

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Yunianto B.D. (2003), fokus penelitiannya adalah pada variasi kemiringan lubang *grid*. Dari penelitian tersebut dia menyimpulkan bahwa kinerja yang paling optimal dihasilkan oleh *grid* dengan kemiringan 20° .

Mariono (2005), Pemasangan *divergent grid* dengan variasi sudut lubang pada *intake manifold* untuk *divergent grid* bersudut 15° dan 20° dapat meningkatkan unjuk kerja yang dihasilkan oleh motor Otto empat langkah.

2.2 Motor Bakar Torak

Motor bakar torak merupakan mesin konversi energi yang mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik di poros mesin melalui proses pembakaran di ruang silinder, sehingga motor bakar torak termasuk dalam mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engines*).

Berdasarkan jenis penyalanya motor bakar di bagi 2 macam, yaitu motor Otto dan motor Diesel. Pada motor Otto, penyalan bahan bakar dengan bantuan loncatan bunga api listrik diantara dua elektroda busi, sehingga motor Otto disebut juga SIE (*Spark Ignition Engines*), sedangkan pada motor Diesel proses penyalan bahan bakar terjadi dengan sendirinya karena adanya tekanan dan temperatur yang tinggi dalam silinder, sehingga biasanya disebut CIE (*Compression Ignition Engines*).

2.3 Motor Otto

Berdasarkan langkah kerjanya, motor Otto dibagi menjadi dua jenis, yaitu : motor Otto dua langkah dan motor Otto empat langkah. Pada motor Otto, pencampuran antara bahan bakar dengan udara terjadi di karburator, dimana bahan bakar tersebut disemprotkan melalui *pilot* dan *main jet* akibat perbedaan tekanan pada lubang venturi yang dialiri oleh udara. Campuran tersebut kemudian masuk ke dalam ruang bakar melalui *intake manifold* dan dibakar oleh percikan bunga api listrik dari busi menjelang langkah akhir kompresi, sehingga menghasilkan gas pembakaran sebagai fluida kerja yang digunakan untuk melakukan kerja.

2.3.1 Siklus Ideal Motor Otto 4 Langkah

Proses termodinamika dan kimia yang terjadi di dalam motor bakar torak sangat kompleks untuk dianalisis menurut teori. Untuk memudahkan analisis perlu membayangkan suatu keadaan yang ideal. Semakin ideal suatu keadaan, maka semakin mudah untuk dianalisis, akan tetapi dengan sendirinya akan semakin jauh menyimpang dari keadaan yang sebenarnya. Pada umumnya untuk menganalisis motor bakar torak dilakukan dengan pendekatan menggunakan siklus udara standar sebagai siklus yang ideal. Pada mesin yang ideal proses pembakaran yang dapat menghasilkan gas bertekanan dan bertemperatur tinggi tersebut dimisalkan sebagai proses pemasukan panas ke dalam fluida kerja di dalam silinder.

Pada motor Otto empat langkah, torak bergerak dari Titik Mati Atas (TMA) ke Titik Mati Bawah (TMB), dimana setiap kali torak baik dari TMA ke TMB atau dari TMB ke TMA dihitung satu kali langkah, oleh karena itu pada motor bakar empat langkah, setiap siklusnya terdiri dari empat kali gerakan torak atau dua kali putaran poros engkol. Skema setiap langkah gerakan torak di dalam silinder motor Otto empat langkah tersebut ditunjukkan dalam Gambar 2.1. Proses yang terjadi adalah :

a. Langkah isap (*Suction Stroke*)

Torak bergerak dari posisi TMA ke TMB, dengan katup KI (katup isap) terbuka dan KB (katup buang) tertutup. Karena gerakan torak tersebut maka campuran udara dan bahan bakar akan terisap masuk ke dalam ruang bakar.

b. Langkah kompresi (*Compression Stroke*)

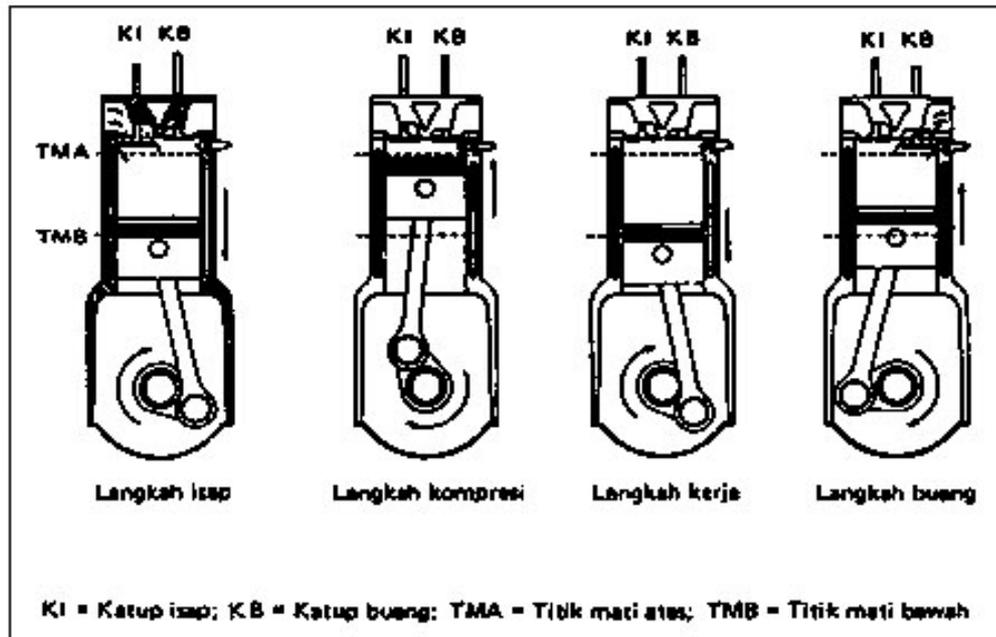
Torak bergerak dari posisi TMB ke TMA, dengan KI dan KB tertutup, sehingga terjadi proses kompresi yang mengakibatkan tekanan dan temperatur di dalam silinder naik.

