

TUGAS AKHIR
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Madya – D3

Program Studi Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusunoleh :
POPPY RAKHMADHI
20143020070

PROGRAM STUDI D3TEKNIK MESIN

PROGRAM VOKASI

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

2017

HALAMAN PERSETUJUAN

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS

Disusun oleh :

Poppy Rakhmadhi

20143020070

Telah di setujui dan disahkan pada tanggal, Desember 2017 untuk dipertahankan
di depan penguji Dewan Penguji Tugas Akhir

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

M. Abdus Shomad, S.Sos.I., S.T., M.Eng
NIK.19800309201210183004

Andika Wisnujati, S.T., M.Eng
NIK.1983081220120183001

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Mesin

M. Abdus Shomad, S.Sos.I., S.T., M.Eng
NIK.19800309201210183004

HALAMAN PENGESAHAN

**TUGAS AKHIR
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS**

**Disusunoleh :
POPPY RAKHMADHI
20143020070**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir

Program Studi D III Teknik Mesin

Program Vokasi

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Pada Tanggal :

Dan Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya

Susunan Penguji

Nama Lengkap dan Gelar	Tanda Tangan
Ketua : M. Abdus Shomad, S.Sos.I., S.T., M.Eng.
Penguji I : Andika Wisnujati, S.T., M.Eng.
Penguji II : Putri Rachmawati, S.T., M.Eng.

Direktur Program Vokasi
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Dr. Bambang Jatmiko, S.E., M.Si

NIK.1965601201210143092

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : POPPY RAKHMADHI

NIM : 20143020070

Prodi : D3 Teknik Mesin Program Vokasi

Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Dengan ini saya menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir berjudul **PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS** ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar Ahli Madya atau setara Sarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, Desember 2017

POPPY RAKHMADHI
NIM.20143020070

MOTTO

”Rasulullah Shallallahu alaihi wassalam bersabda, ‘Orang beriman itu bersikap ramah dan tidak ada kebaikan bagi seseorang yang tidak bersikap ramah. Dan sebaik – baiknya manusia adalah yang bermanfaat bagi manusia,’ HR. Thabrani dan Daruquthni.

“Sebanyak – banyak ilmu yang kita miliki sebesar – besarnya untuk kemaslahatan umat manusia.”

“Mencari ilmu bukanlah untuk menjadi orang kaya harta namun untuk menjadi orang yang bermanfaat untuk orang lain, dunia dan akhirat.”

KATA PENGANTAR

Puja dan puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat limpahan rahmat, dan inayah-Nya maka tugasakhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Salam dan shalawat semoga tercurah kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW. Tugas Akhir yang berjudul, **PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS** ini kami susun untuk memenuhi persyaratan kelulusan Diploma III (D3) pada program studi D3 Teknik Mesin.

Penulis mengucapkan rasa terimakasih yang sebesar – besarnya atas semua bantuan yang telah diberikan, baik secara langsung maupun tidak langsung selama penyusunan tugas akhir ini hingga selesai. Secara khusus rasa terimakasih tersebut kami sampaikan kepada :

1. Bapak Dr. Bambang Jatmika, S.E., M.Si. selaku Direktur Program Vokasi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Bapak Muhammad Abdus Shomad, S.Sos.I., S.T., M.Eng. selaku Kepala Program Studi D3 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta sekaligus dosen pembimbing tugas akhir.
3. Kedua Orang tua saya (Bapak Sunarto dan Ibu Rindarwati)
4. Bapak dan Ibu staff Program Vokasi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
5. Bapak dan Ibu dosen D3 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
6. Pengelola Balai Penelitian Teknologi Bahan Alam Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia di Gunung Kidul

7. Pengelola Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu Universitas Gajah Mada Yogyakarta.
8. Kelompok ternak “Adhini Makmur” dusun Kalipucang, desa Bangunjiwo, kec. Kasihan, kab. Bantul
9. Pengelola bengkel “Santoso Teknik” Klaten
10. Pengelola Pusat Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Pantai Pandansimo, Bantul.
11. Teman – teman Komisariat Ikatan Mahasiswa Muhammadiyah Vokasi
12. Teman – teman mahasiswa Program Vokasi
13. Semua pihak yang telah ikut membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Harapan penulis semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat baik bagi penulis maupun pembaca.

Yogyakarta, 29 November 2017

Poppy Rakhmadhi

**PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS
BIOGAS POWER PLANT**

Poppy Rakhmadhi¹, Muhammad Abdus Shomad²
Diploma 3 Teknik Mesin, Program Vokasi, Universitas Muhammadiyah
Yogyakarta
Jl. Lingkar Selatan, Bantul, Yogyakarta 55183 telp : (0274) 387656
Mail : poppyrakhmadhi@gmail.com

ABSTRAK

Ancaman kerusakan lingkungan dan kelangkaan mendorong manusia untuk memanfaatkan sumber energi terbarukan. Biogas merupakan salah satu sumber energi terbarukan. Proses pembuatannya yang mudah memungkinkan biogas dapat diproduksi di daerah yang kesulitan akses energi. Lokasi Penelitian dilakukan di dua tempat yaitu di dusun Kalipucang, desa Banguniwo, kec. Kasihan, kab Bantul dan kedua di dusun Ngentak, desa Poncosari, kec. Srandakan, kab. Bantul. Modifikasi genset dengan mengubah pengaturan campuran udara dan bahan bakar pada karburator. Untuk mengurangi zat pengotor berupa H_2S , CO^2 dan H_2O maka dilakukan proses pemurnian biogas menggunakan zeofilter. Spesifikasi generator set kapasitas 1200 Watt dengan konsumsi bahan bakar 1,5 liter/jam. Terjadi penurunan daya maksimal yang mampu di keluarkan sebesar 180 Watt di lokasi pertama dan 720 Watt di lokasi kedua. Konsumsi bahan bakar bensin pada beban 180 Watt sejumlah 0,499 liter/jam sedangkan bahan bakar biogas 0,136 m³/jam atau setara 136 liter/jam.

Kata kunci : Biogas, Digester, Energi Terbarukan, Generator Set, Pembangkit listrik

BIOGAS POWER PLANT

Poppy Rakhmadhi¹, Muhammad Abdus Shomad²

Diploma of Mechanical Engineering, Program of Vocational collage,

Muhammadiyah University of Yogyakarta

Jl. Lingkar Selatan, Bantul, Yogyakarta 55183 telp : (0274) 387656

Mail : poppyrakhmadhi@gmail.com

ABSTRACT

The threat of environmental damage and scarcity prompted humans to utilize renewable energy sources. Biogas is one source of renewable energy. Its easy manufacturing process allows biogas to be produced in areas where energy access difficulties. The location of the research was conducted in two places namely in dusun Kalipucang, desa Bangunjiwo, kec. Kasihan, kab. Bantul and second in dusun Ngentak, desa Poncosari, kec. Srandakan, kab. Bantul Modify generator sets by changing the mixture of air and fuel settings on the carburetor. To reduce the impurities of CO₂, H₂O and H₂S, the biogas purification process using a zeofilter. Spesification generator set capacity 1200 Watt with fuel consumption of 1.5 liter/hour. There is a decrease in maximum power capable of removal of 180 Watt in the first location and 720 Watt in the second location. Fuel consumption of gasoline at 180 Watt load of 0,499 liters/hour while the fuel biogas 0.136 m³/hour or equivalent to 136 liters/hour.

Key Word :Biogas, Digester, Generator Sets, Power Plant, Renewable Energy

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN HASIL.....	iv
MOTTO	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	6
2.1. Tinjauan Pustaka.....	6
2.2. Biogas	7
2.2.1. Digester	10

2.2.2. Jenis Digester	13
2.2.3. Komponen Utama Digester.....	14
2.3. Motor Bakar	15
2.3.1. Jenis Motor Bakar	15
2.3.2. Cara Kerja Motor 4 Tak.....	19
2.3.4. Komponen Utama Motor Bakar 4 Tak	21
2.3.4. Unjuk Kerja Motor Bakar	25
2.3.5. Modifikasi motor bakar.....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1. Diagram Alir (<i>Flow Chart</i>).....	31
3.2. Metodologi Penelitian.....	32
3.2.1. Waktu dan Tempat.....	32
3.2.2. Alat dan Bahan.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Persiapan Unit Pembangkit Biogas.....	37
4.2. Pemurnian Biogas dari Unsur Pengotornya	37
4.3. Unjuk Kerja Generator Set Menggunakan Bensin.....	39
4.4. Unjuk Kerja Generator Set Menggunakan Biogas.....	44
BAB V KESIMPULAN	47
5.1. Kesimpulan	47
5.2. Saran	47
DAFTAR PUSTAKA.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram Tertib Katup	21
Gambar 3.1. Diagram Alir	31
Gambar 3.2. Skema Rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Biogas	35
Gambar 4.1. Grafik Hubungan Konsumsi Bahan Bakar dengan Variasi Beban	42
Gambar 4.2. Grafik Hubungan Antara Pemakaian Bahan Bakar Spesifik dengan Variasi Beban.....	43
Gambar 4.3. Grafik Hubungan Variasi Beban Terhadap Efisiensi Termal	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Unsur Penyusun Biogas	8
Tabel 2.2. Jenis Bahan Baku Penghasil Biogas	10
Tabel 2.3. Daftar Bahan Nutrisi Tambahan Proses Pembuatan Biogas.....	12
Tabel 2.4. Cara Kerja Motor 4 Tak.....	19
Tabel 2.5. Perbedaan Karakteristik Biogas dengan Bensin	30
Tabel 3.1. Jadwal Penelitian	36

DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN I : Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Generator Set
Berbahan Bakar Bensin
- LAMPIRAN II : Perhitungan Pemakaian Bahan Bakar Spesifik Generator
Set Berbahan Bakar Bensin
- LAMPIRAN III : Perhitungan Efisiensi Termal Generator Set Berbahan
Bakar Bensin
- LAMPIRAN IV : Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Generator Set
Berbahan Bakar Biogas
- LAMPIRAN V : Perhitungan Harga Bahan Bakar Spesifik Generator Set
Berbahan Bakar Biogas
- LAMPIRAN VI : Perhitungan Efisiensi Termal Generator Set Berbahan
Bakar Biogas
- LAMPIRAN VII : Gambar Rancangan Zeofilter
- LAMPIRAN VIII : Foto – Foto Kegiatan Penelitian

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Q.S Ar-Rum : 41

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ
الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

Artinya : Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).

Kebutuhan energi setiap tahun semakin bertambah, seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan berkembangnya teknologi. Walaupun menemui banyak permintaan, namun masih belum bisa terpenuhi seluruhnya.

Sekitar 90% sumber energi di dunia sampai saat ini masih mengandalkan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama. Sudah 2 abad lebih kita menggunakan sumber energi fosil dan telah memberikan dampak pesat bagi kemajuan peradaban. Namun seiring juga dengan dampak negatif yang ditimbulkan berupa pencemaran udara yang menyebabkan pemanasan global berlebihan. Selain itu, cadangan energi fosil semakin menipis dan mengharuskan kita untuk mencari sumber energi alternatif lain yang dapat diperbarui.

Menurut ilmuwan Amerika Serikat Carl Sagan pada tahun 1980 melakukan penelitian pada Tesisnya tentang jumlah kadar CO₂ di udara. Ia mengemukakan bahwa peradaban kita telah menyumbangkan 400 miliar ton CO₂

ke atmosfer dan menyebabkan peningkatan suhu rata – rata bumi dari $13,7^{\circ}\text{C}$ – $14,4^{\circ}\text{C}$. Jika kita tidak segera mengubah perilaku hidup maka di masa depan penduduk Bumi akan menghadapi perubahan iklim dan cuaca ekstrim yang merugikan manusia. Peningkatan suhu beberapa derajat saja mampu menyebabkan kekeringan hebat diberbagai belahan dunia, naiknya permukaan laut dan kepunahan masal berbagai spesies.

