

Pengaruh Variasi Dimeter *Grid* lubang Miring Pada *Intake Manifold* Terhadap Unjuk Kerja Motor Bakar

Nur Robbi

Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
Jalan Mayjend Haryono 193 Malang 65144
nurrobbi@unisma.ac.id

Abstrak

Peningkatan kinerja motor bakar bensin 4-langkah dapat dilakukan dengan memasang *grid* pada *intake manifold*, sesudah karburator. Dengan pemasangan *grid* akan dihasilkan aliran campuran bahan bakar dan udara yang lebih turbulen sehingga homogenitasnya akan meningkat. Penelitian dilakukan dengan menggunakan 5 buah *grid* yang berdiameter 8mm dengan sudut kemiringan *grid* 7,5° ; 12,5° ; 17,5° ; 22,5°; dan 27,5° serta pengujian mesin tanpa *grid*. Putaran antara 1300, 1800, 2300, 2800 sampai 3300 rpm dengan kenaikan Putaran tiap 500 rpm dan bukaan trotel 30% .

Penelitian ini dilakukan unjuk kerja motor bakar bensin 4-langkah. Dari hasil penelitian dan uji statistik didapat bahwa diameter *grid* berlubang miring berpengaruh terhadap kinerja motor bakar bensin 4-langkah. Kinerja paling optimal dihasilkan oleh *grid* yang bersudut miring 22,5°. *grid* ini menghasilkan Efisiensi termal efektif. Torsi. Dan Daya efektif yang lebih besar serta Konsumsi Bahan Bakar Spesifik efektif yang lebih kecil bila dibandingkan dengan perlakuan yang lain.

Kata kunci : Kemiringan lubang *grid*, Putaran

PENDAHULIAN

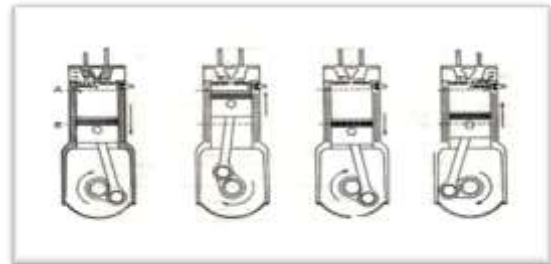
Motor bakar torak termasuk salah satu jenis penggerak mula yang mengubah energi termal menjadi energi mekanik. Energi termal tersebut diperoleh dari hasil pembakaran antara bahan bakar dengan oksigen dari udara yang terjadi didalam motor bakar itu sendiri, yaitu tempatnya didalam silinder. Gas yang dihasilkan oleh proses pembakaran tersebut mampu menggerakkan torak oleh batang penghubung yang dihubungkan dengan poros engkol. Gerak translasi torak tadi mengakibatkan gerak rotasi pada poros engkol dan sebaliknya gerak rotasi pada poros engkol. Mengakibatkan gerak translasi pada torak.

Motor Otto

Berdasarkan langkah kerjanya Motor Otto dibagi menjadi dua jenis, yaitu : motor Otto 2 langkah dan 4 langkah. Mesin Otto 4 langkah lebih hemat bahan bakar dibanding dengan mesin Otto 2 langkah karena mesin Otto 4 langkah 1 kali penyalan menghasilkan 1 putaran poros engkol Sedangkan motor Otto 2 langkah 1 kali penyalan menghasilkan 2 kali putaran poros engkol.. Pada motor Otto, pencampuran antara bahan bakar dengan udara terjadi di karburator 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.

Motor yang menyelesaikan siklus dalam empat langkah torak atau dua kali putaran poros engkol dinamakan motor bakar empat langkah. Jadi

dalam empat langkah telah terjadi proses langkah isap, langkah kompresi, langkah ekspansi/ kerja dan langkah buang.



Gambar 1. Skema langkah kerja motor bakar empat langkah.

Proses pembakaran di dalam mesin Otto terjadi secara periodik adalah langkah Isap (*Suction Stroke*), langkah kompresi (*Compression Stroke*), langkah Ekspansi (*Expansion Stroke*) dan langkah Buang.

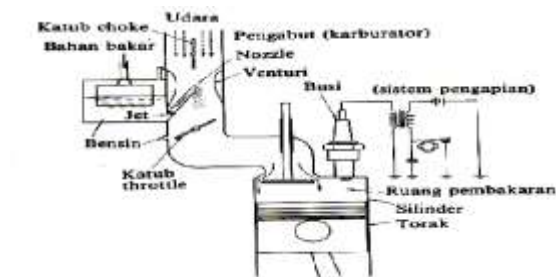
Saluran Isap (*Intake Manifold*)

Saluran isap atau *Intake Manifold* merupakan suatu saluran yang memiliki fungsi mengalirkan campuran bahan bakar dan udara yang berasal dari karburator menuju keruang silinder.

Pembakaran

Didalam motor pembakaran yang menggunakan bahan bakar bensin. Dari pembakaran bensin akan diperoleh energi panas. Untuk mencampur udara dengan bahan bakar secara

otomatis dengan satu perbandingan tertentu pada suatu saat dan kondisi tertentu diperlukan karburator. Aliran campuran bahan bakar diatur oleh katup *throttle* seperti terlihat pada Gbr. 2.3 dan disesuaikan dengan beban motor. Akibat tekanan negatif atau penurunan tekanan yang terjadi pada venturi, maka bensin memancar keluar melalui nozzle dengan jumlah tertentu yang sesuai dengan jumlah udara, karburator bekerja sangat tepat untuk setiap kondisi yang berbeda-beda dalam menghasilkan suatu perbandingan campuran yang baik.



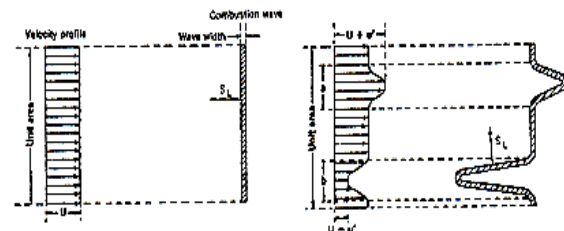
Gambar 2. Sistem Persiapan Pembakaran Dalam Motor Bensin