c. Langkah ekspansi (*Expansion Stroke*)

Sebelum posisi torak mencapai TMA pada langkah kompresi, busi dinyalakan, sehingga terjadi proses pembakaran. Akibatnya tekanan dan temperatur di ruang bakar naik lebih tinggi, sehingga torak mampu melakukan langkah kerja atau langkah ekspansi. Langkah kerja dimulai dari posisi torak pada TMA dan berakhir pada posisi TMB saat KB mulai terbuka pada awal langkah buang. Langkah ekspansi pada proses ini sering disebut dengan *power stroke* atau langkah kerja.

d. Langkah buang

Torak bergerak dari TMB ke TMA. KI tertutup dan KB terbuka, sehingga gas hasil pembakaran terbuang ke atmosfer.



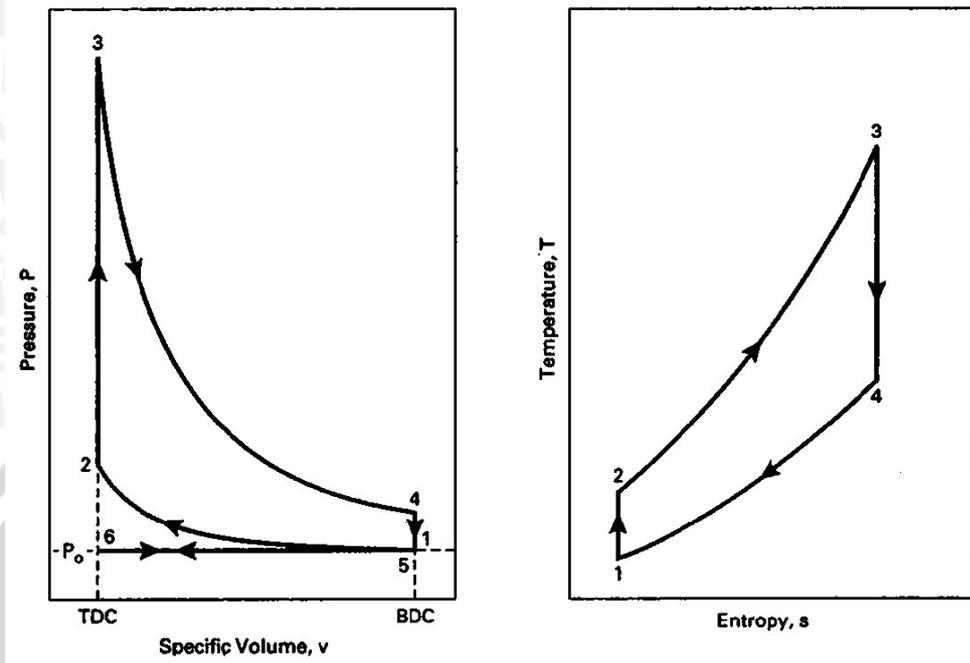
Gambar 2.1. Skema langkah kerja motor bakar empat langkah.

Sumber : Arismunandar, 2002 : 8

Dalam menganalisis proses yang terjadi di dalam motor Otto empat langkah akan ditunjukkan melalui skema siklus motor Otto empat langkah secara ideal. Siklus udara menggunakan beberapa keadaan yang sama dengan siklus sebenarnya, misalnya mengenai:

1. Urutan proses
2. Perbandingan kompresi
3. Pemilihan temperatur dan tekanan pada suatu keadaan
4. Penambahan kalor yang sama per satuan berat udara

Siklus motor Otto empat langkah merupakan siklus udara volume-konstan yang ditunjukkan dalam diagram P-V dan diagram T-S pada Gambar 2.2.



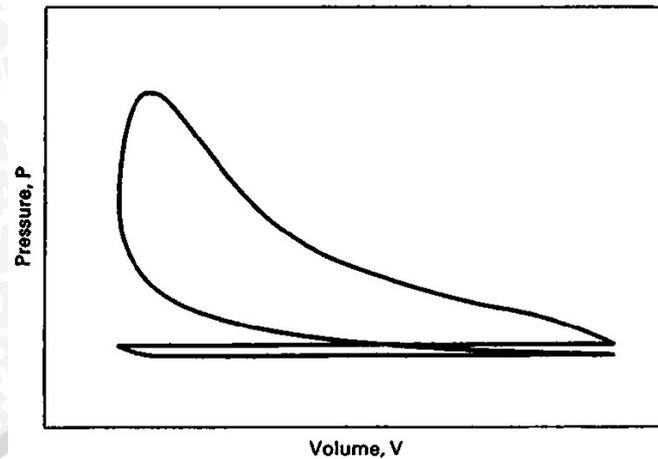
Gambar 2.2. Diagram hubungan antara tekanan (P)–volume spesifik (v) dan temperatur (T) – entropi (s)
Sumber : Pulkrabek, 2004 : 90

Langkah kerja siklus Otto terdiri dari :

1. Langkah kompresi adiabatik, 1-2
2. Langkah pemasukan panas pada volume konstan, 2-3
3. Langkah ekspansi adiabatik, 3-4
4. Langkah pembuangan panas, 4-1.

