM OIL MILL EFFLUENT (POME)

Fusia Mirda Yanti, Zulaicha DwiHastuti, S. D. Sumbogo Murti, Novio Valentino, Asmi  
Rima Juwita, Atti Sholihah

Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi,  
Tangerang Selatan, Kawasan Puspiptek Gedung 625, 15314  
E-mail address: fusia.mirda@bppt.go.id

### Abstrak

Biogas memainkan peran penting pada pasar energi terbarukan. Berdasarkan Pepres Presiden No. 27 Tahun 2017, Rencana Umum Energi Nasional, target tahun 2025 untuk energi baru terbarukan adalah sebesar 23 %, dimana 489, 8 juta m<sup>3</sup> berasal dari Biogas. Biogas dapat dihasilkan dengan proses digester anaerobik limbah cair dari pabrik kelapa sawit atau disebut Palm Oil Mill Effluent (POME). Dalam penelitian ini, dilakukan fermentasi menggunakan continous-stirred-tank-reactor (CSTR) dengan kapasitas 40 L (Patent ID P00201000740) untuk menghasilkan biomethane dan biohydrogen. Setelah proses fermentasi dalam CSTR selama 35 hari, proses fermentasi ini berhasil memproduksi biometana dan biohidrogen sebesar 77,58 % dan 2,75 vol.%, disamping itu juga menghasilkan gas pengotor seperti hidrogen sulfida yang mencapai lebih dari 2000 ppm, yang merupakan gas asam yang akan menyebabkan korosi pada mesin pembakaran dan juga berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Oleh karena itu, hidrogen sulfida harus dihilangkan (desulfurisasi) dari biogas sebelum pembakaran. Di antara metode penggunaan *chemical absorber* tampaknya menjadi salah satu metode yang paling menjanjikan untuk menghilangkan H<sub>2</sub>S. NaOH dengan berbagai konsentrasi (3N, 5 N, dan 10 N) digunakan sebagai absorben untuk menghilangkan H<sub>2</sub>S. Dari penelitian ini didapatkan bahwa NaOH 10 N lebih optimum untuk menghilangkan H<sub>2</sub>S dimana kandungan H<sub>2</sub>S di dalam NaOH 10N sebesar 307 ppm daripada NaOH 3 N (1790 ppm) dan NaOH 5 N (1014 ppm), NaOH berhasil digunakan untuk mengurangi H<sub>2</sub>S dari hasil produksi biogas.

**Kata kunci:** Biogas, POME, CSTR, desulfurisasi, *chemical absorber*

### Abstract

Biogas has an important role in the renewable energy market. Based on Presidential Decree No. 27 of 2017, General Plan of National Energy (RUEN), the target of 2025 for renewable energy is 23%, of which 489, 8 million m<sup>3</sup> comes from Biogas. Biogas can be produced by anaerobic digester of liquid waste from Palm Oil Mill Effluent (POME). In this study, fermentation using continous-stirred-tank-reactor with capacity 40 L (Patent ID P00201000740) to produce biomethane and biohydrogen. After fermentation process in CSTR for 35 days in this system, the process succeeds in producing biomethane and biohydrogen of 77.58 % and 2.75 vol.%, and other impurities gas such as hydrogen sulphide up to 2000 ppm, which is an acidic gas that would causes severe corrosion to the mechanical parts of combustion engines. Therefore, hydrogen sulphide must be separated from biogas prior to combustion. Among the chemical absorber methods, the use of a cheap absorbent appears to be one of the most promising methods for H<sub>2</sub>S removal. NaOH with various concentration (3N, 5 N, and 10 N) was used as adsorbent to remove H<sub>2</sub>S. The result showed that NaOH 10 N was better to remove H<sub>2</sub>S (307 ppm) than NaOH 3 N (1790 ppm) and NaOH 5 N (1014 ppm), they were NaOH was successfully used to remove H<sub>2</sub>S from a simulated biogas stream.

