

PEMURNIAN BIOGAS MELALUI KOLOM BERADSORBEN KARBON AKTIF

BIOGAS PURIFICATION THROUGH ACTIVATED CARBON ADSORPTION COLUMN

Purwinda Iriani, Ari Heryadi
(Staf Pengajar Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung)

ABSTRAK

Penggunaan biogas saat ini mulai diperhatikan sebagai bahan bakar alternatif. Tingkat kemurnian gas metan yang cukup tinggi dan rendahnya kandungan gas karbon dioksida dalam biogas menjadi hal yang perlu diperhatikan untuk menghasilkan pembakaran yang efisien. Beberapa teknologi pemurnian biogas telah dikembangkan dengan berbagai macam metode, di antaranya menggunakan teknologi adsorpsi. Metode adsorpsi dengan memakai kolom dapat menggunakan berbagai macam adsorben. Salah satu adsorben yang mudah diperoleh dan ekonomis adalah karbon aktif. Kapasitas karbon aktif pada kolom adsorber dalam pemurnian biogas masih dalam pengembangan. Pada penelitian ini, dilakukan upaya penurunan konsentrasi gas CO_2 di dalam biogas dengan menggunakan metode adsorpsi menggunakan kolom beradsorben karbon aktif. Berat karbon aktif (adsorben) divariasikan sebesar 615 g dan 730 g dan laju aliran biogas divariasikan dari 0,015 L/s, 0,02 L/s dan 0,025 L/s. Hasil penelitian menunjukkan efektivitas kolom adsorber paling tinggi adalah 96,03% dengan penggunaan berat adsorben 730 g dan laju penggunaan biogas yang dioperasikan 0,025 L/s. Penurunan kadar CO_2 dan kenaikan kadar CH_4 pada kondisi pengoperasian tersebut, masing-masing adalah 35,04 % dan 34,01 %.

Kata Kunci: Biogas, Alat pemurnian biogas, adsorpsi, karbon aktif.

ABSTRACT

Biogas is used as an alternative fuel. A high concentration of methane and a low content of carbon dioxide in biogas need to be considered to reach an efficient combustion process. Several biogas purification technologies have been developed in various methods, one of them is an adsorption technology. Column adsorption method uses various adsorbents. A common and economical adsorbent is activated carbon. Activated carbon capacity in column adsorption in purifying biogas is still being developed. The aim on this research was to reduce the concentration of CO_2 in biogas by using the adsorption method with activated charcoal column. The activated carbon (adsorbent) weight was varied at 615 g and 730 g, while the biogas flow rate was varied from 0.015 L / s, 0.02 L / s and 0.025 L /. The results showed that the highest effectiveness of the adsorbing column was 96.03%, using 730 g of adsorbent weight.

Its result was being operated at 0,025 L/s of flow-rate. The decreasing of CO₂ and the increasing of CH₄ concentration on those operating conditions, were 35.04% and 34.01%, respectively.

Keywords: *Biogas, Purifier, Adsorption, Activated-carbon*

PENDAHULUAN

Salah satu penggunaan sumber energi alternatif yang mulai dipertimbangkan dalam menghasilkan pembakaran ramah lingkungan adalah biogas. Komposisi biogas didominasi oleh gas metan (50-70%), gas karbon dioksida (30-40%), dan gas lainnya (H₂S, H₂O) dalam jumlah kecil (Meynell, 1976). Biogas diproduksi melalui proses fermentasi anaerob senyawa organik, seperti kotoran hewan, kotoran manusia, sampah biomassa. Kalor pembakaran dengan menggunakan bahan bakar biogas sangat bergantung pada persentase kandungan gas metan dan gas karbondioksida. Biogas dengan komponen gas pengotor seperti CO₂, H₂O, dan Hidrogen sulfida (H₂S) yang tinggi, dapat menyebabkan penurunan nilai kalor. Teknologi yang dikembangkan bisa diklasifikasikan berdasarkan CO₂ yang terkandung di dalamnya (Jarvis, A., 2004). Oleh karena itu, digunakan upaya pemurnian biogas.