2.3.2 Siklus Aktual Motor Otto Empat Langkah

Dalam siklus udara standar, langkah buang dan langkah isap tidak diperlukan karena fluida kerja udara tetap berada di dalam silinder. Apabila tekanan gas dan volume silinder secara bersamaan pada setiap posisi torak dapat diukur, maka dapat digambarkan siklus aktual motor Otto yang bentuknya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Siklus aktual motor Otto empat langkah
Sumber : Pulkrabrek, 2004 : 48

Pada kenyataannya, proses langkah kerja motor Otto empat langkah tidak dapat bekerja dalam kondisi ideal. Menurut Arismunandar, W (2002:29), penyimpangan dari siklus ideal itu terjadi karena :

1. Kebocoran fluida kerja yang disebabkan oleh penyekatan cincin torak dan katup tidak sempurna.
2. Katup tidak dibuka dan ditutup tepat di TMA dan TMB karena pertimbangan dinamika mekanisme katup dan kelembaman fluida kerja.
3. Fluida kerja bukanlah udara yang dapat dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik yang konstan selama proses siklus berlangsung.
4. Pada motor bakar torak yang sebenarnya, pada waktu torak berada di TMA tidak terdapat proses pemasukan kalor seperti pada siklus udara. Kenaikan tekanan dan temperatur fluida kerja disebabkan oleh proses pembakaran bahan bakar dan udara di dalam silinder.
5. Proses pembakaran memerlukan waktu, tidak berlangsung sekaligus. Akibatnya proses pembakaran berlangsung pada volume ruang bakar yang berubah-ubah karena gerakan torak. Dengan demikian proses pembakaran harus sudah dimulai beberapa saat sebelum torak mencapai TMA dan berakhir beberapa saat setelah torak meninggalkan TMA menuju TMB. Jadi proses pembakaran tidak dapat berlangsung pada volume konstan atau pada tekanan konstan.
6. Terdapat kerugian kalor yang disebabkan oleh perpindahan kalor dari fluida kerja ke fluida pendingin, terutama pada langkah kompresi, ekspansi dan pada waktu gas buang meninggalkan silinder. Perpindahan kalor tersebut terjadi

karena terdapat perbedaan temperatur antara fluida kerja dengan fluida pendingin. Fluida pendingin diperlukan untuk mendinginkan bagian mesin yang menjadi panas, untuk mencegah kerusakan.

7. Terdapat kerugian energi kalor yang dibawa oleh gas buang dari dalam silinder ke atmosfer sekitar. Energi tersebut tidak dapat dimanfaatkan untuk melakukan kerja mekanik.
8. Terjadi kerugian energi karena gesekan antara fluida kerja dengan dinding salurannya.

Kerugian yang tersebut diatas akan berpengaruh terhadap bentuk diagram P - V, sehingga bentuk diagram P - V siklus aktual yang terjadi akan berbeda dengan bentuk siklus aktual pada diagram P - V siklus ideal. Pada siklus yang sebenarnya tidak pernah terjadi suatu proses dengan volume konstan atau tekanan konstan. Karena semua penyimpangan diatas menimbulkan kerugian energi, maka sebaiknya diusahakan agar siklus yang sebenarnya dapat mendekati siklus yang ideal.

2.3.3 Saluran Isap (*Intake Manifold*)

Sebuah motor Otto empat langkah akan membutuhkan sebuah sistem isap yang berfungsi untuk mengalirkan jumlah bahan bakar dan udara yang tepat ke dalam silinder pada saat mesin bekerja. Sistem isap terdiri atas beberapa bagian utama, yaitu : karburator, *throttle*, saluran isap (*intake manifold*), katup isap dan ruang bakar.

Saluran isap berupa suatu pipa yang berfungsi sebagai saluran untuk mengalirkan campuran antara bahan bakar dan udara dari karburator ke dalam silinder. Besarnya diameter dan panjang *intake manifold* haruslah seimbang, yaitu tidak terlalu panjang dan juga tidak terlalu pendek, sehingga diharapkan dapat terjadi percampuran antara bahan bakar dan udara dengan baik. Selain itu diameternya tidak boleh terlalu kecil atau besar, sehingga tidak akan terjadi gesekan aliran yang besar dan tidak akan menurunkan efisiensi volumetriknya.

Kondisi campuran antara bahan bakar dan udara di dalam *intake manifold* dapat terbagi menjadi tiga, yaitu:

1. Bahan bakar (dalam bentuk kabut/ *droplets*) dan udara akan bercampur dengan baik sehingga bahan bakar dan udara tersebut akan mengalir bersama-sama kedalam silinder. Hal ini merupakan kondisi ideal yang diharapkan dapat terjadi.
2. Terdapat sebagian kecil bahan bakar yang masih dalam bentuk tetes cairan sehingga tidak bisa bercampur dengan udara secara sempurna.

3. Terjadinya lapisan tipis bahan bakar (*film*) pada dinding *intake manifold*. Hal ini terjadi karena bahan bakar yang masih dalam bentuk titik cairan akibat pengaruh gaya gravitasi dan adanya perbedaan berat jenis yang akan mengumpul menjadi suatu lapisan tipis pada dinding *intake manifold*.

