

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
BIOGAS**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Mencapai Gelar Ahli Madya Program
Diploma III Teknik Mesin

perpustakaan.uns.ac.id

digilib.uns.ac.id



Disusun oleh :

SUKOYO

I 8606018

**PROGRAM DIPLOMA III TEKNIK MESIN OTOMOTIF
FAKULTAS TEKNIK**

UNIVERSITAS SEBELAS MARET

SURAKARTA

2009

i

commit to user

LEMBAR PERSETUJUAN

Proyek Akhir dengan Judul “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Biogas” telah disetujui untuk dipertahankan dihadapan Tim Penguji Proyek Akhir Program Studi DIII Teknik Mesin Otomotif Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

perpus.stk.uns.ac.id

digilib.uns.ac.id

Pada Hari :

Tanggal :

Pembimbing 1

Pembimbing 2



Dr.Techn.Suyitno,ST.MT.

NIP. 132 297 382

Nurul Muhayat, ST, MT.

NIP. 19700323 199802 1001

LEMBAR PENGESAHAN

Proyek Akhir ini telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Proyek Akhir Program Studi DIII Teknik Mesin Otomotif Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta dan diterima untuk memenuhi syarat guna memperoleh gelar Ahli Madya.

Pada Hari perpustakaan.uns.ac.id

digilib.uns.ac.id

Tanggal :

Tim Penguji Proyek Akhir :

Dosen Penguji

Tanda Tangan

Ketua Penguji : Dr. Techn. Suyitno, ST, MT. ()
NIP : 132 297 382

Penguji II : Nurul Muhyat, ST, MT. ()
NIP : 197003231998021001

Penguji III : Ir. Augustinus Sudjono, MT. ()
NIP : 195110011985031001

Penguji IV : Wibowo, ST, MT. ()
NIP : 196904251998021001

Mengetahui,
Ketua Program D3 Teknik Mesin

Disahkan Oleh,
Koordinator Proyek Akhir

Zainal Arifin, ST, MT

NIP. 19730308 200003 1 001

Jaka Sulistya Budi, ST

NIP. 19671019 199903 1 001

MOTTO

“Pendidikan itu adalah perhiasan di waktu senang dan tempat berlindung di waktu susah.”

“Menyia - nyiakan waktu berarti menyia - nyiakan hidup, tapi menguasai waktu berarti menguasai hidup dan mememanfaatkannya dengan sebaik mungkin.”

“Lebih baik terlambat daripada tidak sama sekali.”



PERSEMBAHAN

perpustakaan.uns.ac.id

digilib.uns.ac.id



Karya ini kupersembahkan untuk :

Alm. Bapak & ibu tercinta

Dan kakak adikku tersayang

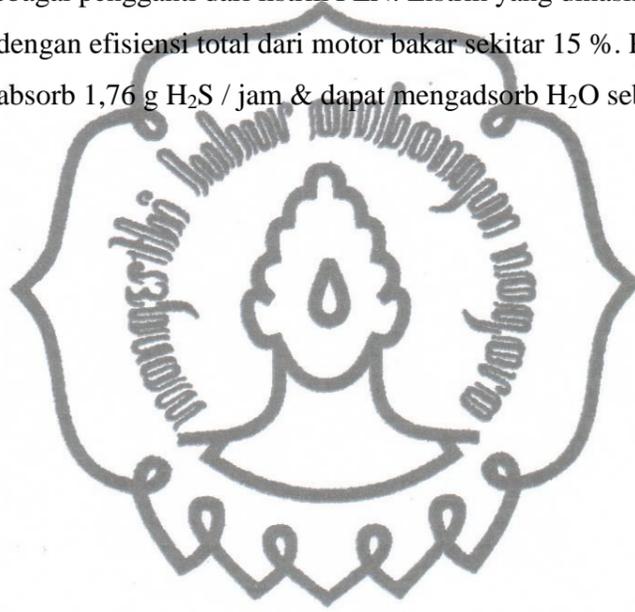
ABSTRAK

Tugas akhir ini bertujuan untuk rancang bangun pembangkit listrik tenaga biogas. Bahan bakar utama dari motor penggerak untuk menggerakkan generator adalah biogas sebagai pengganti bahan bakar bensin.

Modifikasi yang perlu dilakukan adalah dengan penggantian karburasi standar dengan karburasi buatan agar lebih mudah didalam mengatur perbandingan saluran masuk udara & biogas, selain itu juga diperlukan penggantian koil untuk memperbesar pengapian dan juga memperbesar kompresi.

Dalam biogas terdapat kandungan H_2S dan H_2O yang dapat memperpendek umur mesin sehingga kandungan tersebut harus dikurangi dengan cara pencucian. Dalam pencucian ini menggunakan limbah besi dari mesin bubut yang digunakan sebagai *absorber & Silica gel* sebagai adsorber.

Listrik yang dihasilkan oleh genset tersebut dimanfaatkan sebagai sumber listrik baru sebagai pengganti dari listrik PLN. Listrik yang dihasilkan genset sebesar 1000 watt dengan efisiensi total dari motor bakar sekitar 15 %. Pencucian biogas dapat mengabsorb 1,76 g H_2S / jam & dapat mengadsorb H_2O sebanyak 5 gr / jam.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah dan petunjukNya serta usaha yang sungguh - sungguh sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan tugas akhir ini. Merupakan satu kebahagiaan tersendiri bagi penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan tepat waktu.

Tugas akhir dengan judul “ RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS ”. Ini merupakan salah satu cara pemanfaatan energy bahan bakar pengganti bahan bakar minyak bumi. Banyak pihak yang terlibat dalam proses pembuatan alat maupun laporan tugas akhir ini, oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas ridho yang telah diberikan.
2. Bapak Zainal, ST. MT selaku ketua program D3 teknik mesin.
3. Bapak Dr. Techn. Suyitno, ST. MT. dan Nurul Muhyat, ST. MT. yang selalu membimbing kami.
4. Bapak dan Ibu serta adik kakak tercinta yang telah memberikan semangat dan motivasi baik secara moril maupun spiritual sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini dengan penuh semangat.
5. Team proyek akhir : Joko Purnomo , Danar Mulyoko dan Septian Indra Kusuma atas kerja samanya pada pembuatan alat maupun penyelesaian laporan ini.
6. Rekan – rekan D3 otomotif 2006 & D3 Kimia 2006 atas pemberian saran-saranya.
7. Semua pihak yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam penyusunan laporan ini.

Dengan keterbatasan yang dimiliki penulis ini, terutama keterbatasan pengetahuan, keahlian, kemampuan, serta data yang diperoleh, penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangan atau masih jauh dari

sempurna. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan guna perbaikan pembuatan laporan dikemudian hari.

Akhirnya penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak dan semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak terutama bagi mahasiswa Diploma III Teknik Mesin Otomotif Universitas Sebelas Maret Surakarta.

perpustakaan.uns.ac.id

digilib.uns.ac.id

Surakarta, Juli 2009

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
MOTTO.....	iv
PERSEMBAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Proyek Akhir.....	4
1.4. Manfaat Proyek Akhir.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	6
2.1. Biogas.....	6
2.1.1. Digester	6
2.1.2. Jenis Digester	11
2.1.3. Komponen Utama Digester.....	12
2.1.4. Proses Pemurnian Biogas.....	15
2.2. Motor Bakar	19
2.2.1. Unjuk Kerja Motor Bakar	19
2.2.2. Kelengkapan Modifikasi.....	22
BAB III PERANCANGAN ALAT.....	27
3.1. Prosedur Pelaksanaan Proyek Akhir	27
3.2. Pemurnian (Pencucian Biogas).	31
3.2.1. Bahan dan Alat yang Digunakan:.....	31
3.2.2. Cara Kerja.	33

3.3. Genset.....	34
3.3.1. Modifikasi pada Genset.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1. Pencucian Biogas dari Unsur H ₂ S dan H ₂ O.....	39
4.2. Pengujian Unjuk Kerja Genset.....	40
4.3. Analisa Unjuk Kerja Genset Berbahan Bakar Biogas.....	41
perpustakaan.uns.ac.id	digilib.uns.ac.id
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	47
5.1. Kesimpulan	47
5.2. Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Digester yang sederhana. Model <i>floating-drum</i> (A), <i>fixed-dome</i> (B), <i>fixed-dome</i> dengan tabung gas terpisah (C), <i>balloon</i> (D), jenis saluran (<i>channel-type</i>) dengan selubung plastik dan peneduh matahari (E) (Werner Kossmann, 1999).....	14
Gambar 2.2. Digester jenis <i>fixed dome</i> yang lebih detail. 1. Tangki pecampur dengan pipa masukan dan penjebak pasir. 2. <i>Digester</i> . 3. Kompensator dan tangki buangan. 4. Tempat gas (<i>gasholder</i>). 5. Pipa gas. 6. <i>Entry hatch with gastight seal</i> . 7. Akumulasi <i>sludge</i> yang tebal. 8. Pipa <i>outlet</i> . 9. Referensi ketinggian. 10. Buih. (Werner Kossmann, 1999).	15
Gambar 2.3. Pengaruh perbandingan kompresi terhadap efisiensi dengan perbandingan panas spesifik $C_p/C_v = 1,4$ (Cengel, 2006).....	24
Gambar 2.4. Tekanan sebagai fungsi dari sudut pengapian (Mitzlatf, 1988).	26
Gambar 3.1. Pola kemitraan yang dilaksanakan.....	27
Gambar 3.2. Rancangan pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBio)	28
Gambar 3.3. Tahap kegiatan proyek Akhir.....	30
Gambar 3.4. Diagram alir proses pencucian biogas.....	32
Gambar 3.5. Mekanisme Katup.....	35
Gambar 3.6 Silinder Head.....	36
Gambar 3.7. Karburator.....	36
Gambar 3.8. Busi.....	37
Gambar 3.9. Koil.....	37
Gambar 4.1. Torsi mesin berbahan bakar biogas.....	42
Gambar 4.2. Efisiensi volumetrik mesin berbahan bakar biogas.....	43
Gambar 4.3. Bmep mesin berbahan bakar biogas.....	44
Gambar 4.4. Konsumsi bahan bakar spesifik mesin berbahan bakar biogas.	44
Gambar 4.5. Efisiensi total mesin berbahan bakar biogas.	45

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Komposisi biogas (Horikawa, 2001)	2
Tabel 2.1. Rasio C/N untuk beberapa kotoran hewan.....	8
Tabel 2.2. Kebutuhan nutrisi dalam digester (http://www.kamase.org)	9
Tabel 2.3. Zat beracun yang mampu diterima oleh bakteri dalam digester (Sddimension FAO dalam Ginting, 2006).	10
Tabel 2.4. Perbandingan jumlah udara dan jumlah bahan bakar untuk pembakaran sempurna (Suyitno, 2009).....	23
Tabel 3.1. Analisis kebutuhan kotoran sapi untuk menghasilkan listrik 2000 W	29
Tabel 4.1 Gerakan katup isap dan katup buang	41



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Berkurangnya cadangan sumber energi dan kelangkaan bahan bakar minyak yang terjadi di Indonesia dewasa ini membutuhkan solusi yang tepat, terbukti dengan dikeluarkannya kebijakan pemerintah dalam konversi minyak tanah ke gas. Namun pemanfaatan energi fosil seperti gas bumi (LPG dan LNG) sebagai sumber energi pengganti minyak tanah perlu untuk dikaji kembali. Hal ini penting karena sumber energi tersebut memiliki jumlah cadangan yang terbatas dan bersifat tidak dapat diperbaharui lagi (*non renewable*) sehingga konversi minyak tanah ke gas hanya berlangsung sementara. Dengan ketersediaan cadangan energi fosil yang terbatas diiringi peningkatan konsumsi energi, memaksa banyak peneliti untuk mencari sumber energi alternatif baru yang mudah, murah, dan ramah lingkungan. Salah satu sumber energi alternatif yang saat ini cukup potensial untuk diterapkan di Indonesia adalah biogas.