Ketika campuran bahan bakar dan udara melewati lubang-lubang grid, maka kecepatan akan meningkat karena adanya pengecilan penampang aliran serta terjadi penurunan tekanan, adanya penurunan tekanan dan peningkatan kecepatan yang terjadi diharapkan akan dapat meningkatkan proses atomisasi karena tegangan tekanan permukaan akan makin menurun sehingga droplets yang terbentuk akan terpecah menjadi lebih kecil dan bercampur dengan udara pembakaran saat aliran keluar dari grid, yang terjadi adalah sebaliknya yaitu kecepatan akan menurun, ketika keluar dari grid inilah aliran diarahkan dengan lubang grid yang diposisikan miring, agar antara aliran yang keluar dari lubang-lubang grid terjadi olakan atau turbulensi. Dengan adanya olakan atau turbulensi ini maka homogenitas campuran akan makin meningkat. Gas sisa yang belum terbakar maupun campuran baru antara bahan bakar dan udara akan terbakar sehingga meningkatkan temperatur dan tekanan di ruang bakar, sementara piston masih bergerak ke TMA karena proses kompresi masih berlangsung. Akibatnya gerakan piston akan terlambat oleh gas tersebut sehingga mengurangi tenaga mesin. Jika penyalan terlambat, tekanan dan temperatur gas hasil pembakaran akan menurun. Gas hasil pembakaran yang masih mempunyai tekanan tinggi akan keluar melalui katup buang sehingga pemanfaatan energinya akan berkurang.

Pengaruh Turbulensi Pada Pembakaran

Pada mesin SIE (*Spark Ignition Engine*), pembakaran tidak terjadi dengan sendirinya

(*autoignition*), sehingga perlu energi dari luar untuk penyalan yang dalam hal ini adalah cetusan bunga api dari busi. Pada penyalan akan terbentuk *flame front*, yang bergerak maju melalui campuran dari titik penyalan. Temperatur dari proses pembakaran dapat mencapai 2100 – 2500 K (Arends, 1992 : 60). Untuk campuran yang turbulen, maka kecepatan rambatan api ini akan lebih besar, sehingga untuk jangka waktu yang sama akan menghasilkan energi panas yang lebih besar, karena campuran bahan bakar dan udara yang terbakar lebih banyak. Hal ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini yang menunjukkan perbandingan antara rambatan api pada kondisi laminar dan turbulen.



Gambar 3. Perambatan Api Laminar dan Turbulen Modifikasi Dengan Grid

Kinerja motor bakar torak sangat dipengaruhi oleh keadaan udara yang diisap, yang dalam hal ini meliputi temperatur, tekanan, kelembaban dan perbandingan udara dan bahan bakar. Temperatur yang terlalu tinggi akan menyebabkan udara memuai sehingga kerapatannya akan berkurang. Akibatnya masa udara yang terisap untuk volume yang sama juga akan berkurang. Tekanan yang rendah juga mengakibatkan kerapatan udara yang rendah, yang akan menimbulkan akibat yang sama pula. Jika kelembaban meningkat, maka kandungan air dalam udara yang terisap bertambah. Hal ini akan menurunkan temperatur karena butir-butir air yang terisap akan bersifat mendinginkan campuran. Peningkatan kelembaban juga akan membuat campuran menjadi miskin karena uap air akan menempati tempat bahan bakar. Faktor yang terakhir adalah perbandingan bahan bakar dan udara. Perbandingan ini menentukan kaya dan miskinnya suatu campuran yang nantinya akan berpengaruh terhadap hasil pembakaran.

Bahan bakar dan udara sebelum masuk ruang bakar terlebih dahulu dicampur didalam karburator (*carburation*). Proses ini terjadi karena adanya *drop pressure* pada pipa venturi di karburator sehingga bahan bakar dapat disemprotkan melalui jet membentuk droplets dengan berbagai ukuran dan bercampur dengan udara pembakaran. Proses terurainya bahan bakar ini disebut atomisasi. Derajat atomisasi yang terjadi di karburator tergantung pada beberapa hal.

Unjuk Kerja Motor Bakar (Motor Otto)

Hubungan antara daya, kecepatan, konsumsi bahan bakar, namun dapat juga dihubungkan dengan tingkat kebisingan selama operasi, disini kinerja yang dibahas dalam penelitian ini adalah Motor bensin 4-langkah yang akan dibahas meliputi : Torsi mesin (T), Daya efektif (Ne), daya indikasi (Ni), Konsumsi Bahan Bakar Spesifik efektif (SFCe), dan Efisiensi Termal Efektif (η_e).

Torsi mesin (T)

Didapat dari perkalian besarnya beban pengereman (F) dengan Panjang lengan (L) yang menghubungkan timbangan dengan poros. Persamaannya dirumuskan sebagai berikut :

$$T = F \times L$$

$$\text{atau } T = \frac{N_e}{n} 716,2 \text{ (Kg.m)}$$

Dimana :

T = Torsi (kg.m)

F = Besarnya beban pengereman (kg)

L = Panjang Lengan Dinamometer (m) = 0,358 m

Ne = daya efektif (Hp)

Daya efektif atau Breake Horse Power (Ne)

Adalah daya yang dihasilkan poros engkol setelah mengalami kerugian-kerugian seperti gesekan antara piston dan dinding silinder, gesekan poros dengan bantalan, untuk menggerakkan peralatan bantu dan lain-lain. Untuk mendapatkan daya efektif dapat dicari dengan kecepatan angular poros (ω). Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$N_e = \frac{T \cdot n}{716,2}$$
$$N_e = \frac{P_e \cdot V_d \cdot n \cdot i}{0,45 \cdot z}$$

Dimana :

T = Torsi (kg.m)

n = Putaran (rpm)

Pe = Tekanan efektif rata-rata (kg/m²)

V_d = Volume langkah (m³)

i = jumlah silinder

z = jumlah silinder

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik efektif (SFCe)

Adalah banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif 1 Hp selama 1 jam. Konsumsi bahan bakar dapat dirumuskan dengan rumusan sebagai berikut :

$$F_c = \frac{b}{t}, \rho_f = \frac{3600}{1000}$$

Dimana:

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)

ρ_f = Massa jenis bensin (kg/l)

Dari nilai F_c didapat dari nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif dengan persamaan sebagai berikut :

$$SFC_e = \frac{F_c}{N_e}$$

Pemakaian 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.

Efisiensi Termal Efektif (η_e)

Efisiensi termal efektif merupakan perbandingan antara kalor yang di rubah menjadi daya efektif dengan kalor yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar, maka dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta_e = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{\frac{F_c}{N_e} \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFC_e \cdot LHV_{bb}} \%$$

$$\eta_e = \frac{N_e \cdot 632}{F_c \cdot LHV_{bb}} \times 100\%$$

Dimana:

η_e = Efisiensi termal efektif (%)

Q_e = Jumlah kalor yang digunakan untuk daya efektif (kkal/kg)

Q_b = Jumlah Kalor yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan udara (kkal/kg)

LHV_{bb} = Low Heating Value (Nilai kalor rendah).