Kondisi campuran akan berpengaruh terhadap proses pembakaran yang terjadi di ruang bakar. Dua kondisi terakhir di atas akan menyebabkan terjadinya perbedaan perbandingan campuran jumlah udara dengan bahan bakar yang akan dialirkan ke silinder akibat campuran udara dan bahan bakar yang kurang homogen. Hal tersebut dapat dikurangi atau bahkan dapat diatasi dengan cara membuat modifikasi agar campuran bahan bakar dan udara menjadi homogen, misalnya dengan menggunakan sistem injeksi bahan bakar sehingga diharapkan dapat mengkabutkan bahan bakar dengan baik. Selain itu dapat juga dengan mengusahakan agar aliran yang melewati *intake manifold* berpusar sehingga didapatkan campuran yang homogen.

2.4 Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen sebagai oksidator yang menyebabkan timbulnya kenaikan temperatur.

Dalam kondisi aktual, pembakaran sempurna hampir tidak pernah terjadi karena pembakaran dalam ruang bakar terjadi berlangsung secara kompleks. Tidak hanya bergantung pada ruang bakarnya, tetapi juga tergantung kondisi bahan bakar, udara dan temperatur pembakaran.

Pada proses pembakaran, ada empat syarat yang harus dipenuhi agar terjadi pembakaran yang sempurna, yaitu :

1. Bahan bakar menguap secara cepat dan sempurna
2. Digunakan cukup udara pembakaran
3. Adanya campuran udara dan bahan bakar yang homogen
4. Tercapainya temperatur udara yang cukup tinggi

Jika syarat-syarat di atas tidak terpenuhi, maka akan terjadi pembakaran yang tidak sempurna. Pembakaran yang tidak sempurna akan menghasilkan oksida yang menimbulkan polusi udara dan menurunkan efisiensi serta secara ekonomis akan sangat merugikan.

2.4.1 Pembakaran pada Motor Otto Empat Langkah

Pembakaran yang terjadi pada motor bensin empat langkah adalah pembakaran *pre-mixed*, yaitu : proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara (oksigen) dicampur terlebih dahulu secara mekanik (misalnya dengan karburator), kemudian baru dibakar.

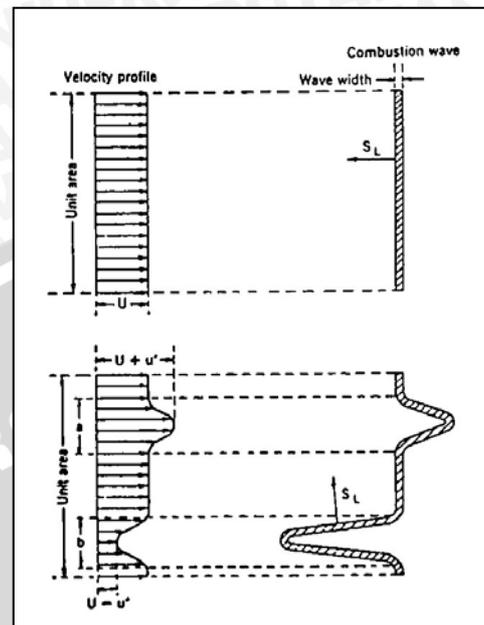
Campuran bahan bakar yang berbentuk kabut (*droplets*) dan udara yang tercampur dalam karburator akan mengalir melalui *intake manifold* menuju ruang bakar, homogenitas campuran bahan bakar dan udara akan menentukan proses pembakaran yang terjadi di ruang bakar. Pembakaran sempurna akan menghasilkan unjuk kerja mesin yang optimal dan emisi gas CO yang rendah, karena pada pembakaran sempurna, campuran bahan bakar dan udara yang masuk ruang bakar telah habis terbakar dan emisi yang terbentuk akibat dari adanya bahan bakar yang tidak terbakar.

Pembakaran dalam ruang bakar ini terjadi dengan sangat cepat, tetapi ada jeda waktu sesaat awal penyalaan api oleh busi sampai campuran bahan bakar dan udara terbakar habis. Setelah busi menyala, nyala api akan merambat ke segala arah dengan kecepatan yang sangat tinggi (20 – 50 m/s) dan menyalakan campuran yang dilaluinya sehingga tekanan dalam ruang bakar meningkat sesuai campuran yang terbakar (Arismunandar, 2002:82). Kecepatan pembakaran dipengaruhi oleh gerakan udara yang terbakar, jika fluida yang dibakar berpusar dan menimbulkan turbulensi, sehingga terjadi suatu homogenitas, maka kecepatan pembakaran yang terjadi akan lebih tinggi (Zhang dan Hill, 1996: 318).

Pada proses pembakaran di ruang bakar, kondisi campuran udara dan bahan bakar sangat menentukan kualitas pembakaran. Campuran bahan bakar dan udara yang homogen akan lebih meningkatkan kualitas pembakaran di ruang bakar.