Biogas sangat potensial sebagai sumber energi terbarukan karena kandungan *methane* (CH₄) yang tinggi dan nilai kalornya yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 4.800 – 6.700 kkal/m³ (Harahap, 1980). *Methane* (CH₄) yang hanya memiliki satu karbon dalam setiap rantainya, dapat membuat pembakarannya lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar berantai karbon panjang. Hal ini disebabkan karena jumlah CO₂ yang dihasilkan selama pembakaran bahan bakar berantai karbon pendek adalah lebih sedikit. Berikut adalah gambaran komposisi biogas:

Tabel 1.1. Komposisi biogas (Horikawa, 2001)

Gas	Digester Sludge Sistem Anaerob (% volume)
CH₄	81,1 %
CO₂	14,0 %
H₂S	2,2 %
NO₂ + O₂	2,7 %

Kandungan *methane* yang cukup tinggi dalam biogas dapat menggantikan peran LPG dan petrol (bensin). Tapi ada kandungan lain lagi selain *methane* dalam biogas yang perlu adanya proses pemurnian. Gas tersebut adalah gas H₂S yang dianggap sebagai pengotor dan bila ikut terbakar dan terbebas dengan udara dapat teroksidasi menjadi SO₂ dan SO₃ yang bersifat korosif dan bila teroksidasi lebih lanjut oleh H₂O dapat memicu hujan asam. Selain H₂S terdapat juga uap air dan CO₂ yang tidak bermanfaat pada saat pembakaran. Biogas yang mengandung sejumlah H₂O dapat berkurang nilai kalornya. Gas H₂O sebagaimana gas H₂S juga perlu dibersihkan dari biogas.

Kandungan H₂S yang cukup tinggi (2,2 %) menghasilkan pembakaran biogas yang mengandung SO₂ dan SO₃ yang bersifat korosif dan dapat menimbulkan hujan asam. Oleh karena itu perlu dilakukan *pretreatment* terhadap biogas untuk mereduksi kandungan H₂S sebelum dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Dalam kenyataannya biogas yang langsung dari digester juga dapat langsung digunakan untuk menggerakkan mesin otto (bensin) namun dalam pembakaran yang dihasilkan tidak stabil. Penggunaan yang terus menerus dapat mengurangi umur mesin karena dalam ruang bakar

banyak terdapat terak-terak akibat dalam biogas tersebut tidak terbakar sempurna.

Dalam tugas akhir ini metode yang digunakan untuk mengurangi kadar H_2S dalam biogas adalah dengan proses absorpsi menggunakan absorben larutan dari garam mesin bubut. Penggunaan absorben menggunakan larutan garam besi mempunyai beberapa keuntungan antara lain tidak korosif, dapat diregenerasi, diperoleh sulfur dalam bentuk padat sehingga mudah dan aman perlakuannya dan penyerapan H_2S tinggi.

1.2. Perumusan Masalah

Dari penjelasan di atas, dapat dirumuskan suatu permasalahan yang harus diselesaikan, antara lain:

1. Apakah larutan garam besi dapat digunakan sebagai absorben yang efektif untuk mengabsorb H_2S yang terdapat dalam biogas?
2. Apakah silika gel dapat digunakan sebagai adsorben yang efektif untuk mengadsorb uap air yang terdapat pada biogas?

Dari uraian di atas dapat dirumuskan beberapa masalah yang menarik untuk dipelajari dalam proyek akhir ini, yaitu:

1. Bagaimana teknik pemanfaatan biogas untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam motor bensin yang selanjutnya dapat digunakan untuk menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik?
2. Bagaimana teknik pemurnian biogas dari H_2S ?
3. Bagaimana teknik pemurnian biogas dari H_2O ?
4. Berapa banyak konsumsi biogas yang diperlukan untuk menggerakkan genset dengan beban yang berbeda-beda?
5. Bagaimana efisiensi genset berbahan bakar biogas?

1.3. Tujuan Proyek Akhir

Adapun tujuan proyek akhir ini adalah :

1. Membuat modifikasi motor bensin (genset) sehingga dapat digunakan untuk bahan bakar biogas.
2. Menguji genset berbahan bakar biogas untuk menghasilkan listrik sampai beban 1000 watt.
3. Membuat pemurnian biogas dari unsur H_2O .
4. Membuat pemurnian biogas dari unsur H_2S dengan metode absorben.

1.4. Manfaat Proyek Akhir

1. Perkembangan Iptek.
 - a) Hasil proyek akhir ini diharapkan dapat merumuskan paket teknologi pemurnian biogas dari kandungan sulfur yang mudah, murah, dan tidak mencemari lingkungan.
 - b) Dapat membantu mengembangkan pemanfaatan lebih lanjut bahan bakar alternatif yaitu biogas untuk menghasilkan listrik.
2. Menunjang pembangunan.
 - a) Hasil proyek akhir ini diharapkan mampu meningkatkan diversifikasi pemanfaatan kotoran hewan yang selama ini hanya digunakan sebagai pupuk tetapi dapat juga dijadikan bahan bakar pembangkit listrik dengan tenaga biogas.
 - b) Listrik yang diperoleh dapat digunakan untuk menunjang kegiatan industri kecil di suatu wilayah.

3. Pengembangan institusi.

Dengan keberhasilan ini diharapkan tingkat kepercayaan industri terhadap kemampuan institusi Teknik Mesin UNS semakin meningkat. Dengan demikian industri semakin tertarik menjalin hubungan kerjasama dengan institusi baik untuk perbaikan proses industri maupun kerjasama yang lain.



BAB II DASAR TEORI

2.1. Biogas

Biogas ialah gas yang dihasilkan oleh mikroba apabila bahan organik mengalami proses fermentasi dalam suatu keadaan anaerobik yang sesuai baik dari segi suhu, kelembaban, dan keasaman. Pada umumnya semua jenis bahan organik bisa diproses untuk menghasilkan biogas. Namun demikian kebanyakan bahan organik baik padat atau cair seperti kotoran dan urine (air kencing) hewan ternaklah yang biasanya dimanfaatkan untuk sistem biogas sederhana. Jenis bahan organik yang diproses sangat mempengaruhi produktivitas sistem biogas disamping parameter - parameter lain seperti temperatur digester, ph (tingkat keasaman), tekanan, dan kelembaban udara.

2.1.1. Digester

Biogas sangat potensial sebagai sumber energi terbarukan karena kandungan *methane* yang cukup tinggi. Potensi biogas di Indonesia sangat besar mulai dari proses pengomposan kotoran ternak dan limbah pertanian, pengolahan limbah cair dan residu proses produksi CPO. Untuk memperoleh biogas dari bahan organik tersebut diperlukan suatu peralatan yang disebut *digester anaerob* (tanpa udara).

Untuk menghasilkan biogas, dibutuhkan pembangkit biogas yang disebut digester. Pada digester terjadi proses penguraian material organik yang terjadi secara anaerob (tanpa oksigen). Pada umumnya, biogas dapat terbentuk pada hari ke 4–5 setelah digester diisi dan mencapai puncak pada hari ke 20–25.

Ada tiga kelompok bakteri yang berperan dalam proses pembentukan biogas, yaitu:

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

Dalam pembangunan biodigester, ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan, yaitu:

1. Lingkungan abiotis. Digester harus tetap dijaga dalam keadaan abiotis (tanpa kontak langsung dengan Oksigen (O_2)). Udara yang mengandung O_2 yang memasuki digester menyebabkan penurunan produksi metana, karena bakteri berkembang pada kondisi yang tidak sepenuhnya anaerob.
2. Temperatur. Secara umum, ada 3 rentang temperatur yang disenangi oleh bakteri, yaitu:
 - a. *Psicrophilic* (suhu 4–20°C). Biasanya untuk negara-negara subtropics atau beriklim dingin.
 - b. *Mesophilic* (suhu 20–40°C).
 - c. *Thermophilic* (suhu 40 – 60 C). Digunakan hanya untuk men-digesti material, bukan untuk menghasilkan biogas.

Untuk negara tropis seperti Indonesia, digunakan *unheated digester* (digester tanpa pemanasan) untuk kondisi temperatur tanah 20–30°C.

3. Derajat keasaman (pH). Bakteri berkembang dengan baik pada keadaan yang agak asam (pH antara 6,6 – 7,0) dan pH tidak boleh di bawah 6,2. Karena itu, kunci utama dalam kesuksesan operasional digester adalah dengan menjaga agar temperatur konstan (tetap) dan input material sesuai.
4. Rasio C/N bahan isian. Syarat ideal untuk proses digesti adalah C/N = 25–30. Karena itu, untuk mendapatkan produksi biogas yang tinggi, maka penambahan bahan yang mengandung karbon (C) seperti jerami, atau N (misalnya: urea) perlu dilakukan untuk mencapai rasio C/N = 25 – 30. Tabel 2.1 berikut adalah harga rasio C/N pada beberapa jenis kotoran hewan.

Tabel 2.1. Rasio C/N untuk beberapa kotoran hewan

Jenis Kotoran	Rasio C/N
Kerbau	18
Kuda	25
Sapi	18
Ayam	15
Babi	25
Kambing/domba	30
Manusia	6-10

5. Kebutuhan Nutrisi. Bakteri fermentasi membutuhkan beberapa bahan gizi tertentu dan sedikit logam. Kekurangan salah satu nutrisi atau bahan logam yang dibutuhkan dapat memperkecil proses produksi metana. Nutrisi yang diperlukan antara lain ammonia (NH₃) sebagai sumber Nitrogen, nikel (Ni), tembaga (Cu), dan besi (Fe) dalam jumlah yang sedikit. Selain itu, fosfor dalam bentuk fosfat (PO₄), magnesium (Mg) dan

seng (Zn) dalam jumlah yang sedikit juga diperlukan. Tabel 2.2 berikut adalah kebutuhan nutrisi bakteri fermentasi.

Tabel 2.2. Kebutuhan nutrisi dalam digester (<http://www.kamase.org>)

Bahan	Jumlah Kebutuhan (mg/g asetat)
NH ₄ - N	3,3
PO ₄ - P	0,1
S	0,33
Ca	0,13
Mg	0,018
Fe	0,023
Ni	0,004
Co	0,003
Zn	0,02

6. Kadar Bahan Kering. Tiap jenis bakteri memiliki nilai “kapasitas kebutuhan air” tersendiri. Bila kapasitasnya tepat, maka aktifitas bakteri juga akan optimal. Proses pembentukan biogas mencapai titik optimum apabila konsentrasi bahan kering terhadap air adalah 0,26 kg/L.
7. Pengadukan. Pengadukan dilakukan untuk mendapatkan campuran substrat yang homogen dengan ukuran partikel yang kecil. Pengadukan selama proses dekomposisi untuk mencegah terjadinya benda-benda mengapung pada permukaan cairan dan berfungsi mencampur methanogen dengan substrat. Pengadukan juga memberikan kondisi temperatur yang seragam dalam digester.
8. Zat Racun (*toxic*). Beberapa zat racun yang dapat mengganggu kinerja digester antara lain air sabun, detergen, creolin. Berikut adalah tabel beberapa zat beracun yang mampu diterima oleh bakteri dalam digester (Sddimension FAO dalam Ginting, 2006).

Tabel 2.3. Zat beracun yang mampu diterima oleh bakteri dalam digester (Sddimension FAO dalam Ginting, 2006).

Penghambat	Konsentrasi Penghambat
Sulfat SO_4^{2-}	5000 ppm
Sodium Klorida atau garam alami (NaCl)	40.000 ppm
Nitrat (dihitung sebagai N)	0,05 mg/ml
Tembaga (Cu^{2+})	100 mg/l
Chrom (Cr^{3+})	200 mg/l
Nikel (Ni^{3+})	200 – 500 mg/l
Natrium (Na^+)	3500 – 5500 mg/l
Kalium (K^+)	2500 – 4500 mg/l
Kalsium (Ca^{2+})	2500 – 4500 mg/l
Magnesium (Mg^{2+})	1000 – 1500 mg/l
Mangan (Mn^{2+})	Lebih dari 1500 mg/l

9. Pengaruh starter - starter yang mengandung bakteri metana diperlukan untuk mempercepat proses fermentasi anaerob. Beberapa jenis starter antara lain :

- Starter alami, yaitu lumpur aktif seperti lumpur kolam ikan, air comberan atau cairan *septic tank*, sludge, timbunan kotoran, dan timbunan sampah organik.
- Starter semi buatan, yaitu dari fasilitas biodigester dalam stadium aktif.
- Starter buatan, yaitu bakteri yang dibiakkan secara laboratorium dengan media buatan.

