

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyediaan energi saat ini masih mengutamakan pada penggunaan minyak bumi, gas bumi dan berbagai sumber bahan bakar fosil lainnya. Penggunaan bahan bakar fosil untuk berbagai kebutuhan mengakibatkan eksploitasi besar-besaran terhadap sumber energi ini. Mengingat bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang tak terbarukan dan penggunaannya yang secara besar-besaran tersebut, maka dikhawatirkan akan menimbulkan krisis energi.

Untuk mengatasi masalah krisis energi tersebut, usaha menggunakan energi alternatif yang mampu menggantikan peran dari bahan bakar fosil pada motor bensin telah banyak dilakukan, salah satunya oleh Purba (2009) yang melakukan penelitian dengan 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 bensin.

Biogas sendiri merupakan produk dari dekomposisi biologis dalam kondisi bebas oksigen dari bahan-bahan organik (umumnya limbah) seperti tumbuh-tumbuhan, ampas kayu, kotoran manusia dan kotoran hewan. Reaktor tempat terjadinya proses dekomposisi berlangsung dinamakan *anaerob digester*. Biogas memiliki karakteristik yang berbeda dari bahan bakar minyak, dalam hal ini bensin, yang mana biogas tidak dapat langsung digunakan pada motor bensin. Beberapa modifikasi perlu dilakukan terlebih dahulu terhadap motor. Setelah biogas dapat diterapkan pada kendaraan bermotor, perlu diperhatikan pada proses pembakaran yang terjadi. Apabila pembakaran berlangsung tidak sempurna, selain menimbulkan pencemaran udara akibat zat berbahaya yang terkandung pada gas buang, pembakaran yang tidak sempurna juga dapat membuat unjuk kerja mesin menjadi rendah. Usaha pemasangan *convergent grid* pada *intake manifold* motor bensin berbahan bakar biogas, telah dilakukan oleh Musa (2009) untuk mengatasi hal tersebut, dimana pemasangan *convergent grid* tersebut bertujuan untuk meningkatkan homogenitas campuran antara bahan bakar dan udara dengan membuat alirannya menjadi berolak atau turbulen, sehingga proses pembakaran yang terjadi akan lebih baik.

Untuk memperoleh hasil maksimal terhadap penggunaan *convergent grid* pada motor bensin berbahan bakar biogas, maka dalam skripsi ini diteliti letak *convergent grid* pada *intake manifold*, yaitu *convergent grid* yang diletakkan pada posisi depan yakni pada ujung *intake manifold* dekat *mixer* dan *convergent grid* yang diletakkan pada posisi belakang yakni pada ujung *intake manifold* sebelum masuk silinder. Dengan adanya variasi letak *convergent grid* tersebut, maka diharapkan mendapat letak yang paling optimal terhadap kinerja motor dan emisi gas buang yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat disimpulkan suatu permasalahan yaitu:

- Bagaimana pengaruh variasi letak *convergent grid* pada *intake manifold* 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. Jenis mesin yang digunakan adalah jenis motor bensin empat langkah satu silinder.
2. Bahan bakar biogas yang digunakan adalah biogas dengan berbahan dasar kotoran sapi hasil dari penguraian bakteri *anaerob*.
3. Perubahan kondisi lingkungan selama penelitian dianggap konstan.
4. Material *convergent grid* yang digunakan berupa paduan aluminium.
5. Properties aliran sebelum dan sesudah melewati *convergent grid* tidak diamati.
6. Prosentasi komposisi gas penyusun biogas yang digunakan selama penelitian dianggap tetap.

1.4 Tujuan Penelitian

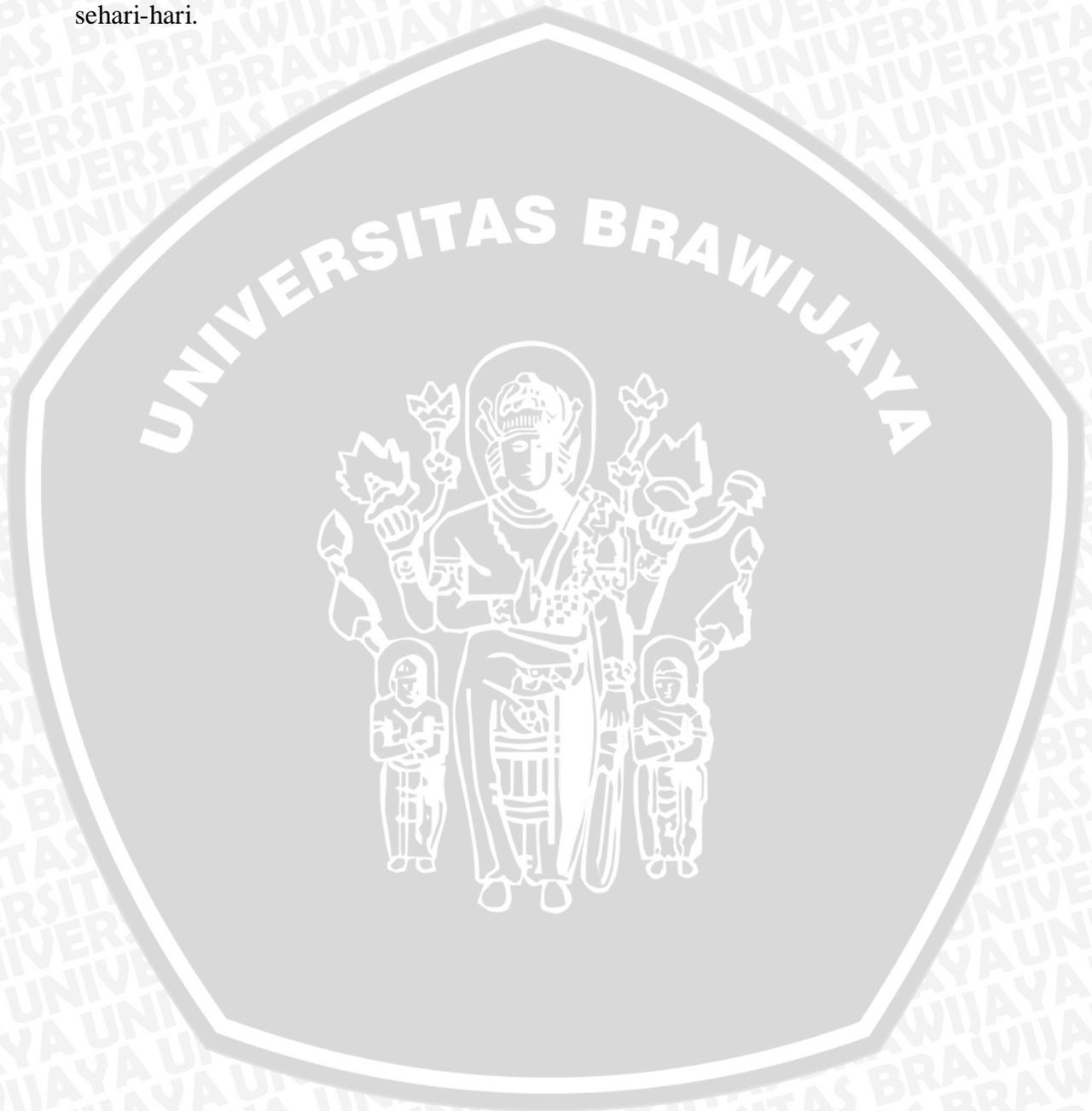
Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah mengetahui bahwa variasi letak *convergent grid* dapat mempengaruhi kinerja motor bensin berbahan bakar biogas.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat dijadikan sebagai referensi tambahan bagi mahasiswa teknik mesin dalam penelitian-penelitian selanjutnya.

2. Memberikan informasi pada dunia industri otomotif tentang salah satu usaha penggunaan energi alternatif pada sepeda motor satu silinder.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi mengenai cara peningkatan kinerja mesin dengan menggunakan bahan bakar biogas yang dapat diaplikasikan pada sepeda motor satu silinder yang mendominasi pemakaian dalam kegiatan sehari-hari.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Zhang & Hill (1996) melakukan penelitian mengenai efek dari pusaran terhadap pembakaran pada ruang bakar. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa kecepatan reaksi pembakaran akan meningkat karena gerakan memutar menimbulkan turbulensi pada campuran udara dan bahan bakar, dengan peningkatan kecepatan pembakaran ini maka semakin tinggi tekanan hasil pembakaran yang didapatkan.

Purba (2009) telah melakukan penelitian yang membahas tentang pengaruh penggunaan biogas sebagai bahan bakar pada motor bensin. Penelitian tersebut dilakukan dengan membandingkan kinerja motor bensin 4 langkah dengan menggunakan bahan bakar bensin dan biogas dari penelitian tersebut dihasilkan kesimpulan 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 *convergent grid* dengan sudut 20° pada *intake manifold* dan dari penelitian tersebut menghasilkan peningkatan yang signifikan terhadap kinerja motor bensin 4 langkah berbahan bakar biogas

Wira (2009) telah melakukan penelitian yang membahas tentang pengaruh variasi perubahan waktu pengapian (*Ignition timing*) terhadap kinerja motor bensin berbahan bakar biogas dan dari penelitian tersebut menghasilkan peningkatan kinerja motor bensin 4 langkah berbahan bakar biogas maksimal pada sudut 39° C sebelum TMA. .

Pada penelitian ini menggunakan motor bensin berbahan bakar biogas dengan variasi letak *convergent grid* pada *intake manifold* dan dari penelitian ini akan didapatkan letak *convergent grid* pada *intake manifold* yang optimal terhadap kinerja dan emisi gas buang motor.

2.2 Motor Bensin (Otto)

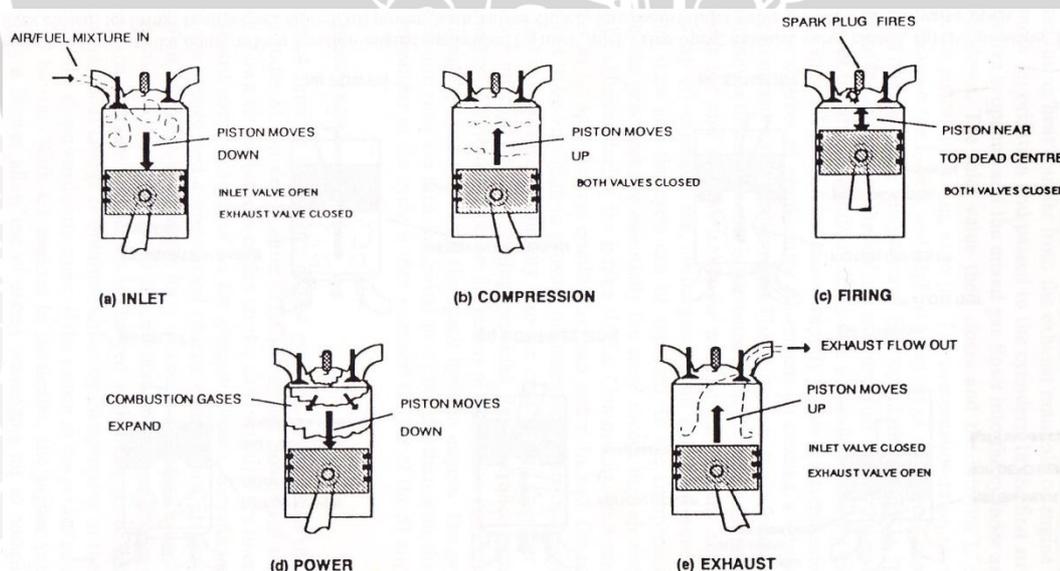
Motor bensin merupakan mesin kalor dengan pembakaran dalam, yaitu mesin yang menggunakan energi termal untuk melakukan kerja mekanik, atau mengubah

energi termal menjadi energi mekanik. Motor bensin dilengkapi dengan busi dan karburator. Busi berfungsi untuk menghasilkan loncatan api listrik yang menyalakan campuran bahan bakar dan udara segar, sedangkan karburator berfungsi sebagai tempat pencampuran bahan bakar dan udara. Pencampuran tersebut terjadi karena bahan bakar terisap masuk atau disemprotkan kedalam arus udara segar yang masuk ke dalam karburator. Dalam karburator terjadi pengabutan dimana bahan bakar akan terurai menjadi *droplets* yang bercampur dengan udara, kemudian mengalir ke *intake manifold* dan masuk kedalam ruang bakar.

Campuran udara dan bahan bakar setelah masuk silinder kemudian dinyalakan oleh loncatan api dari busi menjelang akhir langkah kompresi. Pembakaran campuran bahan bakar dan udara ini menyebabkan mesin menghasilkan daya.