METODE PENELITIAN

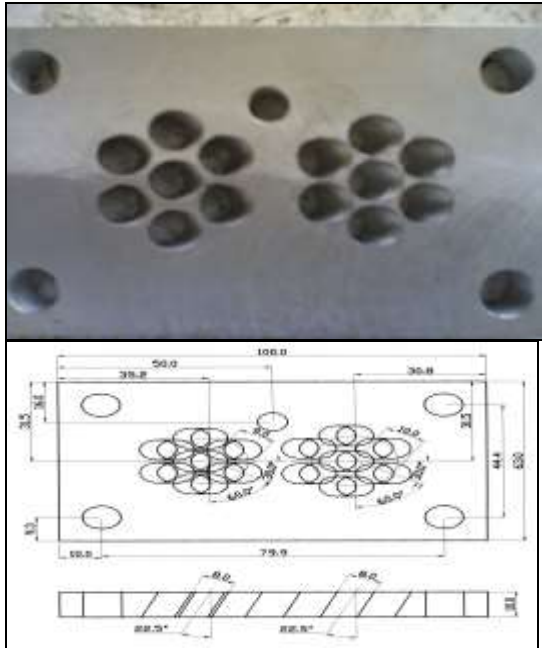
Metode yang dipakai pada penelitian ini adalah metode eksperimental. Dalam hal ini untuk mengetahui fenomena mengenai pengaruh penambahan *grid* tersebut dilakukan pengujian terhadap motor bakar di laboratorium dimana mesin uji dalam kondisi tidak berpindah tempat (statis). Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah mesin uji motor bensin 4 – langkah



Gambar 4. Seperangkat Mesin Uji Motor Bensin Grid

Grid merupakan alat yang digunakan untuk menghomogenkan campuran antara bahan bakar dan udara sehingga hasil pembakaran akan lebih

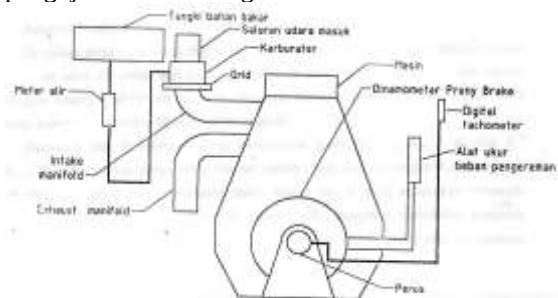
sempurna. Pada penelitian ini grid yang digunakan ada 5 buah. Masing-masing dengan sudut variasi kemiringan lubang grid $7,5^{\circ}$; $12,5^{\circ}$; $17,5^{\circ}$; $22,5^{\circ}$; dan $27,5^{\circ}$. adapun gambar dari grid yang dipergunakan dalam penelitian adalah seperti dibawah ini, dengan α adalah besar sudut kemiringan lubang *grid*.



Gambar 5. Benda Uji Grid

Instalasi Pengujian

Instalasi dari alat yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 6. Instalasi Pengujian

Keterangan Gambar :

- Tangki bahan bakar
- Mesin
- Meter alir
- Dinamometer Prony Brake
- Karburator
- Alat ukur beban pengereman
- Saluran udara masuk
- Digital tachometer
- Grid
- Poros
- Intake manifold

- Exhaust manifold

Metode pengambilan data dimulai dengan pengujian mesin tanpa pemasangan *grid*. Pengambilan data dilakukan pada peralatan utama yang sudah dilengkapi dengan peralatan bantu. Dalam hal ini peralatan utama (motor bensin), tanpa menggunakan peralatan uji (*grid*). Putaran pertama adalah kondisi putaran 1300, 1800, 2300, 2800, sampai 3300 rpm dengan interval kenaikan tiap putaran 500 rpm. Dengan bukaan *throttlet* 30 % untuk memperoleh data yang lebih teliti dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali untuk setiap macam putaran.

Pengambilan data dilakukan seperti pada tahap pertama, yaitu dengan kondisi putaran sama, setelah itu dilanjutkan dengan memasang sudut kemiringan lubang *grid* dengan $7,5^{\circ}$; $12,5^{\circ}$; $17,5^{\circ}$; $22,5^{\circ}$; dan $27,5^{\circ}$. Dari data yang diambil melalui proses perhitungan akan dapat diketahui besarnya Prestasi atau unjuk kerja dari sebuah motor bakar torak dapat ditunjukan oleh daya efektif motor, pemakaian bahan bakar. Adapun rumus yang digunakan untuk mencari daya efektif motor dan kebutuhan bahan bakar dapat dilihat dibawah ini. Torsi merupakan gaya putar yang dihasilkan oleh pros mesin. Torsi didapat dari perkalian besarnya beban pengereman (F) dengan Panjang lengan (L) yang menghubungkan timbangan dengan poros.

$$T = F \times L \dots \dots \dots (\text{Kg.m})$$

$$\text{Atau } T = \frac{N_e}{n} 716,2 \dots \dots \dots (\text{Kg.m})$$

Dimana :

T = Torsi (T)

F = Beban pengereman (kg)

L = Panjang Lengan Dinamometer = 0,358 m

N_e = Daya efektif (Hp)

N = Putaran mesin (rpm)

Adalah daya yang dihasilkan poros engkol setelah mengalami kerugian-kerugian seperti gesekan antara piston dan dinding silinder, gesekan poros dengan bantalan, untuk menggerakkan peralatan bantu dan lain-lain. Untuk mendapatkan daya efektif dapat dicari dengan kecepatan anguler poros (ω).

Persamaannya adalah sebagai berikut :

$$N_e = T \cdot \omega = \frac{T \cdot n}{716,2} \dots \dots \dots (\text{Hp})$$

T = Torsi (kgm)

n = Putaran (rpm)

ω = Kecepatan anguler poros (rad/det)

Konsumsi Bahan Bakar Spesfik efektif (SFCE)

Adalah banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif 1 Hp selama 1 jam. Konsumsi bahan bakar dapat dirumuskan dengan rumusan sebagai berikut :

$$F_c = \frac{b}{t} \cdot \rho_f = \frac{3600}{1000} \dots \dots \dots (\text{kg/jam})$$

Dimana:

F_c = konsumsi bahan bakar (kg/jam⁻¹)

b = Volume bahan bakar selama t detik (ml)
t = waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak b ml (dt)
 ρ_f = Massa jenis bensin (kg/Lt)
Dari nilai F_c didapat dari nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif dengan persamaan sebagai berikut :
 $SFC_e = \frac{F_c}{N_e} \dots \dots \dots (\text{kg/HP.jam})$

Effisiensi Termal Efektif (η_e)