Sejak lama kita telah menemukan solusi dari permasalahan pemanasan global. Pada tahun 1878 di kota Paris ilmuwan Augustin Mouchot memamerkan pembangkit listrik tenaga matahari. Kemudian dilanjutkan oleh Frank Sherman dari Philadelphia melakukan penelitian di Mesir pada tahun 1913 untuk membuat lahan pertanian di tengah gurun sahara dengan pengairan memanfaatkan tenaga matahari. Walaupun dengan penemuan dan penelitian yang memberikan solusi, namun energi terbarukan belum mendapat perhatian lebih dikarenakan bahan bakar fosil nilai investasinya lebih murah, mudah dalam pengolahan dan saat itu masih sangat melimpah.

Hampir semua sumber energi terbarukan yang ada di Bumi berasal dari sinar matahari kecuali panas bumi. Energi sinar matahari yang sampai di permukaan Bumi jumlahnya sangat melimpah dan merupakan energi utama yang menggerakkan kehidupan di bumi. Energi ini kemudian di simpan dalam berbagai bentuk salah satunya dimanfaatkan oleh tumbuhan dalam bentuk batang dan dedaunan. Terjadi konversi energi dari bentuk cahaya matahari menjadi bentuk energi kimia. Energi kimia yang terdapat di tumbuhan kemudian di makan oleh binatang ternak dan terjadi perpindahan energi menjadi bentuk lain lagi.

Semua komponen organik yang ada di bumi mengeluarkan energi yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi yang dibutuhkan manusia. Tumbuhan yang telah mati dan mengalami pembusukan mengeluarkan berbagai macam gas akibat dari aktifitas biologi bakteri pengurai. Hal itu juga terjadi pada hewan dan manusia, baik kotoran maupun dagingnya. Salah satu gas yang dapat dimanfaatkan adalah gas metana yang terkandung dalam biogas. Biogas adalah bahan bakar yang dihasilkan dari aktifitas biologis bakteri pada sampah organik dengan proses secara anaerobic atau tanpa adanya oksigen. Umumnya menghasilkan gas metana dengan konsentrasi 55% – 75% sehingga cukup untuk pembakaran di motor bakar hingga menghasilkan tenaga.

Teknik pembuatannya dengan cara memasukkannya ke dalam tabung reaktor yang rapat dan terbebas dari oksigen. Karena jika diletakkan di luar ruangan gas metana yang terkandung di dalam kotoran ternak akan terbuang begitu saja ke udara dan akan menyumbangkan efek rumah kaca. Bentuk tabung reaktor bisa berupa digester beton yang ditanam di dalam tanah untuk menstabilkan suhu atau berupa tong plastik. Umumnya untuk mendapatkan tekanan yang cukup baik untuk proses pembakaran di motor bakar lebih baik menggunakan digester beton yang ditanam di tanah.

Tenaga yang dihasilkan oleh motor bakar akan disalurkan untuk memutar generator sehingga menjadi sebuah generator set yang menghasilkan tenaga listrik dengan tegangan listrik 12 V kemudian di ubah menggunakan penguat tegangan menjadi listrik tegangan 220 V. Hasil akhir yang diharapkan adalah energi listrik yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga.

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah bagaimana merancang dan membuat pembangkit listrik tenaga biogas hingga dapat digunakan untuk kebutuhan listrik rumah tangga. Masalah yang akan diteliti meliputi :

1. Bagaimana cara mengkonversi energi biogas menjadi energi listrik?
2. Berapa banyak jumlah biogas untuk memenuhi kebutuhan beban listrik rumah tangga?
3. Bagaimana efisiensi biogas untuk bahan bakar genset?

1.3. Batasan Masalah

1. Bahan dasar pembuatan biogas berasal dari kotoran sapi dengan reaktor digester beton yang ditanam di tanah.
2. Proses pengaturan karburasi campuran bahan bakar biogas dengan melakukan modifikasi karburator.
3. Penghitungan efisiensi bahan bakar dengan metode membandingkan jumlah kalori yang terkandung di biogas dengan output daya listrik dan membandingkannya dengan bahan bakar konvensional.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian pembangkit listrik tenaga biogas ini yaitu :

1. Memanfaatkan bahan bakar biogas yang merupakan sumber energi terbarukan yang terdapat di lingkungan masyarakat.

2. Memproses biogas untuk meningkatkan kualitas bahan bakar generator set.
3. Mengetahui seberapa besar jumlah energi listrik yang dapat dihasilkan dari generator set biogas.

1.5. Manfaat penelitian

Manfaat yang akan didapat dari penelitian ini antara lain :

1. Dapat memberikan inovasi energi alternatif yang dapat dimanfaatkan di lingkungan masyarakat.
2. Memberikan pengalaman dan pembelajaran dalam memanfaatkan energi alternatif.
3. Memperkaya ilmu pengetahuan dan pengembangan sumber energi alternatif.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Sebelum penelitian ini ada beberapa penelitian yang terkait dengan pengolahan biogas menjadi sumber tenaga pembangkit listrik baik secara keseluruhan maupun sebatas pada bagian tertentu saja.

Dyah Wulandani (2014) melakukan penelitian yang diterbitkan pada jurnal Keteknikan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB, mendapatkan hasil bahwa biogas dapat digunakan pada motor bensin Honda GX 3,5 HP menghasilkan daya mencapai 1,3 kW dengan perbandingan campuran udara dan bahan bakar 1:2,778.

Anak Agung Intan Kartika Putri, dkk (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh jenis kotoran terhadap jumlah kuantitas biogas yang dihasilkan menemukan bahwa 6 liter kotoran sapi mampu menghasilkan 6,75 liter biogas dan untuk kotoran kambing sebesar 6,643 liter.

Muhrom Khudhori (2013) mempublikasikan penelitiannya yang berjudul “Desain Modifikasi Karburator Pada Mesin Penggerak Appo Berbahan Bakar Biogas di Pilot Plant DME Berbah” menghasilkan desain karburator yang lebih sederhana dibandingkan karburator bensin dengan memasang pipa tambahan di lubang venturi sebagai tempat keluarnya biogas.

Maulana Arifin, dkk (2011) dari Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik - LIPI melakukan penelitian biogas sebagai sumber pembangkit tenaga listrik di Pesantren Saung Balong Al-Barokah, Majalengka, Jawa Barat menghasilkan bahwa jumlah konsumsi biogas untuk pembangkit listrik dengan

daya output 1047 Watt sebesar 0,019 m³/menit. Reaktor menggunakan digester beton dengan Volume 7 m³ dan menghasilkan biogas sebesar 1,92 m³/hari dengan memasukkan kotoran sapi sebanyak 0,5 m³/hari atau sama dengan kotoran 4-6 ekor sapi.

Penelitian yang dilakukan oleh Septian Indra Kusuma (2008) diperoleh hasil bahwa biogas dapat digunakan untuk bahan bakar genset dengan engine motor 4 tak dan mampu mengeluarkan daya sebesar 1 kW. Dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar konvensional mengalami penurunan daya 72%.

Masih banyak lagi penelitian yang berkaitan erat dengan biogas sebagai pembangkit tenaga listrik dan beberapa penelitian yang membahas khusus pada satu bidang namun membantu memberikan informasi pada penelitian ini. Pada penelitian kali ini akan di fokuskan pada bagaimana cara mengkonversi energi pada biogas menjadi energi listrik dengan analisa efisiensi bahan bakar, desain peralatan dan daya output yang dihasilkan.

2.2. Biogas

Biogas adalah dekomposisi bahan organik secara anaerob (tertutup dari udara bebas untuk menghasilkan suatu gas yang sebagian besar berupa metana (yang memiliki sifat mudah terbakar) dan karbondioksida. Gas yang terbentuk disebut gas rawa atau gas bio. Proses dekomposisi anaerob dibantu oleh sejumlah mikroorganisme, terutama bakteri metana (Hadi, 1980).

Secara umum biogas mengandung 60 – 65 % gas Metana (Harikishan, 2008), hal ini cukup untuk menyalakan mesin mengikat biogas dengan

konsentrasi 5 - 15% di udara mampu terbakar jika terdapat nyala api. Semakin tinggi konsentrasi gas metana maka semakin tinggi nilai kalor biogas.

Menurut Hermawan (2005) biogas mengandung komponen – komponen penyusunnya sebagai berikut :

Tabel 2.1. Unsur penyusun biogas

Komponen	Konsentrasi (%)
Metana (CH ₄)	55 – 75
Karbon dioksida (CO ₂)	25 – 45
Nitrogen (N ₂)	0 – 0,3
Hidrogen (H ₂)	1 – 5
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	0 – 3
Oksigen (O ₂)	0,1 – 0,5

Pada tabel diatas menunjukkan komposisi biogas bersifat relatif. Gas metana (CH₄) merupakan gas utama penyusun biogas.

Gas metana merupakan unsur utama yang menyusun biogas. Memiliki titik nyala -188 °C dan titik didih -161 °C pada tekanan 1 atmosfer. Metana dalam bentuk cair tidak akan terbakar kecuali jika diberi tekanan 4 – 5 atmosfer. Sehingga menyulitkan dalam proses penyimpanan. Dibutuhkan pengolahan lebih lanjut untuk memproses biogas menjadi LNG. Gas metana murni tidak berbau sehingga untuk keamanan diberikan bau buatan sehingga kebocoran gas mudah dideteksi.

Gas metana juga termasuk dalam gas rumah kaca (GRK) karena menyebabkan kerusakan lapisan ozon. Molekul CH_4 di atmosfer lebih berbahaya 25 kali dari CO_2 . Saat ini 16% kadar gas metana dunia disumbangkan dari hasil kegiatan peternakan dan sisanya dari pertanian ladang dan penggundulan hutan.

Karbon dioksida merupakan salah satu unsur pengotor dalam biogas. Keberadaannya dalam biogas akan mengurangi nilai kalor dan kualitas biogas. Titik didih CO_2 berada di suhu $-78\text{ }^\circ\text{C}$, dan masa jenis $1,98\text{ kg/m}^3$. Cara modern untuk menghilangkan unsur CO_2 dari biogas yaitu dengan mendinginkan biogas hingga di bawah suhu $-78\text{ }^\circ\text{C}$ hingga menjadi padat kemudian dipisahkan dari gas metana. Cara ini mampu meningkatkan kemurnian gas metana hingga 98%. Namun biaya yang dikeluarkan cukup besar, dan kurang ekonomis untuk pembangkit listrik skala kecil.

Karbon dioksida merupakan gas yang paling berperan terhadap dampak pemanasan global. Sifatnya yang memiliki daya serap tinggi terhadap cahaya infrarot sehingga meningkatkan suhu rata – rata atmosfer.

Unsur lainnya berupa H_2O , O_2 dan H_2S berada pada kadar yang rendah. Namun H_2S atau sulfur ketika ikut dalam pembakaran akan meninggalkan kerak pada mesin. Hal ini sangat berbahaya bagi mesin, karena mesin yang menggunakan bahan bakar biogas tanpa proses pemurnian harus bongkar total 100 kali lebih awal.

Kandungan gas metana maupun zat penyusun lainnya pada biogas yang dihasilkan tentu saja tidak selalu sama di setiap tempat dan waktu. Karena sangat

dipengaruhi oleh bahan baku, metode pembuatan dan kondisi reaktornya. Bahkan apabila berasal dari kotoran ternak juga berbeda setiap jenis ternaknya.

Tabel 2.2. Jenis bahan baku penghasil biogas

Bahan	Produksi Biogas (L/kg TS)	Kadar Metana (%)	Waktu Tinggal (hari)
Pisang (Buah dan daun)	940	53	15
Rumput	450-530	55-57	20
Jagung (batang secara keseluruhan)	350-500	50	20
Jerami (dicacah)	250-350	58	30
Tanaman rawa	380	56	20
Kotoran ayam	300-450	57-70	20
Kotoran sapi	190-220	68	20
Sampah (fraksi organik)	380	56	25

Sumber : Arati (2009), modifikasi. *)TS= *total solids*/ bahan kering

Berdasarkan tabel diatas pisang (buah dan daun) menghasilkan biogas paling banyak dan paling pendek masa tinggalnya dibandingkan bahan baku yang lain. Dari segi kualitas kotoran ayam menempati posisi dengan kualitas biogas tertinggi dengan kadar gas metana 57 – 70 %.

Kotoran sapi yang paling banyak dimanfaatkan di lapangan menghasilkan 190 – 220 liter biogas per kilogram kotoran. Kadar gas metana yang dihasilkan sebesar 68% dan masa tinggal 20 hari.

