

PENINGKATAN KUALITAS BIOGAS DENGAN METODE ABSORBSI DAN PEMAKAIANNYA SEBAGAI BAHAN BAKAR MESIN GENERATOR SET (GENSET)

Untoro Budi Surono¹⁾, Syahril Machmud²⁾

^{1,2} Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Janabadra
E-mail: untorobs@janabadra.ac.id

ABSTRACT

World energy consumption increase continuously from year to year . With increasingly of energy consumption, it will accelerate the reduction of fossil energy reserves, because fossil energy sources are unrennewable energy sources. Meanwhile, fossil energy is still become the main source of energy in the world. This study aims to determine the methane content in the biogas after purification process and the effect of the electric power produced by electric generator set. In this research study will be conducted biogas purification using the stratified absorption method with absorbent of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and zeolite. After going through the process of purification, further biogas tested as a fuel in electric generator set. From this research can be known that column of absorber can increase the methane content in the biogas and reduce the odor of biogas. With the greater the methane content in the biogas, the electricity generated by electric generator will also be greater. With increasing load, the voltage that generated by electric generators will decrease. The engine that driving the electric generator is not run when the flow rate of biogas is too low or too high. It Still need to do research to find the column of absorber design that can increase the methane content in biogas close to 100 % and to get the air flow and biogas regulation system in order to obtain the proper ratio to produce optimum power.

Keywords: energy, biogas, electric generator, methane, zeolite

PENDAHULUAN

Energi merupakan bagian penting untuk menunjang aktivitas dan usaha produktif dalam menghasilkan barang dan jasa. Konsumsi energi dunia terus mengalami kenaikan dari tahun ke tahun (Tabel 1.1). Pertambahan konsumsi energi dunia ini disebabkan beberapa hal, antara lain pertambahan penduduk dunia, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta pertumbuhan berbagai macam industri. Dengan semakin bertambah tingginya konsumsi energi ini, akan mempercepat pengurangan cadangan sumber energi fosil yang sampai saat ini masih menjadi sumber energi utama, karena sumber energi fosil merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbarui.

Untuk mengantisipasi kekurangan sumber energi karena kebutuhan energi yang semakin meningkat, berbagai negara mulai mengembangkan dan menggunakan sumber-sumber energi baru, terutama sumber-sumber energi yang dapat diperbarui (renewable energy). Sumber energi terbarukan ini memiliki kelebihan dibanding sumber energi

fosil yaitu tidak akan habis bila dikelola dengan baik dan lebih ramah lingkungan. Salah satu sumber energi terbarukan yang banyak dikembangkan adalah bioenergi.

Tabel 1. Konsumsi Energi Dunia Satu
Dekade Terakhir (2002 s/d 2011)

Tahun	Konsumsi Energi (Juta ton ekivalen minyak)
2002	9613.9
2003	9950.2
2004	10449.6
2005	10754.5
2006	11048.4
2007	11347.6
2008	11492.8
2009	11391.3
2010	11977.8
2011	12274.6

Sumber: BP, 2012

Bionergi merupakan sumber energi yang dihasilkan oleh sumber daya hayati seperti tumbuh-tumbuhan, limbah peternakan dan juga limbah pertanian. Jenis energi yang dihasilkan bisa berbentuk gas (*biogas*), cair

(*biofuel*), atau padat (*biocoal*). Pemanfaatan bioenergi dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan alat yang digunakan baik untuk menghasilkan panas (kalor), untuk menghasilkan gerak (mekanik), atau untuk pembangkit listrik. Dengan kekayaan dan keragaman sumber daya hayati yang ada di Indonesia, pengembangan dan pemanfaatan bioenergi merupakan pilihan yang tepat dalam rangka penyediaan energi yang terbarukan, murah, dan ramah lingkungan.

