

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Harjono dan Soeadgihardo Siswanto (2006) melakukan penelitian dengan memberikan pengarah aliran (bilah *turbulator*) pada intake manifold sepeda motor terhadap emisi gas buang dan kebutuhan bahan bakar. Dari penelitian tersebut menghasilkan bahwa semakin sedikit bilah *turbulator* akan mengakibatkan aliran bahan bakar dan udara berpusar lebih baik, sehingga menurunkan kebutuhan bahan bakar dan mengurangi emisi gas buang CO.

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

Musa (2009) juga melakukan penelitian yang membandingkan kinerja motor bensin 4 langkah dengan menggunakan bahan bakar biogas dengan ditambah pemasangan *grid* pada *intake manifold* dan dari penelitian tersebut menghasilkan peningkatan yang signifikan terhadap kinerja motor bensin 4 langkah berbahan bakar biogas.

Wira (2009) melakukan penelitian dengan membandingkan perubahan sudut pengapian terhadap kinerja motor bensin 4 langkah berbahan bakar biogas. Dari penelitian ini dihasilkan bahwa sudut pengapian yang optimal untuk motor bensin 4 langkah berbahan bakar biogas adalah sebesar 39° sebelum TMA. Hal ini dilihat dari peningkatan kinerja dan berkurangnya emisi gas buang (CO).

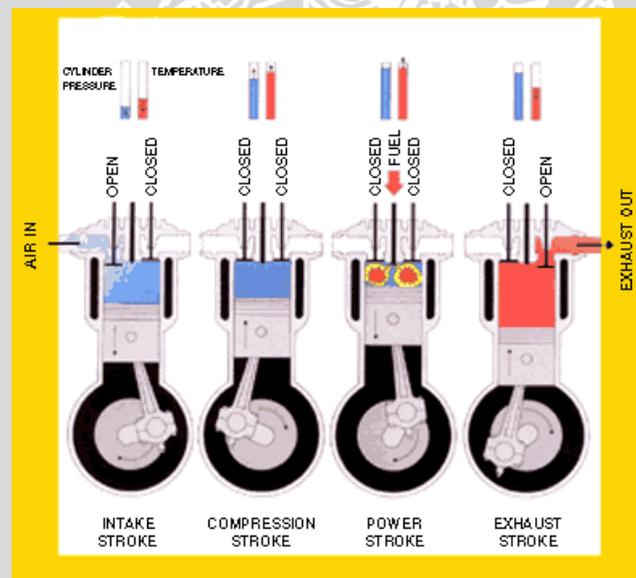
Pada penelitian ini, melakukan penelitian menggunakan motor bakar 4 langkah yang menggunakan bahan bakar biogas sehingga dimodifikasi dengan tambahan *mixer* sebagai pemasukan bahan bakar biogasnya dan ditambahkan dengan *convergent turbulator* yang dipasang antara *mixer* dan *intake manifold* dimana diharapkan akan meningkatkan kinerja motor bakar 4 langkah dan mengurangi emisi gas buang. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya jumlah lubang pada *convergent turbulator* akan meningkatkan intensitas turbulensi, sehingga campuran antara bahan bakar dan udara semakin homogen yang mengakibatkan pembakaran sempurna pada ruang bakar.

2.2 Motor Bensin (Otto)

Menurut Bosch (2001), motor bensin pembakaran dalam menggunakan siklus Otto. Sistem pengapian membakar campuran udara dan bahan bakar dan dalam prosesnya mengubah energi kimia pada bahan bakar menjadi energi kinetik. Hasil dari pembakaran menyebabkan piston menghasilkan gerakan bolak-balik (*reciprocating*) di dalam silinder, sedangkan *connecting rod* mengubah gerakan bolak-balik pada piston menjadi gerak putar pada poros engkol yang kemudian diteruskan menuju roda gila. Kecepatan putar poros engkol disebut juga kecepatan mesin (*engine speed*) atau kecepatan putar mesin per menit (*engine rpm*).

2.2.1 Siklus Ideal Motor Bensin Empat Langkah

Untuk mempermudah analisa kinerja maka siklus yang digunakan adalah siklus ideal. Menurut Pulkrabek (1997) siklus kerja motor bensin empat langkah adalah dalam dua kali putaran poros engkol menghasilkan satu kali kerja dan dalam dua kali putaran poros engkol tersebut terjadi beberapa langkah seperti yang terlihat pada gambar 2.1, yaitu



Gambar 2.1 Skema Langkah Kerja Motor Bakar Empat Langkah
Sumber: <http://lh5.ggpht.com.principle%5B2%5D.gif>

a). Langkah Isap

Langkah isap merupakan langkah torak yang bergerak dari TMA ke TMB. Dari langkah tersebut maka katup hisap akan terbuka dan katup buang akan tertutup sehingga campuran bahan bakar dengan udara yang telah tercampur dalam

karburator, dihisap dan masuk ke dalam silinder. Kemudian saat torak tepat berada di TMB maka katup hisap akan tertutup.

b). Langkah Kompresi

Langkah kompresi merupakan proses Bergeraknya torak dari TMB ke TMA dengan katup hisap dan katup buang kedua-duanya tertutup. Sehingga campuran udara dan bahan bakar yang telah dihisap tidak dapat keluar pada waktu ditekan oleh torak yang mengakibatkan tekanan dan temperature campuran udara dan bahan bakar akan meningkat. Beberapa saat sebelum torak mencapai TMA, busi mengeluarkan percikan bunga api listrik. Pembakaran campuran udara dan bahan bakar berlangsung dalam waktu yang (berlangsung dalam proses yang mendekati proses volume konstan). Pembakaran yang berlangsung di akhir langkah kompresi akan mendorong torak dari TMA ke TMB.