2.2.1. Digester

Biogas merupakan bahan bakar terbarukan yang sangat potensial untuk dimanfaatkan. Di Indonesia jumlahnya sangat melimpah karena kaya akan sumber daya alam berupa material organik berupa dedaunan, kotoran hewan maupun kotoran manusia. Biogas dapat dimaksimalkan produksinya bila bakteri pengurai bekerja pada keadaan tanpa oksigen atau *anaerob*.

Untuk menghasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar diperlukan suatu alat yang disebut digester. Biogas pada digester akan terbentuk pada hari ke 4-5 dan mencapai puncaknya pada hari ke 15-20. Produksi biogas rata – rata mengandung 55% gas metana yang merupakan bahan bakar utama biogas.

Terdapat 3 kelompok bakteri dalam proses penguraian kotoran, yaitu :

1. Kelompok bakteri fermentatif, yaitu dari jenis *steptococci*, *bacteriodes*, dan beberapa jenis *enterobacteriaceae*.
2. Kelompok bakteri asetogenik, yaitu *desulfovibrio*.
3. Kelompok bakteri metana, yaitu dari jenis *mathanobacterium*, *mathanobacillus*, *methanosacaria*, dan *methanococcus*.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan saat proses pembangunan biodegester, yaitu:

Kondisi abiotis harus sepenuhnya anaerob. Jika terdapat udara yang mengandung oksigen masuk kedalam digester akan mengurangi produksi gas metana yang dihasilkan. Karena bakteri cenderung akan memakan oksigen yang masuk daripada terus bekerja memakan kotoran organik yang terdapat dalam digester.

1. Kondisi temperatur yang stabil. Kondisi temperatur yang ideal untuk digester pada umumnya di indonesia rata – rata 20-30 derajat celcius. Dengan posisi tanpa pemanasan dan terlindung dari sinar matahari atau pada umumnya di tanam di dalam tanah sehingga temperaturnya stabil.

2. Keasaman (pH). Kondisi keasaman yang baik untuk perkembangan bakteri dalam digester antara 6,6 – 7,0 dan pH diusahakan tidak di bawah 6,2.
3. C/N rasio. C/N rasio yang ideal untuk produksi biogas antara 25 – 30. Oleh karena itu untuk menambah kandungan karbon yang tinggi perlu ditambahkan jerami atau urea (unsur N). Berikut C/N rasio beberapa jenis kotoran hewan : Kerbau (18), Kuda (25), Sapi (18), Ayam (15), Babi (25), Kambing/Domba (30) dan Manusia (6-10).
4. Nutrisi tambahan. Dalam proses fermentasi, bakteri membutuhkan beberapa nutrisi tambahan berupa sedikit unsur logam. Jika kekurangan salah satu unsur nutrisi yang dibutuhkan dapat menurunkan proses produksi metana. Nutrisi yang dibutuhkan antara lain ammonia (NH_3) sebagai sumber Nitrogen, nikel (Ni), tembaga (Cu), dan besi (Fe) dalam jumlah yang sedikit. Selain itu, magnesium (Mg), fosfor dalam bentuk fosfat (PO_4), dan seng (Zn) dalam jumlah yang sedikit pula.

Tabel 2.3. Daftar bahan nutrisi tambahan proses pembuatan biogas

Bahan	Jumlah Kebutuhan (mg/g asetat)
$\text{NH}_4 - \text{N}$	3,3
$\text{PO}_4 - \text{P}$	0,1
S	0,33
Ca	0,13
Mg	0,018
Fe	0,023
Ni	0,004
Co	0,003
Zn	0,02

Sumber : www.kamase.org

5. Pengaruh starter yang mengandung bakteri Metana diperukan untuk mempercepat proses fermentasu anaerob. Beberapa jenis starter antara lain:

- Lumpur aktif, timbunan sampah organik, timbunan kotoran, sludge, cairan *septic tank* dan seperti lumpur kolam ikan.
- Starter buatan, yaitu bakteri yang dibiakkan secara laboratorium dengan media buatan.

2.2.2. Jenis digester

Dari segi konstruksi, digester dibedakan menjadi :

1. *Fixed dome*. Pada digester ini memiliki volume yang tetap. Sehingga ketika terjadi penambahan produksi gas metana akan meningkatkan tekanan pada digester. Untuk menghindari tekanan yang berlebihan di dalam digester perlu ditambahkan katup pengaman tekanan atau *relief valve*.
2. *Floating dome*. Digester ini memiliki bagian tabung yang dapat bergerak dan menyesuaikan tekanan gas yang meningkat. Ketika tekanan gas meningkat maka volume digester juga akan meningkat pula.

Dari segi aliran bahan baku reaktor biogas, biodigester dibedakan menjadi :

1. Bak (*batch*). Bahan baku ditempatkan pada wadah dari proses awal hingga akhir proses digesti. Pada umumnya tipe ini digunakan pada tahap eksperimen untuk mengetahui potensi tertentu dari suatu bahan baku.
2. Mengalir (*continuous*). Untuk tipe ini, aliran bahan baku akan diisi terus – menerus dan terdapat pintu pembuangan untuk mengalirkan residu yang tidak terpakai.

Sementara dari segi tata letak penempatan digester, dibedakan menjadi :

1. Keseluruhan digester berada di permukaan tanah. Pada umumnya digester dibuat dari tong – tong bekas yang dimodifikasi sehingga dapat digunakan untuk proses digesti. Pada tipe ini jumlah produksi biogas sangat terbatas dan tidak bisa mencukupi kebutuhan rumah tangga. Material yang digunakan juga tidak dapat bertahan lama karena korosi.
2. Sebagian tangki biodigester di bawah permukaan tanah. Pada umumnya digester terbuat dari campuran beton yang dibentuk seperti sumuran lalu ditutup plat baja. Volume tangki dapat diperbesar atau diperkecil sesuai dengan kebutuhan. Kelemahan dari tipe ini apabila temperatur di luar ruangan dingin akan merambat melalui plat baja dan akan mengurangi produksi gas metana.
3. Seluruh tangki digester ditanam di bawah tanah. Tipe ini menggunakan digester dengan konstruksi permanen menggunakan campuran beton. Tipe ini memiliki keunggulan dimana suhu digester sangat stabil dan tidak mudah terpengaruh suhu luar ruangan dan sangat mendukung perkembangan bakteri methanogen.

2.2.3. Komponen utama digester

1. Saluran masuk *slurry*. Dirancang untuk memudahkan *slurry* masuk ke dalam digester tanpa hambatan. Pada umumnya *slurry* terbuat dari polimer jenis PVC yang tahan terhadap keausan ataupun korosi akibat *slurry* yang masuk maupun udara luar. Beberapa tipe juga dilengkapi dengan pengaduk *slurry* pada ujung awal saluran masuk. Sehingga memudahkan proses

pencampuran kotoran yang dicampur dengan air lalu diaduk dengan pengaduk yang telah terpasang.

2. Saluran keluar residu. Saluran keluar dibuat lebih besar dari saluran masuk dengan tujuan supaya residu yang keluar secara merata dan tidak ada yang tertinggal di dalam digester. Beberapa tipe saluran buang dilengkapi dengan bak penampung sisa residu, sehingga memudahkan saat menguras residu pada digester.
3. Katup pengaman tekanan (control valve). Untuk menghindari tekanan berlebih pada digester yang akan menimbulkan masalah dalam penyaluran biogas, digester dilengkapi dengan katup pengaman. Apabila tekanan di dalam digester melebihi batas tertentu katup pengaman akan mengeluarkan gas ke udara bebas sehingga tekanan dalam digester tetap stabil.
4. Saluran gas. Pada umumnya di Indonesia menggunakan pipa PVC untuk menyalurkan gas ke instalasi peralatan masak, lampu dan lain – lain. Penggunaan PVC dikarenakan tahan karat, tahan terhadap bahan kimia gas, mudah dalam pemasangan dan harganya yang relatif murah.

2.3. Motor bakar

2.3.1. Jenis motor bakar

Motor bakar adalah mesin untuk menghasilkan tenaga dengan menggunakan proses pembakaran bahan bakar. Motor bakar dikelompokkan menjadi 2 jenis yaitu motor bakar pembakaran dalam (internal combustion engine) dan motor bakar pembakaran luar (eksternal combustion engine). Contoh motor pembakaran

dalam adalah motor 4 tak, motor 2 tak dan motor diesel. Sedangkan contoh motor pembakaran luar adalah mesin uap, mesin jet, dan *stirling engine*.

Proses pada motor pembakaran dalam terjadi di dalam ruang bakar yang tertutup dari udara luar. Dimana bahan bakar dan udara dikompresi pada tekanan tertentu kemudian dipantik menggunakan busi atau terbakar dengan sendirinya pada motor diesel. Tekanan hasil pembakaran ini diubah menjadi gerak mekanik dan menghasilkan tenaga.

Pada motor pembakaran luar, proses terjadinya pembakaran terjadi di luar sistem tenaga atau ekspansi. Motor pembakaran luar memiliki keunggulan dalam penggunaan bahan bakar yang dapat diganti dengan kualitas yang bervariasi. Kelemahannya adalah memiliki nilai efisiensi nilai kalor bahan bakar yang sangat rendah dibandingkan motor pembakaran dalam.

Pada tulisan ini kami akan membahas pada jenis motor pembakaran dalam khususnya motor bensin 4 tak.

Pembakaran merupakan proses oksidasi cepat bahan bakar disertai produksi panas, energi dan cahaya. Terdapat 3 faktor pembakaran yaitu temperatur, oksigen dan bahan bakar.

Ketiadaan salah satu atau dua faktor akan menyebabkan pembakaran tidak sempurna atau tidak akan terjadi.

Pada motor bensin terapat 3 syarat terjadinya pembakaran sempurna yang menghasilkan tenaga.

1. Tekanan kompresi yang cukup
2. Campuran bahan bakar dan udara yang mencukupi

3. Dan percikan bunga api yang cukup besar dari busi

Sebagai gambaran apabila bensin dituangkan ke dalam panci tanpa tutup lalu di nyalakan api, akan terbakar tanpa memberikan tenaga mekanik. Namun apabila panci tersebut ditutup kemudian dinyalakan api akan membakar bensin yang mendorong tutup panci keluar. Pada saat itu nyala api memberikan tenaga mekanik berupa dorongan pada tutup panci.

Pembakaran di dalam silinder membutuhkan waktu hingga seluruh campuran bahan bakar terbakar. Oleh karena itu pada motor bensin percikan bunga api dari busi dinyalakan beberapa derajat sebelum piston mencapai TMA.

Pada motor bensin terdapat 4 macam proses yang harus dilalui untuk mencapai 1 kali siklus pembakaran yang menghasilkan tenaga :

1. Langkah hisap. Proses masuknya campuran bahan bakar ke dalam ruang bakar dengan rasio perbandingan udara bahan bakar yang ideal $14,7 : 1$. Campuran masuk akibat dari tekanan di dalam silinder lebih rendah dari udara luar.
2. Langkah kompresi. Campuran udara dan bahan bakar dikompresi dengan tekanan tertentu, umumnya untuk motor bensin rasio kompresi sekitar $6 - 11$.
3. Langkah tenaga. Temperatur campuran udara dan bahan bakar akan naik dan mudah terbakar sehingga dengan pemantik percikan bunga api dari busi akan cepat membakar seluruh campuran di dalam ruang bakar. Meningkatnya temperatur ruang bakar dalam waktu singkat diikuti dengan

meningkatnya tekanan yang mendorong piston ke TMB dan menghasilkan tenaga.

4. Langkah buang. Di akhir langkah tenaga sisa pembakaran keluar melalui saluran buang yang terbuka.

Untuk menghasilkan tenaga motor bensin berturut – turut harus mengikuti langkah ini secara *continue*. Terdapat 2 jenis motor bensin berdasarkan jumlah langkah piston untuk sekali tenaga :

1. Motor bensin 2 langkah

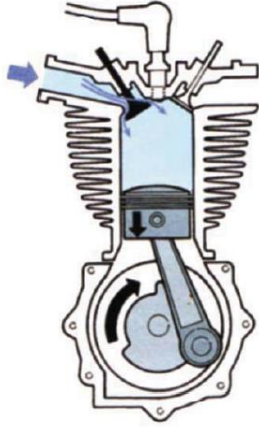
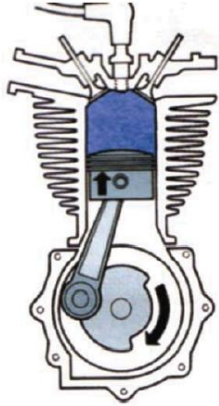
Mebutuhkan 2 kali langkah piston untuk satu kali siklus pembakaran.

