

**PENGARUH VARIASI SUDUT SWIRLING GRID PADA INTAKE
MANIFOLD TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI GAS CO MOTOR
OTTO EMPAT LANGKAH**

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh:

NANDA ESHA BHAKTI
NIM. 0210620092

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2007



**PENGARUH VARIASI SUDUT SWIRLING GRID PADA INTAKE
MANIFOLD TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI GAS CO MOTOR
OTTO EMPAT LANGKAH**

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh:

NANDA ESHA BHAKTI
NIM. 0210620092

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

DOSEN PEMBIMBING I

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. Saifuddin Baedowie.
NIP. 131 350 753

Dr. Slamet Wahyudi, S.T., M.T.
NIP. 132 159 708

**PENGARUH VARIASI SUDUT SWIRLING GRID PADA INTAKE
MANIFOLD TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI GAS CO MOTOR
OTTO EMPAT LANGKAH**

Disusun oleh :

NANDA ESHA BHAKTI
NIM. 0210620092

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 8 Maret 2007

DOSEN PENGUJI

Skripsi I

Skripsi II

Ir. Achmad As'ad Sonief, MT.
NIP. 131 756 003

Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc
NIP. 131 411 121

Komprehensif

Ir. Abdul Hadi Djaelani
NIP. 130 518 942

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ir. Bambang Indrayadi, MT.
NIP. 131 653 469

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan nikmat, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Pengaruh Variasi Sudut *Swirling Grid* pada *Intake Manifold* terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas CO Motor Otto Empat Langkah**” ini, juga penulis sampaikan sholawat kepada Nabi Muhammad SAW.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung tersusunnya skripsi ini hingga dapat terselesaikan dengan baik, terutama kepada :

1. Bapak Ir. Bambang Indrayadi, MT. selaku Ketua Jurusan Mesin.
2. Bapak Ir. Djoko Sutikno, M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan Mesin.
3. Bapak Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc. sebagai Ketua Kelompok Pengajar Konversi Energi.
4. Bapak Ir. Saifuddin Baedowie selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, waktu dan pengetahuan.
5. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, diskusi dan pengetahuan.
6. Seluruh Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin.
7. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Teknik Mesin serta Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Ayahanda Agus Sunaryo dan Ibunda Anik Sri Utami yang dengan segenap hati telah mendidik, membimbingku dengan kasih sayang, keikhlasan, kesabaran dan penuh pengorbanan serta memberikan banyak do’a, semangat, nasehat selama saya menjalani masa studi dan dalam penyelesaian skripsi ini.
9. ”Keluarga besar alm. Mbah Latip” dan ”Keluarga besar ”Mbah Nachrowi” serta saudara-saudaraku tercinta (Mei, Vona, Eska, Yudis, Widi, Yoda, Merita, Anggi, Billy, mbak Rin, serta si kecil Reyhan & Sasha), yang telah memberikan banyak dorongan, do’a, semangat dan rasa persaudaraan yang tinggi dalam menjalani kehidupan ini baik suka maupun duka.
10. Seseorang yang telah banyak memberikan motivasi dan do’a ” Cahyaning” sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini, Terimakasih.

11. Teman seperjuangan dalam penelitian “ **COMBUSTION RANGERS** ” Rifqi Zaim S.T. (*ranger kuning*), Rocky S. Kardoso S.T. (*ranger hitam*), Masykur Baskoro S.T. (*ranger ijo*) dan Suseno Purwo Utomo *cln*.S.T. (*ranger biru*) yang telah melewati berbagai seluk-beluk selama penelitian dengan kerjasama yang baik, kekompakan, pengorbanan dan rasa pengertian yang tinggi. Dan juga “Firman, Imam S.T., Malik S.T., Galih, Wahyu, & Wulan serta mas Eko (laboran **CEL UB**)” yang banyak membantu dalam penelitian ini.
12. *All CNC Laboratory people* (hendro, irsyad, hery, prima, ony, husin, mirza dan Va'i) yang telah membangun *teamwork*, komitmen dan loyalitas yang tinggi sehingga mencapai berbagai prestasi kerja dan Mas Har yang telah banyak membantu pikiran dan tenaga dalam pembuatan benda kerja.
13. Teman-temanku sehidup semati “ **BASE CAMP COMMUNITY** ”Apris S. Nugraha S.T, Umar Farouk S.T., Tatok Winarko (elektro), Deni (Pandier Hukum), dan Andri Purwasito S.T. yang telah melewati masa indah dan buruk bersama-sama dengan kerjasama yang baik, kekompakan, pengorbanan dan rasa kekeluargaan yang tinggi serta saling memberi semangat, nasehat dan berbagi pengalaman hidup yang tak ternilai. Terima kasih teman, kenangan itu tak akan aku lupakan.
14. Seluruh Arek-arek Mesin 2002 dan seluruh mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya. Terima kasih atas dukungannya “*Solidarity Forever*”.
15. Semua pihak yang telah memberikan dorongan, semangat, dan do'a dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa ilmu yang dimiliki masih terlalu jauh dari kesempurnaan, skripsi ini tentunya jauh dari sempurna pula. Penulis akan menerima segala saran dan kritik yang membangun dengan lapang dan senang hati demi perbaikan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Malang, Februari 2007

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR DAN GRAFIK	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan masalah	2
1.3 Batasan masalah	3
1.4 Tujuan penelitian	3
1.5 Manfaat penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian sebelumnya.....	4
2.2 Motor bakar torak.....	4
2.3 Motor Otto.....	5
2.3.1 Siklus motor Otto empat langkah.....	5
2.3.2 Siklus aktual motor Otto empat langkah.....	8
2.3.3 Saluran Isap (<i>intake manifold</i>).....	9
2.4 Pembakaran	10
2.4.1 Pembakaran pada motor Otto empat langkah.....	10
2.5 Emisi gas CO.....	11
2.6 Modifikasi dengan <i>Grid</i>	12
2.6.1 Modifikasi dengan <i>Swirling Grid</i>	13
2.7 Tinjauan terhadap kinerja motor Otto.....	14
2.7.1 Torsi (T).....	14
2.7.2 Daya Bahan Bakar (N_{bb}).....	15
2.7.3 Daya Indikasi (N_i).....	15
2.7.4 Daya efektif (N_e).....	17
2.7.5 Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe).....	17
2.7.6 Efisiensi termal efektif (η_{te})	18

2.8 Hipotesis.....	18
--------------------	----

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode penelitian	19
3.2 Variabel penelitian.....	19
3.3 Alat-alat yang digunakan.....	19
3.3.1 Alat utama.....	19
3.3.2 Instalasi utama.....	21
3.3.3 Peralatan bantu.....	22
3.4 Tempat penelitian.....	22
3.5 Pelaksanaan penelitian.....	22
3.5.1 Penyusunan alat penelitian.....	22
3.5.2 Prosedur penelitian.....	23
3.6 Analisis statistika.....	23
3.7 Diagram alir penelitian.....	28

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis data.....	29
4.1.1 Data hasil pengujian.....	29
4.1.2 Perhitungan data.....	31
4.1.3 Analisis varian.....	34
4.1.3.1 Analisis statistik untuk torsi yang dihasilkan.....	35
4.1.3.2 Analisis statistik untuk daya efektif yang dihasilkan.....	36
4.1.3.3 Analisis statistik untuk konsumsi bahan bakar spesifik efektif yang dihasilkan.....	36
4.1.3.4 Analisis statistik untuk efisiensi termal efektif yang dihasilkan.....	37
4.1.3.5 Analisis statistik untuk emisi gas CO yang dihasilkan.....	38
4.1.3.6 Kajian interaksi antara putaran dengan sudut <i>swirling grid</i>	39
4.2 Pembahasan.....	39
4.2.1 Hubungan antara putaran dengan torsi.....	40

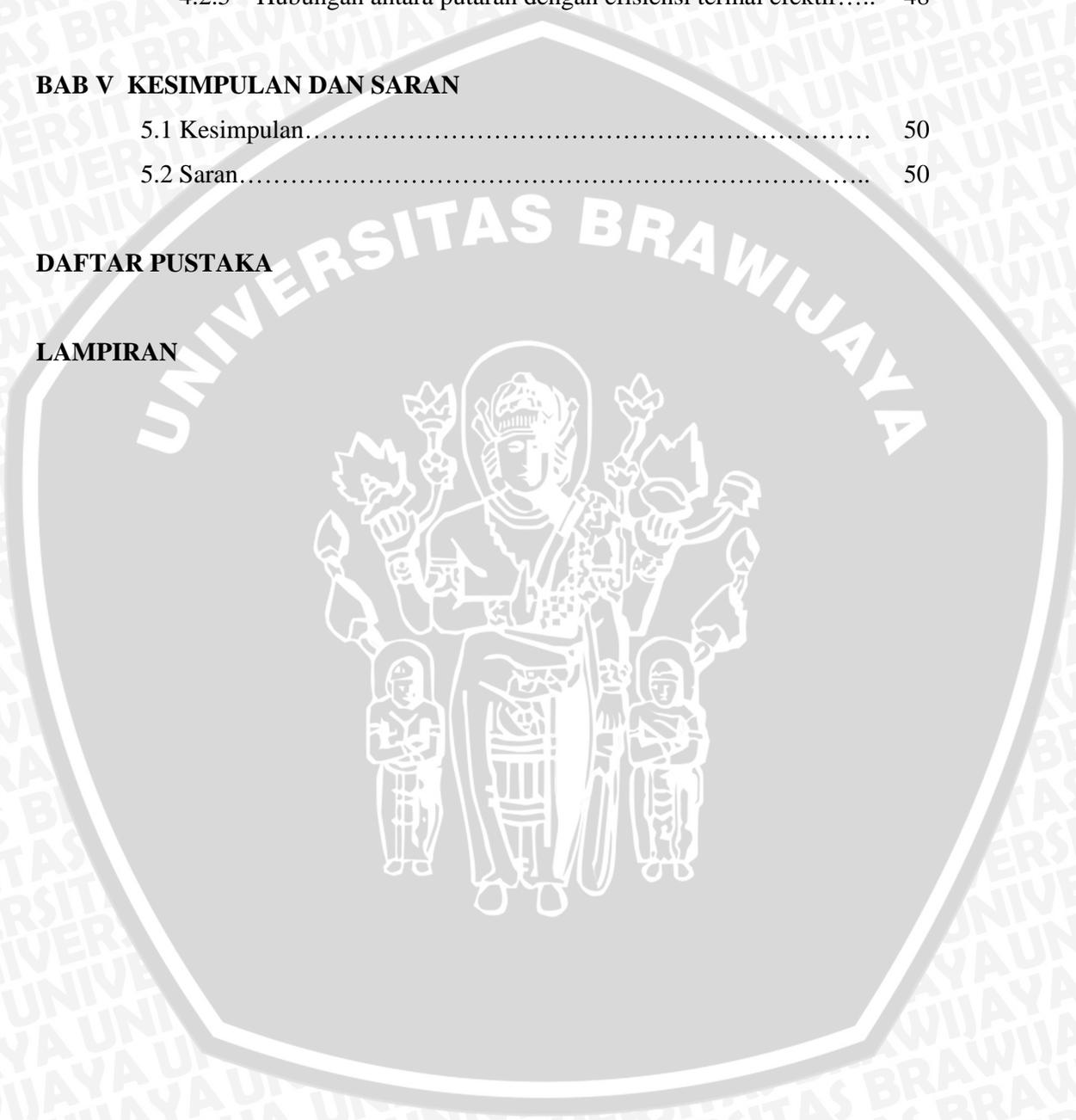
4.2.2	Hubungan antara putaran dengan daya efektif.....	42
4.2.3	Hubungan antara putaran dengan konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe).....	44
4.2.4	Hubungan antara putaran dengan emisi gas CO.....	46
4.2.5	Hubungan antara putaran dengan efisiensi termal efektif.....	48