Beberapa teknologi pemurnian biogas telah dikembangkan dengan berbagai macam metode, di antaranya *water scrubbing*, *chemical absorption*, *membrane purification*, dan *adsorption technology*. Teknologi adsorpsi pada biogas merupakan teknologi yang menggunakan prinsip adsorpsi penyerapan gas terutama CO₂ sehingga persentase kandungan CH₄ di dalam biogas akan meningkat.

Adsorpsi merupakan proses molekul-molekul fluida menyentuh dan melekat pada permukaan padatan (Nasruddin, 2005). Adsorpsi merupakan fenomena fisik yang

terjadi saat molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan suatu permukaan padatan dan sebagian dari molekul-molekul itu mengembun pada permukaan padatan tersebut (Suryawan, 2004). Substansi yang terserap pada permukaan didefinisikan sebagai adsorbat dan material tempat adsorbat terakumulasi didefinisikan sebagai adsorben (Duang D., 1998). Teknologi adsorpsi pada pemurnian biogas dapat menggunakan adsorben (padatan) seperti karbon aktif maupun zeolit sebagai penyerap CO₂.

Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang telah digunakan dalam industri kimia. Salah satu potensi karbon aktif yaitu dapat digunakan sebagai pemurnian biogas. Luas permukaan karbon aktif berkisar antara 300 sampai 2000 m²/g. Hal tersebut berhubungan dengan struktur pori-pori internal yang menyebabkan karbon aktif mempunyai sifat sebagai adsorben. Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif bergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap karbon aktif sangat besar, yaitu 25-100% terhadap berat karbon aktif. (Arifin, 2010).

Beberapa penelitian tentang penggunaan karbon aktif pada pemurnian biogas telah dilakukan. Alwathan et.al. (2013) melakukan pemurnian biogas dengan metode adsorpsi menggunakan karbon aktif untuk mengurangi kadar H₂S dari biogas limbah cair rumah sakit. Proses adsorpsi H₂S optimal ditunjukkan pada penggunaan karbon aktif berukuran 12 *mesh*. Gumelar (2011) menggunakan karbon aktif sebagai

media adsorben gas CO_2 pada biogas, dengan efektivitas penyerapan CO_2 optimum pada kolom adsorber berkapasitas 0,23 L sebesar 93,33%. Berdasarkan penelitian tersebut, karbon aktif berpotensi untuk digunakan sebagai media dalam teknologi pemurnian biogas sehingga dilakukan penelitian penggunaan karbon aktif sebagai adsorber gas CO_2 dalam pemurnian biogas. Karbon aktif yang digunakan berasal dari batok kelapa yang telah diaktivasi dengan ukuran granular.

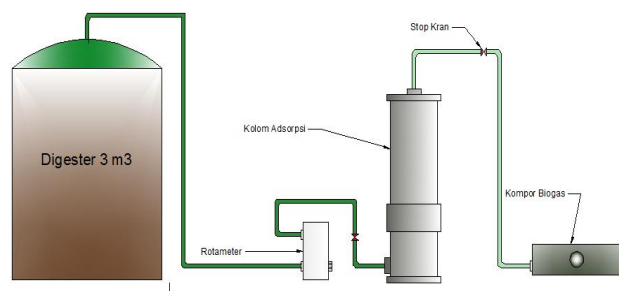
Tujuan penelitian ini adalah melakukan upaya penurunan konsentrasi gas CO_2 di dalam biogas dengan metode adsorpsi menggunakan kolom beradsorben karbon aktif. Dalam penelitian ini, dikaji faktor yang memengaruhi pemurnian biogas, yaitu variasi laju aliran biogas dan berat karbon aktif pada kolom adsorber.

METODOLOGI

Alat yang dibuat untuk pemurnian biogas adalah kolom adsorpsi berkapasitas 2,43 L (diameter 8 cm, tinggi 48,36 cm). Peralatan yang digunakan dalam pembuatan alat tersebut, antara lain kran, timbangan, bor dan bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan alat tersebut, antara lain pipa PVC 4 inci (digunakan sebagai media proses adsorpsi), karbon aktif (digunakan sebagai bahan penyerap gas CO_2), tutup pipa (digunakan sebagai penutup pipa bagian atas dan bawah), selang silikon (digunakan sebagai penyalur gas), ram nyamuk (digunakan sebagai penyangga karbon aktif), dan biogas.

