

Biogas untuk Menghasilkan Energi Listrik

Paniran¹, Rosmaliati¹, Abdul Natsir¹

¹ Jurusan Teknik Elektro Universitas Mataram, Jl. Majapahit No.62 Mataram 83125, Indoensia, Telp (0370)636126 Fax (0370)636523

ARTICLE INFO

Article history :

Received August 15, 2023
Revised August 24, 2023
Accepted August 29, 2023

Keywords:

Biogas;
Digester;
Fixed dome;
Anaerobic;
Electric.

ABSTRACT

Biogas, a methane-rich gas produced from the fermentation of organic matter by anaerobic bacteria, presents a viable alternative energy solution. In West Nusa Tenggara Province, there's a mounting enthusiasm for this energy, either by direct combustion or conversion to electricity. This uptick in interest stems from several factors: the Provincial Government's "One Million Cows" program, rising petroleum fuel costs, and potential inorganic fertilizer shortages. Seizing this opportunity, the team initiated an in-depth study. The methodology includes the creation of an 8 m³ fixed dome digester, filling it with organic substrates for biogas generation, storing the gas in designated reservoirs, and optimizing the entire system's integration. Preliminary experiments at the Renewable Energy Laboratory (Lab. EBT) of the Faculty of Engineering, University of Mataram, have shown promise. An 8 m³ digester has a biogas output of 2.152 m³/day. When this biogas powers a 200-watt generator, it's consumed at 0.133 m³ every 15 minutes, equating to a biogas-to-electricity conversion rate of 2.4 m³/kWh. This indicates that the daily biogas output can support a 200-watt load for roughly 4 hours

Biogas adalah gas kaya metana yang dihasilkan dari fermentasi bahan organik oleh bakteri anaerob. Saat ini merupakan solusi energi alternatif yang layak. Di Provinsi Nusa Tenggara Barat, antusiasme terhadap energi ini semakin meningkat, baik melalui pembakaran langsung maupun konversi menjadi listrik. Peningkatan minat ini disebabkan oleh beberapa faktor: program “Satu Juta Sapi” yang dicanangkan Pemerintah Provinsi, meningkatnya harga bahan bakar minyak, dan potensi kekurangan pupuk anorganik. Memanfaatkan peluang ini, tim menggagas kajian mendalam. Metodologinya mencakup pembuatan reaktor kubah tetap berukuran 8 m³, mengisinya dengan substrat organik untuk menghasilkan biogas, menyimpan gas di reservoir yang ditentukan, dan mengoptimalkan integrasi seluruh sistem. Eksperimen pendahuluan di Laboratorium Energi Terbarukan (Lab. EBT) Fakultas Teknik Universitas Mataram menunjukkan hasil yang menjanjikan. Sebuah reaktor berukuran 8 m³ mempunyai keluaran biogas sebesar 2.152 m³/hari. Ketika biogas ini digunakan untuk menggerakkan generator berkapasitas 200 watt, maka konsumsinya mencapai 0,133 m³ setiap 15 menit, setara dengan tingkat konversi biogas menjadi listrik sebesar 2,4 m³/kWh. Hal ini menunjukkan bahwa keluaran biogas harian dapat mendukung beban 200 watt selama kurang lebih 4 jam

Corresponding Author:

Paniran, Teknik Elektro Universitas Mataram, Jl. Majapahit No.62 Mataram, Kota Mataram 83125, Indonesia
Email: paniran@unram.ac.id

