

**PENGARUH VARIASI VOLUME ZEOLIT DI DALAM PURIFIER TERHADAP
KINERJA MOTOR BENSIN BERBAHAN BAKAR BIOGAS**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

ANDRI ARIESTO PRATAMA

NIM. 0710623063 – 62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2012

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur panjatkan kehadirat Tuhan Yesus atas segala berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di jurusan teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesaikannya skripsi ini, terutama kepada :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST.,MT. Selaku Ketua Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Dr.Eng Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Dr. Eng Denny Widhiyanuriawan, ST.,MT. Selaku Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
4. Bapak Prof.Ir. Sudjito, Ph.D selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan, dan saran yang konstruktif dalam menyusun skripsi ini.
5. Bapak Ir. Endi Sutikno, MT selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan, dan saran yang konstruktif dalam penulisan skripsi ini.
6. Kedua orang tua yang telah memberikan banyak dukungan moril, dan materiil serta nur dwi, rohim hanif tatas dan baskoro dan M07 serta yang terspesial buat lazarina yang telah banyak membantu sehingga skripsi ini dapat terselesaikan

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak. Semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi bahan acuan untuk penelitian selanjutnya.

Malang, Januari 2012

penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI ii

DAFTAR TABEL iv

DAFTAR GAMBAR v

DAFTAR LAMPIRAN vii

DAFTAR SIMBOL viii

RINGKASAN ix

BAB I PENDAHULUAN 1

 1.1 Latar Belakang 1

 1.2 Rumusan Masalah 2

 1.3 Batasan Masalah 2

 1.4 Tujuan Penelitian 3

 1.5 Manfaat Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4

 2.1 Penelitian Sebelumnya 4

 2.2 Motor Bensin 4

 2.3 Prinsip Kerja Motor Bensin Empat Langkah 5

 2.4 Parameter Kinerja Motor Bakar Torak 7

 2.5 Grafik Karakteristik Kinerja motor bakar 10

 2.6 Purifier 11

 2.7 Pembakaran Stoikhiometrik..... 12

 2.7.1 Pembakaran Pada Motor Bensin Empat Langkah..... 13

 2.8 Gas buang 13



2.9 Biogas	14
2.10 Proses Pembuatan Biogas	16
2.11 Modifikasi Motor Bensin 4 Langkah Dengan Bahan Bakar Biogas	17
2.12 Adsorpsi	18
2.13 Zeolit	18
2.13.1 sifat sifat zeolit.....	20
2.13.2 Aktivasi zeolit	21
2.14 Karbon dioksida.....	21
2.15 Metana	22
2.16 Hipotesa.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Metode Penelitian	23
3.2 Tempat dan waktu pelaksanaan	23
3.3 variabel penelitian	23
3.4 peralatan penelitian	24
3.4.1 peralatan utama.....	24
3.4.2 peralatan bantu	26
3.5 Diagram skematik penelitian	28
3.6 Prosedur pengujian	29
3.7 Rancangan Penelitian	30
3.8 Diagram alir penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Data Hasil Pengujian	35

4.2 Perhitungan data..... 37

4.3 Pembahasan

4.3.1 Hubungan Putaran terhadap Torsi..... 41

4.3.2 Hubungan putaran terhadap daya efektif 43

4.3.3 Hubungan Putaran Terhadap *Specific Fuel Consumption* 45

4.3.4 Hubungan Putaran terhadap efisiensi termal..... 47

4.3.5 Hubungan Putaran terhadap gas buang CO..... 49

4.3.6 Hubungan Putaran Terhadap gas buang HC..... 50

BAB V PENUTUP..... 51

5.1 Kesimpulan..... 51

5.2 Saran 51

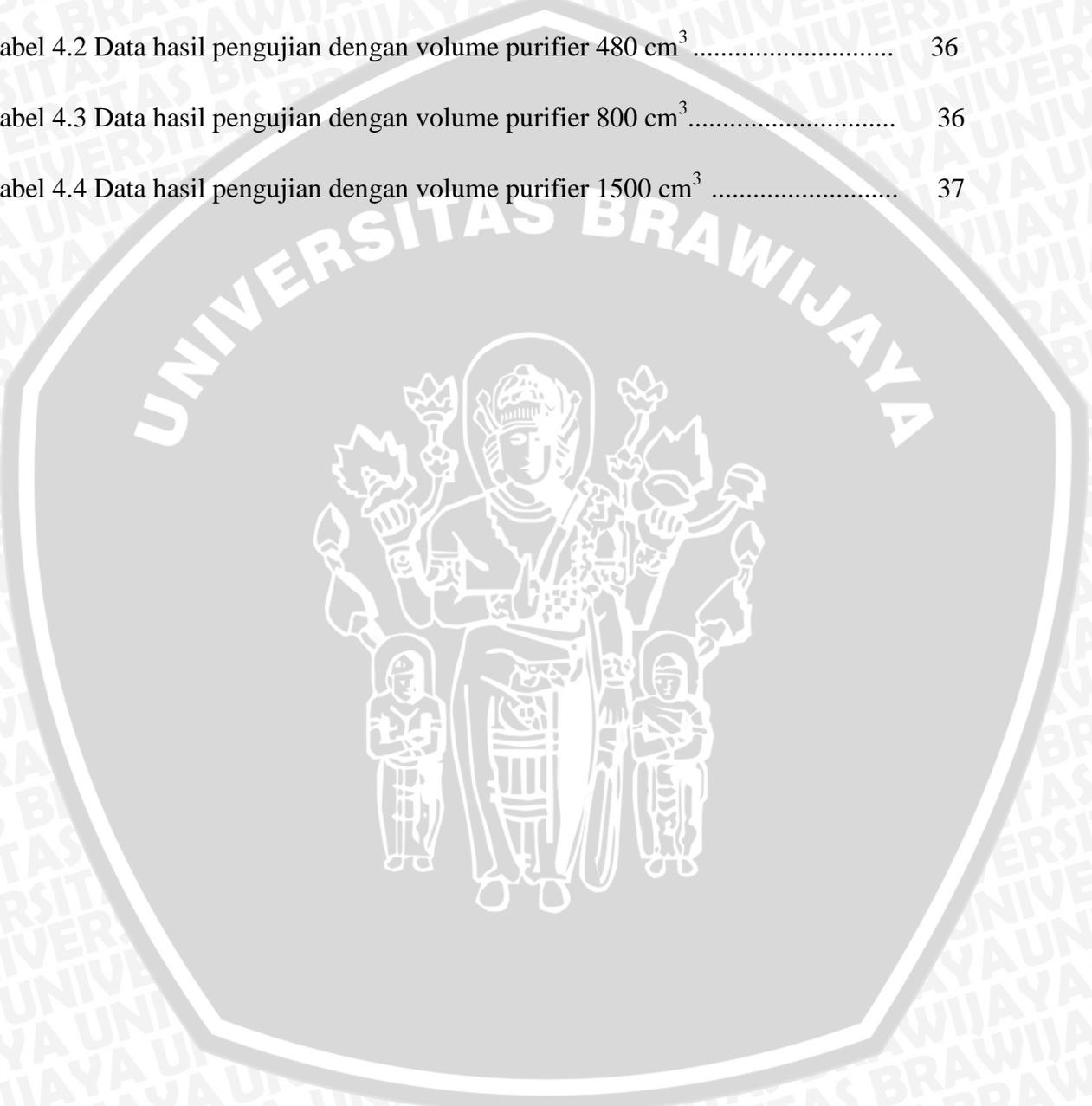
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Rancangan data penelitian	30
Tabel 4.1 Data hasil pengujian kondisi tanpa <i>zeolit</i>	35
Tabel 4.2 Data hasil pengujian dengan volume purifier 480 cm ³	36
Tabel 4.3 Data hasil pengujian dengan volume purifier 800 cm ³	36
Tabel 4.4 Data hasil pengujian dengan volume purifier 1500 cm ³	37

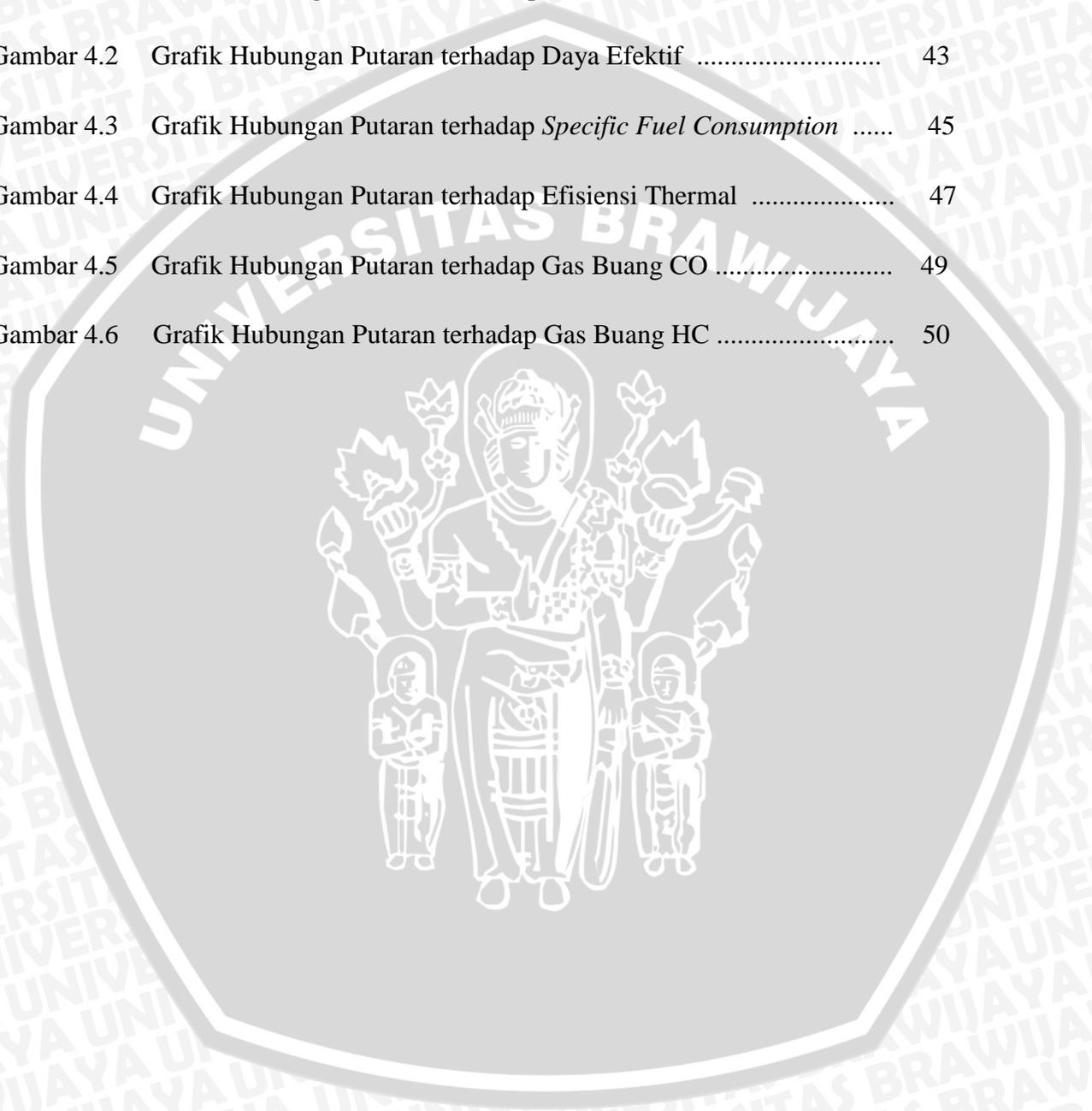


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Siklus Kerja Motor Bensin Empat Langkah	5
Gambar 2.2	Diagram P - v Siklus Volume Konstan	6
Gambar 2.3	Pengukuran beda tekanan pada <i>orifice</i>	9
Gambar 2.4	Diagram proses purification pada motor bensin berbahan biogas ...	11
Gambar 2.5	Digester tipe fixed dome plant	15
Gambar 2.6	T-Joint mixer	17
Gambar 2.7	Struktur zeolit dalam 3 dimensi	19
Gambar 2.8	batu zeolit	19
Gambar 2.9	Karbon dioksida	21
Gambar 2.10	Metana	22
Gambar 3.1	Honda Karisma 125 cc.	25
Gambar 3.2	purifier	25
Gambar 3.3	<i>Dynamometer Prony Brake.</i>	26
Gambar 3.4	<i>Tachometer.</i>	26
Gambar 3.5	Orifice	26
Gambar 3.6	<i>Hygrometer</i>	27
Gambar 3.7	Barometer	27
Gambar 3.8	Diagram Skematik Instalasi penelitian	28
Gambar 3.9	Hubungan antara putaran terhadap torsi	31
Gambar 3.10	Hubungan antara putaran terhadap daya efektif	31
Gambar 3.11	Hubungan antara putaran terhadap konsumsi bahan bakar spesifik	32
Gambar 3.12	Hubungan antara putaran terhadap efisiensi thermal	32



Gambar 3.13 Hubungan antara putaran terhadap gas buang HC	33
Gambar 3.14 Hubungan antara putaran terhadap gas buang CO	33
Gambar 3.15 Diagram alir penelitian	34
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Putaran terhadap Torsi	41
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Putaran terhadap Daya Efektif	43
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Putaran terhadap <i>Specific Fuel Consumption</i>	45
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Putaran terhadap Efisiensi Thermal	47
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Putaran terhadap Gas Buang CO	49
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Putaran terhadap Gas Buang HC	50



DAFTAR LAMPIRAN

- | | |
|------------|-----------------------------|
| Lampiran 1 | Data Gas Buang |
| Lampiran 2 | Komposisi gas buang |
| Lampiran 3 | perhitungan data penelitian |
| Lampiran 4 | Dokumentasi pribadi |



DAFTAR SIMBOL

Besaran dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Torsi	Kg.m	T
Massa	kilogram atau kg	m
Waktu	sekon atau s	t
Putaran	Rotasi/menit	N
Daya Efektif	Horse power	Ne
Konsumsi Bahan Bakar	Kg/jam	FC
Volume Bahan Bakar	ml	b
Konsumsi bahan Bakar Spesifik	Kg/HP.jam	SFCe
Nilai Kalor Bawah	kcal/kg	LHV
Efisiensi Thermal		%
Massa Jenis	Kg/m ³	ρ
Angstrom		Å
Beda Tekanan	Kg/m.s	P
Kecepatan Gravitasi	m/s	g
Beda Head	mm	h
Kecepatan anguler poros engkol	rad/s	

RINGKASAN

Andri Ariesto Pratama Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2012, *pengaruh variasi volume zeolit di dalam purifier terhadap kinerja motor bensin berbahan bakar biogas*. Dosen Pembimbing Prof. Ir. Sudjito, Ph.D dan Ir. Endi Sutikno, MT

Semakin meningkatnya jumlah penduduk menyebabkan semakin meningkat pula kebutuhan akan energi terutama kebutuhan akan minyak dan gas bumi, minyak dan gas bumi merupakan bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui sehingga diperlukan adanya suatu bahan bakar alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil salah satunya adalah biogas yang berasal dari kotoran ternak, biogas bisa menjadi solusi pengganti energi bahan bakar fosil yang murah dan ramah lingkungan. Dalam biogas terkandung unsur-unsur CO_2 , CH_4 , N_2 , H_2O dan H_2S , dimana CH_4 adalah unsur utama dalam biogas yang menjadi komponen dalam pembakaran. Untuk meningkatkan performa biogas atau memperoleh kandungan metana yang tinggi dapat digunakan suatu metode pemurnian dengan proses adsorpsi menggunakan adsorben yang berpori yaitu zeolit. Zeolit memiliki kemampuan untuk meningkatkan kemurnian biogas karena mampu menyerap gas pengotor utama yaitu CO_2 , H_2O dan H_2S namun tidak menyerap gas utama yang diinginkan yaitu CH_4 . Kinerja purifier dipengaruhi oleh banyaknya zeolit pada purifier dengan volume purifier yang berbeda-beda, sehingga akan berpengaruh dalam pemurnian biogas.

