

REKAYASA KOLOM ADSORPSI DAN ADSORBEN DARI LIMBAH SERBUK BESI UNTUK PEMURNIAN BIOGAS DARI LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT

ENGINEERING OF ABSORPTION COLUMN AND THE ADSORBENT FROM FERRO POWDER WASTE FOR PURIFICATION THE BIOGAS FROM PALM OIL MILL EFFLUENT

Siti Masriani Rambe dan Edwin Harianto Sipahutar

Balai Riset dan Standardisasi Industri Medan
 Jl.Sisingamangaraja No.24 Medan
 e-mail: siti_masriani@yahoo.com

Diterima: 31 Mei 2017; Direvisi: 27 Juni 2017 - 21 November 2017; Disetujui: 22 Desember 2017

Abstrak

Telah dilakukan rancang bangun kolom adsorpsi dengan menggunakan serbuk besi sebagai adsorben untuk pemurnian biogas dari pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS). Tahap awal pembuatan kolom adsorpsi sebagai kolom purifikasi biogas dan ukuran adsorben dengan mempertimbangkan karakter LCPKS dan gas H₂S yang akan di serap. Pemurnian biogas dilakukan pada alat kolom adsorpsi dan kolom di isi dengan adsorben. Penetapan dimensi kolom adsorpsi telah mempertimbangkan massa jenis gas dan jumlah gas yang akan dimurnikan. Tahap selanjutnya adalah proses pembuatan adsorben dari limbah serbuk besi dimana bahan adsorben yang digunakan bersumber dari industri permesinan di Sumatera Utara. Limbah serbuk besi diannealing terlebih dahulu melalui perlakuan panas yang menjadi variasi penelitian yaitu suhu 800°C, 900°C dan 1000°C dan ketebalan adsorben 1 cm dan 2 cm. Masing-masing adsorben yang telah selesai diannealing, diuji dengan memasukkan adsorben pada kolom adsorpsi. Uji aplikasi dilakukan dengan mengalirkan biogas ke kolom adsorpsi yang telah diisi dengan adsorben limbah serbuk besi. Hasil uji aplikasi menunjukkan bahwa pada adsorben yang lebih tinggi penyerapan nya adalah pada suhu 1000°C dan ketebalan 2 cm, dimana penurunan gas H₂S mencapai 42.1%.

Kata kunci: Biogas, Adsorpsi, Adsorben, Limbah Serbuk Besi, Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Abstract

It was conducted to engineering the adsorption column by using ferro powder waste as adsorbent to removal the H₂S content of biogas from Palm Oil Mill Effluent. The first step it was conducted to calculated the adsorption column as purification column by character Palm Oil Mill Effluent (POME) considering. Further, is was conducted to annealed the ferro powder from industrial waste workshop in north Sumatera. Thus, it was conducted to annealed with temperature variation (800°C, 900°C and 1000°C) and the thick adsorbent (1 cm, 2 cm). The result shows that each adsorbent product is tested by applied of using direct that puts in the adsorbent column. Applied research is conducted by flowing biogas trough column that the adsorbent is already in the column. Temperature condition and the width of adsorbent was effecting of adsorption the H₂S biogas and the optimal condition are 1000°C temperature and 2 cm of width adsorbance

Keywords: Biogas, Adsorption, Adsorbent, Ferro powder Waste, Palm Oil Mill Effluent

PENDAHULUAN

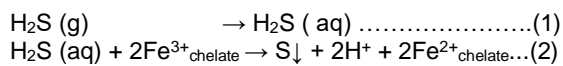
Sebagai sebuah negara agraris, Indonesia mempunyai potensi biogas yang sangat besar tetapi hanya sedikit dari potensi ini yang sudah dimanfaatkan. Hal ini dirasakan menjadi kelemahan pengembangan biogas di sektor industri khususnya industri PKS. Besarnya kandungan bahan organik dalam Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) berpotensi untuk diolah menjadi biogas. Potensi LCPKS menjadi biogas diperoleh sekitar 2,4–2,8 liter biogas untuk setiap liter LCPKS (Irvan, 2010). Biogas mempunyai nilai kalor sekitar 23 MJ/m³ dan nilai oktan