1. PENDAHULUAN

Provinsi Nusa Tenggara Barat mencanangkan program NTB Bumi Sejuta Sapi (NTB-BSS) yang menargetkan peningkatan populasi dari 546.114 ekor pada tahun 2009 menjadi sekitar 1 juta ekor pada tahun 2013 atau total penambahan populasi sebanyak setengah juta ekor. Peningkatan populasi ternak sapi secara nasional dan regional akan meningkatkan limbah yang dihasilkan. Apabila limbah tersebut tidak dikelola sangat berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan terutama dari limbah kotoran yang dihasilkan ternak setiap hari. Pembuangan kotoran ternak sembarangan dapat menyebabkan pencemaran pada air, tanah dan udara (bau), berdampak pada penurunan kualitas lingkungan, kualitas hidup peternak dan ternaknya serta dapat memicu konflik sosial. Pengelolaan limbah yang dilakukan dengan baik selain dapat mencegah terjadinya pencemaran lingkungan juga memberikan nilai tambah terhadap usaha ternak. Pemanfaatan limbah kotoran ternak sebagai pupuk kompos dapat menyehatkan dan menyuburkan lahan pertanian. Selain itu kotoran ternak juga dapat digunakan sebagai sumber energi biogas.

Biogas tersebut dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin pembangkit listrik berbahan bakar bensin atau diesel. Beberapa literatur menyebutkan hanya diperlukan 0,0003 meter kubik biogas untuk menghasilkan listrik sebesar 1 kW atau 1,08 m³/kwh. Sumber energi biogas menjadi sangat penting karena harga bahan bakar fosil yang terus meningkat dan ketersediaan bahan bakar yang tidak konstan dipasaran, menyebabkan semakin terbatasnya akses energi bagi masyarakat termasuk peternak.

Biogas merupakan sumber energi terbarukan yang dihasilkan oleh fermentasi anaerobik dari bahan organik. Biogas dapat diproduksi dari limbah kotoran hewan, air limbah, dan limbah padat. Komposisinya bervariasi, tergantung sumber bahan biogasnya. Akan tetapi, biasanya memiliki kandungan 50 - 70 % CH₄, 25 - 50 % CO₂, 1 - 5 % H₂, 0,3 - 3 % N₂ dan H₂S[12].

Salah satu karakteristik yang menarik adalah biogas dapat diproduksi mendekati titik konsumsinya sehingga sangat ideal untuk pembangkit listrik yang terdesentralisasi di daerah pedesaan terpencil. Di sisi lain, biogas juga dapat diproduksi pada skala yang lebih besar dari bahan limbah perkotaan dan digunakan untuk menghasilkan listrik bagi masyarakat setempat [6].

Dalam dekade terakhir ini, kebutuhan dunia akan sumber energi alternatif (SEA) dan terbarukan meningkat dengan laju hampir 25% per tahun. Peningkatan ini didorong oleh: (i) naiknya kebutuhan energi listrik; (ii) naiknya keinginan untuk menggunakan teknologi yang bersih; (iii) terus naiknya harga bahan bakar fosil; (iv) naiknya biaya pembangunan saluran transmisi; dan (v) naiknya untuk meningkatkan jaminan pasokan energi. Agar peran SEA bisa meningkat dengan cepat maka harga dan keandalan sistem pembangkit listrik berbasis energi alternatif harus bisa bersaing dengan pembangkit konvensional. Energi biogas sangat potensial untuk dikembangkan di NTB karena sejalan dengan program Bumi Sejuta Sapi.

Selain alasan ekonomis, penggunaan sumber energi alternatif bisa digunakan untuk memperbaiki kemandirian suatu negara atau daerah. SEA bisa digunakan untuk ikut memperbaiki memburuknya lingkungan akibat emisi CO₂ yang dihasilkan pembangkit konvensional. Terus naiknya pasar pembangkit listrik berbasis SEA harus digunakan sebagai momentum untuk mempersiapkan diri sehingga rakyat NTB tidak hanya menjadi konsumen dan penonton.

Tujuan penelitian ini dititik beratkan pada untuk mengetahui bagaimana potensi penggunaan biogas pada *pilot plant* yang sudah terinstalasi pada laboratorium Energi Baru dan Terbarukan (EBT) Fakultas teknik Unram, sehingga diharapkan hasil pengujian ini dapat digunakan sebagai tahap awal untuk mengetahui bagaimana potensi biogas sebagai sumber pembangkit listrik yang siap untuk diimplementasikan di daerah pedesaan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan menggunakan metode observasi atau pengukuran dan studi literatur.