Effisiensi termal efektif merupakan perbandingan antara banyak kalor yang dihasilkan oleh bahan bakar dengan daya efektif yang dihasilkan oleh mesin. Pemakaian bahan bakar spesifik efektif dapat dijadikan ukuran ekonomis dan tidaknya pemakaian bahan bakar, karena nilai dari efisiensi thermal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFC_e). Jadi jika konsumsi bahan bakar spesifik efektif semakin turun, maka efisiensi termal efektif akan meningkat. Besarnya efisiensi termal efektif dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\eta_e = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632.N_e}{F_c.LHV_{bb}} = \frac{632}{SFC_e.LHV_{bb}} (\%)$$

Dimana:

η_e = Effisiensi termal efektif (%)

Q_e = Jumlah kalor yang digunakan untuk daya efektif (kkal/kg)

Q_b = Jumlah Kalor yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan udara (kkal/kg)

LHV_{bb} = Low Heating Value (Nilai kalor rendah bahan bakar) (kkal/kg)

HASIL

Dari hasil pengujian dapat dilakukan pengolahan data. Sebagai contoh perhitungan diambil data dari pengujian tanpa pemasangan kemiringan lubang grid pada intake manifold terhadap torsi, daya efektif, daya bahan bakar, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif pada motor Otto empat langkah.

Dari hasil perhitungan tersebut kemudian dicantumkan dalam bentuk tabel seperti dibawah ini:

Tabel 1. Analisa Varian Dua Arah Untuk Torsi

Sumber keragaman	JK	Db	KT	F_{hitung}	F_{tabel}
Pengaruh putaran	473,7126	4	118,428	23,175	2,45
Pengaruh kemiringan	249,77	5	49,954	10,391	2,29
Interaksi	124,89	20	6,2445	1,222	1,66
Galat	613,23	120	5,110		
Total		149			

Dengan mengambil $\alpha = 5 \%$, dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai F_{hitung} untuk putaran adalah 23,175 dan F_{tabel} 2,45. untuk kemiringan nilai F_{hitung} 10,391 dan F_{tabel} 2,29.

sedangkan untuk Interaksi antara putaran dan kemiringan nilai F_{hitung} adalah 1,222 dan F_{tabel} adalah 1,66. dengan demikian untuk keseluruhan pengaruh putaran, kemiringan dan interaksi antara putaran dan kemiringan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ yang berarti variasi putaran, kemiringan, dan interaksi antara putaran dan kemiringan lubang grid memberikan pengaruh nyata terhadap torsi yang dihasilkan motor bakar dengan tingkat keyakinan 95%.

Analisis Varian Dua Arah untuk Daya Efektif

Tabel 2. Analisis Varian Dua Arah Untuk Daya Efektif

Sumber keragaman	JK	Db	KT	F_{hitung}	F_{tabel}
Pengaruh putaran	650,4349	4	65,0435	4187,9524	2,45
Pengaruh kemiringan	436,7059	5	87,3412	5623,6326	2,29
Interaksi	31,9464	20	0,6389	41,1384	1,66
Galat	4,1002	120	0,0155		
Total	1123,1872	149			

Dengan mengambil $\alpha = 5 \%$, dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai F_{hitung} untuk putaran adalah 4187,9524 dan F_{tabel} 2,45. untuk kemiringan nilai F_{hitung} 5623,6326 dan F_{tabel} 2,29. sedangkan untuk Interaksi antara putaran dan kemiringan nilai F_{hitung} adalah 41,1384 dan F_{tabel} adalah 1,66. dengan demikian untuk keseluruhan pengaruh putaran, kemiringan dan interaksi antara putaran dan kemiringan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ yang berarti variasi putaran, kemiringan, dan interaksi antara putaran dan kemiringan lubang grid memberikan pengaruh nyata terhadap torsi yang dihasilkan motor bakar dengan tingkat keyakinan 95%.

Analisis Varian untuk Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif

Tabel 3. Analisis Varian Untuk Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif

Sumber keragaman	JK	Db	KT	F_{hitung}	F_{tabel}
Pengaruh putaran	61,2153	4	6,1215	78,1142	2,45
Pengaruh kemiringan	23,1980	5	4,6396	59,2041	2,29
Interaksi	82,2161	20	1,6443	20,9825	1,66
Galat	20,6887	120	0,00784		
Total	187,3181	149			

Dengan mengambil $\alpha = 5 \%$, dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai F_{hitung} untuk putaran adalah 78,1142 dan F_{tabel} 2,45. untuk kemiringan nilai F_{hitung} 59,2041 dan F_{tabel} 2,2482. sedangkan untuk Interaksi antara putaran dan kemiringan nilai F_{hitung} adalah 20,9825 dan F_{tabel} adalah 1,3992. dengan demikian untuk keseluruhan pengaruh putaran, kemiringan dan interaksi antara putaran dan kemiringan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ yang berarti variasi putaran, kemiringan, dan interaksi antara putaran dan kemiringan lubang grid memberikan pengaruh nyata terhadap torsi yang

dihasilkan motor bakar dengan tingkat keyakinan 95%.

Analisis Varian Dua Arah untuk Efisiensi Termal Efektif

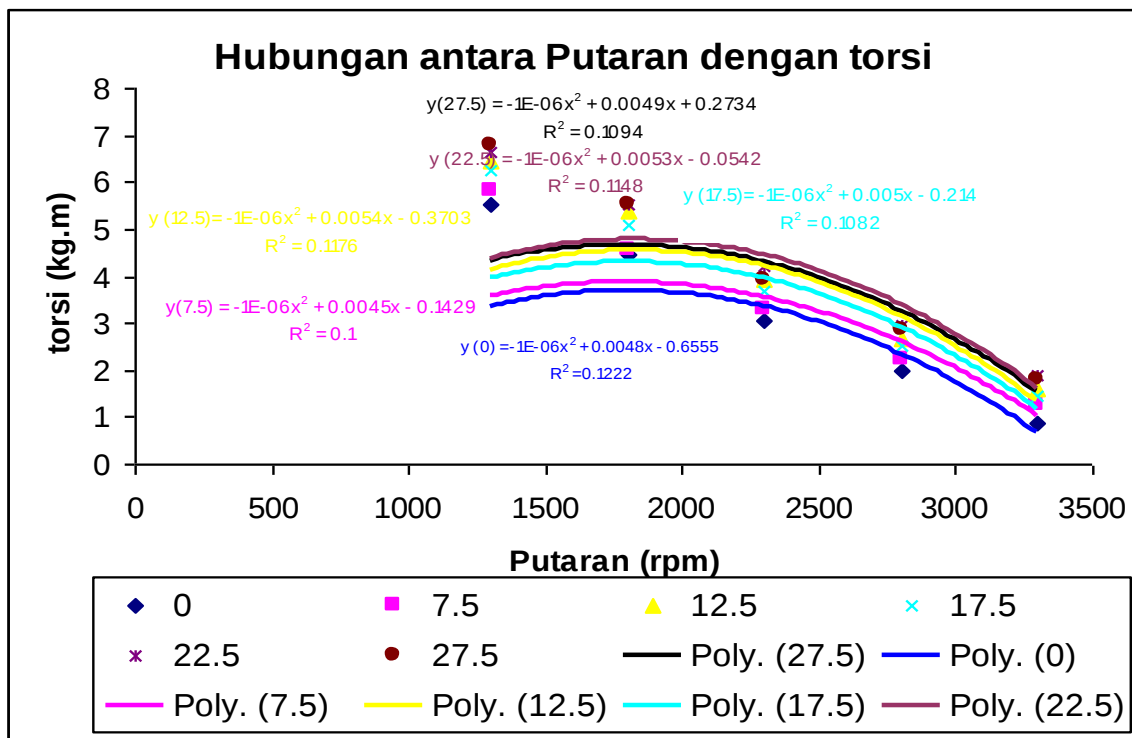
Tabel 4. Analisis Varian Dua Arah Untuk Efisiensi Termal Efektif