Salah satu sumber energi terbarukan yang berasal dari sumber daya alam hayati yang sedang dikembangkan di berbagai negara adalah energi biogas. Sumber bahan baku untuk menghasilkan biogas dapat berupa kotoran ternak seperti sapi, kerbau, babi, kuda dan unggas, dapat juga berasal dari sampah organik seperti sisa makanan, buah busuk dan sayur busuk. Namun pemanfaatan biogas masih perlu ditingkatkan karena teknologi tersebut merupakan hal yang baru di masyarakat, padahal biogas merupakan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, terbarukan, dan dapat digunakan sebagai sumber energi penggerak generator listrik.

Prospek pengembangan teknologi biogas ini sangat besar terutama di daerah pedesaan dimana sebagian besar masyarakat bekerja di bidang peternakan dan pertanian. Pada umumnya masyarakat yang berprofesi sebagai petani mempunyai hewan ternak seperti unggas, kambing, sapi, dan kerbau. Dari data Ditjennak (2012), Indonesia memiliki populasi hewan ternak besar yang terdiri dari 16.034.337 ekor sapi potong, 621.980 ekor sapi perah dan 1.378.153 ekor kerbau. Dengan asumsi tiap ekor hewan ternak besar menghasilkan 4 kg kotoran padatan per hari, maka potensi kotoran hewan yang berasal dari hewan ternak besar saja diproyeksikan mencapai 72,1 juta kg. Jika ekivalensi biogas yang dihasilkan sebesar $0,31 \text{ m}^3 / \text{kg}$ kotoran padatan, maka akan dihasilkan biogas sebanyak 22,35 juta m^3 biogas. Biogas sebanyak ini setara dengan penghematan 13,86 juta liter minyak atau 10,28 juta kg LPG atau 17,88 liter bensin, atau 78,23 ribu ton kayu bakar (Ditjen PPHP, 2009).

Selama ini limbah kotoran ternak hanya dimanfaatkan sebagai pupuk itupun kurang optimal. Limbah kotoran ternak yang menumpuk menimbulkan efek pencemaran

seperti pencemaran terhadap air tanah, pencemaran terhadap udara, dan memicu timbulnya efek rumah kaca. Untuk itu dikembangkan teknologi untuk memanfaatkan dan menaikkan nilai ekonomi dari limbah tersebut salah satunya dengan jalan memanfaatkannya sebagai bahan baku pembuatan biogas. Proses pembuatan biogas dari kotoran ternak ini terjadi secara anaerob di dalam digester. Proses pencernaan anaerob merupakan dasar dari reaktor biogas yaitu pemecahan bahan organik oleh aktivasi bakteri metanogenik dan bakteri asidogenetik pada kondisi tanpa udara. Pembentukan biogas oleh mikroba pada kondisi anaerob meliputi tiga tahap proses (Haryati, 2006) yaitu hidrolisis, pengasaman, metanogenik.

Pada umumnya biogas merupakan campuran 50-70% gas metana (CH_4), 30-40% gas karbondioksida (CO_2), 5-10% gas hidrogen (H_2) dan sisanya berupa gas lain. Biogas memiliki berat 20% lebih ringan dibandingkan dengan udara dan memiliki nilai panas pembakaran antara 4800-6200 kkal/ m^3 . Nilai ini sedikit lebih rendah dari nilai pembakaran gas metana murni yang mencapai 8900 kkal/ m^3 (Mara, 2012).

Biogas yang dihasilkan dari digester ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk memasak, untuk penerangan atau untuk pembangkit tenaga listrik dengan generator set (genset). Selama ini biogas baru digunakan untuk memasak, padahal bahan bakar ini sangat potensial untuk menghasilkan tenaga listrik dengan generator set. Bila biogas akan digunakan untuk bahan bakar mesin penggerak genset, maka biogas harus dimurnikan lebih dulu untuk menghilangkan gas-gas pengotor sehingga kandungan metananya meningkat.