2.1.2. Jenis Digester

Dari segi konstruksi, digester dibedakan menjadi:

1. *Fixed dome*. Digester ini memiliki volume tetap sehingga produksi gas akan meningkatkan tekanan dalam reaktor (digester). Karena itu, dalam konstruksi ini gas yang terbentuk akan segera dialirkan ke pengumpul gas di luar reaktor.
2. *Floating dome*. Pada tipe ini terdapat bagian pada konstruksi reaktor yang bisa bergerak untuk menyesuaikan dengan kenaikan tekanan reaktor. Pergerakan bagian reaktor ini juga menjadi tanda telah dimulainya produksi gas dalam reaktor biogas. Pada reaktor jenis ini, pengumpul gas berada dalam satu kesatuan dengan reaktor tersebut.

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

1. Bak (*batch*). Pada tipe ini, bahan baku reaktor ditempatkan di dalam wadah (ruang tertentu) dari awal hingga selesainya proses digesti. Umumnya digunakan pada tahap eksperimen untuk mengetahui potensi gas dari limbah organik.
2. Mengalir (*continuous*). Untuk tipe ini, aliran bahan baku masuk dan residu keluar pada selang waktu tertentu. Lama bahan baku selama dalam reaktor disebut waktu retensi hidrolik (*hydraulic retention time/HRT*).

Sementara dari segi tata letak penempatan digester, dibedakan menjadi:

1. Seluruh digester di permukaan tanah. Biasanya berasal dari tong-tong bekas minyak tanah atau aspal. Kelemahan tipe ini adalah volume yang kecil, sehingga tidak mencukupi untuk kebutuhan sebuah rumah tangga

(keluarga). Kelemahan lain adalah kemampuan material yang rendah untuk menahan korosi dari biogas yang dihasilkan.

2. Sebagian tangki biodigester di bawah permukaan tanah. Biasanya digester ini terbuat dari campuran semen, pasir, kerikil, dan kapur yang dibentuk seperti sumuran dan ditutup dari plat baja. Volume tangki dapat diperbesar atau diperkecil sesuai dengan kebutuhan. Kelemahan pada sistem ini adalah jika ditempatkan pada daerah yang memiliki suhu rendah (dingin), dingin yang diterima oleh plat baja merambat ke dalam bahan isian, sehingga menghambat proses produksi.
3. Seluruh tangki digester di bawah permukaan tanah. Model ini merupakan model yang paling populer di Indonesia, dimana seluruh instalasi biodigester ditanam di dalam tanah dengan konstruksi yang permanen, yang membuat suhu biodigester stabil dan mendukung perkembangan bakteri methanogen.

2.1.3. Komponen Utama Digester

Komponen pada biodigester sangat bervariasi, tergantung pada jenis digester yang digunakan. Tetapi, secara umum biodigester terdiri dari komponen-komponen utama sebagai berikut :

1. Saluran masuk *slurry* (kotoran segar). Saluran ini digunakan untuk memasukkan *slurry* (campuran kotoran ternak dan air) ke dalam reaktor utama. Pencampuran ini berfungsi untuk memaksimalkan potensi biogas, memudahkan pengaliran, serta menghindari terbentuknya endapan pada saluran masuk.

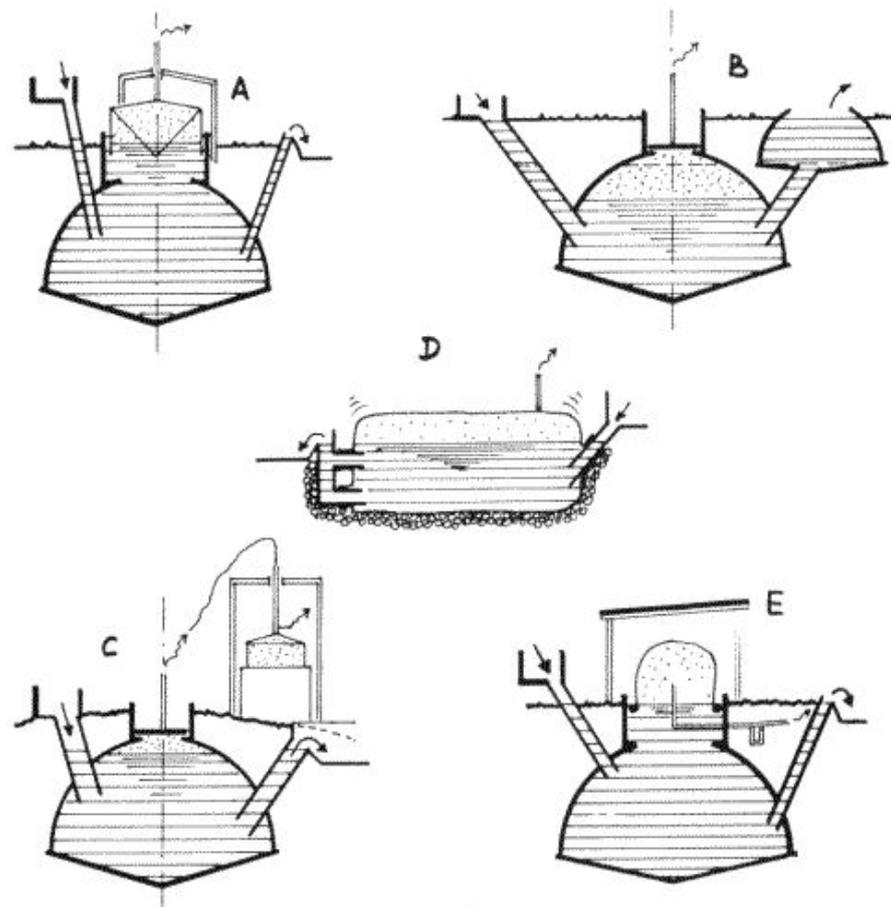
2. Saluran keluar residu. Saluran ini digunakan untuk mengeluarkan kotoran yang telah difermentasi oleh bakteri. Saluran ini bekerja berdasarkan prinsip kesetimbangan tekanan hidrostatik. Residu yang keluar pertama kali merupakan slurry masukan yang pertama setelah waktu retensi. *Slurry* yang keluar sangat baik untuk pupuk karena mengandung kadar nutrisi yang tinggi.
3. Katup pengaman tekanan (*control valve*). Katup pengaman ini digunakan sebagai pengatur tekanan gas dalam biodigester. Katup pengaman ini menggunakan prinsip pipa T. Bila tekanan gas dalam saluran gas lebih tinggi dari kolom air, maka gas akan keluar melalui pipa T, sehingga tekanan dalam biodigester akan turun.
4. Sistem pengaduk. Pengadukan dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya :
 - Pengadukan mekanis,
 - Sirkulasi substrat biodigester, atau
 - Sirkulasi ulang produksi biogas ke atas biodigester menggunakan pompa.

Pengadukan ini bertujuan untuk mengurangi pengendapan dan meningkatkan produktifitas digester karena kondisi substrat yang seragam.

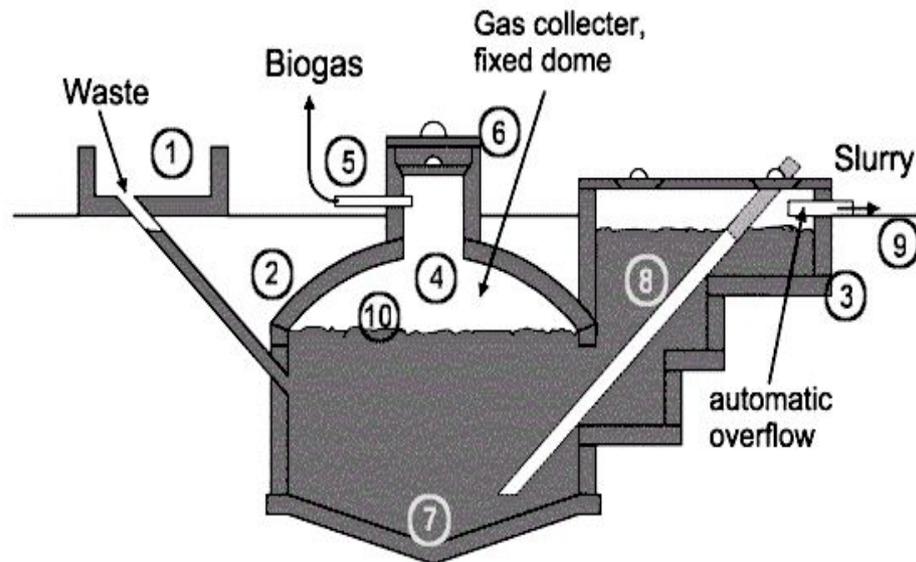
5. Saluran gas. Saluran gas ini disarankan terbuat dari bahan polimer untuk menghindari korosi. Untuk pembakaran gas pada tungku, pada ujung saluran pipa bisa disambung dengan pipa baja antikorosi.

6. Tangki penyimpanan gas.

Terdapat dua jenis tangki penyimpanan gas, yaitu tangki bersatu dengan unit reaktor (floating dome) dan terpisah dengan reaktor (fixed dome). Untuk tangki terpisah, konstruksi dibuat khusus sehingga tidak bocor dan tekanan yang terdapat dalam tangki seragam, serta dilengkapi H₂S Removal untuk mencegah korosi.



Gambar 2.1. Digester yang sederhana. Model *floating-drum* (A), *fixed-dome* (B), *fixed-dome* dengan tabung gas terpisah (C), *balloon* (D), jenis saluran (*channel-type*) dengan selubung plastik dan peneduh matahari (E) (Werner Kossmann, 1999).



Gambar 2.2. Digester jenis *fixed dome* yang lebih detail. 1. Tangki pecampur dengan pipa masukan dan penjebak pasir. 2. *Digester*. 3. Kompensator dan tangki buangan. 4. Tempat gas (*gasholder*). 5. Pipa gas. 6. *Entry hatch with gastight seal*. 7. Akumulasi *sludge* yang tebal. 8. Pipa *outlet*. 9. Referensi ketinggian. 10. Buih. (Werner Kossmann, 1999).

2.1.4. Proses Pemurnian Biogas

Biogas mengandung unsur-unsur yang tidak bermanfaat untuk pembakaran khususnya H_2O dan H_2S . Pengurangan kadar H_2O yang sederhana dilakukan dengan cara melewatkan biogas pada suatu kolom yang terdiri dari silika gel. H_2O akan diserap oleh silika gel. Sedangkan pemurnian biogas dari unsur H_2S dapat dilakukan dengan teknik absorpsi.

Absorpsi adalah pemisahan suatu gas tertentu dari campuran gas-gas dengan cara pemindahan massa ke dalam suatu *liquid*. Hal ini dilakukan dengan cara mengantarkan aliran gas dengan *liquid* yang mempunyai selektivitas pelarut yang berbeda dari gas yang akan dipisahkannya.

Untuk absorpsi kimia, transfer massanya dilakukan dengan bantuan reaksi kimia. Suatu pelarut kimia yang berfungsi sebagai absorben akan bereaksi dengan gas asam (CO_2 dan H_2S) menjadi senyawa lain, sehingga gas alam yang dihasilkan sudah tidak lagi mengandung gas asam yang biasanya akan mencemari lingkungan apabila ikut terbakar.

Secara umum penghilangan (pengurangan) H_2S dari biogas dapat dilakukan secara fisika, kimia, atau biologi (Zicari, 2003). Pemurnian secara fisika misalnya penyerapan dengan air, pemisahan dengan menggunakan membran atau adsorpsi dengan adsorben misalnya dengan menggunakan adsorben karbon aktif. Metode fisika ini relatif mahal karena adsorben sulit diregenerasi dan pengurangan H_2S rendah serta masih berupa larutan dan gas yang dibuang di lingkungan (Zicari, 2003).

Pemurnian dengan cara biologi dengan menggunakan bakteri yang menguraikan H_2S menjadi sulfat. Metode ini efektif untuk mereduksi kandungan H_2S dalam biogas, tetapi metode ini selain sulit dalam pengoperasiannya juga sangat mahal. Pemurnian biogas dari kandungan H_2S yang sering dilakukan adalah diserap secara kimiawi. Pada metode ini H_2S diserap secara kimiawi (bereaksi secara kimia) oleh larutan absorben. Selanjutnya absorben yang kaya H_2S diregenerasi untuk melepas kembali H_2S -nya dalam bentuk gas atau sulfur padat (Kohl, 1985). Absorben yang lain adalah larutan nitrit, larutan garam alkali, *slurry* besi oksida atau seng oksida dan *iron chelated solution* (Zicari, 2003). Absorben yang banyak digunakan di Industry adalah MEA (*Methyl Ethanol Amine*). Absorben menggunakan MEA sangat efektif mengurangi kandungan sulfur dari gas, tetapi H_2S yang diserap selanjutnya dibuang ke udara saat regenerasi MEA. Hal ini tentu mencemari udara dan hanya sesuai untuk pengolahan gas dengan kandungan sulfur yang kecil.