Sumber keragaman	JK	Db	KT	F _{hitung}	F _{tabel}
Pengaruh putaran	467,7011	4	116,9253	112,9467	2,45
Pengaruh kemiringan	278,6402	5	69,66005	67,28975	2,29
Interaksi	106,5034	20	6,656465	6,429967	1,66
Galat	51,76127	120	1,035225		
Total	904,606	149			

Dengan mengambil $\alpha = 5\%$, dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai F_{hitung} untuk putaran adalah 112,9467 dan F_{tabel} 2,45. untuk kemiringan nilai F_{hitung} 67,28975 dan F_{tabel} 2,29. sedangkan untuk Interaksi antara putaran dan

kemiringan nilai F_{hitung} adalah 6,429967 dan F_{tabel} adalah 1,66. dengan demikian untuk keseluruhan pengaruh putaran, kemiringan dan interaksi antara putaran dan kemiringan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ yang berarti variasi putaran, kemiringan, dan interaksi antara putaran dan kemiringan lubang grid memberikan pengaruh nyata terhadap torsi yang dihasilkan motor bakar dengan tingkat keyakinan 95%.

Hasil pengolahan data pada pengujian motor bensin empat langkah ini dibuat dalam bentuk grafik hubungan antara tingkat putaran dengan karakteristik kinerja motor bensin empat langkah yang meliputi konsumsi bahan bakar spesifik efektif, torsi, daya efektif, dan efisiensi termal efektif. Hubungan antara putaran motor bensin empat langkah dengan torsi, dengan pemasangan *grid* yang mempunyai variasi sudut kemiringan lubang grid $7,5^\circ$, $12,5^\circ$, $17,5^\circ$, $22,5^\circ$ dan $27,5^\circ$ maupun standar dapat dilihat dalam gambar 7 berikut:



Gambar 7. Grafik Hubungan antara putaran dengan torsi

Pada grafik terlihat bahwa dengan semakin tinggi putaran poros motor bensin empat langkah maka torsi yang dihasilkan akan semakin menurun. Penyebab terjadinya hal ini adalah karena pada saat menaikkan putaran, beban pengereman yang dikenakan pada poros dikurangi sampai pada putaran yang dikehendaki. Dengan semakin kecilnya beban pengereman yang diterima oleh poros maka besarnya torsi yang terjadi juga akan semakin kecil.

Hubungan antara beban pengereman dengan torsi ditulis sebagai berikut:

$$T = F \times L \text{ (Kg.m)}$$

Dari persamaan di atas terlihat bahwa besarnya torsi berbanding lurus dengan besarnya beban pengereman yang dikenakan pada poros. Penyebab menurunnya torsi selain karena hal tersebut di atas juga dikarenakan dengan semakin tinggi putaran, gerakan bolak-balik torak akan semakin cepat. Hal ini mengakibatkan jumlah siklus

yang terjadi semakin banyak. Akibatnya kerugian mekanis dari gesekan antara piston dengan dinding silinder akan semakin besar. Gerakan torak yang semakin cepat ini diikuti pula oleh semakin singkatnya waktu yang dibutuhkan untuk membuka dan menutup katup isap. Hal ini berdampak pada semakin sedikitnya massa campuran udara dan bahan bakar yang masuk dan terbakar di dalam ruang bakar setiap satu kali siklus. Dengan semakin sedikitnya massa campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar maka tekanan akhir kompresi dan tekanan efektif pembakaran yang dihasilkan akan semakin berkurang. Akibatnya gaya dorong torak pada saat langkah kerja (ekspansi) juga berkurang, sehingga torsi yang dihasilkan semakin menurun.

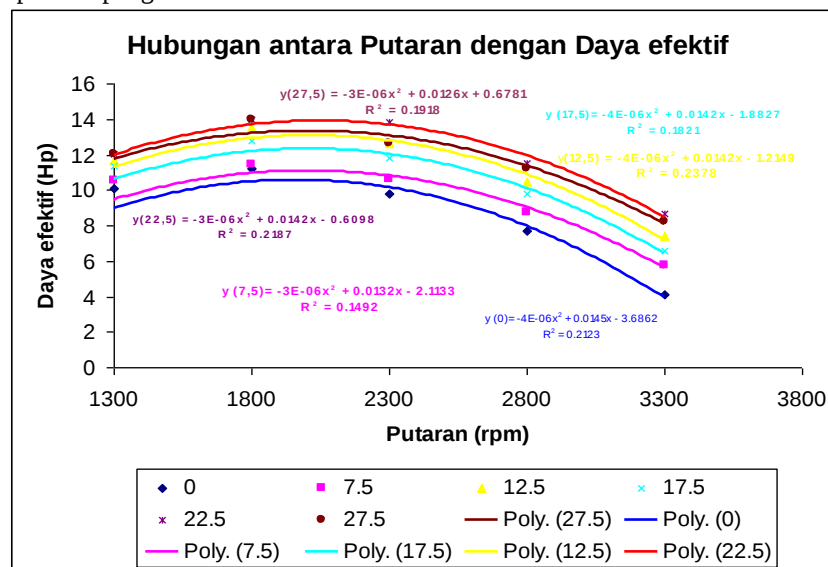
Dari grafik hasil pengujian dapat dilihat bahwa torsi terbesar adalah pada pemasangan *grid berlubang miring* pada grid 22,5°. dimana torsi terbesar pada putaran 1800 rpm, yaitu sebesar 5,549 kg.m sementara untuk yang tanpa pemasangan grid sebesar 4,475 kg.m berarti grid ini mampu menghasilkan olakan atau turbulensi yang paling optimal sehingga homogenitasnya paling baik diantara grid lainnya maupun tanpa grid, dan besarnya kerugian aliran saat melewati grid dapat diimbangi oleh peningkatan homogenitas yang dihasilkan.

