

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 dan dihasilkan kesimpulan bahwa biogas memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap kinerja motor bensin 4 langkah dan efisiensi pembakaran biogas yang lebih baik dibandingkan bahan bakar bensin.

Musa (2009) melakukan penelitian dengan objek penelitian yaitu membandingkan kinerja motor bensin 4 langkah dengan menggunakan bahan bakar biogas dan dipasang *convergent grid* pada *intake manifold*, dimana dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan pemasangan *convergent grid* pada *intake manifold* memberikan pengaruh peningkatan yang cukup signifikan terhadap kinerja motor bensin 4 langkah berbahan bakar biogas.

Andrie (2009) melakukan penelitian dengan objek membandingkan kinerja motor bensin 4 langkah berbahan bakar biogas dengan memvariasikan sudut pengapian (*Ignition Timing*). Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa sudut pengapian 39° sebelum TMA merupakan sudut pengapian yang optimal untuk bahan bakar biogas. Hal ini dilihat dari peningkatan unjuk kerja dan berkurangnya kadar emisi gas buang.

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian diatas, dimana pada penelitian ini variabel yang digunakan yaitu variasi sudut *convergent grid* yang dipasang pada motor bensin empat langkah dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja motor bensin yang diakibatkan oleh semakin homogenya campuran bahan bakar dengan udara akibat pengaruh semakin besarnya sudut *convergent grid* diharapkan pembakaran yang terjadi menjadi sempurna sehingga kinerja motor bensin akan meningkat.

2.2 Motor Bensin (Mesin Otto)

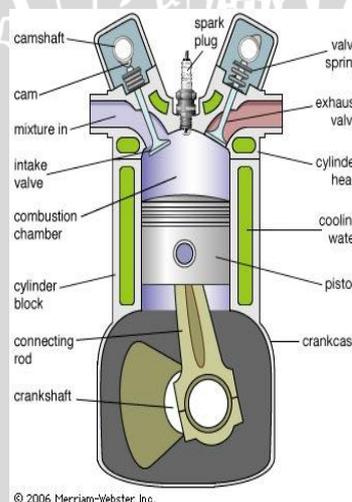
Motor bensin merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan masyarakat sebagai akomodasi alat transportasi. Hal tersebut terjadi karena pada motor bensin memiliki perbandingan kompresi yang lebih rendah dibandingkan dengan motor diesel, sehingga komponen mesin dari motor bensin lebih kecil dan ringan. Selain itu motor

bensin memiliki getaran yang lebih halus dibandingkan dengan motor diesel sehingga kenyamanannya lebih unggul.

Motor bensin merupakan salah satu mesin konversi energi yang merubah energi termal menjadi energi mekanik. Motor bensin dilengkapi dengan busi dan kaburator. Busi berfungsi untuk menghasilkan loncatan api listrik sehingga dapat membakar campuran bahan bakar dan udara, sedangkan karburator berfungsi sebagai tempat pencampuran bahan bakar dan udara, pencampuran ini terjadi akibat bahan bakar yang disemprotkan kedalam aliran udara yang yang masuk ke dalam karburator dimana dalam karburator sendiri terjadi proses pengabutan bahan bakar sehingga akan menjadi *droplets* yang bercampur dengan udara sebelum masuk ruang bakar.

2.2.1 Bagian – bagian Motor bensin

Pembakaran pada motor bensin dilakukan dengan menggunakan loncatan api listrik yang berasal dari busi yang akan membakar campuran bahan bakar dengan udara. Pada gambar 2.1 berikut ini akan dijelaskan bagian-bagian motor bensin yang digunakan selama proses pembakaran berlangsung sampai menghasilkan energi yang digunakan untuk menggerakkan torak yang dihubungkan dengan poros engkol.



Gambar 2.1 : Bagian-bagian Motor Bensin

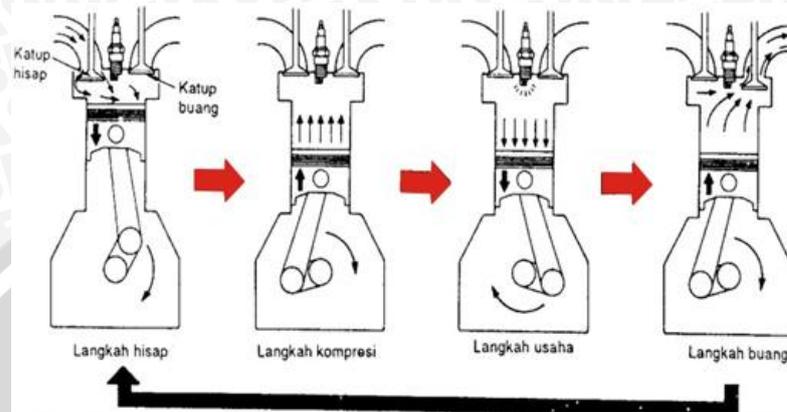
Sumber : <http://matrudian.wordpress.com>

- Poros Bubungan (*Camshaft*) berfungsi untuk menggerakkan *cam* dan mengatur waktu membuka dan menutupnya katup-katup.
- *Cam* berfungsi untuk mengatur buka tutupnya katup, baik katup hisap maupun buang.