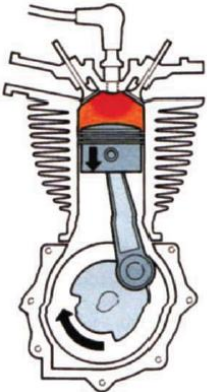
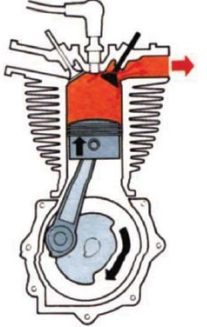
2. Motor bensin 4 langkah

Mebutuhkan 4 kali langkah piston untuk satu kali siklus pembakaran.

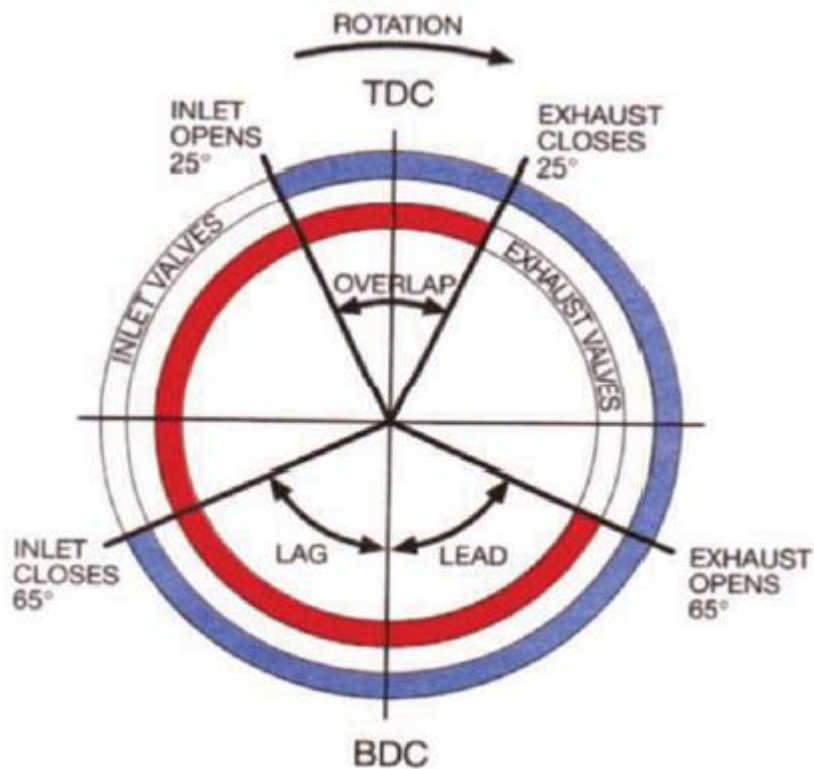
2.3.2. Cara kerja motor 4 tak

Tabel 2.4. Tabel cara kerja mesin 4 tak

Proses	Penjelasan dan gambar
<p>Langkah hisap</p> <ul style="list-style-type: none"> • Katup masuk terbuka, katup buang tertutup • Piston bergerak dari TMA menuju TMB 	<p>Saat piston bergerak dari TMA menuju TMB, terjadi kevakuman di dalam ruang bakar. Campuran udara dan bahan bakar masuk ke ruang bakar melalui <i>intake manifold</i> yang terbuka katupnya.</p> 
Proses	Penjelasan dan gambar
<p>Langkah kompresi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Katup masuk dan katup buang tertutup • Piston bergerak dari TMB menuju TMA 	<p>Campuran udara dan bahan bakar dikompresi untuk meningkatkan temperatur (temperatur naik sekitar tiga kali lipat) dan tekanan sehingga memudahkan penyalaan. Semakin tinggi temperatur campuran bahan bakar semakin meningkatkan tenaga yang dihasilkan. Beberapa derajat sebelum piston mencapai TMA busi memercikkan bunga api dan mulai membakar campuran bahan bakar</p> 
Proses	Penjelasan dan gambar
<p>Langkah tenaga</p>	<p>Campuran bahan bakar terbakar dengan sangat</p>

<ul style="list-style-type: none"> • Katup masuk dan katup buang tertutup • Piston bergerak dari TMA menuju TMB 	<p>cepat dan menimbulkan temperatur tinggi secara tiba – tiba, menekan ke segala arah dan mendorong piston menuju TMB. Gerakan mekanik piston diubah menjadi gerak putar melalui <i>connecting rod</i>.</p> 
Proses	Penjelasan dan gambar
<p>Langkah buang</p> <ul style="list-style-type: none"> • Katup masuk tertutup, katup buang terbuka • Piston bergerak dari TMB menuju TMA 	<p>Sebelum piston sampai di TMB pada langkah tenaga, katup buang terbuka dan sisa pembakaran mengalir keluar. Ketika piston bergerak dari TMB menuju TMA katup buang terbuka penuh dan piston menekan keluar seluruh gas sisa pembakaran.</p> 

Saat pembukaan dan penutupan katup yang berhubungan dengan gerakan piston disebut “Valve timing” atau tertib katup.



Gambar 2.1. Diagram tertib katup

(Sumber : Jalius, Jama. 2008 dalam Teknik Sepeda Motor jilid 1)

2.3.3. Komponen utama motor bakar 4 tak

1. Kepala silinder

Kepala silinder berfungsi untuk menutup bagian atas silinder, tempat ruang bakar, dudukan katup, dudukan busi dan terdapat *rocker arm*. Kepala silinder terbuat dari bahan aluminium campuran yang ditempatkan di atas blok silinder dan dihubungkan menggunakan baut. Untuk mencegah kebocoran kompresi di antara keduanya di selipkan gasket dan lem sebagai perapat.

Terdapat dudukan katup masuk dan katup buang yang digerakkan secara tidak langsung menggunakan rocker arm dan push rod untuk tipe OHV (Over

Head Valve) dimana posisi *camshaft* berada di ruang engkol mesin. Dudukan busi diletakkan ditempat yang mudah untuk bongkar pasang, karena busi merupakan komponen yang sering aus akibat percikan bunga api dari aliran listrik tegangan tinggi dan harus diganti.

2. Blok silinder

Blok silinder dan silinder liner merupakan komponen terpisah yang dibuat suatu kesatuan. Blok silinder terbuat dari bahan besi tuang yang tahan terhadap panas sedangkan silinder liner terbuat dari besi tuang yang tahan terhadap panas dan gesekan. Di dalam blok silinder tidak terdapat banyak komponen. Di bagian samping terdapat lubang sebagai tempat push rod.

Konstruksi blok silinder sengaja dibuat terpisah dengan silinder liner. Hal ini dimaksudkan supaya ketika terjadi keausan yang berlebihan pada dinding silinder, silinder liner akan di lepas dan diganti. Bagian luar blok silinder dibuat sirip – sirip yang berfungsi untuk mempercepat pendinginan mesin. Sirip – sirip memperluas bidang pendinginan sehingga membuat suhu mesin selalu stabil.

Blok silinder merupakan tempat piston berada dan bergerak ketika mesin dioperasikan. Silinder liner harus mampu menahan gesekan, tekanan dan panas dari pembakaran. Pada dinding silinder harus licin dan terhindar dari goresan. Pada umumnya goresan terjadi akibat adanya partikel dari luar yang masuk ke dalam silinder atau juga bisa terjadi akibat kesalahan memasang ring piston.

3. Piston

Piston berbentuk silinder ditempatkan tepat di tengah blok silinder. Gerakan piston merupakan gerakan translasi (bolak – balik) yang diubah menjadi gerak

putar di blok engkol dengan dihubungkan dengan *connection rod*. Pada saat beroperasi piston mampu bergerak hingga 2400 kali atau 40 kali per detiknya. Pada mesin 4 tak piston berfungsi sebagai alat pengubah energi panas hasil pembakaran menjadi gerak mekanik.

Konstruksi piston dibuat tahan panas, anti muai, tahan terhadap tekanan tinggi, mudah menghantarkan panas dan ringan. Bahan membuat piston adalah campuran aluminium. Piston terdiri dari batang piston dan ring piston. Ring piston berfungsi mempertatkan kerapatan antara piston dan dinding silinder untuk mencegah kebocoran gas dari ruang bakar ke ruang engkol. Oleh karena itu ring piston harus memiliki kepegasan yang kuat menekan ke dinding silinder. Terdapat 2 atau 3 ring piston pada motor bensin 4 tak :

1. Ring 1 atau yang paling atas adalah ring kompresi. Ring kompresi dibuat lebih kuat dan dibuat dari bahan yang lebih keras dan lebih tahan panas. Fungsi ring kompresi adalah mencegah kebocoran kompresi pada saat motor beroperasi.
2. Ring 2 atau yang tengah adalah ring bilas. Berfungsi untuk mencegah kebocoran kompresi sehingga bisa disebut ring kompresi juga dan berfungsi untuk membilas sisa oli yang masih tersisa di dinding silinder. Bahan pembuat ring bilas lebih lunak dari ring 1.
3. Ring 3 atau yang paling bawah adalah ring oli. Berfungsi untuk membersihkan oli yang menempel di dinding silinder akibat dari proses pelumasan. Ring oli memiliki bentuk yang paling berbeda dari yang lain terdapat alur pada seluruh konstruksi ring.

Piston dan ring piston bersama – sama berfungsi sebagai berikut :

1. Menghisap dan mengkompresi campuran bahan bakar di ruang bakar
2. Mengubah tenaga ekspansi gas pembakaran menjadi tenaga mekanis
3. Mencegah kebocoran gas dari ruang bakar ke ruang engkol.

4. Katup (*Valve*)

Katup hanya terdapat di motor bakar 4 langkah. Berfungsi untuk membuka dan menutup ruang bakar. Letaknya berada di kepala silinder. Setiap silinder terdiri dari 2 jenis katup , yaitu katup masuk dan katup buang. Dalam pengoperasiannya katup dibantu oleh mekanisme katup yang terdiri dari :

- Poros kam (*camshaft*)
- Batang penekan (*Push rod*)
- Pegas penutup (*Spring*)
- Baut penyetel
- *Rocker arm*

Gerakan pembukaan dan penutupan katup di atur untuk mengikuti gerak langkah piston. Untuk mekanisme katup tipe OHV poros kam dihubungkan dengan poros engkol (*crankshaft*) menggunakan rantai atau roda gigi. Terdapat minimal 2 kam pada *camshaft*. Kam katup buang dan kam katup masuk. Kam menekan *push rod* dan menggerakkan *rocker arm* lalu menekan katup untuk membuka. *Spring* berfungsi untuk mengembalikan katup pada posisi semula.