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	50
5.2	Saran.....	50

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



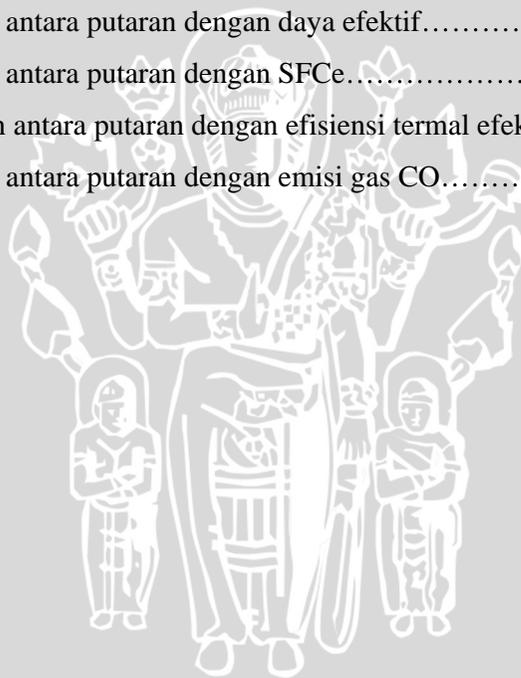
DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Rancangan pengamatan model dua arah dengan pengulangan	25
Tabel 3.2	Rancangan analisis varian	27
Tabel 4.1	Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah standar	29
Tabel 4.2	Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan pemasangan <i>swirling grid</i> dengan sudut lubang 15 ⁰	30
Tabel 4.3	Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan pemasangan <i>swirling grid</i> dengan sudut lubang 20 ⁰	30
Tabel 4.4	Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan pemasangan <i>swirling grid</i> dengan sudut lubang 25 ⁰	31
Tabel 4.5	Analisis varian dua arah untuk torsi.....	35
Tabel 4.6	Analisis varian dua arah untuk daya efektif.....	36
Tabel 4.7	Analisis varian dua arah untuk SFCE	36
Tabel 4.8	Analisis varian dua arah untuk efisiensi termal efektif.....	37
Tabel 4.9	Analisis varian dua arah untuk emisi gas CO.....	38



DAFTAR GAMBAR DAN GRAFIK

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Skema langkah kerja motor bakar empat langkah	6
Gambar 2.2	Diagram hubungan antara tekanan-volume spesifik dan temperatur-entropi	7
Gambar 2.3	Siklus aktual motor bensin empat langkah	8
Gambar 2.4	Turbulensi di belakang <i>grid</i>	12
Gambar 3.1	<i>Swirling Grid</i>	20
Gambar 3.2	Susunan peralatan uji.....	21
Gambar 3.3	Diagram alir pelaksanaan penelitian.....	28
Gambar 4.1	Hubungan antara putaran dengan torsi.....	40
Gambar 4.2	Hubungan antara putaran dengan daya efektif.....	42
Gambar 4.3	Hubungan antara putaran dengan SFCE.....	44
Gambar 4.4	Hubungan antara putaran dengan efisiensi termal efektif.	46
Gambar 4.5	Hubungan antara putaran dengan emisi gas CO.....	48



DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul
Lampiran 1.	Hasil pengolahan data pengujian pada motor bensin empat langkah
Lampiran 2.	Tabel hubungan $\frac{P_1 - P_2}{P_1} - \varepsilon$, $\theta - P_s$ dan $\theta - \gamma_w$
Lampiran 3	Tabel nilai uji $F(\alpha; v_1; v_2)$ pada $\alpha = 0,05$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



RINGKASAN

Nanda Esha Bhakti, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, Februari 2007, **Pengaruh Variasi Sudut *Swirling Grid* pada *Intake Manifold* terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas CO Motor Otto Empat Langkah.**Dosen Pembimbing : Ir. Saifuddin Baedowie dan Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.

Saat ini penggunaan motor bakar torak oleh masyarakat dunia begitu besar terutama pada bidang transportasi, yang berarti terjadi suatu peningkatan konsumsi bahan bakar dalam jumlah yang besar. Hal ini berlawanan dengan kondisi persediaan sumber bahan bakar di alam yang tidak dapat diperbaharui sehingga jumlahnya semakin menipis. Masalah lain yang dihadapi adalah tingkat pencemaran udara yang diakibatkan oleh polutan-polutan emisi gas buang kendaraan bermotor. Polutan tersebut timbul dikarenakan suatu proses pembakaran yang tidak atau kurang sempurna. Salah satu penyebab kurang sempurnanya suatu pembakaran adalah kurang homogennya campuran bahan bakar dengan udara dan hal itu juga mengakibatkan kinerja mesin menjadi rendah. Oleh karena itu diperlukan suatu upaya penghematan bahan bakar dan usaha untuk menurunkan polutan emisi gas buang kendaraan bermotor. Usaha yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan membuat olakan atau turbulensi pada campuran bahan bakar dan udara yang mengalir melalui saluran isap dengan pemasangan *swirling grid*. Dengan adanya olakan atau turbulensi akan mengakibatkan lebih homogennya campuran bahan bakar dan udara sehingga pembakaran yang terjadi lebih sempurna.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh sudut lubang *swirling grid* terhadap unjuk kerja motor Otto empat langkah yang meliputi torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif dan emisi gas CO. Selain itu juga untuk mengetahui berapa sudut *swirling grid* yang optimal. Untuk mengetahui pengaruh tersebut, dipergunakan uji statistik melalui analisis varian dua arah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan *swirling grid* dengan variasi sudut lubang 20° dan 25° dapat meningkatkan unjuk kerja yang dihasilkan oleh motor Otto empat langkah. Hal ini dikarenakan semakin homogennya campuran bahan bakar dan udara. Sedangkan untuk *swirling grid* bersudut 15° menghasilkan unjuk kerja yang kurang begitu baik dari keadaan standar. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh pula bahwa secara keseluruhan unjuk kerja motor Otto empat langkah paling optimal dihasilkan pada pemasangan *swirling grid* bersudut 20° .

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini penggunaan motor bakar torak oleh masyarakat dunia begitu besar. Motor bakar torak oleh manusia banyak sekali digunakan di bidang industri dan bidang transportasi, terutama transportasi darat. Dengan perkembangan dunia yang pesat saat ini, manusia dituntut untuk selalu aktif dan terampil dalam melaksanakan berbagai hal, sehingga hal ini membuat kebutuhan manusia akan transportasi semakin meningkat.

Pada motor bakar torak, tenaga termal yang diperoleh dari pembakaran bahan bakar di konversi menjadi tenaga gerak. Bahan bakar yang digunakan berupa bahan bakar fosil, yang umumnya adalah bensin untuk motor bakar *Spark Ignition Engine (SIE)* dan solar untuk motor bakar *Compression Ignition Engine (CIE)*. Pada saat ini telah terjadi peningkatan harga BBM (Bahan Bakar Minyak) sehingga hal ini membuat biaya operasional dari kendaraan bermotor yang kita gunakan menjadi bertambah. Untuk itu diperlukan suatu usaha yang dapat meningkatkan unjuk kerja sebuah mesin dimana unjuk kerja ini meliputi daya motor bakar, efisiensi dan konsumsi bahan bakar sehingga kita bisa menghemat biaya operasional dari kendaraan bermotor yang kita gunakan. Masalah lain yang muncul adalah polutan gas buang kendaraan bermotor yang kita gunakan dimana hal ini berbahaya bagi manusia. Salah satu penyebab munculnya polutan tersebut dikarenakan oleh suatu proses pembakaran yang tidak sempurna. Jika proses pembakaran pada motor bakar berlangsung tidak sempurna, maka produk emisinya akan mengandung polutan-polutan gas seperti nitrogen oksida (NO_x), hidro karbon (CH) dan karbon monoksida (CO). Terutama gas CO, karena polutan ini apabila terhisap oleh sistem pernafasan manusia, maka CO akan segera berikatan dengan hemoglobin (Hb) darah menggantikan oksigen (O_2). Ini terjadi dikarenakan CO lebih reaktif daripada O_2 terhadap Hb. Dampak dari pengikatan ini adalah darah dan tubuh penghisap akan kekurangan O_2 sebagai komponen utama proses metabolisme. Jika keadaan ini berlangsung terus, maka akan segera dapat mengakibatkan kematian bagi penghisapnya. Untuk itu juga diperlukan suatu usaha pengurangan emisi gas CO pada motor bakar torak.