- *Mixture in* merupakan saluran masuknya campuran bahan bakar dan udara dari karburator ke dalam silinder.
- Katup hisap (*Intake Valve*) merupakan katup yang berfungsi untuk memasukkan campuran bahan bakar dan udara segar dari karburator ke dalam silinder.
- Silinder (*Combustion Chamber*) merupakan tempat untuk menghasilkan energi panas dari proses pembakaran bahan bakar. Torak bergerak bolak balik di dalam silinder untuk merubah energi panas menjadi energi mekanik, untuk menghindari keausan, mencegah kebocoran gas kompresi dan kehilangan panas antara silinder dan torak.
- Blok Silinder (*Cylinder Block*) merupakan bentuk dasar dari mesin yang berfungsi sebagai tempat untuk membuat energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar.
- Batang Torak (*Connecting Rod*) berfungsi untuk menghubungkan torak dengan poros engkol atau meneruskan tenaga yang diperoleh torak ke poros engkol.
- Poros Engkol (*Crankshaft*) berfungsi untuk merubah gerak bolak-balik torak menjadi gerak putar yang akhirnya digunakan untuk memutar roda-roda.
- Busi (*Spark Plug*) berfungsi untuk menghasilkan percikan bungan api yang akan digunakan dalam proses pembakaran
- Pegas Katup (*Valve Spring*) berfungsi untuk mengembalikan katup padaudukannya semula setelah katup bekerja
- Katup Buang (*Exhaust Valve*) merupakan katup yang berfungsi untuk mengeluarkan gas pembakaran yang tidak terpakai lagi dari dalam silinder.
- Kepala Silinder (*Cylinder Head*) berfungsi sebagai tempat untuk ruang pembakaran dan untuk menempatkam mekanisme katup. Kepala silinder dipasang pada blok silinder yang diikat dengan baut-baut. Kepala silinder juga berfungsi sebagai tutup silinder.
- Air pendingin (*Cooling Water*) berfungsi untuk mempertahankan suhu yang konstan di dalam silinder.
- Piston berfungsi untuk menghubungkan torak dengan batang torak melalui lubang bushing yang terdapat di kedua sisi torak.
- Bak Engkol (*Crankcase*) merupakan rumah (tempat) untuk menempatkan poros engkol dan berada dibagian bawah blok silinder.

2.2.2 Siklus Kerja Motor Bensin Empat Langkah (Siklus Ideal)

Menurut (Pulkrabek, 1997) siklus ideal motor bensin empat langkah yaitu satu kali kerja dihasilkan dari dua kali putaran poros engkol seperti yang terlihat pada gambar 2.2, dimana terjadi beberapa langkah kerja dalam dua kali putaran poros engkol. Langkah kerja yang terjadi selama siklus berlangsung antara lain



Gambar 2.2 : Siklus Kerja Motor Bensin Empat Langkah

Sumber : <http://rusyiam.blogspot.com/2011/03/cara-kerja-motor-4-tak-dan-2-tak.html>

a). Langkah Isap

Torak bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB), dimana katup isap dalam keadaan terbuka sedangkan katup buang dalam keadaan tertutup. Karena gerakan torak tersebut menyebabkan ruang silinder menjadi vakum dan tekanan di dalam silinder lebih rendah dari tekanan atmosfer, maka udara dan bahan bakar yang dicampur dalam karburator masuk ke dalam silinder melalui katup isap karena adanya tekanan udara luar.

b). Langkah Kompresi

Pada langkah ini, torak bergerak dari TMB menuju TMA dengan kondisi katup isap dan katup buang dalam keadaan tertutup, sehingga terjadi proses kompresi dimana campuran udara dan bahan bakar yang ada dalam silinder dikompresikan sehingga mengakibatkan kenaikan tekanan dan temperatur sehingga akan mudah terbakar.

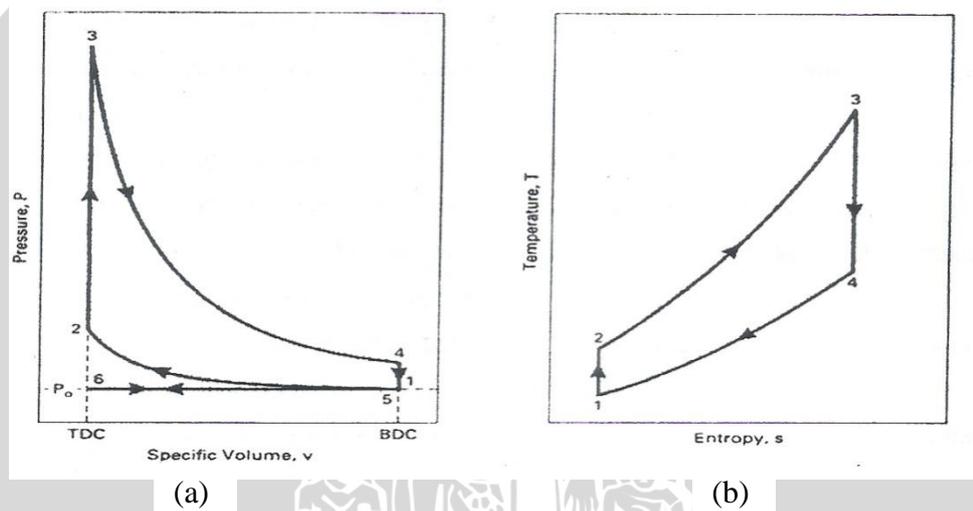
c). Langkah Kerja

Pada saat semua katup tertutup, sesaat sebelum torak mencapai TMA pada saat kompresi, busi membeikan loncatan bunga api sehingga terjadi proses pembakaran. Dengan terjadinya pembakaran, kekuatan dari tekanan tinggi akan mendorong torak dari TMA ke TMB. Pada langkah ini dihasilkan kerja untuk ditransfer ke poros engkol. Saat torak bergerak dari TMA ke TMB volume silinder meningkat dan menyebabkan penurunan tekanan dan temperatur.

d). Langkah Buang

Dalam langkah ini, gas yang sudah terbakar, akan dibuang ke luar silinder. Katup buang membuka sedangkan katup hisap tertutup. Waktu torak bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA), mendorong gas bekas keluar dari silinder. Pada saat akhir langkah buang dan awal langkah hisap kedua katup akan membuka sedikit (*valve overlap*) yang berfungsi sebagai langkah pembilasan (campuran udara dan bahan bakar baru mendorong gas sisa hasil pembakaran). Ketika torak mencapai TMA, akan mulai bergerak lagi untuk persiapan langkah berikutnya, yaitu langkah hisap.