2.2.1 Siklus Ideal Motor Bensin Empat Langkah

Dalam melakukan analisis dibutuhkan suatu keadaan yang ideal. Dengan kondisi yang ideal, suatu keadaan akan mudah dianalisis, akan tetapi dengan sendirinya akan jauh menyimpang dari keadaan sebenarnya. 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 langkah kerja seperti yang terlihat pada gambar 2.1, yaitu



Gambar 2.1 Skema Langkah Kerja Motor Bakar Empat Langkah

Sumber : Milton (1995;25)

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

Langkah kompresi merupakan proses dimana campuran udara dan bahan bakar yang ada dalam silinder dikompresikan, pada saat itu terjadi kenaikan tekanan karena volume yang diperkecil dengan luasan yang tetap, dan pada saat torak hendak mengakhiri langkah kompresinya diberikan loncatan bunga api listrik pada busi yang berada di ruang bakar, campuran terbakar dan terjadilah peningkatan tekanan yang sangat tinggi. Pada langkah ini, torak bergerak dari TMB menuju TMA, katup isap dan buang dalam keadaan tertutup.

c). Proses Pembakaran

Pembakaran campuran udara dan bahan bakar berlangsung dalam waktu yang cepat sesaat mendekati TMA (berlangsung dalam proses yang mendekati proses volume konstan). Pembakaran yang berlangsung di akhir langkah kompresi akan mendorong torak dari TMA ke TMB.

d). Langkah Kerja

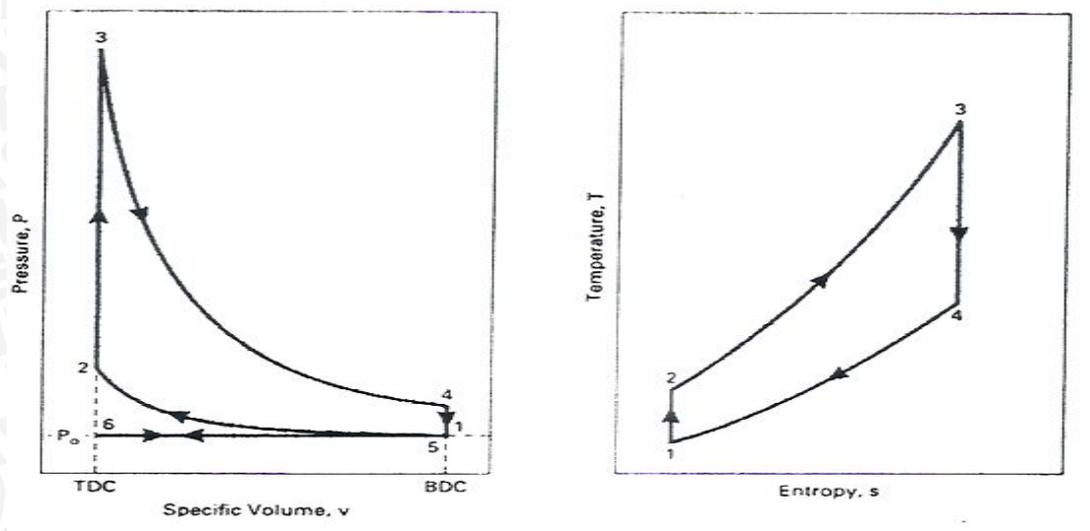
Pada saat semua katup tertutup, tekanan tinggi yang ditimbulkan oleh proses pembakaran mendorong torak menjauhi TMA. Pada langkah ini dihasilkan kerja untuk ditransfer ke poros engkol. Saat torak bergerak dari TMA ke TMB volume silinder meningkat dan menyebabkan penurunan tekanan dan temperatur.

e). Langkah Buang

Langkah buang, terjadi pada saat gas pembakaran keluar dari silinder karena tekanan didalam silinder lebih besar dari pada tekanan *exhaust*. Pada saat ini torak bergerak dari TMB ke TMA, dimana katup isap tertutup dan katup buang terbuka sehingga hasil pembakaran terbuang ke atmosfer.

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 dari gambar 2.2 mengenai proses siklus volume konstan adalah sebagai berikut :

- 1) 0-1 adalah langkah isap yang terjadi pada tekanan konstan (*isobaric*) dan temperatur konstan (*isotermik*)
- 2) 1-2 adalah proses kompresi pada entropi konstan (*isentropic*), dimana penyalaan busi dimulai pada akhir proses ini
- 3) 2-3 adalah proses pemasukan kalor pada volume konstan (*isokhorik*)
- 4) 3-4 adalah langkah kerja/ekspansi yang terjadi secara *isentropic*
- 5) 4-1 adalah proses pengeluaran kalor pada volume konstan (*isokhorik*)
- 6) 1-0 adalah langkah buang yang terjadi 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.

2.3 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. Pada *intake manifold*, campuran antara bahan bakar dan udara dikondisikan dapat bercampur dengan baik, sehingga bahan bakar dan udara akan mengalir bersama-sama ke dalam silinder, dimana hal tersebut merupakan kondisi yang ideal.

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, dimana terjadi 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.

Selain itu, menurut Maleev (1973), pembakaran didefinisikan sebagai 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.

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.

2.4.1 Pembakaran Stoikiometrik

Jika suatu reaksi pembakaran hanya menghasilkan produk berupa air (H₂O) dan karbon dioksida (CO₂), maka reaksi pembakaran yang terjadi adalah reaksi pembakaran stoikiometrik. Pengoksidasi yang paling lazim adalah oksigen, dimana oksigen merupakan salah satu unsur yang terdapat didalam udara dengan komposisi 21% oksigen dan 79% nitrogen. Sebagaimana yang terdapat 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 prosentasenya bergantung pada kualitas pembakaran. Persamaan reaksi pembakaran stoikiometrik antara hidrokarbon dan oksigen dapat dinyatakan sebagai berikut,



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



Pembakaran bahan bakar, pada kenyataannya sulit didapatkan keadaan yang stoikhimetrik, 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.

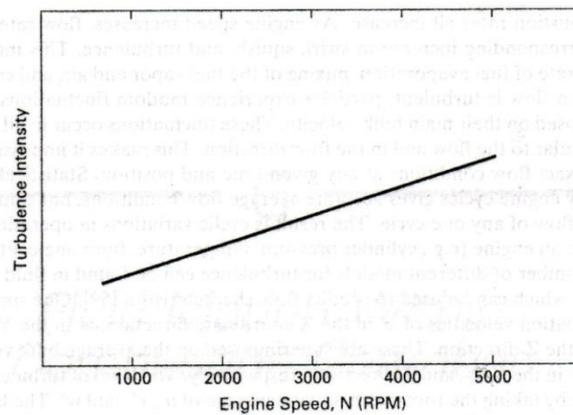
Untuk menghasilkan proses pembakaran yang baik pada pembakaran *premixed*, campuran antara udara dan bahan bakar harus homogen. Artinya bahwa semua bahan bakar harus dapat bercampur dengan udara. Namun dalam kenyataannya campuran yang homogen ini sulit untuk didapatkan. Oleh sebab itu, agar didalam ruang 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. Suatu aliran yang bopasar, memiliki kemampuan pengadukan yang jauh lebih tinggi, sehingga pencampuran menjadi efektif dan membuat pembakaran menjadi lebih baik.

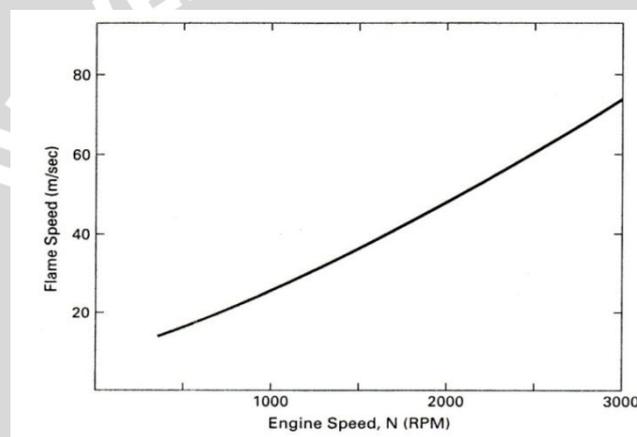
2.4.3 Pengaruh Turbulensi Pada Pembakaran

Pada mesin otto (bensin), diperlukan energi dari luar untuk penyalanya yang dalam hal ini letusan bunga api dari busi. Pada penyalan akan terbentuk *flame front* yang bergerak maju melalui campuran dan titik penyalan. Temperatur pada proses pembakaran dapat mencapai 2100-2500 K (Arends, 1996:60). Aliran yang turbulen akan mempercepat rambatan api, dimana kecepatan nyala turbulen bergantung dari intensitas turbulensi. Karena rambatan api yang semakin cepat, sehingga untuk jangka waktu yang sama akan menghasilkan energi panas yang lebih besar karena campuran bahan bakar dan udara yang terbakar lebih banyak.

Pembakaran dalam ruang bakar tidak terjadi seketika, tetapi ada jeda waktu dari saat awal penyalan api oleh busi sampai campuran udara dan bahan bakar terbakar habis. Setelah busi menyala, nyala api merambat kesegala arah dengan kecepatan yang tinggi dan menyalakan campuran yang dilaluinya, sehingga tekanan gas dalam ruang bakar meningkat sesuai dengan campuran yang terbakar. Menurut Zhang and hill (1996), kecepatan pembakaran ini dipengaruhi oleh gerakan fluida yang dibakar, jika fluida yang dibakar bopasar dan menimbulkan turbulensi, maka kecepatan pembakaran yang terjadi lebih tinggi. Dengan adanya kecepatan pembakaran yang tinggi maka dapat mengurangi detonasi. Dimana detonasi ini adalah proses terbakar dengan sendirinya campuran bahan bakar dan udara tersebut.



Gambar 2.3 Pengaruh Putaran Mesin Terhadap Intensitas Turbulensi
Sumber : Pulkabrek, Willard W (1997 : 208)



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

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

2.5 Biogas

Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari proses *anaerobic* didalam suatu *anaerob digester*. Bahan yang dapat digunakan sebagai bahan baku biogas biasanya berasal dari kotoran ternak seperti kerbau, sapi, kambing, kuda dan lain sebagainya. Dengan skala produksi biogas yang besar dan disertai proses *treatment*, maka biogas

dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan termasuk bahan bakar kendaraan bermotor.

2.5.1 Proses Pembuatan Biogas

Dengan cara fermentasi yaitu proses terbentuknya gas metana dalam kondisi anaerob didalam digester yang menghasilkan gas metana (CH_4) dan gas karbon dioksida (CO_2) proses pembuatan biogas ini dilakukan. Proses fermentasi dilakukan pada rentangan waktu yang tertentu yakni pada selang waktu 7 sampai 10 hari dengan suhu yang optimal 35°C .

Pada proses pembuatan biogas (gas metana) terdiri dari 3 tahap (<http://digilib.petra.ac.id>, 2003), yakni :

1. Tahap Pelarutan

Sekelompok mikroorganisme berupa bakteri pada tahap ini akan menguraikan substrat organik. Bakteri yang bekerja pada tahap ini memiliki enzim selulolitik dan lipolitik yang akan mempercepat bahan- bahan yang tidak terlarut seperti selulosa dan lemak diubah menjadi bahan yang larut dalam air seperti karbohidrat dan lemak. Tahap pelarutan berlangsung pada suhu 25°C

2. Tahap Pengasaman

Asam asetat dan asam laktat dihasilkan oleh bakteri pada tahap ini dalam kondisi anaerob yang berlangsung pada suhu 25°C

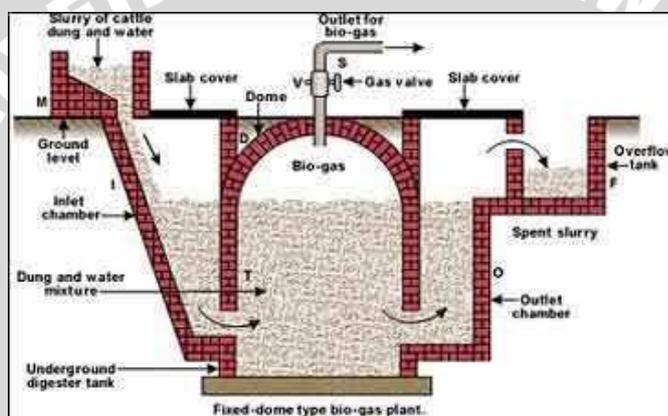
3. Tahap Gasifikasi

Pada tahap ini merupakan tahapan dalam memproduksi gas metan, proses ini berjalan dalam keadaan anerob, karena sejumlah kecil oksigen akan menghalangi pertumbuhan bakteri metanogenik yang sangat berperan dalam pembentukan gas metan pada tahap ini. Tahap gasifikasi ini berlansung selama 14 hari dengan suhu 25°C didalam digester.

Dalam proses pembuatan biogas terdapat bagian-bagian utama, yakni :

1. Pipa masuk kotoran ternak
2. Pipa gas keluar
3. Bak slurry
4. Penampung biogas
5. Pipa keluar slurry
6. Bak penampung kotoran ternak
7. Digester

Dalam penelitian ini bahan utama yang digunakan adalah kotoran ternak yang dicampur pada bak penampung kotoran ternak dengan urin dari ternak dan air. Proses pencampuran ini dilakukan hingga tidak ada kotoran ternak yang menggumpal. Setelah dipastikan telah tercampur dengan baik, campuran kotoran ternak, urin ternak dan air ini dimasukkan kedalam digester melalui pipa masuk kotoran ternak. Didalam digester terjadi proses fermentasi secara anaerob untuk pembentukan biogas. Jenis digester pada penelitian ini menggunakan tipe *fixed dome* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5. Dimana pada tipe ini, digester memiliki volume yang tetap. Jika kotoran ternak terus menerus ditambah, biogas terbentuk dari proses fermentasi secara anaerob ini juga terus bertambah hingga mendorong *slurry* yang merupakan sisa dari proses fermentasi keluar menuju bak *slurry* melalui pipa keluar *slurry*.



Gambar 2.5 *Fixed dome plant*

Sumber : [Wikipedia.org/wiki/fixed dome plant](http://Wikipedia.org/wiki/fixed_dome_plant)

2.5.2 Komposisi dan Nilai Kalor Biogas

Komposisi biogas yang utama terdiri dari gas metana (CH_4) dan gas karbon dioksida (CO_2) dengan komposisi yang lebih rendah. Gas metana (CH_4) merupakan bagian yang paling berguna dari biogas dalam kaitannya dengan energi. Dalam penelitian ini, kandungan dari biogas dilampirkan pada lampiran 2.