5. Bak engkol (*Crankcase*)

Bak engkol pada umumnya terbuat dari aluminium die casting dengan tambahan sedikit logam. Berfungsi sebagai tempat dudukan beberapa komponen di dalamnya :

- Poros engkol dan bantalan peluru
- Bobot kontra
- Sebagai wadah oli mesin
- Pompa oli
- Poros kam

2.3.4. Unjuk kerja motor bakar

a. Torsi mesin

Torsi adalah ukuran suatu mesin untuk menghasilkan kerja. Semakin besar torsi semakin besar tenaga yang dihasilkan. Besar torsi dapat dihitung dengan rumus :

$$T = \frac{N_e}{\left(\frac{2\pi.n}{60}\right)} = \frac{30.N_e}{\pi.n} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

T : torsi (N.m)

N_e : daya poros (Watt)

N : putaran (rpm)

b. Tekanan efektif rata – rata (*Brake Mean Effective Pressure = bmep*)

Tekanan efektif rata – rata adalah tekanan teoritis apabila gas mendorong torak sepanjang langkah kerja dan menghasilkan tenaga.

$$bmep = \frac{\text{kerja per siklus}}{\text{volume langkah h torak}} \dots\dots\dots(2)$$

$$bmep = \frac{N_e}{V_L \cdot z \cdot n \cdot a}$$

dimana :

bmep : tekanan efektif rata – rata (kg/m² atau Pa)

N_e : daya poros/daya efektif (watt)

V_L : Volume langkah torak (m³)

Z : jumlah silinder

N : putaran poros engkol (rpm)

a : jumlah siklus per putaran, $\frac{\text{siklus}}{\text{putaran}}$

c. Pemakaian Bahan Bakar Spesifik

Pemakaian bahan bakar spesifik adalah banyaknya bahan bakar yang dikonsumsi mesin per jam untuk setiap daya kuda yang dihasilkan. Harga pemakaian bahan bakar spesifik yang lebih rendah menyatakan efisiensi yang lebih tinggi. Jika dalam suatu pengujian mesin diperoleh data mengenai penggunaan jumlah bahan bakar (kg bahan bakar/jjam), dan dalam waktu 1 jam diperoleh tenaga yang dihasilkan N, maka rumus pemakaian bahan bakar spesifik adalah sebagai berikut :

$$B = \frac{G_f}{N} \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

B : pemakaian bahan bakar spesifik (kg bahan bakar/jam.W)

G_f : jumlah bahan bakar yang digunakan (kg bahan bakar/jam)

N : jumlah tenaga yang dihasilkan per waktu (W)

d. Efisiensi Termal Efektif

Efisiensi termal efektif adalah efisiensi pemanfaatan panas dari bahan bakar untuk diubah menjadi tenaga. Besar efisiensi total dapat dihitung dengan :

$$\eta_e = \frac{N_e}{G_f \cdot Q_c} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

η_e : efisiensi termal efektif (%)

N_e : daya efektif (W)

G_f : jumlah bahan bakar yang dipergunakan (kg bahan bakar/s)

Q_c : nilai kalor bahan bakar (J/kg bahan bakar)

2.3.5. Modifikasi Motor Bakar

Modifikasi pada motor bakar bensin tidak terlalu sulit. Ada beberapa langkah modifikasi yang dapat digunakan antara lain :

1. Modifikasi pada kompresi mesin
2. Modifikasi pada system pengapian
3. Modifikasi pada system penyaluran bahan bakar atau karburasi

Menurunkan perbandingan kompresi akan membuat mesin lebih mudah menerima bahan bakar yang lebih rendah kualitasnya. Pada umumnya biogas yang memiliki kadar gas metana lebih dari 90% mampu bekerja dengan baik pada

rasio kompresi 11 – 13. Sedangkan motor bakar bensin pada umumnya 8 –11. Namun biogas yang belum melalui proses pemurnian mengandung banyak zat pengotor sehingga rasio kompresi harus diturunkan.

Modifikasi pada sistem kompresi yaitu dengan cara mengubah kedudukan sambungan antara batang piston dengan batang engkol. Sehingga memperpanjang langkah piston dan meningkatkan kapasitas mesin namun dengan volume ruang bakar yang sama. Cara lain dengan mengganti kop silinder dengan ruang bakar yang lebih kecil sehingga dengan volume langkah yang sama otomatis meningkatkan rasio kompresi.

Bahan bakar biogas lebih sukar terbakar jika dibandingkan bensin. Hal ini dikarenakan biogas memiliki banyak zat pengotor yang sukar dipisahkan atau dipurifikasi. Oleh karena itu jika tetap menggunakan mesin standar motor bensin maka akan terjadi keterlambatan pembakaran saat beroperasi. Bahan bakar biogas akan terus terbakar tidak pada waktu yang tepat. Hal ini akan menyebabkan panas dan tenaga maksimal akan sukar didapatkan. Bahan bakar akan lebih boros.

Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi waktu pengapian yang tepat, diantaranya :

1. Putaran mesin, semakin tinggi kecepatan putaran mesin maka waktu pengapian harus semakin dimajukan, ini dilakukan untuk memberi waktu api merambat di ruang bakar.
2. Suhu atau temperatur pembakaran mesin, semakin tinggi temperatur maka waktu pengapian harus diundurkan, karena bahan bakar akan semakin mudah dibakar di suhu yang tinggi.

3. Penggunaan jenis bahan bakar, kandungan oktan di setiap bahan bakar berbeda. Pada umumnya angka oktan yang tinggi akan lebih mudah terbakar dibandingkan dengan bahan bakar dengan angka oktan lebih rendah.
4. Banyaknya kandungan udara dalam campuran bahan bakar, semakin banyak udara semakin bahan bakar mudah terbakar dan mengharuskan waktu pengapian dimundurkan.

Modifikasi pada sistem pengapian dengan cara mengubah waktu pengapian sehingga busi memercik pada waktu yang tepat. Untuk mengubah waktu pengapian dengan cara menggeser posisi spull pengapian.

Untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna diperlukan salah satunya perbandingan bahan bakar dan udara yang tepat. Udara memiliki kandungan oksigen sekitar 21%. Untuk mendapatkan perbandingan yang tepat ilmuwan melakukan penelitian bagaimana memaksimalkan kandungan oksigen di udara dalam proses pembakaran. Setiap bahan bakar memiliki karakteristik yang berbeda dalam memaksimalkan oksigen ketika pembakaran.

Perbandingan massa campuran bahan bakar yang ideal untuk motor bakar bensin sekitar 1 : 14,7 pada tekanan 1 atm. Sedangkan perbandingan massa campuran biogas dengan kadar 50% gas metana sekitar 1 : 4,6 atau jika diukur dengan volume sekitar 1 : 5,8.

Diperlukan karburator atau *mixer* khusus untuk mendapatkan perbandingan ideal untuk biogas. Karburator biogas dapat dibuat dari karburator

bensin yang dimodifikasi ataupun membuat sendiri menggunakan bahan tertentu.

Biogas mempunyai karakteristik yang berbeda dengan bensin, diantaranya :

Tabel 2.5. Perbedaan karakteristik biogas dengan bensin

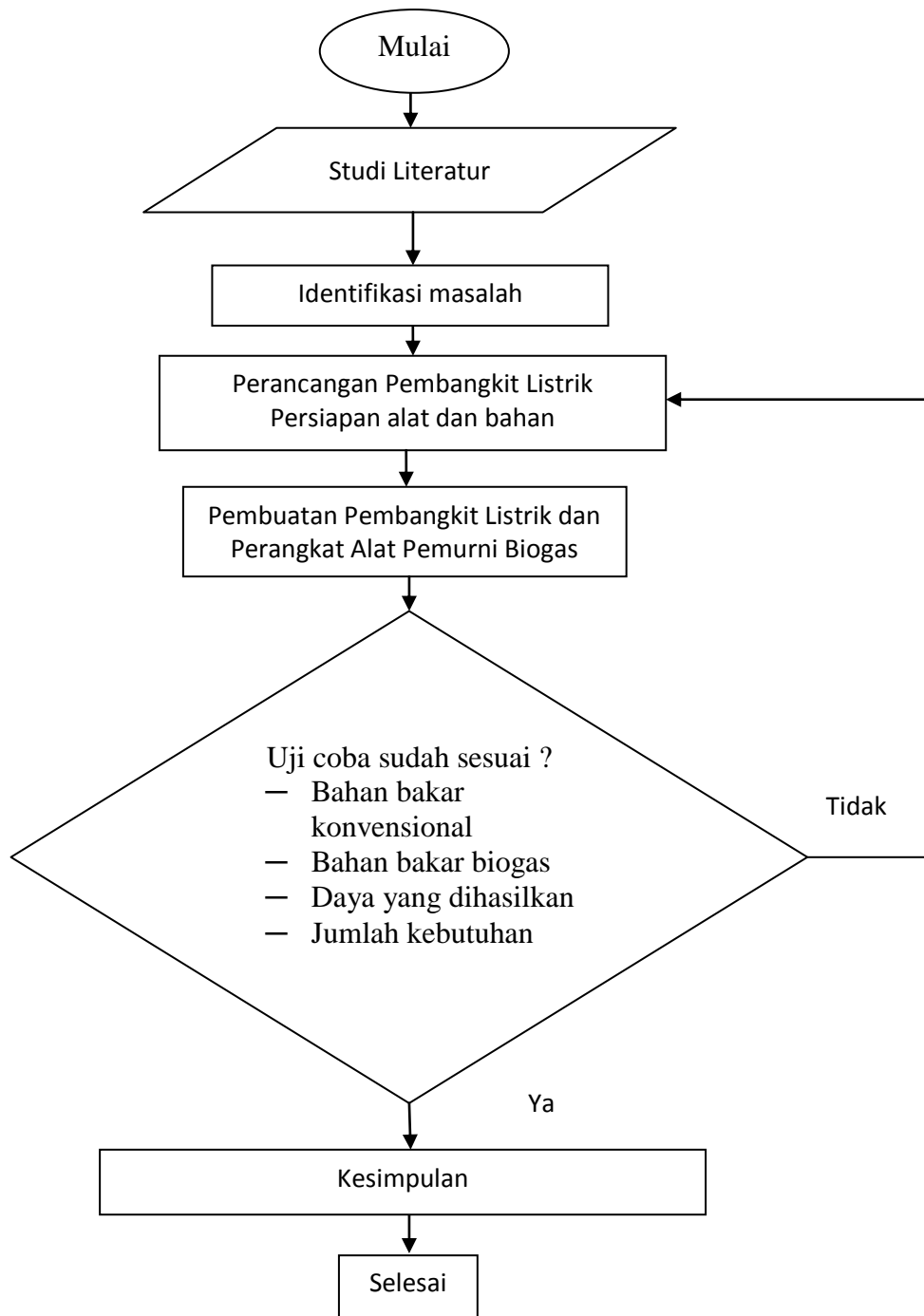
Bensin	Biogas
<ul style="list-style-type: none"> • Bahan bakar gas yang sebagian besar wujudnya masih cair • Memiliki tekanan gas yang kecil dan cenderung tidak memiliki tekanan • Mudah sekali terbakar di udara bebas, bahkan oleh percikan bunga api • Memiliki nilai kalor 9766 kkal/kg • Massa Jenis Bensin 783 kg/m^3 • Murni terdiri zat yang mampu terbakar • Mudah disimpan dan dibawa dikendaraan 	<ul style="list-style-type: none"> • Bahan bakar gas dengan wujud gas • Memiliki tekanan gas yang berubah – ubah • Lebih sulit terbakar dibandingkan dengan bensin • Memiliki nilai kalor yang lebih rendah dari bensin 5 – 6 KWh ($4320 - 5184 \text{ kkal/m}^3$) tergantung dari jumlah kandungan CH_4 • Massa Jenis Biogas $1,3 \text{ kg/m}^3$ • Masih mengandung banyak zat pengotor sehingga perlu pemurnian • Sulit digunakan untuk kendaraan karena jika biogas dikompres pada suhu ruangan hingga lebih dari 5 atm akan menyala dengan sendirinya

Sumber : Suyitno, 2009

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir (*Flow Chart*)



Gambar 3.1. Diagram alir

3.2 Metodologi Penelitian

Pengumpulan data – data untuk memecahkan masalah pada penelitian ini menggunakan tiga metode sebagai berikut :

a. Metode Observasi

Mengumpulkan data – data yang ada di lapangan khususnya lokasi yang akan menjadi obyek penelitian. Pengambilan data kualitas biogas dengan melakukan pengujian di laboratorium terpadu.

b. Metode Studi Literatur

Metode ini dengan mencari data – data yang berkaitan dengan judul berupa hasil penelitian, buku teori, jurnal ilmiah, skripsi ataupun tesis sebelumnya yang pernah dilakukan dan dipublikasikan.

c. Metode Interview

Mengumpulkan data dengan menanyakan kepada pihak – pihak yang memiliki kompetensi di bidang terkait.

3.2.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

a. Waktu Pelaksanaan

Waktu penelitian kurang lebih dilaksanakan selama 4 bulan, mulai bulan januari sampai bulan Juni.

b. Tempat pelaksanaan

Terdapat 2 tempat sumber biogas yang digunakan untuk obyek penelitian. Tempat penelitian pertama di kandang kelompok sapi Adhini Makmur Dusun Kalipucang, Desa Bangunjiwo, Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Tempat penelitian kedua sebagai pembanding berada di Pusat Pelatihan Pertanian dan Pedesaan Swadaya (P4S) “Pandan Mulyo” yang beralamat dusun Ngentak, desa Poncosari, kec. Srandakan, kab. Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Tempat perakitan alat dan bahan di Laboratorium Teknik Mesin Otomotif dan Manufaktur Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yang beralamat di Jl. H.O.S. Cokroaminoto, Pakuncen, Wirobrajan, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta 55253.