Bahan utama dalam penelitian ini adalah biogas. Biogas yang digunakan adalah biogas milik warga di Desa Cibogo daerah Lembang dengan kapasitas digester 3 m^3 . Gas keluaran dari digester dengan tekanan 3,5 kPa mengalir ke kolom adsorber melalui pipa $\frac{1}{2}$ inci. Tekanan gas diukur menggunakan manometer.. Tekanan gas

tersebut sering mengalami fluktuasi sebesar $\pm 0,05$ kPa sehingga kandungan gas keluaran digester dapat diasumsikan konstan. Pipa saluran digester disambungkan ke selang kemudian selang dimasukkan ke rotameter. Rotameter merupakan suatu alat ukur untuk mengukur kecepatan suatu fluida. Dengan variasi laju alir gas, gas tersebut masuk ke dalam kolom adsorpsi melalui pipa gas lalu masuk ke bagian kolom adsorpsi yang nantinya akan dilakukan penyerapan CO_2 . Gas yang telah melewati kolom adsorpsi dan berisi karbon aktif kemudian digunakan untuk keperluan memasak atau generator listrik. Rangkaian proses pengujian dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Rangkaian Proses Pengujian Alat

Perhitungan efektivitas kolom adsorber dihitung menggunakan persentase dengan hasil perbandingan kandungan gas CO_2 yang teradsorpsi dengan kandungan CO_2 sebelum diadsorpsi (Widyastuti, 2013).

Variabel-variabel yang diujikan adalah berat karbon aktif 615 gram dan 730 gram. Pada penggunaan karbon aktif 615 g, kolom adsorber diberi ruang kosong setinggi 10 cm dan pada adsorber 730 g karbon aktif mengisi penuh kolom tersebut. Variasi laju alir biogas 0,015 L/s, 0,02 L/s, dan 0,025 L/s dengan waktu kontak biogas dengan adsorber adalah 120 detik. Kandungan gas yang telah diadsorpsi kemudian diuji. Pengujian sampel gas dilakukan di Lab. Teknologi X ITB dengan menggunakan Gas

Chromatrograf. Gas yang terdeteksi oleh alat ini adalah CH₄, CO₂, O₂, H₂, dan N₂.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh hasil pengukuran kandungan biogas (*input*) sebelum masuk kolom adsorber seperti pada Tabel 1.

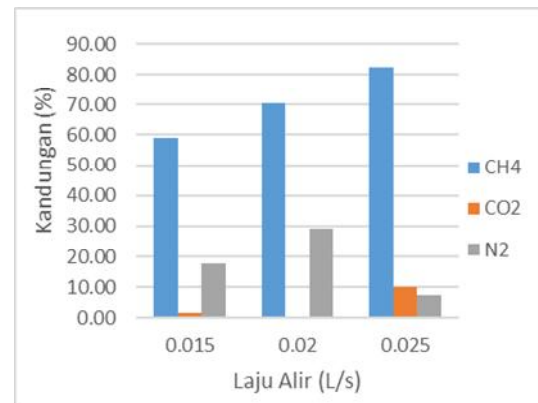
Tabel 1. Kandungan gas dalam biogas

No.	Jenis gas	Jumlah (%)
1	Metana (CH ₄)	52,51
2	Karbon dioksida (CO ₂)	36,49
3	Nitrogen (N ₂)	8,52
4	Oksigen (O ₂)	2,48

Profil kandungan biogas pada Tabel 1 menunjukkan kualitas biogas yang dihasilkan pada digester anaerobik cukup baik. Komposisi gas metana mendominasi kandungan biogas 52,51%. Menurut Meynel (1976), kandungan metana merupakan gas yang paling dominan di antara gas-gas lainnya karena merupakan produk utama dalam fermentasi kotoran sapi, yakni 50-70%. Persentase gas CO₂ pada Tabel 1 menunjukkan jumlah cukup banyak yang ada pada biogas, yakni 36,49 %. Terdapatnya gas CO₂ dengan komposisi tersebut, dapat menurunkan kandungan energi karena CO₂ merupakan salah satu gas pengotor di dalam biogas. Menurut Constant dan Naveu (dalam Herringshaw, 2009), biogas dengan kemurnian 90% (gas pengotor 10%), dapat meningkatkan 11 MJ/m³ kandungan energi dibandingkan biogas dengan kemurnian 60% (gas pengotor 40%). Dari hasil pengukuran, gas pengotor lainnya yang terdapat pada biogas sebelum adsorpsi adalah nitrogen dan oksigen dengan kandungan yang tidak