Menurut Miizlaff (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 :

$$LHV_{biogas} = \frac{V_{CH_4}}{V_{total}} \times LHV_{CH_4} \times \rho_{CH_4} \quad (\text{Mitzlaff, 1988: 26}) \quad (2-1)$$

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

LHV_{CH_4} = nilai kalor rendah 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:

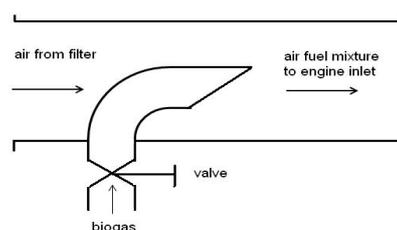
- Bebas dari abu, pada umumnya bebas dari kotoran-kotoran lain.
- Kondisi-kondisi pembakaran dapat diatur dengan mudah hingga diperoleh temperatur yang kira-kira diinginkan dengan menambah atau mengurangi udara yang masuk.
- Efisiensi tinggi, karena kelebihan udara yang digunakan biasanya sedikit karena udara dan bahan bakar langsung bercampur dan terbakar.
- Bahan bakar gas lebih mudah disalurkan dalam pipa-pipa (saluran)

2.6 Modifikasi Motor Bensin Empat Langkah Dengan Bahan Bakar Biogas

Motor bensin empat langkah yang menggunakan bahan biogas, perlu dilakukan modifikasi agar dapat beroperasi. Beberapa modifikasi yang perlu dilakukan menurut Mitzlaff (1988:64) adalah,

1. Penggunaan *mixer*

Penggunaan *mixer* dipandang sebagai hal terpenting dalam modifikasi motor bensin yang menggunakan bahan bakar biogas, karena penggunaan *mixer* disini adalah sebagai tempat pencampuran bahan bakar biogas dengan udara. Gambar 2.6 menunjukkan beberapa jenis dari *mixer* yang digunakan.



Gambar 2.6 *T-joint mixer* untuk penggunaan biogas sebagai bahan bakar

2. Perubahan Waktu Pengapian

Antara bahan bakar biogas dan bensin terdapat perbedaan sifat fisis dan kimia, sehingga untuk mendapatkan performa mesin yang optimal, maka waktu pengapian perlu diatur.

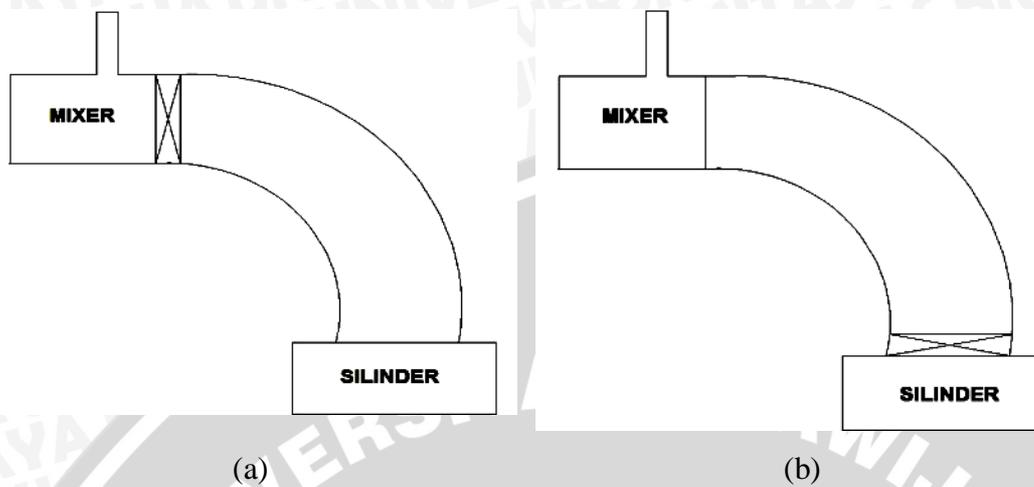
2.7 Modifikasi Dengan Penggunaan *Convergent Grid* Dengan Variasi Letak Pemasangan

Motor bensin yang menggunakan biogas sebagai bahan bakar, sebelum masuk ruang bakar, bahan bakar biogas dan udara terlebih dahulu dicampur didalam *mixer*. Homogenitas dari pencampuran bahan bakar dan udara setelah melewati *mixer* masih dapat ditingkatkan lagi, yaitu dengan membuat aliran campuran bahan bakar dan udara menjadi berolak atau turbulen. Secara mekanik, hal ini dapat dilakukan dengan memasang *convergent grid* pada *intake manifold*.

Convergent grid merupakan plat dengan ketebalan tertentu yang dilubangi serta diatur sudut kemiringannya sedemikian rupa agar aliran campuran bahan bakar dan udara setelah melewati *grid*, kecepatannya akan meningkat karena adanya pengecilan penampang aliran. Lubang-lubang pada *convergent grid* yang memiliki sudut dengan kemiringan tertentu, dibuat agar saat aliran campuran udara dan bahan bakar keluar dari masing-masing lubang *grid* akan saling bertumbukan sehingga akan semakin meningkatkan turbulensi. Dengan adanya turbulensi ini, maka homogenitas campuran udara dan bahan bakar akan semakin meningkat. 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.

Seperti diperlihatkan pada gambar 2.7, pemasangan pada posisi depan memberikan kesempatan yang lebih besar bagi campuran udara dan bahan bakar untuk bercampur dengan lebih baik saat melewati *intake manifold* karena jaraknya yang lebih jauh dari katup hisap pada silinder. Selain itu karena dimungkinkan tekanan yang terjadi pada bagian keluaran dari *mixer* pada peletakan posisi depan tekanan yang lebih tinggi dari pada letak *convergent grid* pada posisi belakang. Hal ini akan mengakibatkan tekanan yang terjadi sesaat sebelum memasuki silinder akan lebih besar. Dengan mengetahui saat mesin melakukan langkah hisap berada pada tekanan yang konstan, maka dengan tekanan sebelum memasuki silinder lebih besar, beda tekanan antara

tekanan di silinder dan tekanan sesaat campuran udara dan bahan bakar belum memasuki silinder juga akan lebih tinggi.



Gambar 2.7: Variasi letak *convergent grid* pada *intake manifold*. a) *convergent grid* diletakkan tepat keluar *mixer* (posisi depan), b) *convergent grid* diletakkan sesaat sebelum memasuki silinder (posisi belakang)

Perbedaan tekanan yang besar ini juga mengindikasikan bahwa kecepatan aliran campuran udara dan bahan bakar ke dalam silinder semakin tinggi. Dengan semakin tingginya kecepatan aliran ini, maka turbulensi yang dihasilkan akan semakin besar, sehingga homogenitas campuran udara dan bahan bakar akan semakin baik. Karena homogenitas campuran udara dan bahan bakar yang baik, maka semakin banyak massa molekul bahan bakar yang terbakar menjadi energi panas, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 2-2 berikut.

$$Q = m \cdot \text{LHV}_{\text{bb}} \quad (\text{Heywood, 1988: 511}) \quad (2-2)$$

Dengan : Q = kalor pembakaran (kJ)
 m = massa molekul bahan bakar (kg)
 LHV_{bb} = nilai kalor rendah bahan bakar (kJ/kg)

2.8 Paramater Kinerja Motor Bakar

Karakteristik suatu mesin dapat diketahui melalui parameter-parameter kinerjanya (*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 :

a. Torsi (T)

Torsi merupakan suatu usaha yang dihasilkan oleh poros engkol, besarnya torsi penting untuk diketahui karena merupakan kemampuan mesin untuk menggerakkan peralatan lain. Besarnya torsi dapat diketahui dengan menggunakan *Dynamometer Prony Brake*.

b. Daya Efektif / Daya Poros (Ne)

Dengan diketahuinya torsi (T) dan putaran poros engkol (n) yang didapatkan dari tachometer maka daya efektif (Ne), dimana merupakan daya yang dihasilkan poros engkol yang digunakan untuk menggerakkan beban luar, dapat dihitung dengan memakai persamaan 2-3 berikut,

$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,2} \quad (\text{Petrovsky; 1968: 99}) \quad (2-3)$$

Dengan :

Ne = daya efektif (HP)

T = torsi (kgm)

ω = kecepatan anguler poros engkol (rad/s)

n = putaran poros engkol (rpm)

c. 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 persamaan 2-4 sebagai berikut,

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

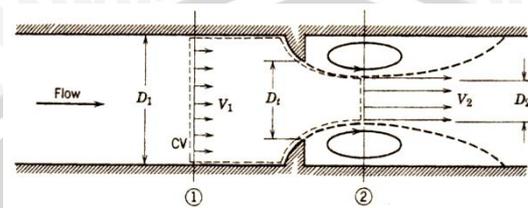
Dengan :

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

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

N_e = daya efektif (HP)

Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini berupa gas, maka untuk mengetahui konsumsi bahan bakar (F_c) 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 Pengukuran beda tekanan pada *orifice*.

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

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

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

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

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

d. Efisiensi Termal Efektif (η_e)

Efisiensi termal efektif (η_e) 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 2-6 sebagai berikut :

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

Dengan :

η_e = efisiensi termal efektif

LHV_{bb} = nilai kalor rendah bahan bakar (kcal/kg)

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

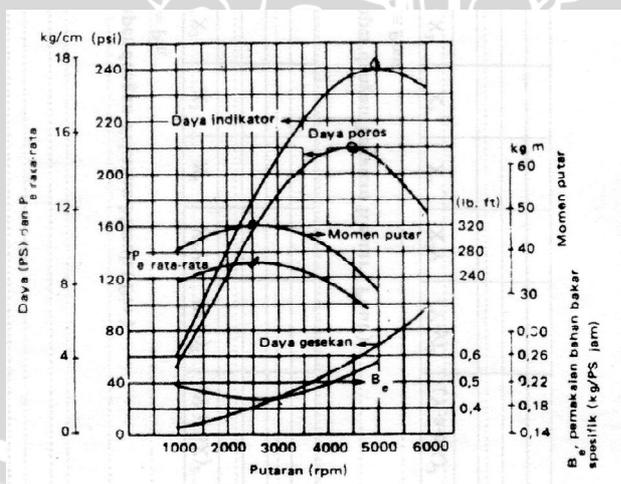
e. Emisi Gas CO dan HC

Karbon monoksida (CO) merupakan salah satu unsur emisi gas buang yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia karena tidak berwarna, tidak berbau dan beracun. 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 dari hasil pembakaran bersifat racun bagi darah manusia pada saat pernafasan, sebagai akibat berkurangnya oksigen pada jaringan darah.

Hidrokarbon (HC) merupakan gas yang tidak begitu merugikan manusia, akan tetapi merupakan penyebab terjadinya kabut campuran asap (*smog*). 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.

f. Karakteristik Kinerja Motor Bakar

Untuk mengetahui grafik karakteristik kinerja motor bakar dapat dilihat pada gambar 2.9– 2.10 sebagai berikut,



Gambar 2.9 Grafik 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 2.10 Gambar karakteristik emisi gas buang pada motor bensin.

Sumber: Mathur & Sharma (1980: 625)

Terlihat dalam gambar 2.9 – 2.10 di atas beberapa karakteristik kinerja motor bakar sebagai berikut:

1. Torsi (T)

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

2. Daya poros / daya efektif (N_e)

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

3. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif ($SFCE$ / B_e)

Pada putaran 1000 – 3000 rpm dari grafik terlihat bahwa kecenderungan grafik konsumsi bahan bakar spesifik efektif adalah mengalami penurunan seiring dengan peningkatan putaran. Setelah itu pada putaran diatas 3000 rpm mengalami peningkatan.

4. Efisiensi termal efektif (η_e)

Dari persamaan 2-6, efisiensi termal efektif dipengaruhi konsumsi bahan bakar spesifik efektif dan LHV bahan bakar. Terlihat dari grafik teoritis, konsumsi bahan bakar spesifik efektif mencapai nilai maksimum pada putaran 3000 rpm sehingga nilai efisiensi termal efektif maksimum juga berkisar di putaran 3000 rpm.

5. Emisi gas buang (CO dan HC)

Dari gambar 2.10 terlihat pada putaran 1000 – 3000 rpm nilai emisi gas CO berkisar antara 1-4 % vol dan HC 200-300 ppm vol.

2.9 Hipotesis

Dengan pemasangan *convergent grid* pada *intake manifold* pada posisi depan, maka campuran udara dan bahan bakar mempunyai kesempatan yang lebih besar untuk bercampur, sehingga campuran yang terjadi semakin homogen yang akan menyebabkan proses pembakaran berlangsung lebih baik dan pada akhirnya akan meningkatkan kinerja mesin.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental. Metode ini dilakukan dengan cara membandingkan unjuk kerja mesin yang meliputi torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif pada mesin motor bensin empat langkah satu silinder dengan bahan bakar biogas tanpa menggunakan *convergent grid* dan dengan yang menggunakan *convergent grid* dengan letak pada posisi depan dan posisi belakang.

3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di Instalasi biogas Pondok Pesantren Nurul Haromain, Pujon, Kabupaten Malang dan Laboratorium Motor Bakar Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada bulan Oktober – November 2011.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1) Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas merupakan variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti dan besarnya dapat dirubah dengan cara tertentu.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah,

- Letak *convergent grid* pada *intake manifold* :
 - Posisi depan : *covergent grid* berada di depan *mixer*
 - Posisi belakang : *covergent grid* berada sebelum masuk ruang bakar
- Putaran mesin: 5500, 5700, 5900, 6100, 6300, dan 6500 rpm.

Pada penelitian ini digunakan putaran mesin sebesar 5500 rpm sampai 6500 rpm. Pemilihan putaran mesin pada rentang tersebut ditujukan agar lebih mudah dalam melakukan analisa grafik kinerja antara motor berbahan bakar bensin dengan motor berbahan bakar biogas. Hal ini dikarenakan pada putaran yang tinggi, rentang nilai perbandingan kinerja antara keduanya relatif lebih besar pada putaran poros yang sama karena proses pembakaran yang terjadi dalam ruang bakar semakin cepat. Selain itu pada penelitian ini putaran mesin didapat dari bukaan *throttle* sebesar 100% dengan putaran mesin maksimum sebesar 11000 rpm,

kemudian dengan pemberian beban pengereman maka secara bertahap putaran akan semakin turun hingga didapatkan putaran sebesar 6500 rpm, 6300 rpm, 6100 rpm, 5900 rpm, 5700 rpm, 5500 rpm.