Dari grafik juga dapat dilihat bahwa makin tinggi putaran, grid 22,5° cenderung lebih landai dari grid lainnya maupun tanpa grid. Secara berurutan

besarnya torsi yang terendah sampai tertinggi adalah pada grid dengan kemiringan 0°, 7,5°, 17,5°, 12,5°, 27,5°, 22,5° jadi *grid* dengan kemiringan antara 0° – 17,5° ternyata menghasilkan torsi yang menurun dibanding dengan kemiringan diatas 12,5° akan meningkatkan torsi sampai pada kemiringan 22,5° yang merupakan nilai optimum, kemudian pada nilai kemiringan 27,5° menurun kembali.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan terlihat bahwa nilai torsi yang paling besar terjadi pada pemasangan *grid* bersudut 22,5° (5,549 Kg.m) mulai putaran 1300 rpm-1810 rpm. Setelah putaran tersebut, nilai torsi terbesar dihasilkan pada pemasangan *grid* berlubang miring dengan sudut variasi 22,5°. Nilai torsi tanpa pemasangan *grid* berlubang miring berada dibawah grafik dengan pemasangan *grid* bersudut 27,5° diikuti grafik torsi dengan pemasangan *grid* bersudut 12,5°. torsi terendah dihasilkan dari pemasangan *grid* bersudut 7,5° (1,165 Kg.m). Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa pemasangan *grid* bersudut 22,5° menghasilkan torsi rata-rata terbesar dan merupakan sudut *kemiringan lubang grid* yang paling efektif untuk memperoleh torsi yang besar.

Hubungan antara putaran motor bensin empat langkah dengan daya efektif, dengan pemasangan *grid berlubang miring* yang mempunyai variasi sudut kemiringan lubang 7,5°, 12,5°, 17,5°, 22,5° dan 27,5° maupun standar dapat dilihat dalam gambar 8 berikut:



Gambar 8. Hubungan antara putaran dengan Daya efektif (Ne)

Pada Gambar 8 menjelaskan hubungan antara putaran dan daya efektif dimana semakin meningkatnya putaran maka daya efektifnya cenderung semakin menurun. Berdasarkan rumusnya daya efektif berbanding lurus dengan putaran maupun torsi. Jika putaran maupun torsi

meningkat, maka daya efektif yang dihasilkan akan meningkat pula. Namun seperti telah disebutkan diatas, dengan meningkatnya putaran ternyata dihasilkan torsi yang makin menurun.

Penurunan torsi ini ternyata tidak sebanding dengan peningkatan putaran sehingga yang terjadi

adalah daya efektif yang dihasilkan makin menurun. Menurunnya daya efektif dengan meningkatnya putaran maka gesekan antara piston torak semakin besar sehingga daya mekaniknya juga besar, seiring dengan meningkatnya daya meknik maka daya efektif semakin menurun.grafik mengalami penurunan seiring dengan naiknya putaran. Hal ini terjadi karena daya efektif (Ne) berbanding lurus dengan harga torsi (T) yang dihasilkan dan putaran poros mesin (n) sesuai persamaan berikut:

$$Ne = \frac{T.n}{716.2}$$

Ada beberapa hal yang menyebabkan kondisi ini. Pertama, saat putaran makin meningkat pengisian udara dan bahan baker pada silinder akan semakin buruk. Karena tekanan makin menurun. yang kedua, makin tinggi putaran proses pembakaran yang terjadi makin buruk, sehingga tenaga yang dihasilkan makin kecil. Sebab waktu pembakaran akan semakin singkat dan kondisi campurannya juga tidak homogen. yang ketiga, makin tinggi putaran, karena gesekan makin besar berarti daya mekanis (Nm) akan makin besar pula sehingga daya efektif (Ne) yang dihasilkan poros akan makin menurun. Hal ini sesuai dengan persamaan :

$$Ne = Ni - Nm$$

Dari grafik 1 didapat bahwa daya efektif terbesar adalah pada grid pada diameter lubang miring 8 mm. Dengan kemiringan sudut lubang *grid* 22,5⁰ dimana daya terbesar pada putaran 2300 rpm yaitu 12,0716 (HP) sedangkan tanpa grid sebesar 9,7728 HP.

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor diatas, pada putaran yang sama grid ini menghasilkan daya efektif yang terbesar diantara lainnya. Jika faktor kerugian daya karena gesekan dianggap sama karena gesekan dianggap sama karena putaran sama, maka yang berpengaruh adalah pada pengisian dan proses pembakarannya. Daya

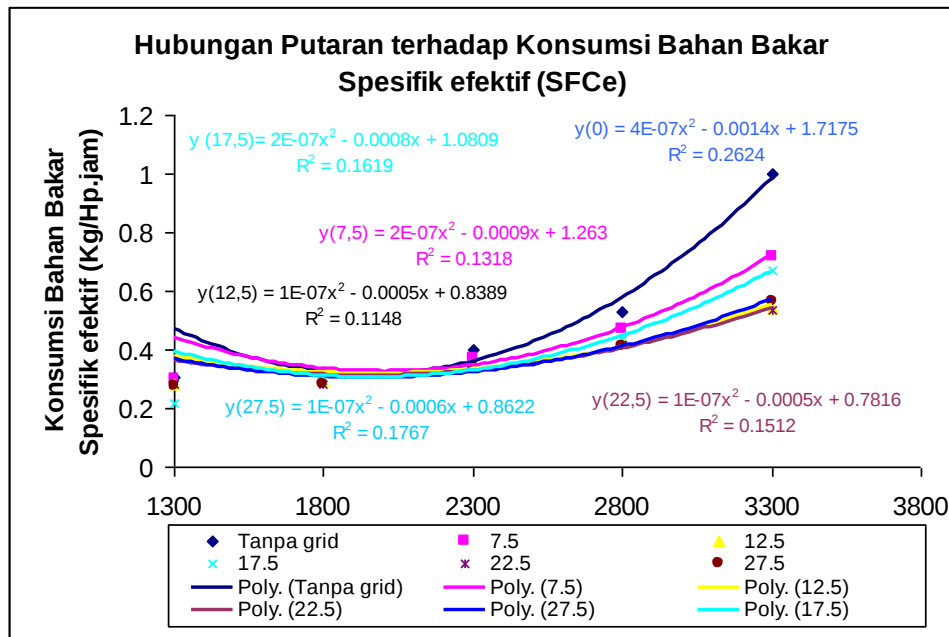
yang besar berarti pembakaran berlangsung lebih baik, dan tekanan yang dihasilkan juga lebih besar. Hal ini sesuai dengan persamaan :