Sebelum digunakan sebagai bahan bakar mesin, biogas harus dimurnikan dulu untuk meningkatkan kadar metananya. Beberapa proses dapat diterapkan untuk meningkatkan kadar metana di dalam biogas dengan membuang kandungan CO_2 dan H_2S . Salah satu metode yang bisa digunakan untuk pemurnian biogas adalah dengan mengabsorbsi kandungan CO_2 . Absorbsi dapat berlangsung dalam dua macam proses, yaitu absorpsi fisik dan absorpsi kimia (Kumoro, dkk, 2004). Absorpsi fisik yaitu absorpsi dimana gas terlarut dalam cairan menyerap tanpa disertai reaksi kimia. Absorpsi kimia

yaitu absorpsi dimana gas terlarut dalam larutan penyerap disertai reaksi kimia.

Permasalahan yang harus diatasi ketika biogas akan digunakan sebagai bahan bakar pada mesin penggerak genset adalah tingkat kemurnian dari biogas tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui bagaimana kandungan metana dalam biogas sebelum dan setelah dilakukan proses pemurnian dan bagaimana pengaruh proses pemurnian terhadap daya listrik yang dihasilkan genset.

Beberapa penelitian perihal pemurnian biogas sudah dilakukan. Andardini (2010) melakukan penelitian tentang pemurnian biogas dengan zeolit yang diaktivasi menggunakan larutan Asam Sulfat. Dari penelitian ini diketahui adanya peningkatan konsentrasi metana setelah dilewatkan pada adsorber dari 47,72% menjadi 73,97%. Hal menunjukkan bahwa proses adsorpsi CO₂ dengan adsorber zeolit dapat meningkatkan kemurnian biogas.

Penelitian lain yang menggunakan zeolit untuk pemurnian biogas dilakukan oleh Hamidi dkk (2011). Tetapi dalam penelitian ini zeolit diaktivasi menggunakan Kalium Hidroksida (KOH) kemudian dilakukan *heat treatment* pada 300 °C selama 2 jam. Konsentrasi senyawa KOH untuk aktivasi zeolit dengan prosentase bervariasi 0%, 5%, 10%, dan 15 %. Proses pemurnian biogas dilakukan dengan cara memasukkan biogas dan zeolit adsorbent ke dalam kantong plastik. Lama waktu pemurnian divariasikan dalam dari 15 sampai 120 menit. Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa semakin tinggi prosentase KOH yang digunakan untuk aktivasi, daya serap zeolit semakin meningkat dan semakin lama digunakan, daya serap zeolit semakin menurun.

Haryandi (2011) melakukan penelitian menggunakan larutan Ca(OH)₂ untuk menurunkan kadar CO₂ dalam biogas. Larutan Ca(OH)₂ dihasilkan dari reaksi CaO dengan air. Penelitian dilakukan dengan mengalirkan campuran biogas dan larutan Ca(OH)₂ dalam kolom bahan isian dengan aliran berlawanan arah. Variabel penelitian adalah konsentrasi absorben, kecepatan alir cairan, kecepatan alir gas, tinggi kolom dan suhu operasi. Dari penelitian ini bahwa semakin tinggi laju alir absorben menyebabkan penyerapan CO₂ semakin besar. Untuk pengaruh konsentrasi larutan, semakin tinggi konsentrasi absorben

menyebabkan penyerapan CO₂ semakin besar. Semakin tinggi laju alir gas menyebabkan penyerapan CO₂ semakin kecil. Sedangkan pengaruh suhu operasi terhadap penyerapan CO₂, semakin tinggi suhu operasi menyebabkan penyerapan CO₂ semakin kecil.

Penelitian pemurnian biogas dari kandungan H₂S dengan senyawa NaOH, CuSO₄ atau Fe₂(SO₄)₃ telah dilakukan oleh Aditya dkk (2012). Penelitian ini dilakukan dengan mengalirkan larutan *absorbent* melalui *packed column* dari atas ke bawah, sementara biogas dialirkan dari bawah ke atas. Dari penelitian ini diketahui bahwa NaOH memiliki daya serap yang tertinggi. Juga diketahui bahwa semakin tinggi laju aliran absorben, semakin banyak H₂S yang terserap.