Pada penelitian ini dilakukan proses aktivasi pada zeolit sebelum zeolit digunakan sebagai adsorben. Proses aktivasi dilakukan dengan merendam zeolit pada larutan NaOH 1M selama 6-7 jam kemudian dibersihkan dengan aquades. Zeolit yang telah dibersihkan dengan aquades dimasukkan ke dalam dapur pemanas pada suhu 200 C selama 2 jam baru setelah itu dapat digunakan dalam pemurnian biogas. Pada proses pemurnian biogas ini menggunakan 3 variasi purifier 480 cm³, 800 cm³ dan 1500 cm³ untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kinerja motor bensin yang berbahan bakar biogas.

Didapat bahwa semakin besar volume zeolit di dalam purifier kinerja motor bakar semakin meningkat dan gas hasil buang menurun hal itu disebabkan karena semakin besar volume zeolit di dalam purifier maka kontak antara zeolit dengan biogas semakin besar, biogas yang termurnikan semakin banyak, panas hasil pembakaran juga meningkat.

Kata kunci: biogas, zeolit, purifier, kinerja

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya jumlah penduduk menyebabkan semakin meningkat pula kebutuhan akan energi, terutama kebutuhan akan minyak dan gas bumi. Minyak dan gas bumi merupakan bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui dan jumlahnya semakin menipis di bumi, disamping itu juga pemakaian bahan bakar fosil memberi dampak lingkungan yang tidak sedikit salah satunya karena emisi gas buang dari bahan bakar fosil akibat dari proses pembakaran pada motor bakar yang tidak sempurna, sehingga dapat merusak kesehatan manusia oleh karena itu diperlukan suatu bahan bakar alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil salah satunya adalah biogas.

Biogas memiliki sifat mudah terbakar dan berasal dari proses penguraian bahan organik secara anaerob (tanpa udara) oleh bakteri atau mikroorganisme dengan melalui beberapa tahapan proses. Biogas ini bisa menjadi solusi pengganti energi bahan bakar fosil yang murah dan ramah lingkungan. Dimana komposisi dari biogas adalah CH_4 , CO_2 , H_2O , N_2 dan H_2S . Gas metana atau CH_4 dalam biogas adalah unsur utama dalam biogas yang menjadi komponen dalam pembakaran dan juga persentasenya harus besar sehingga bisa menghasilkan kalor yang tinggi. Untuk meningkatkan performa biogas atau memperoleh kandungan metana yang tinggi dapat digunakan suatu metode pemurnian yaitu dengan proses adsorpsi, dimana terjadi kontak antara padatan dengan suatu campuran fluida, sehingga sebagian zat terlarut dalam fluida tersebut akan teradsorpsi yang menyebabkan terjadinya perubahan komposisi fluida tersebut (Brown, 1950). Material yang digunakan sebagai adsorben umumnya material yang berpori seperti zeolit, silica gel (Hardjono, 1989).

Salah satu adsorber padat yang berpotensi untuk memurnikan biogas tersebut adalah zeolit. Di Indonesia, deposit zeolit alam cukup besar dan kemurniannya cukup tinggi dengan konsentrasi kandungan silika sekitar 60%. Daerah tambang zeolit diantaranya adalah daerah Lampung Selatan, Bayah, Cikembar, Cipatujah, Jawa Barat Nangapada, Kabupaten Malang khususnya Malang Selatan, dan selain banyak terdapat di alam zeolit merupakan material yang murah dan dapat di regenerasi setelah dipakai dalam pemurnian biogas. Zeolit memiliki kemampuan untuk meningkatkan kemurnian biogas karena mampu menyerap gas pengotor utama yaitu CO_2 namun tidak menyerap gas

utama yang ingin dimurnikan yaitu CH_4 (Wahono, 2008).

Kinerja zeolit dalam pemurnian biogas dipengaruhi oleh banyaknya zeolit yang terdapat di dalam purifier sehingga volume dari suatu zeolit juga akan berubah, sehingga volume dari suatu zeolit pada purifier juga akan berpengaruh terhadap kemampuan suatu zeolit tersebut dalam memurnikan biogas.

Sehingga dalam penelitian ini, kami mencoba untuk meneliti pengaruh variasi volume zeolit di dalam purifier terhadap kinerja motor bensin berbahan bakar biogas

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat diambil suatu rumusan masalah bagaimana pengaruh variasi volume zeolit di dalam purifier terhadap kinerja motor bensin berbahan bakar biogas?

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas dan terfokus, maka perlu dilakukan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Mesin yang digunakan dalam penelitian adalah motor bensin empat langkah honda kharisma 125 cc, satu silinder
2. Tekanan dalam penampungan biogas dianggap konstan
3. Pembukaan volume udara dan bahan bakar pada bukaan throttel konstan
4. Bahan bakar yang digunakan adalah biogas dari kotoran sapi hasil penguraian bakteri anaerob
5. Hanya membahas parameter – parameter pada motor gas, untuk konstruksi mesin dan aliran fluida tidak dibahas
6. Bentuk zeolit kerikil yang berukuran 1 cm
7. Perubahan temperatur pada lingkungan tidak diperhitungkan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah untuk membandingkan kinerja kerja motor bensin berbahan bakar biogas yang standart dengan motor bensin berbahan bakar biogas yang telah dimurnikan dengan zeolit

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberi masukan kepada masyarakat untuk bisa menggunakan energi alternatif pengganti bahan bakar fosil
2. Menambah ilmu pengetahuan dan pengalaman terhadap penulis maupun pembaca pada umumnya serta kontribusi untuk penelitian berikutnya
3. Bermanfaat bagi pengembangan penelitian di bidang otomotif



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Purba (2009) melakukan penelitian yang membandingkan kinerja motor bensin 4 langkah dengan menggunakan bahan bakar bensin dan biogas, dihasilkan kesimpulan bahwa biogas memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap kinerja motor bensin 4 langkah dan efisiensi pembakaran biogas lebih baik dibandingkan bensin.

Wahono dkk (2008) melakukan penelitian dengan modifikasi zeolit lokal Gunungkidul sebagai upaya peningkatan performa biogas untuk pembangkit listrik hasil penelitian menunjukkan Berdasarkan hasil penelitian ini, diperoleh material modifikasi zeolit dengan kaolin lokal Semin – Gunungkidul berbentuk pelet sebagai material yang optimal dalam menyerap biogas karena mudah dalam pembuatan material modifikasi, material yang dihasilkan kuat dan daya listrik yang dihasilkan tinggi.

Wira (2009) melakukan penelitian dengan objek membandingkan kinerja motor bensin 4 langkah bahan bakar biogas dengan memvariasikan sudut pengapian. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sudut pengapian 39° sebelum TMA merupakan sudut pengapian yang optimal untuk bahan bakar biogas. Hal ini dilihat dari peningkatan kinerja dan berkurangnya kadar emisi gas buang.

Pada penelitian ini menggunakan pemurnian biogas untuk meningkatkan kinerja motor bensin berbahan bakar biogas dengan memvariasikan volume zeolit didalam purifier yang diharapkan semakin besar volumenya semakin banyak biogas yang termurnikan sehingga dapat meningkatkan kinerja motor bensin berbahan bakar biogas.

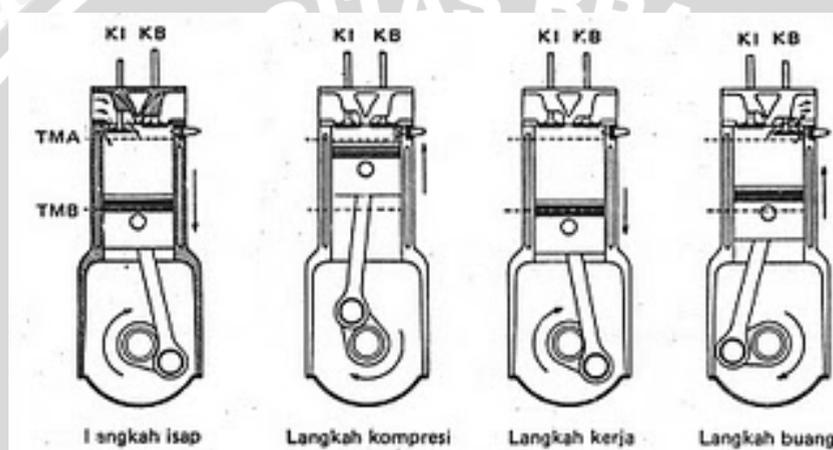
2.2 Motor Bensin

Mesin bensin atau mesin Otto adalah sebuah mesin yang menggunakan nyala busi untuk membakar campuran bahan bakar dan udara yang telah tercampur sebelumnya pada karburator, pencampuran tersebut terjadi karena bahan bakar terisap masuk atau disemprotkan kedalam arus udara yang masuk kedalam karburator. Motor bensin dirancang untuk menggunakan bahan bakar bensin atau yang sejenis. Disebut sebagai

mesin pembakaran dalam karena proses pembakarannya berlangsung di dalam motor bakar itu sendiri sehingga gas pembakaran yang terjadi juga berfungsi sebagai fluida kerja pada mesin bensin.

2.3 Prinsip Kerja Motor Bensin Empat Langkah

Siklus kerja motor bensin empat langkah adalah dua kali putaran poros engkol menghasilkan satu kali kerja (Pulkrabek, 1997:26) dan dalam dua kali putaran poros engkol tersebut beberapa langkah kerja seperti yang terlihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 : Siklus Kerja Motor Bensin Empat Langkah

Sumber : Arismunandar. W, (2002)

a). Langkah Isap

Langkah isap merupakan proses dimana campuran udara dan bahan masuk kedalam silinder melalui katup isap, keadaan ini bisa terjadi karena tekanan di dalam silinder lebih rendah dari tekanan atmosfer. Pada proses langkah hisap torak bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) menuju TMB (Titik Mati Bawah), dimana katup isap dalam keadaan terbuka, katup buang dalam keadaan tertutup.

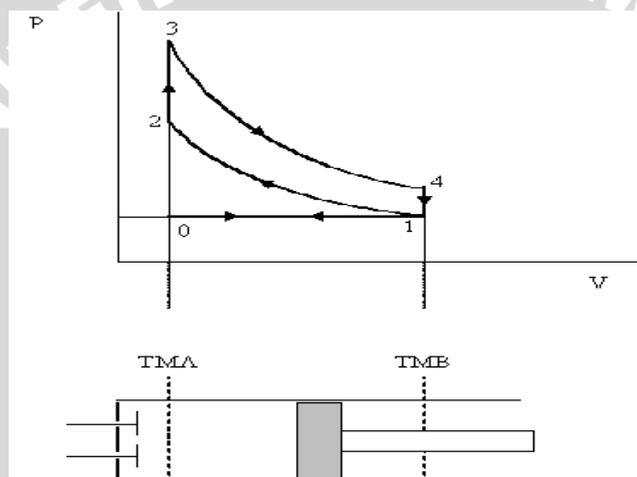
b) Langkah kompresi, diawali ketika kedua katup tertutup dan campuran di dalam silinder terkompresi sebagian kecil dari volume awalnya. Sesaat sebelum akhir langkah kompresi, pembakaran dimulai dan tekanan silinder naik lebih cepat.

c) Langkah kerja, atau langkah ekspansi, yang dimulai saat piston hampir mencapai titik mati atas dan berakhir sekitar 45° sebelum titik mati bawah. Gas bertekanan tinggi

menekan piston turun dan memaksa engkol berputar. Ketika piston mencapai titik mati bawah, katup buang terbuka untuk memulai proses pembuangan dan menurunkan tekanan silinder hingga mendekati tekanan pembuangan.

d) Langkah pembuangan, dimulai ketika piston mencapai titik mati bawah. Ketika katup buang membuka, piston mendorong keluar sisa gas pembakaran hingga piston mencapai titik mati atas. Bila piston mencapai titik mati atas, katup masuk membuka, katup buang tertutup, demikian seterusnya.

Adapun dari langkah kerja yang telah dijelaskan diatas, apabila digambarkan dalam bentuk diagram P-v dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 : Diagram P - v Siklus Volume Konstan
Sumber : <http://wordpress.com/category/materi-kuliah/>

Keterangan mengenai proses siklus volume konstan adalah sebagai berikut :

- 1) 0-1 merupakan langkah isap yang terjadi pada tekanan konstan (*isobaric*) dan temperatur konstan (*isotermik*)
- 2) 1-2 merupakan proses kompresi pada entropi konstan (*isentropic*).
- 3) 2-3 merupakan proses pemasukan kalor pada volume konstan (*isokhorik*) Pada proses 2-3 terjadi penyalaan oleh busi untuk melakukan pembakaran
- 4) 3-4 merupakan langkah kerja/ekspansi yang terjadi secara *isentropic*
- 5) 4-1 merupakan proses pengeluaran kalor pada volume konstan (*isokhorik*)
- 6) 1-0 merupakan pengeluaran sisa kalor pada tekanan konstan (*isobaric*) dan temperatur konstan (*isotermik*)

2.4 Parameter Kinerja Motor Bakar Torak

Karakteristik suatu mesin dapat diketahui melalui parameter-parameter kinerjanya (*performance*), sehingga dapat ditentukan bagaimana keadaan yang paling ideal dari mesin tersebut. Dengan diketahuinya keadaan paling ideal tersebut maka pemakaian mesin dapat seefisien mungkin.

Beberapa parameter unjuk kerja yang akan dicari pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Torsi (T)

Dilakukan dengan menggunakan *Dynamometer Prony Brake* yang telah terangkai dengan peralatan utama, yaitu menghubungkannya dengan poros mesin. Dari pengukuran torsi dengan alat ini didapatkan data besarnya beban yang ditunjukkan oleh timbangan.

Besarnya torsi ialah hasil kali panjang lengan torsi dengan beban yang ditunjukkan oleh timbangan, menurut persamaan berikut :

$$T = F.L \quad (\text{Bueche, 1988: 16}) \quad (2-1)$$

Dengan :

T = torsi yang dihasilkan (kgm)

F = besarnya beban pada timbangan (kg)

L = panjang lengan dynamometer (m)

b. Daya Efektif / Daya Poros (Ne)

Daya efektif adalah daya aktual yang dihasilkan poros engkol yang digunakan untuk menggerakkan beban luar. Dengan diketahuinya torsi (T) dari persamaan di atas dan putaran poros engkol (n) yang didapatkan dari tachometer maka daya efektif (Ne) dapat dihitung dengan memakai persamaan :

$$Ne = T.\omega = \frac{T.2.\pi.n}{60.75} = \frac{T.n}{716,2} \quad (\text{Petrovsky, 1968: 99}) \quad (2-2)$$

Dengan :

Ne = daya efektif (HP)

T = torsi (kgm)

= kecepatan angular poros engkol (rad/s)

n = putaran poros engkol (rpm)

c. Konsumsi Bahan Bakar (FC)

Konsumsi bahan bakar pada motor bakar diukur dengan menggunakan tabung ukur yang disebut dengan meter alir. Bahan bakar dialirkan melalui tabung ukur yang diketahui volumenya dan mengetahui besarnya konsumsi bahan bakar kemudian dilakukan pencatatan waktu yang diperlukan mesin untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak volume tersebut, dengan menggunakan stopwatch. Besarnya konsumsi bahan bakar dapat dihitung dan dikonversikan ke dalam kg/jam dengan rumusan sebagai berikut :

$$FC = \frac{b}{t} \cdot \gamma \cdot t \cdot \frac{3600}{1000} \quad (\text{Anonymous, 1996: 10}) \quad (2-3)$$

Dengan :

FC = konsumsi bahan bakar (kg/jam)

b = volume bahan bakar selama t detik (ml)

t = waktu untuk menghasilkan bahan bakar sebanyak b ml (s)

.t = berat spesifik bahan bakar bensin = 0,7356 kg/l

Konsumsi bahan bakar (Fc) diperoleh dengan mengukur beda tekanan pada saluran orifice yang terukur pada manometer.

d. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCE)

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (*Effective Specific Fuel Consumption*) adalah banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif 1 HP selama 1 jam. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFCE) didapatkan dari nilai konsumsi bahan bakar dan daya efektif yang telah diperoleh. Nilai ini didapatkan dengan rumusan sebagai berikut :

$$SFCE = \frac{FC}{Ne} \quad (\text{Petrovsky, 1968: 63}) \quad (2-4)$$

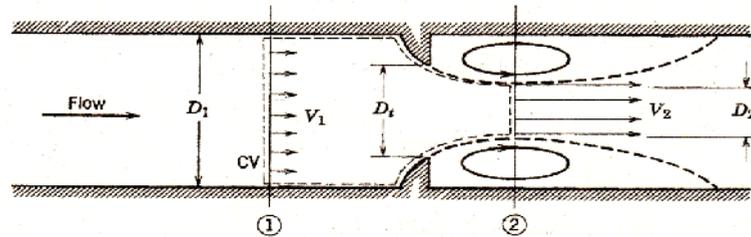
Dengan :