2.1. Observasi

Metoda ini dilakukan penulis dengan pengamatan dan cara mengukur langsung parameter-parameter yang berkaitan dengan sistem Biogas yang terinstalasi. Pengujian produksi biogas bertujuan untuk mengetahui produksi biogas yang dihasilkan *digester* perhari yang ada di *Pilot Plant* Biogas pada laboratorium Energi Baru dan Terbarukan (EBT) Fakultas Teknik Universitas Mataram. Sistem *digester* dihubungkan ke penampung menggunakan pipa PVC Ø1/2” melalui manometer dan flowmeter. Data produksi biogas digunakan sebagai indikator keberhasilan penerapan instalasi biogas dan digunakan pula untuk analisis kebutuhan biogas untuk dikonversikan ke listrik.

Pengukuran produksi biogas dilakukan dengan cara mengukur debit biogas yang keluar dari *digester*. Pengukuran produksi biogas dilakukan selama 60 hari dengan pencatatan pada setiap hari di jam yang sama. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat flow-meter gas.



Gambar 1. Alat untuk pengukuran produksi biogas (*flowmeter*)

Pengujian produksi biogas diawali dengan persiapan bahan baku yaitu kotoran sapi yang didatangkan dari kandang peternakan sapi di lombok barat. Dalam pengisian digester ini mengikuti standart dari peneliti-peneliti sebelumnya yaitu untuk pengisian awal sebanyak 175 – 200kg/ m³. Sehingga untuk kapasitas digester 8 m³ harus diisi 1500-1800 kg. Dalam penelitian ini digester diisi sebanyak 1500 kg atau 5 kendaraan pikcup, karena sekali angkut memuat 20 karung plastik dan masing-masing karung \pm 15 kg. Kotoran sapi dicampur air dengan perbandingan 1:1 atau dengan keenceran sedang. Selanjutnya dilakukan pengamatan pada manometer. Untuk melihat ada atau tidak biogas dalam digester cukup mengamati tekanan pada manometer. Jika sudah ada biogas maka dialirkan ke plastik penampung melewati flowmeter hingga tekanannya menunjukkan nol. Flowmeter digunakan untuk mengetahui berapa jumlah biogas yang dihasilkan. Pemindahan biogas dari digester ke panampung dilakukan tiap hari pada jam yang sama, dan hasilnya di catat dalam tabel.

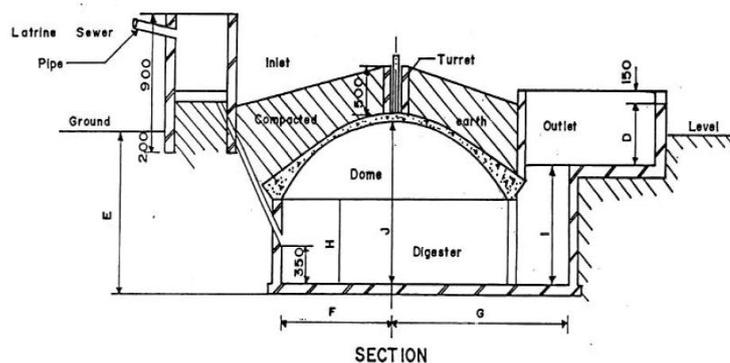
2.2. Studi Literatur

Untuk menganalisis dan mengkomparasi hasil yang diperoleh penulis melakukan pencarian data literatur baik melalui internet, *textbook*, dokumentasi, jurnal ilmiah, dan sebagainya yang berhubungan dengan masalah biogas dikonversi menjadi tenaga listrik (sebagai bahan bakar mesin penggerak).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Produksi Biogas

Tahapan awal untuk mengetahui produksi biogas adalah harus mengetahui tipe dan bahan dasar digester. Spesifikasi Digester yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe *fixed dome* (*China Type*).



