

OPTIMALISASI UNJUK KERJA GENSET BERBAHAN BAKAR *HYBRID* (BIOGAS-BENSIN) UNTUK Mendukung PILOT PLANT DME (DESA MANDIRI ENERGI) DI BERBAH

Muhrom Khudhori ¹⁾, Dedet Hermawan Setiabudi ²⁾

^{1,2)}Jurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto
Jl. Janti Blok-R Lanud Adisutjipto Yogyakarta
Email : ¹⁾muhrom_tm@yahoo.co.id, ²⁾dedet_hermawan@yahoo.com

Abstrak

Untuk mendapatkan jumlah aliran biogas yang sesuai dengan kebutuhan dalam pembakaran (putaran idle, stasioner, percepatan), diperlukan adanya perangkat yang mengatur pembukaan katup biogas agar sesuai dengan kebutuhan dalam pembakaran yang dihubungkan dengan pembukaan throttle yang mengatur tingkat kevakuman dalam ruang bakar. Sehingga untuk memperoleh unjuk kerja genset yang optimal pada setiap kondisi kerja diperlukan perangkat katup untuk mengatur pembukaan jumlah aliran biogas.

Penelitian dilakukan dengan melakukan penambahan saluran dan katup biogas dalam saluran venturi karburator. Tahapan penelitian ini meliputi desain enjiniring, desain manufacturing, dan uji unjuk kerja genset. Pengujian dilakukan dengan membandingkan unjuk kerja genset dengan variasi beban. Parameter unjuk kerja genset meliputi, frekuensi (Hz), arus (ampere) dan putaran (RPM).

Dari hasil penelitian diperoleh desain enjiniring saluran biogas dengan katup biogas diperoleh ukuran diameter saluran masuk bahan bakar biogas: 3,36 mm, diameter venturi : 10 mm, pipa kapiler bensin : 8 mm, diameter saluran keluar : 16 mm, dan diameter saluran masuk : 21 mm, dan hasil uji unjuk kerja genset daya 1000 Watt yang meliputi frekuensi, arus dan putaran pada saat menggunakan katup biogas menunjukkan terjadinya kenaikan apabila dibandingkan dengan sebelum menggunakan katup biogas.

Kata kunci: *Katup biogas, Biogas, Genset, Venturi mixer.*

Abstract

To obtain the amount of the biogas stream in accordance with the needs of the combustion (idle rotation, stationary, acceleration), it is necessary to set the device biogas valve opening to match the needs of the combustion associated with the opening of the throttle which regulates the level of vacuum in the combustion chamber. So as to obtain optimal performance of the generator at any working conditions required the opening of the valve to regulate the amount of the biogas stream.

The study was conducted by the addition of channels and valves biogas in the carburetor venturi channels. Stages of this research include design engineering, manufacturing design, and performance testing of generators. Testing is done by comparing the performance of the generator with load variations. The performance parameters of the generator cover, frequency (Hz), current (amperes) and rotation (RPM).

The result the design engineering biogas valve inlet diameter size biogas fuel : 3.36 mm, diameter venturi : 10 mm, capillary gas : 8 mm, diameter of outlet : 16 mm, and the diameter of the channel added: 21 mm, and the performance test results 1000 Watt power generators which

include frequency, current and rotation when using biogas valve showed an increase when compared to the prior use of biogas valve .

Keywords : Valve biogas, Biogas, Genset, Venturi mixer.

1. Pendahuluan

Menipisnya cadangan bahan bakar fosil (BBM), meningkatkan Efek Gas Rumah Kaca (EGRK) mendorong pemerintah mencari sumber energi alternatif sebagai bahan bakar untuk substitusi/pengganti BBM. Sesuai dengan skenario optimalisasi energi mix nasional 2025 konsumsi bahan bakar ; batu bara (32,7%), gas bumi (30,6%), minyak bumi (26,2%), panas bumi (3,8%), PLTA (2,4%) dan yang lainnya 4,4% (PLTMH 0,216%, Biofuel 1,335%, tenaga surya 0,020%, tenaga angin 0,028%, fuel cell 0,000%, biomassa 0,766%, nuklir 1,993%) [1]. Sementara itu kondisi tanah pertanian yang semakin tandus dikarenakan penggunaan pupuk kimia mendesak pemerintah untuk mendorong masyarakat petani menggunakan pupuk organik. Sehingga saat ini perlunya dikembangkan konsep pertanian terpadu dengan prinsip “ *Zero Waste* “ (Anonymous, 2006).