Penelitian pemurnian biogas dengan metode absorpsi menggunakan larutan NaOH juga dilakukan oleh Mara (2012). Larutan NaOH yang digunakan bervariasi konsentrasinya dari 0 N (tanpa NaOH), 1,25 N dan 2,5 N. Pemurnian dilakukan dengan melewatkan biogas dalam larutan NaOH. Setelah dilakukan pemurnian, kualitas biogas diuji dengan cara digunakan untuk memanaskan air. Dari pengujian ini diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan NaOH, semakin cepat kenaikan temperatur airnya semakin cepat, yang menandakan bahwa kualitas biogas semakin baik.

Hariastuti dan Sari (2011) melakukan penelitian pemurnian biogas dengan metode absorpsi bertingkat menggunakan absorben arang aktif. Metode ini dapat mereduksi kandungan gas impurities dalam biogas (H₂S: 99,98%, NH₃: 86,54%, CO₂: 53,24%) , dan menaikkan kemurnian metana mencapai 17,16%. Penggunaan absorben terbaik adalah dengan arang aktif sebanyak 6 kg, kecepatan alir biogas 25 lt/menit dan waktu kontak 170 menit.

Biogas sangat potensial untuk mengganti bahan bakar minyak atau bahan bakar gas alam yang digunakan pada mesin genset atau automotif. Bila biogas digunakan untuk bahan bakar mesin, kandungan CO₂ dan H₂S di dalam biogas harus dihilangkan atau diminimalkan, karena CO₂ dapat mengurangi nilai kalor biogas, sedangkan H₂S dapat menyebabkan korosi pada komponen-komponen mesin (Zhao dkk, 2010).

Pemakaian biogas yang dimurnikan sebagai bahan bakar mesin dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dan keuntungan-

keuntungan lingkungan lainnya, karena pembakaran biogas melepaskan nitrogen oksida, hidrokarbon dan karbon monoksida yang lebih sedikit dari pada pembakaran bensin dan solar. Dibanding gas alam, pembakaran biogas juga melepaskan lebih sedikit hidrokarbon, karbon monoksida dan karbon dioksida, tetapi nitrogen oksidanya lebih tinggi (Vijay, 2006). Keuntungan yang lain, mesin berbahan bakar biogas suaranya lebih halus dari pada mesin berbahan bakar solar.

Pemakaian biogas sebagai bahan bakar pengganti gas alam pada mobil telah dilakukan oleh Vijay dkk. (2006). Sebelum digunakan sebagai bahan bakar mobil, biogas dimurnikan dulu dengan sistem *scrubbing* menggunakan air. Caranya air bertekanan disemprotkan dari atas di dalam kolom scrubbing, sementara biogas dialirkan dari bawah kolom, sehingga terjadi aliran berlawanan. Dari penelitian ini diketahui bahwa penyerapan CO₂ oleh air dipengaruhi oleh laju aliran gas dan air serta tekanan di dalam kolom absorber. Semakin tinggi tekanan dalam kolom absorber, semakin tinggi daya serap terhadap CO₂. Setelah dimurnikan dan dihilangkan kandungan uap airnya, kemudian biogas dimasukkan ke dalam botol dengan tekanan 20 MPa. Uji coba pada mobil gas, menunjukkan bahwa mobil dapat berjalan dengan baik seperti bila menggunakan gas alam (CNG).