SFCE = konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg/HP.jam)

FC = penggunaan bahan bakar tiap jam (kg/jam)

Ne = daya efektif (HP)

Konsumsi bahan bakar (F_c) diperoleh dengan mengukur beda tekanan pada saluran orifice yang terukur pada manometer U. Beda tekanan ini kemudian dikonversikan menjadi massa alir dengan mengaplikasikan persamaan kontinuitas dan Bernoulli :



Gambar 2.3 Pengukuran beda tekanan pada orifice.
Sumber: Fox (1994: 360)

$$m_{\text{actual}} = \frac{C \cdot A_t}{1 - \sqrt{1 - \beta^4}} \sqrt{2\rho(\Delta P)} \quad (\text{Fox, 1994: 362}) \quad (2-5)$$

Dimana : C = discharge coefficient

$$= \frac{D_t}{D_1}$$

$$A_t = \frac{1}{4} \cdot D_t^2$$

$$P = g \cdot h$$

$$\text{Sehingga : } (F_c) = m_{\text{actual}} \times 3600$$

e. Efisiensi Termal Efektif (ϵ)

Efisiensi termal efektif (ϵ) erat kaitannya dengan konsumsi bahan bakar spesifik (SFCe). Nilai dari efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif. Jika konsumsi bahan bakar spesifik semakin menurun maka efisiensi termal efektif semakin meningkat. Efisiensi termal efektif dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_e = \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot Q_1} = \frac{632}{F_c / N_e \cdot Q_1} = \frac{632}{SFC_e \cdot Q_1} \quad (\text{Petrovsky, 1968: 62}) \quad (2-6)$$

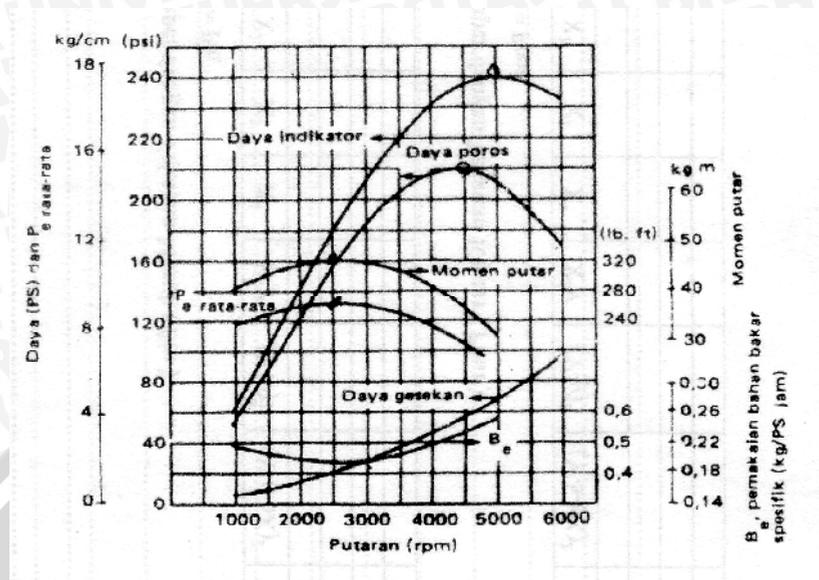
Dengan :

ϵ = efisiensi termal efektif

Q_1 = nilai kalor bawah bahan bakar (kcal/kg)

SFCe = konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg/HP.jam)

2.5 Grafik karakteristik kinerja motor bakar



Air-fuel ratio	Idle 11—12.5	Acceleration 11 - 13	Cruising 13—15	Deceleration 11—12.5
Engine speed, rpm	400 - 500	400—3000	1000—3000	3000—400
Air flow, cfm	6—8	30—35	15—35	6—8
Cylinder vacuum in. Hg	16—20	0—7	7—19	20—25
Exhaust Emissions :				
CO, per cent	4 - 6	0—6	1—4	2—4
NO, ppm	10—50	1000—4000	1000—3000	10—50
HC, ppm	500—1000	50—500	200—300	4000—, 2000
Unburned fuel, % of supplied	4—6	2—4	2—4	20—60

Terlihat di atas beberapa karakteristik kinerja motor bakar sebagai berikut:

1. Torsi

Seiring dengan peningkatan putaran mesin, torsi mengalami peningkatan yakni dari putaran 1000 – 3000 rpm dan mencapai nilai maksimum pada 3000 rpm, setelah itu torsi mengalami penurunan.

2. Daya poros / daya efektif

Peningkatan nilai daya efektif terjadi pada putaran 1000 – 5000 rpm, dan mencapai nilai maksimum pada 5000 rpm setelah itu daya efektif mengalami penurunan.

3. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFce / Be)

Dapat dilihat dari grafik bahwa kecenderungan grafik konsumsi bahan bakar spesifik efektif adalah mengalami penurunan seiring dengan peningkatan putaran, yakni pada putaran 1000 – 3000 rpm. Setelah itu mengalami peningkatan.

4. Efisiensi termal efektif (η)

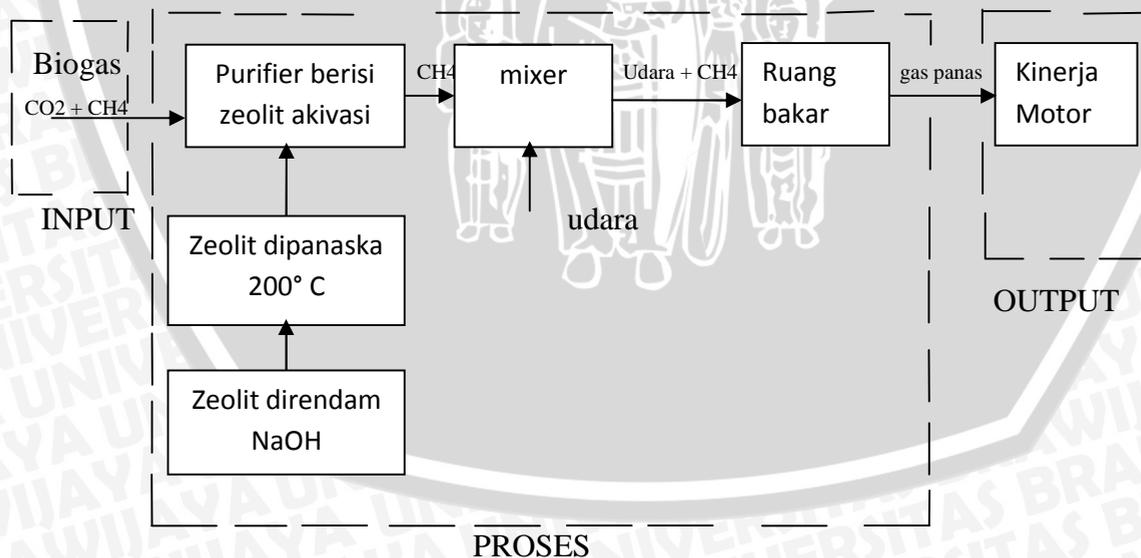
Berdasarkan rumus, efisiensi termal efektif dipengaruhi konsumsi bahan bakar spesifik efektif dan LHV bahan bakar. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif sendiri dalam grafik teoritisnya mencapai nilai maksimum pada putaran 3000 rpm sehingga nilai efisiensi termal efektif maksimum pun berkisar di putaran 3000 rpm.

5. Emisi gas buang (CO dan HC)

Pada putaran 1000 – 3000 rpm nilai emisi gas CO berkisar antara 1-4 % vol dan HC 200-300 ppm vol.

2.6 Purifier

Purifier adalah alat tambahan pada instalasi percobaan yang berfungsi sebagai pemurni biogas, dimana cara kerjanya sebagai separator CH_4 dengan gas CO_2 yang dapat dijelaskan diagram berikut gambar berikut :



Gambar 2.4 Diagram proses *purification* pada motor bensin berbahan bakar biogas

Disini dapat dijelaskan biogas yang merupakan suatu inputan, terdiri dari kadungan CO_2 dan CH_4 dimana CO_2 merupakan suatu inhibitor yang dapat mengurangi nilai kalor pembakaran, sehingga perlu dihilangkan melalui purifikasi dengan cara biogas dari digester dialirkan menuju purifier yang berisi zeolit yang sudah diaktivasi terlebih dahulu. Karena zeolit bersifat selektif maka CO_2 yang memiliki panjang 116 pm terjebak di dalam pori zeolit sedangkan CH_4 dengan panjang 109 pm lolos sehingga dihasilkan biogas dengan kadungan CH_4 yang besar. CH_4 masuk kedalam mixer bercampur dengan udara, campuran tersebut masuk keruang bakar sehingga terjadi proses pembakaran yang akan menghasilkan kinerja pada motor bakar

2.7 Pembakaran Stoikiometrik

Pembakaran stoikiometrik adalah pembakaran dimana semua atom dari pengoksidasi bereaksi secara kimia untuk menjadi berbagai produk seperti CO_2 , H_2O dan N_2 . Pengoksidasi yang paling lazim adalah udara, yang untuk beberapa keperluan dapat dianggap sebagai campuran dari 21% oksigen dan 79% nitrogen. Karena oksigen tersebut diperoleh dari udara, sehingga reaksi pembakaran tersebut akan menghasilkan produk hasil pembakaran yang komposisinya tergantung dari kualitas pembakarannya. Persamaan reaksi pembakaran teoritis antara hidrokarbon dan udara dapat dinyatakan sebagai berikut:



Sebagai contoh persamaan kimia dari pembakaran stoikiometri dari metana (CH_4) dengan udara adalah:



Reaktan

Produk

Pada kenyataannya, pembakaran bahan bakar tersebut sulit didapatkan dengan keadaan yang sempurna sehingga pasti ada sebagian kecil bahan bakar yang tidak terbakar. Pada proses pembakaran, ada 4 syarat yang harus dipenuhi agar terjadi pembakaran yang sempurna, yaitu:

1. Penguapan yang efisien dari bahan bakar.
2. Digunakan cukup udara.
3. Harus terjadi campuran yang homogen antara bahan bakar dan udara.
4. Temperatur pembakaran harus cukup tinggi.

Apabila syarat-syarat diatas tidak terpenuhi, maka akan terjadi pembakaran yang tidak sempurna. Dengan pembakaran yang tidak sempurna akan dihasilkan oksida yang menimbulkan polusi udara dan menurunkan efisiensi serta akan merugikan secara ekonomis.

2.7.1 Pembakaran Pada Motor Bensin Empat Langkah

Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan kinerja mesin menjadi optimal, hal tersebut ditunjukkan dengan energi panas yang dihasilkan tinggi dan emisi gas buang seperti CO dalam jumlah sedikit. Oleh karena itu Proses pembakaran memegang peranan yang sangat penting dan proses pembakaran yang terjadi diusahakan mendekati sempurna. Pembakaran pada motor bensin merupakan jenis pembakaran *premixed*. Hal ini terjadi karena sebelum masuk ruang bakar, antara bahan bakar dan udara dicampur terlebih dahulu di dalam karburator, sehingga bahan bakar akan mengabut (membentuk *droplets*) dan mengalir ke ruang bakar melalui *intake manifold*

2.8 Gas buang

1. Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) adalah gas sedikit lebih ringan dari udara. Karbon monoksida dihasilkan dari oksidasi parsial karbon - mengandung senyawa, melainkan terbentuk ketika tidak ada cukup oksigen untuk menghasilkan karbon dioksida (CO₂), seperti saat mengoperasikan kompor atau mesin pembakaran internal dalam ruang tertutup. Dengan adanya oksigen, karbon monoksida membakar dengan nyala biru, menghasilkan karbon dioksida. Unsur gas karbon monoksida (CO) berpengaruh bagi kesehatan makhluk hidup perlu mendapat kajian khusus, karena karbonmonoksida yang hanya sebesar 0,3% saja dari hasil pembakaran bersifat racun bagi darah manusia pada saat pernafasan, sebagai akibat berkurangnya oksigen pada jaringan darah. Kadar karbon monoksida maksimal pada emisi gas buang yang diijinkan adalah 4%.

2. Hidrokarbon (HC)

Emisi hidrokarbon (HC) merupakan salah satu polutan yang keluar melalui saluran gas buang saat proses pembakaran kurang sempurna pada motor otto 4 langkah. Hidrokarbon (HC) naik dengan cepat ketika campuran menjadi kaya. Dan bila kualitas pembakaran menurun, misalnya dengan campuran sangat miskin, emisi HC dapat naik dengan cepat karena pembakaran tidak sempurna atau missfire dalam fraksi siklus operasi engine.

2.9 Biogas

Biogas merupakan produk dari proses fermentasi *anaerobik* yang merupakan proses perombakan suatu bahan menjadi bahan lain yang lebih sederhana dengan bantuan mikroorganisme tertentu dalam keadaan tidak berhubungan langsung dengan udara atau *anaerob*.

Menurut Price dan Paul (1981) Biogas mempunyai sifat mudah terbakar dengan warna nyala biru, tidak beracun dan memiliki nilai kalor cukup tinggi. Gas metana yang merupakan komponen gas yang paling dominan pada biogas memiliki sifat tidak berbau, tidak berwarna dan tidak berasa, adanya gas lain menyebabkan timbulnya bau. Komposisi biogas pada penelitian ini dapat dilihat pada lampiran 2

Pada kandungan biogas gas metana (CH_4) adalah gas dengan jumlah yang paling banyak, sedangkan gas-gas lainnya dalam porsi yang relatif sedikit kecuali karbondioksida (CO_2) yang lumayan besar jumlahnya. Dalam hal ini, bagian yang paling berguna dari biogas dalam kaitannya dengan energi adalah nilai kandungan kalor dari kandungan CH_4 .

Menurut Mitzlaff (1988), nilai kalor biogas aktual merupakan fungsi dari persentase CH_4 , temperatur dan tekanan absolut yang lainnya berbeda untuk setiap kasus. Nilai kalor biogas merupakan parameter vital untuk performa mesin, *burner*, atau aplikasi lainnya yang menggunakan biogas sebagai bahan bakar. Nilai kalor biogas dapat dihitung dengan persamaan :

$$LHV_{\text{biogas}} = \frac{V_{\text{CH}_4}}{V_{\text{total}}} \times LHV_{\text{CH}_4} \times \rho_{\text{CH}_4} \quad (\text{Mitzlaff, 1998:30}) \quad (2-1)$$

Dimana : LHV_{biogas} = nilai kalor biogas (kJ/kg)

LHV_{CH_4} = nilai kalor CH_4 (kJ/kg)

V_{CH_4} = volume CH_4 (m^3)

V_{total} = volume biogas (m^3)

ρ_{CH_4} = massa jenis CH_4 (kg/m^3)

Biogas termasuk jenis bahan bakar gas, menurut Soetiari (1986) bahan bakar gas mempunyai keuntungan bila digunakan dalam pembakaran seperti:

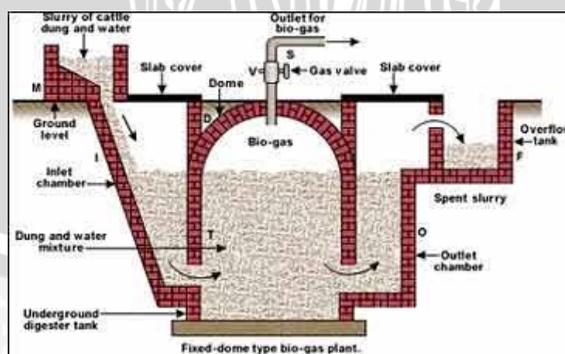
- a. Bebas dari abu, pada umumnya bebas dari kotoran-kotoran lain.

- b. Kondisi-kondisi pembakaran dapat diatur dengan mudah hingga diperoleh temperatur yang kira-kira diinginkan dengan menambah atau mengurangi udara yang masuk.
- c. Efisiensi tinggi, karena kelebihan udara yang digunakan biasanya sedikit karena udara dan bahan bakar langsung bercampur dan terbakar.
- d. Bahan bakar gas lebih mudah disalurkan dalam pipa-pipa (saluran).