Sehubungan dengan itu, pemerintah telah mendorong program Desa Mandiri Energi (DME) di wilayah Indonesia yang terdapat potensi energi alternatif untuk dikembangkan. DME ini dikembangkan dengan konsep pemanfaatan energi setempat khususnya energi terbarukan untuk pemenuhan kebutuhan energi dan kegiatan yang bersifat produktif. Adapun tujuannya adalah untuk meningkatkan produktivitas, kesempatan kerja dan kesejahteraan masyarakat pada umumnya melalui penyediaan energi terbarukan yang terjangkau dan berkelanjutan (Anonymous, 2010).

Sesuai dengan road map pengembangan energi terbarukan propinsi DIY target tahun 2025; PLTS 3000 KWp, PLTMH 750 KW (25 unit terpasang), PLTA Angin 160 KW, biogas 5000 unit terpasang, biodiesel 1,5% konsumsi solar dan Desa Mandiri Energi (DME) 10 desa. Dan sesuai dengan rencana umum energi daerah (RUED) propinsi DIY kecamatan Berbah merupakan salah satu wilayah yang potensi untuk pengembangan biomassa (biogas) sebagai sumber energi alternatif (Anonymous, 2010).

Di wilayah kecamatan Berbah kabupaten Sleman dengan potensi sumber daya alam (SDA) yang besar, dibidang perikanan tahun 2010 telah dilakukan pencaanangan sebagai kawasan minapolitan, kemudian di bidang pertanian sebagai penghasil jagung terbesar di sleman dan di bidang peternakan (sapi) nomer 2 di kabupaten sleman setelah kecamatan Prambanan setelah adanya erupsi Merapi 2010 ini (2083 ekor sapi, kapasitas 3421 ekor sapi) sangat potensi untuk dikembangkan menjadi DME untuk mendukung pembangunan pertanian terpadu dengan prinsip “*zero waste* “(Khudhori, 2010).

Di kelompok kandang Lembu Makmur Di dusun Blendangan desa Tegaltirto kecamatan Berbah (102 ekor sapi, kapasitas 184 ekor sapi) yang menjadi pilot plant DME (Desa Mandiri Energi) saat ini telah memiliki instalasi biogas. Biogas dari hasil instalasi ini selain digunakan untuk memasak (kompor), lampu penerangan (petromax) sebagian digunakan untuk menghidupkan Genset guna penerangan di malam hari di kandang kelompok untuk menggantikan bensin sebagai bahan bakar genset.

Akan tetapi dengan digunakannya biogas sebagai bahan bakar genset, tentu saja genset tersebut sudah di rancang (dimodifikasi) dengan berbahan bakar gas (biogas) sehingga pada saat biogas habis, genset tersebut tidak dapat dioperasikan menggunakan bensin kembali. Selain itu, pada saat genset dioperasikan menggunakan biogas, pada saluran sistem bahan bakar cepat terjadi korosi (karat) hal ini dikarenakan adanya kandungan uap air yang ada di dalam bahan bakar biogas (Khudhori, 2011).

Untuk mencari pemecahan permasalahan tersebut, telah dilakukan penelitian tentang perancangan (modifikasi) genset dengan berbahan bakar *hybrid* (biogas-bensin). Dari hasil penelitian telah didapatkan prototipe karburator genset berbahan bakar *hybrid*, akan tetapi dari hasil uji unjuk kerja genset didapatkan data bahwa saat pengujian mengalami kesulitan dalam menghidupkan genset, pada putaran tinggi terjadi penurunan daya genset, putaran genset tidak stabil, dan genset mati pada putaran tinggi. Hal ini dikarenakan terjadi kekurangan jumlah biogas yang masuk ke dalam ruang bakar pada putaran tinggi, sehingga mengakibatkan pembakaran dalam ruang bakar tidak sempurna (Khudhori, 2012).