3.2.2 Alat dan Bahan

a. Alat

Alat yang diperlukan dalam menunjang proses pengerjaan tugas akhir ini antara lain :

1. Tool Boox Set
2. Gerinda
3. Mesin Bor

b. Bahan

Bahan yang digunakan dalam proses pelaksanaan tugas akhir ini adalah:

1. Unit Generator Set Merk General ET2500L

Spesifikasi :

Berat kosong : 28 kg

Dimensi : 47 x 38 x 38 cm

Merek : General

Tipe : ET2500L

Mesin	: 4 Tak, Berpendingin Udara, Single Silinder
Frekuensi	: 50 Hz
Arus Keluaran	: 1150 Watt
Arus Keluaran Maxs	: 1200 Watt
Bahan Bakar	: Bensin Murni
Kapasitas Oli Mesin	: 0,4 liter
Kapasitas Bahan Bakar	: 5 liter
Pengatur Tegangan	: AVR
Sistem Penyalaan	: Recoil (ditarik)

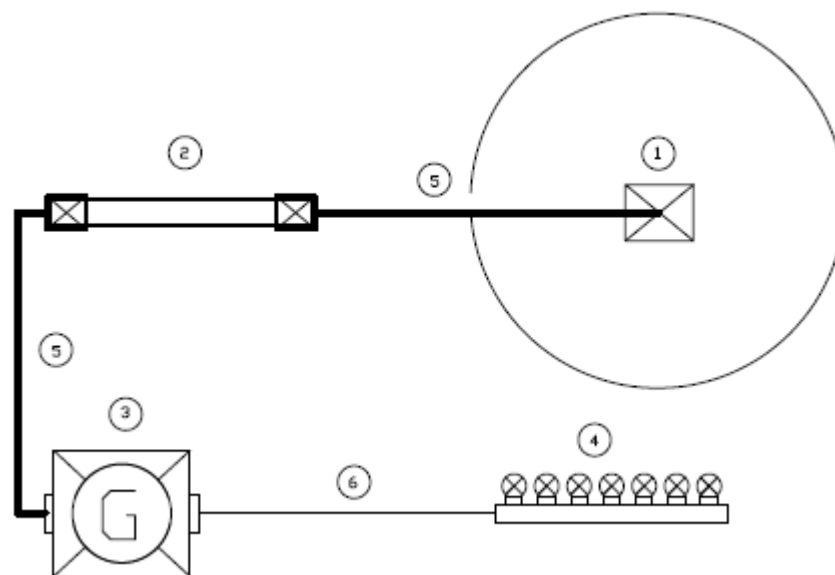
2. Unit Pembangkit Biogas (*Biogas Plant*)

Pembangkit biogas pertama terletak di dusun Kalipucang, desa Bangunjiwo, kecamatan Kasihan, kabupaten Bantul ini merupakan proyek hibah dari pemerintah kabupaten Bantul untuk program kemandirian energi. Dibangun tahun 2014 dengan total anggaran sekitar 8 juta. Pembangkit biogas menggunakan digester tipe *fixed dome* yang memiliki volume tetap sehingga peningkatan jumlah biogas akan meningkatkan tekanan.

Digester memiliki ukuran diameter sekitar 3 m. Ditanam di dalam tanah dengan kontruksi beton permanen. Bahan dasar pembuatannya berasal dari kotoran sapi. Di lokasi terdapat lebih dari 60 populasi ternak sapi. Digunakan untuk menyalakan lampu dan kompor biogas. Hanya berjalan sekitar 1 tahun dan kemudian tidak digunakan kembali. Warga mengeluhkan ketika mengisi digester dengan campuran kotoran tidak sebanding dengan pemakainnya. Walaupun diisi

rutin sekitar 60 liter kotoran tiap harinya, ketika digunakan untuk memasak air belum mendidih namun biogas sudah habis.

Pembangkit biogas yang kedua terletak di dusun Ngentak, desa Poncosari, kec. Srandakan, kab. Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pembangkit biogas dibangun pada tahun 2011 oleh Kementerian Lingkungan Hidup. Memiliki ukuran diameter kubah 7 m. Bahan organik pembuatan biogas juga berasal dari kotoran sapi. Di lokasi terdapat lebih dari 350 populasi ternak sapi yang sebagian hasil kotorannya selalu rutin diisikan ke digester.



Gambar 3.2. Skema Rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Biogas

Keterangan :

1. Unit pembangkit biogas (Digester beton)
2. Unit pemurni biogas (Tabung zeofilter)
3. Generator set motor 4 tak (General ET2500L)
4. Lampu uji beban (16x60Watt)
5. Selang gas (7 mm)

6. Kabel listrik tembaga

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Persiapan Unit Pembangkit Biogas

Di lokasi digester pertama, dusun Kalipucang, desa Bangunjiwo, kec. Kasihan, kab. Bantul peneliti mencoba mengaktifkan kembali reaktor. Pengisian rutin dilakukan kembali dan berusaha mendeteksi indikasi kebocoran berdasarkan keterangan dari warga. Peneliti berhasil menemukan kebocoran tersebut kemudian memotong selang yang bocor serta memasang *niple* dan *stop kran* untuk mengatur laju aliran biogas.

Untuk mengukur jumlah gas di dalam tabung digunakan manometer air terbuat dari selang yang ditempelkan di papan dan diberi ukuran sepanjang 1 meter. Perbedaan level air akibat tekanan gas akan menunjukkan tekanan dan jumlah biogas yang terdapat dalam digester.

Di lokasi digester yang kedua terletak di dusun Ngentak, desa Poncosari, kec. Srandakan, kab. Bantul. Biogas sudah dalam keadaan siap dikarenakan selalu diisi setiap hari oleh warga yang bertugas. Selain itu digester sudah aktif sejak tahun 2011. Semakin lama dan rutin suatu digester digunakan akan semakin meningkatkan kualitas biogas.

4.2. Pemurnian Biogas dari unsur pengotornya

Dalam proyek ini proses pemurnian biogas berada di luar rencana awal. Uji coba di lokasi pertama dusun Kalipucang, desa Bangunjiwo, kec. Kasihan, kab. Bantul menggunakan biogas secara langsung mengalami hambatan serius, mesin sukar menyala atau ketika menyala tidak mampu menerima beban. Kesulitan

dalam penyalaan disebabkan masih terdapat banyak zat pengotor berupa H₂O dan CO₂ yang cukup tinggi.

Dilokasi kedua dusun Ngentak, desa Poncosari, kec. Srandakan, kab. Bantul penggunaan biogas secara langsung jauh lebih mudah dalam penyalaan mesin dibanding tempat pertama. Namun tetap harus melakukan pemanasan awal menggunakan bahan bakar bensin.

Untuk dapat memaksimalkan potensi bahan bakar biogas maka diperlukan proses pemurnian biogas. Proses pemurnian menggunakan campuran batuan Zeolit yang memiliki sifat mampu menyerap kadar CO₂ dan H₂O yang terdapat pada biogas. Zat absorber ini terdiri dari campuran beberapa bahan yaitu batu zeolit sebagai bahan dasar ditambah tepung tapioka, batu kaolin, batu Bentonit, batu gamping, larutan natrium hidroksida pekat, dan kitosan cair. Ramuan ini ditemukan dan telah dipatenkan oleh Satriyo Krido Wahono, ST dari hasil penelitian di Balai Pengembangan Proses dan Teknologi Kimia Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

Proses pembuatan dengan membuat 6 jenis campuran : gabungan zeolit dan natrium hidroksida pekat, bentonit, kaolin, gamping, tapioka, dan kitosan cair. Mulanya dilakukan proses dealuminasi untuk meningkatkan kapasitas pori – pori pada batuan zeolit. Dealuminasi adalah proses menyingkirkan atom aluminium yang semula mengisi pori – pori batu zeolit. Selanjutnya dilakukan proses kalsinasi untuk mengaktifkan pori – pori kristal zeolit sampai siap untuk digunakan.

Kemudian membuat empat macam bahan penyaring dengan melarutkan 600 gram serbuk zeolit berukuran 100 *mesh* dalam 300 ml air. Wadah pertama ditambahkan 100 gram kaolin, wadah kedua 100 gram bentonit, wadah ketiga 100 gram kanji, dan di wadah keempat dengan 100 gram gamping. Selain itu juga membuat campuran natrium hidroksida, rendam serbuk Zeolit ukuran 5 – 10 *mesh* dalam larutan zat itu. Untuk membuat campuran kitosan menggunakan serbuk zeolit berukuran 100 *mesh*. Keenam campuran itu kemudian dikeringkan lalu dicetak menjadi pelet diameter 3 – 4 mm dan panjang 1 – 2 cm.

Pelet campuran batuan zeolit yang sudah jadi dimasukkan kedalam pipa PVC ukuran diameter 3 inchi dan panjang 92 cm tertutup membentuk tabung dan dikedua ujungnya di pasang keran kompresor sebagai tempat mengalirnya biogas. Kesatuan tabung PVC yang telah diisi dengan campuran batuan Zeolit seberat 4 kg ini disebut Zeofilter.

Ketika digunakan secara terus menerus 1 unit Zeofilter mampu bertahan selama 2 bulan dan kemudian harus di cuci ulang menggunakan air biasa dan dijemur. Perlakuan ini dapat dilakukan sebanyak 5 kali atau dalam kurun waktu 1 tahun. Hasil pengujian menunjukkan alat ini mampu menyerap CO₂ sebanyak 5-20 % tergantung dari kecepatan aliran biogas di dalam tabung.

4.3. Unjuk Kerja Generator Set Menggunakan Bensin

Generator set menggunakan bensin sebagai bahan bakar primer. Kemampuan genset dengan bahan bakar bensin mampu mencapai daya output maksimal sebesar 1200 Watt pada tegangan rata - rata 220 V. Tujuan pengujian untuk mengetahui jumlah konsumsi bahan bakar, nilai bahan bakar spesifik dan

efisiensi *thermal* mesin dari beberapa variasi pembebanan. Pengujian generator set berbahan bakar bensin dilakukan dengan beberapa variasi pembebanan, yaitu 0 Watt, 180 Watt, 300 Watt, 600 Watt dan 900 Watt.

Untuk mengetahui massa jenis bahan bakar bensin menggunakan bejana berhubungan berupa selang. Salah satu ujungnya diisi air ber massa jenis 1000 kg/m^3 dan ujung lainnya diisi dengan bensin. Dari hasil pengujian diperoleh massa jenis bensin sebesar 783 kg/m^3 .

Alat pengujian adalah menggunakan alat uji beban berupa lampu pijar 60 dan 100 Watt dengan besar beban total 900 Watt.