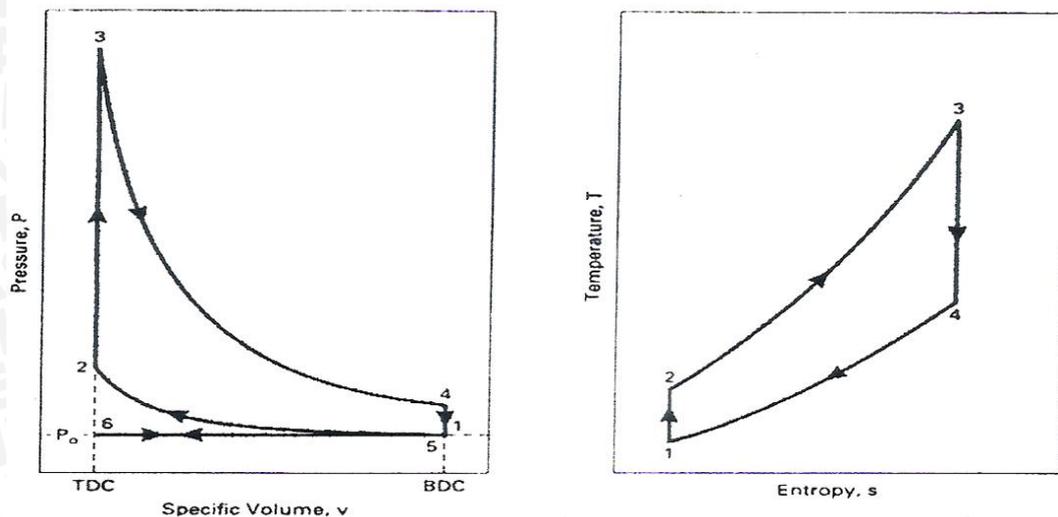
c). Langkah Kerja

Torak bergerak dari TMA ke TMB, pada saat bersamaan kedua katup masih dalam keadaan tertutup. Gas yang terbakar tadi dengan temperature dan tekanan yang tinggi akan mengembang kemudian menekan dan memaksa torak turun ke bawah (TMA ke TMB), saat itulah pertama kali energy panas berubah menjadi energy mekanis, yang selanjutnya disalurkan melalui batang penggerak dan poros engkol menjadi gerak berputar.

d). Langkah Buang

Pada langkah ini katup buang terbuka dan katup masuk tertutup. Torak bergerak dari TMB ke TMA untuk mendorong gas sisa hasil pembakaran untuk keluar menuju udara bebas melalui katup buang.

Siklus kerja pada motor bensin empat langkah disebut juga dengan siklus volume konstan dikarenakan pemasukan dan pembuangan kalor dilakukan terjadi pada volume konstan. Adapun dari langkah kerja yang telah dijelaskan di atas, apabila digambarkan dalam bentuk diagram P vs v dan T vs s dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Diagram P - v dan T - s Pada 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*).
- 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*)

Karena 0-1 dan 1-0 bukan merupakan proses termodinamika maka yang tersisa adalah proses 1-2-3-4 yang disebut juga dengan siklus Otto.

2.2.2 Waktu Pengapian

Pengertian waktu pengapian adalah waktu terjadinya loncatan bunga api pada busi saat akhir langkah kompresi, sehingga terjadi pembakaran di ruang bakar. Waktu pengapian dinyatakan dengan sudut yang merupakan perbandingan posisi piston saat terjadi loncatan bunga api pada busi dengan posisi paling atas yang dicapai piston (TMA). Saat posisi piston berada di TMA merupakan sudut 0° waktu pengapian. Bila waktu pengapian terjadi sebelum piston mencapai TMA, sudut pengapian dinyatakan

positif. Begitu pula sebaliknya dinyatakan negatif bila posisi piston telah melewati TMA.

Penentuan waktu pengapian yang tepat tergantung pada bahan bakar, kecepatan dan beban mesin. Supaya dihasilkan tenaga motor yang optimal maka untuk nilai oktan bahan bakar yang tinggi, sudut pengapiannya harus diubah menjadi lebih besar begitu pula sebaliknya untuk nilai oktan rendah. Bila waktu pembakaran bahan bakar yang masuk konstan dan perbandingan campuran bahan bakar konstan maka waktu pengapian harus dimajukan sesuai dengan kenaikan kecepatan mesin. (Yusuf, 2010:2)

2.3 *Intake Manifold*

Pada motor bensin, *intake manifold* merupakan suatu saluran yang menghubungkan antara kaburator dan ruang bakar, dimana memiliki fungsi utama untuk menyalurkan campuran bahan bakar dan udara dari kaburator menuju ruang bakar. Campuran bahan bakar dan udara yang melalui *intake manifold* diharapkan memiliki pencampuran yang baik, sehingga ukuran diameter dan panjang *intake manifold* haruslah seimbang, tidak terlalu panjang atau terlalu pendek.