Salah satu usaha penghematan penggunaan bahan bakar minyak dan pengurangan emisi gas CO yang dapat dilakukan adalah dengan memperbaiki proses pembakarannya, karena dalam proses pembakaran pada motor bensin empat langkah terjadi beberapa kerugian yang mengakibatkan tidak terjadinya pembakaran sempurna dalam ruang bakar. Dimana hal itu disebabkan karena kurang sempurnanya pencampuran bahan bakar bensin dengan udara yang mengakibatkan kinerja mesin menjadi rendah. Untuk memperbaiki kondisi campuran antara bahan bakar dengan udara dapat dilakukan pada saluran masuk ke ruang bakar (*intake manifold*) yang terletak antara karburator dan ruang bakar. Salah satu caranya adalah dengan membuat olakan atau turbulensi pada campuran antara bahan bakar dan udara pembakaran yang mengalir melalui saluran tersebut. Dengan adanya olakan ini diharapkan kemungkinan terjadinya kontak antara molekul-molekul bahan bakar dan udara makin besar, sehingga kondisi campurannya akan semakin homogen.

Penelitian yang dilakukan oleh Bambang Dwi Yudianto (2003), meneliti tentang pengaruh variasi kemiringan lubang *grid* terhadap kinerja motor Otto empat langkah. Hasilnya adalah bahwa pemasangan *grid* berpengaruh terhadap kinerja motor Otto empat langkah.

Berawal dari hal ini, maka penulis melakukan penelitian dengan cara memodifikasi *intake manifold* motor bakar Otto empat langkah dengan cara memasang *swirling grid*, yang merupakan suatu piranti berupa pelat datar yang dilubangi dengan ukuran, bentuk lubang dan kemiringan tertentu dari lubang. Dengan adanya pemasangan *swirling grid* diharapkan timbulnya olakan pada aliran campuran bahan bakar dengan udara lebih baik, sehingga kondisi campuran akan lebih homogen. Untuk memberi hasil peningkatan kinerja yang optimal maka diberikan variasi sudut kemiringan lubang *swirling grid*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dirumuskan permasalahan yang akan dibahas dalam skripsi ini, yaitu:

Bagaimana pengaruh variasi sudut lubang *swirling grid* pada *intake manifold* terhadap unjuk kerja dan emisi gas CO motor Otto empat langkah.

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan terfokus dan tidak menyimpang, maka dalam penelitian ini diberikan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Mesin yang digunakan adalah mesin Datsun 1567 cc, empat langkah, empat silinder.
2. Mesin diuji dalam kondisi diam (tidak bergerak) dan normal, dengan variasi tingkat putaran.
3. Bahan bakar yang digunakan adalah bensin premium yang dijual di SPBU.
4. Kinerja motor bakar yang dianalisis adalah torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, dan efisiensi termal efektif, serta emisi gas CO.
5. Kondisi udara atmosfer dianggap konstan, sehingga perubahan yang mungkin terjadi diabaikan.
6. Propertis aliran sebelum dan sesudah melewati *swirling grid* tidak diamati.
7. Reaksi kimia dan pembakaran yang berlangsung tidak diamati.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini mempunyai tujuan sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi sudut lubang *swirling grid* pada *intake manifold* terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termal efektif dan emisi gas CO motor Otto empat langkah.
2. Untuk mengetahui besarnya sudut lubang *swirling grid* pada *intake manifold* yang menghasilkan torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termal efektif dan emisi gas CO motor Otto empat langkah yang optimal.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Mendapatkan cara untuk meningkatkan kinerja motor bakar dengan bahan bakar bensin .
2. Mendapatkan cara penggunaan bahan bakar yang lebih efisien dengan adanya pembakaran yang lebih baik.
3. Sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya agar diperoleh kinerja motor bensin yang lebih baik lagi.
4. Meningkatkan perkembangan IPTEK.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Dari studi experimental tentang grid yang telah dilakukan oleh M. Rifqi E (2002) yang meneliti tentang pengaruh diameter lubang *grid* terhadap unjuk kerja motor Otto empat langkah. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa efisiensi thermal efektif terbesar dihasilkan dengan pemasangan *grid* berdiameter 7 mm, dan terjadi penurunan konsumsi bahan bakar pada pemasangan *grid* berdiameter 5 mm.

Bambang Dwi Yuniarto (2003), meneliti tentang pengaruh variasi kemiringan lubang *grid* terhadap kinerja motor Otto empat langkah. Hasilnya adalah bahwa pemasangan *grid* berpengaruh terhadap kinerja motor Otto empat langkah dengan kinerja optimal dihasilkan oleh *grid* dengan sudut kemiringan 20⁰.

2.2 Motor Bakar Torak

Motor bakar torak termasuk dalam jenis motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) dan merupakan salah satu jenis penggerak mula yang mengubah energi kimia menjadi energi mekanik. Energi kimia dalam bahan bakar dikonversi terlebih dahulu ke dalam bentuk energi thermal dengan cara pembakaran antara bahan bakar dengan oksigen dari udara di dalam silinder dari motor bakar torak. Gas yang dihasilkan dari proses pembakaran tersebut berfungsi sebagai fluida kerja yang digunakan untuk menggerakkan torak yang oleh batang penghubung dihubungkan dengan poros engkol. Gerak translasi (bolak-balik) dari torak mengakibatkan terjadinya gerak rotasi atau putaran pada poros engkol dan sebaliknya gerak rotasi dari poros engkol mengakibatkan gerak translasi pada torak.

Menurut sistem penyalan, Motor bakar torak dibagi menjadi dua jenis utama yaitu motor Otto dan motor diesel. Bahan bakar pada motor Otto dinyalakan dengan bantuan loncatan bunga api listrik diantara dua elektroda busi. Karena itu motor Otto disebut juga SIE (*Spark Ignition Engines*), sedangkan pada motor diesel yang biasanya disebut CIE (*Compression Ignition Engines*) terjadi proses penyalan sendiri, yaitu karena bahan bakar disemprotkan ke dalam silinder berisi udara yang bertemperatur dan bertekanan tinggi, sehingga bahan bakar itu terbakar sendiri oleh udara yang mengandung oksigen, setelah temperatur campuran tersebut melampaui temperatur nyala dari bahan bakar.

2.3 Motor Otto

Motor Otto dibagi menjadi dua jenis yaitu motor Otto dua langkah dan motor Otto empat langkah. Motor Otto empat langkah lebih hemat bahan bakar dibandingkan dengan motor Otto dua langkah karena satu kali kerja menghasilkan dua putaran poros engkol, sedangkan motor bakar dua langkah satu kali kerja menghasilkan satu putaran poros engkol.

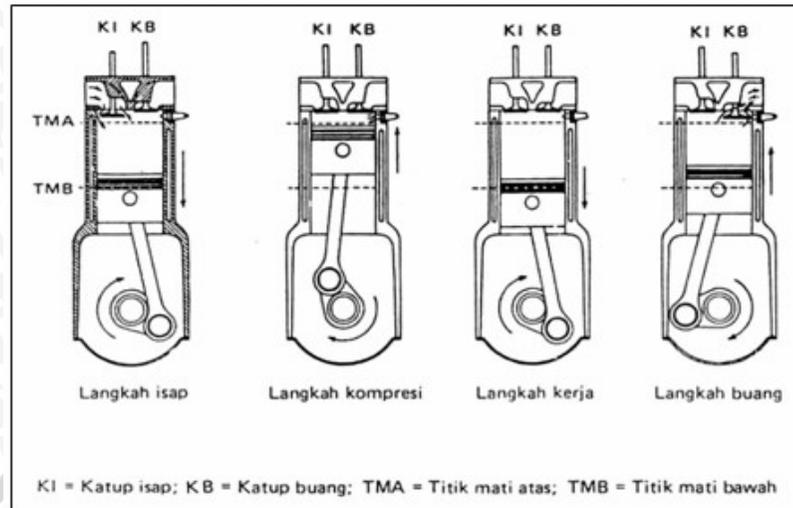
Pada motor Otto pencampuran antara bahan bakar dengan udara terjadi pada karburator, dimana bahan bakar tersebut disemprotkan melalui *pilot* dan *main jet* akibat perbedaan tekanan pada lubang venturi yang dialiri oleh udara. Campuran tersebut kemudian masuk ke dalam ruang bakar melalui *intake manifold* 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 Motor Otto Empat Langkah

Pada motor Otto empat langkah proses pembakaran terjadi secara periodik dan dihasilkan suatu langkah kerja untuk setiap empat langkah atau dua kali putaran poros engkol. 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 pada 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 siklus motor Otto empat langkah terdiri dari :

a. Langkah isap (*Suction Stroke*)

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



Gambar 2.1. Skema langkah kerja motor bakar empat langkah.
Sumber : Arismunandar, 2002 : 8

b. Langkah kompresi (*Compression Stroke*)

Torak bergerak dari posisi TMB ke TMA, dengan KI dan KB dalam keadaan tertutup, campuran bahan bakar-udara yang terisap dimampatkan oleh torak yang bergerak ke TMA. Volume campuran bahan bakar-udara menjadi kecil sehingga mengakibatkan tekanan dan temperatur di dalam ruang bakar naik.

c. Langkah ekspansi (*Expansion Stroke*)

Pada saat posisi torak hampir mencapai TMA pada langkah kompresi, busi dinyalakan dan terjadi proses pembakaran sehingga tekanan dan temperaturnya naik. Sementara itu torak masih bergerak menuju TMA yang berarti volume ruang bakar menjadi semakin kecil sehingga tekanan dan temperatur gas di dalam silinder menjadi semakin tinggi. Kemudian torak mencapai TMA dan gas pembakaran mendorong torak menuju TMB sehingga mampu melakukan langkah kerja atau langkah ekspansi. Pada langkah ini katup isap (KI) terbuka dan katup buang (KB) dalam keadaan tertutup. Langkah ekspansi pada proses ini sering disebut dengan *power stroke* atau langkah kerja.