Langkah pengujian :

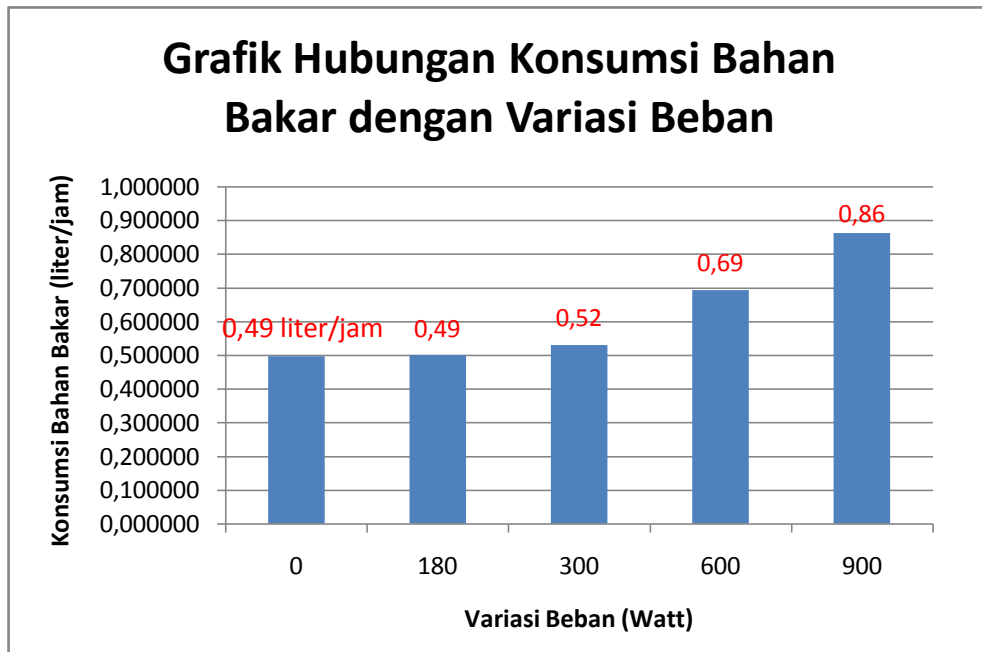
- Isi tanki bahan bakar secukupnya menggunakan bahan bakar bensin jenis pertalite untuk pemanasan awal mesin tanpa beban.
- Kemudian lepas selang saluran bahan bakar dari tangki menuju karburator. Pasang selang *waterpass* yang telah diberi ukuran penggaris untuk menghitung jumlah bahan bakar.
- Pasang alat penguji berupa beberapa lampu dengan beban 180 Watt, lalu nyalakan mesin dan amati kecepatan berkurangnya bahan bakar pada selang menggunakan *Stopwatch*.
- Lakukan langkah yang sama untuk variasi pembebanan yang lain. Ulangi hingga setiap variasi pembebanan menerima 3 kali pengujian.

Pengujian menggunakan beban 180 Watt Generator set berbahan bakar bensin diperoleh laju konsumsi bahan bakar sebesar 0,499686 liter/jam atau 0,391254 kg/jam. Sehingga pemakaian bahan bakar spesifik sebesar 0,002776 liter/jam.W. Dengan heat value bahan bakar bensin sebesar 9766 kkal/kg kondisi mesin standar generator set dengan bahan bakar bensin memiliki efisiensi termal sebesar 0,04 %.

Pada beban 300 Watt Generator set berbahan bakar bensin diperoleh laju konsumsi bahan bakar sebesar 0,529875 liter/jam. Sehingga pemakaian bahan bakar spesifik sebesar 0,001766 liter/jam.W. Efisiensi termal generator set dengan bahan bakar bensin sebesar 0,07 %.

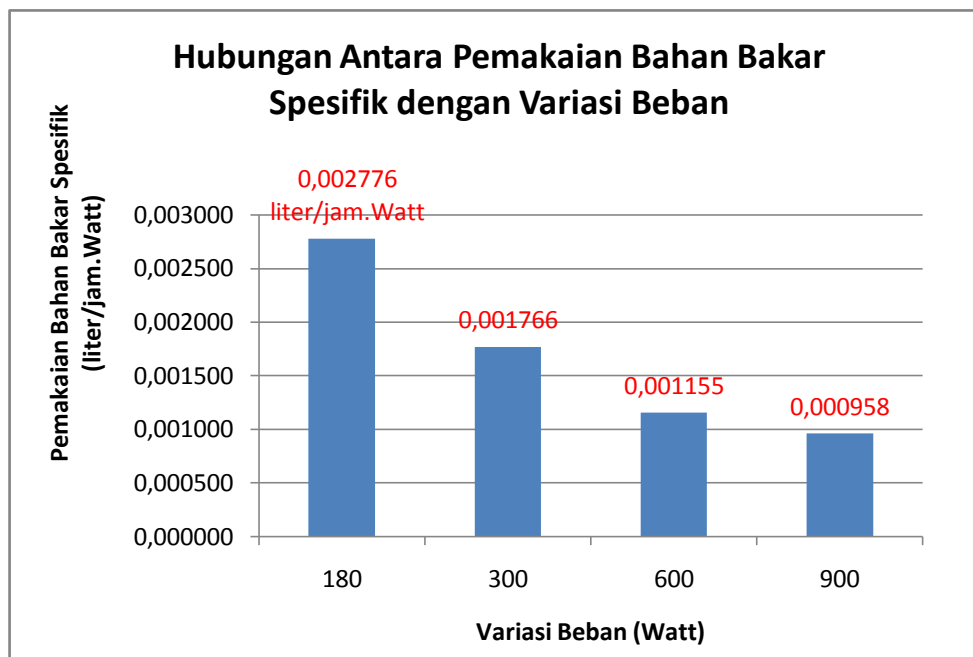
Pada beban 600 Watt Generator set berbahan bakar bensin diperoleh laju konsumsi bahan bakar sebesar 0,693025 liter/jam. Sehingga pemakaian bahan bakar spesifik sebesar 0,001155 liter/jam.W. Efisiensi termal generator set dengan bahan bakar bensin sebesar 0,10 %.

Pada beban 900 Watt Generator set berbahan bakar bensin diperoleh laju konsumsi bahan bakar sebesar 0,862169 liter/jam. Sehingga pemakaian bahan bakar spesifik sebesar 0,000958 liter/jam.W. Efisiensi termal generator set dengan bahan bakar bensin sebesar 0,12 %.



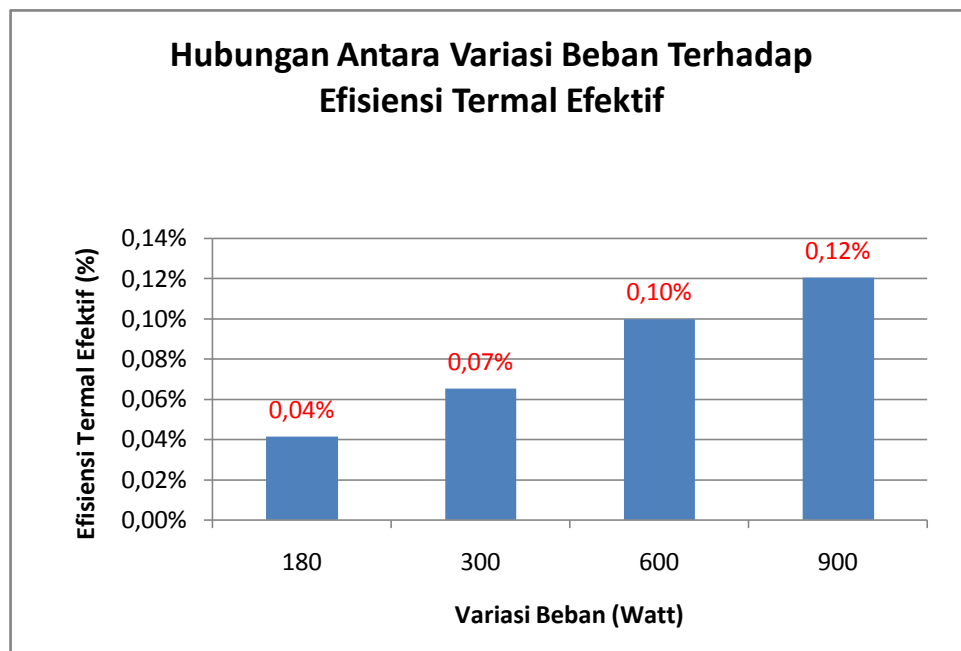
Gambar 4.1. Grafik hubungan konsumsi bahan bakar dengan variasi beban

Konsumsi bahan bakar semakin meningkat berbanding lurus dengan meningkatnya beban yang diterima generator set. Namun ada dimana perubahan konsumsi bahan bakar tidak terlalu signifikan terhadap variasi beban, yaitu pada beban 0 Watt (tanpa beban), 180 Watt dan 300 Watt. Setelah melalui beban 300 Watt grafik menunjukkan konsumsi semakin meningkat secara signifikan.



Gambar 4.2. Grafik hubungan antara pemakaian bahan bakar spesifik dengan variasi beban

Pada grafik menunjukkan bahwa harga bahan bakar spesifik semakin menurun seiring dengan meningkatnya daya yang dikeluarkan. Grafik menunjukkan perubahan harga bahan bakar spesifik yang turun cukup signifikan ketika daya atau beban dinaikkan. Sebaliknya harga bahan bakar spesifik turun melambat diantara daya 300 – 900 Watt. Harga bahan bakar spesifik yang semakin menurun menunjukkan efisiensi yang semakin meningkat untuk menghasilkan daya listrik.



Gambar 4.3. Grafik hubungan antara variasi beban terhadap efisiensi termal

Efisiensi termal efektif merupakan tingkat efisiensi mesin dalam memaksimalkan potensi kalor yang terdapat pada bahan bakar. Pada grafik menunjukkan presentase yang semakin meningkat seiring dengan meningkatnya daya atau beban. Semakin tinggi presentase menunjukkan efisiensi mesin semakin meningkat.

Grafik – grafik diatas belum menunjukkan titik klimaks atau titik balik dari hasil *performance* mesin tersebut. Karena dalam proses pengujian peneliti tidak menggunakan beban maksimum yang mampu diterima generator set. Menurut spesifikasi generator set mampu menghasilkan daya output hingga 1200 Watt.

4.4. Unjuk kerja generator set menggunakan bahan bakar biogas

Di lokasi pertama dusun Kalipucang, desa Bangunjiwo, kec. Kasihan, kab. Bantul, sebelum melakukan pengujian pada generator set peneliti terlebih dahulu

mengukur jumlah dan tekanan biogas pada digester. Pengukuran volume digester menggunakan tabung PVC diameter 9 cm dengan panjang 92 cm (Volume : 5,84982 liter). Tabung PVC ditutup kedua ujungnya dan masing – masing ujung diberi keran kompresor. Tabung PVC diisi penuh dengan air untuk menghilangkan udara luar yang masuk. Kemudian biogas bertekanan dimasukkan ke dalam tabung menggunakan selang sambil diamati pergerakan air di dalam manometer.

Dari hasil percobaan tersebut didapat bahwa 5,84982 liter biogas mengurangi tekanan pada manometer air setinggi 1 cmH₂O. Dengan tekanan maksimum digester sebesar 76 cmH₂O maka volume maksimum biogas di dalam digester sekitar 444,58632 liter. Perhitungan volume digester dengan metode demikian memiliki tingkat akurasi 93% dikarenakan biogas yang bertekanan akan terkompres sehingga mengurangi akurasi perhitungannya.

Penggunaan biogas sebagai bahan bakar alternatif generator set tanpa mengubah atau memodifikasi *engine*. Biogas disalurkan langsung ke lubang venturi pada karburator setelah melalui pemurni (Zeofilter). Beban maksimum yang dapat diterima sebesar 180 Watt yaitu dengan 3 buah lampu pijar 60 Watt sebagai alat uji atau bebannya.

Tabel 4.1. Hasil perhitungan uji coba generator set berbahan bakar biogas

Daya	konsumsi bahan bakar		harga bahan bakar spesifik		HV		Efisiensi Kalor
180	136,885788	liter/jam	0,760477	liter/jam.W	18000	kJ/m ³	0,27%
	0,17795152	kg/jam	0,000989	kg/jam.W	18000000	J/m ³	
	0,000049	kg/s			13846154	J/kg	

Dari hasil pengujian generator set biogas menghasilkan 136,885788 liter/jam atau 0,000049 kg/s. Harga bahan bakar spesifik sebesar 0,760477 liter/jam.W atau 0,000989 kg/jam.W. Dengan Heat Value 13846154 J/kg diperoleh efisiensi termal generator set sebesar 0,27%.

Dilokasi yang kedua dusun Ngentak, desa Poncosari, kec. Srandakan, kab. Bantul, peneliti tidak melakukan pengukuran konsumsi bahan bakar biogas maupun volume di dalam digester. Dikarenakan kurangnya peralatan penunjang seperti manometer air maupun *air flow meter* sebagai alat standar pengukuran aliran gas dalam selang.

Dilakukan 2 macam pengujian, pertama menghidupkan mesin tanpa menggunakan zeofilter dan yang kedua menggunakan zeofilter. Dilakukan beberapa kali pengujian di setiap macam.