METODE PENELITIAN

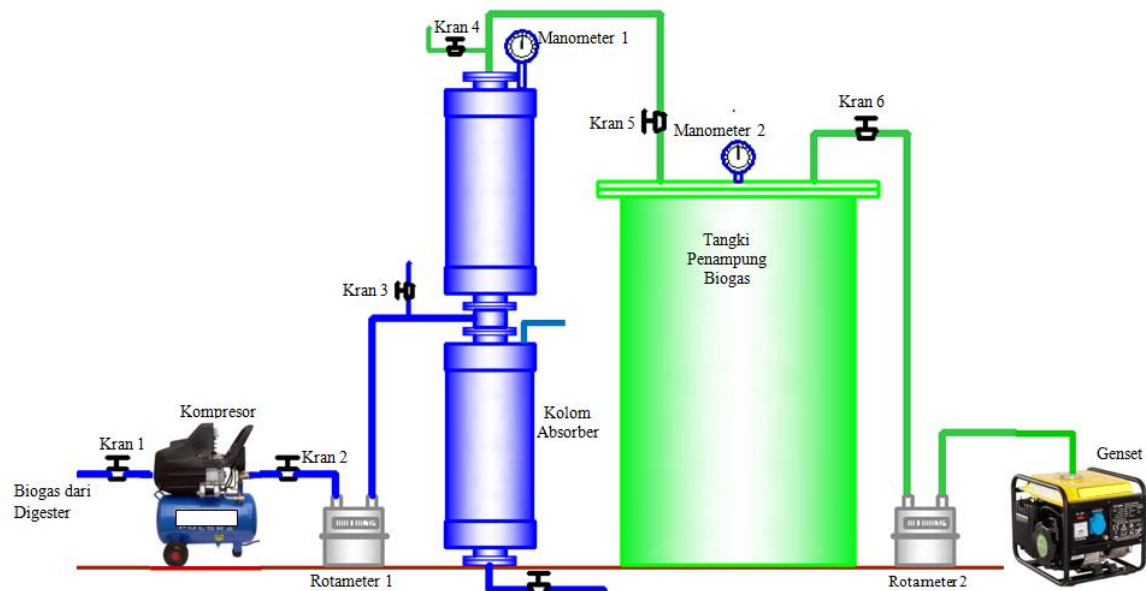
Pada penelitian ini bahan yang digunakan antara lain: biogas dari digester, zeolit, kapur tohor (CaO), air, dan asam sulfat.

Untuk proses pemurnian biogas dan mengumpulkan data-data yang diperlukan, dibutuhkan alat-alat sebagai berikut:

1. Kolom absorber: digunakan untuk menempatkan absorben dan melewatkan biogas yang akan dimurnikan
2. Kompresor: digunakan untuk memberi tekanan pada biogas sehingga bisa mengalir melewati kolom absorber
3. Flowmeter gas: digunakan untuk mengukur aliran biogas
4. Manometer: digunakan untuk mengetahui tekanan di dalam absorber dan di dalam tangki penampung biogas
5. Venojek : tabung yang digunakan untuk menempatkan sampel yang akan diuji dengan gas kromatografi.
6. Sduit: suntikan yang digunakan untuk memvakumkan venojek, memasukkan sampel biogas ke dalam venojek dan mengambil sampel dari venojek.
7. Voltameter: digunakan untuk mengukur tegangan listrik yang dihasilkan genset.
8. Amperemeter: digunakan untuk mengukur arus listrik yang dihasilkan genset.
9. Gas Kromatografi: digunakan untuk mengetahui kandungan metana di dalam biogas sebelum dan sesudah proses pemurnian.
10. Genset 1300 watt: digunakan untuk uji coba biogas sesudah proses pemurnian.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan lokasi pengambilan sampel di Jerukagung, Srumbung, Magelang, yang merupakan lokasi digester biogas milik peternak sapi. Sampel yang diambil sebelum dan sesudah proses pemurnian diujikan komposisi gasnya dengan Gas Kromatografi di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) UGM. Pengujian unjuk kerja mesin genset dilakukan juga di lokasi Jerukagung, Srumbung, Magelang.