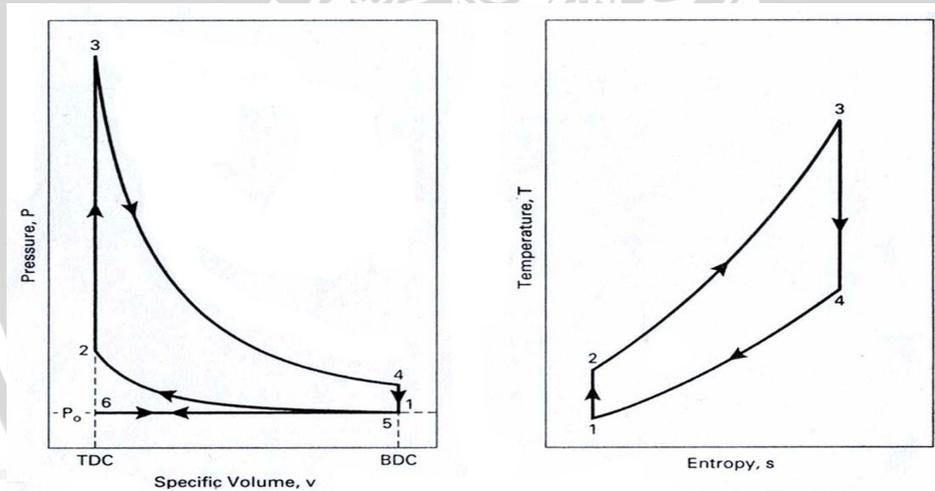
d. Langkah buang

Torak bergerak dari TMB ke TMA. KI tertutup dan KB terbuka, torak bergerak ke TMA mendesak gas hasil pembakaran keluar dari dalam silinder melalui saluran buang.

Analisa pada proses motor Otto empat langkah berdasarkan pada proses termodinamika dan kimia yang terjadi di dalam silinder. Pada umumnya untuk menganalisis motor Otto empat langkah dilakukan dengan pendekatan menggunakan siklus udara standar sebagai siklus yang ideal. Hal ini digunakan untuk mempermudah analisis karena semakin ideal suatu keadaan maka semakin mudah untuk dianalisis, akan tetapi dengan sendirinya akan semakin jauh menyimpang dari keadaan yang sebenarnya. 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)

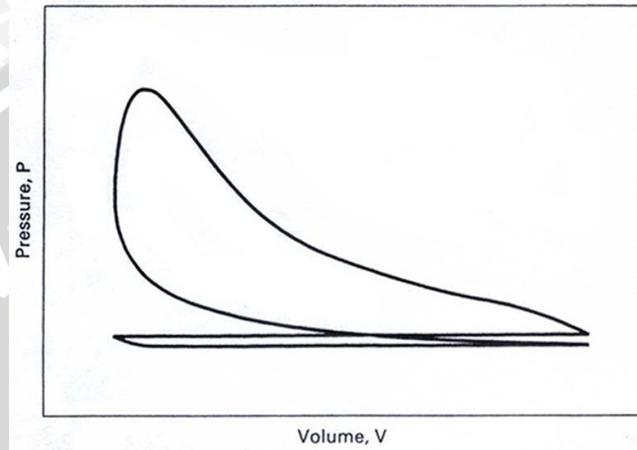
Sumber : Pulkrabek, 2004 : 90

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 : Pulkrabek, 2004 : 48

Proses langkah kerja motor Otto empat langkah dalam kenyataannya tidak dapat bekerja dalam kondisi ideal. Menurut Arismunandar, W (2002:29), penyimpangan dari siklus ideal itu terjadi karena dalam keadaan sebenarnya terjadi kerugian yang antara lain disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut:

1. Kebocoran fluida kerja karena penyekatan oleh 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.
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.

Berdasarkan semua hal tersebut maka bentuk diagram $P - V$ dari siklus yang sebenarnya tidak sama dengan bentuk diagram 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*)

Sistem isap yaitu sistem yang mengatur serta 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*, *intake manifold*, katup isap, dan ruang bakar.

Saluran isap (*intake manifold*) berfungsi sebagai saluran untuk mengalirkan campuran antara bahan bakar dan udara dari karburator ke dalam silinder. Pada *intake manifold* dapat terjadi tiga kondisi campuran antara bahan bakar dan udara, yaitu:

1. Bahan bakar (dalam bentuk kabut/*droplet*) dengan 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*.

Pada kondisi poin dua dan tiga di atas 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 ini akan berpengaruh terhadap kinerja mesin dan bahkan akan memperpendek umur mesin. 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 suatu reaksi oksidasi dari bahan bakar di ruang bakar yang berlangsung pada kecepatan tinggi serta diikuti dengan terjadinya panas, kenaikan tekanan dan temperatur. Panas hasil pembakaran merupakan bentuk energi yang dimanfaatkan sebagai kerja pada motor bakar maupun mesin-mesin yang lain. Ditinjau secara aerodinamis ada dua jenis pembakaran, yaitu:

1. Pembakaran difusi

Pembakaran difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara pengoksidasi tidak dicampur secara mekanik, melainkan bercampur secara alami melalui proses difusi, kemudian baru dibakar, sehingga disini tidak terjadi rambatan gelombang pembakaran. Contohnya: pembakaran lilin dan pembakaran korek api.

2. Pembakaran premix

Pembakaran premix adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara (oksigen) dicampur terlebih dahulu secara mekanik (misalnya dengan karburator), kemudian baru dibakar. Di sini terjadi perambatan gelombang pembakaran yang disebut *flame*. Gelombang pembakaran merambat ke arah reaktan, di belakang gelombang pembakaran terbentuk produk pembakaran contohnya adalah pembakaran pada motor Otto, pembakaran pada roket, pembakaran pada las karbit.

2.4.1 Pembakaran pada Motor Otto Empat Langkah

Ditinjau secara aerodinamis pembakaran pada motor Otto empat langkah adalah pembakaran premix. Pembakaran memegang peranan penting karena manfaat yang diberikan oleh motor bakar tergantung pada proses pembakaran, sehingga kondisi pembakaran yang terjadi akan mempengaruhi kinerja motor bakar itu sendiri.

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 habis. Setelah busi menyala, nyala api akan merambat ke segala arah dengan kecepatan yang sangat tinggi ($20 - 50 \text{ m.s}^{-1}$) 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 maka kecepatan pembakaran akan lebih tinggi (Zhang dan Hill, 1996: 318). Dengan adanya kecepatan pembakaran yang tinggi akan dapat mengurangi detonasi pada mesin.

2.5 Emisi gas CO

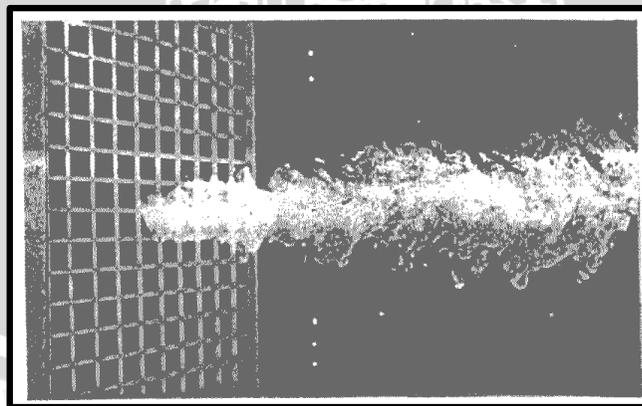
Pembakaran dikatakan sempurna jika semua kandungan karbon (C) dalam bahan bakar terbakar habis membentuk karbondioksida (CO_2), semua hidrogen (H) terbakar membentuk air (H_2O), dan semua sulfur (S) terbakar membentuk sulfurdioksida (SO_2). Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, berarti pembakaran tidak sempurna.

Hasil pembakaran bahan bakar di dalam motor bakar pada umumnya adalah CO_2 , CO, H_2O (uap), SO_x dan NO_x . Pada pembakaran yang sempurna maka pada gas buang akan dihasilkan CO_2 dan uap air (H_2O). Jika bahan bakar mengandung unsur belerang dan zat lemas udara, maka hasil pembakarannya adalah SO_x dan NO_x yang merupakan unsur polutan yang dapat mencemari udara bebas. Sedangkan jika pembakarannya tidak sempurna atau kekurangan oksigen maka akan dihasilkan CO yang beracun bagi manusia.