Selain itu larutan MEA korosif sehingga perlu peralatan proses yang tahan korosi. Absorpsi H_2S menggunakan absorben larutan nitrit, larutan garam alkali atau *slurry* besi oksida atau seng oksida juga efektif tetapi absorben tidak bisa diregenerasi sehingga biaya operasional mahal karena konsumsi absorben besar.

Pemurnian biogas (juga gas lain) dari kandungan H_2S menggunakan *iron chelated solution* memberikan banyak kelebihan (Wubs, 1994). Kelebihan tersebut diantaranya adalah efektifitas penyerapan H_2S tinggi, larutan absorben dapat diregenerasi sehingga biaya operasional murah. Kelebihan lain yang tidak ada pada proses lain adalah sulfur yang terpisahkan dari biogas berupa sulfur padat atau paling tidak berupa residu yang mudah dan aman dalam pembuangannya sehingga tidak mencemari lingkungan. Istilah *chelated* pada absorben ini adalah senyawa kimia dalam bentuk cincin heterosiklis yang mengandung ion logam yang terikat secara koordinatif oleh minimal dua ion *non metal*. *Chelated agent* yang biasa digunakan adalah EDTA (Ethylene Diamine Tetra Acetate) (Sax, 1987). *Iron chelated solution* dibuat dengan melarutkan senyawa garam besi (misal $FeCl_2$) ke dalam larutan EDTA (Horikawa, 2004).

Bahan- bahan yang digunakan dalam pembuatan garam $FeCl_2$.

1. *Hydrochloric Acid (HCl)*.

Karakteristik umum :

- Berat molekul : 36,461 gr/mol
- Bentuk fisik : cair (1 atm , 30 C)
- Warna : Bening kekuning – kuningan
- Densitas : 1,1642 gr/cm³
- Fasa : Liquid

- *Solubility in water* : Fully miscible
- Melting point : - 26 °C (38 % solution)
- Boiling point : 48 °C (38 % solution)
- Sifat kimia ; sangat korosif , *non flammable*.

(Perry, 1997)

Hydrochloric Acid (HCl) merupakan asam *manopraktik*. Hal ini berarti bahwa HCl dapat mengalami ionisasi sehingga melepas ion H⁺. Di dalam ion H⁺ akan bergabung dengan molekul H₂O membentuk ion H₃O⁺, sedangkan ion lain yang terbentuk adalah ion Cl⁻ karena sifat asamnya sangat kuat penanganan HCl harus dilakukan sebaik mungkin untuk menghindari efek yang dapat ditimbulkan dalam tubuh manusia, antara lain gangguan pernafasan, iritasi mata dan iritasi pada kulit. Dalam kehidupan sehari-hari HCl banyak sekali digunakan baik dalam industri maupun dalam laboratorium penelitian.

2. *Ethylene Diamine Tetra Acetic* (EDTA)

Karakteristik umum :

- Berat molekul : 372,237 gr/mol
- Bentuk fisik : Kristal
- Warna : Putih
- Densitas : 0,86 gr/cm
- Fasa : Solid
- Melting point : 273 – 245 ° C
- Sifat kimia : Korosif , *non flammable*

(Perry, 1997)

Ethylene diamine tetra acetic (EDTA) merupakan senyawa kimia yang biasa digunakan dalam proses penggaraman (*chelating agent*). Senyawa ini biasa disintesis dari *ethylene diamine tormaldyhyde*, air, dan *sodium sianida*.

2.2. Motor Bakar

Motor bakar merupakan salah satu mesin penggerak mula yang mempunyai peranan penting sebagai tenaga penggerak berbagai macam peralatan dari kapasitas kecil sampai besar. Jenis peralatan yang digerakkan adalah peralatan yang tidak bergerak (*stationer*).

Motor bakar terdiri dari motor dengan kerja bolak balik (*reciprocating engine*) dan motor dengan kerja putar (*rotary engine*). Motor dengan kerja bolak-balik terdiri dari motor bensin (*Otto*) dan motor Diesel, dengan sistem 2 tak maupun 4 tak.

Perbedaan utama motor bensin (*Otto*) dengan motor diesel adalah pada sistem penyalannya. Motor bensin dengan bahan bakar bensin dicampur terlebih dahulu dalam karburator dengan udara pembakaran sebelum dimasukkan ke dalam silinder (ruang bakar), dan dinyalakan oleh loncatan api listrik antara kedua elektroda busi. Karena itu motor bensin dinamai juga *Spark Ignition Engines*.

2.2.1. Unjuk Kerja Motor Bakar

Kinerja suatu motor bakar diperoleh dengan serangkaian uji unjuk kerja. Beberapa paramater penting yang berpengaruh pada unjuk kerja motor bakar adalah sebagai berikut:

a. Torsi dan Daya Poros.

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Dalam prakteknya, torsi dari mesin berguna untuk mengatasi hambatan sewaktu kendaraan jalan menanjak, atau waktu mempercepat laju kendaraan (otomotif). Besar torsi dapat dihitung dengan rumus:

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

dimana :

T : torsi (N.m)

N_e : daya poros/daya efektif (Watt)

n : putaran poros engkol (rpm)

Putaran poros engkol diukur dengan menggunakan *tachometer*.

b. Tekanan Efektif Rata-Rata (*Brake Mean Effective Pressure = bmep*)

Tekanan efektif rata-rata didefinisikan sebagai tekanan teoritis (konstan), yang apabila mendorong torak sepanjang langkah kerja dari motor dapat menghasilkan tenaga (tenaga poros).

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

$$bmep = \frac{N_e}{V_L .z.n.a} \quad (3)$$

dimana :

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

N_e : daya poros/daya efektif (watt)

V_L : Volume langkah torak per silinder (m³)

: [luas penampang torak, m²] x [panjang langkah torak (m)]

- Z : jumlah silinder
 N : putaran poros engkol (rpm)
 a : jumlah siklus per putaran, $\frac{\text{siklus}}{\text{putaran}}$
 : 1, untuk motor 2 tak
 : $\frac{1}{2}$, untuk motor 4 tak.

c. Pemakaian Bahan Bakar Spesifik.

Pemakaian bahan bakar spesifik menyatakan 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/jam), dan dalam waktu 1 jam diperoleh tenaga yang dihasilkan N, maka pemakaian bahan spesifik dihitung sebagai berikut :

$$B = \frac{G_f}{N} \quad (4)$$

dimana :

B : pemakaian bahan bakar (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 Total

Menyatakan efisiensi pemanfaatan panas dari bahan bakar untuk diubah menjadi tenaga berguna. Besar efisiensi total dapat dihitung dengan :

$$\eta_e = \frac{N_e}{G_f \cdot Q_c} \times 100\% \quad (5)$$

dimana :

η_e : efisiensi termal efektif (%)

N_e : daya efektif (W)

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

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

2.2.2. Kelengkapan Modifikasi

Modifikasi dari mesin otto (motor bensin) cukup mudah karena mesin sudah didesain untuk beroperasi pada campuran udara/bahan bakar dengan pengapian busi. Beberapa modifikasi yang dapat dilakukan adalah:

- Modifikasi saluran masuk bahan bakar dan udara.
- Modifikasi rasio kompresi.
- Waktu pengapian

Modifikasi dasar adalah merubah campuran udara dan bahan bakar di dalam karburasi. Perbandingan massa udara dan massa bahan bakar untuk pembakaran sempurna dapat dilihat pada

Tabel 2.4. Perbandingan massa udara dan massa bensin pada pembakaran sempurna adalah 15. Perbandingan massa udara dan massa biogas dengan kadar CH_4 50% adalah 4.6. Dengan dasar ini, saluran campuran bahan bakar bensin dan udara yang semula menggunakan karburasi, maka pada biogas dibuat peralatan pencampur yang dapat menghasilkan campuran untuk terjadinya pembakaran yang baik.

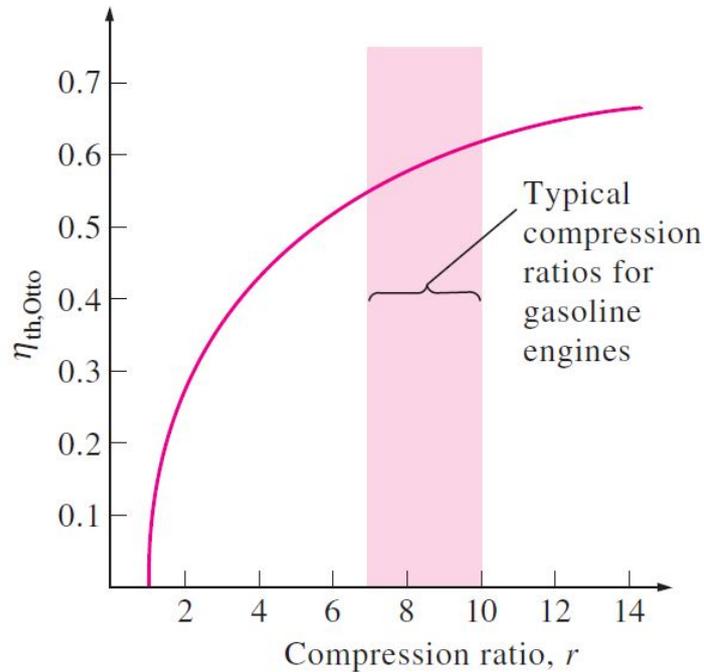
Tabel 2.4. Perbandingan jumlah udara dan jumlah bahan bakar untuk pembakaran sempurna (Suyitno, 2009).

No	Bahan Bakar	Perbandingan massa udara terhadap massa bahan bakar	Perbandingan volume udara terhadap volume bahan bakar
1.	Bensin	15,05	5275
2.	<i>Methane</i>	17,16	9
3.	Biogas 50% CH ₄ + 50% CO ₂	4,6	5,8

Besarnya rasio kompresi dapat mempengaruhi efisiensi dari motor bakar. Secara umum dikatakan bahwa dengan rasio kompresi yang lebih tinggi akan diperoleh peningkatan efisiensi sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.3. Perbandingan kompresi yang umum pada motor bensin adalah 7-10. Perbandingan kompresi bukanlah perbandingan tekanan. Perbandingan kompresi (r) sendiri didefinisikan sebagai berikut:

$$r = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (6)$$

Untuk biogas, rasio kompresi direkomendasikan tidak lebih dari 13 (Mitzlatf, 1988). Semakin tinggi rasio kompresi dapat meningkatkan temperatur campuran udara bahan bakar. Hal ini dapat menyebabkan penyalaan sendiri yang tidak terkontrol dan proses pembakaran yang tidak rata. Keduanya dapat menjadi hal yang merugikan untuk mesin.



Gambar 2.3. Pengaruh perbandingan kompresi terhadap efisiensi dengan perbandingan panas spesifik $C_p/C_v = 1,4$ (Cengel, 2006).