Untuk mendapatkan jumlah aliran biogas yang sesuai dengan kebutuhan dalam pembakaran (putaran idle, stasioner, percepatan), diperlukan adanya perangkat yang mengatur pembukaan katup biogas agar sesuai dengan kebutuhan dalam pembakaran yang dihubungkan dengan pembukaan throttle yang mengatur tingkat kevakuman dalam ruang bakar. Sehingga untuk memperoleh unjuk kerja genset yang optimal pada setiap kondisi kerja (putaran idle, stasioner, percepatan), diperlukan perangkat katup untuk mengatur pembukaan jumlah aliran biogas.

2. Landasan Teori

Biogas

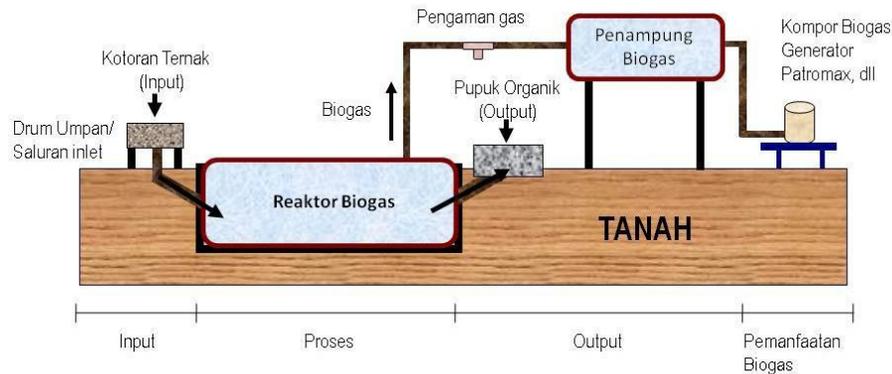
Salah satu sumber energi terbarukan yang berasal dari sumber daya alam hayati adalah biogas dari kotoran ternak. Biogas merupakan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan, dapat dibakar seperti gas elpiji (LPG) dan dapat digunakan sebagai sumber energi penggerak generator listrik, petromak biogas, penghangat ruang/kotak penetasan telur dll (Anonymous, 2010). Biogas dihasilkan dari proses fermentasi anaerob oleh mikroorganisme dari bahan organik, seperti limbah pertanian, kotoran ternak, kotoran manusia atau campurannya dalam suatu alat yang disebut dengan digester. Komposisi gasbio meliputi ; methane (CH₄) = 54 - 70%, karbon dioksida (CO₂) = 27 - 45%, nitrogen (N₂) = 0,5 - 3%, oksigen (O₂) = 0,1%, dan hidrogen sulfida (H₂S) < 0,1% (anonymous,____) Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pembuatan gasbio meliputi : faktor utama (rasio C/N = 20-30, kandungan bahan kering = 5-10%, aktivitas organisme) dan faktor penunjang (keasaman/PH + 7,0 -7,2, temperature = 32-36°C, pengadukan dan tidak mengandung bahan beracun) (Mitzlaff , 1988).

Kotoran dari 3 ekor ternak sapi atau 7 ekor ternak babi dapat menghasilkan kurang lebih 2 m³ biogas per hari. Kesetaraan biogas dengan sumber energi lain untuk setiap 1 m³ biogas : ± 0,46 kg gas elpiji, ± 0,62 liter minyak tanah, ± 0,52 liter minyak solar, ± 0,80 liter bensin dan ± 3,5 kg kayu bakar. Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH₄). Semakin tinggi kandungan metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metana semakin kecil nilai kalor (Anonymous, 2009).

Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter yaitu: *Pertama*, menghilangkan hidrogen sulphur, kandungan air dan karbon dioksida (CO₂). Hidrogen sulphur mengandung racun dan zat yang menyebabkan korosi, bila biogas mengandung senyawa ini maka akan menyebabkan gas yang berbahaya sehingga konsentrasi yang di ijinakan maksimal 5 ppm. Bila gas dibakar maka hidrogen sulphur akan lebih berbahaya karena akan membentuk senyawa baru bersama-sama oksigen, yaitu sulphur dioksida/ sulphur trioksida (SO₂ / SO₃) yang merupakan senyawa lebih beracun. Pada saat yang sama juga akan terbentuk sulphur acid (H₂SO₃) yaitu suatu senyawa yang lebih korosif. *Kedua*, menghilangkan kandungan karbon dioksida untuk meningkatkan kualitas, sehingga gas dapat

digunakan untuk bahan bakar kendaraan. Kandungan air dalam biogas akan menurunkan titik penyalaan biogas serta dapat menimbulkan korosif (Anonymous, 2009).

Saat ini berbagai jenis bahan dan volume digester serta peralatan biogas telah dikembangkan sehingga dapat disesuaikan dengan karakteristik wilayah, jenis, jumlah dan pengelolaan kotoran ternak yang akan dilakukan. Peralatan dan proses pengolahan dan pemanfaatan biogas ditampilkan pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Pengolahan dan Pemanfaatan Biogas

Pilot Plant Desa Mandiri Energi (DME) di Berbah

Desa Mandiri Energi (DME) merupakan salah satu program untuk pemenuhan kebutuhan energinya sendiri, penciptaan lapangan kerja dan pengurangan kemiskinan di desa-desa tertinggal, dengan mendorong kemampuan masyarakat setempat. Sasaran program ini salah satunya adalah melepaskan ketergantungan masyarakat desa terhadap BBM, utamanya minyak tanah. Program pengembangan Desa Mandiri Energi ini dilaksanakan secara bertahap, dimulai dengan prioritas desa binaan yang saat ini dikembangkan beberapa departemen, BUMN dan pihak swasta.

Sesuai dengan road map pengembangan energi terbarukan propinsi DIY target tahun 2025; PLTS 3000 KWp, PLTMH 750 KW (25 unit terpasang), PLTA Angin 160 KW, biogas 5000 unit terpasang, biodiesel 1,5% konsumsi solar dan Desa Mandiri Energi (DME) 10 desa (Anonymous, 2009). Dan sesuai dengan rencana umum energi daerah (RUED) propinsi DIY kecamatan Berbah merupakan salah satu wilayah yang potensi untuk pengembangan biomassa (biogas) sebagai sumber energi alternatif (Khudhori, 2010).

Di wilayah kecamatan Berbah kabupaten Sleman dengan potensi sumber daya alam (SDA) yang besar, dibidang perikanan tahun 2010 telah dilakukan pencaangan sebagai kawasan minapolitan, kemudian di bidang pertanian sebagai penghasil jagung terbesar di sleman dan di bidang peternakan (sapi) nomer 2 di kabupaten sleman setelah kecamatan Prambanan setelah adanya erupsi Merapi 2010 ini (2083 ekor sapi, kapasitas 3421 ekor sapi) sangat potensi untuk dikembangkan menjadi DME untuk mendukung pembangunan pertanian terpadu dengan prinsip “zero waste “(Khudhori, 2010).

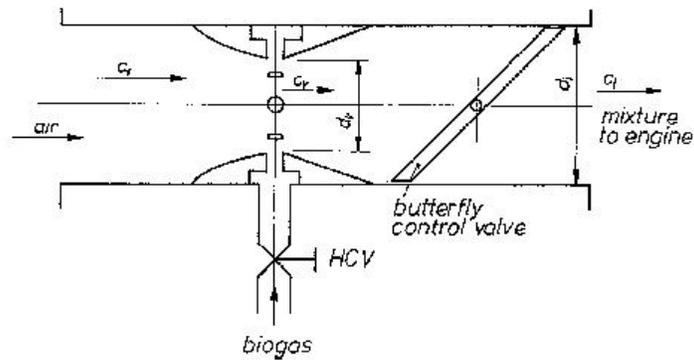
Modifikasi Mesin Bensin Berbahan Bakar Biogas