Apabila digambarkan dalam bentuk diagram P- v dan T- s , langkah kerja yang terjadi selama siklus kerja berlangsung dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3 : a. Diagram P - v Siklus Volume Konstan

b. Diagram T - s Siklus Volume Konstan

Sumber : Pulkrabek (1997: 75)

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*) dan diakhiri dengan penyalaan oleh busi untuk melakukan proses pembakaran.
- 3) 2-3 merupakan proses pemasukan kalor pada volume konstan (*isokhorik*).
- 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*)

2.3 Intake Manifold

Intake Manifold merupakan suatu saluran yang menghubungkan karburator dengan ruang bakar, saluran ini berfungsi untuk menyalurkan campuran bahan bakar dengan udara yang berasal dari karburator menuju ke ruang bakar. Campuran bahan bakar dan udara yang melewati *intake manifold* diharapkan dapat bercampur dengan baik sehingga didapatkan campuran bahan bakar dan udara yang seimbang, oleh karena itu ukuran diameter dan panjang *intake manifold* ini haruslah seimbang, tidak boleh terlalu panjang ataupun terlalu pendek.

2.4 Pembakaran

Pembakaran pada umumnya merupakan reaksi kimia antara senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam bahan bakar dengan oksigen dari udara yang menghasilkan energi kalor pada temperatur tinggi.

Pembakaran merupakan reaksi kimia dimana elemen-elemen tertentu dari bahan bakar bercampur dengan udara menyebabkan naiknya temperatur dari gas. Komponen utama yang dapat terbakar adalah karbon dan hidrogen, sedangkan sulfur merupakan elemen lain yang dapat terbakar dan biasanya terkandung dalam bahan bakar. (Maalev; 1945: 69)

Jika ditinjau secara aerodinamika, pembakaran dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Pembakaran *Premixed*

Pembakaran *premixed* terjadi jika reaktan (bahan bakar dan udara) bercampur terlebih dahulu secara mekanik sebelum masuk ke zona reaksi. Contohnya adalah pembakaran pada motor bensin.

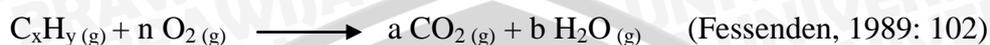
2. Pembakaran Difusi

Pembakaran difusi terjadi apabila reaktan (bahan bakar dan udara) tidak bercampur secara mekanik melainkan secara alami seperti proses difusi. Contohnya adalah pembakaran lilin.

2.4.1 Pembakaran Stoikiometrik

Pembakaran stoikiometrik adalah pembakaran dimana semua atom dari pengoksidasi bereaksi secara kimia untuk menjadi berbagai produk. Pembakaran stoikiometrik juga dapat diartikan suatu pembakaran dimana atom-atom karbon akan menghasilkan gas karbon dioksida (CO_2), dan atom hidrogen akan menghasilkan uap air

(H₂O). Pengoksidasi yang paling lazim adalah udara, untuk beberapa keperluan dapat dianggap sebagai campuran dari 21% oksigen dan 79% nitrogen dalam 100% volume udara. Karena oksigen tersebut diperoleh dari udara, sehingga reaksi pembakaran tersebut akan menghasilkan produk hasil pembakaran yang komposisinya tergantung dari kualitas pembakarannya. Persamaan reaksi pembakaran stoikiometrik antara hidrokarbon dan udara dapat dinyatakan sebagai berikut:



Sebagai contoh persamaan kimia dari pembakaran stoikiometri dari metana (CH₄) 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.

2.4.2 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.

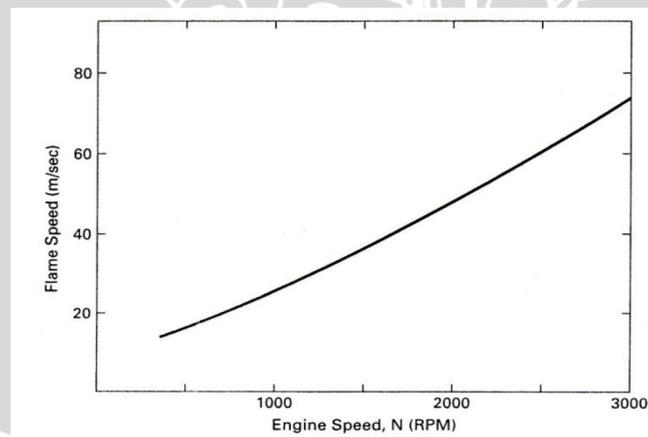
Untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna, banyak cara yang bisa ditempuh. Salah satunya yaitu dengan cara membuat campuran bahan bakar dan udara semakin homogen, dimana dengan semakin homogen campuran bahan bakar dengan udara dapat diartikan bahwa semua bahan bakar dapat bereaksi dengan udara. Pada kenyataannya campuran bahan bakar yang homogen ini sulit untuk diperoleh sehingga pembakaran menjadi kurang sempurna. Oleh karena itu homogenitas campuran bahan bakar dengan udara harus ditingkatkan sebelum campuran bahan bakar dengan udara

tersebut masuk ke dalam ruang bakar melalui *intake manifold*, salah satu cara yaitu dengan membuat aliran tersebut semakin berpusar atau turbulen. Dimana menurut Wardana (2008) suatu aliran yang berpusar, memiliki kemampuan pengadukan yang jauh lebih tinggi, sehingga pencampuran menjadi efektif dan membuat pembakaran menjadi lebih baik.