Proses pembuatan biogas diperlukan suatu alat yang digunakan untuk menampung kotoran yang akan di gunakan untuk menghasilkan biogas, alat itu dinamakan digester. Ada 3 tipe digester yaitu Fixed dome plant, Floating drum plant Dan Plug-flow plan. Digester terdiri dari beberapa bagian yaitu:

- (1) bak penampung kotoran ternak,
- (2) digester,
- (3) bak slurry,
- (4) penampung gas,
- (5) pipa gas keluar,
- (6) pipa keluar slurry,
- (7) pipa masuk kotoran ternak.

Penelitian ini menggunakan digester tipe fixed dome plant. Pada fixed dome plant, digesternya tetap. Ketika gas mulai timbul, gas tersebut menekan slurry ke bak slurry, jika pasokan kotoran ternak terus menerus, gas yang timbul akan terus menekan slurry hingga meluap keluar dari bak slurry. Gas yang timbul digunakan lewat pipa gas yang diberi katup/kran.



Gambar 2.5 digester tipe fixed dome plant
Sumber : wikipedia.org/wiki/fixed dome plant

2.10 Proses Pembuatan Biogas

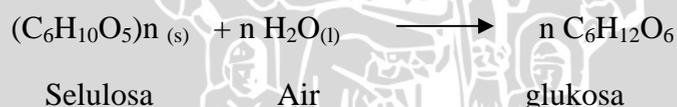
Pembuatan biogas dimulai dari kotoran sapi yang dicampur dengan air dan urine sapi diaduk jadi satu dalam tempat penampung kotoran, kemudian campuran antara kotoran sapi yang padat ditambah dengan urine dan air tadi dimasukkan kedalam digester melalui inlet. Di dalam digester biogas dihasilkan dari proses pembusukan bahan baku yang berupa kotoran yang telah di campur dengan urine dan air di dalam digester. Bahan baku kotoran sapi atau kerbau yang banyak mengandung selulosa akan lebih mudah dicerna oleh bakteri anaerob, bakteri anaerob merombak bahan organik menjadi biogas. Proses pembusukan bahan organik ini dilakukan oleh mikroorganisme dalam proses fermentasi, proses kerja dari bakteri ini terdiri dari 3 tahap yaitu:

a. Tahap Hidrolisis

Tahap hidrolisis adalah penguraian senyawa kompleks atau senyawa rantai panjang seperti lemak, protein, karbohidrat, menjadi senyawa yang sederhana .

Terjadi pelarutan bahan – bahan organik mudah larut dan pencernaan bahan organik yang kompleks menjadi sederhana perubahan struktur bentuk primer menjadi bentuk monomer.

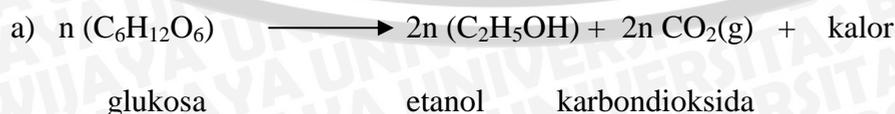
Reaksi pada tahap hidrolisis :



b. Tahap Pengasaman

Komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan menjadi bahan makanan bagi bakteri pembentuk asam.

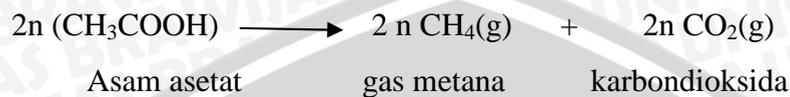
Produk akhir dari gula – gula sederhana pada tahap ini akan dihasilkan asam asetat, propionat, format, laktat, alkohol, dan sedikit butirrat, gas karbondioksida hidrogen amoniak.



c. Tahap Metanogenik

Tahap metanogenik adalah proses pembentukan gas metana, pada tahap ini bakteri metana membentuk gas metana secara perlahan secara anaerob. Proses ini berlangsung selama 7-10 hari didalam digester dengan suhu minimal 25°C

Reaksi

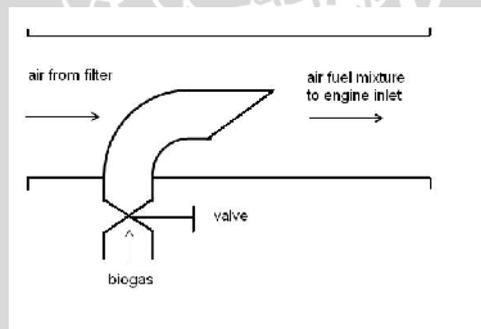


2.11 Modifikasi Motor Bensin 4 Langkah Dengan Bahan Bakar Biogas

Menurut Mitzlaff (1988: 64) agar dapat beroperasi dengan bahan bakar biogas, perlu dilakukan modifikasi pada motor bensin empat langkah. Modifikasinya adalah dengan menambahkan alat-alat sebagai berikut:

1. Penggunaan *mixer*

Modifikasi dasar yang diperlukan agar motor bensin dapat beroperasi dengan bahan bakar gas adalah dengan penggunaan mixer sebagai pengganti karburator yang berfungsi sebagai tempat pencampuran bahan bakar gas dan udara. Pengendalian mesin dilakukan dengan memvariasikan pasokan campuran bahan bakar dengan udara. Gambar berikut contoh tampilan mixer sederhana.



Gambar 2.6 *T-joint mixer*

2. Perubahan Waktu Pengapian

Karena kecepatan pembakaran biogas yang lebih lambat jika dibandingkan dengan bensin, maka waktu pengapian perlu diatur untuk mendapatkan hasil yang optimal. Pada penelitian ini menggunakan sudut pengapian 39°

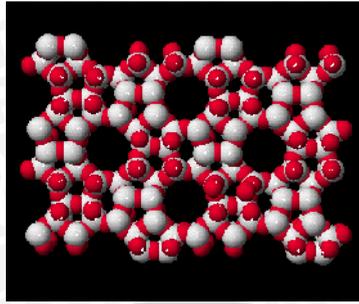
2.12 Adsorpsi

Proses adsorpsi adalah proses pemisahan, dimana kandungan tertentu dari suatu fase fluida berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap (*adsorben*). Hal ini disebabkan karena partikel zat padat tersebut mempunyai daya tarik terhadap zat-zat terlarut maupun pada zat pelarutnya yang sangat bergantung pada kekuatan tipe interaksi yaitu ion-dipol, interaksi dipol-dipol dan ikatan van der Waals. Sehingga apabila larutan mengalir melalui permukaan yang aktif maka proses adsorpsi dan desorpsi dapat terjadi. Proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai proses dimana molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan adsorben akibat interaksi kimia atau fisika (McCabe et al, 1989), adsorben yang sering digunakan adalah zeolit, silica gel, dan karbon aktif.

2.13 Zeolit

Zeolit didefinisikan sebagai kristal alumina silika yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi yang terbentuk dari tetrahedral silika dan alumina dengan rongga-rongga tiga dimensi yang didalamnya terisi ion-ion logam penyeimbang muatan kerangka zeolit dan molekul air yang dapat bergerak bebas. Kandungan air yang terperangkap dalam rongga zeolit biasanya berkisar 10-50 %. Bila terhidrasi kation-kation yang berada dalam rongga tersebut akan terselubungi molekul air, molekul air ini sifatnya labil atau mudah terlepas. Sifat umum zeolit antara lain mempunyai susunan kristal yang agak lunak, berat jenis 2-2,4, berwarna kebiruan-kehijauan, putih dan coklat (Eddy H. R., 2007).

Volume ruang hampa dalam struktur zeolit cukup besar kadang-kadang mencapai 50\AA , sedangkan garis tengah ruang hampa tersebut bermacam-macam, berkisar antara 2\AA hingga lebih dari 8\AA , tergantung dari jenis mineral zeolit yang bersangkutan dalam pemanfaatan zeolit sebagai material penyerap memiliki kelemahan yang disebabkan oleh rendahnya tekanan biogas. Zeolit harus berukuran kerikil (5-10 mesh) agar dapat dilewati biogas. Jika zeolit berbentuk serbuk, biogas tidak akan mampu melewatinya dan kontak material penyerap dengan gas tidak optimal walaupun luas permukaan kontak zeolit lebih luas (wahono 2008).



Gambar 2.7 Struktur zeolit dalam 3 dimensi

Sumber: http://www.chem-is-try.org/artikel_kimia/fakta-tentang-zeolit

Secara umum rumus kimia zeolit dituliskan sebagai berikut :



$M_{x/n}$ = kation bervalensi n yang berada di luar kerangka zeolit

{ } = kerangka zeolit aluminasilika

ZH_2O = air kristal di luar kerangka zeolit.

Zeolit terdiri dari 3 komponen yaitu kation yang dipertukarkan, kerangka aluminosilikat dan fase air. Ikatan ion Al–Si–O membentuk struktur kristal sedangkan logam alkali merupakan sumber kation yang mudah dipertukarkan.

Karena dalam struktur zeolit muatan ion Al^{3+} lebih kecil daripada Si^{4+} maka ion Al^{3+} cenderung bersifat negatif dan mengikat kation alkali atau alkali tanah untuk dinetralkan muatannya. Kation alkali atau alkali tanah dalam zeolit inilah yang selanjutnya dimanfaatkan dalam proses ion exchange (Sutarti dan Rachmawati, 1994)



Gambar 2.8 batu zeolit

Sumber: http://www.malangkab.go.id/batu_zeolit

2.13.1 Sifat Sifat Zeolit

1. Penyerap

Dalam suatu proses penyerapan pada suatu larutan maupun gas terjadi dalam 2 bentuk yaitu fisika dan kimia. Penyerapan secara fisika terjadi karena perbedaan energi atau gaya tarik menarik (gaya Vander waals). Penyerapan ini bersifat reversible, yang berarti atom-atom atau ion-ion yang terikat dapat dilepaskan kembali dengan bantuan pelarut tertentu yang sesuai dengan sifat atom atau ion yang diikat

Penyerapan adalah proses ikatan suatu molekul atau unsur pada permukaan unsur lain. Penggunaan zeolit sebagai bahan penyerap karena :

- Zeolit bersifat selektif dan mempunyai kapasitas tukar kation cukup tinggi.
- Zeolit dapat memisahkan molekul-molekul berdasarkan ukuran dan bentuk struktur kristal zeolit.

Keuntungan lain dari penggunaan mineral zeolit sebagai bahan penyaring adalah pemilahan molekul zat yang terserap, disamping penyerapan berdasarkan ukuran garis tengah molekul ruang hampa, apabila ada dua molekul atau lebih yang dapat melintas , tetapi karena adanya pengaruh kutub atau hubungan antara molekul zeolit itu sendiri dengan molekul yang diserap, maka hanya sebuah saja yang diloloskan, sedang yang lain ditolak. Molekul yang berkutub lebih atau tidak jenuh akan lebih diterima daripada yang jenuh. Dalam proses pemurnian biogas CO_2 yang memiliki panjang ikatan 116 pm lebih panjang daripada CH_4 108 pm akan lebih mudah diikat oleh zeolit. Setelah terjadi penyerapan akan di aktivasi lagi agar zeolit dapat digunakan lagi. Aktivasi dilakukan untuk membersihkan pori pori zeolit dari CO_2 yang menempel di permukaan zeolit, dimana pada penelitian ini menggunakan larutan NaOH dalam mengaktivasi.

2. Penukar Kation

Kation-kation dalam zeolit dapat dipertukarkan dengan kation lain dalam suatu larutan. Hal ini disebabkan oleh ion-ion dalam pori-pori kristal zeolit selalu memelihara kenetralan muatan listriknya. Selain itu juga disebabkan ion-ion tersebut yang dapat bergerak bebas. Kapasitas pertukaran kation tergantung kepada ukuran, muatan ion, dan jenis zeolit. Selain sebagai penukar kation, zeolit juga dapat berfungsi sebagai gugus hidroksil (OH) yang pada zeolit memegang peranan penting.

2.13.3 Aktivasi Zeolit

Agar dapat dimanfaatkan zeolit harus mempunyai spesifikasi tertentu, dan berkaitan dengan hal tersebut kualifikasi zeolit ditentukan oleh daya serap, daya tukaran (KTK), maupun daya katalis. Oleh sebab itu, untuk memperoleh zeolit dengan kemampuan tinggi diperlukan beberapa pengolahan, yaitu:

1. Aktivasi. Proses ini bertujuan meningkatkan sifat-sifat khusus zeolit dengan cara menghilangkan unsur-unsur pengotor (*impurities*) dan menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori zeolit. Ada 2 cara yang umum digunakan dalam proses aktivasi zeolit, yaitu aktivasi secara fisik dan secara kimia. Aktivasi secara fisik dilakukan dengan cara pemanasan pada suhu 200-400 °C selama 2-3 jam untuk menghilangkan molekul-molekul air yang terperangkap di dalam pori-pori kristal zeolit. Aktivasi secara kimia melalui proses destruksi dengan menggunakan pereaksi asam kuat maupun basa kuat untuk menghilangkan zat-zat pengotor berupa logam-logam alkali dan alkali tanah serta beberapa jenis logam lainnya yang terdapat di dalam kerangka zeolit (Nurhadi.M, 2005). Zat pengotor yang sering terdapat pada zeolit adalah SiO₂ sebesar 60 -70 %, dimana SiO₂ hanya dapat dibersihkan oleh senyawa NaOH, reaksi kimi yang terjadi antara SiO₂ dengan NaOH adalah sebagai berikut

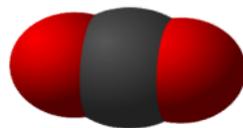


2. Modifikasi. Proses modifikasi dimaksudkan untuk mengubah sifat permukaan zeolit alam, dengan cara melapiskan polimer organik (sintesis dan alamiah) pada zeolit tersebut.

2.14 Karbon dioksida

Karbondioksida (rumus kimia: CO₂) atau zat asam arang adalah sejenis senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah atom karbon. Ia berbentuk gas pada keadaan temperatur dan tekanan standar dan hadir di atmosfer bumi. Karakteristik dari CO₂. Gas Karbon dioksida dalam biogas perlu dihilangkan karena gas tersebut dapat mengurangi nilai kalor pembakaran biogas.

Selain itu, kandungan gas karbon dioksida (CO₂) dalam biogas cukup besar yaitu sekitar 30 – 45 % sehingga nilai kalor pembakaran biogas akan berkurang cukup besar.

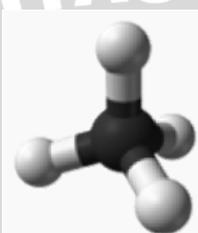


Gambar 2.9 Karbon dioksida dalam 3D
Sumber: wikipedia.org/wiki/Karbon_dioksida

2.15 Metana

Hidrokarbon paling sederhana yang berbentuk gas dengan rumus kimia CH_4 . Metana murni tidak berbau, tapi jika digunakan untuk keperluan komersial, biasanya ditambahkan sedikit bau belerang untuk mendeteksi kebocoran yang mungkin terjadi.

Sebagai komponen utama gas alam, metana adalah sumber bahan bakar utama. Pembakaran satu molekul metana dengan oksigen akan melepaskan satu molekul CO_2 (karbondioksida) dan dua molekul H_2O (air):



Gambar 2.10 Metana dalam 3D
Sumber: wikipedia.org/wiki/hidrogen_sulfida

2.16 Hipotesis

Semakin besar volume zeolit di dalam purifier maka luas kontak pada zeolit bertambah serta pori pori zeolit semakin banyak, sehingga kemampuan zeolit dalam memurnikan biogas meningkat dalam menyerap kandungan gas yang menurunkan nilai kalor pembakaran (CO_2), biogas yang termurnikan semakin banyak panas hasil pembakaran juga meningkat, kenaikan panas hasil pembakaran meningkatkan kinerja motor bensin berbahan bakar biogas.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*) yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk memperoleh data sebab akibat melalui eksperimen guna mendapatkan data empiris. Dalam hal ini obyek penelitian yang diamati adalah pengaruh variasi volume zeolit di dalam purifier terhadap kinerja motor bensin berbahan bakar biogas

3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di Pondok Pesantren Nurul Haromain Pujon – Kab. Malang, pada bulan Juli - selesai

3.3 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1) Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan nilainya dapat diubah-ubah untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari obyek penelitian. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah:

- Volume zeolit di dalam purifier 480 cm³, 800 cm³, 1500 cm³
- putaran mesin: 5500, 5700, 5900, 6100, 6300, dan 6500 rpm

Putaran yang digunakan pada penelitian ini adalah 5500rpm - 6500 rpm, hal ini dimaksudkan agar lebih mudah untuk membandingkan kinerja motor bensin empat langkah berbahan bakar biogas dengan bahan bakar bensin, karena pada saat putaran tinggi, kinerja motor bensin mengalami perubahan yang ekstrim jika dibandingkan dengan putaran rendah. Selain itu pada penelitian ini pengambilan putaran dilakukan dari putaran tinggi ke putaran rendah, dimana putaran tertinggi mencapai 11000 rpm dan dilakukan pengereman hingga putaran yang ditentukan

2) Variable Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat yang diamati pada penelitian ini adalah:

- Torsi (T).
- Daya efektif (Ne).
- Efisiensi termal efektif (η_e).
- Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe).