2.4 *Pembakaran*

Pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen yang menghasilkan panas bertemperatur tinggi. Proses pembakaran bisa berlangsung jika terdapat bahan bakar, pengoksidasi (oksigen/udara), dan panas atau energi aktivasi. Panas atau energi aktivasi sendiri, diperlukan untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar.

Secara umum, pembakaran merupakan reaksi kimia eksotermis. Menurut Wardana (2008) pembakaran adalah proses lepasnya ikatan-ikatan kimia lemah bahan bakar akibat pemberian energi tertentu dari luar menjadi atom-atom bermuatan yang aktif, kemudian bereaksi dengan oksigen membentuk ikatan molekul-molekul kuat yang menghasilkan panas dalam jumlah sangat besar dan cahaya.

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, elemen yang dapat terbakar lain biasanya terkandung meskipun tidak diinginkan dalam bahan bakar adalah sulfur (Maalev, 1973: 69).

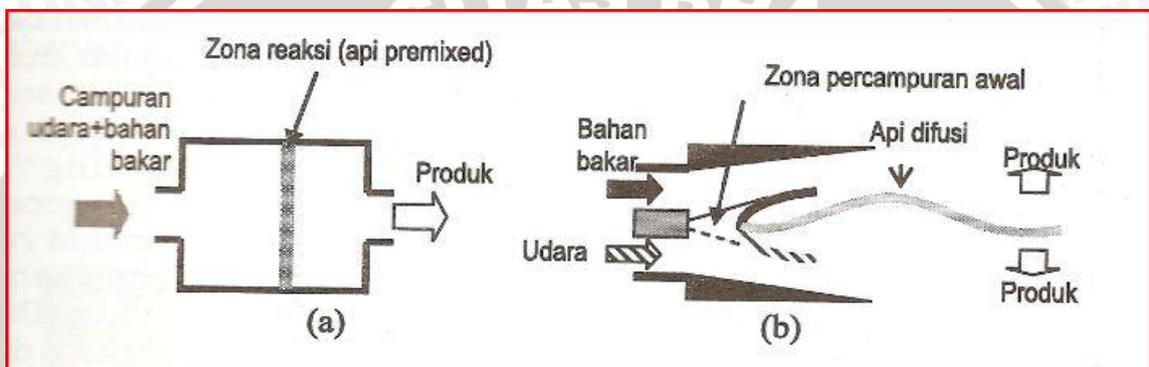
Jika ditinjau secara aerodinamika, pembakaran dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

1. Pembakaran *Premixed*

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

2. Pembakaran Difusi

Pembakaran difusi terjadi apabila reaktan tidak bercampur sebelum terbakar, pencampuran bahan bakar dan udara yang terjadi adalah akibat dari difusi molekul. Contohnya adalah pembakaran lilin.



Gambar: 2.3 Cara reaktan terbakar. (a) pembakaran premix; (b) Pembakaran difusi
Sumber: Wardana (2008:149)

Pada proses pembakaran selalu diusahakan untuk terjadinya pembakaran yang sempurna, karena itu ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu :

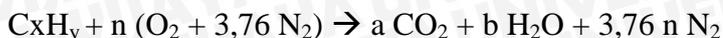
1. Penguapan yang efisien dari bahan bakar.
2. Digunakan cukup udara .
3. Harus terjadi campuran yang homogen antara bahan bakar dan udara.
4. Temperatur pembakaran harus cukup tinggi.

Jika salah satu syarat ini tidak dipenuhi maka tidak akan terjadi pembakaran sempurna. (Soetiari,1990:35).

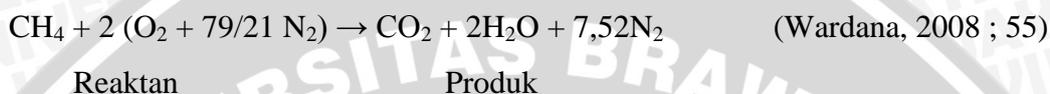
2.4.1 Pembakaran Stoikhiometrik

Stoikhiometrik adalah ilmu yang mempelajari dan menghitung hubungan kuantitatif dari reaktan dan produk dalam reaksi kimia. Pengoksidasi yang paling lazim adalah udara, dimana 100% volume udara untuk berbagai keperluan dapat dianggap sebagai campuran dari 21% Oksigen dan 79% Nitrogen. Pada motor otto, karena pembakaran yang terjadi merupakan reaksi oksidasi antara senyawa hidrokarbon dengan

oksigen, sehingga dihasilkan produk yang berupa karbondioksida, uap air, atau lainnya yang persentasenya bergantung pada kualitas pembakaran. Persamaan reaksi pembakaran teoritis antara hidrokarbon dan udara dapat dinyatakan sebagai berikut:



Sebuah contoh persamaan kimia dari pembakaran komponen utama pada biogas yakni metana (CH₄) dengan udara pada kondisi stoikiometrik adalah :



Pada kenyataannya, pembakaran bahan bakar tersebut sulit didapatkan keadaan yang sempurna sehingga pasti ada sebagian kecil bahan bakar yang tidak terbakar.