Secara skematis rangkaian alat pengujian pada penelitian ini adalah seperti gambar berikut:



Gambar 1. Skema rangkaian alat pengujian

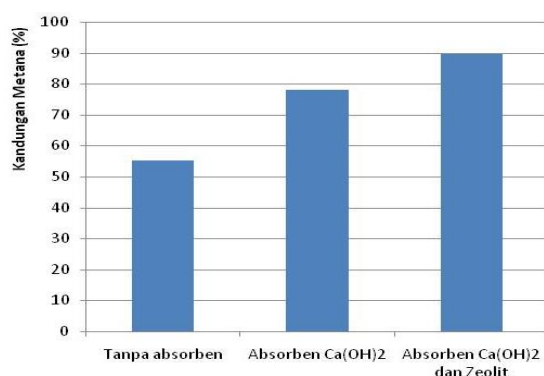
HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengujian Kandungan Metana

Untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan absorben terhadap kandungan metana di dalam biogas, maka dilakukan pengujian dengan Gas Kromatografi. Dari pengujian kandungan metana diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Kandungan Metana dalam Biogas

Jenis Absorben	Kadar Metana (%)
Tanpa absorben	55,2
Absorben Ca(OH)_2	77,9
Absorben Ca(OH)_2 dan Zeolit	89,7



Gambar 2. Kandungan Metana dalam Biogas

Dari hasil pengujian kandungan metana yang terkandung di dalam biogas dengan alat Gas Kromatografi terlihat bahwa dengan melewati biogas melalui kolom absorber akan menyebabkan kandungan metananya menjadi meningkat dibanding biogas yang tidak dilewatkan kolom absorber. Kenaikan kandungan metana dalam biogas yang dihasilkan tergantung dari absorben yang digunakan.

Untuk kolom absorber yang diisi dengan larutan Kalsium hidroksida Ca(OH)_2 sebagai absorben, kandungan metana dalam biogas meningkat dari 55,2 % menjadi 77,9% atau meningkat 22,7 %. Sedangkan untuk kolom absorber yang diisi larutan Kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) dan batu Zeolit sebagai absorben, kandungan metana dalam biogas meningkat dari 55,2 % menjadi 89,7% atau meningkat 34,5 %.

Kenaikan kandungan metana di dalam biogas setelah dilewatkan kolom absorber tersebut di atas disebabkan oleh terserapnya gas-gas lain yang terkandung di dalam biogas. Kandungan Karbondioksida akan bereaksi dengan larutan Kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) sehingga akan menurun persentasenya di dalam biogas, akibatnya persentase gas metana akan meningkat. Demikian juga ketika kolom absorber diisi dengan Kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) dan batu Zeolit terbukti bahwa kandungan gas metana dalam biogas meningkat lagi. Hal ini bisa terjadi karena batu Zeolit yang sudah

diaktivasi mampu menyerap gas-gas pengotor yang ada dalam biogas. Dengan semakin banyak gas-gas yang terserap, maka peningkatan kandungan gas metana dalam biogas juga akan semakin tinggi.

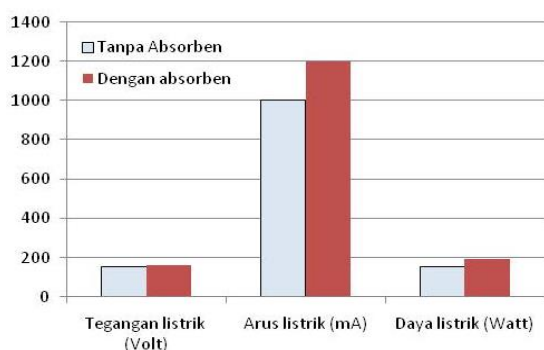
Dari pengamatan saat penelitian, selain diperoleh data peningkatan kadar metana setelah biogas dilewatkan kolom absorber, bau biogas setelah keluar dari kolom absorber juga tidak sebau biogas yang tidak dilewatkan kolom absorber. Dimungkinkan gas-gas yang mengandung bau ikut terserap di dalam absorben yang dipakai.