(RON) sekitar 130 (Tippayaong *et al.*, 2011). Penggunaan biogas yang sangat potensial sebagai sumber energi dalam mesin memiliki persyaratan yaitu rendah kandungan gas H₂S dan CO₂ nya. Penurunan gas H₂S dan CO₂ dapat dilakukan melalui absorpsi air, penggunaan bahan kimia dan secara biologi (Boateng *et al.*, 2009) namun masing-masing sistem pemurnian masih memiliki kelemahan.

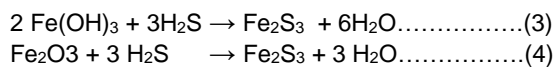
Komposisi CO₂ dalam biogas dapat menurunkan energi/power dari biogas dan sedangkan H₂S akan mengakibatkan sifat *corrosive* (Ray N.H.S, 2013). Jumlah CO₂

dan H_2S diharapkan dibawah 1% keberadaannya dalam biogas (Divyang, 2016). Jumlah gas metan yang optimal dalam biogas adalah lebih kurang 90% agar dapat di aplikasikan pada sebagai sumber energi atau bahan bakar (Smieja *et al.*, 2014).

Peneliti terdahulu telah melakukan pemanfaatan limbah serbuk besi dapat digunakan sebagai penyerap gas H_2S . Maia *et al.*, 2014 memaparkan bahwa mekanisme reaksi penyerapan oleh serbuk besi meliputi adanya endapan unsure S pada adsorben dengan reaksi pada persamaan 1 dan 2.



Reaksi 1 dan 2 memperlihatkan adanya endapan pada unsur S sehingga terlepas dari ikatan Hidrogen nya. Metode penyerapan gas dapat juga dilakukan dengan metode proses kering dimana gas H_2S dapat dikonversikan menjadi besi (III) hidroksida atau besi (III) oksida dan air dapat diperlihatkan pada persamaan 3 dan 4 (Negara *et al.*, 2012). Dari reaksi tersebut diharapkan pada uji aplikasi adsorben, diperoleh jumlah gas H_2S akan berkurang setelah melewati kolom adsorben yang telah berisi lempengan serbuk besi yang telah dilunakkan.



Apriyanti, 2012 melakukan proses pemurnian biogas dengan menggunakan zeolit untuk mengadsorpsi CO_2 dan diperoleh nilai penurunannya mencapai 18,70%. Selain gas CO_2 , gas H_2S juga dapat diserap dengan menggunakan zeolit alam (Listyono *et al.*, 2012), dimana proses pembuatan adsorben dari zeolit dilakukan dengan menggunakan *pretreatment*.

Penyerapan biogas dengan metode metode basah juga banyak dilakukan beberapa peneliti terdahulu meliputi pemurnian biogas menggunakan bahan kimia NaOH, $CuSO_4$, dan Ferro Sulfat pada kolom sistem *continue* namun memiliki kelemahan dimana masih menimbulkan efek samping dari proses (Aditya, 2012).

Beberapa peneliti tersebut masih banyak menggunakan bahan kimia sebagai adsorben dimana bahan kimia tersebut masih memiliki efek samping. Selain pertimbangan efek samping juga perlu biaya untuk pengadaan bahan baku material adsorben. Oleh sebab itu peneliti pada tahun 2016 melakukan penelitian pembuatan adsorben dari limbah serbuk besi untuk pemurnian biogas yang telah diperoleh dari LCPKS.