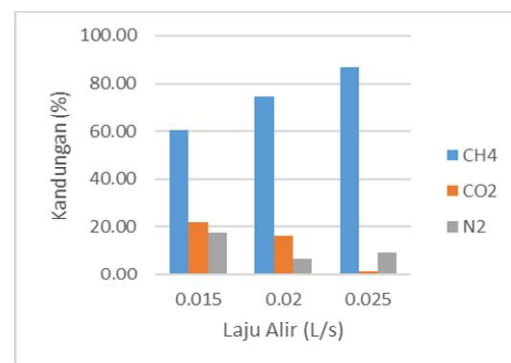
terlalu besar yaitu masing-masing sebesar 8,52% dan 2,48%.

Profil komposisi biogas setelah proses adsorpsi menggunakan kolom beradsorben karbon aktif dengan dua variasi berat dapat dilihat pada a Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Komposisi Biogas Luaran Kolom Adsorpsi 615 g Karbon Aktif

Pada Gambar 2 dan 3, dapat dilihat bahwa kandungan CH₄ setelah dimurnikan mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan laju aliran gas. Pada laju alir biogas 0,015 L/s, persentase gas metana sebesar 59,14 % dan meningkat hingga pada laju 0.025 L/s menjadi 82,4% (Gambar 2).

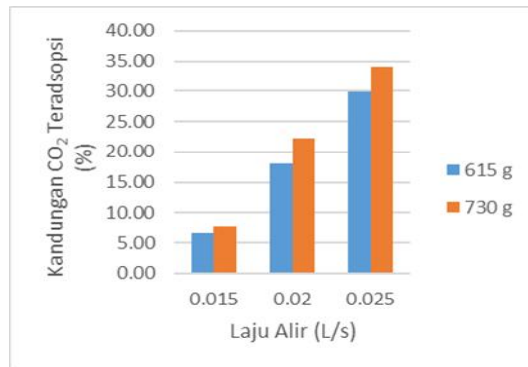


Gambar 3 Komposisi Biogas Luaran Kolom Adsorpsi 730 g Karbon Aktif

Profil kenaikan gas metana pada kenaikan laju aliran gas juga ditunjukkan oleh kolom adsorber karbon aktif 730 g.

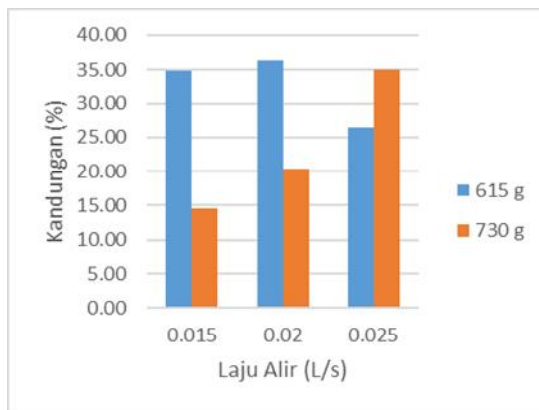
Pada laju alir biogas 0,015 L/s, persentase gas metana adalah 60,38 % dan meningkat menjadi 86,52% pada laju alir biogas 0.025 L/s (Gambar 3). Profil kandungan gas karbondioksida sendiri berbanding terbalik dengan gas metana. Kedua variasi berat karbon aktif tersebut menunjukkan kecenderungan penurunan konsentrasi karbondioksida ketika laju alir gas dinaikkan. Pada adsorben karbon aktif 615 g, konsentrasi CO₂ di laju alir 0,015 L/s adalah 1,69% dan turun menjadi 0,1% ketika laju alir 0,02 L/s. Namun, pada laju alir 0,025 L/s, konsentrasi CO₂ mengalami kenaikan menjadi 10,07%. Pada kolom beradsorben 730g, kandungan CO₂ pada laju alir 0,015 L/s sebesar 21,94% dan mengalami penurunan kandungan CO₂ ketika laju alir 0,02 L/s dan 0,025 L/s berturut-turut menjadi 16,10% dan 1,45%. Terdapatnya fluktuasi nilai CO₂ pada kolom adsorben 615 g disebabkan adanya kontaminasi gas nitrogen. Profil kenaikan dan penurunannya berbanding terbalik dengan CO₂. Kandungan gas nitrogen paling tinggi pada Gambar 2 dan 3 adalah masing-masing 29,29% dan 17,69%.