Gambar 2. *Fixed dome digester plant*



Gambar 3. (kiri) Dinding dan dasar digester; (kanan) pemlesteran kubah/dome.



Gambar 4. Pengumpan (*inlet*) digester

Tabel 1. Spesifikasi peralatan konversi biogas listrik

Digester :	
- Tipe	Kubah Tetap (<i>fixed dome</i>)
- Sistem pengumpanan	Curah (<i>Batch</i>)
- Kapasitas	8 m ³
- Diameter	300 cm
- Tinggi	100 cm
- Bahan kubah	Beton
- Bahan lantai dan dinding	Bata merah
- Ketebalan beton	80 - 100 mm
- Ketebalan plesteran	10 - 20 mm
- Dimensi inlet / pencampur	Diameter 60 cm; tinggi 75 cm
- Dimensi bak outlet slurry	150 x 200 x 75 cm
Penampung biogas	Bahan plastik polietilen dengan tebal 1 mm, kapasitas tampung 8 m ³ dan 6 m ³
Flow meter biogas	Buatan pabrik
Purifier CO ₂	Karbon aktif
Purifier H ₂ O	Silica
Pump regulator	Buatan pabrik
Genset	Genset Biogas 600 W buatan pabrik
Beban	Simulator beban Lab.EBT

3.2. Pengisian Digester

Dalam pengisian digester ini mengikuti standart dari peneliti-peneliti sebelumnya yaitu untuk pengisian awal sebanyak 175 – 200 kg / m³. Sehingga untuk kapasitas digester 8 m³ harus diisi 1500-1800 kg. Dalam penelitian ini digester diisi sebanyak 1500 kg atau 5 kendaraan pikcup, karena sekali angkut memuat 20 karung plastik dan masinig-masing karung \pm 15 kg. Kotoran sapi dicampur air dengan perbandingan 1:1 atau dengan keenceran sedang sebagaimana terlihat pada Gambar 5.



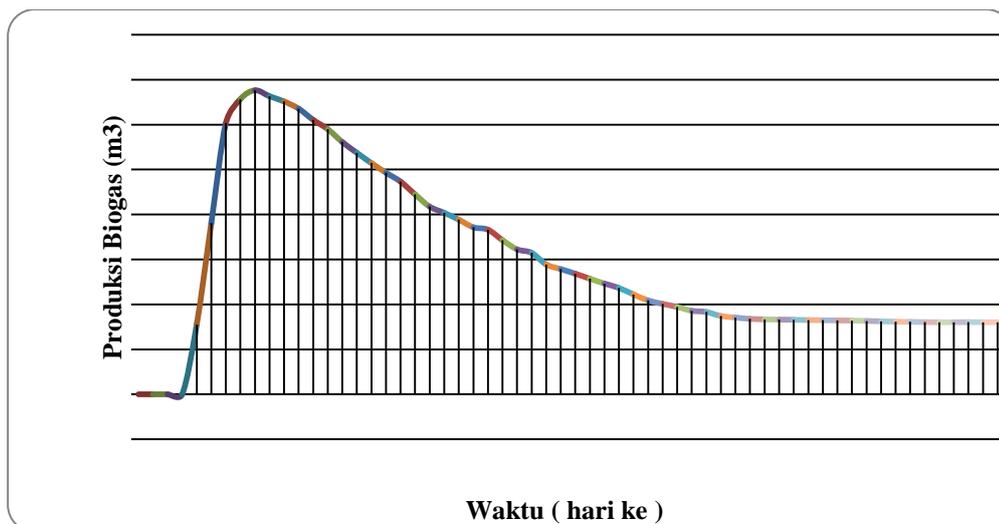
Gambar 5. Pengisian digester dengan bahan dasar kotoran sapi