2.4.2 Pembakaran Pada Motor Bensin Empat Langkah

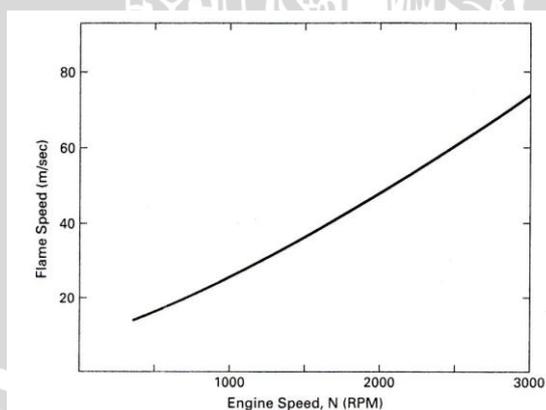
Pembakaran pada mesin motor bensin merupakan jenis pembakaran *premixed*. Hal ini terjadi karena sebelum masuk ke ruang bakar, antara bahan bakar dan udara dicampur terlebih dahulu di dalam kaburator, sehingga bahan bakar akan mengabut (*droplet*) dan mengalir ke ruang bakar melalui *intake manifold*. Pembakaran memegang peranan penting karena manfaat yang diberikan oleh motor bakar tergantung pada proses pembakaran, sehingga kondisi pembakaran yang terjadi sangat menentukan unjuk kerja motor bakar itu sendiri.

Untuk menghasilkan proses pembakaran yang baik pada pembakaran *premixed*, campuran antara udara dan bahan bakar harus homogen. Artinya bahwa semua bahan bakar harus dapat bercampur dengan udara. Namun dalam kenyataannya campuran yang homogen ini sulit untuk didapatkan. Oleh sebab itu, agar didalam ruang bakar terjadi campuran antara bahan bakar dan udara yang lebih homogen, maka selama udara dan bahan bakar mengalir melalui *intake manifold* homogenitasnya harus ditingkatkan. Hal ini dapat dilakukan dengan mencampur sebaik mungkin antara bahan bakar dan udara dalam *intake manifold* menjadi bopasar. Menurut Wardana (2008) suatu aliran yang bopasar, memiliki kemampuan pengadukan yang jauh lebih tinggi, sehingga pencampuran menjadi efektif dan membuat pembakaran menjadi lebih baik.

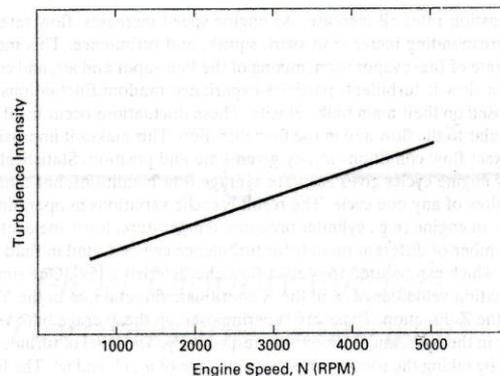
2.4.3 Pengaruh Turbulensi Pada Pembakaran

Dalam penyalaan motor bensin 4 langkah, diperlukan bantuan dari alat lain yang berupa loncatan bunga api yang berasal dari busi. Pada penyalaan akan terbentuk *flame front* yang bergerak maju melalui campuran dan titik penyalaan. Temperatur pada proses pembakaran dapat mencapai 2100-2500 K (Arends, 1996:60). Aliran yang turbulen akan mempercepat rambatan api, dimana kecepatan nyala api aliran turbulen bergantung dari intensitas turbulensi yang terjadi. Karena rambatan api yang semakin cepat, maka untuk menghasilkan energy panas yang lebih besar membutuhkan waktu yang lebih singkat jika dibandingkan dengan aliran dengan intensitas turbulensi rendah. Gambar grafik yang menunjukkan pengaruh antara putaran mesin dengan kecepatan pembakaran dapat dilihat pada gambar 2.4.

Saat langkah kompresi, pembakaran dalam ruang bakar tidak terjadi seketika, tetapi membutuhkan sedikit waktu dari saat awal penyalaan api oleh busi sampai campuran udara dan bahan bakar terbakar habis. Setelah busi menyala, loncatan listrik dari busi merambat kesegala arah dengan kecepatan yang tinggi dan menyalakan campuran yang dilaluinya, sehingga tekanan gas dalam ruang bakar meningkat sesuai dengan tingkat campuran yang terbakar. 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 lebih tinggi.