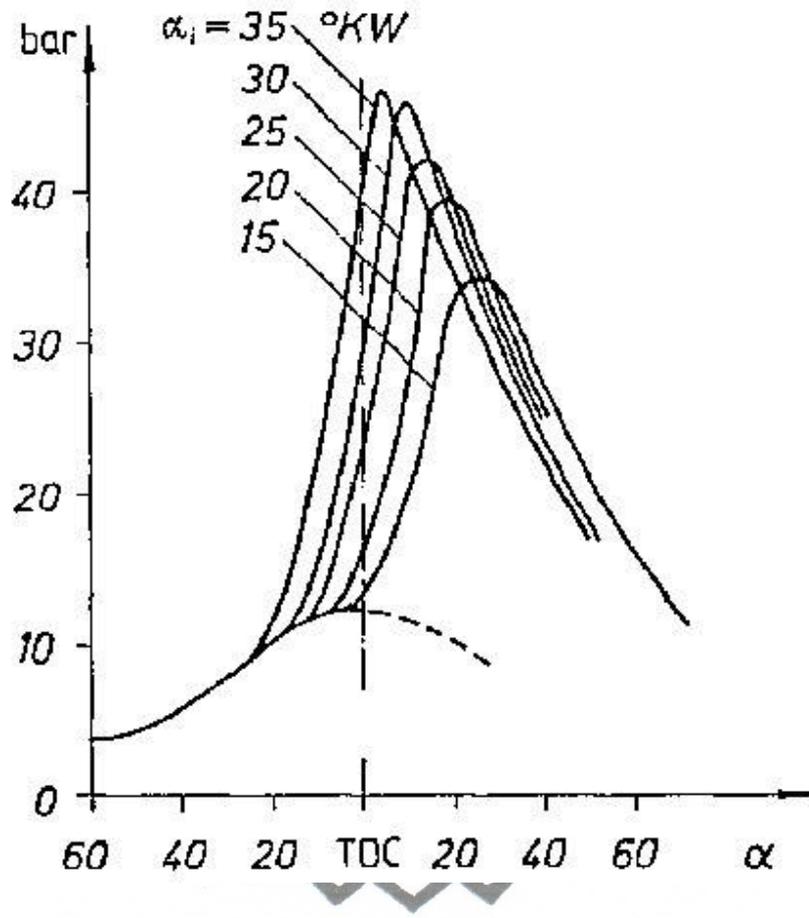
Kecepatan pembakaran dari biogas lebih rendah dari kecepatan pembakaran bensin. Penyebabnya adalah biogas mengandung CO_2 dalam konsentrasi yang cukup tinggi. Kecepatan pembakaran campuran udara bahan bakar selama satu langkah pembakaran pada motor bensin sangat mempengaruhi efisiensi motor bensin tersebut. Sebagaimana diketahui bahwa waktu yang tersedia untuk sempurnanya pembakaran dalam ruang bakar motor bensin sangatlah singkat. Sebagai gambaran, pada motor bensin yang beroperasi pada 3000 rpm, maka waktu yang tersedia untuk pembakaran selama satu langkah adalah 1/100 detik.

Pembakaran mulai terjadi dari sumber pengapian dan membutuhkan beberapa waktu untuk api tersebut dapat berkembang atau menyebar. Karena adanya pembakaran, maka tekanan meningkat dan puncak tekanan terjadi dekat setelah piston mencapai titik mati atas (TMA) sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.4. Tekanan piston yang tinggi setelah TMA menyebabkan gaya yang tinggi pada piston. Penyalaan *premature* atau tekanan yang terlalu tinggi setelah TDC akan mengonsumsi kerja atau daya tambahan dari piston padahal piston membutuhkannya untuk menekan melawan pembakaran dan membuang campuran gas buang. Penyalaan yang mundur atau pembakaran lambat dari campuran udara bahan bakar akan berakibat pada campuran masih terbakar ketika langkah pembakaran telah selesai dan katup buang terbuka. Akibatnya selain banyak panas terbuang dan berbahaya juga banyak energi bahan bakar terbuang bersama gas buang. Kecepatan pembakaran dari campuran udara bahan bakar meningkat secara signifikan sebagai fungsi dari tekanan dan temperatur aktualnya.

Waktu yang sesuai dengan kecepatan pembakaran tergantung pada beberapa parameter operasi :

- Kecepatan mesin
- Kelebihan udara pembakaran
- Jenis bahan bakar
- Tekanan dan temperatur.

Dalam kasus pembakaran biogas, karena kecepatan pembakarannya yang rendah, maka waktu pengapian yang dibutuhkan biasanya dapat dimajukan $10^0 - 15^0$ lebih awal dari waktu pengapian standar bahan bakar bensin.

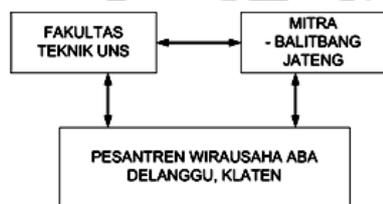


Gambar 2.4. Tekanan sebagai fungsi dari sudut pengapian (Mitzlatf, 1988).

BAB III PERANCANGAN ALAT

3.1. Prosedur Pelaksanaan Proyek Akhir

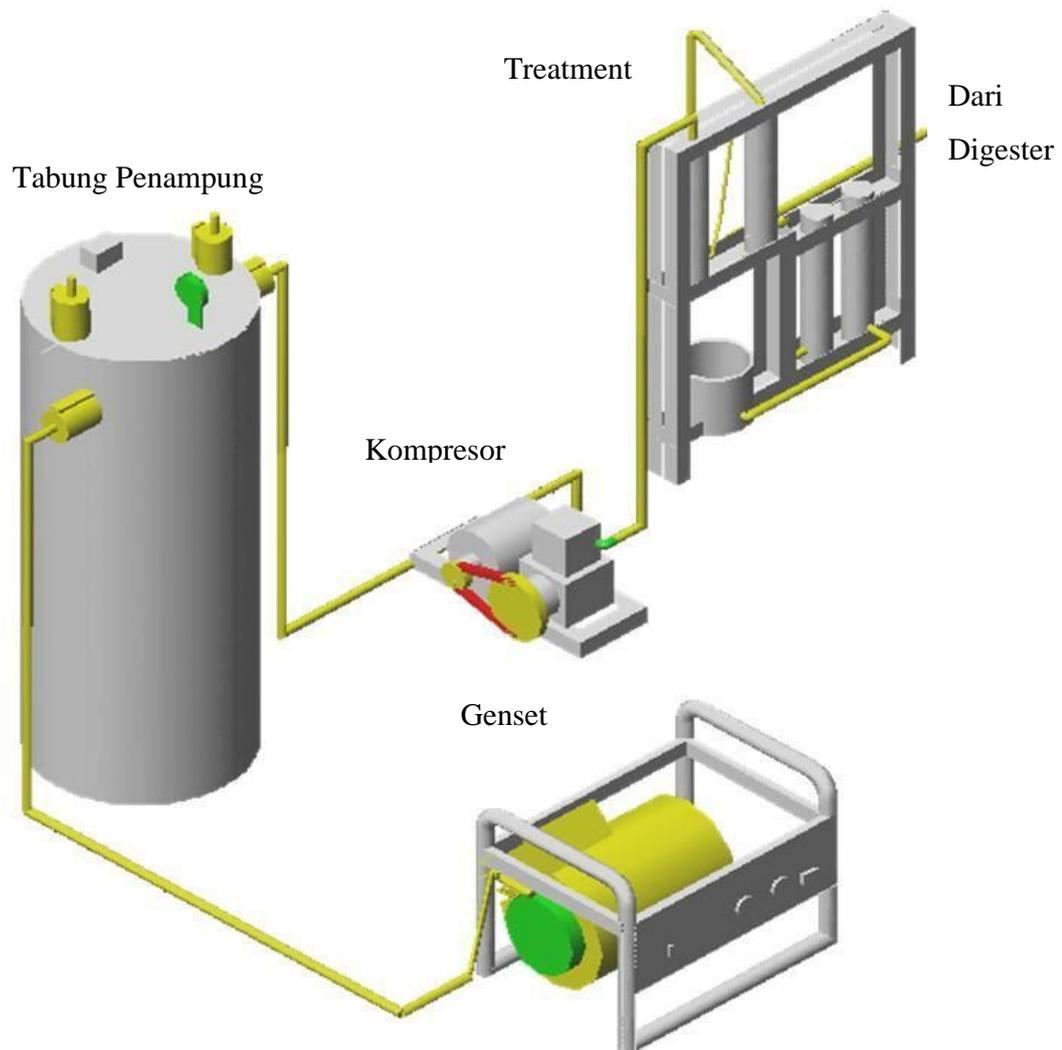
Pelaksanaan kegiatan Proyek Akhir ini merupakan bagian kegiatan Pengembangan IPTEK yang berupa kegiatan diseminasi dan rancang bangun pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBio) yang dilengkapi dengan unit kompresi biogas dilaksanakan dengan sistem kemitraan antara Universitas Sebelas Maret, Balitbang Jateng dan Pesantren ABA Klaten (lihat Gambar 3.1).



Gambar 3.1. Pola kemitraan yang dilaksanakan

Untuk terlaksananya kegiatan proyek Akhir ini, maka disusun beberapa tahap kegiatan.

Kegiatan dimulai dari **tahap pertama** yaitu survei lokasi, potensi dan kebutuhan listrik. Kegiatan dilanjutkan dengan **tahap kedua**, yaitu perancangan peralatan, modifikasi dan membuat beberapa komponen genset dan alat kompresi biogas.



Gambar 3.2. Rancangan pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBio)

Tahap ketiga adalah perakitan, membuat dan ujicoba PLTBio dengan alat kompresi biogas. Kegiatan kedua dilaksanakan di Pesantren ABA Klaten. Kegiatan ujicoba dilakukan untuk mengetahui dan memonitor unjuk kerja PLTBio. Kriteria yang akan dimonitor meliputi:

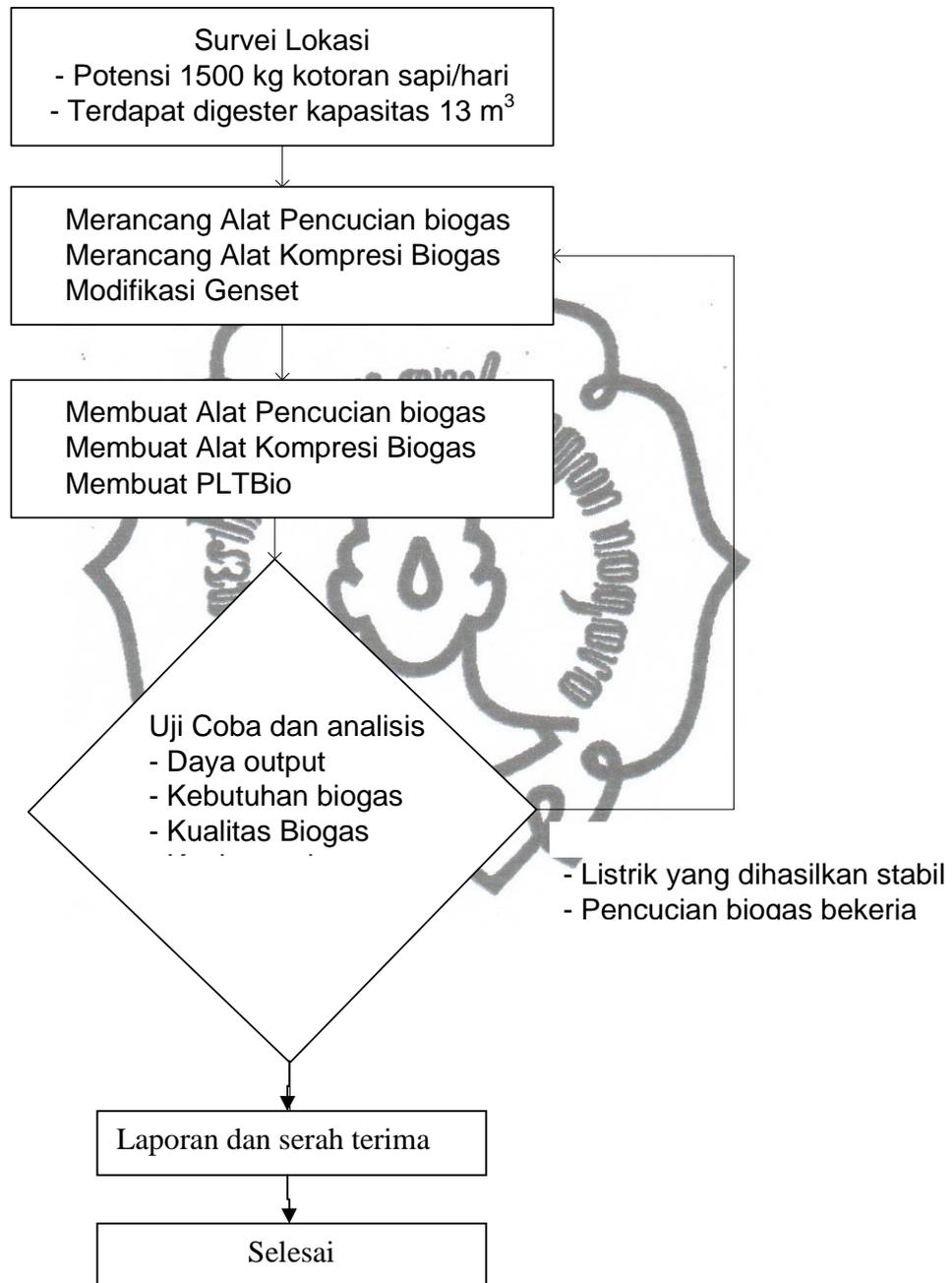
1. Daya output
2. Kestabilan listrik yang dihasilkan
3. Tingkat kebersihan biogas setelah keluar dari alat pencucian biogas

Listrik yang dihasilkan dari PLTBio kemudian dapat digunakan untuk menunjang aktivitas kewirausahaan dan aktivitas ekonomi di pesantren ABA diantaranya adalah untuk menggerakkan alat mixer pupuk, mesin pelet pupuk, pompa air, penerangan, alat penunjang PLTBio, dan kebutuhan listrik untuk unit kompresi.