Beberapa pengujian tanpa menggunakan zeofilter dapat menyalakan lampu sebanyak 7 x 60 Watt atau daya maksimal 420 Watt. Sedangkan pengujian menggunakan zeofilter mampu menyalakan lampu sebanyak 12 x 60 Watt atau daya maksimal 720 Watt. Terjadi peningkatan daya maksimal genset sebesar 71% ketika menggunakan zeofilter.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Pembangkit listrik biogas telah berhasil dirancang dan dibuat serta listrik yang dihasilkan dapat digunakan sebagai penunjang kebutuhan rumah tangga. Pembangkit ini sangat cocok digunakan di tempat yang sulit dijangkau jaringan listrik PLN maupun bahan bakar fosil.
2. Kualitas biogas sangat dipengaruhi banyak faktor seperti yang ditunjukkan hasil pengujian di lokasi pertama desa Bangunjiwo dengan lokasi kedua di desa Poncosari. Alat pemurni biogas yaitu Zeofilter terbukti mampu mengurangi kadar CO² dalam biogas.
3. Di lokasi pertama penggunaan zeofilter memungkinkan biogas bisa menghidupkan genset hingga daya 180 Watt/100 Volt. Sedangkan di lokasi kedua meningkatkan *performance* genset dari 420Watt/220Volt menjadi 720Watt/220Volt. Konsumsi bahan bakar generator set berbahan bakar bensin pada beban 0, 180, 300, 600, 900 Watt berturut turut 0,496758, 0,499686, 0,529875, 0,693025, 0,862169 liter/jam sedangkan dengan bahan bakar biogas sebesar 0,136 m³/jam atau setara dengan 136 liter/jam. Perbandingan penggunaan bahan bakar bensin dengan biogas pada daya 180 Watt berturut – turut 0,391254 kg/jam dan 0,177951 kg/jam.

5.2. Saran

Perlunya diadakan penelitian lanjutan terutama dalam modifikasi mesin dengan mengubah timing pengapian, merancang dan membuat karburator khusus

dan mengubah rasio kompresi. Proses pemurnian juga perlu di tambah, terutama untuk mengurangi kadar H_2O dan H_2S .

Lakukan studi banding pembangkit listrik tenaga biogas ke beberapa tempat lain. Mencari informasi ke jurnal, buku, skripsi dan karya tulis ilmiah lainnya lalu analisa kelebihan dan kekurangannya. Jika memungkinkan temui orang yang berpengalaman di bidang biogas untuk mendapatkan informasi yang lebih mendetail.

Dibutuhkan alat ukur yang lebih lengkap dan lebih akurat dalam proses pengukuran seperti *Air Flowmeter*, AVO meter dan gelas ukur. Jika memungkinkan lakukan pengukuran nilai kalor biogas menggunakan *Bomb Calorimeter*.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Maulana dkk. 2011. Kajian Biogas Sebagai Sumber Pembangkit Tenaga Listrik di Pesantren Saung Balong Al-Barokah, Majalengka, Jawa Barat. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology Vol. 02, pp 73-78.*
- Agung Intan Kartika Putri, Anak dkk. 2014. Pengaruh Jenis Kotoran Ternak Terhadap Kuantitas Biogas. *Jurnal Kesehatan Lingkungan, Poltekes Denpasar Vol. 4 no 1, Mei 2014 : 45 – 49.*
- Gunamantha, Made dkk. 2014. Studi Potensi Biogas dari Sampah Daun Pisang Melalui Penguraian Secara Anaerobik. *Jurnal Jurusan Analisis Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja Vol. 3, No. 1, April.*
- Khudhori, Muhrom. 2013. Desain Modifikasi Karburator pada Mesin Penggerak Appo Berbahan Bakar Biogas di Pilot Plant DME Berbah. *Jurnal Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto Volume V, Nomor 1.*
- Laksamana Septiansyah, Panji. 2013. Penerapan Bahan Bakar Biogas pada Motor Bensin dengan Modifikasi Karburator dan Variasi Rasio Kompresi. *Fakultas Teknologi Pertanian Bogor.*
- Maryani, Sri. 2016. Potensi Campuran Sampah Sayuran dan Kotoran Sapi Sebagai Penghasil Biogas. *Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang : Skripsi Tidak Diterbitkan.*
- Muslim, Supari dan R, Wanarti Puput . 2008. *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik, jilid 1-3. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional*
- Nadliriyah, Naqibat & Triwikantoro. 2014. Pemurnian produk biogas dengan metode absorpsi menggunakan larutan Ca(OH)_2 . *Jurnal Sains dan Seni Pomits, ITS, vol.3, No. 2.*

- Nuril Anwar, Arif. 2015. Studi Analisis Perhitungan Potensi Energi Biogas dari Pembusukan Buah Untuk Pembangkit Listrik di Pasar Induk Buah Giwangan Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Skripsi.
- Sanjaya, Denta. 2015. Produksi Biogas dari Campuran Kotoran Sapi dengan Kotoran Ayam. Jurnal Teknik Pertanian Lampung Vol. 4 No. 2: 127-136.
- Wulandani, dyah (2014). Rancang bangun konverter biogas untuk motor bensin silinder tunggal. Jurnal Keteknikan Pertanian, IPB, Vol.2, No.1, hlm.1, April.

LAMPIRAN I

Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Generator Set Berbahan Bakar Bensin

Setiap pengujian menggunakan 23550 mm³ (0,023550 liter) bahan bakar bensin. Terdapat 5 Variasi beban yang diberikan kepada generator set dan setiap variasi beban dilakukan pengujian sebanyak 3 kali.

Beban (Watt)	Lama mesin menyala (detik)			rata - rata (detik)	Konsumsi bahan bakar (liter/jam)
	Pengujian I	II	III		
0	166	171	175	171	0,496758
180	165	170	174	170	0,499686
300	155	163	162	160	0,529875
600	120	124	123	122	0,693025
900	100	102	93	98	0,862169

Beban 0 Watt

$$\begin{aligned} \text{Konsumsi bahan bakar} &= \frac{\text{Jumlah bahan bakar (liter)}}{\text{Waktu (jam)}} \\ &= \frac{0,023550}{0,047500} \\ &= 0,496758 \text{ liter/jam} \end{aligned}$$

LAMPIRAN II

Perhitungan Pemakaian Bahan Bakar Spesifik Generator Set Berbahan Bakar Bensin

Beban (Watt)	Lama mesin menyala (detik)			rata - rata (detik)	Konsumsi bahan bakar (liter/jam)	Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (liter/Jam.Watt)
	Pengujian I	II	III			
0	166	171	175	171	0,496758	0
180	165	170	174	170	0,499686	0,002776
300	155	163	162	160	0,529875	0,001766
600	120	124	123	122	0,693025	0,001155
900	100	102	93	98	0,862169	0,000958

Beban 180 Watt

Pemakaian Bahan Bakar Spesifik

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Jumlah Bahan Bakar yang Digunakan } \left(\frac{\text{liter}}{\text{jam}}\right)}{\text{Jumlah Tenaga yang Dihasilkan per Waktu (Watt)}} \\ &= \frac{0,499686}{180} \\ &= 0,002776 \text{ liter/jam.Watt} \end{aligned}$$

LAMPIRAN III

Perhitungan Efisiensi Termal Generator Set Berbahan Bakar Bensin

Pengujian menggunakan bensin sejumlah 23550 mm³ (0,023550 liter) (0,018 kg)

Beban (Watt)	Lama mesin menyala (detik)			rata - rata (detik)	Konsumsi Bahan Bakar (kg/s)	Efisiensi Termal Efektif (%)
	Pengujian I	II	III			
0	166	171	175	171	0,000105	0%
180	165	170	174	170	0,000106	0,04%
300	155	163	162	160	0,000113	0,07%
600	120	124	123	122	0,000147	0,10%
900	100	102	93	98	0,000183	0,12%

Diketahui :

Output daya = 300 Watt

Nilai Density Bensin = 783 kg/m³ = 0,783 kg/liter

1 kalori = 4,2 Joule

1 Joule = 0,24 kalori

Nilai Kalor Bensin = 9766 kkal/kg = 41017200 J/kg

Efisiensi Termal Efektif

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Daya Efektif (Watt)}}{\text{Jumlah Bahan Bakar yang digunakan } \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) \cdot \text{Nilai Kalor Bahan Bakar } \left(\frac{\text{Joule}}{\text{kg}}\right)} \\ &= \frac{300 \text{ Watt}}{0,000113 \times 41017200} = \frac{300}{7681,857472} \\ &= 0,07\% \end{aligned}$$

LAMPIRAN IV

Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Generator Set Berbahan Bakar Biogas

Daya	konsumsi bahan bakar		harga bahan bakar spesifik	HV	Efisiensi Kalor
180	136,88578	liter/ja	0,76047 liter/jam.		
	8	m	7 W	18000	3
	0,1779515		0,00098		
	2	kg/jam	9 kg/jam.W	18000000	J/m ³
	0,000049	kg/s		13846154	J/kg
					0,27%

Pengukuran jumlah biogas di dalam digester menggunakan tabung PVC yang kedua ujungnya ditutup dan diberi keran biogas.

Tabung Pengukur biogas diameter 9 cm, tinggi 92 cm

$$V = t \cdot \pi r^2$$

$$V = 92(3,14 \cdot 4,5 \cdot 4,5)$$

$$V = 5849,82 \text{ cm}^3$$

Dengan volume biogas di dalam tabung PVC sebanyak 5849,82 cm³ mengurangi tekanan digester setinggi 1 cmH₂O. Jadi 1 cmH₂O tekanan digester setara dengan 5849,82 cm atau 5,84982 liter atau 0,0076047 kg.

Generator Set menyala pada daya 180 Watt selama 30 menit. Mengurangi tekanan biogas sebanyak 11,7 cmH₂O. Diasumsikan jika mesin menyala selama 1 jam maka akan menghabiskan 23,4 cmH₂O. Sehingga menghabiskan volume biogas sebanyak 5,84982 x 23,4 = 136,885788 liter atau 0,177951 kg.

$$\begin{aligned} \text{Konsumsi bahan bakar} &= \frac{\text{Jumlah bahan bakar (liter)}}{\text{Waktu (jam)}} \\ &= \frac{136,885788 \text{ liter}}{1} \\ &= 136,885788 \text{ liter/jam} \\ &= 0,177951 \text{ kg/jam} \\ &= 0,000049 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

LAMPIRAN V

Perhitungan Harga Bahan Bakar Spesifik Generator Set Berbahan Bakar Biogas

Daya	konsumsi bahan bakar		harga bahan bakar spesifik	HV	Efisiensi Kalor
180	136,88578	liter/jam	0,76047	kJ/m	
	8	m	7	W	
	0,1779515		0,00098		
	2	kg/jam	9	kg/jam.W	
	0,000049	kg/s		18000000	J/m ³
				13846154	J/kg
					0,27%

Pemakaian Bahan Bakar Spesifik

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Jumlah Bahan Bakar yang Digunakan } \left(\frac{\text{liter}}{\text{jam}}\right)}{\text{Jumlah Tenaga yang Dihasilkan per Waktu (Watt)}} \\
 &= \frac{136,885788 \text{ liter/jam}}{180 \text{ Watt}} \\
 &= 0,760477 \frac{\text{liter}}{\text{jam}} \cdot W \\
 &= 0,000989 \text{ kg/jam.W}
 \end{aligned}$$

LAMPIRAN VI

Perhitungan Efisiensi Termal Generator Set Berbahan Bakar Biogas

Daya	konsumsi bahan bakar		harga bahan bakar spesifik	HV	Efisiensi Kalor
180	136,88578	liter/jam	0,76047 liter/jam.		
	8	m	7 W	18000 kJ/m ³	
	0,1779515		0,00098		
	2	kg/jam	9 kg/jam.W	18000000 J/m ³	
	0,000049	kg/s		13846154 J/kg	0,27%

Efisiensi Termal x 100%

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Daya Efektif (Watt)}}{\text{Jumlah Bahan Bakar yang digunakan } \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) \cdot \text{Nilai Kalor Bahan Bakar } \left(\frac{\text{Joule}}{\text{kg}}\right)} \\
 &= \frac{180 \text{ Watt}}{0,000049 \text{ kg/s} \cdot 13846154 \text{ J/kg}} \\
 &= \frac{180}{678,46154} \\
 &= 0,27\%
 \end{aligned}$$

LAMPIRAN VIII

FOTO – FOTO KEGIATAN PENELITIAN