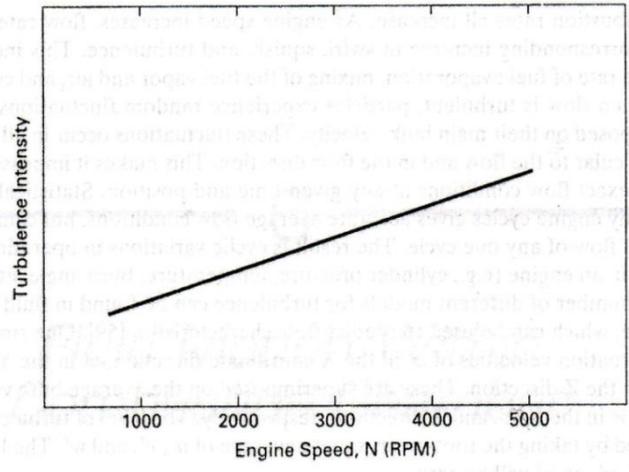
2.4.3 Pengaruh Turbulensi Pada Pembakaran

Proses pembakaran pada motor bensin tidak dapat berlangsung dengan sendirinya, oleh karena itu diperlukan energi dari luar untuk proses penyalaannya. Dalam hal ini adalah letusan bunga api yang dihasilkan oleh busi. Temperatur pada proses pembakaran dapat mencapai 2100-2500 K (Arends, 1996:60). Intensitas turbulensi yang baik akan mempercepat proses rambatan api, sehingga dapat dikatakan bahwa dengan semakin turbulen suatu campuran bahan bakar dan udara maka akan dihasilkan energi panas yang semakin besar karena bahan bakar dan udara yang terbakar lebih banyak akibat semakin cepatnya rambatan api yang terjadi dalam intensitas waktu yang sama.

Menurut Zhang and Hill (1996), kecepatan pembakaran ini dipengaruhi oleh gerakan fluida yang dibakar, jika fluida yang dibakar berpusar dan menimbulkan turbulensi, maka kecepatan pembakaran yang terjadi akan semakin tinggi.



Gambar 2.4 Grafik Kecepatan Rata-Rata Pembakaran Terhadap Putaran Mesin
Sumber : Pulkabrek, Willard W (1997 : 236)



Gambar 2.5 Pengaruh Putaran Mesin Terhadap Intensitas Turbulensi
Sumber : Pulkabrek, Willard W (1997 : 208)

Berdasarkan pada gambar di atas dapat dilihat bahwa dengan kecepatan yang semakin meningkat, maka kecepatan aliran campuran gas yang masuk kedalam silinder akan bertambah pula. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya pusaran, olakan dan turbulensi aliran. Hasil dari turbulensi aliran tersebut akan dapat mempercepat penguapan atau *evaporasi* gas sehingga akan memperbaiki campuran bahan bakar dengan udara, serta mempercepat proses pembakaran (Pulkabrek: 1997: 207).

2.5 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah suatu material dengan bentuk energi dimana dapat berubah wujud menjadi energi yang lain. Material ini mengandung energi dalam wujud yang mudah disimpan, kemudian dilakukan reaksi untuk melepaskan energi. menurut bentuknya, bahan bakar dibagi menjadi 3 macam, yaitu:

- Bahan bakar padat, contohnya: batu bara, kayu, lignit, dll.
- Bahan bakar cair, contohnya: solar, premium, avtur, dll.
- Bahan bakar gas, contohnya: LPG, biogas, dll

2.6 Biogas

2.6.1 Pengertian

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*, dimana pada proses pembusukan ini bahan organik tersebut akan

menghasilkan gas methane (CH_4) dan gas inilah yang dapat dikumpulkan untuk dijadikan sebagai biogas.

Bahan utama yang dibutuhkan untuk membuat biogas yaitu biomassa (bahan organik bukan fosil), kotoran, sampah organik. Akan tetapi biogas biasanya dibuat dari kotoran ternak seperti sapi dan kerbau. Salah satu hal terpenting dalam pembuatan biogas adalah pemilihan jenis digester. Ada 3 jenis digester yang sering dipakai yaitu *fixed dome plant*, *floating drum plant*, dan *plug-flow plant*.

- *Fixed Dome Plant*

Digester jenis ini menggunakan digester yang tetap/tertanam, tempat penampungan biogas berada diatas digester. Jenis *fixed dome plant* ini memiliki beberapa keuntungan yaitu tidak ada bagian yang bergerak, awet, dibuat di dalam tanah sehingga terlindung dari berbagai gangguan alam, seperti cuaca dll.

- *Floating Drum Plant*

Jenis ini mempunyai 1 digester yang terbuat dari drum logam, dan penampung gas yang bisa bergerak. Peampungan gas ini akan bergerak naik apabila gas bertambah dan kembali turun jika gas berkurang. Keuntungan digester jenis ini adalah tekanan gasnya konstan karena penampung gas bergerak mengikuti jumlah gas, sehingga bisa dengan mudah mengetahui jumlah gas yang dihasilkan. Konstruksi digester ini agak rumit, dan mudah berkarat dikarenakan terbuat dari logam

- *Plug-flow Plant* atau *balloon plant*

Konstruksi *balloon plant* lebih sederhana, terbuat dari plastik dimana pada ujung digester dipasang pipa masuk untuk kotoran dan pipa keluar untuk peluapan *slurry*. Jenis ini memiliki keuntungan yaitu biaya murah, konstruksi sederhana dan mudah dioperasikan.