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



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

Berdasarkan pada gambar 2.5 diatas, apabila kecepatan mesin meningkat, maka kecepatan aliran campuran gas yang masuk ke dalam silinder akan meningkat pula. Hal ini akan menyebabkan terjadinya olakan dan turbulensi aliran. Hasil dari adanya aliran yang turbulen tersebut akan dapat mempercepat penguapan gas, sehingga memperbaiki campuran bahan bakar dan udara, serta mempercepat proses pembakaran (Pulkrabek ; 1997:207).

2.5 Biogas

2.5.1 Pengertian

Biogas dibentuk dari hasil 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 bebas. Biogas mempunyai sifat mudah terbakar dengan warna nyala biru, tidak beracun dan memiliki nilai kalori $2,24 \times 10^4 \text{ J/m}^3$. 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. Berat jenis gas metana 0,554, kelarutannya dalam air rendah, pada suhu 20°C dan tekanan 1 atm hanya 3 bagian gas metana yang larut dalam 100 bagian air. Gas metana termasuk gas yang stabil (Buren, 1979).

2.5.2 Proses Pembuatan Biogas

Bahan baku dari biogas dapat berasal dari material organik berupa kotoran manusia, kotoran hewan dan tumbuhan. Bahan baku tersebut diuraikan oleh bakteri pengurai metanogen pada sebuah biodigester. Bakteri methanogen secara alami dapat

diperoleh dari berbagai sumber seperti: air bersih, endapan air laut, sapi, kambing, lumpur (*sludge*) kotoran anaerob ataupun TPA (Tempat Pembuangan Akhir). Biogas terbentuk pada hari ke 14 – 15 sesudah biodigester terisi penuh, dan mencapai puncak pada hari ke 20 – 25, Biogas yang dihasilkan oleh biodigester sebagian besar terdiri dari 50 – 70% metana (CH_4), 30 – 40% karbondioksida (CO_2), dan gas lainnya dalam jumlah kecil.

Ada 3 tahap dalam pembuatan biogas (Price dan Cheremisinof, 1981), yaitu:

Tahap 1 : Pemecahan polimer

Pada tahap ini sekelompok mikroorganisme akan menguraikan substrat organik. Penguraian ini dilakukan oleh berbagai jenis bakteri. Bakteri yang berperan antara lain memiliki enzim selulolitik, lipolitik dan proteolitik. Enzim yang dihasilkan ini mempercepat hidrolisa polimer menjadi monomer larut yang merupakan substrat bagi mikroorganisme tahap kedua. Pada proses ini kemungkinan penurunan pH bisa terjadi dikarenakan terbentuknya asam organik. Hal ini perlu distabilkan dengan penambahan larutan kapur. Apabila bakteri tahap 2 dan tahap 3 telah bekerja dan reaksi dalam kesetimbangan maka pH sistem berkisar tujuh.

Tahap 2 : Pembentukan asam organik

Bakteri pada tahap ini menghasilkan asam-asam organik yang dibentuk dari senyawa monomer larut. Hasil terbesar dari bakteri asetogenik ini ialah asam asetat, propionat dan asam laktat. Bakteri metanogenik sebagian besar hanya memanfaatkan asam asetat. Beberapa spesies bakteri metanogenik dapat memproduksi metan dari gas hydrogen dan karbondioksida, yang mana bahan ini terproduksi selama dekomposisi karbohidrat.

Tahap 3 : Produksi metan

Bakteri metanogenik sangat peka terhadap lingkungan. Dikarenakan bakteri ini harus dalam keadaan anaerob, maka sejumlah kecil oksigen dapat menghalangi pertumbuhannya. Bukan hanya itu, bakteri ini juga kekal terhadap senyawa yang memiliki tingkat oksidasi tinggi seperti nitrit dan nitrat. Bakteri ini juga peka terhadap perubahan pH. Kisaran pH optimal untuk memproduksi metan adalah 7,0 – 7,2, namun gas masih terproduksi dalam kisaran 6,6 – 7,6. jika pH dibawah 6,6 akan menjadi faktor pembatas bagi bakteri dan pH dibawah 6,2 akan menghilangkan kemampuan bakteri metanogenik. Dalam keadaan demikian bakteri asetogenik tetap aktif hingga pH 4,5 – 5,0, sehingga diperlukan buffer untuk menetralkan pH.

Selain bahan baku dari pembuatan biogas, yang memegang peranan penting dalam membuat biogas adalah tipe digester. Ada 3 tipe digester yang telah dikembangkan, yaitu:

1. *Fixed dome plant* yang selama ini banyak dikembangkan di Negara Cina.
2. *Floating drum plant* yang banyak ditemukan di India dengan bahan plastic sebagai tempat untuk menampungnya.
3. *Baloon plant* yang banyak ditemukan di Taiwan, Vietnam dan Kamboja.