$$Ne = \frac{P_e.V_d.n.i}{0.45.z}$$

Dari persamaan, karena Vd, n, i, dan z tetap, berarti daya efektif hanya dipengaruhi oleh P_e. Tekanan yang besar berarti energi yang dihasilkan dari pembakaran makin besar, proses pembakaran berarti makin baik karena homogenitasnya makin meningkat. Jadi dengan penambahan gris tersebut olakan atau turbulensi yang dihasilkan mampu meningkatkan homogenitas campuran. Meskipun dengan penambahan grid akan menghalangi penambahan campuran antara bahan bakar dan udara, sehingga dapat mengakibatkan penurunan tekanan, akan tetapi mampu menghasilkan olakan yang lebih baik sehingga tetap mampu meningkatkan daya yang dihasilkan.

Hasil pengujian menunjukan bahwa daya efektif maksimal diperoleh pada pemasangan grid bersudut 27,5⁰, tetapi hanya pada putaran awal putaran yaitu sampai 1995 rpm. Setelah itu daya efektif maksimal diperoleh pada pemasangan grid berlubang miring bersudut 22,5⁰ sampai pada putaran tinggi. Sementara kejadian sebaliknya terjadi pada pemasangan grid bersudut 7,5⁰ dan 17,5⁰, dimana daya efektif yang dihasilkan tanpa pemasangan grid . secara keseluruhan dapa disimpulkan bahwa peningkatan daya efektif terbesar di peroleh pada pemasangan *grid* berlubang miring bersudut 22,5⁰. dengan nilai daya efektif 13,796 HP.

Hubungan antara putaran motor bensin empat langkah dengan SFCE, dengan pemasangan *grid* yang mempunyai variasi sudut kemiringan lubang 7,5⁰, 12,5⁰, 17,5⁰, 22,5⁰ dan 27,5⁰ maupun standar dapat dilihat dalam gambar 9 berikut:



Gambar 9. Hubungan antara putaran dengan SFCE

Dari Gambar 9 di atas terlihat bahwa kecenderungan semua grafik SFCE mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena dengan semakin tingginya putaran maka jumlah siklus yang terjadi semakin banyak dan konsumsi bahan bakar (FC) yang dibutuhkan semakin besar (lampiran 3). Hubungan antara SFCE, FC, dan juga Ne ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$FC = \frac{b}{t} \cdot \gamma_f \cdot \frac{3600}{1000} \dots (Kg.jam)$$

$$SFCE = \frac{FC}{Ne} \dots (Kg/HP.jam)$$

Sesuai dengan persamaan di atas terlihat bahwa SFCE berbanding lurus dengan FC dan berbanding terbalik dengan Ne. Dalam perhitungan lain tentang daya efektif (Ne) yang dihasilkan diperoleh bahwa kurva Ne cenderung berbentuk parabolik membuka ke bawah. Demikian pula grafik SFCE yang sedikit mengalami penurunan dan setelah itu meningkat seiring naiknya putaran. Jelas bahwa hal ini sesuai dengan hubungan di atas. Dapat disimpulkan bahwa apabila FC mengalami peningkatan maka SFCE juga akan meningkat apabila daya efektif yang dihasilkan cenderung naik dengan interval kenaikan yang tidak terlalu besar atau bahkan jika Ne mengalami penurunan.

Pada grafik di atas terlihat bahwa pemasangan *grid* bersudut 12,5° 22,5° dan 27,5° memiliki SFCE yang lebih kecil daripada kondisi tanpa pemasangan *grid* (standar). Hal ini berarti bahwa *grid* bersudut 15° dan 20° mampu membuat mesin bekerja lebih ekonomis dalam pemakaian bahan bakar karena dengan jumlah bahan bakar yang sama atau lebih sedikit mampu menghasilkan daya efektif yang lebih besar daripada kondisi tanpa

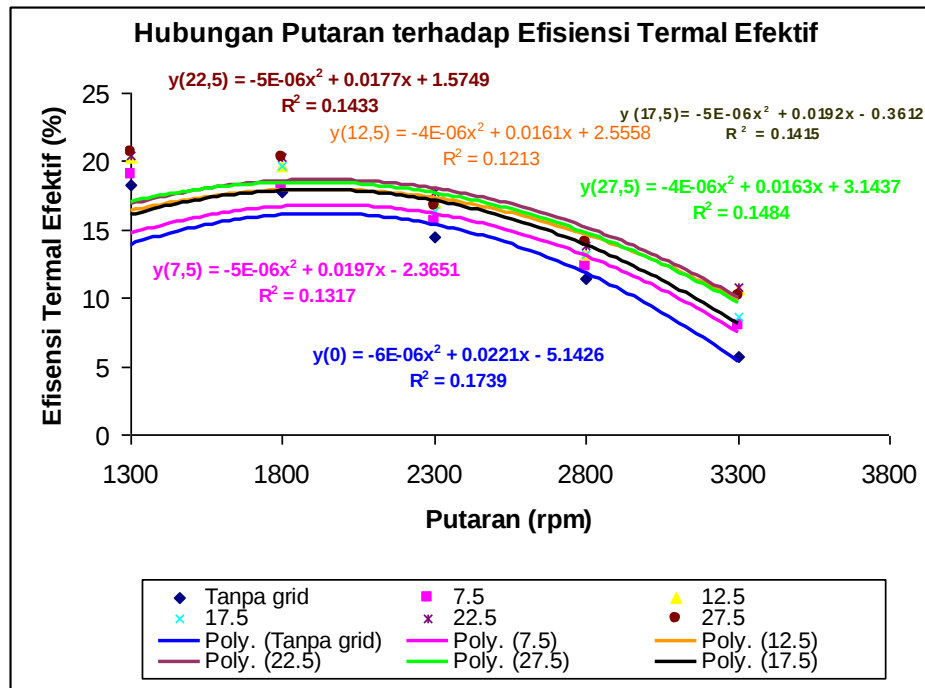
pemasangan *grid*. Di sisi lain, pemasangan *grid* bersudut 7,5° dan 17,5° menghasilkan SFCE yang lebih besar dibandingkan

Kondisi tanpa pemasangan *grid*. Hal ini berarti *grid* bersudut 0° tidak ekonomis untuk mesin bensin empat langkah karena mengkonsumsi bahan bakar yang sama atau bahkan lebih besar dengan daya efektif yang lebih rendah. Penyebab terjadinya hal ini adalah karena campuran udara dan bahan bakar yang melewati *grid* bersudut 17,5° dan 22,5° mampu menghasilkan campuran yang lebih homogen daripada *grid* bersudut 0° dan 7,5°. Karena sudut belokan atau sudut penyebaran alirannya lebih besar, maka hambatan dari bentuk kemiringan lubang tersebut juga semakin besar. Akibatnya timbul lapisan bahan bakar yang tidak bisa terbakar yang masih menempel pada dinding-dinding lubang *grid* tersebut.