Untuk memperoleh listrik 2000 W diperkirakan membutuhkan kotoran dari 20 sapi dimana diasumsikan bahwa per hari, 1 ekor sapi menghasilkan kotoran 15 kg. Padahal di lokasi tersebut terdapat 25 ekor sapi, sehingga suplai kotoran sapi dapat dijamin kontinuitasnya. Analisis mengenai kebutuhan sapi dan kotoran sapi untuk menghasilkan listrik 2000 W dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 3.1. Analisis kebutuhan kotoran sapi untuk menghasikan listrik 2000 W

Jumlah Sapi	20	ekor
Asumsi kotoran/sapi	15	kg/hari
Jumlah kotoran	300	kg/hari
Asumsi: 1 sapi membutuhkan digester	0,0545	m ³
Kebutuhan digester total	1,09	m ³
Asumsi hasil (bervariasi 16-30%)	16%	biogas
Perkiraan hasil biogas	4,189	m ³ biogas / hari
Gas methana	2,304	m ³ / hari
Nilai kalor methane	50,2	kJ/g
Nilai kalor biogas (55% methane)	27,6	MJ/kg
Densitas biogas	0,717	kg/m ³
Perkiraan hasil biogas	3,0035782	kg
Potensi energi	82,9	MJ
Operasi listrik 10 jam (Efisiensi 100%)	2,3	kW
Operasi listrik 3 jam (Efisiensi 30%)	2,3	kW



Gambar 3.3. Tahap kegiatan proyek Akhir

3.2. Pemurnian (Pencucian Biogas).

3.2.1. Bahan dan Alat yang Digunakan :

- a. EDTA (*Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid*).
- b. HCl (*Hydrochlorid Acid*).
- c. Aquadest.
- d. Limbah besi dari industry mesin bubut.
- e. Biogas.

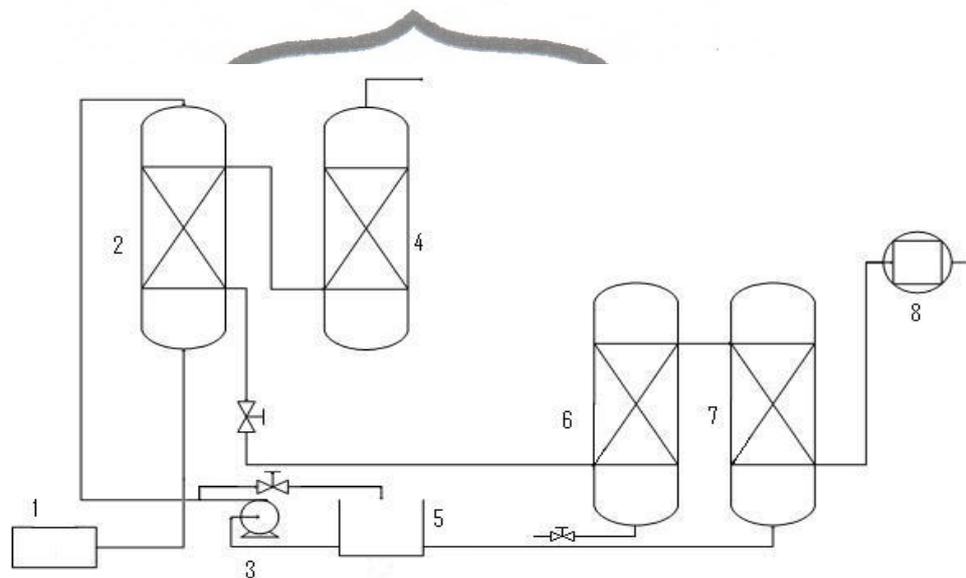
3.2.2. Komponen – Komponen Utama Pencucian.

1. Digester.
Berfungsi sebagai tempat proses penguraian material organik yang terjadi secara anaerob (tanpa oksigen).
2. Menara Absorber.
Berfungsi sebagai tempat pemisahan biogas dari unsur gas H_2S dengan cara mengantarkan aliran biogas dengan larutan Fe - EDTA.
3. Pompa.
Berfungsi untuk mengalirkan larutan Fe - EDTA dari tangki penampung menuju ke menara absorber.
4. Menara adsorber.
Berfungsi sebagai tempat pemisahan biogas dari unsur gas H_2O dengan cara melewtkan biogas kedalam *silica gel*
5. Tangki penampung.
Berfungsi sebagai penampung larutan Fe - EDTA
6. Tabung pengendap.
Berfungsi sebagai tempat pengendapan partikel – partikel sulfur dari larutan absorben yang terserap oleh larutan.
7. Regenerator.
Berfungsi sebagai meregenerasi larutan FE 2+ menjadi FE 3- dengan cara mengontakan larutan dengan udara luar.

8. Aerator.

Berfungsi sebagai alat untuk memasukkan udara kedalam tangki regenerator.

3.2.3. Diagram Alir Rangkaian Pencucian Biogas.



Gambar 3.4. Diagram alir proses pencucian biogas

Keterangan Alat :

- | | |
|---------------------|----------------------|
| 1. Digester. | 5. Tangki Penampung. |
| 2. Menara Absorber. | 6. Tangki Pengendap. |
| 3. Pompa. | 7. Regenerator. |
| 4. Menara Adsorber. | 8. Aerator |

3.2.4. Proses Kerja Diagram Alir :

- Biogas.

Biogas mengalir dari digester (1) menuju ke menara absorber (2) untuk dikontakan dengan Fe – EDTA agar kandungan H₂S dari biogas tersebut berkurang, setelah itu biogas mengalir ke menara adsorber (4) untuk dikontakan dengan silica gel agar kandungan H₂O dari biogas tersebut berkurang, kemudian biogas menuju ke kompresor.

- Larutan Absorben (Fe – EDTA).

Absorben dari tanki penampung (5) dipompakan oleh pompa (3) menuju menara absorber (2) untuk dikontakan dengan biogas, setelah kontak dengan biogas absorben mengalir menuju tanki pengendap (6) untuk diendapkan (disaring) sulfurnya, kemudian mengalir menuju ke regenerator (7) untuk dikembalikan kandungannya seperti semula & siap untuk dikontakan dengan biogas, dari regenerator absorben mengalir menuju ke tanki penampung.

- Udara.

Udara dipompakan dari luar menuju ke regenerator (7) dengan menggunakan aerator (8), hal ini berfungsi untuk mengubah Fe²⁺ menjadi Fe³⁺

3.2.5. Cara Pembuatan Absorben.

3.2.5.1. Pembuatan Garam FeCl₂ :

1. Mempersiapkan gelas beker 1000 ml.
2. Menuang HCl teknis 600 ml ke dalam gelas beker.
3. Memasukkan besi bekas 120 gram ke dalam gelas beker.
4. Melakukan pengadukan selama 30 menit.
5. Memberikan waktu tinggal reaksi selama 3 jam.
6. Melakukan penyaringan endapan garam FeCl₂.
7. Memindahkan FeCl₂ ke dalam wadah dan mengeringkannya.
8. Menghaluskan FeCl₂ setelah dikeringkan.
9. Memisahkan padatan kasar dan halus menggunakan saringan.

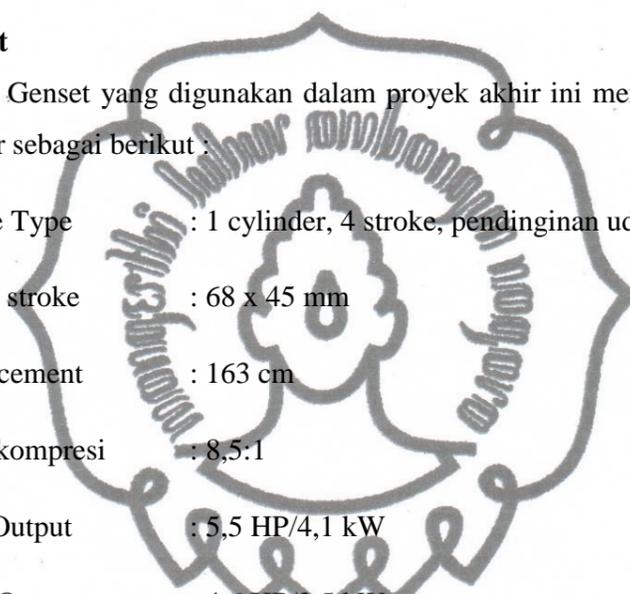
10. Menghaluskan kembali padatan yang kasar, kemudian mengayak kembali.
11. Bagian yang tidak lolos pengayakan dikumpulkan di tempat penyortiran.

3.2.5.2. Pembuatan Absorben Fe-EDTA 0,2 M 4 liter :

1. Mengambil 297,92 gr EDTA dan menemukannya ke dalam ember.
2. Menambahkan aquadest ke dalam ember.
3. Mengaduk hingga semua EDTA larut.
4. Menambahkan aquadest hingga volume larutan 4 liter.
5. Mengambil 88,9 gr FeCl_2 dan memasukkannya ke dalam larutan EDTA.
6. Mengaduk hingga semua FeCl_2 larut.
7. Mendinginkan beberapa saat, hingga pengotor yang ada dalam larutan mengendap.
8. Menyaring larutan Fe - EDTA dan memasukkannya ke dalam jerigen.

3.3. Genset

Genset yang digunakan dalam proyek akhir ini mempunyai spesifikasi standar sebagai berikut :



Engine Type	: 1 cylinder, 4 stroke, pendinginan udara, OHV
Bore x stroke	: 68 x 45 mm
Displacement	: 163 cm
Rasio kompresi	: 8,5:1
Max. Output	: 5,5 HP/4,1 kW
Rated Output	: 4,6 HP/3,5 kW
Max Torque	: 10,8 Nm
Ignition System	: Transistor magneto

Silinder motor bakar terbuat dari alumunium paduan dan diberi sirip pendingin. Kepala silinder yang menutup silinder terbuat dari alumunium dan dilengkapi juga dengan sirip pendingin. Kepala silinder ini juga dilengkapi dengan busi yang menimbulkan percikan bunga api dan mekanisme katup isap dan katup buang. Sistem pengapian adalah sistem magnet. Pemutus arus, komponen pengapian dan sebagainya dari sistem pengapian ditempatkan di dalam roda gayanya. Sedangkan puli untuk menstart dipasang pada ujung poros engkol.

3.3.1. Modifikasi pada Genset.

3.3.1.1 Kompresi

a. Katup



Gambar 3.5. Mekanisme Katup

Mekanisme katup pada genset menggunakan model katup OHV (*Over Head Valve*), yaitu dengan ciri-ciri:

- Katup menggantung.
- Poros *cam* terletak di bawah.
- Katup di kepala silinder.

Perubahan yang dilakukan dengan penyetelan katup, yaitu dengan:

- Katup masuk (standart 0,25 mm).
- Celah katup 0,30 mm– 0,35 mm.
- Katup buang (standart 0,35).
- Celah katup: 0,40 mm – 0,50 mm.

b. Kepala silinder

perpustakaan.uns.ac.id



digilib.uns.ac.id

Gambar 3.6. Silinder Head

Modifikasi pada bagian ini dilakukan dengan membubut kepala silinder sebesar 0,5 mm dengan tujuan untuk menaikkan rasio kompresi. Hal ini dimaksudkan agar campuran bahan bakar (biogas) dan udara dapat lebih mudah dibakar di ruang bakar.

3.3.1.2 Karburator



Gambar 3.7. Karburator

Berfungsi untuk mencampur udara dan bahan bakar (biogas) dengan perbandingan tertentu yang akan masuk ke dalam ruang bakar.