2) Variable Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang menjadi perhatian utama peneliti untuk memprediksi dan menjelaskan variabilitasnya. Variabel terikat tergantung pada variabel bebas atau variabel yang akan diukur. Variabel terikat yang diamati pada penelitian ini adalah:

- Torsi (T).
- Daya efektif (N_e).
- Efisiensi termal efektif (η_e).
- Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFC_e).
- Emisi gas buang

3) Variabel Terkontrol (*Controlled Variable*)

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

- Bukaannya throttle 100%
- Sudut pengapian 39° sebelum TMA
- Sudut *convergent grid* yang digunakan sebesar 20°

3.4 Peralatan Penelitian

3.4.1 Peralatan Utama

- Motor Honda Karisma 125 cc, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.1 memiliki spesifikasi:

Merk	: Honda Karisma
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	: 0,7 liter pada pergantian periodik pelumas
Kopling	: Ganda, otomatis, sentrifugal, tipe basah.
Gigi transmisi	: 4 Kecepatan, <i>rotary</i> .



Gambar 3.1 Motor Honda Kharisma 125 cc
Sumber : Dokumentasi Pribadi

- *Programmable* CDI seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2, digunakan untuk mengubah waktu pengapian dengan spesifikasi:
 - o Merk : Cheetah Power.
 - o Tipe : RS232 dongle cable.
 - o Variasi waktu pengapian : 27° – 42°



Gambar 3.2 : *Programmable* CDI
Sumber : Dokumentasi pribadi

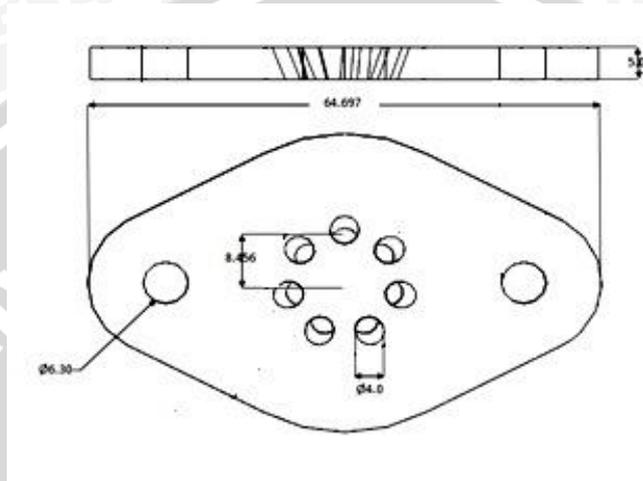
- *Mixer*
Befungsi untuk mencampur bahan bakar biogas dengan udara sebelum masuk ruang bakar ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Mixer*
Sumber : Dokumentasi Pribadi

- *Convergent grid*

Convergent grid sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.4, merupakan alat yang berfungsi untuk menghomogenitaskan campuran antara bahan bakar dan udara sehingga hasil pembakaran menjadi lebih baik. Pada penelitian ini, *convergent grid* yang digunakan memiliki sudut kemiringan sebesar 20° .



Gambar 3.4 *Convergent Grid*

3.4.2 Peralatan Bantu

- *Dynamometer Prony Brake*

Untuk mengukur torsi mesin digunakan *Dynamometer Prony Brake*, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Dynamometer Prony Brake*
Sumber : Dokumentasi Pribadi

- *Tachometer*

Tachometer digunakan untuk mengukur putaran mesin, sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 3.6



Gambar 3.6 Tachometer

Sumber : http://2.bp.blogspot.com/Digital_Multimeter_VC9805.jpg

- Selang Bahan Bakar

Digunakan untuk menyalurkan biogas, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.7 berikut:

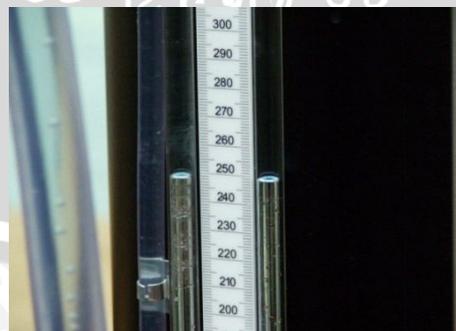


Gambar 3.7 Selang bahan bakar.

Sumber: Dokumentasi pribadi.

- Manometer Raksa

Digunakan untuk mengukur beda tekanan biogas yang mengalir melalui *orifice*. gambar 3.8 menunjukkan bentuk dari manometer raksa yang digunakan dalam penelitian

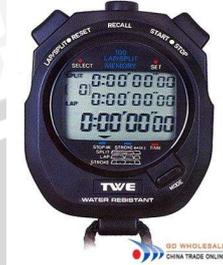


Gambar 3.8 Manometer raksa.

Sumber: Dokumentasi Pribadi

- Stopwatch

Digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan motor bakar untuk menghabiskan bahan bakar dengan volume tertentu, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.9 berikut:



Gambar 3.9 Stopwatch

Sumber: <http://www.gd-wholesale.com/stopwatch-.jpg>.

- Exhaust Gas Analyser

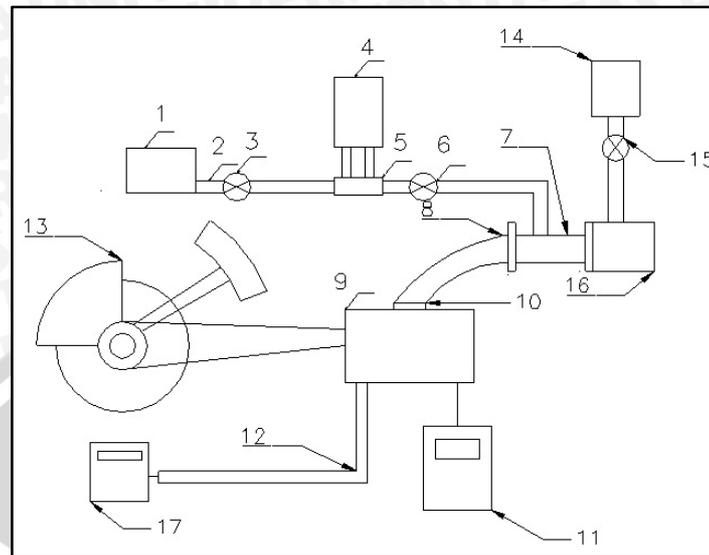
Exhaust Gas Analyser digunakan untuk mendapatkan nilai kadar gas buang CO dalam % volume dan kadar gas HC dalam ppm seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Gas analyzer.
Sumber : Dokumentasi Pribadi

3.5 Diagram Skematik Instalasi Penelitian

Secara skematik, instalasi pada penelitian ini digambarkan seperti gambar 3.11



Gambar 3.11 : Diagram Skematik Instalasi penelitian

Keterangan :

- | | |
|------------------------------|------------------------------------|
| 1. Penampung gas | 9. Silinder |
| 2. Selang bahan bakar biogas | 10. <i>Convergent grid</i> |
| 3. <i>Shut-off valve</i> | 11. <i>Tachometer</i> |
| 4. Manometer Raksa | 12. Knalpot |
| 5. <i>Orifice</i> | 13. <i>Prony Brake Dynamometer</i> |
| 6. Katup bahan bakar biogas | 14. Tangki bensin. |
| 7. <i>Mixer</i> | 15. Katup bahan bakar bensin |
| 8. <i>Intake manifold</i> | 16. Karburator |
| | 17. <i>Gas analyzer</i> |

3.6 Prosedur Pengujian

Pengujian yang digunakan untuk mengetahui kinerja motor gas pada penelitian ini adalah menurut cara pengujian putaran bervariasi (*variable speed test*) dengan tahapan sebagai berikut :

- 1). Persiapan peralatan pengujian.
- 2). Menggunakan bahan bakar bensin untuk melakukan *start up*. Saat mesin telah beroperasi, katup bahan bakar bensin ditutup dan dibiarkan hingga 2 menit untuk memastikan bensin telah habis, kemudian katup bahan bakar biogas dibuka.
- 3). Mesin yang telah beroperasi dengan bahan bakar biogas, dibiarkan selama 5 menit sampai diperkirakan kondisi putaran mesin menjadi stabil.
- 4). Proses pengambilan data dengan tahap – tahap sebagai berikut:
 - a) Tahap pertama, pengambilan data dilakukan pada peralatan utama yang dilengkapi peralatan bantu tanpa dipasang *convergent grid* pada *intake manifold*. Pengambilan data pada putaran 6500, 6300, 6100, 5900, 5700 dan 5500 rpm dengan memberikan beban pengereman pada bukaan katup gas penuh dan dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali.
Data-data yang dicatat adalah :
 - Besarnya putaran (rpm)
 - Besarnya torsi (Kgm)
 - Beda ketinggian kolom air pada manometer raksa U (Δh)
 - Emisi gas buang
 - b) Tahap kedua, sama dengan tahap pertama, akan tetapi dipasang *convergent grid* pada saluran intake manifold didekat mixer (posisi depan) seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.12



Gambar 3.12 Pemasangan pada posisi depan
Sumber : Dokumentasi Pribadi

- c) Tahap ketiga, sama dengan tahap pertama, akan tetapi dipasang *convergent grid* pada saluran intake manifold didekat ruang bakar (posisi belakang) seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.13



Gambar 3.13 Pemasangan pada posisi belakang
Sumber : Dokumentasi Pribadi



3.7 Rancangan Data Penelitian

Hasil pengujian pada motor bensin berbahan bakar biogas dengan tanpa menggunakan *convergent grid* kemudian pemasangan *convergent grid* pada posisi depan dan pemasangan *convergent grid* pada posisi belakang akan dimasukkan kedalam data hasil pengujian seperti yang terlihat pada tabel 3.1

1. Pengujian : Variasi putaran
2. Buka throttle : 100%
3. Nilai kalor biogas (LHV) : kkal/kg
4. Suhu lingkungan : °C

Tabel 3.1 Rancangan data hasil pengujian.

No	Putaran (rpm)	T (kg.m)	ΔH (mmHg)
1	5500		
Rata-Rata			
2	5700		
Rata-Rata			
3	5900		
Rata-Rata			
4	6100		
Rata-Rata			
5	6300		
Rata-Rata			
6	6500		
Rata-Rata			

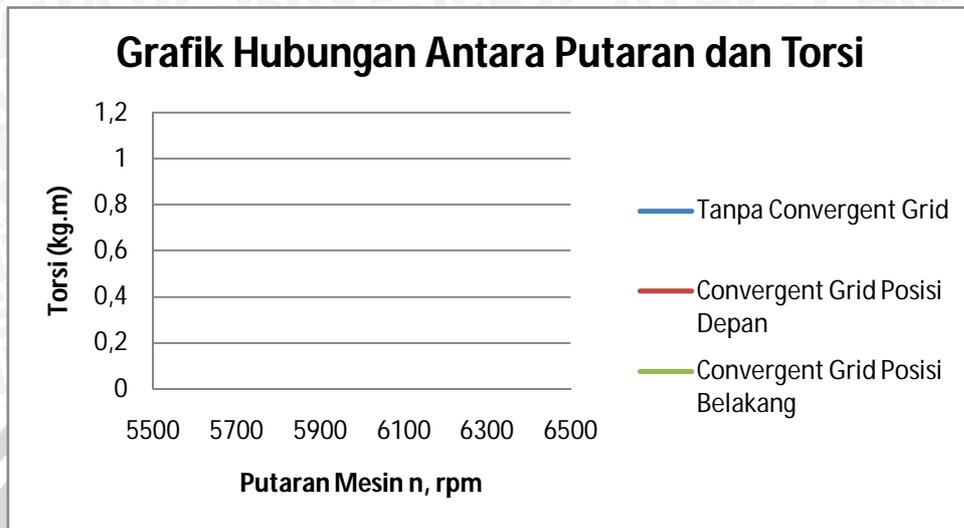
Data dari hasil pengujian akan dihitung dan dimasukkan kedalam tabel data hasil perhitungan seperti yang terlihat pada tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Rancangan Data Hasil Perhitungan

Posisi Convergent Grid	n	ΔH	Torsi	Ne	SFCE	η thermal	CO	HC
	(rpm)	(mmHg)	(kg.m)	(hp)	(kg/hp.jam)	(%)	(%vol)	ppm
Tanpa Convergent Grid								
Posisi Depan								
Posisi Belakang								

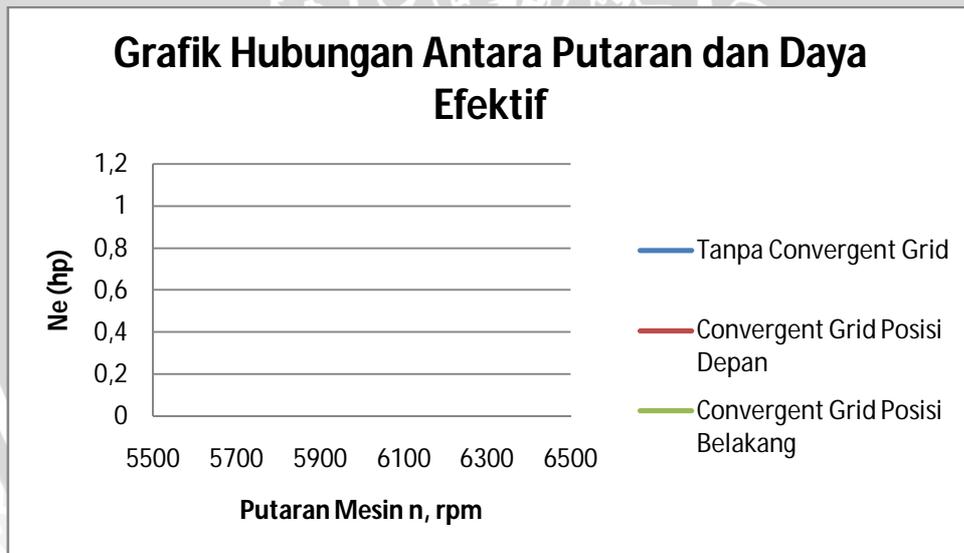
Dari data hasil perhitungan akan dibuat grafik hubungan antar variabel. Analisis data dan pembahasan dilakukan dengan mengamati grafik-grafik sebagai berikut,