3.3. Penampungan Biogas

Setelah pengisian dilakukan penampungan dan pengukuran produksi biogas. Untuk melihat ada atau tidak biogas dalam digester cukup mengamati tekanan pada manometer. Jika sudah ada biogas maka dialirkan ke plastik penampung melewati flowmeter hingga tekanannya menunjukkan nol. Flowmeter digunakan untuk mengetahui berapa jumlah biogas yang dihasilkan. Pemindahan biogas dari digester ke panampung dilakukan tiap hari pada jam, dan hasilnya di catat dalam tabel.



Gambar 6. Penampung biogas 8m³ dan 6 m³ serta flowmeter



Gambar 7. Grafik hubungan waktu terhadap produksi biogas sekali pengumpanan

3.4. Analisis faktor-faktor yang berpengaruh pada pencernaan

Selama pengukuran (60 hari) rata-rata produksi biogas dengan kapasitas 8 m³ adalah 1,469 m³. Dari grafik hubungan waktu dengan produksi biogas (Gambar 4), diperoleh waktu efektif produksi biogas antara hari ke7 sampai ke 22 atau selama 15 hari yaitu diatas 2 m³/hari . Sejak hari ke 38 produksi biogas tergolong sangat rendah yaitu kurang dari 1 m³/hari. Dalam rentang waktu efektif , tersebut jika dirata-rata produksi biogas adalah 2,152 m³/hari atau 27 % dari kapasitas. Jika kita bandingkan dengan teori, produksi biogas 50 – 75 % dari volume digester.

Tentu banyak faktor yang harus diperhatikan, antarlain; Suhu, kosentrasi campuran, laju pengumpanan, PH digester, Waktu tinggal dalam pencernaan, jenis rumput makanan ternak, jenis ternak, iklim, dan sebagainya.

Suhu, Bakteri metanogen dalam keadaan tidak aktif pada kondisi suhu ekstrim tinggi maupun rendah. Ketika suhu udara turun sampai 10⁰C produksi gas menjadi berhenti. Produksi gas sangat bagus yaitu pada kisaran mesofilik, antara suhu 25⁰C dan 30⁰C. Dalam penelitian ini suhu digester tidak diukur.

Kosentrasi campuran, campuran terlalu kental akan menghambat proses reaksi zat oleh bakteri anaerob, demikian juga jika terlalu encer kosentrasi yang seharusnya bereaksi tidak mencukupi. Maka idealnya adalah kosentrasi yang setimbang secara kimiawi.

Waktu tinggal dalam pencernaan (digester), adalah rerata periode waktu saat input masih berada dalam digester dan proses pencernaan oleh bakteri metanogen. Waktu tinggal dalam digester dihitung dengan pembagian volume total dari pencernaan oleh volume input yang ditambah setiap hari. Waktu tinggal juga tergantung pada suhu, diatas 35⁰C atau suhu lebih tinggi, waktu tinggal semakin singkat.

Untuk menjaga produksi biogas selalu konstan di atas 2 m³/hari dapat dihitung dengan membagi keperluan digester terhadap waktu efektif akhir. yaitu 1500 kg / 22 hari = 68 kg /hari atau setara dengan kotoran 7 - 9 ekor sapi.

3.5. Pengujian Konversi biogas listrik

Pengujian konsumsi biogas dilakukan dengan mengukur debit biogas yang masuk kedalam ruang bakar genset. Biogas yang tertampung dalam penampungan disalurkan dengan pipa menuju genset. Sebelum masuk genset, biogas terlebih dahulu melewati beberapa peralatan, antarlain;

- **Pump regulator**, untuk memberikan tekanan biogas secara konstan dan agar memenuhi syarat dalam proses pembakaran pada generator.
- **Purifier karbon aktif**, agar kosentrasi CO₂ pada biogas menurun sehingga memenuhi syarat untuk bahan bakar generator.
- **Manometer**, pengukur tekanan biogas yang akan masuk kedalam ruang bakar genset.
- **Purifier silica**, untuk menurunkan kadar H₂O.
- **Flowmeter** , berfungsi untuk mengetahui debit biogas yang masuk kedalam genset persatuan waktu.