Profil kandungan biogas pada Tabel 1 merupakan kondisi sebelum proses adsorpsi berlangsung dengan kandungan awal gas karbon dioksida sebesar 36,49%. Pada pemurnian biogas, terjadi peningkatan konsentrasi metana pada luaran kolom adsorber dan peningkatan jumlah karbondioksida yang teradsorpsi pada kolom adsorber. Keduanya berbanding lurus dengan kenaikan laju alir gas (Gambar 4 dan 5).



Gambar 4 Kandungan CO₂ Teradsorpsi pada Kolom Adsorber 615 g dan 730 g Karbon Aktif

karbondioksida paling tinggi ada pada laju alir 0,025 L/s, yaitu sebanyak 29,92% dan pada adsorben 730 g adalah 34,01%. Hal tersebut menunjukkan bahwa jumlah adsorben yang besar akan meningkatkan kandungan gas karbondioksida yang terserap. Kontak permukaan karbon aktif semakin luas dengan bertambahnya volume. Persentase peningkatan CH₄ pada kolom adsorber 615 g dan 730 g memiliki perbedaan profil dengan CO₂ bila dikaitkan dengan laju alir biogas (Gambar 5). Pada kolom adsorben 615 g, terjadi fluktuasi kenaikan persentase CH₄ yang termurnikan. Pada laju alir 0,015 L/s, kandungan CH₄ meningkat sebesar 34,8% yang kemudian pada 0,02 L/s meningkat sebesar 36,39%. Namun, peningkatan kemurnian biogas tidak terjadi pada laju alir 0,02 L/s karena kemurnian biogas yang diperoleh hanya sebesar 26,42%. Hal tersebut berbeda dengan pemurnian biogas pada kolom adsorber dengan adsorben 730 g. Kenaikan laju alir berbanding lurus dengan persentase peningkatan CH₄ karena pada laju alir 0,015 L/s, kemurnian biogas meningkat sebesar 14,55% dan terus meningkat sebesar 35,04% di laju alir 0,02 L/s.



Gambar 5 Presentase Peningkatan CH₄ Luaran Kolom Adsorpsi 615 g dan 730 g Karbon Aktif

Ukuran molekul gas memengaruhi proses adsorpsi pada adsorben (karbon aktif). Gas karbon dioksida memiliki ukuran 0,33 nm dan gas metana memiliki ukuran 0,38 nm (Breck, dalam. Lee, 2003). Pada proses adsorpsi, hal tersebut memudahkan penyerapan CO₂ pada permukaan adsorben dibandingkan keterserapan CH₄. Selain ukuran molekul, berat molekul memengaruhi kecepatan difusi dalam pori sehingga memengaruhi proses adsorpsi. Berat molekul CO₂ adalah 44 g/mol; jauh lebih besar dibandingkan CH₄ yang hanya 16 g/mol. Gas CH₄ yang sangat ringan akan lebih mudah melewati permukaan adsorben tanpa kontak terlebih dahulu dibandingkan gas CO₂ yang memiliki berat lebih besar.

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang dapat dilihat pada Tabel 2, efektivitas maksimal alat dalam menyerap CO₂ adalah pada berat karbon aktif 730 gram dan laju aliran biogas 0,025 L/s dengan nilai efektivitas 96,03%. Peningkatan CO₂ yang terserap adsorben berbanding lurus dengan bertambahnya laju aliran gas. Hal tersebut menunjukkan bahwa laju alir biogas berpengaruh pada proses pemurnian gas metan. Laju alir gas berbanding lurus dengan tekanan gas. Kenaikan tekanan akan memudahkan molekul gas untuk memasuki pori-pori di

permukaan. Hal ini akan membantu penyerapan gas CO₂ pada pori-pori sehingga adsorpsi akan semakin besar (Hauchbum dan Mahanta, 2014).