1. Hubungan antara putaran dengan torsi



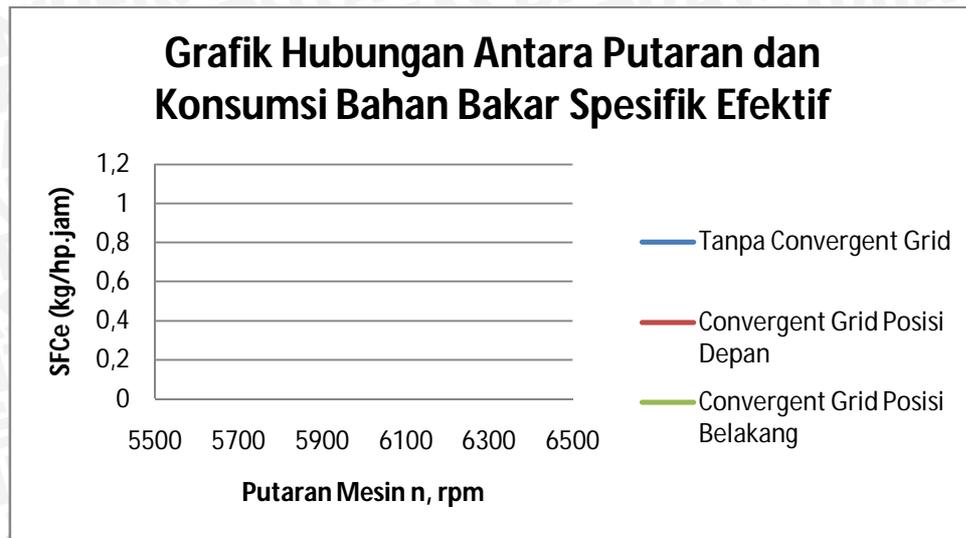
Gambar 3.14 Rancangan grafik Hubungan Antara Putaran (rpm) Terhadap Torsi (Kg.m)

2. Hubungan antara putaran dengan daya efektif



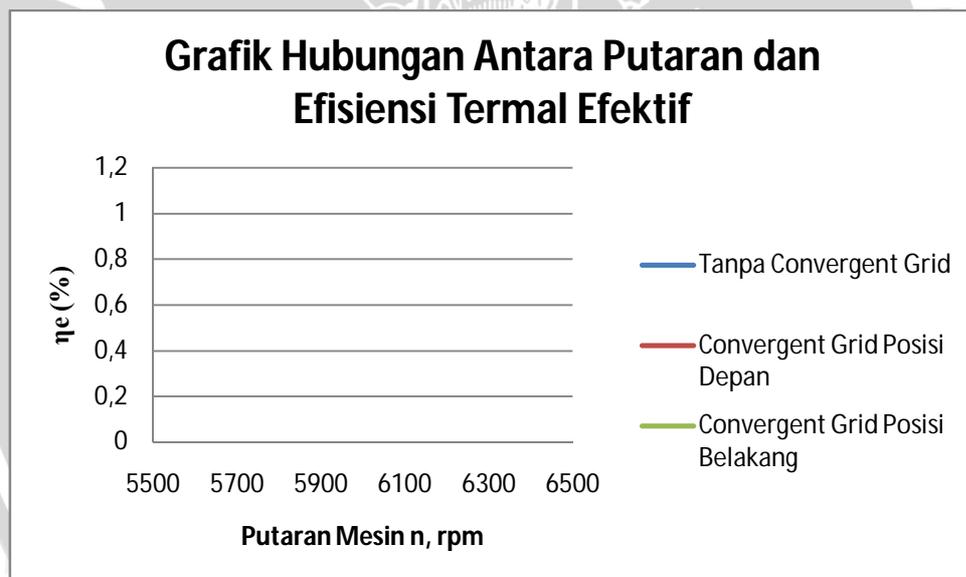
Gambar 3.15 Rancangan Grafik Hubungan Antara Putaran (rpm) Terhadap Daya Efektif (hp)

3. Hubungan antara putaran dengan konsumsi bahan bakar spesifik efektif



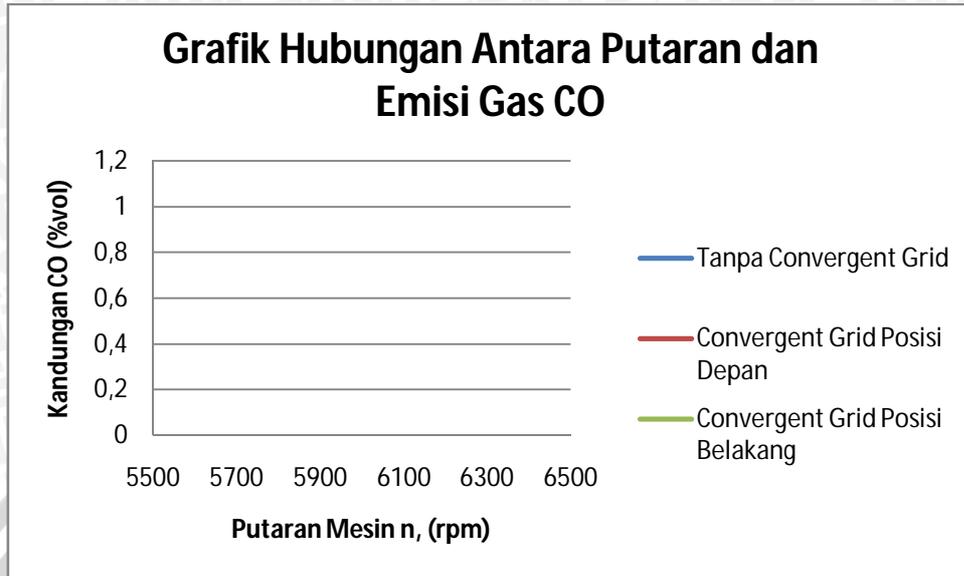
Gambar 3.16 Rancangan Grafik Hubungan Antara Putaran (rpm) terhadap Konsumsi bahan Bakar Spesifik Efektif (Kg/hp.jam)

4. Hubungan antara putaran dengan efisiensi termal efektif

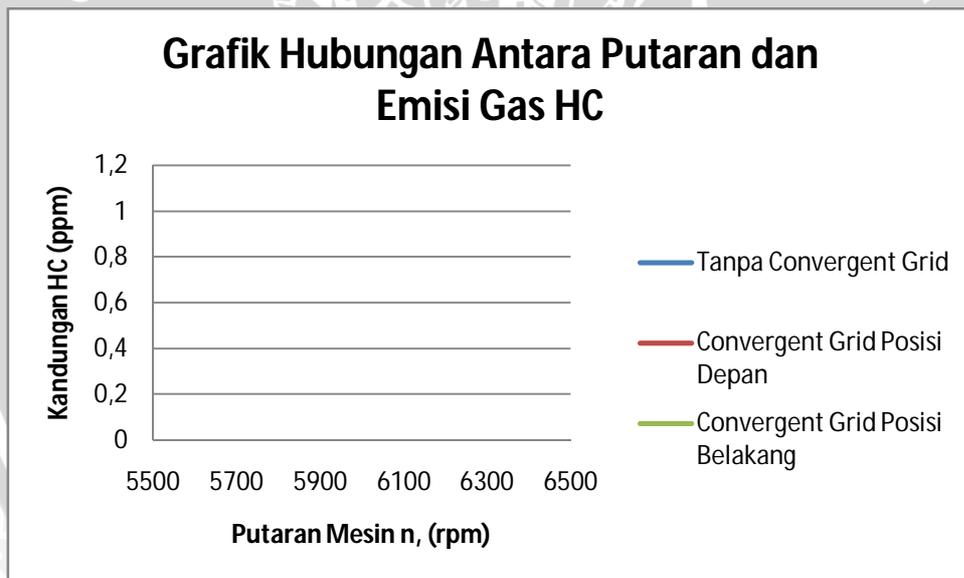


Gambar 3.17 Rancangan Grafik Hubungan Antara Putaran (rpm) Terhadap Efisiensi Termal Efektif

5. Hubungan antara putaran dengan emisi gas CO dan HC



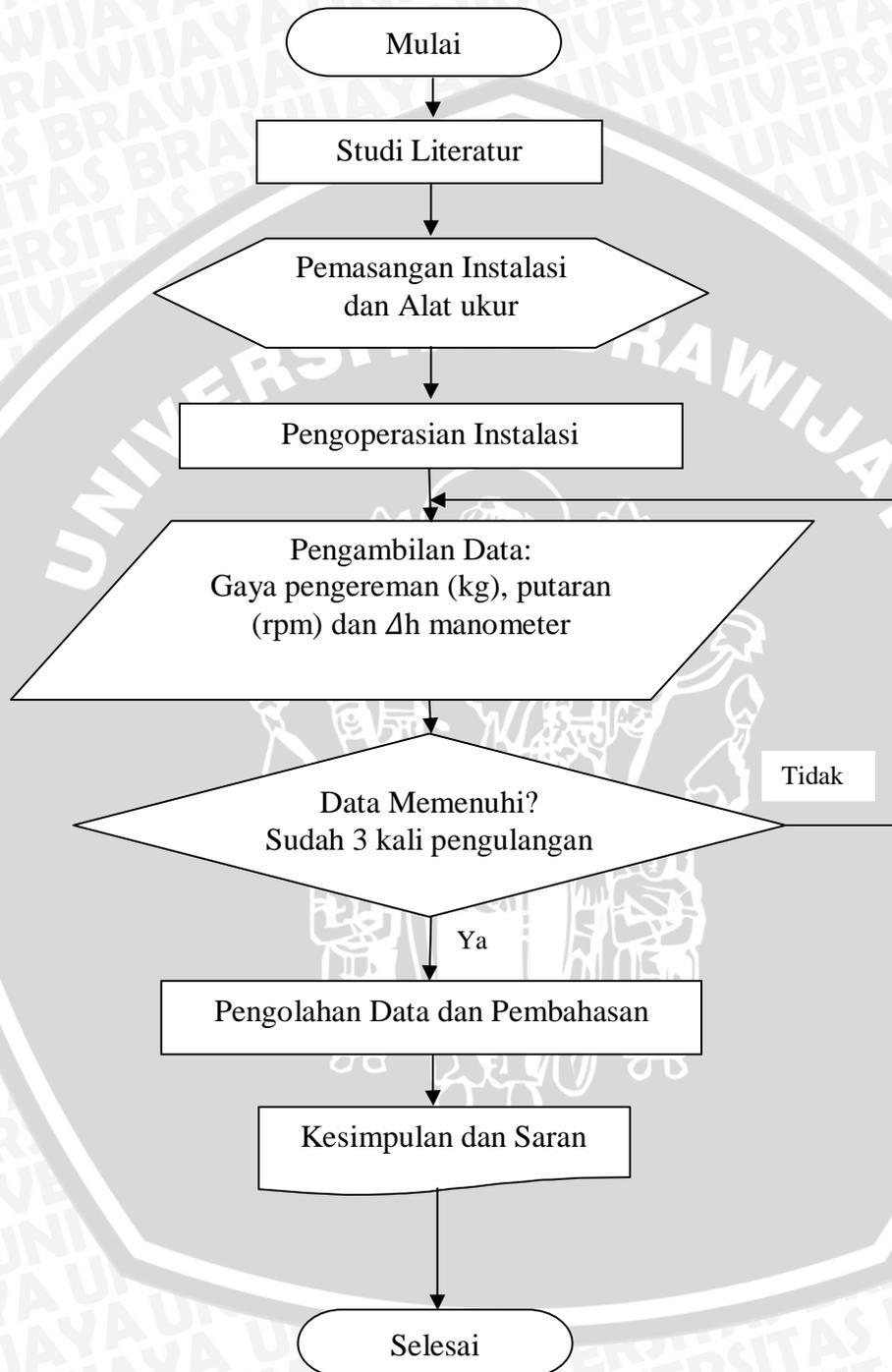
Gambar 3.18 Rancangan Grafik Hubungan Antara Putaran (rpm) Terhadap Emisi gas CO



Gambar 3.19 Rancangan Grafik Hubungan Antara Putaran (rpm) Terhadap Emisi Gas HC

3.8 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian, yang menggambarkan prosedur pada penelitian ini digambarkan seperti gambar 3.20



Gambar 3.20 : Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Data Hasil Pengujian

Data yang diperoleh selama pengujian adalah sebagai berikut :

- 1 Pengujian : Variasi putaran
- 2 Buka throttle : 100%
- 3 Nilai kalor biogas (LHV) : 7731,769 kkal/kg
- 4 Suhu lingkungan : 23^oC

Data yang diperoleh dari pengujian motor bensin empat langkah satu silinder berbahan bakar biogas dengan tanpa pemasangan *convergent grid*, pemasangan *convergent grid* posisi depan, dan pemasangan *convergent grid* posisi belakang masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.1 , 4.2 , dan 4.3

Tabel 4.1 Data hasil pengujian tanpa menggunakan *convergent grid*

No	Putaran (rpm)	T (kg.m)	ΔH (mmHg)
1	5500	7	20
		7	22
		6,5	24
Rata-Rata		6,83	22
2	5700	6	23
		6	22
		6	22
Rata-Rata		6	22,33
3	5900	5,5	23
		5,5	21,5
		6	24
Rata-Rata		5,67	22,83
4	6100	5,5	21
		5	23
		5,5	25
Rata-Rata		5,33	23
5	6300	4,5	24
		5	23
		4,5	23
Rata-Rata		4,67	23,33
6	6500	4,5	23
		4	22
		4,5	23
Rata-Rata		4,33	23,67

Tabel 4.2 Data hasil pengujian dengan *convergent grid* posisi depan

No	Putaran (rpm)	T (kg.m)	ΔH (mmHg)
1	5500	8	21
		7,5	20
		7,5	20
Rata-Rata		7,67	20,33
2	5700	7	21
		7	20
		7	19
Rata-Rata		7	20
3	5900	6,5	21
		7	21
		6,5	20
Rata-Rata		6,67	20,67
4	6100	6	19,5
		6	21
		6	22
Rata-Rata		6	20,83
5	6300	5,5	21
		5,5	21
		6	22
Rata-Rata		5,67	21,33
6	6500	5	20,5
		5	22
		5	23
Rata-Rata		5	21,83

Tabel 4.3 Data hasil pengujian dengan *convergent grid* posisi belakang

No	Putaran (rpm)	T (kg.m)	ΔH (mmHg)
1	5500	7	21
		7,5	19
		7,5	23
Rata-Rata		7,33	21
2	5700	6,5	21
		6	22
		6,5	21
Rata-Rata		6,33	21,33
3	5900	6,5	22
		6	20,5
		5,5	23
Rata-Rata		5,83	21,83
4	6100	5,5	23
		5,5	23
		5,5	22
Rata-Rata		5,5	22,67
5	6300	5	23
		4,5	21,5
		5	24
Rata-Rata		4,83	22,83
6	6500	4,5	23
		4,5	21
		5	25
Rata-Rata		4,67	23

4.1.2 Pengolahan Data

Dari hasil pengujian dapat dilakukan pengolahan data. Sebagai contoh perhitungan diambil data dari pengujian tanpa *convergent grid* pada *intake manifold* terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif pada motor bensin empat langkah satu silinder dengan bahan bakar biogas.