Gambar 8. Sistem pengujian konversi biogas ke listrik

Dalam penelitian ini, Genset yang digunakan adalah Generator biogas produksi pabrik dengan kapasitas 600 Watt. Yang dilengkapi modul yang berisi: Lampu indikator , keluaran tegangan bolak-balik (AC), protector AC, tegangan searah 12 volt, dan protector DC. Dalam pengujian runing generator biogas di bebani dengan simulasi beban yang menggambarkan kebutuhan listrik dalam rumah tangga yaitu 7 lampu dan 6 stopkontak/ outlet.



Gambar 9. Simulasi beban rumahtangga di Lab.EBT Teknik Unram.

Pengukuran konsumsi biogas dilakukan pada beban listrik yang sama yaitu 200 W, Pengukuran dilakukan setiap 15 menit untuk masing-masing beban. Kemudian dicatat dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil pengujian konversi biogas ke energi listrik

Waktu (menit ke)	Laju konsumsi biogas (m ³ /15 menit)	Akumulasi konsumsi generator biogas (m ³)	Tegangan terukur	Total beban (watt)	Total energi yg dihasilkan (watt.jam)
0	0	0	0	0	0
15	0,132	0,132	226	200	50
30	0,133	0,265	224	200	100
45	0,132	0,397	223	200	150
60	0,134	0,531	223	200	200
75	0,135	0,666	222	200	250
90	0,134	0,8	219	200	300

Waktu runing generator berbeban terlama yang pernah dilakukan dalam penelitian ini adalah selama 90 menit atau 1,5 jam. Kemudian tiba-tiba generator mati, dan harus menunggu sekitar 30 menit generator dapat running kembali. Pada saat running generator dalam kondisi normal, maksudnya dapat dibebani 7 lampu 1 televisi dan 1 komputer (laptop). Tegangan yang di tunjukkan alat ukur normal rata-rata 222,8 volt. Berdasarkan analisis bahwa generator dipasang pengaman *thermofuse* sehingga jika mencapai panas tertentu generator mati sendiri.

Hasil pengukuran selama 90 menit tersebut sebagai dasar analisis. Untuk mendapatkan 300 watt.jam, genset mengkosumsi 0,8 m³. Berarti koefisien konversi biogas ke listrik adalah 2,67 m³ untuk mendapatkan 1 kwh. Hasil pengujian ini belum mewakili atau mendekati harapan, yaitu berdasarkan beberapa literatur menyebutkan hanya diperlukan 1,08 meter kubik biogas untuk menghasilkan listrik sebesar 1 kWh. Beberapa hal penyebab tidak diperolehnya koefisien konversi yang baik adalah;

- Jenis atau kualitas genset yang berbeda, hal ini terkait dengan efisiensi genset.
- Mutu biogas yang dimasukan ke genset, hal ini terkait kemampuan filter/purifier zat tidak bekerja dengan maksimal.
- Setting beberapa parameter pada genset belum optimal, seperti katup bukaan udara, dan sebagainya.