Dari semua digester yang ada, memiliki bagian-bagian yang berguna dalam proses pembuatan biogas yaitu antara lain :

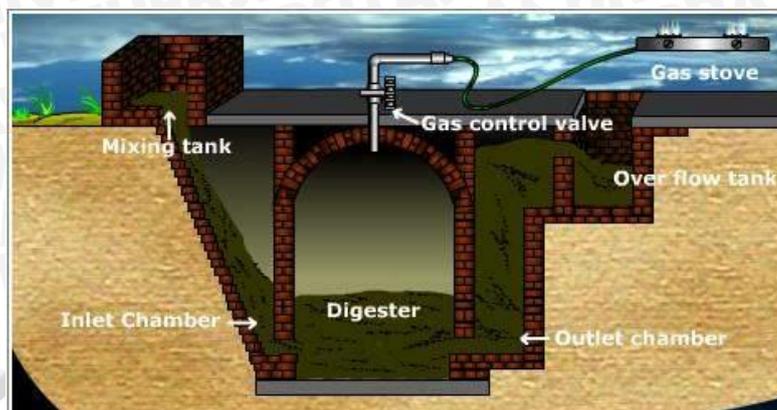
1. Saluran masuk
2. Saluran keluar residu
3. Sistem pengaduk
4. Saluran biogas
5. Tangki penyimpan gas

Pada penelitian ini menggunakan bahan baku berupa kotoran hewan, khususnya kotoran sapi perah yang telah dicampur dengan urin dan air. Kemudian kotoran tersebut diaduk dalam kolam pengaduk sampai tercampur merata (sampai halus) lalu dialirkan ke dalam saluran masuk digester. Di dalam digester terjadi proses fermentasi anaerob dengan dibantu bakteri pengurai methanogen. Lalu didiamkan sampai tekanan dalam digester cukup tinggi berdasarkan manometer yang telah dipasang. Setelah tekanan dalam digester cukup tinggi maka saluran biogas dapat dibuka untuk digunakan.

Digester yang digunakan bertipe *fixed dome plant*, dimana biodigester ini memiliki volume tetap sehingga produksi biogas yang terus menerus akan meningkatkan tekanan dalam penampung gas. Ketika gas mulai terbentuk, maka gas akan menekan slurry bak slurry, maka pada konstruksinya gas yang terbentuk segera dialirkan ke perangkat lain yang membutuhkan dan seluruh instalasinya ditanam dalam tanah yang mendukung perkembangan bakteri methanogen.

Keuntungan dari tipe digester ini adalah tidak ada bagian yang dipindah-pindah sehingga dalam proses kerjanya tidak perlu melakukan perubahan struktur instalasi. Karena ditanam di dalam tanah, sehingga tidak memerlukan tempat yang khusus dalam instalasinya dan terlindung dalam berbagai cuaca. Tetapi dari beberapa keuntungan di atas, ada juga kekurangan dari tipe digester ini yaitu jika terjadi kebocoran, maka untuk mengidentifikasinya sedikit susah karena berada dalam tanah. Tekanan gas yang

dihasilkan berubah-ubah karena tidak ada katup tekanan yang mengatur tekanan dalam digester.



Gambar 2.6. *fixed dome plant*

Sumber : <http://images.tutorvista.com/content/fission-and-fusion/fixed-dome-biogas-plant.jpeg>

2.5.3 Komposisi dan nilai kalor biogas

Dalam komposisi biogas yang ada, gas metana (CH_4) adalah yang paling dominan, kemudian kandungan karbondioksida (CO_2) berada sedikit di bawah komposisi gas metana, sedangkan gas-gas sisanya dalam komposisi yang relatif sedikit. Dalam hal ini, bagian yang paling berguna dari biogas dalam kaitannya dengan energi adalah nilai kandungan kalor dari kandungan CH_4 . Komposisi actual biogas dapat dilihat pada lampiran 2.

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 yang menggunakan biogas sebagai bahan bakar. Nilai kalor biogas dapat dihitung dengan persamaan :

$$LHV_{\text{biogas}} = \frac{V_{\text{CH}_4}}{V_{\text{total}}} \times LHV_{\text{CH}_4} \times \rho_{\text{CH}_4} \quad (\text{Mitzlaff, 1988: 26}) \quad (2-1)$$

Dimana: LHV_{biogas} = nilai kalor biogas (kJ/m^3)

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

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

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

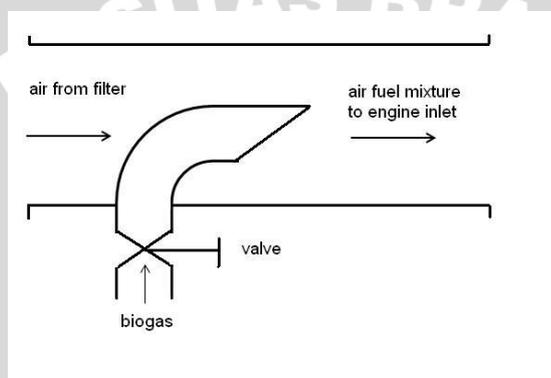
ρ_{CH_4} = massa jenis CH_4 (kg/m^3)

2.6 Modifikasi Motor Bensin Empat 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 menambahkan 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 2.7 *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.

2.7 Paramater Kinerja Motor Bakar

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

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

2.7.1 Torsi (T)

Dengan menggunakan Dynamometer Prony Brake yang telah terangkai dengan peralatan utama, yaitu menghubungkannya dengan poros mesin, besarnya Torsi dapat

diketahui. Dari pengukuran torsi dengan alat ini didapatkan data besarnya beban yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk.