Karbon monoksida (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 hemoglobin dalam darah membentuk $\text{Hb}(\text{CO})_2$ (karboksihemoglobin), 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. Dengan menggunakan alat *Gas Analyser* diketahui kandungan gas buang antara lain CO_2 , CO, O_2 dan N_2

2.6 Modifikasi dengan *Grid*

Grid pada prinsipnya merupakan suatu penghalang atau pengganggu aliran. Aliran fluida akan mengalami gangguan apabila gaya-gaya yang bekerja terganggu kesetimbangannya. Penempatan *grid* pada aliran udara akan mengakibatkan penurunan tekanan (*pressure loss*) sehingga aliran udara akan mengalami percepatan dan menyebabkan garis alirnya saling berpotongan sehingga timbul pusaran. 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 dengan adanya aliran berpusar akan menghasilkan efek turbulensi (Lesieur, 1987). Zhang dan Hill (1996 : vol 106) menyatakan bahwa jika fluida yang dibakar berpusar dan menimbulkan turbulensi maka pembakaran yang terjadi akan lebih tinggi. Hasil dari adanya aliran yang turbulen akan meningkatkan kecepatan perpindahan panas, mempercepat penguapan (*evaporasi*) gas, memperbaiki pencampuran bahan bakar dengan udara, serta akan mempercepat proses pembakaran, adanya proses pembakaran yang cepat dapat memperkecil terjadinya *autoignition* dan *knocking* (Pulkrabek, 2004). Kemungkinan terbakarnya sendiri bahan bakar di dalam silinder dapat dikurangi dengan cara pemusaran campuran bahan bakar dan udara yang akan masuk ke dalam ruang bakar/silinder (Arends dan Berenschot,1980). Fenomena aliran turbulen yang terjadi di belakang *grid* dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2.4 Turbulensi di belakang *grid*
Sumber : Lesieur, 1987: 4

Menurut Soenarta Nakoela (1995: 31) panas yang dihasilkan dari pembakaran campuran bahan bakar dan udara akan diubah oleh motor dalam bentuk hasil yang efisien apabila:

1. Pembakarannya terjadi dengan sempurna.
2. Perbandingan kompresi tinggi untuk memperoleh hasil yang besar dan efisiensi yang tinggi.
3. Kecepatan pembakaran tinggi, dimana kecepatan pembakaran yang tinggi akan diikuti oleh kenaikan temperatur dan tekanan. Untuk membantu proses pembakaran, gas dalam silinder harus digerakkan/diaduk.
4. Ruang bakarnya kompak agar luas permukaan ruang bakar menjadi kecil dan dapat diperkecil kehilangan panasnya.
5. Pendinginan yang baik.

Dari hal diatas dengan adanya *grid* pada saluran masuk ruang bakar (*intake manifold*), akan terjadi pusaran campuran bahan bakar dan udara selama dalam saluran maupun saat masuk ke dalam silinder.

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).

2.6.1 Modifikasi dengan *Swirling Grid*

Dalam aplikasinya pada motor Otto, bahan bakar dan udara sebelum masuk ruang bakar terlebih dahulu dicampur di dalam karburator. 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. Diantaranya adalah kecepatan relatif aliran udara dan bahan bakar, karakteristik bahan bakar, densitas bahan bakar serta tegangan permukaan.

Campuran bahan bakar dan udara setelah melalui karburator homogenitasnya masih dapat ditingkatkan. Menurut Leuseur, pada saat aliran udara melewati lubang-lubang *grid*, maka akan terjadi penurunan tekanan sehingga kecepatannya akan meningkat dan menyebabkan garis alirnya saling berpotongan sehingga timbul pusaran. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan pemasangan *swirling grid* yang

diharapkan dapat meningkatkan intensitas turbulensi dari campuran bahan bakar dan udara yang mengalir melalui saluran isap (*intake manifold*) sehingga akan didapat efek pusaran yang optimal dan memberi kesempatan bagi campuran untuk tercampur lebih merata, sehingga kecepatan pembakaran meningkat dan terjadi pembakaran yang lebih teratur.

2.7 Tinjauan Terhadap Unjuk Kerja Motor Otto

Unjuk kerja motor bakar dapat diketahui dengan melakukan Pengujian dari suatu motor bakar. Dimana dari pengujian tersebut didapatkan suatu hubungan antara parameter-parameter yang meliputi Torsi, Daya bahan bakar, Daya indikatif, Daya efektif, Konsumsi bahan bakar spesifik dan Efisiensi Termal Efektif (η_e)

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 :

$$T = F \cdot L \quad [\text{Kg.m}] \quad (2-1)$$

$$\text{atau} \quad T = \frac{Ne}{n} 716.2 \quad [\text{Kg.m}] \quad (2-2)$$

dengan :

N_e = daya efektif [PS]

n = putaran mesin [rpm]

T = torsi yang dihasilkan [Kg.m]

F = besarnya beban pengereman [Kg]

L = panjang lengan *dynamometer* = 0,358 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 :

$$N_{bb} = \frac{FC \cdot LHV_{bb}}{632} \text{ [PS]} \quad (2-3)$$

dengan :

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 menggerakkan torak dari TMA ke TMB yang akan menjadi langkah ekspansi. Daya indikasi dapat diketahui besarnya dengan menggunakan persamaan :

$$N_i = N_{bb} - \frac{(N_{Lgb} - N_{Lap})}{632} \text{ [PS]} \quad (2-4)$$

dengan :

N_{bb} = daya bahan bakar [PS]

$$N_{Lgb} = m_{gb} \cdot C_{pg} (T_{eg} - T_{ud}) \cdot 3600 \quad (2-5)$$

dengan:

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

m_{gb} = massa alir gas buang [kg/detik]

C_{pg} = panas jenis gas buang (0.285 kcal/kg⁰C)

T_{eg} = temperatur gas buang [°C]

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

$$m_{gb} = G_s + \frac{FC}{3600} \quad (2-6)$$

$$G_s = \frac{\alpha \cdot \epsilon \cdot \pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \gamma_a (p_1 - p_2)} \text{ [Kg/detik]} \quad (2-7)$$

dengan:

G_s = Masa alir udara lewat nosel ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$)

α = koefisien aliran fluida yang melewati nozzle = 0,822

ε = Koefisien untuk fluida inkompresibel menjadi kompresibel,

$$\text{dari tabel} = \frac{P_1 - P_2}{P_1}$$

d = Diameter nosel (0.048 m)

g = $9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

$P_1 - P_2$ = Perbedaan tekanan disekitar nosel ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)

γ_a = berat jenis udara pada kondisi temperatur ruangan θ °C ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) pada saat pengujian

$$\gamma_a = \gamma_N \frac{p_a - \varphi \cdot p_s}{760} \cdot \frac{273}{273 + \theta} + \varphi \cdot \gamma_w \quad (2-8)$$

dengan :

γ_N = berat spesifik udara kering pada temperatur θ °C, dan tekanan absolute 760 mmHg ($1,293 \text{ Kg}/\text{m}^3$)

φ = *Relative Humidity* [%]

p_s = Tekanan uap air pada temperatur θ °C (mmHg)

γ_w = Berat jenis air pada temperatur tertentu [kg/m^3]

θ = Temperatur bola kering [°C]

$$N_{Lap} = W_w \cdot C_{p_w} \cdot (T_{w_o} - T_{w_i}) \rho_{air} \quad (2-9)$$

dengan :

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

W_w = massa alir air pendingin [lt/jam]

C_{p_w} = panas jenis air [$1 \text{ kkal}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$]

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

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

ρ_{air} = massa jenis air (1 kg/ lt)

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:

$$N_e = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716.2} \quad [\text{PS}] \quad (2-10)$$

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 (SFC_e)

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif adalah banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif sebesar 1 HP 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 :

$$F_c = \frac{b}{t} \cdot \gamma_f \cdot \frac{3600}{1000} \quad [\text{kg /jam}] \quad (2-11)$$

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:

$$SFCe = \frac{F_c}{N_e} \text{ [Kg / PS. jam]} \quad (2-12)$$

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 :

$$\eta_e = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFCe \cdot LHV_{bb}} \text{ [%]} \quad (2-13)$$

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]

2.8 Hipotesis

Dari uraian yang ada dapat diambil suatu hipotesis yaitu pemasangan *swirling grid* pada *intake manifold* dengan variasi sudut lubang *swirling grid* yang semakin besar akan semakin meningkatkan intensitas turbulensi aliran campuran bahan bakar dan udara yang melewatinya sehingga campuran tersebut akan lebih homogen. Campuran yang semakin homogen akan mengakibatkan proses pembakaran yang lebih sempurna dan akhirnya meningkatkan kinerja dari motor Otto empat langkah.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian experimental semu dimana mesin diuji dalam kondisi tidak berpindah tempat. Hal ini dipergunakan untuk mengetahui pengaruh variasi putaran mesin dan pengaruh pemasangan *swirling grid* dengan berbagai variasi sudut lubangnya pada *intake manifold* terhadap karakteristik kinerja motor bensin empat langkah empat silinder.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini ada dua macam yaitu :

1. Variabel bebas

yaitu variabel yang bebas ditentukan nilainya. Variabel ini meliputi:

- Putaran poros motor Otto 1300, 1800, 2300, 2800 dan 3300 rpm.
- Sudut lubang *swirling grid* (α) yaitu 15° , 20° dan 25° .

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Penelitian ini memiliki variabel terikat yang meliputi torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi thermal efektif dan emisi gas CO.

3. Variabel kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang ditetapkan (dikonstankan), yaitu :

- Posisi peletakan grid pada instalasi pengujian.
- Diameter lubang grid adalah 6 mm dan ketebalan 10 mm.
- Letak lubang grid.
- Buka *throttle* yang digunakan 34 %.