3) Variabel Terkontrol (*Controlled Variable*)

- Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan peneliti dan dikondisikan konstan. Dalam penelitian ini variabel terkontrolnya adalah

- Buka *throttle* 100 %
- bentuk zeolit tidak beraturan (*granular*)

3.4 Peralatan Penelitian

3.4.1 Peralatan Utama

- Motor Honda Karisma 125 cc, dengan spesifikasi:

Merk	: Honda Karisma
Tahun	: 2003
Tipe Mesin	: 4 langkah, SOHC, pendinginan udara
Diameter x langkah	: 52,4 x 57,9 mm
Volume Langkah Torak	: 124,9 cc
Perbandingan Kompresi	: 9,0 : 1
Kapasitas minyak	: 0,8 liter pada pergantian periodik pelumas .
Kopling	: Ganda, otomatis, sentrifugal, tipe basah.
Gigi transmisi	: 4 Kecepatan, <i>rotary</i> .



Gambar 3.1 Honda Karisma 125 cc.

- *Programmable* CDI, digunakan untuk mengubah waktu pengapian dengan spesifikasi:

Merk : Bintang Racing Team.

Tipe : I-MAX *Smart Click*.

Variasi waktu pengapian : 27° – 42°

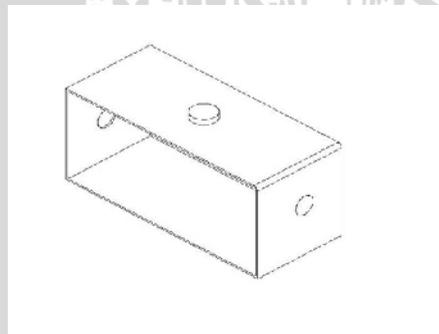
- *Mixer*

Berfungsi untuk mencampur bahan bakar gas dengan udara sebelum masuk ruang bakar.

- Plastik Penampung Gas

Berfungsi sebagai tempat penampungan gas keluaran dari digester biogas.

- *Purifier*



gambar 3.2 purifier

Berfungsi sebagai pemurni biogas yang akan masuk kedlam ruang bakar

Dengan ukuran ukuran sebagai berikut

Volume 480:	p = 10 cm	volume 800	p = 10 cm	volume 1500	p = 15 cm
	t = 6 cm		t = 8 cm		t = 10 cm
	l = 8 cm		l = 10 cm		l = 10 cm



3.4.2 Peralatan Bantu

- *Dynamometer Prony Brake*

Digunakan untuk mengukur torsi mesin.



Gambar 3.3 *Dynamometer Prony Brake*.

- *Tachometer*

Digunakan untuk mengukur putaran mesin.



Gambar 3.4 *Tachometer*.

- *Shutoff Valve*

Digunakan untuk membuka atau menutup aliran gas.

- *Katup Gas*

Digunakan untuk mengatur kapasitas bahan bakar gas yang akan digunakan.

- *Selang Bahan Bakar dan Fiting*.

Digunakan untuk menyalurkan bahan bakar gas.

- *Orifice*

Digunakan untuk mendeteksi beda tekanan gas yang mengalir melalui saluran.

- *Manometer*



Gambar 3.5 *Orifice*

Digunakan untuk mengukur beda tekanan biogas yang mengalir melalui *orifice*.

- Peralatan Operasional Bengkel

Digunakan untuk merubah kondisi mesin.

- *Hygrometer*

Digunakan untuk mengukur kelembaban relatif.



Gambar 3.6 *Hygrometer*.

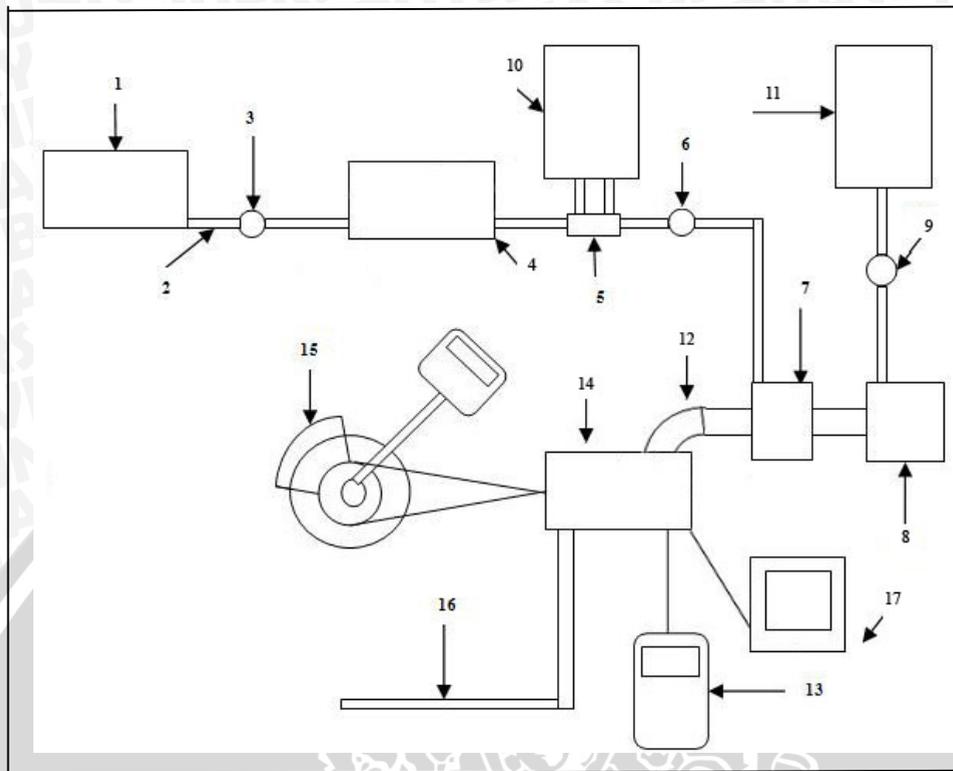
- Barometer

Digunakan untuk mengukur tekanan udara ruangan.



Gambar 3.7 Barometer.

3.5 Diagram Skematik Instalasi Penelitian



Gambar 3.8 Diagram Skematik Instalasi penelitian

Keterangan:

- | | |
|-----------------------|-----------------------------|
| 1. Penampung gas | 9 katup bahan bakar |
| 2. Selang bahan bakar | 10. Manometer U |
| 3. Shut-off valve | 11. Tang bahan bakar |
| 4. purifier | 12. Intake manifold |
| 5. Orifice | 13. tachometer |
| 6. Katup gas | 14. Ruang bakar |
| 7. Mixer | 15. Dinamometer prony brake |
| 8. karburator | 16. knalpot |
| | 17. cdi programmable |

3.6 Prosedur Pengujian

Pengujian yang digunakan untuk mengetahui kinerja motor bensin berbahan bakar biogas pada penelitian ini adalah dengan tahapan sebagai berikut :

A. Persiapan zeolit yang akan di gunakan:

- Zeolit yang berbentuk batuan di *crushing*
- Kemudian di ayak agar memperoleh ukuran zeolit 1 cm

B. aktivasi zeolit yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja zeolit dengan cara sebagai berikut:

- Batu zeolit dalam bentuk kerikal dengan massa 1500 gr dan ukuran 1 cm direndam dalam larutan NaOH 1 M
- Didiamkan 6-7 jam
- Zeolit yang sudah direndam dengan NaOH dibersihkan dengan aquades
- Dikeringkan di dalam dapur listrik pada suhu 200°C selama 2-3 jam

C. Persiapan peralatan dan bahan pengujian :

- batu zeolit yang telah di aktivasi dimasukkan dalam purifier
- Menghidupkan mesin dengan *start up* menggunakan bahan bakar bensin.
- Menutup katup bahan bakar bensin dan biarkan selama kurang lebih 2 menit setelah itu buka katup biogas dan biarkan mesin berjalan 3 menit sampai diperkirakan kondisi putaran mesin telah stabil.

D. Proses pengambilan data dengan tahap – tahap sebagai berikut:

- Tahap pertama, pengambilan data dilakukan pada peralatan utama yang telah dilengkapi dengan peralatan bantu tanpa zeolit pada *purifier*. Pengambilan data dilakukan pada putaran 6500, 6300, 6100, 5900, 5700, dan 5500 rpm. Untuk memperoleh data yang lebih teliti dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali.

E. Tahap kedua, pengambilan data dilakukan dengan prosedur dan kondisi mesin yang sama seperti pada pengujian pada tahap pertama akan tetapi dengan purifier yang berisi zeolit dengan volume zeolit di dalam purifier yang berbeda. Data – data yang dicatat dalam pengujian adalah:

- Putaran poros (rpm)
- Besar torsi (Kg m)
- Besar perbedaan head pada manometer U

3.7 Rancangan Penelitian

Model rancangan penelitian dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui hubungan pengaruh variasi volume zeolit di dalam purifier terhadap kinerja motor bensin berbahan bakar biogas, agar data yang diperoleh dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi.

3.7.1 Rancangan Data Penelitian

Pengujian = Variasi Putaran

Bukaan throttle = 100%

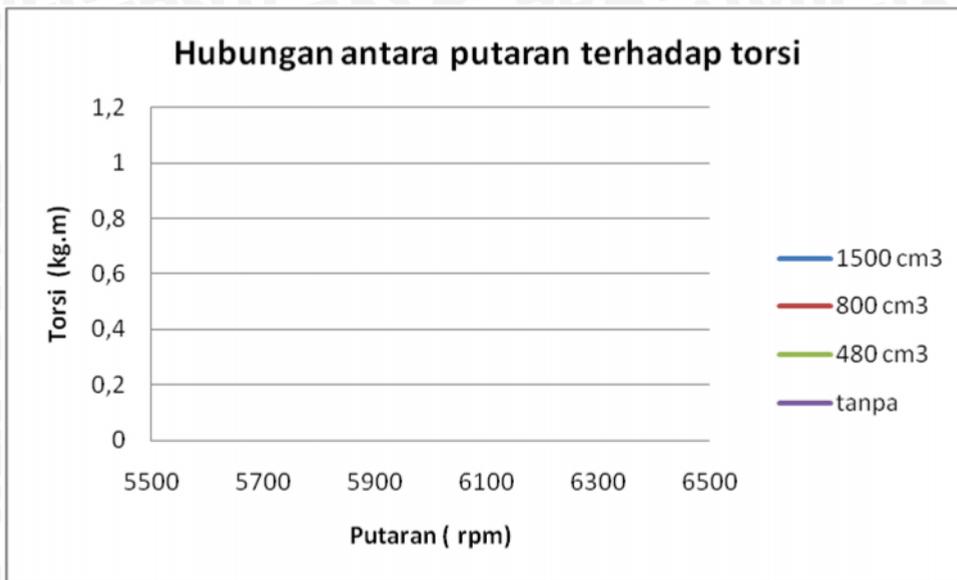
Kelembaban relatif = %

Suhu Lingkungan = °C

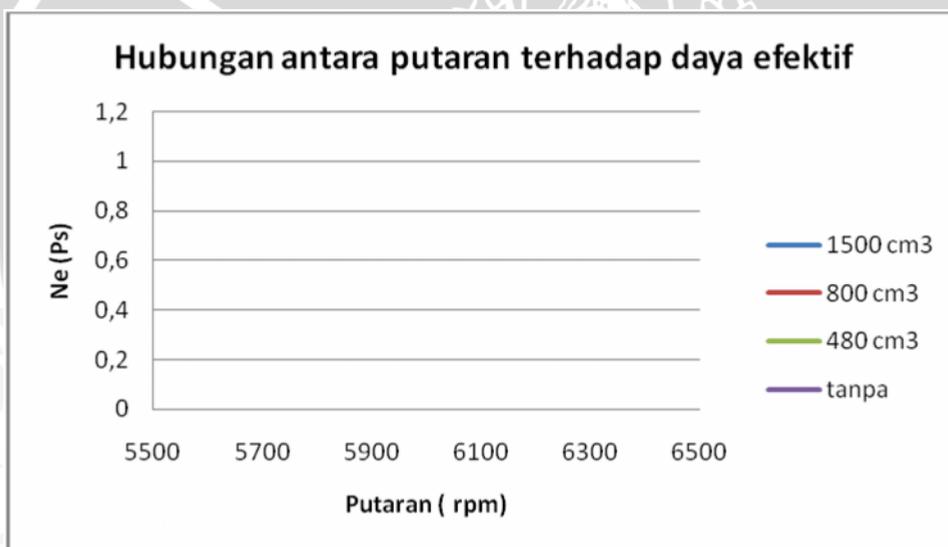
Tekanan Lingkungan = Pa

Tabel 3.1 Rancangan data penelitian yang diperoleh

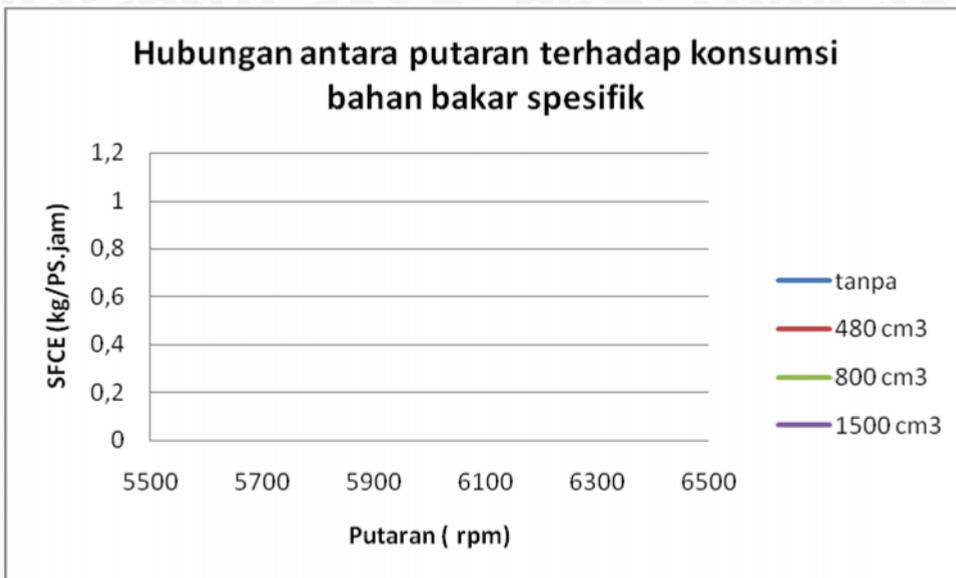
No	Putaran (rpm)	Tanpa zeolit		480 cm ³		800 cm ³		1500 cm ³	
		T (kg m)	Δh (mmHg)	T (kg m)	Δh (mmHg)	T (kg m)	Δh (mmHg)	T (kg m)	Δh (mmHg)
1	5500								
2	5700								
3	5900								
4	6100								
5	6300								
6	6500								