Meskipun dari sisi koefisien konversi tergolong rendah 2,67m³/kwh, namun sangat cocok untuk daerah pedesaan terpencil. Dengan beban yang sama yaitu 200 watt, mereka akan menikmati listrik selama \pm 5 jam per hari. Salah satu karakteristik dari biogas yang menarik adalah dapat diproduksi mendekati titik konsumsinya sehingga sangat ideal untuk pembangkit listrik yang terdesentralisasi di daerah pedesaan terpencil.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan serangkaian pengujian dan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, beberapa kesimpulan penting dapat diambil. Pertama, Pembangkit Listrik Tenaga Biogas yang berada di laboratorium EBT Fakultas Teknik Universitas Mataram belum beroperasi dengan kapasitas optimal. Meskipun teori menyatakan bahwa digester dengan kapasitas 8 m³ seharusnya mampu menghasilkan antara 4-6 m³ biogas setiap harinya, namun pada kenyataannya hanya mampu memproduksi sekitar 2,152 m³ biogas per hari. Kedua, ada beberapa faktor yang mungkin menjadi penyebab kurangnya produksi biogas ini, seperti suhu, konsentrasi campuran, laju pengumpanan, PH digester, waktu tinggal dalam pencernaan, jenis rumput yang menjadi makanan ternak, jenis ternak itu sendiri, kondisi iklim, dan lain-lain. Ketiga, konsumsi biogas untuk menggerakkan genset dengan beban 200 watt tercatat relatif konstan, yaitu 0,133 m³ setiap 15 menit. Dengan kata lain, koefisien konversi biogas ke listrik adalah sekitar 2,67 m³/kWh. Terakhir, dengan produksi biogas sehari dari digester berkapasitas 8m³, jika dikonversi menjadi listrik dengan beban 200 Watt, energi yang dihasilkan dapat digunakan selama kurang lebih 4 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Deublein and A. Steinhauser, *Biogas from waste and renewable resources*. Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Germany, 2008.
- [2] A. J. Diefenderfer dan B.E. Holton, 1994, *Principles of electronic instrumentation*, Saunders College Publishing, USA.
- [3] Falah, M. A. Fajar 2008. *Perspektif Pertanian dalam Lingkungan yang Terkontrol*. <http://io.ppijepang.org/article.php>
- [4] H. H. Jawurek, N. W. Lane, and C. J. Rallis, Biogas/petrol dual fuelling of SI engine for rural third use," *Biomass*, Volume 12, 1987, pp. 87-103.
- [5] J. Guo, C. Q. Schmitz, "Numerical Investigation on the Performance of Spark Ignition Engine Used for Electricity Production Fuelled by Natural Gas/Liquefied Petroleum Gas-Biogas Blends with Modelica," in *Proceeding of 2nd International onference on Computer Engineering and Technology (ICCET) 2010*, Vol 6, 16-18 April 2010, pp 682-687.
- [6] L. Herlan, 2010, "perang melawan krisis energi, menggali potensi listrik di NTB" dalam kutipan Lombok post, edisi 15 Februari.
- [7] R. Sitthikhankaew, S. Predapitakkun, R. Kiattikomol, S. Pumhiran, S. Assabumrungrat, N. Laosiripojana, "Performance of commercial and modified activated carbons for hydrogen sulfide removal from simulated biogas," in *Proceeding of Conference on IEEE First Conference on Clean Energy and Technology (CET), 2011*, 27-29 June 2011, pp 135-139.

- [8] R.. D Zucker and B. Oscar, *Fundamental of Gas Dynamics*. Department of Aeronautics and Astronautics Naval Postgraduate School Monterey, California: John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- [9] S. Falanu , 2011, “PLN NTB Perbanyak Mesin Sewa Di Lombok” Lombok post , edisi 11 nopember.
- [10] T. W. Widodo, A. Asari, N. Ana, dan R. Elita, Rekayasa dan Pengujian Reaktor Biogas Skala Kelompok Tani Ternak, *Jurnal Enjiniring Pertanian*, Volume 4, Nomor 1, pp. 41-52, April 2006.
- [11] T. M. Tien, P. X. Mai, N. D. Hung, H. T. Cong, “A Study on Power Generation System Using Biogas Generated from the Waste of Pig Farm”. In *Proceeding of International Forum on Strategic Technology (IFOST) 2010*, 13-15 Oct. 2010, pp 203 - 207.