Permasalahan pada penelitian ini adalah biogas yang dihasilkan masih mengandung gas H_2S dan CO_2 dimana gas tersebut berpengaruh jika digunakan sebagai sumber bahan bakar pada mesin diesel. Limbah serbuk besi yang ada dalam industri belum dimanfaatkan oleh industri sehingga dalam penelitian ini perlu dikaji sejauh mana limbah serbuk besi dapat dimanfaatkan untuk menyerap gas H_2S dalam biogas.

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui jumlah gas H_2S yang terserap dalam biogas dengan menggunakan peralatan kolom adsorpsi dan adsorben yang telah didesain.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret hingga Desember 2016 di Laboratorium Baristand Industri Medan.

Bahan

Dalam penelitian ini bahan yang digunakan adalah biogas, melalui proses pembuatan biogas dari limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) yang berasal dari Pabrik Kelapa Sawit Adolina milik PTPN IV Lubuk Pakam. Limbah serbuk besi hasil limbah dari industri pengelasan dan pembubutan yang ada di Sumatera Utara.

Alat

Proses pemurnian biogas menggunakan peralatan kolom adsorpsi dimana dimensi/spesifikasi dan proses penggunaan peralatan diperoleh setelah dilakukan perhitungan dengan basis laju alir dan jenis gas yang akan diserap dan mengacu berbagai tabel referensi. Beberapa peralatan yang digunakan untuk

pengujian meliputi H₂S meter, Furnace dan Gasmeter.

Metode Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini melalui beberapa tahap yaitu:

1. Melakukan perancangan dan perhitungan peralatan, mendesain dan merangkai peralatan adsorpsi. Rekayasa kolom adsorpsi meliputi proses perhitungan alat/kolom adsorpsi sekaligus proses perangkaian alat sesuai dengan hasil perhitungan. Proses pemurnian biogas dari LCPKS dengan metode adsorpsi yang berbahan limbah serbuk besi dapat dilakukan dengan proses perhitungan dimensi dan spesifikasi awal kolom.
2. Pembuatan adsorben dari limbah serbuk besi. Pembuatan adsorben dari limbah serbuk besi dilakukan melalui annealing /pelunakan dengan perlakuan variasi suhu yaitu 800°C, 900°C dan 1000°C dengan waktu masing-masing 30 menit (gambar 1). Serbuk besi yang digunakan sebagai adsorben adalah serbuk besi sisa dari pengelasan dan pembubutan UD. Rahayu di Medan. Serbuk besi sisa pembubutan saat ini belum dioptimalkan.



(a) Serbuk besi yang telah dibentuk



(b) Proses pelunakan sesuai variasi temperatur (800, 900 dan 1000°C)

Gambar 1. Tahapan proses rekayasa adsorben dari serbuk besi

3. Uji coba peralatan kolom adsorpsi dengan menggunakan adsorben.

Prosedur uji aplikasi dilakukan dimana adsorben yang telah di-annealing, dipasang pada kolom adsorpsi yang telah dihubungkan pada serangkaian peralatan pembuatan biogas (Gambar 2 a.b). Penggunaan adsorben pada kolom adsorpsi dilakukan dengan variasi ketebalan adsorben yaitu 1 cm dan 2 cm.



(a) Kolom Adsorpsi



(b) Proses pengisian adsorben dalam kolom adsorpsi

Gambar 2. Aplikasi adsorben pada kolom adsorpsi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rekayasa Kolom Adsorpsi

Proses penetapan dimensi reaktor dilakukan dengan studi literatur yang tertera pada tabel referensi (Towler dan Ray, 2008) dan diperoleh hasil sebagai berikut; Kolom adsorpsi berfungsi sebagai menyerap gas H₂S dengan bentuk silinder dan berbahan galvanis. Laju alir biogas yang dimurnikan adalah 100 liter/hari dengan densitas gas H₂S adalah 1,36 kg/m³. Untuk memperoleh laju alir volume diperoleh melalui perkalian densitas dan laju alir massa sehingga laju alir volume diperoleh 0,05712 m³/jam. Penentuan luas penampang kolom diperoleh dengan membagikan antara laju alir massa dengan laju alir volume dibagi dua, hasilnya diperoleh 0,3176 m² dan diameter diperoleh 0,3628 m. Setelah diperoleh tinggi dan jumlah tahapan teoritis maka

diperoleh panjang kolom sebenarnya yaitu 4,02 m. Sehingga diperoleh jari jari kolom adsorpsi 0,18 m, tebal dinding kolom 3 mm dan tekanan teoritis 0,012 bar.