Bagian-bagian pokok dari suatu digester adalah:

1. Bak penampungan kotoran
2. Digester
3. Bak *slury*
4. Penampung gas
5. Pipa gas keluar
6. Pipa keluar *slury*
7. Pipa masuk (*inlet*) kotoran ternak.

pada penelitian ini biogas yang dihasilkan berasal dari kotoran sapi perah yang dicampur dengan urine dan air. Setelah itu bahan baku biogas diaduk sampai merata pada bak pengaduk kotoran sebelum dimasukkan ke digester. Digester yang digunakan tipe *fixed dome plant*, yaitu konstruksi digesternya tertanam dalam tanah yang membuat suhu dalam digester stabil sehingga membantu perkembangan bakteri metanogen dan digester ini mempunyai volume tetap. Apabila produksi biogas dilakukan secara terus menerus maka tekanan dalam digester akan meningkat sehingga gas yang dihasilkan harus dialirkan ke tempat penampungan gas, selain itu dengan semakin besarnya tekanan dalam digester akan mendorong slurry keluar ke bak penampungan slurry. Gas yang akan digunakan disalurkan lewat pipa gas yang diberi katup/kran.

2.6.2 Proses Pembuatan Biogas

Proses pembentukan biogas dapat digolongkan menjadi 3 tahapan utama, yaitu tahap pemecahan polimer (Tahap 1), tahap pembentukan asam organik (Tahap 2), dan tahap produksi gas metan (Tahap 3).

➤ Tahap Pemecahan Polimer

Pada tahap ini terjadi proses penguraian substrat organik yang dilakukan oleh beberapa mikroorganisme / bakteri. Bakteri yang berperan pada proses ini yaitu bakteri yang mempunyai enzim selulolitik, lipolitik, dan proteolitik yang akan menghasilkan enzim yang dapat mempercepat hidrolisa polimer yang akan menjadi monomer larut dimana ini merupakan substrat bagi mikroorganisme tahap 2.

➤ Tahap Pembentukan Asam Organik

Bakteri yang bekerja pada tahap ini merupakan bakteri yang terbentuk pada tahap satu, dimana bakteri ini terbuat dari monomer larut yang akan menghasilkan asam-asam organik. Bakteri yang bekerja pada tahap ini terdiri dari bakteri asetogenik, dan bakteri metanogenik. Bakteri asetogenik merupakan bakteri yang menghasilkan asam asetat, propinat, dan asam laktat. Sedangkan bakteri metanogenik sebagian besar hanya memanfaatkan asam asetat dan dapat menghasilkan metan dari gas hidrogen dan karbondioksida.

➤ Tahap Produksi Gas Metan

Pada tahap ini bakteri metanogenik membentuk gas metana, untuk menghasilkan gas metana ini dibutuhkan waktu yang cukup lama yaitu sekitar 14 hari dengan suhu 25⁰ C di dalam digester. Bakteri ini bisa bekerja dengan

kodisi anaerob, hal ini dikarenakan bakteri ini sangat peka terhadap lingkungan dan apabila terdapat oksigen didalam degester maka dapat menghambat pertumbuhan bakteri metanogenik.

2.6.3 Komposisi Biogas

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi komposisi biogas yang dihasilkan. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kualitas bogas adalah temperatur pada digester. Hal ini dikarenakan bakteri anaerob yang bekerja untuk menghasilkan biogas sangat sensitif terhadap perubahan temperatur. Temperatur yang optimum untuk proses dekomposisi anaerobik sekitar 35⁰ C. Komposisi dari biogas yang paling dominan yaitu gas metan (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂) dan beberapa kandungan gas yang jumlahnya kecil seperti ditunjukkan pada lampiran 2.

Gas yang paling berguna pada biogas adalah gas metan (CH₄), oleh karena itu besarnya energi yang terkandung dalam biogas tergantung pada besarnya kandungan gas metan (CH₄), Menurut Mitzlaff (1988), nilai kalor biogas aktual pada dasarnya merupakan nilai kalor yang terkandung dalam gas metana (CH₄), dikarenakan pada saat proses pembakaran biogas yang terbakar adalah gas metana (CH₄) itu sendiri. Untuk mengetahui nilai kalor biogas dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$LHV_{biogas} = \frac{V_{CH_4}}{V_{total}} \times LHV_{CH_4} \times \rho_{CH_4} \quad (\text{Mitzlaff, 1998:30}) \quad (2-1)$$

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

LHV_{CH₄} = nilai kalor CH₄ (kJ/kg)

V_{CH₄} = volume CH₄ (m³)

V_{total} = volume biogas (m³)

ρ_{CH₄} = massa jenis CH₄ (kg/m³)

Biogas termasuk jenis bahan bakar gas, menurut Soetiari (1986) keuntungan dari bahan bakar gas apabila digunakan dalam pembakaran antara lain:

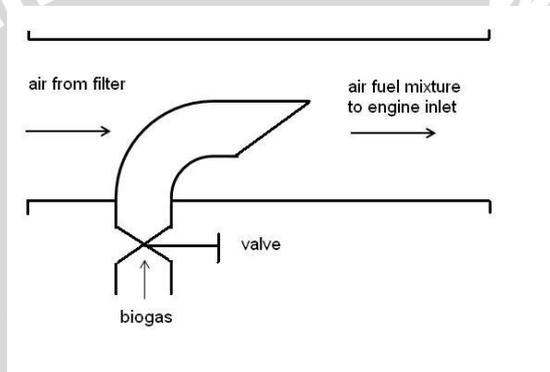
- Bebas dari abu.
- Kondisi-kondisi pembakaran dapat diatur dengan mudah dan bahan bakar biogas mudah disalurkan.
- Efisiensi tinggi, karena kelebihan udara yang digunakan biasanya sedikit karena udara dan bahan bakar langsung bercampur dan terbakar.