Adapun data yang diambil adalah sebagai berikut :

- Putaran mesin : 6300 rpm
- Torsi (T) : 4,667 kg.m
- Faktor reduksi (i) : 20,33
- Beda ketinggian manometer : 23,33 mm
- Diameter orifice : 0,01 m
- Diameter pelat orifice : 0,003 m
- Koefisien discharge : 0,4

- Massa jenis biogas : 1,0287 kg/m³
- Massa jenis air raksa : 13600 kg/m³
- Nilai kalor biogas (LHV) : 7731,769 kkal/kg

Perhitungan Massa Jenis dan LHV Biogas

1. Menghitung Massa Jenis Biogas

Diketahui:

Komposisi biogas

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

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

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

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

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

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

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

Dari persamaan gas ideal:

$$PV = mRT$$

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

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

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

$$V_{\text{CO}_2} = 0,33 \times 0,0224 = 0,007404 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{PV}{RT} = \frac{1,0135 \times 10^5 \times 0,007404}{188,2 \times 296}$$

$$= 0,01347 \text{ kg}$$

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

$$= 0,02308 \text{ kg}$$

Maka, besar massa jenis biogas adalah :

$$\rho_{\text{biogas}} = m_{\text{total}} / V_{\text{total}} = 1,0287 \text{ kg/m}^3$$

2. Menghitung LHV biogas

Diketahui :

$$\rho_{\text{CH}_4} = m_{\text{CH}_4} / V_{\text{CH}_4} = 0,00961 / 0,01458$$

$$= 0,65896 \text{ kg/m}^3$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{LHV}_{\text{biogas}} &= \frac{V_{\text{CH}_4}}{V_{\text{total}}} \times \text{LHV}_{\text{CH}_4} \times \rho_{\text{CH}_4} \\
 &= 0,65 \times 49770 \times 0,65896 \\
 &= 21317,87 \text{ kJ/m}^3 \\
 &= 21317,87 \times 1,5175 \times 0,239 \\
 &= 7731,7695 \text{ kkal/kg}
 \end{aligned}$$

Dari data tersebut diatas, maka dapat dihitung nilai dari :

1. Torsi (T)

Torsi dihitung pada poros roda belakang, sehingga untuk poros engkol, torsi yang didapat harus dibagi dengan faktor reduksinya :

$$T = 4,667 / 20,33 = 0,229 \text{ kg.m}$$

2. Daya Efektif (Ne)

$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,2} = \frac{0,229 \times 6100}{716,2} = 2,021 \text{ hp}$$

3. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCE)

$$\text{SFCE} = \frac{FC}{Ne}$$

Konsumsi bahan bakar (Fc) 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 :

$$\dot{m}_{\text{actual}} = \frac{C \times A_t}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2\rho(\Delta P)}$$

$$\text{Dimana : } C = 0,4$$

$$\beta = \frac{D_t}{D_1} = \frac{0,003}{0,01} = 0,3$$

$$A_t = \frac{1}{4} \pi \cdot D_t^2 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,003)^2 = 0,000007065 \text{ m}^2$$

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta h = 13600 \times 9,81 \times 0,02333 = 3112,595 \text{ Pa}$$

$$\text{Sehingga : } \dot{m} = 0,000226 \text{ kg/s}$$

$$FC = 0,00023 \times 3600 = 0,81413 \text{ kg/jam}$$

$$\text{SFCE} = \frac{0,754}{1,763} = 0,4029 \text{ kg/hp.jam}$$

4. Efisiensi Termal Efektif

$$\eta_e = \frac{632.N_e}{FC.LHV_{bb}} = \frac{632}{SFCE.LHV_{bb}} = \frac{632}{0,402 \cdot 7731,796} \times 100\% = 20,287 \%$$

Analog dengan data yang pertama, maka diperoleh nilai dari torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif dari masing-masing data yang lain. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat dalam tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4 Perbandingan kinerja motor antara tanpa *convergent grid*, *convergent grid* posisi depan, dan *convergent grid* posisi belakang.

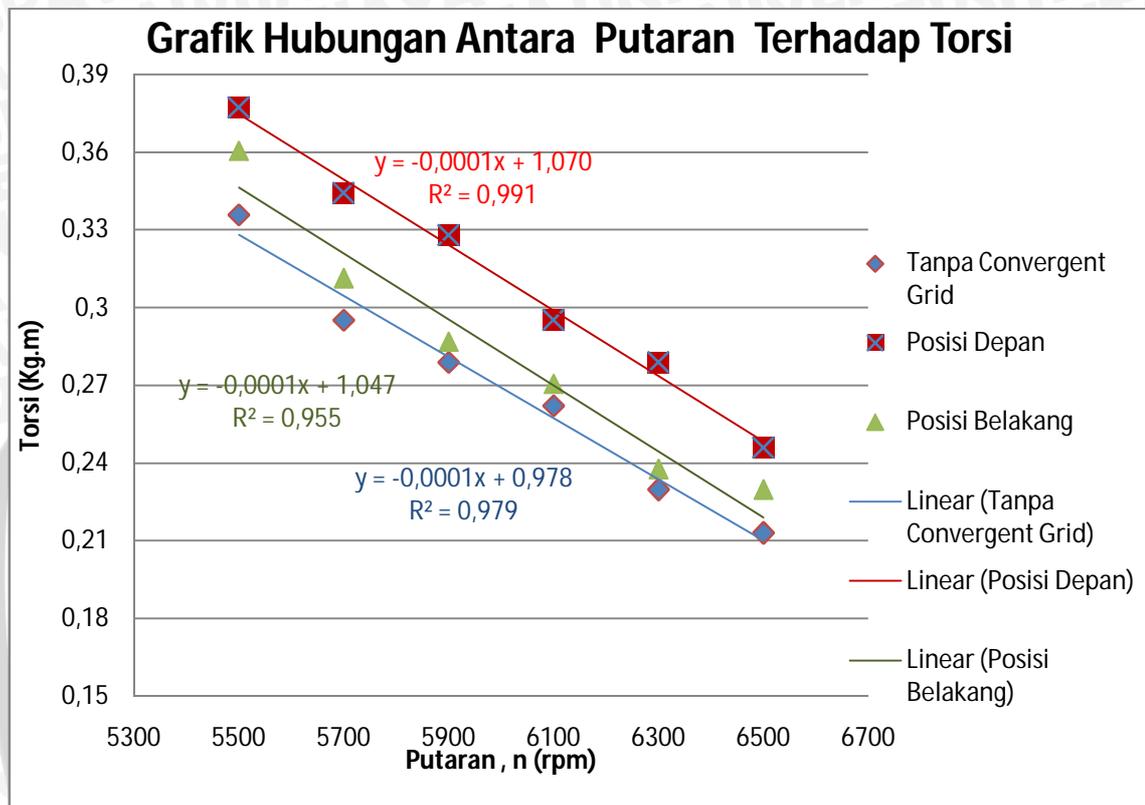
Posisi Convergent Grid	n	ΔH	Torsi	Ne	SFCE	η thermal	CO	HC
	(rpm)	(mmHg)	(kg.m)	(hp)	(kg/hp.jam)	(%)	(%vol)	ppm
Tanpa Convergent Grid	5500	22	0,335	2,579	0,307	26,566	1,8	143
	5700	22,33	0,295	2,348	0,339	24,105	1,984	156
	5900	22,83	0,278	2,297	0,350	23,319	2,448	165
	6100	23	0,262	2,232	0,362	22,579	2,565	180
	6300	23,33	0,229	2,020	0,402	20,287	3,324	200
	6500	23,67	0,212	1,933	0,424	19,267	3,733	226
Posisi Depan	5500	20,33	0,377	2,897	0,262	31,161	0,204	111
	5700	20	0,344	2,740	0,275	29,715	0,505	113
	5900	20,67	0,328	2,702	0,283	28,829	0,519	114
	6100	20,83	0,295	2,513	0,306	26,709	1,776	140
	6300	21,33	0,278	2,453	0,317	25,760	1,54	176
	6500	21,83	0,245	2,232	0,352	23,167	2,951	197
Posisi Belakang	5500	21	0,360	2,768	0,278	29,301	0,68	115
	5700	21,33	0,311	2,478	0,314	26,020	1,946	132
	5900	21,83	0,286	2,362	0,333	24,52	2,252	151
	6100	22,67	0,271	2,304	0,348	23,469	2,519	176
	6300	22,83	0,237	2,091	0,385	21,211	2,983	200
	6500	23	0,229	2,085	0,387	21,081	3,059	223

4.2 Pembahasan

Hasil Pengolahan data pada pengujian motor bensin empat langkah satu silinder dengan bahan bakar biogas ini dibuat dalam bentuk grafik hubungan antara tingkat putaran dengan kinerja motor bensin yang meliputi, torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif, dan emisi gas CO dan HC antara pemasangan *convergent grid* posisi depan, posisi belakang dan yang tanpa pemakaian *convergent grid*.

4.2.1 Hubungan Antara Putaran Terhadap Torsi

Hubungan antara putaran motor bensin empat langkah berbahan bakar biogas dengan torsi, dengan tanpa pemasangan *convergent grid* dan pemasangan *convergent grid* dengan variasi posisi letak *convergent grid* dapat dilihat dalam grafik pada gambar 4.1 berikut :



Gambar 4.1 Grafik perbandingan putaran poros mesin terhadap torsi pada berbagai variasi letak *convergent grid*

Gambar 4.1 menunjukkan grafik yang menyatakan hubungan pengaruh putaran poros mesin terhadap torsi pada berbagai variasi letak *convergent grid*. Jika dibandingkan dengan grafik karakteristik motor bensin secara umum, penurunan dari grafik tersebut menunjukkan *peak point* (titik puncak) dari grafik hubungan putaran dan torsi telah dilewati, dengan kata lain torsi tertinggi terjadi pada putaran dibawah 5500 rpm.

Penurunan torsi pada putaran yang semakin tinggi bisa disebabkan karena semakin tingginya putaran, maka semakin tinggi pula jumlah siklus dari gerakan piston, karena hal itu maka kerugian akibat gesekan semakin meningkat sebagai akibat dari gesekan yang berasal dari gerakan yang bersifat bolak-balik dari piston.

Pada gambar 4.1 diatas terlihat bahwa pada putaran yang sama, torsi mesin yang menggunakan *convergent grid* memiliki torsi yang lebih besar dari pada mesin yang

tanpa *convergent grid*, karena mesin yang menggunakan *convergent grid* memiliki campuran udara dan bahan bakar yang lebih homogen akibat dari saling bertumbuhannya antar partikel dari campuran udara dan bahan bakar tersebut sehingga menimbulkan pola aliran yang turbulen.

Dari grafik diatas juga terlihat bahwa pada kondisi putaran yang sama *convergent grid* yang diletakkan di depan memiliki torsi yang lebih tinggi dari pada *convergent grid* yang diletakkan di belakang. Hal ini disebabkan karena pada posisi peletakan didepan, campuran udara dan bahan bakar memiliki kesempatan yang lebih besar untuk bercampur karena selain jaraknya yang lebih jauh dengan silinder dari pada *convergent grid* yang diletakkan dibelakang, kecepatan aliran campuran udara dan bahan bakar saat memasuki silinder lebih besar sehingga homogenitas pencampuran akan lebih tinggi dan bahan bakar yang terbakar lebih banyak sehingga tekanan efektif rata-rata yang dihasilkan akan lebih besar sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut,

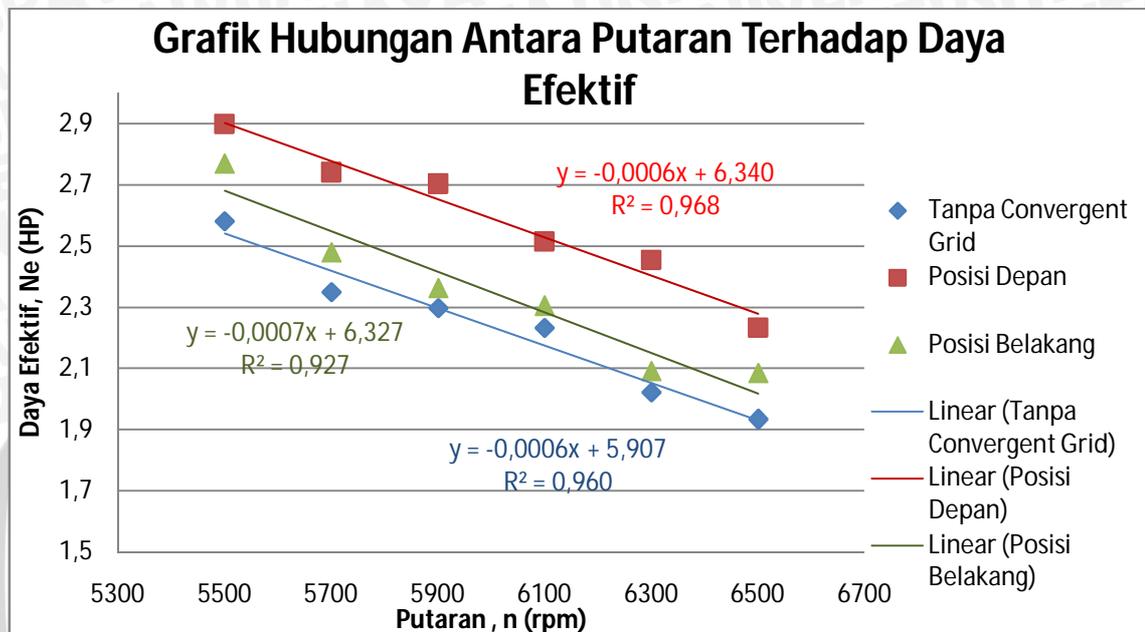
$$T = \frac{Vd \cdot iPe}{2\pi \cdot Z} \quad (\text{Petrovsky, 1968: 62}) \quad (4-1)$$

Dari persamaan diatas dapat diketahui tekanan efektif sebanding dengan besarnya torsi, semakin besar tekanan efektif dari campuran udara dan bahan bakar yang masuk silinder, besarnya torsi yang dihasilkan juga akan semakin besar, demikian pula sebaliknya. Pada penelitian ini, torsi yang dihasilkan paling besar dihasilkan pada *convergent grid* yang diletakan pada posisi depan dengan nilai torsi maksimal sebesar 0,377 kg.m pada putaran 5500 rpm.