3.3 Alat- alat yang digunakan

3.3.1 Alat utama

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Motor bensin empat langkah dengan spesifikasi sebagai berikut:

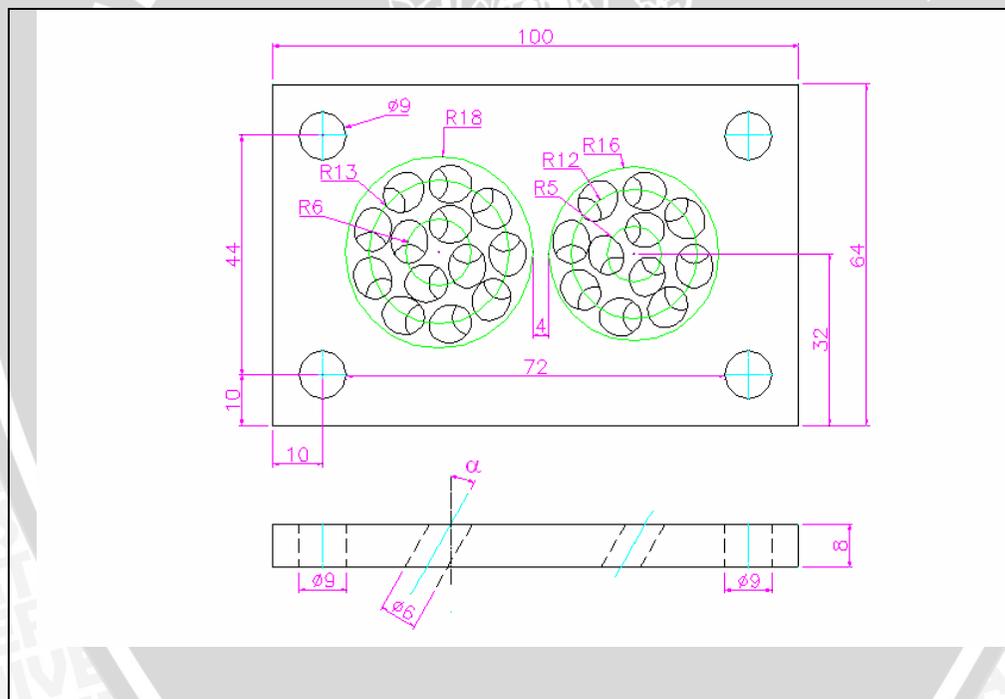
- Siklus : 4 Langkah
- Jumlah silinder : 4 buah
- Volume langkah torak total : 1567 cm^3
- Diameter silinder : 78 mm

- Panjang langkah torak : 82 mm
- Perbandingan kompresi : 9 : 1
- Pendingin : Air
- Daya poros : 80 BHP / 5000 RPM
- Model : GWE – 80 – 100 – HS – Av
- Negara pembuat : Jepang

2. Benda uji (*swirling grid*)

Merupakan spesimen uji yang dipasang pada ujung *intake manifold* setelah karburator.

Berikut adalah gambar *swirling grid* pada susunan peralatan uji dan gambar spesimen *swirling grid*:

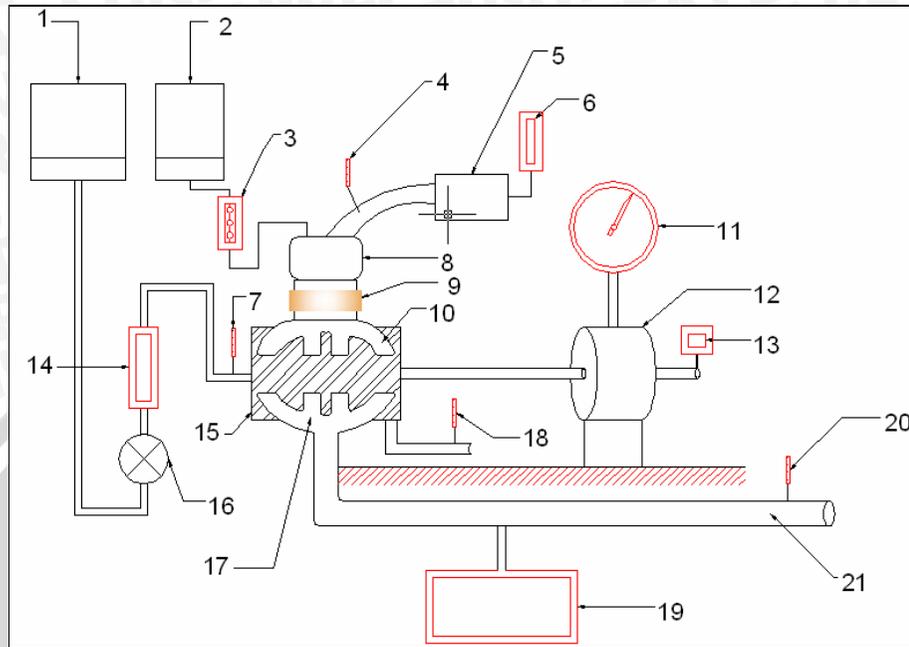


Gambar 3.1 *Swirling Grid*

Penelitian ini menggunakan empat macam *swirling grid* dengan variasi sudut lubang *swirling grid* (α), yaitu: $\alpha_1=15^\circ$, $\alpha_2=20^\circ$, dan $\alpha_3=25^\circ$.

3.3.2 Instalasi Utama

Instalasi dan alat yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Susunan peralatan uji

Keterangan gambar :

1. Tangki air
2. Tangki bahan bakar
3. Tabung pengukur bahan bakar
4. Indikator temperatur udara
5. Filter udara
6. Manometer
7. Indikator temperatur air pendingin masuk
8. Karburator
9. *Swirling Grid*
10. *Intake manifold*
11. *Dynamometer*
12. *Prony brake*
13. *Tachometer*
14. *Water flow meter*
15. *Engine*
16. Katup pipa air pendingin
17. *Exhaust manifold*

18. Indikator temperatur air pendingin keluar
19. *Gas analyzer*
20. Indikator temperatur gas buang
21. Knalpot

3.3.3 Peralatan Bantu

1. Tabung Pengukur Bahan Bakar
Digunakan untuk mengukur volume bahan bakar yang dipakai selama pengujian.
2. *Tachometer*
Digunakan untuk mengukur kecepatan putaran poros mesin. Satuan yang digunakan adalah rpm (*rotation per minute*).
4. Dinamometer
Digunakan untuk mengukur gaya pengereman pada poros *output*.
5. *Stop watch*
Digunakan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan motor bensin untuk menghabiskan bahan bakar dengan volume tertentu.
6. Barometer
Digunakan untuk mengukur tekanan udara ruangan selama penelitian berlangsung.
7. Termometer
Digunakan untuk mengukur temperatur ruangan selama penelitian.
8. *Aerometer*
Digunakan untuk mengukur massa jenis bahan bakar yang digunakan untuk pengujian (bensin).

3.4 Tempat Penelitian

Penelitian tentang pemasangan *swirling grid* terhadap karakteristik kinerja motor bensin empat langkah ini dilakukan di laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Penyusunan Alat Penelitian

Sebelum penelitian dilaksanakan dilakukan persiapan penyusunan alat-alat penelitian. Mempersiapkan instalasi utama (gambar 3.1) yang dirangkai menjadi satu kesatuan. Kemudian dilakukan persiapan peralatan pengujian serta penyetingan mesin dalam kondisi baik.

3.5.2 Prosedur Penelitian

Langkah- langkah yang dilakukan untuk setiap pengujian adalah sebagai berikut:

1. Proses pengambilan data dengan tahapan:

▪ Tahap pertama:

Pengambilan data dilakukan pada peralatan utama yang telah dilengkapi dengan peralatan bantu tanpa dipasang *swirling grid* pada *intake manifold*. Pengambilan data dimulai dari putaran 1300 rpm sampai dengan 3300 rpm dengan interval kenaikan sebesar 500 rpm dengan bukaan *throttle* 34 %. Untuk memperoleh data yang lebih teliti dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali untuk setiap putaran.

▪ Tahap kedua:

Analog dengan tahap pertama, akan tetapi dipasang *swirling grid* pada *intake manifold* ke ruang bakar mulai dari *swirling grid* dengan sudut lubang 15⁰C, 20⁰C, dan 25⁰C.

2. Data yang dicatat meliputi:

- ❖ Besarnya putaran (rpm)
- ❖ Gaya pengereman (kg)
- ❖ Konsumsi bahan bakar (lt/jam)
- ❖ Temperatur air pendingin masuk mesin (°C)
- ❖ Temperatur air pendingin keluar mesin (°C)
- ❖ Temperatur udara masuk karburator (°C)
- ❖ Temperatur gas buang (°C)
- ❖ Perbedaan tekanan antara tekanan udara luar dengan tekanan udara masuk karburator (mmH₂O)
- ❖ Debit air pendingin masuk mesin (lt/jam)

3.6 Analisis Statistika

Untuk mengolah data yang telah diperoleh dipergunakan analisis varian dua arah. Dengan analisis varian dua arah akan diketahui ada tidaknya pengaruh dari variasi putaran poros motor Otto dan pengaruh variasi sudut lubang *swirling grid* pada *intake manifold* serta pengaruh interaksi keduanya terhadap konsumsi bahan bakar spesifik efektif, torsi, daya efektif, dan efisiensi termal efektif.

Putaran poros motor Otto mempunyai level A₁, A₂,.....,A_r dan variasi sudut lubang *swirling grid* mempunyai level B₁, B₂,.....,B_c. Jumlah pengamatan tiap sel adalah t kali dari rancangan dua kategori A dan B serta masing-masing kategori terdiri atas r dan c level. Bila pengaruh interaksi antar putaran poros motor Otto pada level ke i dan

pengaruh sudut lubang *swirling grid* pada level ke j dinyatakan dengan $(\alpha\beta)_{ij}$. Maka nilai setiap pengamatan ditulis dengan model matematika sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dengan :

Y_{ijk} : nilai setiap pengamatan

μ : nilai rata-rata dari seluruh pengamatan

α_i : pengaruh putaran poros motor Otto ke i

β_j : pengaruh sudut lubang *swirling grid* ke j

$(\alpha\beta)_{ij}$: pengaruh interaksi putaran poros motor Otto ke i dan sudut lubang *swirling grid* ke j

ε_{ijk} : simpangan pengamatan

Yang akan kita uji dari pengamatan ini adalah:

1. α : pengaruh (efek) dari putaran poros motor Otto
2. β : pengaruh (efek) dari sudut lubang *swirling grid*
3. $\alpha\beta$: pengaruh interaksi dari putaran poros motor Otto dan sudut lubang *swirling grid*

Adapun hipotesis yang dipergunakan adalah sebagai berikut:

I $H_0^1 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i$ (tidak ada pengaruh variasi putaran mesin terhadap konsumsi bahan bakar spesifik efektif, torsi, daya bahan bakar, daya indikasi, daya efektif, emisi gas CO, dan efisiensi termal efektif).