Dimensi dan spesifikasi kolom adsorpsi telah diperoleh kemudian dilanjutkan dengan proses perangkaian peralatan (Gambar 3.a). Peralatan dilengkapi dengan alat ukur instrumentasi untuk mengetahui jumlah biogas, gas H_2S dan gas metan yang telah ada. Sebelum dan sesudah melewati alat kolom adsorpsi di lengkapi alat instrumentasi (H_2S meter) untuk mengetahui jumlah gas H_2S yang terserap oleh adsorben. Gambar 3.b.

memperlihatkan hasil rangkaian peralatan instrumentasi yang telah dilengkapi pada kolom adsorpsi.

Rekayasa Adsorben dari Limbah serbuk Besi

Pada Gambar 4 adalah hasil pelunakan serbuk besi pada suhu $800^\circ C$, $900^\circ C$ dan $1000^\circ C$ untuk dapat digunakan sebagai adsorben. Untuk mengetahui *performance* dari hasil pelunakan, adsorben yang dihasilkan tidak dilakukan uji kualilitatif akan tetapi dilakukan uji aplikasi terhadap gas yang akan diserap. Adsorben dari serbuk besi yang siap untuk dilakukan uji aplikasi pada kolom adsorben.



(a)



(b)

Gambar 3. a. Hasil rekayasa dan rangkaian kolom adsorpsi gas H_2S dari biogas
b. Kolom adsorpsi dilengkapi biogasmeter, methanemeter dan H_2S meter



(a) variasi suhu $800^\circ C$



(b) variasi suhu $900^\circ C$



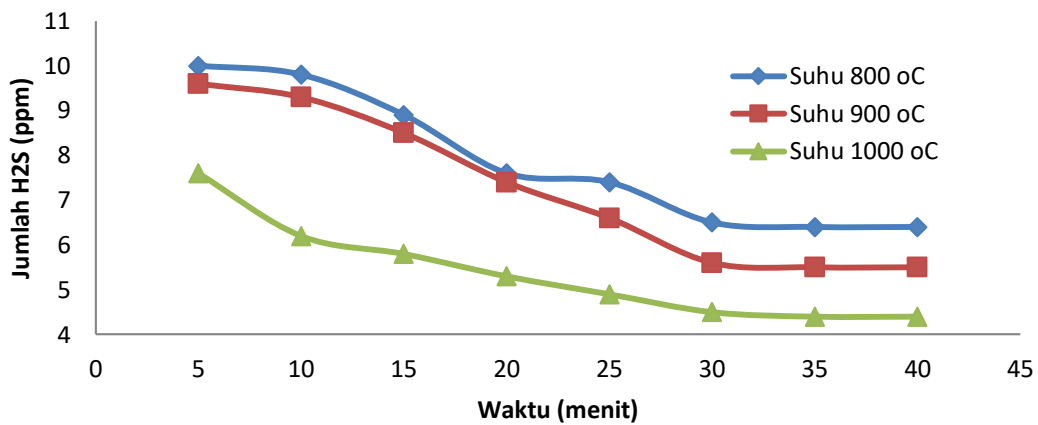
(c) variasi suhu $1000^\circ C$

Gambar 4. Hasil proses pelunakan adsorben untuk ketiga variasi penelitian.