Dari penelitian ini dapat dilihat bahwasanya besarnya nilai torsi untuk motor bensin berbahan bakar biogas lebih rendah jika dibandingkan dengan torsi yang dihasilkan pada motor bensin berbahan bakar bensin. Hal ini dikarenakan nilai kalor biogas lebih rendah daripada bensin. Nilai kalor biogas tergantung pada besarnya kandungan CH₄ sesuai dengan persamaan 2-1. Dari perhitungan didapatkan bahwa besar dari LHV biogas adalah 7731,7965 kkal/kg yang lebih rendah dari bensin yang memiliki LHV sebesar 10185,667 kkal/kg. Dengan LHV yang jauh lebih besar, maka kalor yang dihasilkan akan lebih tinggi, sehingga suhu dan tekanan hasil pembakaran pun menjadi tinggi sehingga mendorong torak kebawah dimana oleh poros engkol akan diubah menjadi gerak berputar. Oleh karena itu besarnya nilai torsi pada bahan bakar biogas lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar bensin.

4.2.2 Hubungan Antara Putaran Terhadap Daya Efektif

Hubungan antara putaran motor bensin empat langkah berbahan bakar biogas dengan daya efektif, dengan tanpa pemasangan *convergent grid* dan pemasangan *convergent grid* dengan variasi posisi letak *convergent grid* dapat dilihat dalam grafik pada gambar 4.2 berikut :



Gambar 4.2 Grafik perbandingan putaran poros mesin terhadap daya efektif pada berbagai variasi letak *convergent grid*

Pada gambar 4.2 yang menunjukkan grafik hubungan putaran poros mesin terhadap daya efektif. Jika dibandingkan dengan daya efektif pada grafik motor bensin secara umum, daya efektif yang cenderung menurun seiring dengan peningkatan putaran poros mesin pada grafik ini menunjukkan bahwa titik puncak dari grafik hubungan putaran dan daya efektif telah dilewati, dengan kata lain daya efektif tertinggi terjadi pada saat putaran poros mesin berada dibawah 5500 rpm dan kemudian mengalami penurunan. Peningkatan daya efektif saat putaran berada dibawah 5500 rpm terjadi disebabkan karena dengan putaran yang semakin meningkat, maka kerugian gesek yang terjadi juga semakin besar, akan tetapi masih bisa diatasi oleh mesin kaena pada putaran yang rendah campuran udara dan bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar masih mampu untuk menghasilkan energi untuk mengimbangi kerugian mekanis akibat gesekan torak dengan dinding silinder.

Pada putaran tinggi kenaikan putaran tidak dapat mengimbangi penurunan daya efektif yang terjadi, karena pada putaran tinggi akan menyebabkan semakin besarnya

daya mekanis yang hilang akibat gesekan yang terjadi pada dinding silinder dan waktu yang dibutuhkan untuk membuka dan menutup katup akan semakin singkat sehingga pembakaran cenderung tidak sempurna dan energi yang dihasilkan untuk mendorong torak akan mengalami penurunan, selain itu daya mekanis yang hilang ini menjadi faktor yang sangat dominan pada putaran tinggi, sehingga daya efektif yang dihasilkan poros menurun sesuai pada persamaan 4-2.

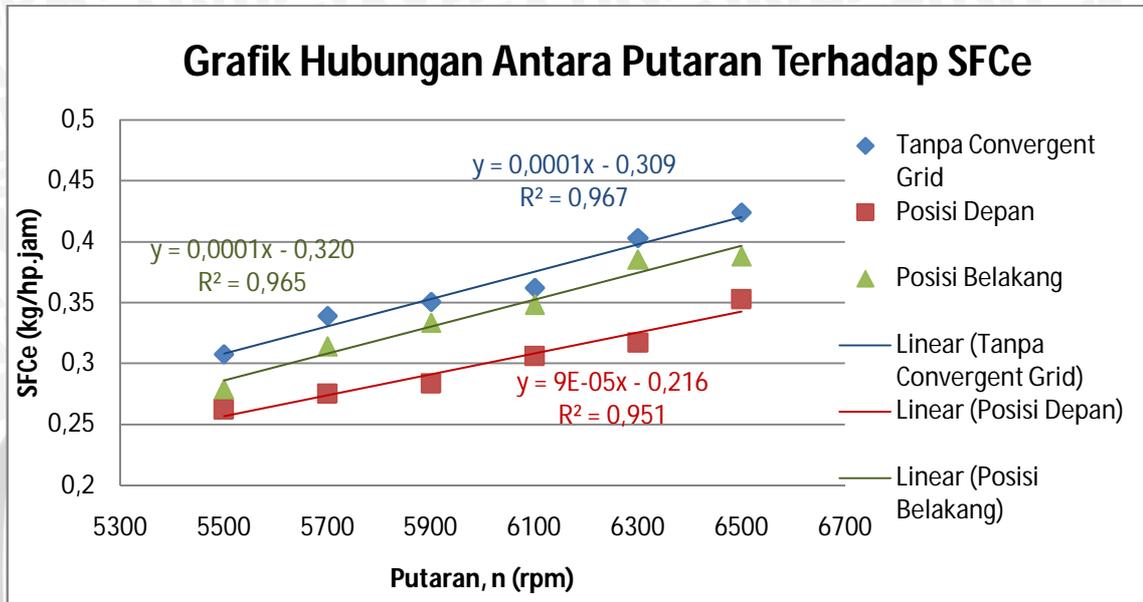
$$Ne = Ni - Nm \quad (\text{Petrovsky, 1968: 55}) \quad (4-2)$$

Pada grafik diatas juga terlihat bahwa pemasangan *convergent grid* pada posisi depan menghasilkan daya efektif sebesar 2,897 HP pada putaran 5500 rpm lebih besar dari pada mesin yang tidak memakai *convergent grid* dan mesin yang memakai *convergent grid* pada posisi belakang. Hal ini dikarenakan saat campuran udara dan bahan bakar melewati *convergent grid* terjadi tumbukan antar partikel-partikel campuran udara dan bahan bakar sehingga menjadikan campurannya homogen. Sedangkan jika dilihat dari letak *convergent grid* pada *intake manifold*, peletakan pada posisi depan akan memberikan kesempatan pencampuran yang lebih baik dan kecepatan saat memasuki silinder juga lebih besar sehingga turbulensi yang dihasilkan lebih besar dan homogenitas campuran udara dan bahan bakar akan semakin baik sehingga menghasilkan energi yang lebih besar.

Dari penelitian juga dapat diketahui besarnya daya efektif pada motor berbahan bakar bensin lebih besar daripada motor berbahan bakar biogas. Hal ini dapat dilihat bahwa daya efektif memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan torsi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa daya efektif pada motor berbahan bakar bensin lebih tinggi dibandingkan dengan daya efektif pada motor berbahan bakar biogas dikarenakan torsi yang dihasilkan pada motor berbahan bakar bensin lebih besar.

4.2.3 Hubungan Antara Putaran Dengan SFCE

Hubungan antara putaran motor bensin empat langkah berbahan bakar biogas dengan SFCE, dengan tanpa pemasangan *convergent grid* dan pemasangan *convergent grid* dengan variasi posisi letak *convergent grid* dapat dilihat dalam grafik pada gambar 4.3 berikut :



Gambar 4.3 Grafik perbandingan putaran poros mesin terhadap SFCE pada berbagai variasi letak *convergent grid*

Nilai dari konsumsi bahan bakar spesifik efektif didefinisikan sebagai banyaknya bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan daya efektif tiap jamnya sehingga konsumsi bahan bakar spesifik efektif ini dapat digunakan untuk mengukur tingkat keekonomisan dari mesin, semakin rendah nilai SFCE maka mesin tersebut semakin efisien.

Pada gambar 4.3 grafik hubungan putaran poros mesin terhadap SFCE terlihat semakin tinggi putaran maka nilai SFCE semakin naik, jika dibandingkan dengan grafik karakteristik motor bensin secara umum, maka dapat dilihat bahwa kenaikan tersebut menunjukkan titik terendah dari grafik hubungan putaran dan konsumsi bahan bakar efektif sudah dilewati, dengan kata lain konsumsi bahan bakar spesifik efektif terendah terjadi pada saat putaran poros mesin berada dibawah 5500 rpm dan kemudian mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan pada putaran yang relatif rendah konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan lebih sedikit namun menghasilkan pembakaran yang lebih baik dibandingkan pada putaran yang lebih tinggi sehingga daya efektif yang dihasilkan akan lebih besar, hal ini akan berpengaruh pada nilai SFCE yang lebih kecil.

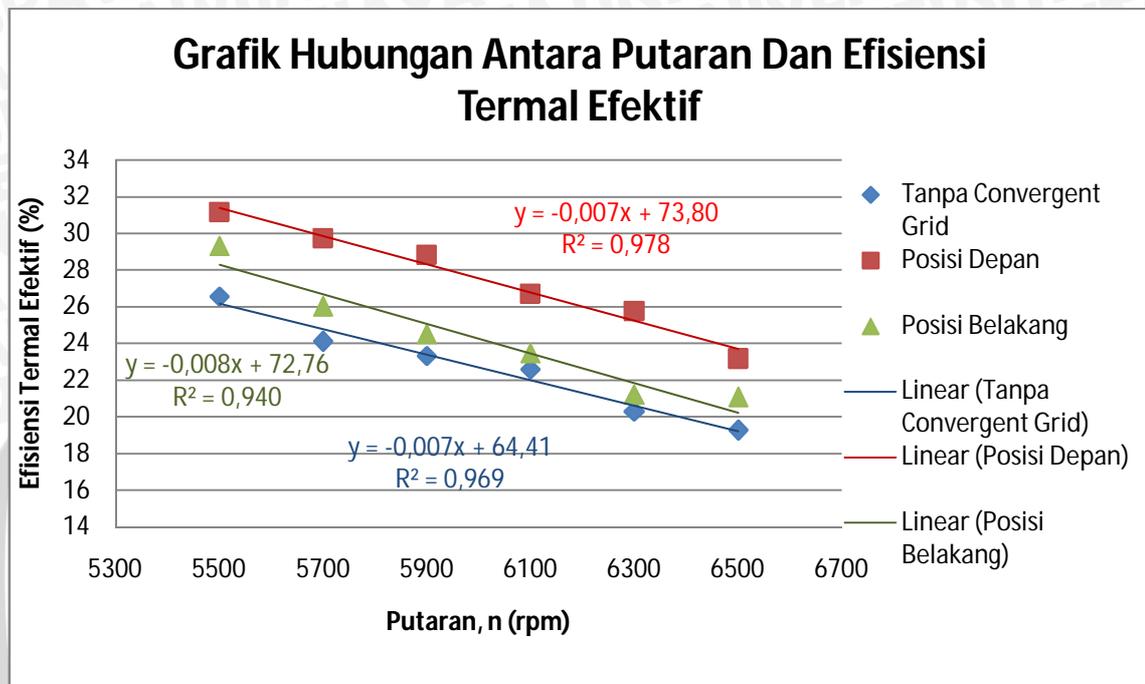
Selain itu pada putaran tinggi yakni diatas 5500 rpm, banyaknya bahan bakar yang terpakai setiap jamnya untuk setiap daya efektif yang dihasilkan semakin naik. Hal tersebut terjadi karena semakin tingginya putaran, maka jumlah siklus yang terjadi akan semakin banyak dan konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan juga semakin besar. Dengan semakin besarnya konsumsi bahan bakar, maka mengakibatkan konsumsi bahan bakar spesifik juga semakin besar. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar (FC) dan berbanding terbalik dengan daya efektif (Ne). sesuai dengan persamaan 2-4. Dari persamaan diatas, terlihat bahwa apabila konsumsi bahan bakar meningkat dan daya efektifnya cenderung menurun maka konsumsi bahan bakar spesifik efektif akan mengalami peningkatan.

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa nilai SFCE yang paling rendah terlihat pada putaran mesin 5500 rpm dengan menggunakan *convergent grid* pada peletakan depan dengan nilai sebesar 0,262 kg/HP jam, hal ini disebabkan oleh konsumsi bahan bakarnya paling kecil namun daya efektif yang dihasilkan lebih besar, sehingga terlihat bahwa dengan pemasangan *convergent grid* pada posisi depan, mampu membuat mesin bekerja lebih ekonomis dalam pemakaian bahan bakar dengan jumlah bahan bakar yang lebih sedikit namun daya efektif yang dihasilkan lebih besar dari pada mesin tanpa *convergent grid* dan mesin yang menggunakan *convergent grid* pada posisi belakang.