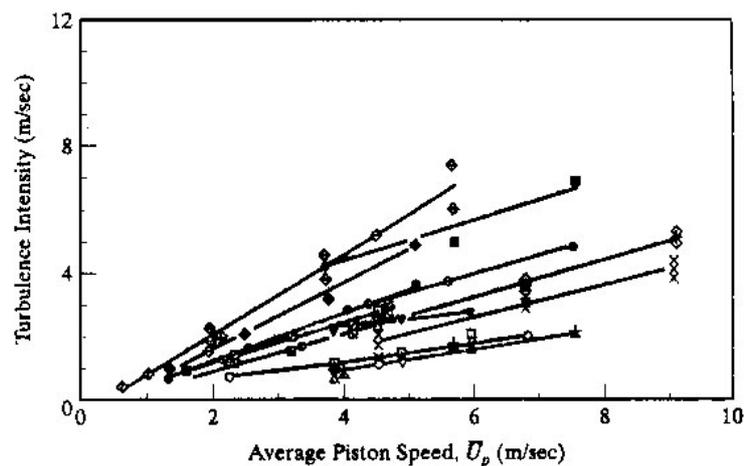
Kemungkinan terbakarnya sendiri bahan bakar di dalam silinder dapat dikurangi dengan cara pemusaran campuran bahan bakar dan udara yang akan masuk ke ruang bakar/ silinder (Arends dan Berenschot, 1980). Adanya pusaran tersebut akan mengakibatkan suatu campuran yang lebih homogen antara bahan bakar dengan udara, sehingga proses pembakaran di dalam ruang bakar akan dapat terjadi dengan lebih teratur dibandingkan dengan pembakaran tanpa adanya pusaran. Selain itu kecepatan pembakaran juga akan meningkat dengan adanya pusaran tersebut jika dibandingkan apabila gas dalam keadaan berhenti tanpa pusaran. Dengan demikian, hal itu akan dapat mencegah terjadinya pembakaran sendiri bahan bakar serta diharapkan proses

pembakaran berlangsung lebih sempurna dengan adanya campuran bahan bakar dan udara yang lebih homogen tersebut (Gambar 2.4.).



Gambar 2.4. Perambatan api laminar dan turbulen
(Sumber : Lewis, 1961 : 415)

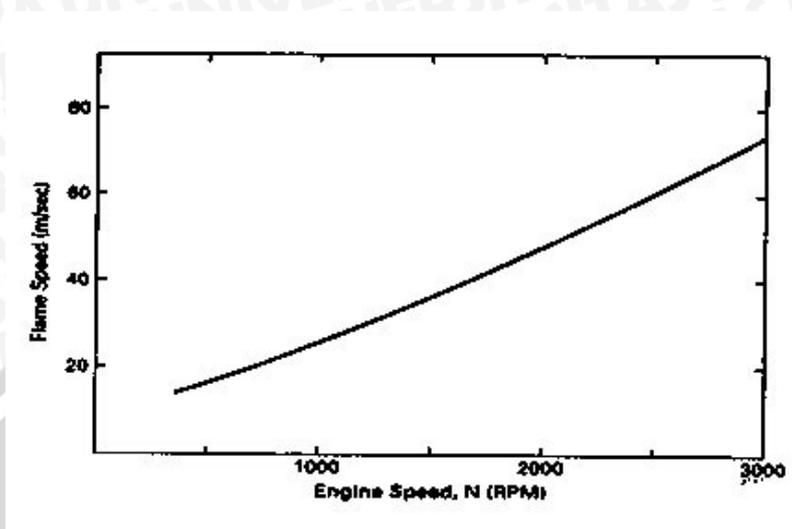
Apabila kecepatan mesin meningkat, maka kecepatan aliran campuran gas yang masuk ke dalam silinder akan bertambah pula. Hal ini akan menyebabkan terjadinya pusaran dan turbulensi aliran (Gambar 2.5.).



Gambar 2.5. Pengaruh putaran mesin terhadap intensitas turbulensi
Sumber : Pulkrabek, Willard W, 2004 : 251

Dengan adanya turbulensi, kecepatan perpindahan panas dan penguapan (*evaporasi*) gas akan lebih cepat terjadi, selain itu percampuran bahan bakar dengan

udara akan berlangsung lebih baik sehingga akan mempercepat proses pembakaran (Gambar 2.6). Pada proses pembakaran yang cepat, kemungkinan terjadinya *autoignition* dan *knocking* akan lebih kecil (Pulkrabek, 2004).



Gambar 2.6. Grafik kecepatan rata-rata pembakaran dalam ruang bakar terhadap putaran mesin

Sumber : Pulkrabek, Willard W, 2004 : 280

Dari aspek mekanika fluida, olakan dan turbulensi dibangkitkan oleh gaya-gaya viskos dan gerakan lapisan fluida yang berdampingan pada kecepatan yang berbeda. Demikian juga pada daerah dekat penampang masuk pipa, profil kecepatan akan mengalami perubahan sampai dicapainya suatu keadaan setimbang pada suatu jarak yang letaknya lebih ke hilir (Djojodiharjo, 1983).

Dalam medan aliran, terdapat gradien kecepatan yang kuat di dekat dinding, yaitu suatu daerah yang dikenal sebagai lapisan batas terhadap fluida. Pada dinding bekerja gaya geser yang bersifat memberikan tahanan, dan lapisan batas merupakan daerah dengan tegangan-tegangan geser yang besar (Streeter dan Wylie, 1986).