Tabel 2 Perbandingan efektivitas kolom adsorpsi

Laju Alir Biogas (L/s)	Karbon Aktif	
	615 g	730 g
0.015	95.37 %	39.89%
0.02	99.72%	95.67%
0.025	72.4%	96.03%

Berdasarkan komposisi gas dari biogas, efektivitas kolom tertinggi adalah 96,03% dengan berat karbon aktif 730 gram dan laju aliran gas 0,025 L/s. Efektivitas kolom dengan nilai 96,03% dinyatakan sebagai efektivitas tertinggi karena pada kondisi tersebut, nilai kandungan CH₄ memiliki persentase tinggi (86,52%) dan kandungan CO₂ yang teradsorpsi tinggi (35,04%). Nilai efektivitas 99,72% pada laju alir 0,02 L/s di kolom adsorben 615 g tidak dinyatakan sebagai efektivitas kolom tertinggi karena kandungan CH₄ pada kondisi tersebut memiliki persentase yang lebih rendah (70,6%) dan kandungan nitrogen yang cukup tinggi (34%) dibandingkan variasi laju dan berat adsorben lainnya walaupun CO₂ yang teradsorpsi tinggi (36,39%).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data pengujian dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Kolom adsorber berkapasitas 2,3 L dengan adsorben menggunakan karbon aktif dapat digunakan sebagai alat pemurnian biogas.
- Kadar CO₂ yang terkandung di dalam biogas setelah pemurnian turun sebesar 35,04% dan kandungan CH₄ setelah dimurnikan meningkat sebesar 34,01%

dengan laju alir biogas yang dioperasikan 0,025 L/s dan berat karbon aktif 730 gram.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwathan, Mustafa, Ramli Tahir. 2013. "Pengurangan Kadar H₂S dari Biogas Limbah Cair Rumah Sakit dengan Metode Adsorpsi", *Konversi*, Volume 2 no.1.
- Arifin. 2010. *Dekolorisasi Air yang Mengandung Zat Pewarna Tekstil dengan Metode Koagulasi Poly Aluminium Chloride dan Adsorpsi Karbon aktif*. Tangerang: PT Tirta Kencana Cahaya Mandiri.
- Do, Duang D. 1998. *Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics*. London: Imperial Collage Press.
- Gumelar, Niki. 2011. *Penggunaan Karbon Aktif sebagai Adsorben Gas Karbondioksida (CO₂) dalam Pemurnian Biogas*. (Skripsi). Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Haucbhum, L. dan Pinakeswar Mahanta. 2014. "Kinetic, Thermodynamic and Regeneration Studies for CO₂ Adsorption onto Activated Carbon", *International Journal of Advanced Mechanical Engineering*. Volume 4, Number 1. pp 27-32.
- Herringshaw, Brian. 2009. *A Study of Biogas Utilization Efficiency Highlighting Internal Combustion Electrical Generator Units*. Ohio: The Ohio State University.
- Jarvis, A. 2004. *Biogas- Renewable Energy from Organic Waste*. Stockhlom: The Swedish Biogas Association,
- Lee, D. 2003. *Catalytic Reforming of CH₄ with CO₂ in a Membrane Reactor: A Study of Effect of Pressure* (Theses). Virginia: Virginia Tech. Blackburg
- Meynell, P.J., 1976. *Metahne: Planning a Digester*. Great Britain: Prism Press.
- Nasruddin., 2005. *Dynamic Modeling and Simulation of a Two-Bed Silicagel-Water Adsorption Chiller* (Disertation). Germany: Rwth Aachen.
- Suryawan, Bambang., 2004. *Karakteristik Zeolit Indonesia sebagai Adsorben Uap Air* (Disertasi). Jakarta: FTUI, Depok.
- Widyastuti, Apria. 2013. *Karbon Aktif dari Limbah Cangkang Sawit sebagai Adsorben Gas dan Biogas Hasil Fermentasi Anaerobik Sampah Organik*. Hal 30-33.