Dari grafik hasil penelitian telah diketahui bahwasanya nilai SFCE untuk motor bensin dengan bahan bakar bensin terlihat bahwa besarnya nilai SFCE untuk motor bensin berbahan bakar biogas lebih rendah jika dibandingkan dengan motor bensin yang berarti biogas lebih ekonomis jika digunakan dalam pembakaran mengingat biogas lebih mudah bercampur dengan udara sehingga dapat menghasilkan pembakaran yang lebih baik. Berdasarkan persamaan 2-4, SFCE berbanding terbalik dengan Ne. Diketahui juga bahwa daya efektif motor dengan bahan bakar bensin lebih tinggi jika dibandingkan dengan motor dengan bahan bakar biogas. Namun, nilai SFCE pada motor bensin tetap lebih tinggi. Hal dikarenakan pengaruhi konsumsi bahan bakar bensin lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar biogas, sehingga nilai SFCE pada motor bensin tetap lebih tinggi walaupun daya efektif yang dihasilkan semakin meningkat.

4.2.4 Hubungan Antara Putaran Terhadap Efisiensi Termal Efektif

Hubungan antara putaran motor bensin empat langkah berbahan bakar biogas dengan efisiensi termal efektif, dengan tanpa pemasangan *convergent grid* dan pemasangan *convergent grid* dengan variasi posisi letak *convergent grid* dapat dilihat dalam grafik pada gambar 4.4 berikut :



Gambar 4.4 Grafik perbandingan putaran poros mesin terhadap efisiensi termal efektif pada berbagai variasi letak *convergent grid*

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran maka efisiensi termal efektif akan mengalami penurunan. Hal ini bila dihubungkan dengan grafik efisiensi termal efektif menunjukkan bahwa titik puncak dari grafik hubungan putaran dan efisiensi termal efektif sudah dilewati, dengan kata lain efisiensi termal efektif tertinggi terjadi saat putaran poros mesin berada dibawah 5500 rpm dan kemudian mengalami penurunan. Peningkatan efisiensi termal efektif yang terjadi pada grafik karakteristik motor bakar secara umum, disebabkan karena putaran yang semakin meningkat maka kerugian gesekan yang terjadi akan semakin meningkat, tetapi masih bisa diimbangi oleh energi hasil pembakaran. Selain itu pada putaran yang relatif rendah konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan lebih sedikit namun menghasilkan pembakaran yang lebih baik dibandingkan pada putaran yang lebih tinggi sehingga daya efektif yang dihasilkan akan lebih besar, hal ini akan berpengaruh pada nilai SFCE yang lebih kecil, selain itu peningkatan ini disebabkan karena nilai efisiensi termal efektif berbanding

terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCE) dan *Low Heating Value* bahan bakar (LHV_{bb}) sesuai dengan persamaan 2-6.

Kecenderungan penurunan nilai efisiensi termal efektif pada putaran poros yang semakin tinggi, disebabkan karena konsumsi bahan bakar spesifik efektif yang mengalami peningkatan. Selain itu karena kerugian mekanis yang ditimbulkan oleh gesekan torak dan dinding silinder semakin tinggi yang menyebabkan daya efektif yang dihasilkan juga semakin turun. Semakin tinggi putaran, campuran bahan bakar dan udara yang masuk ke dalam ruang silinder semakin kecil yang disebabkan mekanisme buka tutup katup masuk yang semakin cepat sehingga kalor yang dihasilkan pada proses pembakaran semakin kecil dan daya efektif juga semakin kecil pula.

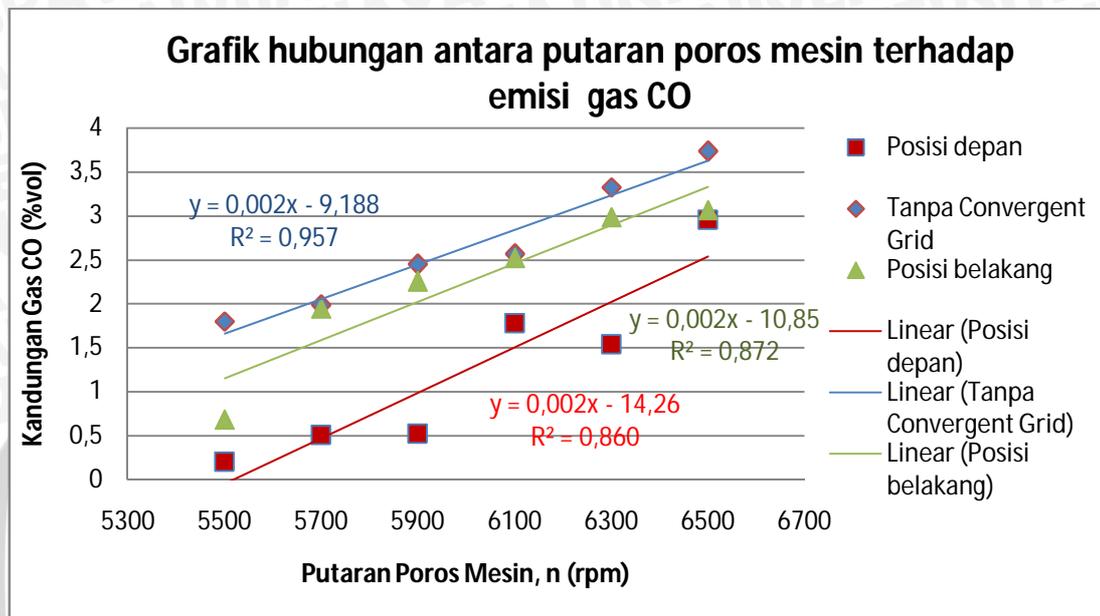
Dari grafik diatas juga terlihat bahwa dengan pemasangan *convergent grid* pada posisi depan akan menghasilkan efisiensi termal efektif sebesar 31,161% yang lebih tinggi dibandingkan dengan mesin tanpa pemasangan *convergent grid* dan mesin yang memasang *convergent grid* pada posisi belakang. Hal ini dikarenakan pencampuran udara dan bahan bakar pada peletakan *convergent grid* di depan, memiliki pencampuran yang lebih homogen karena memiliki kesempatan untuk bercampur lebih baik dan ketika memasuki silinder memiliki kecepatan yang lebih tinggi disertai konsumsi bahan bakar yang lebih sedikit.

Dari data hasil penelitian, diketahui bahwa motor berbahan bakar biogas memiliki efisiensi termal efektif yang lebih tinggi dari pada motor berbahan bakar bensin. Berdasarkan persamaan 2-6 efisiensi termal efektif memiliki hubungan yang berbanding terbalik dengan nilai LHV bahan bakar dan SFCE. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa nilai LHV dan SFCE bahan bakar biogas lebih rendah jika dibandingkan LHV bahan bakar bensin, oleh karena itu dengan nilai LHV dan SFCE yang lebih rendah maka biogas akan memiliki efisiensi termal efektif yang lebih tinggi.

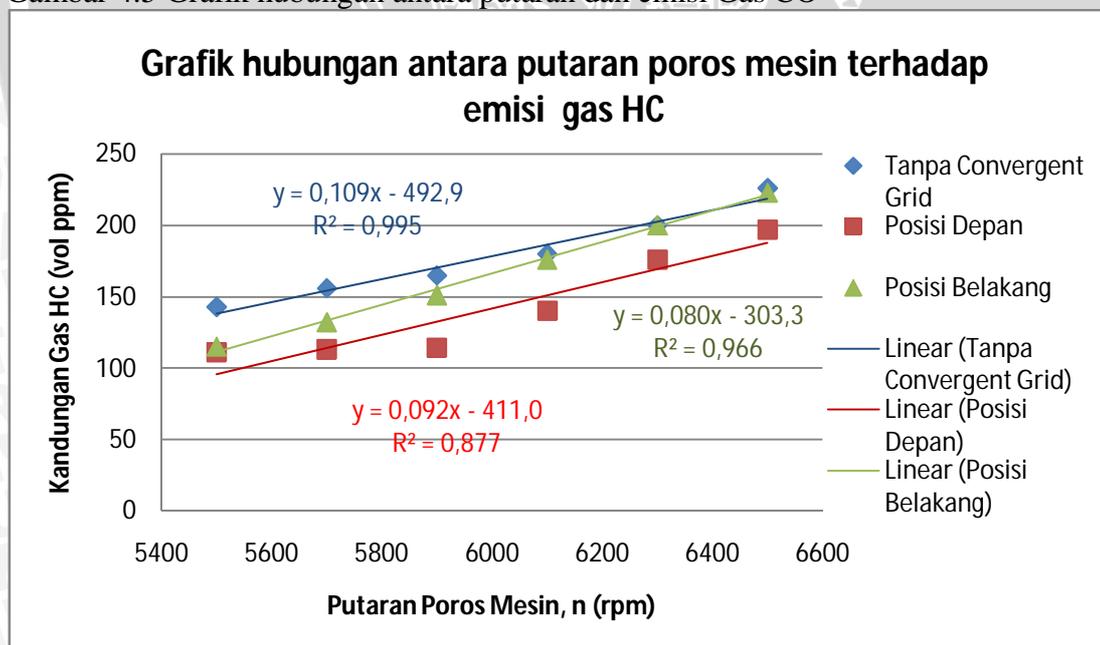
Fase gas dalam biogas memiliki keunggulan dari pada bensin, sehingga menjadikan dapat bercampur lebih baik dengan udara pembakaran sehingga akan menghasilkan pembakaran yang lebih baik dan efisiensi yang didapatkan akan lebih tinggi dari pada bahan bakar bensin.

4.2.5 Hubungan Antara Putaran Terhadap Emisi Gas CO dan HC

Hubungan antara putaran motor bensin empat langkah berbahan bakar biogas dengan emisi gas CO dan HC, dengan tanpa pemasangan *convergent grid* dan pemasangan *convergent grid* dengan variasi posisi letak *convergent grid* dapat dilihat dalam grafik pada gambar 4.5 dan gambar 4.6 berikut :



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara putaran dan emisi Gas CO



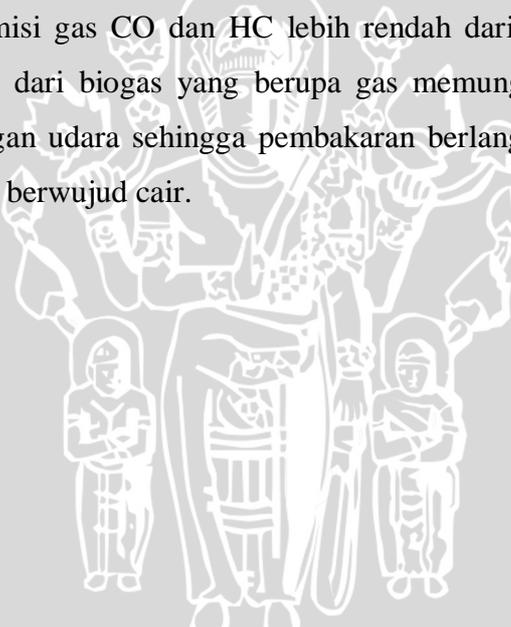
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara putaran dan emisi Gas HC

Gambar 4.5 dan gambar 4.6 menunjukkan grafik yang menyatakan pengaruh putaran poros mesin terhadap emisi gas CO dan HC, terlihat bahwa semakin tinggi putaran poros mesin maka emisi gas CO dan HC semakin meningkat. Hal ini

disebabkan karena seiring dengan bertambahnya putaran mesin, maka gerak torak akan semakin cepat, tingginya gerak translasi dari torak tidak seimbang dengan kecepatan reaksi dari pembakaran yang terjadi, akibatnya pembakaran cenderung tidak sempurna dan kandungan emisi gas CO dan HC semakin meningkat.

Dari kedua grafik diatas juga terlihat bahwa kadar emisi gas CO dan HC yang terendah terdapat didapatkan pada pemasangan *convergent grid* pada posisi depan pada putaran 5500 rpm, dengan besaran kadar CO dan HC masing-masing adalah 0,204 % vol dan 111 ppm. Hal ini dapat terjadi karena pada peletakan *convergent grid* pada posisi depan akan menghasilkan homogenitas pembakaran yang lebih baik dari pada tanpa pemasangan *convergent grid* dan pemasangan *convergent grid* pada posisi belakang, sehingga dengan pemasangan *convergent grid* pada posisi depan akan didapatkan kadar emisi gas buang CO dan HC yang paling rendah.

Jika dibandingkan dengan karakteristik motor dengan bahan bakar bensin, bahan bakar biogas memiliki emisi gas CO dan HC lebih rendah dari pada bensin. Hal ini disebabkan karena wujud dari biogas yang berupa gas memungkinkan pencampuran yang lebih homogen dengan udara sehingga pembakaran berlangsung lebih baik jika dibandingkan bensin yang berwujud cair.



BAB V

KESIMPULAN & SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa variasi letak *convergent grid* pada *intake manifold* berpengaruh terhadap kinerja motor bensin berbahan bakar biogas. Letak *convergent grid* pada *intake manifold* yang optimal untuk unjuk kerja adalah pada letak pemasangan posisi depan, yakni tepat di depan *mixer*. Hal ini ditunjukkan dengan peningkatan pada besar torsi, daya efektif, efisiensi termal efektif, dan penurunan pada besar SFCE, emisi gas CO dan HC.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, untuk pengembangan di masa depan, peneliti memberikan saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai perancangan *mixer* untuk motor bensin dengan bahan bakar biogas.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang *convergent grid* pada motor bensin 4 langkah lebih dari satu silinder.
3. Melakukan penelitian lanjutan mengenai penggunaan *convergent grid* untuk jenis bahan bakar lain.