Modifikasi mesin Otto (pengapian busi, mesin petrol atau bensin) relatif mudah ketika bila mesin didesain untuk beroperasi pada campuran bahan bakar-udara dengan pengapian busi. Modifikasi dasar dilakukan pada pencampuran gas-udara yang ada dalam karburator. Kinerja mesin dipengaruhi oleh variasi suplai campuran, dan juga posisi katup pembukaan (*throttle valve*). Kenaikan perbandingan kompresi juga diperlukan untuk menaikkan efisiensi proses

(termodinamika). Sehingga akan diperoleh konsumsi bahan bakar yang lebih rendah dan daya keluaran lebih tinggi. Disamping itu juga diperlukan pengaturan sistem pengapian dikarenakan kecepatan pembakaran biogas relatif lebih lambat dibandingkan dengan bensin (Herringshaw, 2009).

Desain Peralatan Pencampur (*Ventury Mixer*)

Desain venturi mixer diperlukan untuk mencampur udara dan biogas sebelum masuk mesin. Penggunaan venturi mixer efek mekanika fluidanya sama seperti karburator standar, sehingga perubahan kuantitas dan kecepatan aliran udara mengakibatkan perubahan tekanan saluran kontraksi yang merubah efek perubahan aliran dari bahan bakar untuk bergabung dan bercampur dengan aliran udara utama sesuai dengan proporsi yang diinginkan.



Gambar 2. Venturi mixer tipe hole

c_1 = velocity di mixer inlet, c_v = velocity di venturi contraction,
 d_1 = diameter mixer/engine inlet, d_v = diameter venturi contraction,
 c_i = velocity campuran pada engine inlet.

3. Hasil dan Pembahasan

a. Hasil Penelitian



Gambar 3. Desain karburator dengan katup biogas



Gambar 4. Karburator GX 154 hasil modifikasi



Gambar 5. Pengujian unjuk kerja genset

Tabel 4.1 Hasil uji frekuensi vs beban lampu

| Beban lampu (Watt) | Frekuensi tanpa katup biogas (Hz) | Frekuensi dengan katup biogas (Hz) |
|---------------------------|--|---|
| 100 | 53,5 | 54,0 |
| 200 | 53,2 | 53,8 |
| 300 | 53,1 | 53,4 |
| 400 | 51,7 | 53,1 |
| 500 | 50,4 | 52,7 |

Tabel 4.2 Hasil uji arus vs beban lampu

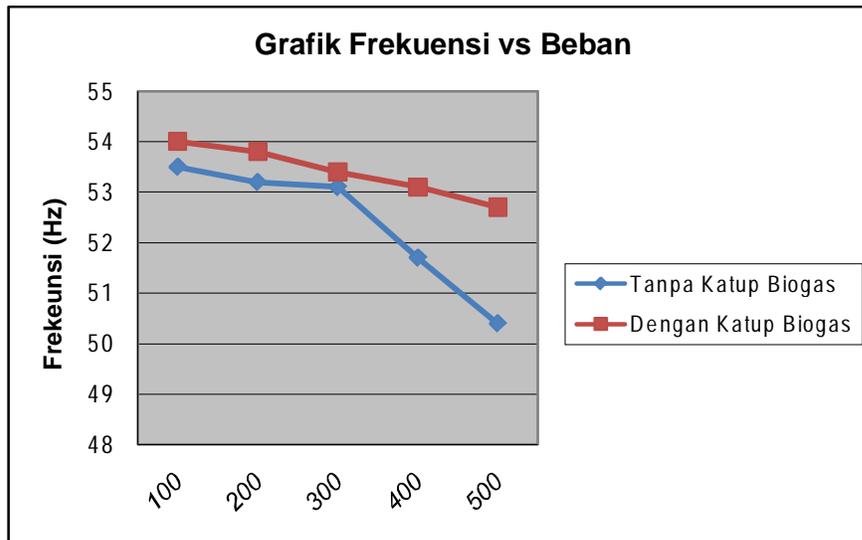
| Beban lampu (Watt) | Arus tanpa katup biogas (Ampere) | Arus dengan katup biogas (Ampere) |
|---------------------------|---|--|
| 100 | 0,46 | 0,52 |
| 200 | 0,99 | 1,15 |
| 300 | 1,53 | 1,98 |
| 400 | 2,06 | 2,25 |
| 500 | 2,58 | 2,95 |