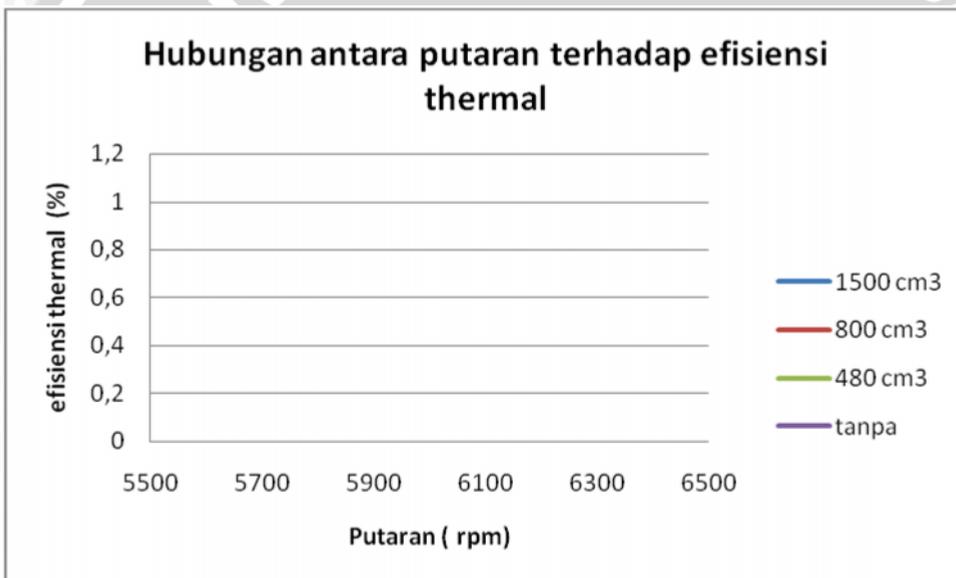
Gambar 3.9 Hubungan antara putaran terhadap torsi



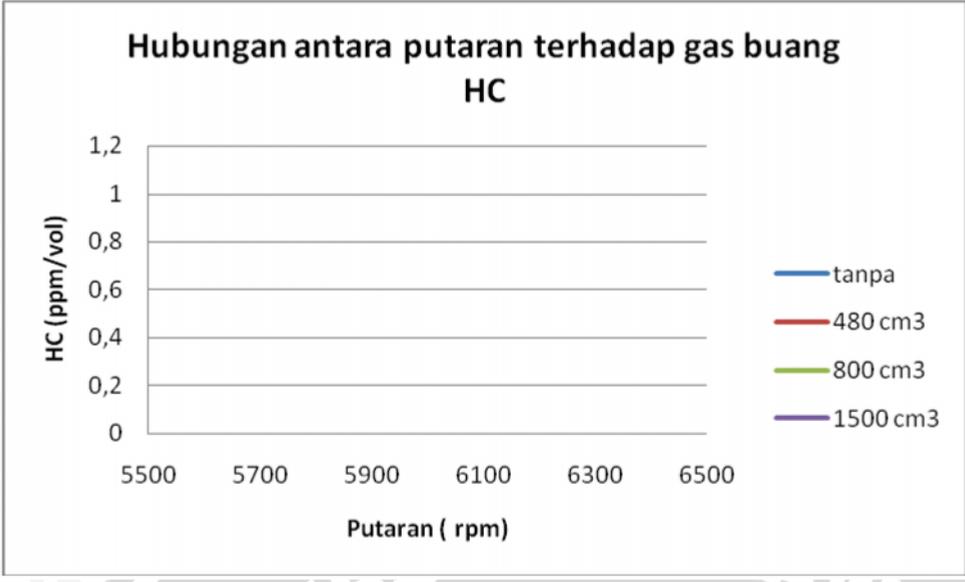
Gambar 3.10 Hubungan antara putaran terhadap daya efektif



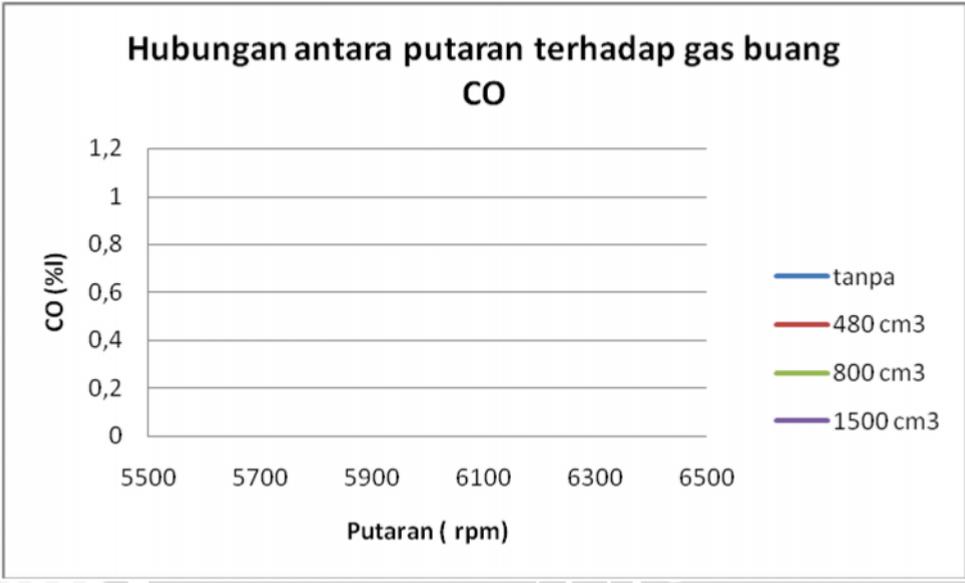
Gambar 3.11 Grafik Hubungan antara putaran terhadap konsumsi bahan bakar spesifik



Gambar 3.12 grafik hubungan antara putaran terhadap efisiensi thermal



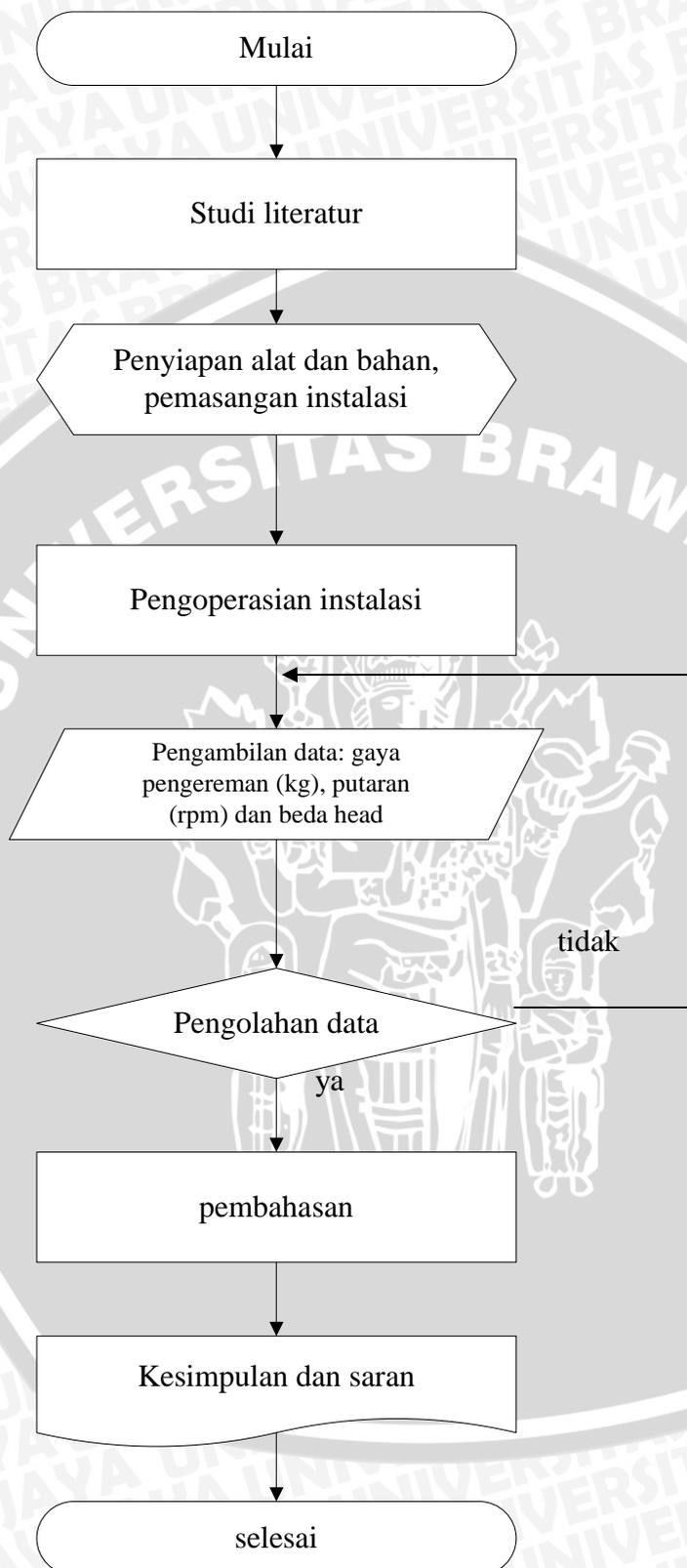
Gambar 3.13 Grafik hubungan antara putaran terhadap gas buang HC



Gambar 3.14 Grafik hubungan antara putaran terhadap gas buang CO



3.8 Diagram alir penelitian



Gambar 3.15 Diagram Alir Penelitian.



BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Data yang diperoleh selama pengujian adalah sebagai berikut:

1. Pengujian : Variasi Putaran
2. Buka *throttle* : 100 %
3. LHV bahan bakar : 7731,79 kcal/kg

Untuk data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.1; tabel 4.2; tabel 4.3 dan tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data hasil pengujian kondisi tanpa *zeolit*

No	Putaran (Rpm)	Torsi (Kg.m)	h (mm)	CO (%)	HC (ppm.vol)
1	5500	6	18	1,358	116
		6,5	18	1,358	116
		7	20,5	1,358	116
2	5700	6	20	1,776	140
		6	19	1,776	140
		6	19	1,776	140
3	5900	5	18	2,519	176
		6	18	2,519	176
		6	19	2,519	176
4	6100	5	21	2,565	180
		6	19	2,565	180
		5,5	19	2,565	180
5	6300	4	20	2,943	208
		4,5	19,5	2,943	208
		5	20	2,943	208
6	6500	4	23	4,421	227
		4	24	4,421	227
		4	24	4,421	227

Tabel 4.2 Data hasil pengujian dengan volume purifier 480 cm³

No	Putaran (Rpm)	Torsi (Kg.m)	h (mm)	CO (%)	HC (ppm.vol)
1	5500	7	19	0,505	113
		7	18	0,505	113
		8	18	0,505	113
2	5700	6	20	0,599	136
		6,5	21	0,599	136
		8	20	0,599	136
3	5900	7	18	1,316	162
		6	18	1316	162
		6	18	1,316	162
4	6100	6	18	1,619	167
		6	19	1,619	167
		6	22	1,619	167
5	6300	5	21	1,974	184
		5,5	21	1,974	184
		6	21	1,974	184
6	6500	4	23	3,324	200
		4	23	3,324	200
		5	23	3,324	200

Tabel 4.3 Data hasil pengujian dengan volume purifier 800 cm³

No	Putaran (Rpm)	Torsi (Kg.m)	h (mm)	CO (%)	HC (ppm.vol)
1	5500	7	16	0,112	108
		8,5	16	0,112	108
		8	16	0,112	108
2	5700	7	17	0,504	126
		7	17	0,504	126
		8	18	0,504	126
3	5900	7	16	0,848	156
		7	16	0,848	156
		7	18	0,848	156
4	6100	6	19	0,834	148
		6	19	0,834	148
		7	20	0,834	148
5	6300	6	19	1,404	172
		6	20	1,404	172
		6	20	1,404	172
6	6500	4	23	2,983	200
		4,5	23	2,983	200
		6	22	2,983	200

Tabel 4.4 Data hasil pengujian dengan volume purifier 1500 cm³

No	Putaran (Rpm)	Torsi (Kg.m)	h (mm)	CO (%)	HC (ppm.vol)
1	5500	8	15	0,156	95
		8,5	15	0,156	95
		9	15	0,156	95
2	5700	8	16	0,419	118
		8	16	0,419	118
		8	16	0,419	118
3	5900	8	15	0,444	120
		8	16	0,444	120
		7	16,5	0,444	120
4	6100	7	17	0,617	125
		7	17	0,617	125
		7	18	0,617	125
5	6300	6,5	18	0,832	152
		7	19	0,832	152
		6	19	0,832	152
6	6500	5,5	23	2,448	165
		5	23	2,448	165
		6	23	2,448	165

4.2 Perhitungan Data

Dari data hasil pengujian dapat dilakukan pengolahan data. Sebagai contoh perhitungan diambil data dari pengujian dengan kondisi standar berbahan biogas tanpa menggunakan *purifier* terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif dan efisiensi termal efektif pada motor bensin. Adapun data yang diambil adalah sebagai berikut:

1. Putaran mesin (n) = 5700 rpm
2. Torsi (T) = 6 kg.m
3. Faktor reduksi (i) = 20,33
4. Beda ketinggian manometer (h) = 19,33 mm
5. Diameter Orifice (D1) = 0,009 m
6. Diameter pelat orifice (Dt) = 0,003 m
7. Koefisien discharge (C) = 0,4
8. Massa jenis biogas = 1,065 Kg/m³
9. Massa jenis air raksa = 13600 kg/m³
10. Nilai kalor biogas = 7731,79 kcal/Kg
11. Menghitung Massa Jenis Biogas

Diketahui:

Komposisi biogas,

$$\text{CH}_4 = 65 \% \text{ vol}$$

$$\text{CO}_2 = 33\% \text{ vol}$$

Zat lain

$$V = 0,0224 \text{ m}^3$$

$$P = 1,0135 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T = 23^\circ\text{C}$$

$$R_{\text{CH}_4} = 519,6 \text{ N.m/kg K}$$

$$R_{\text{CO}_2} = 188,2 \text{ N.m/kg K}$$

Dari persamaan gas ideal:

$$PV = mRT$$

$$V_{\text{CH}_4} = 0,65 \times 0,0224 = 0,01458 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{CH}_4} = \frac{PV}{RT} = \frac{1,0135 \times 10^5 \times 0,01458}{519,6 \times 296}$$

$$= 0,00961 \text{ kg}$$

$$V_{\text{CO}_2} = 0,33 \times 0,0224 = 0,00785 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{PV}{RT} = \frac{1,0135 \times 10^5 \times 0,00785}{188,2 \times 296}$$

$$= 0,01428 \text{ kg}$$

$$m_{\text{total}} = m_{\text{CH}_4} + m_{\text{CO}_2}$$

$$= 0,0238 \text{ kg}$$

Maka, besar massa jenis biogas adalah :

$$\rho_{\text{biogas}} = m_{\text{total}} / V_{\text{total}}$$

$$\underline{= 1,065 \text{ kg/m}^3}$$

12. Menghitung LHV biogas

Diketahui :

$$\begin{aligned}\rho_{\text{CH}_4} &= m_{\text{CH}_4} / V_{\text{CH}_4} = 0,00961 / 0,01458 \\ &= 0,65896 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\text{LHV}_{\text{CH}_4} = 49770 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned}\text{LHV}_{\text{biogas}} &= \frac{V_{\text{CH}_4}}{V_{\text{total}}} \times \text{LHV}_{\text{CH}_4} \times \rho_{\text{CH}_4} \\ &= 0,65 \times 49770 \times 0,65896 \\ &= 21317,87 \text{ kJ/m}^3 \\ &= 21317,87 \times 1,5175 \times 0,239 \\ &= 7731,7965 \text{ kkal/kg}\end{aligned}$$

Dari hasil data pengujian kondisi standar tanpa *purifier* pada putaran 5700 rpm, didapatkan nilai dari:

1. Torsi (T)

$$\begin{aligned}T &= \frac{6}{20,33} \\ &= 0,2951 \text{ (kg.m)}\end{aligned}$$

2. Daya Efektif (Ne)

$$\begin{aligned}Ne &= \frac{T \cdot n}{716,2} \\ Ne &= \frac{0,3197 \times 5700}{716,2} \\ &= 2,4553 \text{ HP}\end{aligned}$$