**Keywords:** Biogas, POME, CSTR, desulphurization, *chemical absorber*

**PENDAHULUAN**

Pabrik Kelapa Sawit (PKS) dalam mengolah Tandan Buah Segar (TBS), selain menghasilkan produk *Crude Palm Oil* (CPO) juga menghasilkan limbah biomasa berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebanyak 23%, limbah cangkang (*shell*) sebanyak 6,5%, lumpur sawit (*wet decanter solid*) 4%, serabut (*fiber*) 13%, serta limbah cair atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) sebanyak 50% (Mandirim, 2012). Limbah padat yang berupa cangkang dan serabut pada umumnya dikonversi menjadi energi panas dengan pembakaran dalam boiler untuk menghasilkan uap (*steam*) bertekanan. Uap tersebut selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik menggunakan turbin uap dan generator dan uap sisanya digunakan untuk proses pengolahan kelapa sawit. Limbah biomassa yang lain, yaitu TKKS dan POME sebenarnya juga memiliki potensi energi yang tinggi, namun pada umumnya belum dimanfaatkan secara optimal. TKKS biasanya disebar ke lahan perkebunan dan dibiarkan membusuk

menjadi kompos secara alami sedangkan POME diurai di kolam limbah. Proses peruraian POME akan menghasilkan gas dengan kandungan utama gas metana ( $\text{CH}_4$ ).

Biogas memainkan peran penting pada pasar energi terbarukan. Berdasarkan Pepres Presiden No. 27 Tahun 2017, Rencana Umum Energi Nasional, target tahun 2025 untuk energi baru terbarukan adalah sebesar 23 %, dimana 489, 8 juta m<sup>3</sup> berasal dari Biogas. Pada proses pemanfaatan limbah POME untuk biogas maka POME akan diolah dalam digester anerobik tertutup dan biogas yang dihasilkan akan ditampung. Proses produksi biogas menggunakan sistem CSTR (*continous-stirred-tank-reactor*) umumnya berbentuk silinder yang terbuat dari bahan beton atau logam dengan ratio tinggi terhadap diameter yang kecil. Sistem ini dapat beroperasi pada suhu mesofilik atau termofilik, dan dengan sistem pengadukan mekanik, hidrolik, maupun injeksi gas. Komposisi dan karakteristik gas-gas penyusun biogas dari dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi dan Penyusun Karakteristik Biogas

Komponen	Jumlah, % volume	Karakteristik
$\text{CH}_4$	50 – 75	- mudah terbakar
$\text{CO}_2$	25 – 50	- mengurangi nilai kalor biogas - menyebabkan korosi
$\text{H}_2\text{S}$	sampai dengan 5.000 ppm	- menyebabkan korosi - menghasilkan emisi $\text{SO}_x$ pada pembakaran
$\text{NH}_3$	sampai dengan 500 ppm	- mengurangi kemampuan pengapian - menghasilkan emisi $\text{NO}_x$ pada pembakaran
Uap air	1 - 5	- mengurangi nilai kalor biogas
$\text{N}_2$	0 - 5	- mengurangi nilai kalor biogas

Sumber: [http://www.agrarplus.at/pdf/broschuere\\_biotreibstoffe\\_vision\\_gegenwart.pdf](http://www.agrarplus.at/pdf/broschuere_biotreibstoffe_vision_gegenwart.pdf)

Tabel 2. Perbandingan komposisi biogas sebelum dan sesudah pemurnian.

Komponen	Biogas	Biogas dimurnikan
$\text{CH}_4$	50 – 75 % vol	80 – 99 % vol
$\text{CO}_2$	25 – 50 % vol	1 – 5 % vol
$\text{H}_2\text{S}$	sampai dengan 5.000 ppm	kurang dari 200 ppm
$\text{NH}_3$	sampai dengan 500 ppm	kurang dari 100 ppm
Uap air	1 – 5 % vol	kurang dari 1 % vol
$\text{N}_2$	0 – 5 % vol	kurang dari 1 % vol

Sumber: biogas processing to biomethane (FNR 2008)

Agar bisa dijadikan sumber energi (biometana) yang menghasilkan panas dan listrik, maka biogas harus dibersihkan (penghilangan  $H_2S$  dan siloksan) dan peningkatan kandungan metana (removal  $CO_2$ ). Dalam hal ini impuritas yang paling berpengaruh terhadap nilai kalor adalah karbondioksida ( $CO_2$ ). Keberadaan  $CO_2$  dalam gas sangat tidak diinginkan, hal ini dikarenakan semakin tinggi kadar  $CO_2$  dalam  $CH_4$  maka akan semakin menurunkan nilai kalor  $CH_4$ . Pengurangan kadar  $CO_2$  secara signifikan akan meningkatkan kualitas produk biogas.