b. Pengujian Unjuk Kerja dengan Variasi Absorben

Untuk mengetahui pengaruh dilewatkannya biogas melalui kolom absorber apabila biogas tersebut digunakan sebagai bahan bakar genset maka dilakukan pengujian daya yang dihasilkan genset. Dari pengujian daya yang dihasilkan genset diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Pengujian Daya yang Dihasilkan Genset

Jenis Absorben	Tegangan listrik (Volt)	Arus listrik (Ampere)	Daya listrik (Watt)
Tanpa absorben	150	1,0	150
Absorben Ca(OH)_2 dan Zeolit	160	1,2	192



Gambar 3. Tegangan, Arus, dan Daya listrik yang dihasilkan Genset

Dari hasil pengujian unjuk kerja Genset yang ditunjukkan dengan tegangan, arus dan daya listrik yang dihasilkan Genset dengan bahan bakar biogas di atas diketahui bahwa baik tegangan dan arus yang dihasilkan Genset terdapat perbedaan antara biogas yang dilewatkan kolom absorber

dengan biogas yang tidak dilewatkan kolom absorber. Perbedaan tegangan dan arus listrik ini otomatis akan mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan.

Daya listrik yang dihasilkan oleh genset dengan bahan bakar biogas yang dilewatkan kolom absorber lebih besar dari daya listrik yang dihasilkan oleh genset dengan bahan bakar biogas yang langsung dialirkan dari digester. Hal ini menunjukkan bahwa biogas yang dilewatkan kolom absorber memiliki nilai energi yang lebih besar. Kenaikan nilai energi ini seiring dengan meningkatnya kandungan metana dalam biogas.

c. Pengujian Unjuk Kerja dengan Variasi Beban

Untuk mengetahui pengaruh besarnya beban terhadap daya yang dihasilkan genset maka dilakukan pengujian daya yang dihasilkan genset. Dari pengujian daya yang dihasilkan genset diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Pengujian Daya yang Dihasilkan Genset

Beban lampu (Watt)	Tegangan listrik (Volt)	Arus listrik (Ampere)	Daya listrik (Watt)
100	170	0,2	34
200	170	0,8	136
300	160	1,2	192
400	150	1,5	225

Dari data pengujian di atas terlihat bahwa semakin besar beban genset, tegangan yang dihasilkan semakin kecil, sedangkan arus listriknya semakin besar. Sedangkan untuk daya yang dihasilkan semakin besar. Penurunan tegangan yang dihasilkan genset disebabkan menurunnya putaran dengan semakin besarnya beban. Penurunan putaran ini terjadi karena aliran dari biogas ke genset diatur tetap meskipun beban ditambah. Akan tetapi dari jalannya penelitian diketahui bahwa dengan menambah aliran biogas bisa menyebabkan genset mati apabila aliran biogas terlalu besar.

Dengan beban yang semakin besar seharusnya aliran biogas ke genset juga harus ditambah juga dengan aliran yang tepat. Akan

tetapi genset yang digunakan belum bisa mengatur secara otomatis penambahan aliran gas sesuai dengan semakin besarnya beban seperti pada genset yang menggunakan bahan bakar bensin.