2.5 Emisi Gas CO

Karbonmonoksida (CO) merupakan salah satu unsur emisi gas buang yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia karena tidak berwarna, tidak berbau dan beracun yang dapat menimbulkan rasa sakit pada mata, saluran pernafasan dan paru-paru. Apabila masuk dalam darah melalui pernafasan, CO akan bereaksi dengan *haemoglobin* dalam darah membentuk COHb (*karboksahaemoglobin*), CO berikatan sangat kuat dengan Hb sehingga menghalangi fungsi vital Hb untuk membawa oksigen bagi tubuh. Jumlah kadar karbon monoksida tergantung dari campuran bahan bakar,

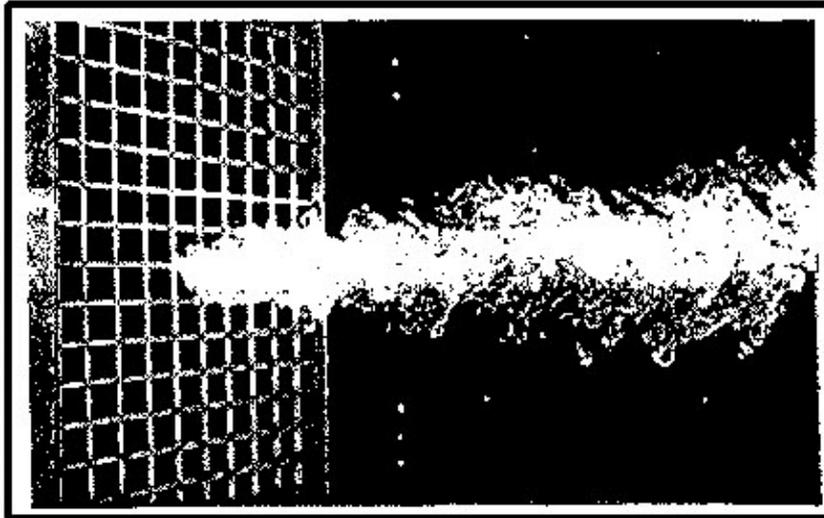
kecepatan putaran mesin (rpm), temperatur dari ruang bakar, silinder dan dinding silinder, saat pengapian, langkah torak, udara yang dimasukkan dalam karburator maupun katalisator yang digunakan.

Adakalanya jika pembakaran yang terjadi tidak sempurna maka pada gas buang akan menghasilkan *hydrocarbon* (HC). Penyebab utama timbulnya *hydrocarbon* (HC) antara lain karena hilangnya panas pada dinding ruang bakar sehingga menyebabkan sulit terbakarnya campuran bahan bakar-udara, api tidak dapat menembus campuran bahan bakar-udara yang berada pada volume *crevice* (volume antara piston-ring dan piston-dinding ruang bakar) pada saat proses pembakaran, dan terperangkapnya bahan bakar di lapisan oli pada dinding ruang bakar sehingga sulit terbakar pada saat proses pembakaran.

2.6 Modifikasi dengan *Divergent Swirling Grid*

Grid merupakan penghalang atau pengganggu aliran yang berupa pelat berlubang dengan diameter lubang dan tebal tertentu. Aliran fluida yang melalui *grid* akan mengalami gangguan jika gaya-gaya yang bekerja terganggu kesetimbangannya. Apabila *grid* ditempatkan pada aliran udara maka akan menyebabkan perbedaan tekanan antara daerah bawah dan atas *grid*. Karena terdapat perbedaan tekanan, maka aliran udara akan mengalami percepatan, kemudian turun dan menyebabkan garis alirnya saling berpotongan sehingga timbul pusaran (*vortex*) yang dapat menciptakan turbulensi. Suatu aliran fluida yang melewati penghalang berupa *grid* kecepatannya akan berkurang secara tiba-tiba, sehingga menyebabkan kondisi kecepatan nol (*zero velocity*) dan akan menimbulkan pusaran (*vorticity*) pada bagian belakang *grid*. Sehingga efek turbulensi akan terbentuk karena adanya aliran yang berpusar (Lesieur, 1987).

Zhang dan Hill menyatakan bahwa jika fluida yang dibakar berpusar dan menimbulkan turbulensi maka pembakaran yang terjadi akan lebih tinggi. Tennese Lumley menyebutkan bahwa aliran turbulen *isotropic* dicapai di belakang *grid*, dimana olakan tercipta pada tangkai bangun secara bersamaan seperti dalam gambar 2.7. Kemudian Mohammed Larue, Tresno dan Monoz menentukan awal dari daerah homogen dan *isotropic* pada kondisi yang berbeda, dimana mereka menguraikan bahwa awal terbentuknya daerah *isotropic* dan homogen/seragam adalah sejalan dengan besar bilangan Reynolds (Lesieur, 1987).



Gambar 2.7. Turbulensi di belakang *grid*
Sumber : Lesieur, 1987: 4

Campuran bahan bakar dan udara setelah melalui karburator homogenitasnya masih dapat ditingkatkan. Caranya adalah dengan membuat *droplets* yang telah terbentuk terpecah dan terurai menjadi lebih kecil serta dengan membuat aliran campuran bahan bakar dan udara menjadi berolak. Secara mekanik hal ini dapat dilakukan dengan memasang *divergent swirling grid* pada *intake manifold*. *Divergent swirling grid* merupakan pelat datar dengan ketebalan tertentu yang dilubangi dengan ukuran, bentuk lubang dan kemiringan tertentu terhadap sumbu vertikal pelat *grid* dan memiliki sudut *swirl* tertentu. Lubang tersebut berfungsi melewatkan campuran bahan bakar dan udara. Dengan mengatur arah aliran yang melewati lubang *divergent swirling grid* tersebut maka aliran yang berolak atau turbulen akan dapat dihasilkan.