Selain  $CO_2$ , perlu juga dilakukan penurunan konsentrasi  $H_2S$  ke tingkat yang disyaratkan oleh gas engine, biasanya di bawah 200 ppm.  $H_2S$  dalam biogas biasanya berkisar antara 50 sampai 5.000 ppmv namun bisa mencapai 20.000 ppmv (2% v / v) dalam beberapa kasus.  $H_2S$  ini adalah gas yang tidak berwarna, mudah terbakar, berbau busuk (busuk telur) dan gas beracun. Masalah utama yang ditimbulkan jika konsentrasi  $H_2S$  yang tinggi dalam biogas adalah (i) korosif, yang merusak mesin, dan (ii) produksi oksida sulfur ( $SO_x$ ) akibat dari pembakaran  $H_2S$ , yang emisinya menyebabkan masalah lingkungan (apalagi  $SO_2$  memiliki efek keracunan pada katalis sel bahan bakar). Akibatnya, konsentrasi  $H_2S$  dalam biogas harus dikurangi ke tingkat di mana kerusakan proses pembakaran dan emisi  $SO_x$  terbatas. Perbandingan komposisi biogas sebelum dan sesudah pemurnian dapat dilihat pada Tabel 2.

Berbagai teknik yang tersedia untuk membersihkan biogas supaya dapat diaplikasikan pada gas engine. Banyak metode diantaranya proses biologis telah diusulkan sebagai alternatif yang tepat untuk mengurangi  $H_2S$  dari biogas karena ramah lingkungan, hemat energi dan biaya operasi rendah (Cline et al., 2003; Syed et al., 2006; Yang et al., 2010). Meski sistem ini memiliki banyak kelebihan, ada juga masalah selama pengoperasian teknologi ini, seperti akumulasi biomassa, penyumbatan, pengenceran, risiko ledakan, sulit dikendalikannya parameter operasional dan biaya modal yang tinggi sehingga fisikokimia desulfurisasi biogas seperti penyerapan, adsorpsi, kimia oksidasi masih menjadi alternatif untuk proses pembersihan biogas. (Abatzoglou dan Boivin,

2009; Muñoz et al., 2015; Petersson dan Wellinger, 2009). Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan penelitian pembersihan biogas dengan menggunakan chemical absorber berupa NaOH dengan variasi konsentrasi NaOH nya.

## METODE

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah POME yang berasal dari PKS Malimping, sludge yang berasal dari PKS Malimping, Natrium Hidroksida, Akuades, Buffer pH.

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah fermentor CSTR kapasitas 40 L (Patent ID P00201000740), alat-alat gelas kimia, sampling bag, pH meter, gas analyzer merk rapodox 5100, instrument kromatografi gas merk Shidmazu 8A.

Prosedur kerja yang dilakukan pada penelitian ini adalah pertama-tama dengan melakukan produksi biogas dari POME. Produksi biogas ini berbahan baku dari POME dan sludge dengan ratio % volume 9:1 pada pH 7 menggunakan reaktor CSTR kapasitas 40 L (Patent ID P00201000740). Setelah gas dihasilkan, kemudian dianalisa kandungannya, kemudian gas yang dihasilkan dibersihkan terutama kandungan  $H_2S$ nya menggunakan NaOH dengan variasi 3N, 5N, dan 10N. Hasil setelah pembersihan biogas kemudian dianalisa kembali terutama kandungan  $H_2S$  nya.



Gambar 1. Fermentor Produksi Biogas Kapasitas 40 L (Patent ID No. P00201000740)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Produksi Biogas Menggunakan Reaktor Fermentor 40 L

melakukan proses penguraian anaerob karena aplikasi konversi POME menjadi energi lebih terjadi pada proses anerobik. Proses anaerobik terjadi dalam kondisi tanpa oksigen. Penguraian anaerobik berlangsung dalam beberapa tahap, dimulai hidrolisis, kemudian asidogenesis, asetogenesis, dan terakhir metanogenesis.

(enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme) melakukan proses ini.