Dari hasil pengujian diperoleh bahwa Konsumsi bahan bakar spesifik efektif yang terkecil adalah pada *grid* bersudut 12,5° 27,5° mulai putaran 1300-2450 rpm, tetapi setelah itu pemasangan *grid* bersudut 17,5° menghasilkan SFCE yang paling kecil yaitu sebesar 0,339 (Kg/HP.jam). Pemasangan *grid* bersudut 0°, 17,5° dan 12,5° menghasilkan SFCE yang lebih tinggi daripada kondisi standar. Dapat disimpulkan bahwa *grid* bersudut 17,5° menghasilkan SFCE terkecil dan berarti pula bahwa *grid* bersudut 17,5° mampu membuat mesin bekerja lebih ekonomis dalam hal pemakaian bahan bakar dan daya efektif yang dihasilkan.

Hubungan antara putaran motor bensin empat langkah dengan efisiensi termal efektif, dengan pemasangan *grid* yang mempunyai variasi sudut kemiringan lubang 7,5°, 12,5°, 17,5°, 22,5° dan 27,5°

⁰ maupun standar dapat dilihat dalam gambar 10 berikut:



Gambar 10. Grafik Hubungan Putaran terhadap Efisiensi termal efektif

Pada gambar 10 terlihat bahwa dengan semakin tinggi putaran poros motor bensin empat langkah maka secara umum efisiensi termal efektif yang dihasilkan juga akan mengalami peningkatan kemudian turun lagi. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif dan nilai kalor rendah bahan bakar. Hubungan antara nilai efisiensi termal efektif (η_{te}), konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCE) dan nilai kalor rendah bahan bakar (LHV) ditulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_{te} = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFCE \cdot LHV_{bb}} (\%)$$

Seperti telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya mengenai SFCE, bahwa semakin tinggi putaran mesin maka konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCE) juga semakin meningkat, sehingga η_{te} yang diperoleh semakin menurun. Hal ini disebabkan karena dengan putaran yang semakin tinggi maka gerakan bolak-balik torak juga semakin cepat sehingga kerugian mekanis akibat gesekan torak dengan dinding silinder semakin besar. Selain itu waktu yang dibutuhkan untuk membuka dan menutup katup isap akan semakin singkat, yang berarti massa campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar setiap satu siklusnya semakin sedikit. Hal ini akan menghasilkan jumlah energi kalor hasil pembakaran yang semakin menurun yang

pada akhirnya menurunkan daya efektif yang dihasilkan sehingga efisiensi termalnya menurun.

Effisiensi termal efektif terbesar dicapai oleh *grid* dengan kemiringan 22,5⁰, pada putaran 1800-1945 yaitu 19,2219%, sedangkan untuk yang tanpa *grid* pada putaran yang sama besar 17,2443%, untuk *grid* 22,5⁰ mengalami kenaikan, namun setelah itu cenderung menurun pada putaran yang makin tinggi seperti juga telah dijelaskan sebelumnya, penurunan efisiensi relative lebih kecil dari *grid* lainnya maupun yang tanpa *grid*. Karena pada putaran yang sama waktu pembakaran juga sam dengan *grid* lainnya maupun tanpa *grid*. Berarti olakan atu turbulensi yang dihasilkan *grid* ini mampu meningkatkan homogenitas campuran, dengan peningkatan homogenitas berarti pembakaran akan menghasilkan energi panas yang lebih besar, sehingga daya efektifnya juga besar.

Urutannya dari yang terkecil sampai terbesar adalah 7,5⁰, 17,5⁰, 12,5⁰, 22,5⁰ dan 27,5⁰ tanpa *grid* 0⁰ pemasangan *grid* bersudut 22,5⁰ mampu memperoleh efisiensi termal (η_{te}) tertinggi yang berarti pula merupakan *grid* yang paling efektif untuk memperoleh efisiensi termal (η_{te}) yang tinggi pada motor bensin empat langkah.

KESIMPULAN

Pemasangan *grid* pada *intake manifold* dengan diameter lubang *grid* 8 mm dengan ketebalan 7 mm dengan memvariasikan *grid* berlubang miring

dengan sudut $7,5^{\circ}$; $12,5^{\circ}$; $17,5^{\circ}$; $22,5^{\circ}$; dan $27,5^{\circ}$ ternyata menghasilkan torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif serta efisiensi thermal efektif yang berbeda.

Kinerja yang paling optimal dihasilkan oleh *grid* dengan lubang miring $22,5^{\circ}$ mm yang menghasilkan Torsi, Daya efektif, dan Efisiensi thermal efektif yang meningkat serta Konsumsi Bahan Bakar Spesifik efektif yang menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, W. 2002. Penggerak mula motor bakar torak, ITB. Bandung
- Anonym, Buku Petunjuk Praktikum Motor Bakar. Laboratorium Motor Bakar. Jurusan Mesin. FT Unisma, Malang
- Petrovsky, N. 1979 Marine Internal Combustion Engine, Moscow, Mir Publisher
- Arends & Brenschot, 1980. Motor Bensin, Jakarta : Erlangga
- Dehong, Zhang ; Hill, Philip G. 1996. *effect of swirl on combustion in short cylinder*
- Soenarto, Nakoela. Furuhamo, Shoichi. 1995. Motor Serbaguna. Jakarta : Pradya paramita
- Milton B.E. 1995. *Thermodynamic, Combustion Engine*. Chapman and hall. London.
- Hovard. Moran Shapiro, 1990. *Engineering Thermodynamic*. John Wiley and sons, Inc. New York
- Obert E.F, 1973, *Internal Combustion Engines*. Harper and Row Publisher. Inc, New York
- Heister H, 1996, *Advanced Engine Technology*. Arnold, London.
- Walpole. Ronald. E. 1992. Pengantar Statistik, Jakarta, Gramedia
- Iqbal Hasan. 2002. pokok-pokok materi statistik 2. Jakarta. PT. Bumi Aksara.