Tabel 4.3 Hasil uji putaran mesin vs beban lampu

| Beban lampu (Watt) | Putaran mesin tanpa katup biogas (RPM) | Putaran mesin dengan katup biogas (RPM) |
|--------------------|--|---|
| 100 | 3210 | 3350 |
| 200 | 3192 | 3260 |
| 300 | 3186 | 3245 |
| 400 | 3120 | 3150 |
| 500 | 3024 | 3110 |

b. Pembahasan

1) Frekuensi vs beban lampu



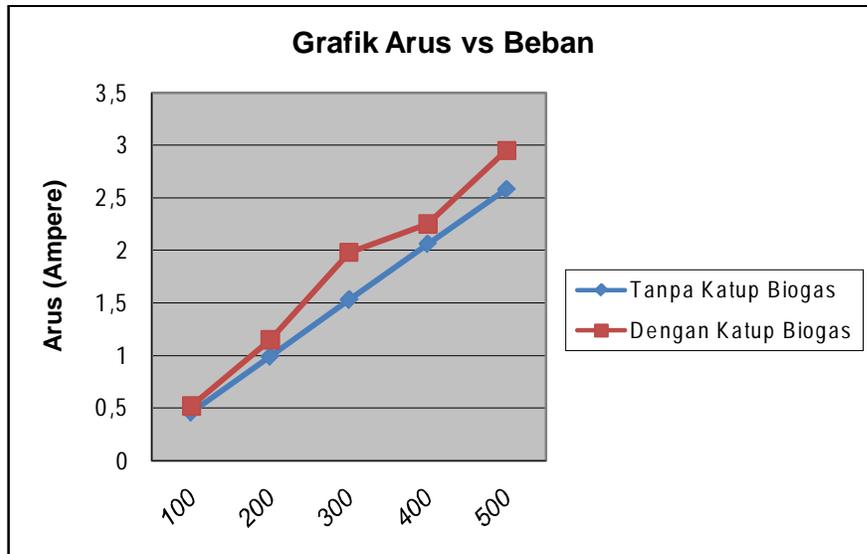
Gambar 6. Grafik hubungan frekuensi vs beban

Dari penjelasan grafik hubungan antara frekuensi dengan beban pada saat tanpa katup biogas dapat dijelaskan bahwa pada pengujian pertama yang menggunakan beban 100 watt menghasilkan frekuensi sebesar 53,5 Hz dan pada beban 500 watt frekuensi yang dihasilkan sebesar 50,5 Hz. Untuk pengujian yang kedua pada saat menggunakan katup biogas untuk beban 100 watt menghasilkan frekuensi sebesar 54,0 Hz dan pada beban 500 watt frekuensi yang dihasilkan sebesar 52,7 Hz. Sehingga dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa frekuensi yang dihasilkan oleh genset saat menggunakan katup biogas lebih stabil/lebih baik apabila dibandingkan pada saat belum menggunakan katup biogas. Hal ini dikarenakan supply bahan bakar biogas untuk pembakaran yang melalui saluran venturi mixer sesuai dengan kebutuhan biogas yang dibutuhkan untuk pembakaran.