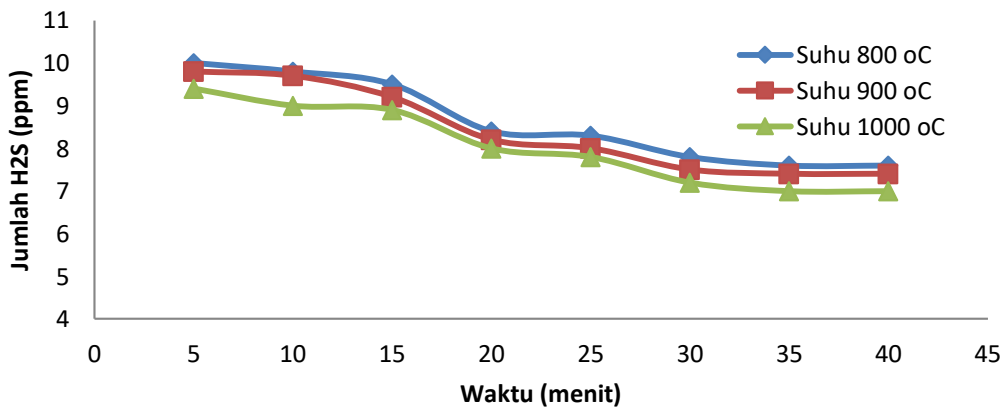
Uji Desain Kolom Adsorpsi dan Adsorben menurunkan H₂S dalam Biogas

Uji aplikasi kolom adsorpsi dan adsorben dilakukan untuk mengetahui *performance* adsorben dan kolom adsorben yang di rangkai. Biogas diperoleh dari hasil pengolahan pembuatan biogas dengan menggunakan sistem *Anaerobic Baffle Reactor* (ABR) dimana sumber limbah sebagai bahan baku pembuatan

biogas adalah LCPKS PT. Adolina Perbaungan. Rangkaian peralatan proses pembuatan biogas telah dirangkai langsung dengan kolom adsorpsi yang dirancang. Pengaturan laju alir biogas yang akan diserap dilakukan dengan menggunakan sistem *valving control*. Peralatan instrumentasi telah dilengkapi dengan biogas meter, methanemeter dan H₂S meter sebagai indikator untuk memperoleh data penyerapan.



(a) Ketebalan 2 cm



(b) Ketebalan 1 cm

Gambar 5. Proses Penyerapan H₂S dengan variasi Suhu dan ketebalan

Suhu merupakan faktor penting dalam proses degradasi/ penyisihan unsur lain dalam serbuk besi. Serbuk besi sebagai sisa pembubutan masih berisikan berbagai macam komponen sebab limbah sisa pembubutan tersebut berasal dari berbagai macam tipe besi. Untuk menyisihkan komponen non besi yang ada dalam

limbah perlu dilakukan proses pemanasan yaitu dengan variasi suhu 800°C, 900°C dan 1000°C dengan waktu 30 menit. Proses annealing untuk metoda secara konvensional biasanya dilakukan pada suhu 700°C - 1100°C (Yoo *et al.*, 2007).

Tujuan annealing disini adalah untuk menghilangkan impurities yang dalam

serbuk besi sehingga yang diperoleh adalah *ferro* yang ada dalam serbuk. Selama proses ini serbuk besi akan bereaksi dengan oksigen membentuk besi oksida (Fe_2O_3) dan jika saat proses oksidasi terdapat uap air maka akan membentuk *iron bog ore* ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). Baik (Fe_2O_3) maupun ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) sangatlah reaktif terhadap H_2S , dengan demikian (Fe_2O_3) maupun ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) dapat bereaksi dengan H_2S yang terdapat dalam biogas ketika biogas mengalir melewati alat purifikasi (Negara *et al.*,2012). Uji aplikasi dapat dilihat pada gambar 5, dimana gas H_2S pada ketiga variasi suhu penelitian dapat terserap.