2.7 Modifikasi Motor Bensin 4 Langkah Dengan Bahan Bakar Biogas

Menurut Mitzlaff (1988: 64) agar motor bensin dapat beroperasi menggunakan bahan bakar biogas, perlu dilakukan beberapa modifikasi pada motor bensin tersebut. Modifikasi yang perlu dilakukan antara lain:

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. Contoh tampilan *mixer* sederhana seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 *T-joint mixer*

2. Perubahan Waktu Pengapian

Untuk mendapatkan hasil pembakaran yang optimal dengan bahan bakar biogas perlu dilakukan perubahan waktu pengapian. Hal ini dikarenakan kecepatan pembakaran biogas lebih lambat jika dibandingkan dengan bahan bakar bensin.

2.8 Modifikasi dengan *Convergent Grid*.

Unjuk kerja dari motor bakar torak sangat dipengaruhi oleh kualitas atau keadaan udara yang dihisapnya, dalam hal ini meliputi temperatur, tekanan, kelembaban dan perbandingan bahan bakar dengan udara. Apabila temperatur terlalu tinggi maka udara akan lebih cepat memuai sehingga kerapatannya akan berkurang, begitu juga dengan pengaruh tekanan. Apabila tekanan terlalu rendah juga mengakibatkan kerapatan udara akan berkurang.

Agar unjuk kerja lebih maksimal diperlukan pembakaran yang sempurna, yaitu dengan meningkatkan homogenitas campuran bahan bakar dengan udara setelah

melewati karburator, yaitu dengan membuat *droplets* yang terbentuk terpecah dan terurai menjadi lebih kecil dan membuat aliran campuran bahan bakar dengan udara semakin berolak atau turbulen. Untuk mendapatkan homogenitas campuran semakin meningkat, secara mekanik dapat dilakukan dengan memasang *convergent grid* pada *intake manifold*.

Convergent grid merupakan *grid* dengan ketebalan dan lubang berdiameter tertentu yang memiliki sudut kemiringan terpusat dibagian sisi keluar agar aliran yang melewati lubang *grid* akan terjadi peningkatan kecepatan dan penurunan tekanan dikarenakan adanya pengecilan penampang aliran. Pemasangan *convergent grid* sendiri bertujuan untuk membuat alirannya menjadi berolak atau turbulen sehingga homogenitas aliran akan semakin meningkat. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6 dibawah ini.

Ketika campuran bahan bakar dan udara keluar melalui lubang-lubang *convergent grid*, maka kecepatan akan meningkat karena luas penampang aliran yang mengecil (untuk kapasitas aliran yang sama) serta tekanannya menurun dan turbulensi semakin meningkat. Dengan penurunan tekanan dan peningkatan kecepatan, akan meningkatkan proses atomisasi, sehingga bahan bakar akan terpecah menjadi lebih kecil dan lebih mudah untuk bercampur dengan udara pembakaran. Ketika keluar dari *convergent grid* dimana lubang *grid* yang membentuk sudut dengan kemiringan tertentu dan sudut yang terpusat dibagian saluran keluar sehingga aliran yang keluar dari masing-masing lubang *grid* akan saling bertumbukan sehingga menambah olakan atau turbulensi. Dengan adanya olakan atau turbulensi tersebut maka homogenitas campuran bahan bakar dan udara akan meningkat sehingga pembakaran akan berlangsung sempurna.

2.9 Variasi Sudut *Convergent Grid*

Aliran campuran bahan bakar biogas dengan udara setelah melewati *convergent grid* akan menyebabkan kecepatan aliran semakin meningkat. Hal ini dikarenakan terjadinya perubahan luas penampang pada lubang *grid*, seperti yang dijelaskan sesuai dengan persamaan kontinuitas di bawah ini.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (\text{White, 1994 : 305}) \quad (2-2)$$

Karena fluida yang mengalir adalah *incompressible* maka $\rho_1 = \rho_2$. Sehingga persamaan kontinuitas dapat dirumuskan dengan :

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (\text{White, 1994 : 305}) \quad (2-3)$$

Dimana : ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

A = luas penampang (m^2)

v = kecepatan fluida (m/s)

Dengan semakin besar sudut kemiringan *convergent grid* maka panjang kemiringan akan semakin besar maka kecepatan aliranpun akan semakin rendah. Hal ini diakibatkan karena dengan sudut kemiringan semakin besar dan laju alir massa dan luas penampang tetap dibutuhkan waktu yang semakin lama oleh fluida untuk melewati *convergent grid*. Selain itu karena *convergent grid* memiliki sudut yang terpusat di sisi keluar sehingga aliran yang keluar dari masing-masing lubang *convergent grid* akan saling bertumbukan sehingga olakan atau turbulensi campuran bahan bakar akan semakin meningkat dan campuran bahan bakar biogas dan udara akan semakin homogen.

Pada saat campuran bahan bakar dan udara melewati *intake manifold* terjadi kerugian yang akan menyebabkan terjadinya penurunan tekanan (*pressure drop*), dimana kerugian tersebut dapat digolongkan menjadi dua, yaitu *minor losses* yang diakibatkan adanya peralatan tambahan dalam hal ini *convergent grid* dan *major losses* yang diakibatkan oleh faktor gesekan dengan dinding *intake manifold*.