Setelah tahap hidrolisis, dilanjutkan tahap asidogenesis. Selama fase asidogenesis, oksidasi anerobik memanfaatkan gula, asam lemak rantai panjang, dan asam amino yang terbentuk dari proses hidrolisis sebagai substrat. Berbagai bakteri yang berbeda melakukan asidogenesis. Asidogenesis seringkali merupakan langkah tercepat untuk konversi zat organik kompleks selama penguraian dalam fase cair. Dalam digester anerobik yang stabil, alur degradasi utama adalah melalui asetat, karbon oksida dan hidrogen. Bakteri bereaksi terhadap peningkatan konsentrasi hidrogen pada cairan dengan memproduksi laktat, etanol, propionat, butirat, dan asam lemak volatil (VFA), yang digunakan oleh mikroorganisme metanogen sebagai substrat.

Setelah melalui tahap asidogenesis, proses selanjutnya adalah tahap asetogenesis. Pada tahap asetogenesis, bakteri asetonik yang memproduksi hidrogen mengkonversi asam lemak dan etanol/alkohol menjadi asetat, karbon dioksida, dan hidrogen. Konversi lanjutan ini sangat penting bagi keberhasilan produksi biogas, karena metanogen tidak bisa menggunakan senyawa asam lemak dan etanol secara langsung. Asetogen tumbuh lambat dan bergantung pada tekanan parsial hidrogen yang rendah untuk degradasi asetogenik yang menghasilkan energi. Asetogen sensitif terhadap perubahan lingkungan, membutuhkan waktu yang lama untuk menyesuaikan dengan kondisi yang baru.

Tahap terakhir dari proses konversi POME menjadi Biogas adalah metanogenesis. Selama tahap metanogenesis, metana dibentuk melalui dua fase utama yaitu fase primer dan fase

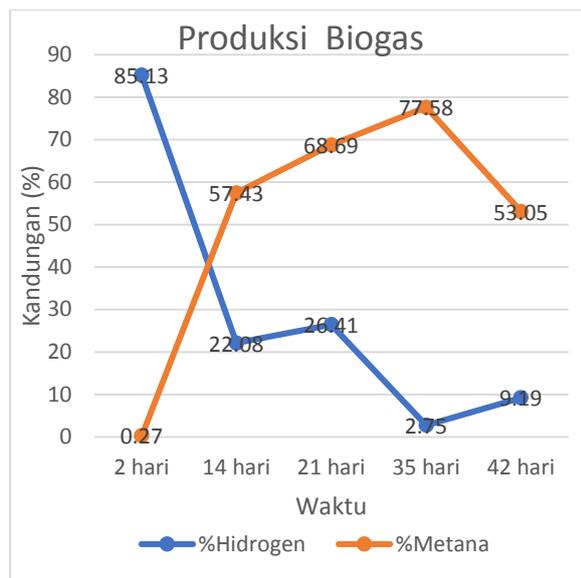
sekunder. Pada rute primer, fermentasi produk utama yang berasal dari tahap pembentukan asam yakni asam asetat diubah menjadi metana dan karbon dioksida. Bakteri yang memproduksi Biogas berasal dari asam asetat adalah bakteri asetiklastik.

Pada penelitian ini, proses produksi biogasnya menggunakan sistem CSTR. Sistem CSTR adalah Continous Stirred Tank Reactor, yang biasanya berbentuk silinder yang berbentuk silinder yang terbuat dari logam atau beton, dengan rasio diameter dan tinggi selinder yang kecil. Sistem ini dilengkapi dengan thickener, clarifier, atau dissolved air flocculation (DAF) untuk memekatkan biomassa. CSTR dapat beroperasi pada suhu mesofilik maupun termofilik. Pengadukan dalam CSTR dapat dilakukan secara mekanik, hidrolik, maupun injeksi gas. CSTR dapat mengakomodasi berbagai padatan dalam rentang yang besar. Selain itu, CSTR dapat memproses campuran dari berbagai jenis. Desain ini umumnya digunakan untuk limbah dengan kandungan padatan 3-10 % (Ade dkk, 2012)

Pada penelitian ini, digunakan fermentor 40 L dengan sistem CSTR dengan kondisi mesofilik dan pada pH 7. Temperatur dan pH sangat mempengaruhi proses produksi biogas yang dihasilkan. Pada penelitian ini, digunakan suhu mesofilik (25-40 °C) karena pengoperasiannya lebih mudah, sedangkan rentang suhu termofilik memerlukan kendali sistem suhu yang lebih ketat. Metana dapat diproduksi pada suhu rendah, tetapi untuk produksi yang optimal, suhu di dalam digester harus dijaga di atas 20 °C. Tingkat produksi metana akan naik sekitar dua kali lipat untuk setiap kenaikan suhu 10 °C dalam rentang suhu mesofilik.