H_1^1 : paling sedikit satu $\alpha_i \neq 0$ (ada pengaruh variasi putaran mesin terhadap konsumsi bahan bakar spesifik efektif, torsi, daya bahan bakar, daya indikasi, daya efektif, emisi gas CO, dan efisiensi termal efektif).

II $H_0^2 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j$ (tidak ada pengaruh variasi sudut lubang pada *swirling grid* yang dipasang pada *intake manifold* ke ruang bakar terhadap konsumsi bahan bakar spesifik efektif, torsi, daya bahan bakar, daya indikasi, daya efektif, emisi gas CO, dan efisiensi termal efektif).

H_1^2 : paling sedikit satu $\beta_j \neq 0$ (ada pengaruh variasi sudut lubang pada *swirling grid* yang dipasang pada *intake manifold* ke ruang bakar terhadap konsumsi bahan bakar spesifik efektif, torsi, daya bahan bakar, daya indikasi, daya efektif, emisi gas CO, dan efisiensi termal efektif).

III H_0^3 : $(\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij}$ (tidak ada pengaruh variasi putaran mesin dan variasi sudut lubang pada *swirling grid* yang dipasangi pada *intake manifold* ke ruang bakar terhadap konsumsi bahan bakar spesifik efektif, torsi, daya bahan bakar, daya indikasi, daya efektif, emisi gas CO, dan efisiensi termal efektif).

H_1^3 : paling sedikit satu $(\alpha\beta) \neq 0$ (ada pengaruh variasi putaran mesin dan variasi sudut lubang pada *swirling grid* yang dipasang pada *intake manifold* ke ruang bakar terhadap konsumsi bahan bakar spesifik efektif, torsi, daya bahan bakar, daya indikasi, daya efektif, emisi gas CO, dan efisiensi termal efektif).

Tabel 3.1. Rancangan pengamatan model dua arah dengan pengulangan.

Faktor		VARIASI SUDUT				Σ Baris	Rata-rata		
		B ₁	...	B _j	...			B _c	
P U T A R A N	A ₁	X ₁₁₁		X _{1j1}		X _{1c1}	T _{1..}	X̄ _{1..}	
		X ₁₁₂		X _{1j2}		X _{1c2}			
				
		X _{11t}		X _{1jt}		X _{1ct}			
			T _{11.}		T _{1j.}		T _{1c.}		
	A _i	X _{i11}		X _{ij1}		X _{ic1}	T _{i..}	X̄ _{i..}	
		X _{i12}		X _{ij2}		X _{ic2}			
				
		X _{i1t}		X _{ijt}		X _{ict}			
			T _{i1.}		T _{ij.}		T _{ic.}		
	A _r	X _{r11}		X _{rj1}		X _{rc1}	T _{r..}	X̄ _{r..}	
		X _{r12}		X _{rj2}		X _{rc2}			
...						
X _{r1t}			X _{rjt}		X _{rc t}				
		T _{r1.}		T _{rj.}		T _{rc.}			
Σ kolom		T _{.1.}		T _{.j.}		T _{.c.}	T _{...}		
Rata-rata		X̄ _{.1.}		X̄ _{.j.}		X̄ _{.c.}		X̄ _{...}	

Sumber : Wahyudi, S, 2006: 96

Didalam perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut ini:

1. Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t X_{ijk}^2 - \frac{(T_{...})^2}{rct}$$

2. Jumlah kuadrat putaran poros motor (JKA)

$$JKA = \frac{\sum_{i=1}^r T_{i..}^2}{ct} - \frac{(T_{...})^2}{rct}$$

- Jumlah kuadrat sudut lubang *swirling grid* (JKB)

$$JKB = \frac{\sum_{j=1}^c T_{.j}^2}{rt} - \frac{(T_{...})^2}{rct}$$

- Jumlah pengaruh interaksi perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij}^2}{t} - \frac{(T_{...})^2}{rct} \rightarrow JKAB = JKP - JKA - JKB$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP = JKT - JKA - JKB$$

Apabila masing-masing suku dibagi dengan derajat bebasnya, akan diperoleh nilai varian dari masing-masing suku tersebut. Nilai ini sering disebut dengan kuadrat tengah yang disingkat KT. Nilai varian tersebut adalah:

- Kuadrat tengah putaran poros motor (KTA)

$$KTA = \frac{JKA}{(r-1)}$$

- Kuadrat tengah sudut lubang *swirling grid* (KTB)

$$KTB = \frac{JKB}{(c-1)}$$

- Kuadrat tengah interaksi putaran poros dan sudut *swirling grid* (KTAB)

$$KTAB = \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)}$$

- Kuadrat tengah galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{rc(t-1)}$$

Untuk menguji ketiga hipotesis diatas kita mencari harga F_{hitung} masing-masing sumber keragaman (putaran poros motor, sudut *swirling grid* dan interaksi putaran poros motor dan sudut *swirling grid*) kemudian hasilnya dibandingkan dengan F_{tabel} pada derajat bebas yang sesuai dengan nilai α tertentu. Nilai F_{hitung} dari masing-masing sumber keragaman adalah sebagai berikut:

- F_{hitung} dari putaran

$$F_1 = \frac{KTA}{KTG}$$

2. F_{hitung} dari variasi sudut

$$F_2 = \frac{KTB}{KTG}$$

3. F_{hitung} dari interaksi putaran dan variasi sudut

$$F_3 = \frac{KTAB}{KTG}$$

Tabel 3.2. Analisis varian

Sumber Varian	JK	Db	KT	F_{hitung}	F_α
Antar Putaran	JKA	$db_1=r - 1$	KTA	F_1	
Antar Sudut	JKB	$db_2=c - 1$	KTB	F_2	
Interaksi Putaran dan sudut	JKAB	$db_3=db_1.db_2$	KTAB	F_3	
Galat	JKG	$db_4=rc(t - 1)$	KTG		
Total	JKT	$rct - 1$			

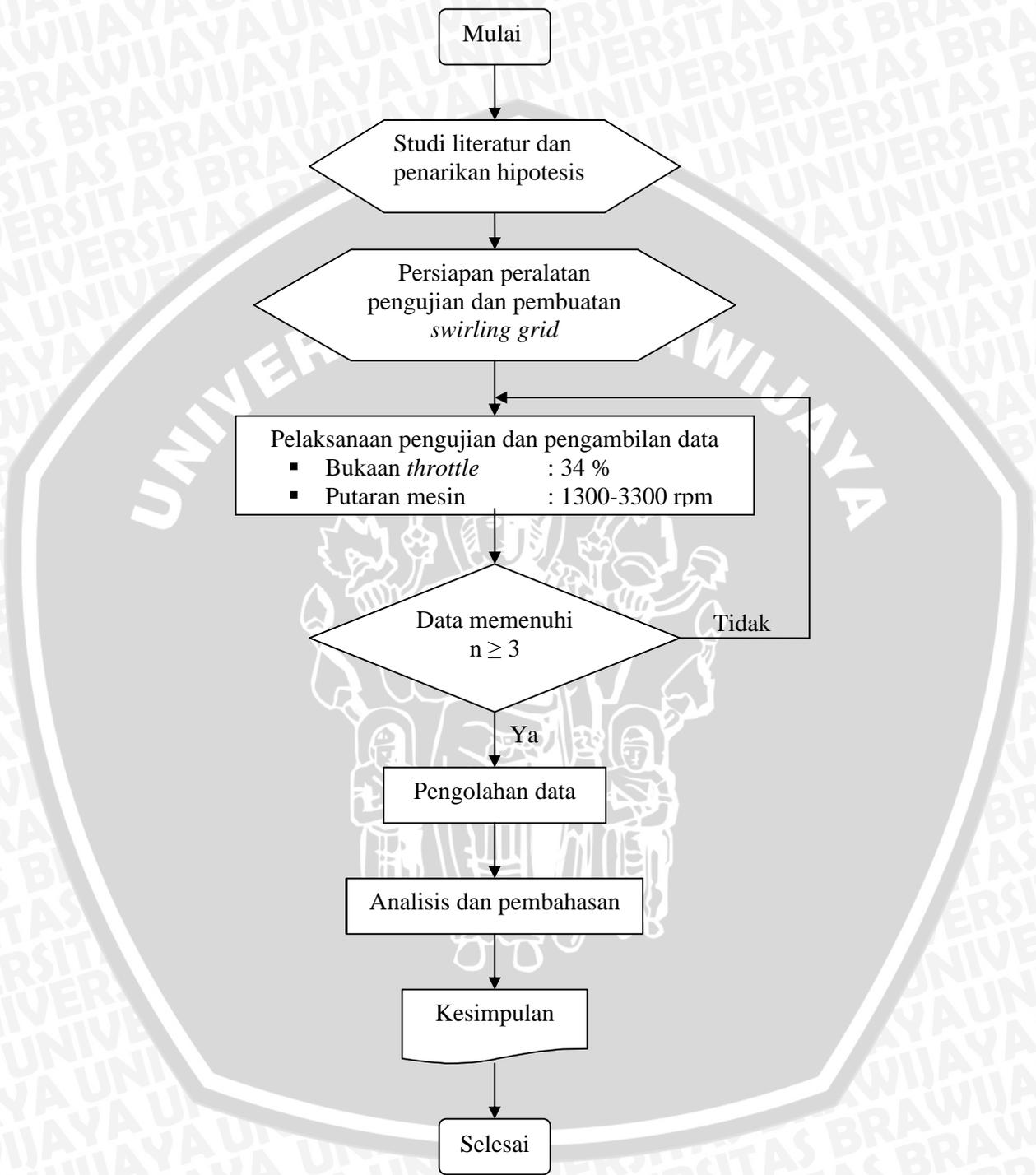
Sumber : Wahyudi, S, 2006: 98

Kesimpulan yang diperoleh:

1. Bila $FA_{hitung} > FA_{tabel}$, maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima, ini menyatakan bahwa variasi putaran poros mesin berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar spesifik efektif, torsi, daya bahan bakar, daya indikasi, daya efektif, emisi gas CO, dan efisiensi termal efektif.
2. Bila $FB_{hitung} > FB_{tabel}$, maka H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima, ini menyatakan bahwa variasi sudut lubang pada *swirling grid* yang dipasang pada *intake manifold* berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar spesifik efektif, torsi, daya bahan bakar, daya indikasi, daya efektif, emisi gas CO, dan efisiensi termal efektif.