Pada saat campuran bahan bakar dan udara melewati lubang-lubang *divergent swirling grid*, maka kecepatannya akan meningkat karena adanya pengecilan penampang aliran serta terjadi penurunan tekanan (*pressure drop*). Hal ini diharapkan akan dapat meningkatkan proses atomisasi, karena tegangan permukaan akan menurun sehingga *droplets* yang terbentuk akan terpecah menjadi lebih kecil dan bercampur kembali. Ketika aliran keluar dari *divergent swirling grid* maka kecepatannya akan menurun, pada saat inilah aliran diarahkan dengan lubang *divergent swirling grid* agar aliran yang keluar dari lubang-lubang tersebut mengalami olakan atau turbulensi. Dengan adanya olakan atau turbulensi ini maka homogenitas campuran bahan bakar dan udara akan meningkat.

2.7 Unjuk Kerja Motor Otto

Pengujian yang dilakukan pada motor Otto adalah untuk mengetahui dari kinerja dari motor Otto itu sendiri. Parameter-parameter yang akan dibahas untuk mengetahui kinerja mesin dalam penelitian motor Otto empat langkah ini meliputi :

1. Torsi (T)
2. Daya bahan bakar (N_{bb})
3. Daya Indikasi (N_i)
4. Daya Efektif (N_e)
5. Konsumsi bahan bakar spesifik (SFCe).
6. Efisiensi Termal Efektif (η_e)
7. Emisi gas CO

2.7.1 Torsi (T)

Torsi merupakan gaya putar yang dihasilkan oleh poros mesin. Besarnya torsi suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan alat yang disebut *dynamometer*, yang akan menunjukkan besarnya gaya atau beban pengereman pada poros, sehingga harga torsi dapat dicari dari hubungan antara perkalian besarnya beban pengereman dengan panjang lengan yang menghubungkan timbangan dengan poros. Persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$T = F \cdot L \quad [\text{Kg.m}] \quad (\text{Arismunandar, 2002: 32}) \quad (2.1)$$

$$\text{atau} \quad T = \frac{N_e}{n} 716.2 \quad [\text{Kg.m}] \quad (\text{Petrovsky, 1979: 59}) \quad (2.2)$$

dengan :

$$N_e = \text{daya efektif} \quad [\text{PS}]$$

$$n = \text{putaran mesin} \quad [\text{rpm}]$$

$$T = \text{torsi yang dihasilkan} \quad [\text{Kg.m}]$$

$$F = \text{besarnya beban pengereman} \quad [\text{Kg}]$$

$$L = \text{panjang lengan dynamometer} = 0,358 \text{ m.}$$

2.7.2 Daya Bahan Bakar (N_{bb})

Daya bahan bakar adalah daya yang tersimpan dalam bahan bakar. Daya bahan bakar merupakan energi potensial yang terdapat dalam bahan bakar yang dapat diubah menjadi energi panas melalui proses pembakaran di ruang bakar. Besarnya daya bahan bakar dapat dihitung dengan persamaan :

$$N_{bb} = \frac{FC \cdot LHV_{bb}}{632} \quad [\text{PS}] \quad (\text{Manual Book: 16}) \quad (2.3)$$

Dimana :

FC = massa alir bahan bakar [Kg/jam]

LHV_{bb} = nilai kalor bahan bakar [kcal/kg]

2.7.3 Daya Indikasi (N_i)

Daya indikasi adalah daya gas hasil pembakaran yang menggerakkan torak. Bahan bakar yang terbakar akan berubah menjadi gas hasil pembakaran yang memiliki tekanan tinggi yang akan akan menggerakkan torak dari TMA ke TMB yang akan menjadi langkah ekspansi. Daya indikasi dapat diketahui besarnya dengan menggunakan persamaan :

$$N_i = N_{bb} - \frac{(N_{Lgb} - N_{Lap})}{632} \quad [\text{PS}] \quad (\text{Arismunandar, 1986: 29}) \quad (2.4)$$

Dimana :

N_{bb} = daya bahan bakar [PS]

N_{Lgb} = daya yang hilang pada gas buang [kcal/jam]

$$N_{Lgb} = G_g \cdot Cp_g (T_{eg} - T_{ud}) \cdot 3600 \quad (\text{Manual Book: 11}) \quad (2.5)$$

G_g = massa alir gas buang [Kg/detik]

$$G_g = G_s + \frac{FC}{3600} \quad (\text{Manual Book: 11}) \quad (2.6)$$

$$G_s = \frac{\alpha \cdot \varepsilon \cdot \pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \gamma_a (p_1 - p_2)} \quad [\text{Kg/detik}] \quad (\text{Manual Book: 9}) \quad (2.7)$$

α = koefisien kemiringan *nozzle* = 0,822

ε = koefisien udara = $\frac{p_1 - p_2}{p_1}$

γ_a = berat jenis udara pada kondisi ruangan pada saat pengujian

$$= \gamma_N \frac{p_a - \varphi \cdot p_s}{760} \cdot \frac{273}{273 + \theta} + \varphi \cdot \gamma_w \quad (\text{Manual Book: 9}) \quad (2.8)$$

dimana :

γ_N = berat spesifik udara kering pada temperatur θ °C, dan tekanan absolut 760 mmHg (1,293 Kg/ m³)

φ = *Relative Humidity* [%]

p_s = Tekanan udara standar pada temperatur tertentu [mmHg]
 γ_w = Berat jenis air pada temperatur tertentu [kg/m³]
 θ = Temperatur bola kering [°C]
 d = diameter *nozzle* = 0,048 m
 g = gravitasi = 9,81 m/det²

C_{pg} = panas jenis gas buang (0.285 kkal/jam)

T_{eg} = temperatur gas buang [°C]

T_{ud} = temperatur udara masuk karburator [°C]

N_{Lap} = daya yang hilang pada air pendingin [kkal/jam]