Selain suhu, faktor pH juga sangat penting dalam produksi biogas, karena setiap kelompok mikroba yang terlibat dalam degradasi anaerobik memiliki rentang pH tertentu untuk pertumbuhan yang optimal. Untuk bakteri asidogen, pH optimal sekitar 6, sedangkan untuk bakteri asetogen dan metanogen, pH yang optimal sekitar 7. Pada penelitian ini, pH dijaga kisaran 6.5-7, karena pada kisaran pH segini menghasilkan kinerja dan stabilitas dalam sistem anaerobik yang baik.

Produksi metana pada penelitian ini, dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Produksi Biogas vs Waktu (hari)

Pada Gambar 1, terlihat bahwa pada hari awal-awal fermentasi (2 hari) yang banyak terbentuk adalah gas hidrogen. Pembentukan gas hidrogen semakin lama semakin berkurang, hal ini berbanding terbalik dengan pembentukan gas metana. Pembentukan gas metana semakin lama semakin bertambah dari hari kedua sampai hari ketiga puluh lima. Hal ini disebabkan karena proses metagenesis memerlukan waktu yang lebih lama pada proses pembentukan metana pada tahap penguraian anaerobiknya. Sedangkan pada hari ketiga puluh lima sampai hari keempat puluh dua, pembentukan metana berkurang, karena waktu tinggal mikroba dalam system CSTR hanya 30 hari sehingga perlu penggantian POME setelah 30 hari pada sistem CSTR.

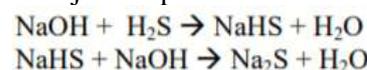
### Pembersihan Pengotor H<sub>2</sub>S pada Biogas dengan Menggunakan Metode Chemical Absorber.

Selain menghasilkan gas metana, gas hidrogen dan gas karbondioksida, produksi biogas dari POME juga menghasilkan Hidrogen Sulfida dalam jumlah yang kecil. H<sub>2</sub>S dalam biogas biasanya berkisar antara 50 sampai 5.000 ppmv namun bisa mencapai 20.000 ppmv (2% v / v) dalam beberapa kasus. H<sub>2</sub>S ini adalah gas yang tidak berwarna, mudah terbakar, berbau busuk (busuk telur) dan gas beracun yang dapat menimbulkan masalah seperti korosif, yang merusak mesin, dan produksi oksida sulfur (SO<sub>x</sub>) dari pembakaran H<sub>2</sub>S, emisinya

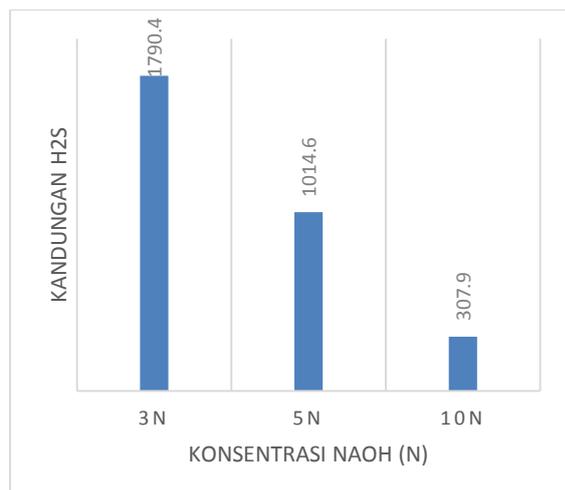
menyebabkan masalah lingkungan (apalagi SO<sub>2</sub> memiliki efek keracunan pada katalis sel bahan bakar). Akibatnya, konsentrasi H<sub>2</sub>S dalam biogas harus dikurangi ke tingkat di mana kerusakan proses pembakaran dan emisi SO<sub>x</sub> terbatas. Salah satu metodenya adalah dengan chemical absorber menggunakan NaOH.