Dari pengujian-pengujian yang dilakukan, tegangan listrik yang dihasilkan genset belum bisa mencapai tegangan maksimalnya yaitu 220 Volt. Kenyataan ini bisa disebabkan oleh kandungan metana yang belum bisa mencapai 100% atau bisa juga disebabkan pengaturan perbandingan biogas dan udara yang belum tepat. Oleh karena itu masih perlu dilakukan penelitian-penelitian untuk menemukan rancangan kolom absorber yang bisa meningkatkan kandungan metana dalam biogas yang mendekati 100% dan penelitian-penelitian untuk mendapatkan sistem pengaturan aliran udara dan biogas sehingga diperoleh perbandingan yang optimal.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

- Kolom absorber dapat meningkatkan kandungan metana di dalam biogas dan mengurangi bau dari biogas.
- Dengan semakin besar kandungan metana di dalam biogas, daya listrik yang dihasilkan genset juga akan semakin besar.
- Dengan beban yang semakin besar, tegangan listrik yang dihasilkan genset akan mengalami penurunan.
- Mesin penggerak genset tidak hidup apabila aliran biogas terlalu kecil atau terlalu besar.
- Masih perlu dilakukan penelitian-penelitian untuk menemukan rancangan kolom absorber yang bisa meningkatkan kandungan metana dalam biogas yang mendekati 100% dan penelitian-penelitian untuk mendapatkan sistem pengaturan aliran udara dan biogas sehingga diperoleh perbandingan yang tepat untuk menghasilkan daya yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

Aditya, K., Melisa, P., Hadiyanto, A., 2012, *Pemurnian Biogas dari Kandungan*

Hidrogen Sulfida (H_2S) dengan NaOH, $CuSO_4$ atau $Fe_2(SO_4)_3$ dalam Packed Column Secara Kontinyu, **Jurnal Teknologi Kimia dan Industri**, Vol. 1, No. 1, Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro, Semarang

Andardini, P., 2010, **Pemurnian Biogas dengan Proses Adsorpsi CO_2** , Thesis, Magister Sistem Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

BP, 2012, **Statistical Review of World Energy 2012**, Beyond Petroleum, London.

Ditjen PPHP, 2009, **Profil Pengembangan Bioenergi Perdesaan (Biogas)**, Ditjen Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian, Kementerian Pertanian, Jakarta

Ditjennak, 2011, **Data Statistik Peternakan 2011**, <http://ditjennak.deptan.go.id/index.php?page=statistik&action=info&idcat=1>

Hamidi, N., Wardana, I., dan Widhiyanuriyawan, D., 2011, *Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolit Alam*, **Jurnal Rekayasa Mesin**, Vol.2, No. 3, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya, Malang

Hariastuti, N. dan Sari, IRJ., 2011, *Penerapan Teknologi Ramah Lingkungan Pada Pemanfaatan Hasil Purifikasi Biogas Memberikan Nilai Tambah Pada IKM Tahu*, **Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri**, Vol. 1, No. 4, Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (BBTPPI), Semarang

Haryandi, 2011, **Penurunan Konsentrasi Gas CO_2 Pada Biogas dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Larutan $Ca(OH)_2$** , Thesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Haryati, T., 2006, **Biogas : Limbah Peternakan Yang Menjadi Sumber Energi Alternatif**, Balai Penelitian Ternak, Bogor.

Kumoro, Cahyo, A., dan Hadiyanto, 2004, *Absorpsi Karbondioksida Dengan Larutan Soda Api Dalam Kolom Unggun Tetap*. **Forum Teknik**, Jilid 24.

Mara, IM., 2012, *Analisis Penyerapan Gas Karbondioksida (CO_2) Dengan Larutan NaOH Terhadap Kualitas*

- Biogas Kotoran Sapi*, **Dinamika Teknik Mesin**, Volume 2 No.1, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram, Mataram
- Vijay, VK, Chandra, R., Subbarao, PMV. dan Kapdi, SS., 2006, *Biogas Purification and Bottling into CNG Cylinders: Producing Bio-CNG from Biomass for Rural Automotive Applications*, **The 2nd Joint International Conference on “Sustainable Energy and Environment 2006”**, Bangkok
- Zhao, Q., . Leonhardt, E., MacConnell, C., Frear, C. dan Chen, S., 2010, **Purification Technologies for Biogas Generated by Anaerobic Digestion**, CSNRA Research Report.