Dari gambar 5.a.b memperlihatkan uji kinerja adsorben dalam menyerap H_2S dalam biogas untuk ketiga variasi suhu dan dua variasi ketebalan penggunaan adsorben tidak begitu signifikan perbedaannya. Dari ketiga variasi suhu tersebut diperoleh bahwa pada proses pelunakan adsorben yang dilakukan pada suhu 1000°C lebih baik dari pada 800°C maupun 900°C . Hal ini disebabkan masih ada impurities yang ada dalam adsorben yang akan menghalangi terjadinya reaksi Fe (besi murni) dengan H_2S . Sedangkan pada variasi ketebalan juga sangat berpengaruh. Pada suhu 1000°C dengan variasi ketebalan 1 cm dan menit ke-20 diperoleh 8 ppm sedangkan pada ketebalan 2 cm diperoleh 5,3 ppm. Selisih perbedaan diperoleh 2,7 ppm. Untuk parameter H_2S angka 2,7 ppm sangat berpengaruh pada aplikasi untuk mesin yang berbahan bakar biogas. Sehingga dari variasi ketebalan dan suhu pada penelitian ini kondisi paling optimal adalah pada suhu 1000°C dan ketebalan 2 cm.

KESIMPULAN

Penetapan dimensi kolom adsorpsi dapat mempertimbangkan massa jenis gas dan jumlah gas yang akan dimurnikan. Bahan adsorben yang digunakan bersumber dari limbah serbuk besi dari industri permesinan di Sumatera Utara dapat diannealing melalui perlakuan panas yaitu suhu 800°C , 900°C dan 1000°C . Uji aplikasi dilakukan dengan mengalirkan biogas ke kolom adsorpsi yang telah diisi

dengan adsorben limbah serbuk besi. Untuk mengetahui performansi dari adsorben dilakukan variasi penggunaan ketebalan adsorben yaitu 1 dan 2 cm. Hasil uji coba menunjukkan bahwa pada adsorben yang lebih tinggi penyerapan terhadap gas H_2S adalah pada suhu 1000°C dan ketebalan 2 cm, dimana penurunan gas H_2S mencapai 42,1%.

SARAN

Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan limbah lain untuk menyerap gas impurities lain, tanpa menggunakan bahan kimia yang dapat berdampak terhadap lingkungan diakhir proses.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada Baristand Industri Medan yang telah membiayai kegiatan penelitian ini. Ucapan terima kasih Peneliti/Perekayasa serta analis yang terlibat dalam pengujian sehingga penelitian ini dapat di selesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, Kusuma, Pricilia Melisa dan Agus Hadiarto. (2012), Pemurnian Biogas dari Kandungan H_2S dengan NaOH , CuSO_4 dalam packed Column secara Kontinyu. *Jurnal Teknoogi Kimia dan Industri*. 1(1)
- Al Mamum Muhammad Rashed, Shuichi Torii. (2015). Removal of Contaminant Gases from Biogas by Chemical Purificatin Processes. *IPASJ International Journal of Mechanical Engineering (IJME)*. 3(10). ISSN 2321-6441.
- Apriyanti Eny. (2012). Adsorpsi CO_2 menggunakan Zeolit: Aplikasi pada Pemurnian Biogas. *Jurnal Universitas Pandanaran*. 10(23).
- Boateng ofori, E.M Kwofie. (2009). Water Scrubbing: Abetter Option for Biogas Purification for Effective Storage. *World Applied Science Journal* 5: 122-125. ISSN 1818-4952.
- Deublein, D. dan Steinhauster, A. (2008). Biogas from Waste and Renewable Resources. An Introduction. WILEY-VCH Verlag Gmbh & Co. KgaA. Weinheim.