3.3.1.3 Pengapian

a. Busi

perpustakaan.uns.ac.id



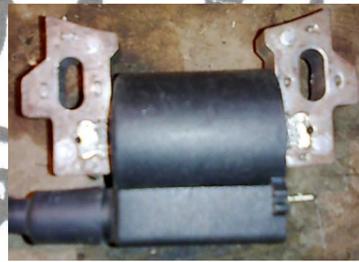
digilib.uns.ac.id

Gambar 3.8. Busi

Loncatan bunga api pada sebuah busi yang dihubungkan dengan sebuah kabel pada terminal yang berada di bagian atas dari busi, ujung kabel yang lain berhubungan dengan sumber daya tegangan tinggi.

Bunga api menyalakan campuran yang berada diselatannya kemudian menyebar keseluruh arah dalam ruang bakar. Pembakaran tidak terjadi serentak, tapi bergerak secara progresif melintasi campuran yang belum terbakar. Pembakaran dimulai di tempat yang paling panas yaitu dekat busi. Busi tidak boleh terlalu panas, karena akan memudahkan terbentuknya endapan karbon pada permukaan isolatornya (porselen) dan dapat menimbulkan hubungan singkat.

b. Alat pembangkit tegangan tinggi (Koil)



Gambar 3.9. Koil

Tegangan antara 5000 sampai dari 10000 V harus diberikan pada elektroda tengah agar dapat terjadi loncatan bunga api antara

celah atau elektroda busi tegangan tinggi dapat dihasilkan sebagai berikut:

Magnet → interuptor yang menaikkan tegangan dengan penahanan arus → coil penyalan transformator.

perpustakaan.uns.ac.id Magnet permanen ditempatkan pada roda penerus yang dipasang pada poros engkol. Inti besi ditempatkan sebagai stator. Magnet berputar bersama dengan roda penerus dan antara inti besi dengan magnet terdapat celah kecil. Medan magnet berubah-ubah karena perputaran magnet dan menimbulkan listrik dalam lilitan primer pada inti besi. Sirkuit dilengkapi dengan titik kontak. Akibat gerakan *cam*, titik kontak terbuka maka akan terjadi loncatan bunga api pada busi. Kenaikan tegangan pada transformator yang terdiri dari lilitan primer dan sekunder inilah yang dibutuhkan oleh busi. Kapasitor yang disisipkan dalam sirkuit akan menghindari terjadinya loncatan api pada titik kontak akibat tegangan tinggi yang timbul dalam lilitan sekunder.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pencucian Biogas dari Unsur H₂S dan H₂O

Dalam proyek akhir ini penyerapan gas H₂S dalam biogas dilakukan dengan larutan Fe-EDTA sebagai absorben. Limbah besi dari industri mesin bubut dilarutkan kedalam HCl membentuk garam FeCl₂.
perpustakaan.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Rangkaian alat penyaring H₂S dan H₂O yang dirancang untuk proyek akhir ini terdiri dari adsorber, absorber, tabung penampung, regenerator, dan pemisah partikel. Adapun skema rangkaian alatnya ditunjukkan seperti pada Gambar 3.4. Rancangan tersebut dilengkapi dengan tangki penampung. Fungsi dari tangki penampung adalah untuk memudahkan kontrol laju alir agar laju alir absorben tetap stabil.

Proses *start up* rangkain alat adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan absorben ke dalam tangki pengendapan dan tanki penampung.
2. Menghidupkan pompa tersebut untuk mengisi menara absorber.
3. Setelah ketiga tangki terisi absorben, *aerator* dihidupkan agar Fe²⁺/EDTA kontak dengan udara sehingga menjadi Fe³⁺/EDTA.
4. Setelah aliran stabil maka kran *over flow* dibuka untuk mengatur besar kecilnya laju aliran dalam tabung.

Besarnya efektivitas larutan Fe-EDTA untuk menyaring H₂S dinyatakan dalam gram H₂S yang tersaring setiap jamnya. Dari hasil pengujian diperoleh hasil bahwa terdapat 1,76 g H₂S yang dapat disaring per jam dari aliran biogas. Sedangkan besarnya efektivitas silika gel untuk menyerap H₂O dinyatakan dalam perubahan massa silika gel setiap jamnya. Dari hasil pengujian diperoleh hasil bahwa terdapat 5 g H₂O yang dapat disaring per jam dari aliran biogas. Dari kedua hasil ini dapat disimpulkan bahwa larutan Fe-EDTA dan silika gel mampu membersihkan biogas dari unsur H₂S dan H₂O dengan cukup efektif.

4.2. Pengujian Unjuk Kerja Genset

Untuk membangkitkan listrik antara kedua elektroda busi diperlukan perbedaan tegangan yang cukup besar. Besarnya tergantung pada faktor – faktor berikut :

perpustakaan.uns.ac.id

digilib.uns.ac.id

1. Perbandingan campuran bahan bakar dan udara.
2. Kepadatan campuran bahan bakar dan udara.
3. Jarak antara kedua elektroda serta bentuk elektroda.
4. Jumlah molekul campuran yang terdapat diantara kedua elektroda.
5. Temperatur campuran dan kondisi operasi yang lain.

Pada umumnya disediakan tegangan yang lebih besar untuk menjamin agar selalu terjadi loncatan api listrik di dalam keadaan antara 5.000 – 10.000 volt. Hal ini disebabkan juga kondisi operasi yang berubah-ubah sebagai keausan mesin yang tidak dapat dihindari. Makin padat campuran bahan bakar dan udara makin tinggi tegangan yang diperlukan untuk jarak elektroda yang sama. Karena itu diperlukan tegangan yang lebih tinggi bagi motor dengan perbandingan kompresi yang besar. Hal ini perlu mendapat perhatian terutama apabila tekanan campuran yang masuk ke silinder itu tinggi dan loncatan listrik ditentukan pada waktu torak berada lebih dekat pada TMA. Makin besar jarak elektroda busi makin besar pula perbedaan tegangan yang diperlukan untuk memperoleh intensitas api listrik yang sama. Jumlah minimum molekul banyak tergantung di antara kedua elektroda pada waktu terjadi loncatan listrik yang sangat menentukan apakah penyalaan dapat berlangsung sebaik-baiknya.

Karena jumlah molekul banyak tergantung pada perbandingan campuran, jumlah gas sisa, temperatur dan kondisi operasi yang lain, jumlah itu dapat berubah-ubah. Dengan memperbesar jarak elektroda diharapkan jumlah minimum itu dapat dicapai walaupun keadaan operasi berubah-ubah. Akan tetapi, jumlah elektroda juga menentukan besarnya tegangan. Pada mesin genset ini menggunakan sistem penyalaan magneto dimana medan magnet di dalam kumparan primer dan sekunder dibangkitkan oleh putaran

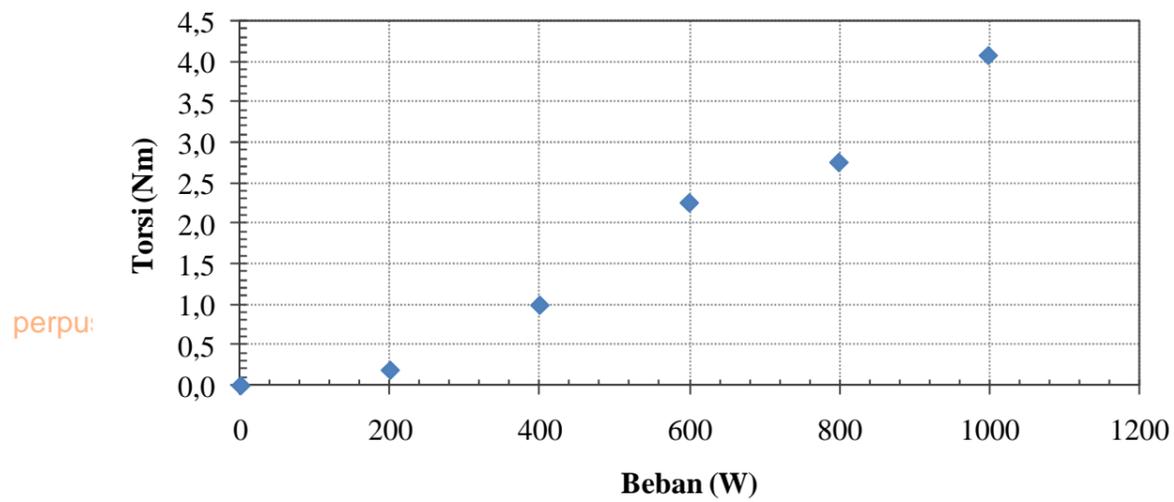
magnet permanen. Apabila magnet dibangkitkan, maka akan berubah-ubah dari harga maksimum positif menuju harga maksimum negatif dan sebaliknya. Pada waktu medan magnet turun dari harga maksimum positif, maka akan terinduksi tegangan dan arus listrik di dalam kumparan primer. Arus primer ini membangkitkan medan magnet pula yang menentang perubahan medan magnet dari magnet yang berputar. Dengan demikian medan magnet (total) yang melingkupi kumparan primer tetap konstan (tinggi) meskipun besarnya medan magnet didalamnya turun pada waktu magnet permanen berputar menjauhi katup. Akan tetapi pemutus arus segera terbuka sehingga arus primer itupun terputus. Di dalam kumparan sekunder akan terinduksi tegangan tinggi sehingga terjadi loncatan listrik diantara kedua elektroda busi. Gerakan katup isap dan katup buang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Gerakan katup isap dan katup buang

Mesin 4 Langkah	Katup isap		Katup buang	
	Mulai terbuka (^o sudut engkol)	Tertutup (^o sudut engkol)	Mulai terbuka (^o sudut engkol)	Tertutup (^o sudut engkol)
	10 – 30 sebelum TMA	45 – 90 sesudah TMB	45 – 90 sebelum TMB	15 – 45 sesudah TMA

4.3. Analisa Unjuk Kerja Genset Berbahan Bakar Biogas.

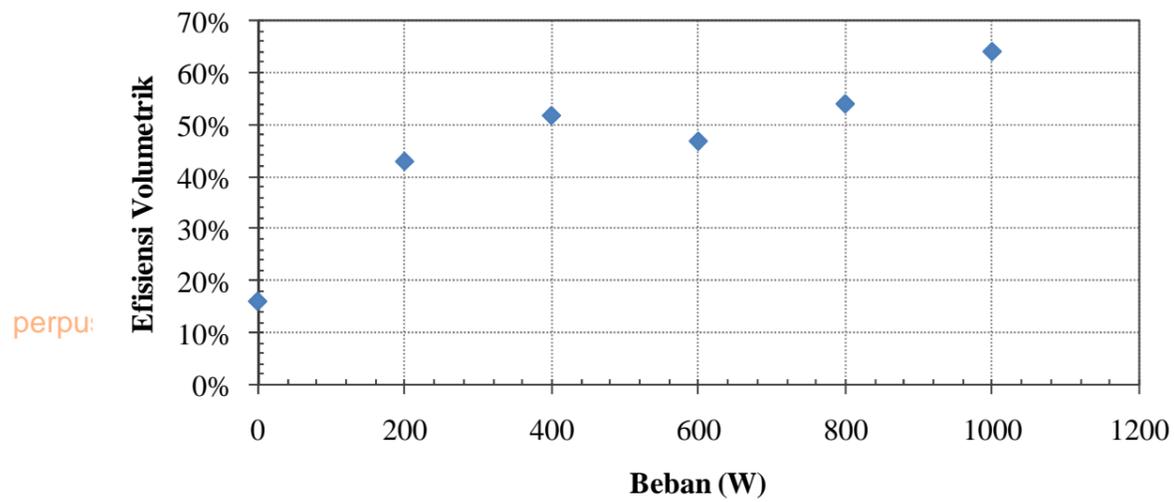
Terdapat empat indikator penting dalam unjuk kerja suatu motor bakar dan genset, yaitu torsi, bmep, efisiensi volumetrik dan efisiensi total. Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja. Dari hasil pengujian genset berbahan bakar biogas, dapat diperoleh torsi yang diperlihatkan pada Gambar 4.1. Semakin besar beban membutuhkan torsi yang lebih besar. Pada beban 1000 W, torsi yang dibutuhkan adalah 4,1 Nm pada putaran 2320 rpm. Torsi yang terjadi ternyata lebih rendah dari torsi maksimum spesifikasi standar genset berbahan bakar bensin sebesar 10,8 Nm. Hal ini dapat dimengerti karena energi yang terkandung dalam biogas lebih rendah dari energi yang terkandung dalam bensin.



Gambar 4.1. Torsi mesin berbahan bakar biogas.