Minor losses dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$h_{min} = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Nekrasov, 1969: 104}) \quad (2-4)$$

Major losses dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$h_{may} = f \frac{l v^2}{d 2g} \quad (\text{Nekrasov, 1969: 104}) \quad (2-5)$$

Dari persamaan Bernoulli didapatkan rumus *pressure drop* sebagai berikut:

$$\Delta P = \zeta \frac{v_1^2}{2g} + f \frac{l v_2^2}{d 2g} \quad (\text{Fox, 1994:12}) \quad (2-6)$$

Dimana : f = factor gesekan d = diameter pipa (m)

l = panjang pipa (m) v_1 = kecepatan fluida minor (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2) ζ = koefisien kerugian

ΔP = *pressure drop* (N/m^2) v_2 = kecepatan fluida mayor (m/s)

Dengan semakin rendah nilai kecepatan pada *minor losses* maka *pressure drop* yang terjadi semakin kecil. Hal ini akan menyebabkan perbedaan tekanan di depan silinder dengan di dalam silinder akan semakin tinggi, sehingga kecepatan campuran bahan bakar dengan udara yang masuk kesilinder semakin meningkat.

Dengan menggunakan persamaan kinetika gas di bawah ini, maka akan diketahui pengaruh kecepatan terhadap tekanan pada silinder. Persamaan kinetika gas adalah :

$$P = \frac{1}{3} \rho v^2 \quad (\text{Anonymous, 1998: 28}) \quad (2-7)$$

Dimana : P = tekanan (N/m²)

v = kecepatan (m/s)

ρ = densitas gas (kg/m³)

Dari persamaan (2-8) di atas dapat diketahui apabila kecepatan semakin meningkat maka tekanan dalam silinder akan semakin meningkat pula.

Berdasarkan persamaan keadaan gas ideal, yaitu :

$$PV = mRT \quad (\text{Turns, 1996: 10}) \quad (2-8)$$

Dimana : P = tekanan (N/m²)

V = volume (m³)

R = ketetapan gas spesifik (J/Kg.K)

m = massa molekul gas (Kg)

T = temperature (°K)

Dari persamaan (2-9) dapat disimpulkan apabila volume, ketetapan gas spesifik, dan temperatur konstan dan tekanan dalam silinder semakin meningkat, maka massa molekul gas dalam hal ini molekul campuran bahan bakar dan udara yang masuk juga akan semakin meningkat. Apabila massa molekul gas semakin meningkat, maka nilai kalor pembakaran bahan bakar biogas akan semakin meningkat pula, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$Q = m \cdot LHV_{\text{biogas}} \quad (\text{Heywood, 1988: 511}) \quad (2-9)$$

Dimana : Q = kalor pembakaran (kJ)

m = massa molekul gas (kg)

LHV_{biogas} = nilai pemanasan rendah biogas(kJ/kg)

Apabila nilai kalor pembakaran meningkat, maka akan meningkatkan kinerja dari motor bensin empat langkah seperti daya efektif, torsi, Efisiensi termal, dan akan menurunkan nilai dari SFCE dari motor bensin tersebut.

2.10 Parameter Kinerja Motor Bakar Torak

Suatu mesin dapat dikatakan efisien apabila diketahui keadaan paling ideal dari unjuk kerja mesin tersebut sehingga pemakaiannya dapat dilakukan dengan seefisien

mungkin. Untuk mengetahui keadaan yang ideal tersebut dapat diukur berdasarkan parameter-parameter kinerjanya (*performance*).

Parameter yang dicari pada penelitian ini yang digunakan sebagai parameter unjuk kerja adalah sebagai berikut :

a) Torsi (T)

Torsi merupakan momen putar yang dihasilkan oleh poros mesin. Besarnya torsi suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan alat yang disebut *Dynamometer Prony Brake* yang telah terangkai dengan peralatan utama. 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 :

$$T = F \cdot L \quad \text{atau}$$

$$T = \frac{716,2 Ne}{n} \quad (\text{Soenarta, 1985: 11}) \quad (2-10)$$

Dimana :

T = torsi yang dihasilkan (kgm)

F = besarnya beban pada timbangan (kg)

L = panjang lengan dynamometer (m)

Ne = Daya Efektif (PS)

N = Putaran

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 :

$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,2} \quad (\text{Petrovsky, 1968: 99}) \quad (2-11)$$

Dimana :

Ne = daya efektif (HP)

T = torsi (kgm)

ω = kecepatan anguler poros engkol (rad/s)

n = putaran poros engkol (rpm)

c) Konsumsi Bahan Bakar (FC)

Konsumsi bahan bakar merupakan banyaknya bahan bakar yang diperlukan mesin untuk bekerja selama satu jam. Besarnya konsumsi bahan bakar dapat dihitung dan dikonversikan ke dalam kg/jam dengan rumusan sebagai berikut :

$$FC = \frac{b}{t} \cdot \gamma \cdot t \cdot \frac{3600}{1000} \quad (\text{Anonymous, 1996: 10}) \quad (2-12)$$

Dimana :

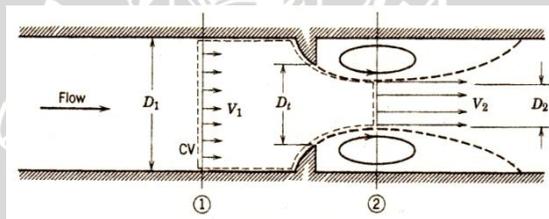
FC = konsumsi bahan bakar (kg/jam)

b = volume bahan bakar selama t detik (ml)

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

$\gamma \cdot t$ = berat spesifik bahan bakar bensin = 0,7356 kg/l

Konsumsi bahan bakar (Fc) untuk bahan bakar gas dapat diukur dengan cara mengukur beda tekanan pada saluran orifice yang terukur pada manometer U yang kemudian dikonversikan menjadi massa alir dengan mengaplikasikan persamaan kontinuitas dan Bernoulli seperti pada gambar 2.7 di bawah ini:



Gambar 2.7 Pengukuran beda tekanan pada orifice.
Sumber: Fox (1994: 360)

$$m_{\text{actual}} = \frac{C \times A_t}{1 - \beta^4} \frac{\sqrt{2\rho \Delta P}}{2\rho \Delta P} \quad (\text{Fox, 1994: 362}) \quad (2-13)$$

Dimana : C = discharge coefficient

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

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

$$\Delta P = \rho g \Delta h$$

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

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 selama 1 jam. Dapat juga diartikan Konsumsi bahan bakar spesifik efektif dapat dijadikan

ukuran ekonomis dan tidaknya pemakaian bahan bakar. Nilai ini didapatkan dengan rumusan sebagai berikut :

$$SFCE = \frac{FC}{Ne} \quad (\text{Petrovsky, 1968: 63}) \quad (2-14)$$

Dimana :

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

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

Ne = daya efektif (HP)

e) Efisiensi Termal Efektif (η_e)

Efisiensi termal efektif merupakan suatu ukuran untuk mengetahui ekonomis atau tidaknya dalam pemakaian bahan bakar. Seberapa efisien bahan bakar yang dapat dikonversi menjadi daya efektif poros. Dapat juga diartikan apabila konsumsi bahan bakar spesifik semakin menurun maka efisiensi termal efektif semakin meningkat. Efisiensi termal efektif dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_e = \frac{632 \cdot Ne}{FC \cdot Q_1} = \frac{632}{FC \cdot Ne \cdot Q_1} = \frac{632}{SFCE \cdot Q_1} \quad (\text{Petrovsky, 1968: 62}) \quad (2-15)$$

Dimana :

η_e = efisiensi termal efektif

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

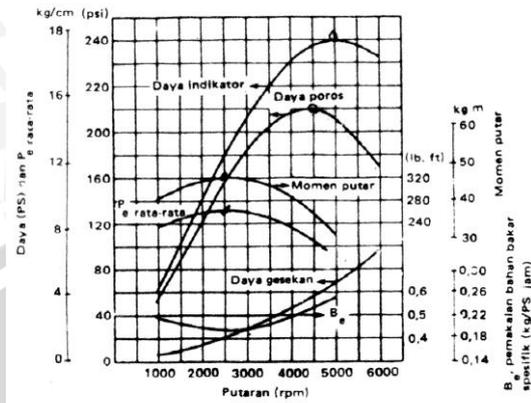
SFCE = konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg/HP.jam)

f) Emisi Gas Buang (Gas CO dan HC)

Setiap proses pembakaran akan menghasilkan gas sisa-sisa pembakaran seperti gas karbon monoksida (CO), dan hidrokarbon (HC). Gas CO merupakan gas yang berbahaya bagi makhluk hidup dikarenakan CO lebih reaktif daripada O_2 terhadap hemoglobin, sehingga apabila terhisap oleh sistem pernafasan manusia maka CO akan segera berikatan dengan hemoglobin (Hb) darah menggantikan oksigen (O_2) sehingga akan berpengaruh terhadap kesehatan. Batas maksimal kadar CO pada gas buang yaitu sebesar 2,5%. Sedangkan gas hidrokarbon (HC) merupakan senyawa yang tersusun dari hidrogen dan karbon. Hidrokarbon dapat juga diartikan sebagai bahan bakar yang tidak terbakar sempurna. Kadar HC pada emisi gas buang yang baik yaitu dibawah 300 ppm.

2.11 Grafik Karakteristik Kinerja Motor Bensin Empat Langkah

Grafik hubungan antara putaran dengan kinerja dari motor bensin dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.8 : Grafik Teoritis Karakteristik Kinerja Motor Bensin
Sumber : Aris Munandar (1988; 39)

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
HCl, ppm	500—1000	50—500	200—300	4000—,2000
Unburned fuel, % of supplied	4—6	2—4	2—4	20—60

Gambar 2.9 : Gambar Karakteristik Emisi Gas Buang Motor Bensin
Sumber : Marthur & Sharma (1980:625)

Pada gambar 2.8 dan 2.9 dapat dilihat beberapa karakteristik kinerja motor bensin secara teoritis sebagai berikut :

- Torsi

Seiring dengan peningkatan kecepatan maka nilai torsi akan semakin meningkat sampai pada putaran 3000 rpm, setelah itu grafik akan cenderung menurun pada kecepatan diatas 3000 rpm.

- Daya Efektif

Daya efektif akan semakin meningkat seiring dengan kecepatan yang semakin tinggi. Nilai daya efektif mencapai maksimal pada putaran 5000 rpm, setelah itu grafik akan cenderung menurun.

- Sfce
Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai SFCE akan mengalami penurunan seiring dengan peingkatan putaran. Nilai SFCE paling rendah terjadi pada putaran 3000 rpm, setelah itu grafik akan cenderung meningkat pada putaran diatas 3000 rpm.
- Efisiensi Termal
Efisiensi termal pada motor bensin secara teoritis mencapai maksimal pada kisaran putaran 3000 rpm dikarenakan efisiensi termal berbanding terbalik dengan besarnya SFCE.
- Emisi Gas CO dan HC
Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa emisi gas buang CO secara teoritis berkisar antara 1-4% pada putaran 1000-3000 rpm, sedangkan untuk gas HC sebesar 200-300 ppmvol pada kisaran putaran 1000-3000 rpm.

2.12 Hipotesis

Semakin besar sudut kemiringan *convergent grid*, maka intensitas turbulensi campuran bahan bakar biogas dan udara yang masuk ke ruang bakar akan semakin meningkat dan semakin homogen sehingga menyebabkan proses pembakaran menjadi sempurna, dari pembakaran yang sempurna tersebut akan menghasilkan peningkatan unjuk kerja motor bensin berbahan bakar biogas.