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

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

Dengan :

T = torsi yang dihasilkan (kgm)

F = besarnya beban pada timbangan (kg)

L = panjang lengan dynamometer (m)

2.7.2 Daya Efektif / Daya Poros (Ne)

Daya efektif adalah daya 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 :

$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716.2} \quad (\text{Petrovsky; 1968: 99}) \quad (2-3)$$

Dengan :

Ne = daya efektif (HP)

T = torsi (kgm)

ω = kecepatan anguler poros engkol (rad/s)

n = putaran poros engkol (rpm)

2.7.3 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 :

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

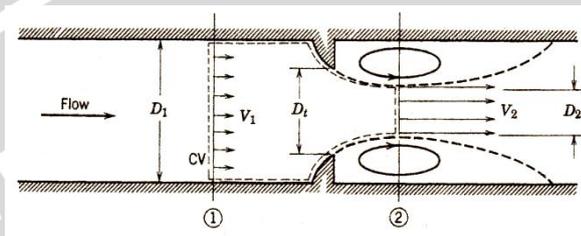
Dengan :

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

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

N_e = daya efektif (HP)

Apabila bahan bakar yang digunakan berupa gas, maka untuk mengetahui konsumsi bahan bakar (FC) diperoleh dengan cara 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 berdasarkan pada gambar 2.8 dan persamaan 2-5.



Gambar 2.8 *Internal flow* melewati *nozzle*
Sumber : Fox, Robert W ; 1994 :360

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

Dimana : C = *discharge coefficient*

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

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

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

Sehingga : (FC) = $\dot{m}_{\text{actual}} \times 3600$

2.7.4 Efisiensi Termal Efektif (η_t)

Efisiensi termal efektif (η_t) 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 :

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

Dengan :

η_e = efisiensi termal efektif

Q_1 = nilai kalor bahan bakar (kcal/kg)

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

2.7.5 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 karbonmonoksida maksimal pada emisi gas buang yang diijinkan adalah 4,5% (Peraturan menteri negara lingkungan hidup no 5 tahun 2006).

2.7.6 Hidrokarbon (HC)

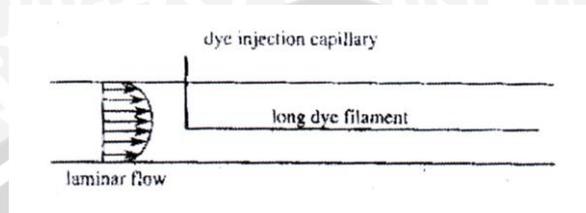
Hidrokarbon (HC) merupakan gas yang tidak begitu merugikan manusia, akan tetapi merupakan penyebab terjadinya kabut campuran asap. Dalam kimia organik, hidrokarbon adalah sebuah senyawa organik yang terdiri sepenuhnya dari hidrogen dan karbon. Pancaran hidrokarbon yang terdapat pada gas buang berbentuk gasoline yang tidak terbakar, Hidrokarbon terdapat pada proses penguapan bahan bakar pada tangki, karburator, serta kebocoran gas yang melalui celah antara silinder dan torak yang masuk ke dalam poros engkol. Kadar HC yang baik dalam gas buang adalah kurang dari 300 ppm (Peraturan menteri negara lingkungan hidup no 5 tahun 2006).

2.8 Aliran Laminer dan Turbulen

Berdasarkan karakteristik struktur internal aliran, aliran fluida dapat dibedakan menjadi aliran laminer dan turbulen. Aliran laminer adalah aliran fluida yang memiliki *stream line* teratur dan tidak saling berpotongan antara satu dengan yang lain, yang bergerak mengikuti arah kontur dari saluran. Pada aliran laminer lapisan-lapisan atau lamina-lamina fluida bergerak secara lancar dan teratur, dengan tidak ada pencampuran partikel fluida dalam skala besar antara lapisan-lapisan fluida.

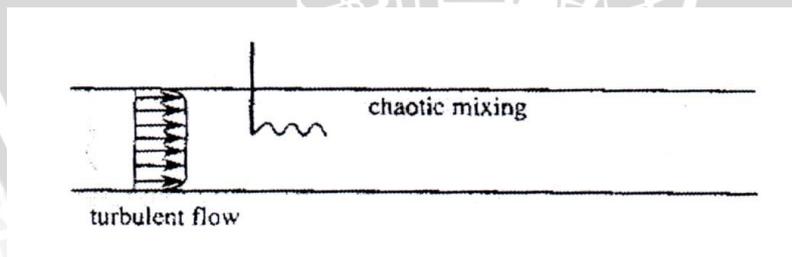
Fluida memiliki aliran laminer ketika fluida bergerak dengan kecepatan rendah dan memiliki viskositas yang tinggi. Aliran laminer memiliki angka *Reynold* lebih kecil

dari 2300. Pada aliran laminar kecenderungan untuk turbulensi diredam oleh gaya viskos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif lapisan fluida yang berdekatan. Hal tersebut ditunjukkan oleh percobaan Osborne Reynold. Pada laju aliran rendah, aliran laminar tergambar sebagai filamen panjang yang mengalir sepanjang aliran sebagaimana yang ditunjukkan oleh gambar 2.9.