- Hamidi, Nurkholis, I.N.G. Wardana, dan Denny Widhiyanuriyawan. (2011). Peningkatan Kualitas Bahan Bakar melalui Proses Pemurnian dengan Zeolit Alam. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 2(3).
- Hery Achmad Fauzan, Zamzami Septieropa, Selly Rainsyah dan Faizal Romadhi. (2011). Pemanfaatan Biogas/Landfillgas sebagai bahan bakar Mesin Bensin 1 Silinder 4 Langkah. *Jurnal Teknik Industri*. 12(2). Agustus 2011;162-168
- Irvan, Bambang Trisakti, Vivian Wongistani dan Yoshimasa Tomiuchi. (2012). Methane from Digestion of Palm Oil Mill Effluent (POME) in a Thermophilic Anaerobic Reactor. *International Journal of Science and Engineering*. 3(1): 32-35.
- J.I Huertas, N. Giraldo and S Izquierdo (2011). Removal of H₂S and CO₂ from biogas by Amine Absorption” Automotive Engineering Research Centre-CIMA of Technology. Mexico.
- Kementerian Perindustrian (2011). Booklet Hilirisasi Industri Kelapa Sawit. Kementerian Perindustrian, Jakarta. Diakses <http://kemenperin.go.id/> pada tanggal 22 Mei 2012.
- Listyowati Anggraini F.P., Wirakartika M., S.R. Juliastuti dan nunik Hendrianie. (2012). Penurunan Kadar CO₂ dan H₂S pada biogas dengan metode adsorpsi menggunakan zeolit alam. *Jurnal Teknik Pomits*. 1(1).
- Maiya Djeine C Schiavon, Fernando H Cardoso, Lercio M Frare, Marcelino L Gimenes, Nehemias C Pereira. (2014). Purification of Biogas for Energy Use. *Chemical Engineering Transactions*. AIDIC The Italian Association of Chemical engineering. ISSN 2283-9216.
- Negara, K.M.T, Tjokorda G.T.N, I Made S, I ketut A.A, Dewa N.K.P.N, I Wayan S, A.A.I.A.sri K. (2012). Pemurnian Biogas dari Pengotor Hidrogen Sulfida(H₂S) dengan Memanfaatkan Limbah Geram Besi Proses Pembubutan, *Jurnal Energi dan Manufaktur*. 5(1). Oktober 2012:1-97
- N.H.S Rays, MK Mohanty, RC Mohanty. (2013). A Study on Application of Biogas as Fuel in Compression Ignition Engineering. *International Journal of Innovation in Engineering and Technology (IJJET)*. 3. Issued 1 October 2013. ISSN: 2319-1053.
- Paolo Cosoli, Marco Ferrone, Sabrina Pricl, Maurizio Fermeglia. (2008). Hydrogen sulphide removal from biogas by zeolite adsorption Part I. GCMC molecular simulations. *Chemical Engineering Journal*. Elsevier.
- Pulkrabek, Willard W. (1997). *Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine*. Prentice Hall. New Jersey.
- Slawomir Wierzbicki. (2012). *Biogas As a Fuel For Diesel Engines*. Olsztyn. Svenskt Gastekniskt Center AB. 2012. *Basic Data On Biogas*. 2nd edition. Sweden.
- Smieja Michael, Slawoir Wierzbicki. (2014). Influence of Content of Methane in Biogas on Emission of Toxic Substances in Diesel Engine Supplied With Bifuel. *The 9th Conference Environmental Engineering*. Poland.
- Tippayawong, N. Promwungkwa, A. Rerrkriangkrai. (2011). *Long Term Operation of a small biogas/diesel dual-fuel engine for on-farmerlectricity generation*. Chiang Mai University.Thailand.
- Towler Gavin dan Ray Sinnott, 2008. *Chemical Engineering Design. Principles, Practice and Economic of Plant and Process Design*, Elsevier Inc, ISBN 13:978-0-7506-8423-1.
- Yoo Dongsun, Ilgon Kim, Sangsoo Kim, Chang Hie Hahn, Changyu Lee, Seongjin Cho. (2007). Effects of annealing temperature and method on structural and optical properties of TiO₂ films prepared by RF magnetron sputtering at room temperature. *Applied Surface Science*, ScienceDirect. Elsevier.