$N_{Lap} = W_w \cdot C_{pw} \cdot (T_{w_o} - T_{w_i})$ (Manual Book: 13) (2. 9)

Dimana :

W_w = massa alir air pendingin [lt/jam]

C_{pw} = panas jenis air (1 kkal/jam)

T_{w_o} = temperatur air keluar mesin [°C]

T_{w_i} = temperatur air masuk mesin [°C]

2.7.4 Daya Efektif (N_e)

Daya efektif merupakan daya yang dihasilkan oleh poros engkol untuk menggerakkan beban. Daya poros itu sendiri dibangkitkan oleh daya indikator yang merupakan daya gas pembakaran yang menggerakkan torak. Tidak semua daya hasil pembakaran dapat diubah menjadi daya yang menggerakkan torak, karena ada sebagian daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gesekan mekanis, misalnya gesekan antara torak dan dinding silinder, gesekan antara poros dan bantalan, untuk menggerakkan peralatan bantu (pendingin, kipas radiator, dsb), dan lainnya.

Daya efektif dapat dicari dengan mengalikan torsi (T) dengan kecepatan anguler poros (ω). Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$N_e = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716 \cdot 2} \text{ [PS]} \quad (\text{Petrovsky, 1979: 59}) \quad (2.10)$$

dengan:

N_e = daya efektif [PS]

T = torsi [kg.m]

ω = kecepatan anguler poros [rad/det]

n = putaran mesin [rpm]

2.7.5 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCE)

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif adalah banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif sebesar 1 PS selama 1 jam. Konsumsi bahan bakar ini dapat diukur dengan menggunakan meter alir (*flow meter*), yaitu berupa tabung ukur yang telah diketahui volumenya. Bahan bakar akan dialirkan melalui tabung ukur ini kemudian diamati berapa lama waktu yang diperlukan untuk menghabiskan bahan bakar sebesar volume tersebut pada saat mesin bekerja. Konsumsi bahan bakar tersebut dalam satuan waktu per satuan volume sehingga perlu dikonversikan dalam satuan kg/jam, konsumsi bahan bakar dapat diperoleh dengan menggunakan rumusan :

$$F_c = \frac{b}{t} \cdot \gamma_f \cdot \frac{3600}{1000} \quad [\text{kg /jam}] \quad (\text{Petrovsky, 1979: 63}) \quad (2.11)$$

dengan:

F_c = konsumsi bahan bakar [kg /jam]

b = volume bahan bakar selama t detik [ml]

t = waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak b ml [dt]

γ_f = berat spesifik bahan bakar [kg/lt]

Dari nilai konsumsi bahan bakar (F_c) didapat *specific fuel consumption effective* (SFCE) dengan persamaan sebagai berikut:

$$SFCE = \frac{F_c}{N_e} \quad [\text{Kg/PS. Jam}] \quad (\text{Petrovsky, 1979: 63}) \quad (2.12)$$

dengan:

SFCE = konsumsi bahan bakar spesifik efektif [Kg/PS. Jam]

F_c = konsumsi bahan bakar [kg /jam]

N_e = daya efektif [PS]

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif dapat dijadikan ukuran ekonomis dan tidaknya pemakaian bahan bakar. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif yang rendah menunjukkan efisiensi termal efektif yang tinggi karena efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif.

2.7.6 Efisiensi Termal Efektif (η_e)

Efisiensi termal efektif merupakan perbandingan antara banyaknya kalor yang dihasilkan oleh bahan bakar dengan daya efektif yang dihasilkan oleh mesin. Efisiensi termal efektif merupakan suatu ukuran untuk mengetahui ekonomis atau tidaknya dalam

pemakaian bahan bakar, karena nilai dari efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik. Jadi jika konsumsi bahan bakar spesifik efektif semakin turun, maka efisiensi termal efektif akan meningkat. Biasanya efisiensi termal efektif dihitung dengan rumus :

$$\eta_e = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFC_e \cdot LHV_{bb}} \times 100 \% \text{ [\%]} \text{ (Petrovsky, 1979: 62) (2.13)}$$

dengan:

η_e	= efisiensi termal efektif	[%]
Q_e	= jumlah kalor yang digunakan untuk daya efektif	[kkal/kg]
Q_b	= jumlah kalor dari pembakaran bahan bakar dan udara	[kkal/kg]
LHV_{bb}	= nilai kalor rendah bahan bakar	[kkal/kg]

2.7.7 Analisis Emisi Gas CO

Sisa hasil pembakaran pada motor Otto adalah berupa gas CO₂, O₂, CO dan polutan-polutan lain. Namun sebagian besar kandungan gas buang tersebut adalah CO₂, CO, O₂ dan N₂. Emisi gas buang yang dianalisis pada penelitian ini adalah gas CO, karena gas CO merupakan salah satu indikator terjadinya pembakaran sempurna atau tidak, selain itu emisi gas CO juga mempengaruhi kesehatan manusia secara langsung dan signifikan. Kadar emisi gas CO dapat diukur dengan menggunakan *gas analyzer*.

2.8 Hipotesis

Dari uraian yang ada dapat diambil suatu hipotesis, yaitu pemasangan *divergent swirling grid* pada *intake manifold* akan menghasilkan campuran udara dan bahan bakar yang lebih homogen dan proses pembakaran yang terjadi di ruang silinder akan lebih sempurna, sehingga akan meningkatkan unjuk kerja dan menurunkan emisi gas CO motor Otto empat langkah.