Di dalam mesin berbahan bakar gas, efisiensi volumetrik merupakan kemampuan dari *engine* untuk memasukkan dan mengeluarkan sejumlah campuran gas bahan bakar dan udara. Secara definisi, efisiensi volumetrik adalah perbandingan volume fluida kerja (bahan bakar dan udara) yang secara aktual dimasukkan (yang diukur pada tekanan dan temperatur tertentu) terhadap volume langkah piston. Sedangkan untuk mesin berbahan bakar cair, efisiensi volumetrik didefinisikan sebagai perbandingan volume udara yang ditarik ke dalam silinder dengan volume langkah piston. (<http://www.answers.com/topic/volumetric-efficiency>). Secara umum dapat dinyatakan bahwa mesin yang mempunyai efisiensi volumetrik tinggi akan mampu bekerja pada rpm yang tinggi dan menghasilkan daya total yang lebih banyak karena rendahnya rugi-rugi daya hambat udara yang bergerak masuk dan keluar silinder.

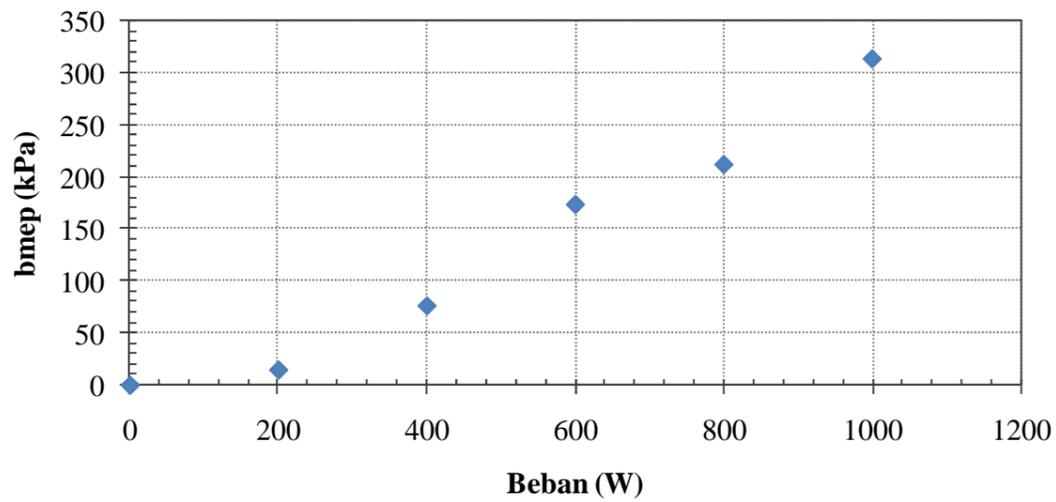
Pada pengujian mesin berbahan bakar biogas, terlihat bahwa pada saat idle, efisiensi volumetriknya rendah yaitu sekitar 16%. Pada beban yang lebih tinggi, efisiensi volumetriknya meningkat. Efisiensi volumetrik genset berbahan bakar biogas pada beban 200-1000 W berada pada kisaran 43-64%.



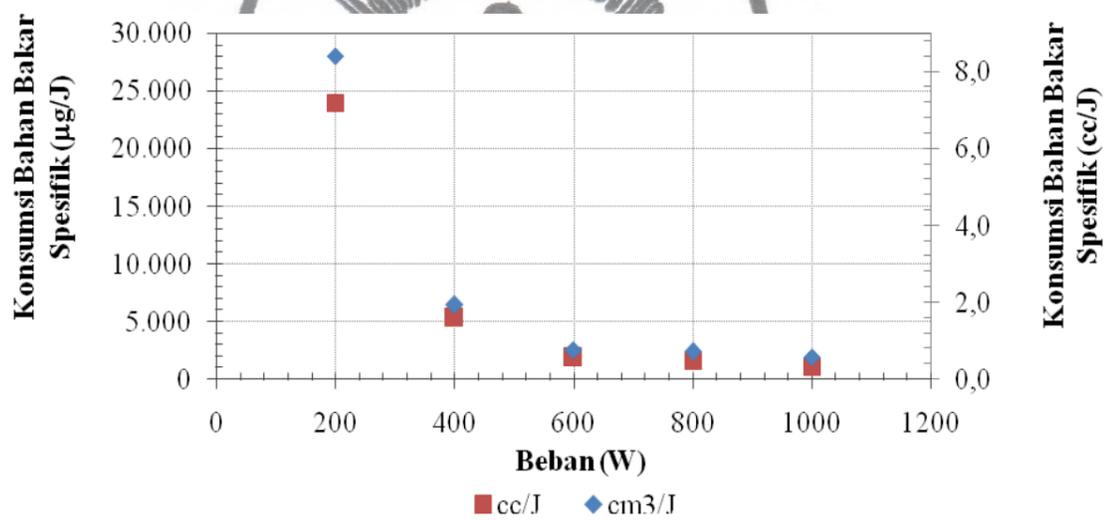
Gambar 4.2. Efisiensi volumetrik mesin berbahan bakar biogas.

Dari penelitian yang lain disebutkan bahwa efisiensi volumetrik genset dengan bahan bakar minyak tanah akan sangat rendah. Pada beban 1 kW, efisiensi volumetrik yang diperoleh adalah sekitar 30%. Nilai yang rendah ini diakibatkan oleh setingan throttle yang ditutup sebagian pada saat menggunakan bahan bakar minyak tanah (Bhavin Kanaiyalal Kapadia, 2006). Menurut Heywood, besarnya efisiensi volumetrik maksimum pada motor bensin standar adalah sekitar 80-90% (Heywood, J.B, 1988). Pada pengujian genset berbahan bakar biogas pemasukan biogas dilakukan dengan membuat saluran bahan bakar udara yang dipasang dekat dengan katup masuk. Dengan modifikasi ini karburator dan governor tidak difungsikan lagi. Akibatnya efisiensi volumetrik meningkat dibandingkan dengan genset berbahan bakar minyak tanah yang sebagian throttlenya ditutup. Dari Gambar 4.2 juga terlihat bahwa perubahan efisiensi volumetrik hampir sama untuk semua beban karena governor tidak difungsikan dan pemasukan bahan bakar udara hanya fungsi dari tarikan piston dalam ruang bakar. Penyebab tingginya efisiensi volumetrik genset berbahan bakar biogas ini juga dikarenakan terdapatnya sedikit tekanan biogas masuk. Sebelum biogas masuk ke dalam ruang bakar, biogas ditekan pada tekanan rata-rata 11 psig untuk memudahkan penyalaan dan menstabilkan putaran mesin.

Bmep adalah indikator unjuk kerja motor bakar yang menyatakan perbandingan antara kerja dan volume silinder. Mesin yang mempunyai bmep tinggi berarti mampu menghasilkan kerja yang lebih tinggi. Besarnya bmep pada motor bakar adalah 850-1050 kPa pada torsi maksimumnya (Heywood, 1988). Besarnya bmep dari pengujian motor bakar berbahan bakar biogas adalah 320 kPa pada beban 1000 W sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.3. Semakin besar beban akan diperoleh peningkatan bmep. digilib.uns.ac.id

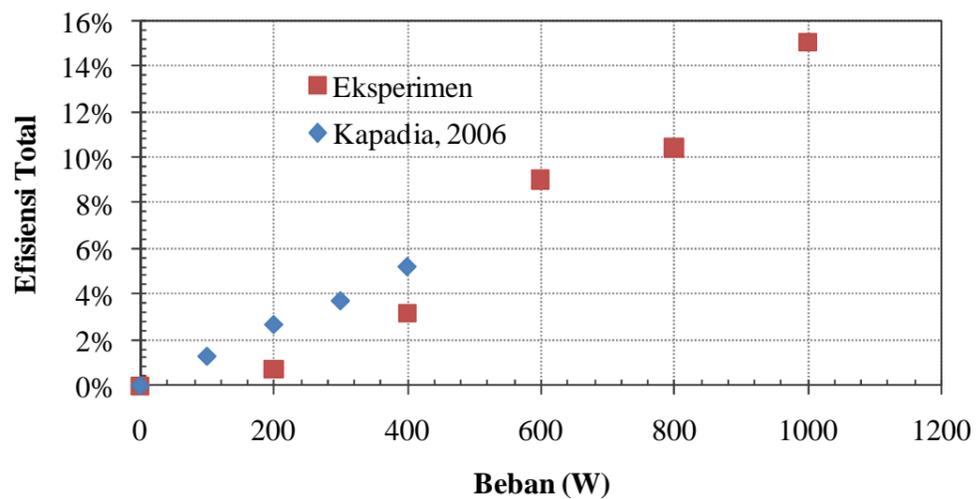


Gambar 4.3. Bmep mesin berbahan bakar biogas.



Gambar 4.4. Konsumsi bahan bakar spesifik mesin berbahan bakar biogas.

Menurut Heywood, besarnya konsumsi bahan bakar spesifik untuk motor bensin standar adalah $75 \mu\text{g/J}$ atau $0,0001 \text{ cc/J}$ (Heywood, 1988). Dengan menggunakan biogas, karena AFR yang rendah menyebabkan jumlah bahan bakar yang diperlukan lebih tinggi. Dengan biogas, semakin besar beban menyebabkan konsumsi bahan bakar spesifik menurun. Pada beban 1000 W sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.4 diperoleh konsumsi bahan bakar spesifik sebesar $1100 \mu\text{g/J}$ atau $0,6 \text{ cc/J}$.



Gambar 4.5. Efisiensi total mesin berbahan bakar biogas.

Ukuran dari unjuk kerja suatu motor bakar yang lebih realistis adalah efisiensi termal atau efisiensi total. Gambar 4.5 menunjukkan efisiensi total mesin berbahan bakar biogas. Terlihat bahwa efisiensi total memingkat seiring dengan meningkatnya beban. Pada beban 1000 W dapat diperoleh efisiensi total sebesar 15%. Nilai ini memang lebih rendah dari motor bakar berbahan bakar bensin yang berkisar antara 25-32% atau solar yang berkisar antara 30-40% pada umumnya (Mitzlatf, 1988). Hal ini disebabkan karena biogas mempunyai nilai kalor yang lebih rendah dari nilai kalor bensin sehingga pada saat dibakar menghasilkan torsi yang rendah. Selain itu, campuran udara dengan biogas sangat sensitif terhadap pembakaran dalam ruang bakar.

Perubahan campuran udara bahan bakar sedikit saja dapat menyebabkan ketidakstabilan nyala dan akibatnya juga tidak stabilnya putaran mesin. Karena kandungan CO₂ dalam biogas, pembakaran biogas pada umumnya lebih lambat dari pembakaran bensin. Akibatnya pada putaran mesin yang tinggi, pembakaran biogas dalam ruang bakar menjadi tidak sempurna dan akibatnya efisiensinya turun. Harga efisiensi motor berbahan bakar biogas yang rendah juga diperoleh oleh Kapadia sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 4.5 (Kapadia, 2006). Efisiensi motor bakar berbahan bakar biogas dari Kapadia sedikit lebih tinggi dari hasil eksperimen ini karena menggunakan *premixed charged induction* sehingga campuran udara biogas lebih baik dan pembakaran yang terjadi dapat lebih sempurna.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari proyek akhir ini dapat disimpulkan beberapa hal :

1. Pembangkit listrik tenaga biogas telah berhasil dirancang, dibangun dan diujicoba.
2. Pemurnian biogas dari H_2S telah dapat dilakukan dengan metode absorpsi dan berhasil mengabsorb 1,76 g H_2S per jam.
3. Penyaringan biogas terhadap unsur H_2O telah dapat dilakukan dengan silika gel dan berhasil mengadsorb 5 g H_2O per jam.
4. Torsi, bmep, dan unjuk kerja motor bakar berbahan bakar biogas masih lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar bensin.
5. Semakin besar beban menyebabkan efisiensi total motor berbahan bakar biogas meningkat. Efisiensi total dari motor bakar berbahan bakar biogas adalah sekitar 15% pada beban 1000W.

5.2. Saran

1. Perlunya dilakukan penelitian lanjutan mengenai aspek ekonomi pembangkit listrik tenaga biogas.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk meningkatkan efisiensi total dari motor bakar berbahan bakar biogas.
3. Perlu diteliti dalam jangka waktu yang lebih panjang untuk efektivitas pencucian biogas dari H_2S dan H_2O .