Absorpsi adalah kontak antara gas dengan cairan dan transfer massa dari gas ke cairan. Perpindahan massa solute dari gas menuju cairan terjadi dalam tiga langkah perpindahan yaitu transfer massa dari badan utama gas ke suatu fase antar muka, transfer massa melalui bidang antarmuka ke fase kedua dan transfer massa dari antar muka ke badan utama cairan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses absorpsi (Henry dkk, 2008), yaitu tekanan operasi, suhu operasi, suhu dan humidity gas, ratio laju gas/cairan. Syarat bahan yang dapat dijadikan sebagai bahan penyerap yaitu memiliki daya melarutkan bahan besar, selektif, memiliki tekanan uap yang rendah, tidak korosif, viskositas rendah, stabil secara termis dan murah (Aditya, dkk, 2012)

Proses absorpsi terdapat dua jenis, fisik dan kimia. Pada penelitian ini menggunakan absorpsi kimia untuk memisahkan Hidrogen Sulfida. Salah satu bahan penyerap yang digunakan adalah Natrium Hidroksida. NaOH dapat bereaksi dengan Hidrogen Sulfida seperti ditunjukkan pada reaksi di bawah ini.



Pada penelitian ini, digunakan NaOH dengan berbagai konsentrasi, yaitu 3N, 5N, dan 10 N. Hasil pengurangan kandungan Hidrogen Sulfida pada Biogas dengan menggunakan NaOH diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kandungan H<sub>2</sub>S setelah proses desulfurisasi menggunakan NaOH

Gambar 2, memperlihatkan bahwa semakin besar konsentrasi NaOH yang digunakan, maka kandungan H<sub>2</sub>S dalam biogas tersebut semakin kecil. Ini artinya bahwa NaOH dengan konsentrasi (10N) lebih tinggi mampu menyerap H<sub>2</sub>S lebih besar dibandingkan dengan NaOH konsentrasi rendah (3 N dan 5 N).

### KESIMPULAN

Pada penelitian ini, dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Pembentukan gas metana pada produksi biogas membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan pembentukan gas hidrogen.
2. NaOH dapat digunakan sebagai absorber pada pembersihan H<sub>2</sub>S pada produksi biogas, dimana dengan semakin tinggi konsentrasi NaOH yang digunakan, maka kandungan H<sub>2</sub>S yang terserap juga semakin besar.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai dari dana Insinas Flagship BPPT Gelombang 2 Tahun 2018 dari Kemenristekdikti, dengan No. 55/INS-2/PPK/E4/2018

### DAFTAR PUSTAKAP

Ade Sri Rahayu, Hari Yuwono, S. Rahardjo, Sutanto Hokermin, Vidia Paramita. 2015. Konversi POME Menjadi Biogas. Pengembangan Proyek di

Indonesia. Cricle Handbook Indoensia. 2015

Henry Z, Kister, dkk, 2008. Equipment for Distilatin, Gas Absorption, Phase Dispersion, and Phase Separation, Mc Graw-Hill: New York.

Krzysztof BIERNAT, Izabela SAMSON-BREK. 2015. Review of technology for cleaning biogas to natural gas quality. Please cite as: CHEMIK 2011, 65,5, 435-444

Kusuma Aditya, Pricia Melisa, Agus Hadiyanto, 2012. Ppemurnian Biogas dari Kandungan Hidrogen Sulfida dengan NaOH, CuSO<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> dalam Packed Column Secara Kontinyu, Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, Vol. 1, No.1, Tahun 2012, Halaman 389-395.

Mandirin, 2012, Manual Pelatihan Teknologi Energi Terbarukan, Jakarta.

Persson M, Jönsson O, Wellinger A. Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection. In: Braun R, Holm-Nielsen JB, Seadi TA, Baxter D, Jormanainen M, Rintala J, et al., editors. Task 37: Energy from biogas and Lanfill Gas. Paris, France. Available at: ([http://www.seai.ie/Renewables/Bioenergy/Biogas\\_upgrading\\_to\\_vehicle\\_fuel\\_standards\\_and\\_grid\\_connection\\_IEA.pdf](http://www.seai.ie/Renewables/Bioenergy/Biogas_upgrading_to_vehicle_fuel_standards_and_grid_connection_IEA.pdf)); 2006

Yang L, Ge X, Wan C, Yu F, Li Y. Progress and perspectives in converting biogas to transportation fuels. Renew Sustain Energy Rev 2014;40:1133–52