Gambar 2.9 : Aliran Laminar
Sumber : Papanastasiou, Tasos C.1993 : 26

Aliran Turbulen adalah aliran fluida dimana *stream line* bergerak secara acak ke segala arah dan saling berpotongan antara satu dan yang lain. Hal ini dikarenakan pada aliran turbulen memiliki partikel-partikel fluida yang bergerak secara acak dengan saling tukar momentum dan partikel antar lapisan fluida yang berdekatan dalam skala besar. Karena pada aliran turbulen terjadi pertukaran partikel dalam skala besar, maka fluida bergerak ke segala arah, dan terjadi pembauran aliran fluida. Oleh Osborne Reynold digambarkan sebagai bentuk fluida yang bercampur dalam waktu cepat yang selanjutnya memecah dan menjadi tidak terlihat sebagaimana yang ditunjukkan oleh gambar 2.10.



Gambar 2.10 : Aliran Turbulen
Sumber : Papanastasiou, Tasos C.1993 : 26

Dalam aliran laminar *losses* pada aliran sebanding dengan kecepatan fluida, tetapi untuk aliran turbulen *losses* sebanding dengan kecepatan fluida pangkat 1,7-2,0. Hal ini membuktikan bahwa pada aliran turbulen cenderung menghasilkan *losses* yang lebih besar.

2.9 *Convergent Turbulator*

Turbulator adalah alat atau penghalang yang berfungsi untuk menciptakan turbulensi pada aliran fluida. *Turbulator* merupakan suatu penghalang yang akan mengubah orientasi dari aliran fluida sehingga akan terjadi aliran sekunder (*secondary flow*) dalam aliran tersebut. Dengan adanya aliran sekunder dalam aliran utama, maka pada aliran tersebut akan terjadi *vortex* yang merupakan awal dari terjadinya turbulensi dalam aliran. Dengan adanya *vortex* tersebut akan meningkatkan difusifitas pusaran pada aliran tersebut.

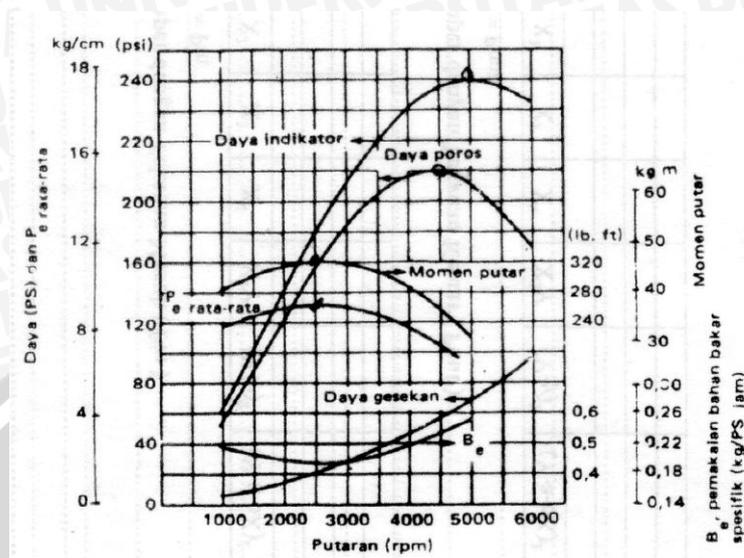
Convergent turbulator merupakan *turbulator* dengan ketebalan dan lubang berdiameter tertentu yang memiliki sudut kemiringan terpusat dibagian sisi keluar agar aliran yang melewati lubang *turbulator* akan terjadi peningkatan kecepatan dan penurunan tekanan dikarenakan adanya pengecilan penampang aliran.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

Ketika campuran bahan bakar dan udara keluar melalui lubang-lubang *convergent turbulator*, 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 turbulator* 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.

2.10 Grafik Teoritis Karakteristik Kinerja Motor Bakar

Grafik teoritis karakteristik kinerja motor bakar bisa dilihat pada gambar 2.11 –

2.12 berikut ini:



Gambar 2.11 Grafik teoritis karakteristik kinerja motor bensin.

Sumber: Arismunandar (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
HC, ppm	500–1000	50–500	200–300	4000–,2000
Unburned fuel, % of supplied	4–6	2–4	2–4	20–60

Gambar 2.12 Gambar karakteristik emisi gas buang pada motor bensin.

Sumber: Mathur & Sharma (1980: 625)

Terlihat dalam gambar 2.11-2.12 di atas beberapa karakteristik kinerja motor bakar sebagai berikut:

1. Torsi (T)

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 (N_e)

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 (SFC_e / B_e)

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_e)

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.

2.11 Hipotesis

Semakin banyak jumlah lubang *convergent turbulator*, maka turbulensi yang dihasilkan pada campuran udara dan bahan bakar saat masuk ruang bakar akan meningkat, sehingga campuran bahan bakar dan udara semakin homogen yang menyebabkan pembakaran yang sempurna, oleh karena pembakaran yang sempurna tersebut akan meningkatkan kinerja motor bakar.