3. Konsumsi bahan bakar spesifik (SFCe)

$$\text{FC} = \frac{C \times At}{1 - \sqrt{1 - \beta^2}} \sqrt{2\rho(\Delta P)} \cdot 3600$$

$$= \frac{0,4 \times 0,25 \times 3,14 \times 0,003^2}{\sqrt{1-0,3^4}} \sqrt{2 \times 1,065 \left(13600 \times 9,81 \times \frac{19,33}{1000} \right)} \cdot 3600 \text{ (kg/jam)}$$

$$= 0,7952 \text{ Kg/jam}$$

$$SFC_e = \frac{FC}{Ne}$$

$$= \frac{0,7952}{2,4553}$$

$$= 0,3239 \text{ (kg/HP.jam)}$$

4. Efisiensi Termal efektif (η_e)

$$\eta_e = \frac{632}{SFC_e \cdot LHV}$$

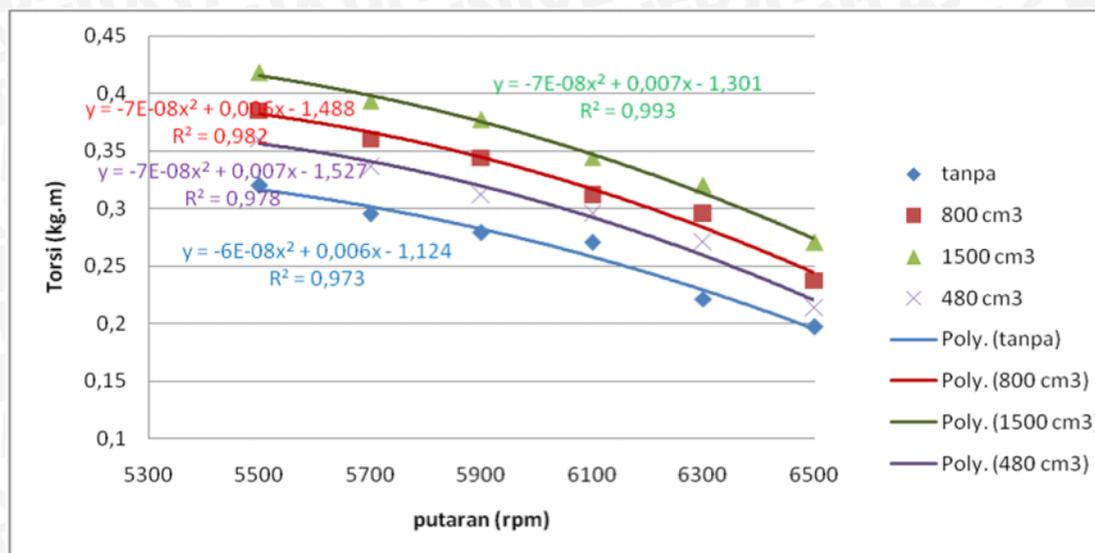
$$\eta_e = \frac{632}{0,3239 \times 7731,77} \times 100\%$$

$$\eta_e = 25,2\%$$

4.3 Pembahasan

4.3.1. Hubungan antara Putaran dengan Torsi

Grafik hubungan antara putaran mesin bensin empat langkah dengan torsi terhadap berbagai perlakuan dengan pemasangan variasi variasi volume purifier dan tanpa perlakuan dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara Putaran dengan Torsi

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa grafik cenderung menurun, penurunan nilai torsi terjadi hingga putaran 6500 rpm . semakin meningkatnya putaran, beban pengereman yang diberikan semakin kecil sehingga torsi yang dihasilkan akan semakin kecil. Torsi berbanding lurus dengan gaya pengereman (F), sesuai dengan persamaan (2-1)

Selain sesuai dengan persamaan (2-1), penyebab turunnya torsi adalah karena pada putaran yang semakin tinggi gesekan antara torak dan dinding silinder semakin banyak pula yang menyebabkan kerugian mekanis akibat gesekan semakin besar. Semakin tinggi putaran, gerakan buka tutup katup hisap pada langkah hisap juga semakin cepat, hal ini menyebabkan massa udara yang masuk ke dalam ruang silinder semakin kecil, tekanan akhir kompresi dan tekanan gas hasil pembakaran bahan bakar akan menjadi kecil yang menyebabkan gaya dorong pada torak menjadi kecil juga sehingga torsi yang dihasilkan akan menjadi kecil.

Pada grafik dapat terlihat jelas, bahwa untuk grafik dengan pemasangan variasi volume zeolit di dalam purifier jika dibandingkan dengan tanpa perlakuan terlihat untuk grafik dengan perlakuan berada di atas grafik tanpa perlakuan. Dimana untuk variasi volume purifier semakin besar, dalam hal ini volume 1500 cm³ berada di paling atas dibandingkan dengan perlakuan yang lain dan tanpa perlakuan hal itu terjadi karena semakin besar volumenya maka pori yang terbentuk semakin banyak dan kontak antara zeolit dengan

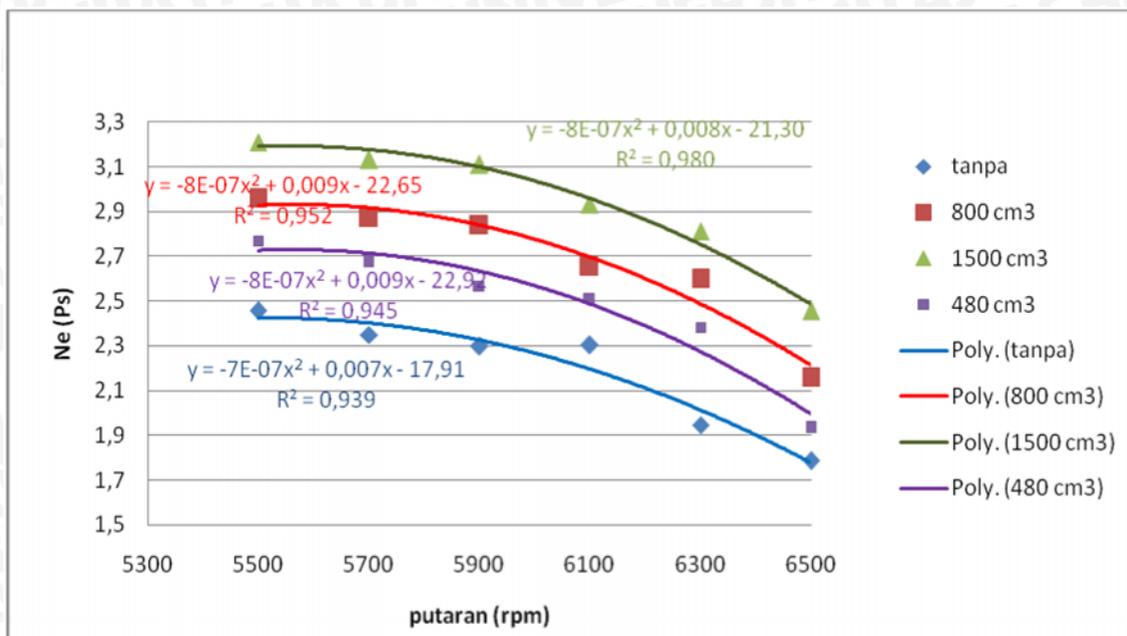
biogas semakin besar sehingga CO_2 yang terserap banyak dan CH_4 yang dihasilkan meningkat. Peningkatan nilai kalor biogas akan meningkatkan panas hasil pembakaran antara bahan bakar dan udara yang akan menyebabkan kenaikan daya dorong pada torak sehingga torsi akan semakin besar.

Torsi yang optimal dihasilkan oleh motor bensin empat langkah berbahan bakar biogas dengan variasi volume zeolit didalam purifier 1500 cm^3 didapatkan nilai paling besar pada putaran 5500 rpm sebesar 0,418 kg.m dimana untuk tanpa perlakuan didapatkan torsi paling optimal sebesar 0,319 kg.m, untuk volume 480 cm^3 sebesar 0,360 kg.m, dan volume 800 cm^3 sebesar 0,385 kg.m

Jika dibandingkan antara torsi pada motor bensin berbahan bakar biogas dengan motor bensin berbahan bakar bensin terlihat bahwa torsi pada motor bensin berbahan bakar biogas lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar bensin, banyak penyebab yang mengakibatkan torsi pada motor biogas lebih rendah dari bensin salah satunya adalah nilai kalor, dimana nilai kalor bensin lebih besar daripada biogas sehingga pada saat pembakaran, tekanan yang dihasilkan bensin lebih besar dimana tekanan yang dihasilkan dari proses pembakaran akan mendorong torak ke bawah dan oleh poros engkol diubah menjadi gerak putar

4.3.2 Hubungan antara Putaran dengan Daya Efektif (Ne)

Grafik hubungan antara putaran dengan daya efektif yang dihasilkan oleh motor bensin empat langkah berbahan bakar biogas tanpa perlakuan dengan berbagai perlakuan variasi volume purifier dapat dilihat sesuai gambar 4.2 di bawah ini:



Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Putaran dengan Daya Efektif.

Pada grafik di atas dapat di lihat bahwa semakin besar putaran daya efektif semakin meunurun, Hal tersebut dikarenakan daya efektif berbanding lurus dengan torsi (T) yang dihasilkan oleh putaran poros (n) sesuai dengan persamaan (2-2) .

Pada putaran 5500-6500 daya efektif turun, turunnya daya ini terjadi karena dengan kenaikan putaran tidak bisa mengimbangi penurunan torsi sehingga daya efektif akan semakin menurun serta pada putaran yang tinggi juga mengakibatkan semakin besarnya daya mekanis yang hilang akibat gesekan pada dinding silinder.

Pada pengujian motor bensin berbahan bakar biogas dengan perlakuan penambahan purifier yang berisi zeolit dengan volume yang semakin besar maka dihasilkan nilai daya efektif yang paling besar terdapat pada volume 1500 cm³ pada putaran 5500 rpm sebesar 3,210 PS jika dibandingkan dengan tanpa perlakuan, variasi volume 480 cm³ dan 800 cm³ dimana untuk tanpa perlakuan daya efektif paling optimal sebesar 2,45 PS, untuk volume 480 cm³ sebesar 2,768 PS, dan volume 800 cm³ sebesar 2,957 PS.

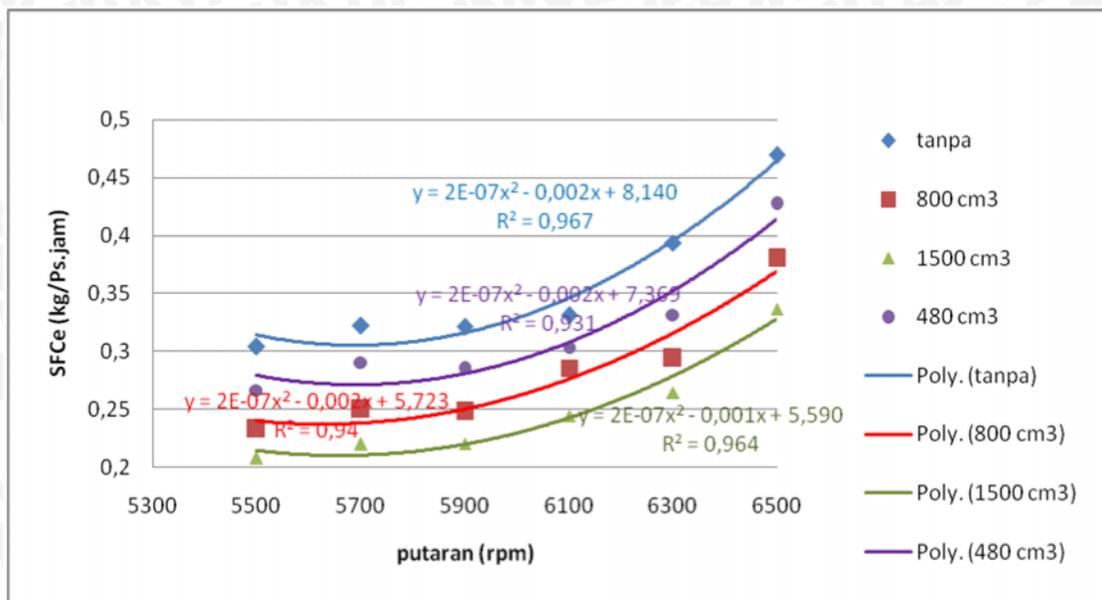
Daya efektif berhubungan dengan torsi sesuai dengan persamaan (2-2) dimana hubungan keduanya berbanding lurus. Jika daya efektif motor berbahan bakar bensin

dibandingkan dengan motor berbahan bakar biogas, daya efektif motor berbahan bakar bensin diatas daya efektif motor berbahan bakar biogas hal itu sesuai dengan torsi motor berbahan bakar bensin yang lebih besar dari torsi berbahan bakar biogas,dimana nilai torsi akan berpengaruh pada nilai daya efektif



4.3.3 Hubungan antara Putaran dengan SFCE

Grafik hubungan antara putaran mesin dengan *Specific Fuel Consumption Efectif* (SFCe) terhadap berbagai perlakuan variasi volume zeolit didalam purifier dapat dilihat pada gambar 4.3 di bawah ini:



Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara Putaran dengan SFCe

Konsumsi bahan bakar menunjukkan seberapa efisienkah engine saat menggunakan bahan bakar sehingga, semakin rendah nilai sfc berarti semakin efisien engine tersebut menggunakan bahan bakar

Pada grafik hubungan antara putaran dengan SFCe dapat dilihat semakin besar putaran maka nilai SFCe akan cenderung meningkat . Hal ini terjadi dikarenakan semakin besar putaran maka konsumsi bahan bakar akan semakin meningkat . Konsumsi bahan bakar spesifik berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar (FC) dan berbanding terbalik dengan daya efektif (Ne), sesuai dengan persamaan (2-4) Jika putaran semakin ditambah maka konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan semakin besar, hal ini dikarenakan pada putaran yang semakin besar maka kerugian akibat gesekan semakin meningkat sehingga menambah beban dari mesin itu sendiri.

Pada grafik diatas dapat dilihat nilai SFCe untuk tanpa perlakuan berada paling atas jika dibandingkan dengan perlakuan, hal ini terjadi karena belum adanya pemurnian biogas oleh zeolit sehingga masih terdapat CO₂ yang mengurangi nilai kalor pembakaran yang mengakibatkan energi hasil pembakaran menjadi rendah sehingga energi untuk

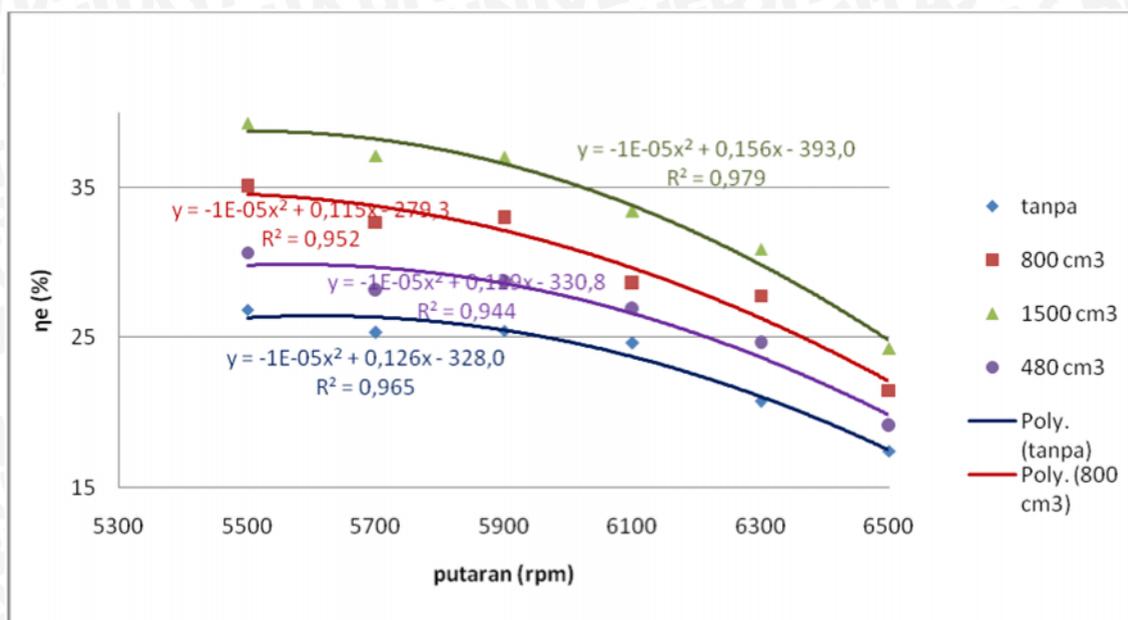
menggerakkan torak rendah dan daya efektif yang dihasilkan akan semakin turun, penurunan daya efektif akan meningkatkan konsumsi bahan bakar spesifik efektif.