2) Arus vs beban lampu

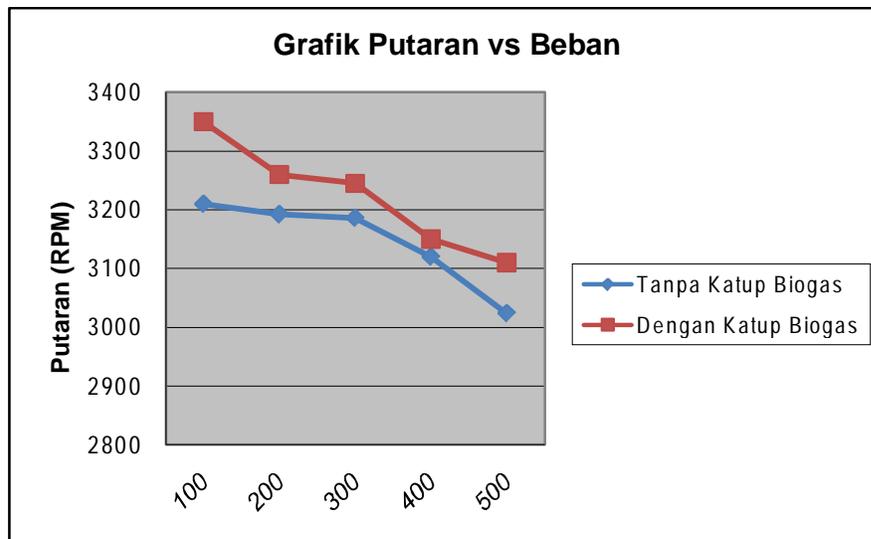
Dari penjelasan grafik hubungan antara arus dengan beban pada saat tanpa katup biogas dapat dijelaskan bahwa pada pengujian pertama yang menggunakan beban 100 watt menghasilkan arus sebesar 0,46 ampere dan pada beban 500 watt arus yang dihasilkan sebesar 2,58 ampere. Untuk pengujian yang kedua pada saat menggunakan katup biogas untuk beban 100 watt menghasilkan arus sebesar 0,52 ampere dan pada beban 500 watt arus yang dihasilkan sebesar 2,95 ampere. Sehingga dari grafik di atas dapat diketahui bahwa arus yang dihasilkan oleh genset

saat menggunakan katup biogas lebih stabil/lebih baik apabila dibandingkan pada saat belum menggunakan katup biogas. Hal ini dikarenakan supply bahan bakar biogas untuk pembakaran yang melalui saluran venturi mixer sesuai dengan kebutuhan biogas yang dibutuhkan untuk pembakaran.



Gambar 7. Grafik hubungan arus vs beban

3) Putaran mesin vs beban lampu



Gambar 8. Grafik perbandingan putaran mesin vs beban lampu

Dari penjelasan grafik hubungan antara putaran dengan beban pada saat tanpa katup biogas dapat dijelaskan bahwa pada pengujian pertama yang menggunakan beban 100 watt menghasilkan putaran sebesar 3210 RPM dan pada beban 500 watt putaran yang dihasilkan sebesar 3024 RPM. Untuk pengujian yang kedua pada saat menggunakan katup biogas untuk beban 100 watt menghasilkan putaran sebesar 3350 RPM dan pada beban 500 watt putaran yang dihasilkan sebesar 3110.

Sehingga dari grafik di atas dapat diketahui bahwa arus yang dihasilkan oleh genset saat menggunakan katup biogas lebih stabil/lebih baik apabila dibandingkan pada saat belum menggunakan katup biogas. Hal ini dikarenakan supply bahan bakar biogas untuk pembakaran yang melalui saluran venturi mixer sesuai dengan kebutuhan biogas yang dibutuhkan untuk pembakaran

4. Kesimpulan

Desain enjiniring saluran biogas dengan katup biogas diperoleh ukuran diameter saluran masuk bahan bakar biogas: 3,36 mm, diameter venturi : 10 mm, pipa kapiler bensin : 8 mm, diameter saluran keluar : 16 mm, dan diameter saluran masuk : 21 mm. Hasil uji unjuk kerja genset daya 1000 Watt yang meliputi frekuensi, arus dan putaran pada saat menggunakan katup biogas menunjukkan terjadinya kenaikan apabila dibandingkan dengan sebelum menggunakan katup biogas. Hal ini dikarenakan supply bahan bakar biogas untuk pembakaran yang melalui saluran venturi mixer sesuai dengan kebutuhan biogas yang dibutuhkan untuk pembakaran dalam ruang bakar.

5. Saran

- a. Dengan adanya penambahan katup biogas pada sistem bahan bakar biogas dapat menaikkan unjuk kerja genset, sehingga hasil penelitian ini dapat diaplikasikan pada sistem bahan bakar dengan biogas pada mesin yang lain.
- b. Untuk mengetahui pengaruh bentuk dan letak *nozzle ventury mixer* terhadap unjuk kerja genset, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh letak dan bentuk *nozzle ventury mixer* terhadap unjuk kerja genset.

6. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada DITLITABMAS Dirjen Dikti di Jakarta yang telah mendanai penelitian ini melalui Penelitian Dosen Pemula Bagi Dosen Perguruan Tinggi Swasta Tahun Anggaran 2013 Nomor : 224/SP2H/PL/Dit. Litabmas/VI/2013 Tanggal 27 Juni 2013.

Daftar Pustaka

- [1] Anonymous, 2006. “*Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025* “, ESDM, Jakarta.
- [2] Anonymous. _____.” *Modul Pelatihan Pengembangan Biogas Limbah Peternakan*”, LiBEC, UNPAD, Bandung.
- [3] Anonymous. 2008.” *Pemanfaatan Alat Pengolah Pupuk Organik (APPO) Tahun 2008*”, Departemen Pertanian, Jakarta.
- [4] Anonymous. 2009.” *Profil Pengembangan Bio-Energi Perdesaan (Biogas)*”, Departemen Pertanian, Jakarta.
- [5] Anonymous. 2010.” *Pedoman Teknis Pengembangan Usaha Pengolahan Kompos Dan Biogas*”, Kementerian Pertanian, Jakarta.
- [6] Anonymous. 2010.” *Rencana Umum Energi Daerah (RUED) Propinsi DIY*”, Dinas PUP-ESDM Propinsi DIY, Yogyakarta.

- [7] Anonymous. 2010.” *SNI 7580 : 2010 Mesin Pencacah (Chopper) Bahan Pupuk Organik Syarat Mutu Dan Metode uji* ”, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [8] Bui Van Ga-Le Minh Tien, Truong Le Bich Tram, Tran Hau Luong. 2008. “*Biogas-Gasoline Hybrid engine* “, *Tap Chi Khoa Hoc Va Cong Nghe, Dai Hoc Da Nang-so* 3(26).2008, p.40-48.
- [9] Herringshaw B. 2009. ” *A Study of Biogas Utilization Efficiency Highlighting Internal Combustion Electrical Generator Units* ”, Ohio State University, USA.
- [10] Khudhori M. 2010. ” *Konsep Pertanian Terpadu Dengan Prinsip “ Zero Waste” Pilot Project DME Di Kelompok Kandang Berbah* ”, Paguyuban Peduli Sleman (PPS), Yogyakarta.
- [11] Khudhori M. 2011. “*Desain Modifikasi Karburator Pada Mesin Penggerak APPO Berbahan Bakar Biogas di Pilot Plant DME (Desa Mandiri Energi) Berbah*”, Laporan Penelitian Kopertis V Tahun 2011.
- [12] Khudhori M. 2012. “*Modifikasi Genset Berbahan Bakar Hybrid (Biogas-Bensin) Untuk Mendukung Pilot Plant DME (Desa Mandiri Energi) di Berbah*”, Laporan Penelitian Dosen Pemula Dikti Tahun 2012.
- [13] Mitzlaff K.V. 1988. ” *Engine For Biogas* ”, GTZ. Africa.
- [14] Mustafi N., Raine R.R., Bansal P.K. _____. ” *Biogas Fuel For Internal Combustion Engines* ”, Department of Mechanical Engineering The University of Auckland.
- [15] Nugraha S.A. 2011. “*Modifikasi Karburator Genset Bahan Bakar Bensin Menjadi Bahan Bakar Biogas atau Bensin (Hybrid) Pada Mesin Bensin 4 Langkah Tipe GX 154 Yasuka*”, Skripsi S-1 Jurusan Teknik Mesin STTA Yogyakarta, tidak dipublikasikan.
- [16] Pulkrabek W.W., 2004. “*Engineering Fundamental of the Internal combustion Engine*”, Prentice Hall., Wisconsin.
- [17] Steffan M. 2004. ” *Biogas Fuel for Internal Combustion Engines*”, University of Novi Sad Faculty of Engineering, Serbia.