Nilai SFCE paling rendah diperoleh pada variasi volume 1500 cm^3 yaitu sebesar $0,2077 \text{ Kg/PS.jam}$ pada putaran sebesar 5500 rpm . Sedangkan untuk tanpa perlakuan SFCE optimal sebesar $0,3043 \text{ Kg/PS.jam}$, untuk volume 480 cm^3 sebesar $0,2662 \text{ Kg/PS.jam}$, dan volume 800 cm^3 sebesar $0,232 \text{ cm}^3$. Hal ini sesuai teori dimana semakin besar volume purifier maka kontak antara zeolit dengan biogas semakin besar, CH_4 yang dihasilkan semakin besar dan nilai kalor menjadi meningkat. Kenaikan nilai kalor bahan bakar ini akan menghasilkan energi yang lebih besar untuk menghasilkan daya efektif. Kenaikan daya efektif akan membuat konsumsi bahan bakar spesifik efektif menjadi turun yang berarti lebih

Jika dibandingkan dengan motor berbahan bakar bensin, SFCE motor bensin lebih tinggi dibandingkan motor berbahan bakar biogas disebabkan karena bensin memerlukan pengabutan agar dapat terbakar sehingga memerlukan bahan bakar yang banyak karena tidak semua bensin terbakar sempurna jika dibandingkan dengan biogas yang sudah dalam fase gas sehingga tidak diperlukan pengabutan sudah dapat terbakar sempurna sehingga tidak memerlukan bahan bakar yang banyak.

4.3.4 Hubungan antara Putaran dengan Efisiensi Termal Efektif

Grafik hubungan antara putaran mesin dengan efisiensi termal efektif terhadap berbagai perlakuan variasi volume zeolit di dalam purifier dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini:



Gambar 4.4 Grafik Hubungan antara Putaran dengan Efisiensi Termal Efektif.

Pada grafik hubungan antara putaran mesin dengan efisiensi termal efektif di atas dapat dilihat bahwa semakin besar putaran maka efisiensi termal efektif akan cenderung menurun. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai SFCE dan nilai kalor bahan bakar (LHV_{bb}), seperti ditunjukkan pada persamaan (2-6)

Dengan meningkatnya putaran daya efektif cenderung menurun karena gesekan yang terjadi antara torak dan dinding silinder semakin besar. Karena hal itu efisiensi thermal cenderung menurun karena efisiensi thermal berbanding lurus dengan daya efektif sesuai dengan persamaan (2-6)

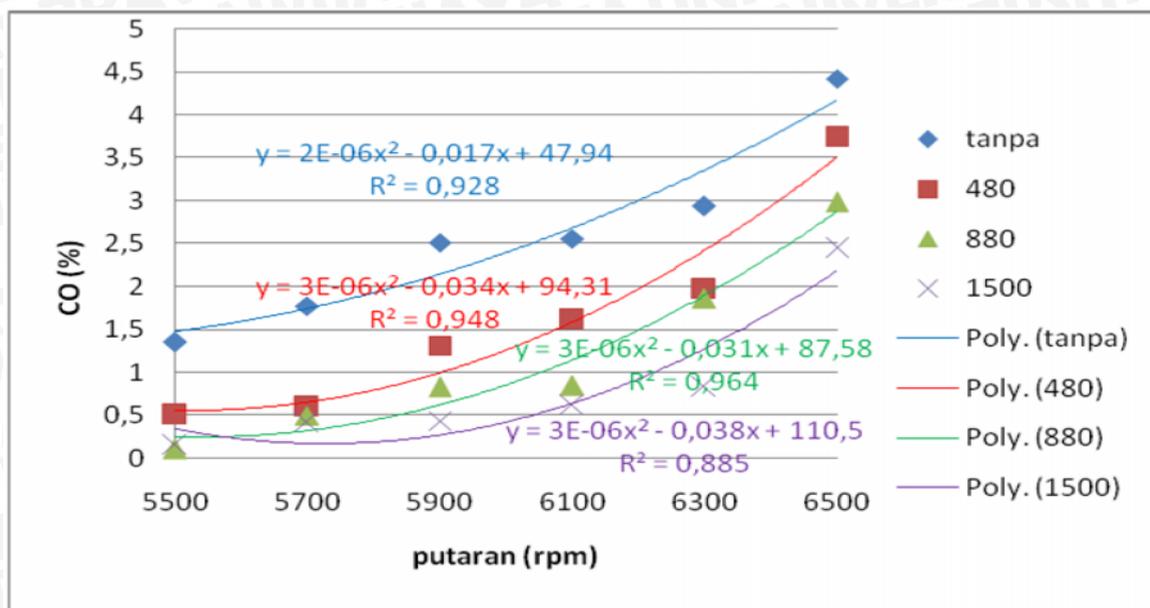
Pada grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa untuk mesin dengan variasi volume 1500 cm³ kurva hubungan antara putaran dengan efisiensi termal efektif berada paling atas. Hal ini mengindikasikan bahwa *purifier berisi zeolit* berfungsi dengan baik untuk meningkatkan efisiensi termal efektif, dimana efisiensi termal efektif paling optimal terjadi pada variasi volume 1500 cm³ 38,351 % , volume 800 cm³ sebesar 35,099%, dan volume 480 cm³ sebesar 30,698% sedangkan untuk tanpa perlakuan sebesar 26,858%,

Motor berbahan bakar biogas memiliki efisiensi thermal yang lebih besar dibandingkan motor berbahan bakar bensin hal itu biasa disebabkan karena nilai LHV biogas yang lebih kecil jika dibandingkan dengan LHV bensin, dimana nilai LHV berpengaruh terhadap nilai efisiensi thermal sesuai dengan persamaan (2-6) dimana hubungan keduanya berbanding terbalik.



4.3.5 Hubungan antara Putaran dengan Emisi gas CO

Grafik hubungan antara putaran mesin dengan emisi gas CO pada motor bensin berbahan bakar biogas dengan beberapa variasi perlakuan dapat dilihat pada gambar 4.5 di bawah ini :



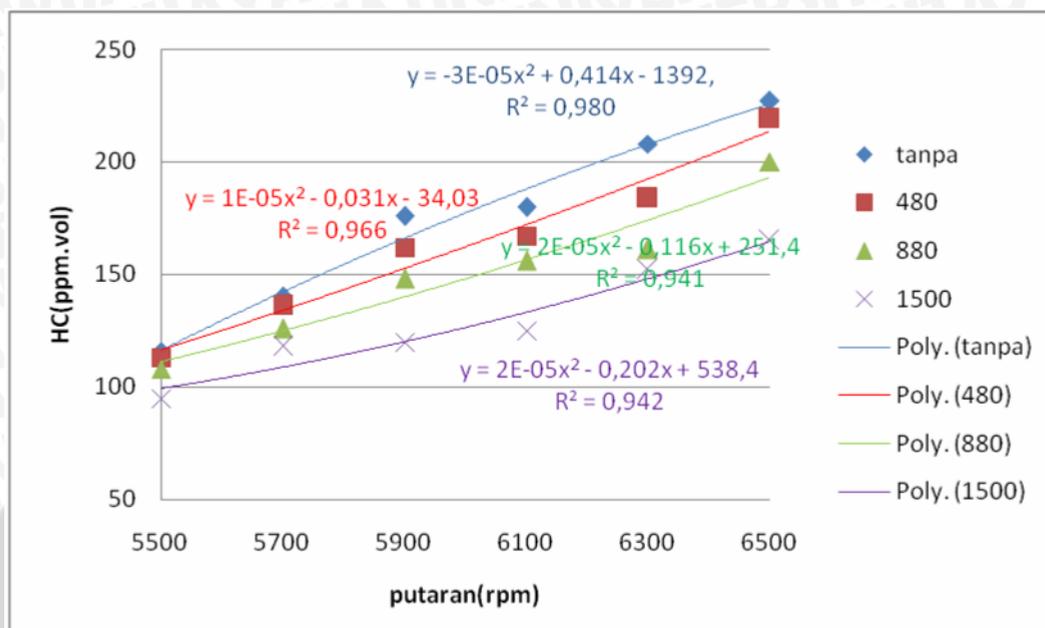
Gambar 4.5 Grafik Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas CO

Pada gambar diatas dapat dilihat pengaruh putaran terhadap kandungan gas CO pada gas buang dari motor bensin. Dari gambar diatas dapat dilihat dengan semakin besar putaran maka pada grafik cenderung naik., hal itu dikarenakan pada putaran yang semakin tinggi campuran bahan bakar dengan udara tidak seimbang yang dikarenakan dengan semakin cepat putaran maka proses buka tutup katup isap akan semakin cepat sehingga udara yang masuk lebih sedikit.

Pada gambar diatas juga dapat dilihat pengaruh dari pemasangan *purifier* berisi *zeolit* dengan variasi volume yang semakin besar maka didapatkan nilai kandungan gas CO terendah pada variasi volume 1500 cm³. Hal ini dikarenakan dengan semakin besar volume zeolit didalam *purifier* maka semakin banyak metana yang termurnikan sehingga pembakaran yang berlangsung akan menjadi sempurna. Hal ini juga mengindikasikan bahwa *zeolit* didalam *purifier* bekerja dengan baik untuk mengurangi kandungan gas CO pada gas buang. Kandungan gas CO terendah di dapat pada putaran 5500 yaitu sebesar 0,156% dengan perlakuan volume 1500 cm³.

4.3.6 Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas HC

Grafik hubungan antara putaran dengan emisi gas HC pada motor bensin dengan berbagai perlakuan variasi volume purifier dapat dilihat pada gambar 4.6 di bawah ini:



Gambar 4.6 Grafik Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas HC.

Dari grafik hubungan antara putaran dengan emisi gas HC dapat dilihat bahwa kecenderungan grafik akan semakin meningkat.. Hal ini dikarenakan pada putaran yang semakin tinggi maka dihasilkan campuran bahan bakar yang kaya akan bahan bakar sehingga semakin banyak bahan bakar yang tidak terbakar dan akan menghasilkan gas HC pada gas buang.

Pada grafik diatas juga dapat dilihat bahwa dengan semakin besar volume purifier yang berisi zeolit maka grafik berada di bawah grafik tanpa perlakuan. Hal ini mengindikasikan bahwa *volume purifier berisi zeolit* berfungsi dengan baik untuk mengurangi kandungan gas HC pada gas buang. Gas HC terendah dihasilkan pada putaran 5500 rpm dengan variasi volume 1500 cm³ yaitu sebesar 95 ppm.vol

Diketahui bahwa bahan bakar biogas mempunyai efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar bensin. Dimana efisiensi thermal berbanding terbalik dengan emisi gas buang. Hal ini menunjukkan bahwa pembakaran yang terjadi antara bahan bakar biogas dengan udara berlangsung sempurna dikarenakan bahan bakar biogas lebih mudah bereaksi dengan udara dikarenakan sehingga dihasilkan gas sisa pembakaran dalam hal ini emisi gas CO dan HC yang rendah dibanding dengan bensin

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan pengujian pengaruh variasi volume zeolit didalam purifier pada motor bensin berbahan bakar biogas, dapat diambil kesimpulan bahwa dengan memberi variasi volume zeolit didalam purifier berpengaruh terhadap kinerja serta emisi gas CO dan HC pada motor bensin empat langkah. Pada variasi putaran 5500-6500 rpm, perlakuan yang optimal untuk torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi thermal dan gas buang yang paling optimal terletak pada variasi volume 1500 cm³ hal itu disebabkan karena semakin besar volume maka kontak antara biogas dengan zeolit semakin besar menyebabkan biogas yang termurnikan semakin besar, nilai kalor pembakaran juga akan meningkat. Peningkatan nilai kalor pembakaran akan meningkatkan kinerja motor.

5.2. Saran

Perlu dilakukannya penelitian lanjutan dengan menggunakan beberapa macam perlakuan sebagai berikut:

- Melakukan penelitian dengan menggunakan adsorben selain zeolit agar dapat membandingkan kinerja motor bensin yang menggunakan zeolit dengan yang tidak
- Melakukan penelitian untuk mengetahui lama kontak zeolit dengan biogas

DAFTAR PUSTAKA

Anonymous; 1996: *Petunjuk Praktikum Motor Bakar*; Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

Brown, G.G., (1950), "Unit Operation", Modern Asia ed., John Wiley & Son, Inc., New York.

Delahay, G. dan B. Coq, (2002), "Pollution Abatement Using Zeolites : State of The Art and Further Needs", Catalytic Science Series – Vol. 3, Zeolites for Cleaner Technologies, Chapter 16, Imperial College Press, London

Nurhadi.M. (2005). "Perbedaan kemampuan Zeolit yang diaktifkan KaOH dan NaOH dalam menyerap Fe pada air tanah", Jurnal Kimia Mulawarman.vol 3, Samarinda

Petrovsky, N.; 1979: *Marine Internal Combustion Engine*; Mir Publishers, Moscow.

Pulkrabek, Willard W.; 1997: *Engineering Fundamentals of The Internal Combustion Engine*; Prentice Hall International, Inc., New Jersey.

Sutarti, M, dan Rachmawati, M., (1994), "Zeolit Tinjauan Literatur", Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta

Weitkamp, J. dan L. Puppe, (1999), "Catalysis and Zeolites Fundamentals an Applications", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Jerman.

Wahono, dkk, (2009), "Peningkatan Performa Biogas Melalui Teknologi Pemurnian Metana di UPT Kapitan Meo, Kabupaten Belu – Nusa Tenggara Timur", Prosiding Seminar LIPI – UGM – Disperta – PATPI – BI DIY, Yogyakarta.

Wardana, I.N.G.; 1996: *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*; Universitas Brawijaya Press, Malang.

Wahono, Satriyo Krido, (2008), "Kajian : Pemanfaatan Zeolit Lokal Gunungkidul – Yogyakarta untuk Optimasi Sistem Biogas", Prosdiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia 2008, ISSN 1410-5667. Teknik Kimia FTI

– ITS Surabaya

[www//id.wikipedia.org/wiki/Metana](http://www.id.wikipedia.org/wiki/Metana)

[www//id.wikipedia.org/wiki/Karbon_dioksida](http://www.id.wikipedia.org/wiki/Karbon_dioksida)

Yunus, Mochammad.; 1995: *Teknik Membuat dan Memanfaatkan Unit Gas Bio*; Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.



Lampiran 3 data perhitungan

Tabel 4.1 tanpa zeolit

Putaran (rpm)	h (mm)	Te (Kg.m)	Ne (HP)	SFCe (Kg/HP.Jam)	e (%)
5500	18,83	0,319724545	2,455299	0,304337369	26,85847693
5700	19,33	0,295130349	2,348845	0,322326483	25,35949929
5900	18,33	0,27889818	2,297542	0,320887153	25,47324856
6100	19,67	0,270536153	2,304203	0,331448321	24,66157674
6300	19,83	0,221347762	1,947069	0,393835139	20,75497437
6500	23,67	0,196753566	1,785672	0,469171852	17,42226897

Tabel 4.2 VOLUME 480

Putaran (rpm)	h (mm)	Te (Kg.m)	Ne (HP)	SFCe (Kg/HP.Jam)	e (%)
5500	18,33	0,36055091	2,768822	0,266269079	30,69841317
5700	20,33	0,335956714	2,673769	0,290388423	28,14863667
5900	18	0,311362518	2,56498	0,284830636	28,69788986
6100	19,67	0,295130349	2,513677	0,303827628	26,90353826
6300	21	0,270536153	2,379751	0,331598515	24,65040658
6500	23	0,212985735	1,93299	0,427236977	19,13232855

Tabel 4.3 VOLUME 800

Putaran (rpm)	h (mm)	Te (Kg.m)	Ne (HP)	SFCe (Kg/HP.Jam)	e (%)
5500	16	0,385145106	2,957691	0,232885102	35,09901716
5700	17,33	0,36055091	2,869506	0,249819664	32,71975509
5900	16,67	0,344318741	2,836471	0,247869971	32,9771217
6100	19,33	0,311362518	2,651929	0,285488455	28,6317645
6300	19,67	0,295130349	2,596092	0,294182306	27,78562149
6500	22,67	0,237579931	2,156199	0,380251942	21,49637465



Lampiran 4 Dokumentasi Penelitian



Saluran masuk pada digester



peletakan purifier pada instalasi



peletakan zeolit di dalam purifier





instalasi penelitian



Kolam pengaduk



Kolam pengeluaran



Digester