Bila $FAB_{hitung} > FAB_{tabel}$, maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima, ini menyatakan bahwa variasi putaran poros mesin dan variasi sudut lubang pada *swirling grid* yang dipasang pada *intake manifold* berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar spesifik efektif, torsi, daya bahan bakar, daya indikasi, daya efektif, emisi gas CO, dan efisiensi termal efektif.

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram alir pelaksanaan penelitian

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian

Data yang diperoleh selama pengujian adalah sebagai berikut :

1. Pengujian : Variasi putaran
2. Bukaannya *Throttle* : 34 %
3. Temperatur bola kering : 28 °C
4. Temperatur bola basah : 23 °C
5. Kelembaban relatif (ϕ) : 59 %
6. Tekanan udara (P_1) : 715 mmHg
7. Volume bahan bakar (b) : 30 ml
8. LHV bahan bakar : 9596.4 kkal.kg⁻¹

Tabel 4.1 Data hasil pengujian terhadap motor Otto empat langkah standar.

No	putaran	F	t	P ₁ -P ₂	Ww	Twi	Two	Tud	Teg	V _{Co}
	(rpm)	(kg)	(s)	(mmH ₂ O)	(lt/jam)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(%)
1	1300	20.75	22.67	3.7	420	30	51	33	480	0.971
		20.75	22.61	3.7	440	30	52	33	480	1.016
		20.75	23.10	3.7	440	30	53	33	485	0.892
2	1800	18.25	20.52	5.2	460	30	53	33	510	0.312
		18.25	20.99	5.2	460	30	53	33	514	0.332
		18.25	20.70	5.2	440	30	54	33	520	0.281
3	2300	15.00	18.88	6.4	400	30	56	33	550	0.369
		15.00	18.60	6.4	420	30	56	33	550	0.413
		15.00	18.36	6.3	420	30	57	33	557	0.370
4	2800	11.25	17.06	7.2	440	30	58	33	580	0.458
		11.25	17.23	7.2	400	30	59	33	580	0.487
		11.25	17.16	7.2	420	30	58	33	584	0.458
5	3300	8.75	16.32	7.9	480	30	60	33	605	0.607
		8.75	16.34	7.8	460	30	63	33	610	0.586
		8.75	16.31	7.8	480	30	62	33	610	0.588

Tabel 4.2. Data hasil pengujian terhadap motor Otto empat langkah dengan pemasangan *swirling grid* dengan sudut lubang 15⁰

No	putaran	F	t	P ₁ -P ₂	Ww	Tw _i	Two	Tud	Teg	V _{CO}
	(rpm)	(kg)	(s)	(mmH ₂ O)	(lt/jam)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(%)
1	1300	20.00	24.09	3.5	440	30	49	33	470	1.082
		20.00	24.30	3.5	420	30	50	33	475	1.010
		20.00	24.28	3.5	440	30	50	33	480	1.043
2	1800	17.25	21.21	5.0	460	30	52	33	500	0.648
		17.25	21.36	5.0	440	30	52	33	500	0.651
		17.25	21.35	5.0	440	30	53	33	510	0.628
3	2300	14.00	19.26	5.8	480	30	53	33	540	0.673
		14.00	19.23	5.8	460	30	54	33	540	0.580
		14.00	19.36	5.8	440	30	56	33	540	0.599
4	2800	10.25	18.20	6.2	460	30	55	33	580	0.633
		10.25	18.47	6.2	440	30	57	33	578	0.597
		10.25	18.14	6.2	460	30	56	33	580	0.611
5	3300	7.75	17.38	6.9	500	30	58	33	610	0.817
		7.75	17.36	6.9	520	30	59	33	610	0.820
		7.75	17.71	6.9	480	30	58	33	607	0.812

Tabel 4.3. Data hasil pengujian terhadap motor Otto empat langkah dengan pemasangan *swirling grid* dengan sudut lubang 20⁰

No	putaran	F	t	P ₁ -P ₂	Ww	Tw _i	Two	Tud	Teg	V _{CO}
	(rpm)	(kg)	(s)	(mmH ₂ O)	(lt/jam)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(%)
1	1300	21.00	24.00	3.7	400	29	49	33	480	0.657
		21.00	23.97	3.7	420	29	50	33	482	0.786
		21.00	23.86	3.8	400	29	51	33	480	0.831
2	1800	19.00	20.89	5.5	420	29	51	33.5	525	0.172
		19.00	20.71	5.5	400	29	53	33	530	0.169
		19.00	21.12	5.5	440	29	52	33	530	0.176
3	2300	15.75	18.24	6.9	460	29	52	33	560	0.344
		15.75	18.22	6.9	420	29	55	33	560	0.340
		15.75	18.11	7.0	440	29	55	33	560	0.345
4	2800	11.25	17.61	7.4	420	28	56	34	585	0.440
		11.25	17.59	7.4	400	28	55	34	580	0.442
		11.25	17.65	7.4	420	28	55	34	580	0.430
5	3300	8.50	16.45	8.0	480	30	60	34	600	0.656
		8.50	16.32	8.0	520	30	59	34	600	0.660
		8.50	16.33	8.0	500	30	60	34	600	0.657

Tabel 4.4. Data hasil pengujian terhadap motor Otto empat langkah dengan pemasangan *swirling grid* dengan sudut lubang 25° .

No	putaran (rpm)	F (kg)	t (s)	P_1-P_2 (mmH ₂ O)	Ww (lt/jam)	Twi (°C)	Two (°C)	Tud (°C)	Teg (°C)	V_{CO} (%)
1	1300	20.75	23.71	3.5	380	30	52	33	495	0.924
		20.75	23.94	3.6	400	30	51	33	495	0.922
		20.75	23.88	3.6	380	30	53	33	500	0.906
2	1800	18.50	20.94	5.0	400	30	54	34	520	0.215
		18.50	21.01	5.0	420	30	54	34	520	0.220
		18.50	20.82	5.0	420	30	54	34	520	0.279
3	2300	15.50	18.63	6.1	400	30	55	33.5	560	0.375
		15.50	18.87	6.1	400	30	56	33.5	560	0.363
		15.50	18.94	6.1	420	30	57	33	560	0.371
4	2800	11.00	17.61	7.0	460	30	58	34	580	0.443
		11.00	17.49	7.0	440	30	57	34	580	0.428
		11.00	17.75	7.0	460	30	58	34	580	0.448
5	3300	8.50	16.60	7.5	500	30	59	34	600	0.594
		8.50	16.69	7.5	520	30	59	34	600	0.594
		8.50	16.56	7.5	500	30	60	34	600	0.597

4.1.2 Perhitungan Data

Dari hasil pengujian dapat dilakukan pengolahan data. Sebagai contoh perhitungan diambil data dari pengujian tanpa pemasangan *swirling grid* pada *intake manifold* terhadap torsi, daya efektif, daya bahan bakar, daya indikasi, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif dan emisi gas CO pada motor Otto empat langkah. Adapun data yang diambil adalah sebagai berikut:

1. Putaran mesin (n) = 1300 rpm
2. Besar beban pengereman (F) = 21 kg
3. Panjang lengan *dynamometer* (L) = 0.358 m
4. Waktu konsumsi bahan bakar (t) = 24.00 detik
5. Debit air pendinginan (Ww) = 400 lt/jam
6. Temperatur air pendinginan masuk (Twi) = 29 °C
7. Temperatur air pendinginan keluar (Two) = 49 °C
8. Temperatur udara masuk (Tud) = 33 °C
9. Temperatur gas buang (Teg) = 480 °C
10. Massa jenis bahan bakar (γ_f) = 0.722 kg.liter⁻¹
11. Nilai kalor rendah bahan bakar (LHV) = 9596.4 kkal.kg⁻¹

Dari hasil data pengujian motor bakar empat langkah pada table 4.1 didapatkan nilai dari:

1. Torsi (T)

$$\begin{aligned} T &= F.L \\ &= 21 \cdot 0,358 \\ &= 7.518 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

2. Daya efektif (N_e)

$$\begin{aligned} N_e &= \frac{T.n}{716.2} \\ &= \frac{7,518 \cdot 1300}{716,2} \\ &= 13,646 \text{ PS} \end{aligned}$$

3. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFC_e)

$$\begin{aligned} F_c &= \frac{b}{t} \cdot \gamma_f \cdot \frac{3600}{1000} \\ &= \frac{30}{24.00} \cdot 0,722 \cdot \frac{3600}{1000} \\ &= 3,488 \text{ kg.jam}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SFC_e &= \frac{F_c}{N_e} \\ &= \frac{3,488}{13,646} \\ &= 0,256 \text{ kg.PS}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1} \end{aligned}$$

4. Daya Bahan Bakar (N_{bb})

$$\begin{aligned} N_{bb} &= \frac{F_c \cdot LHV_{bb}}{632} \\ &= \frac{3,488 \cdot 9596,4}{632} \\ &= 52,955 \text{ PS} \end{aligned}$$

5. Aliran udara melalui nosel (G_s)

Untuk mengetahui massa alir udara yang masuk ke dalam karburator digunakan persamaan sebagai berikut (*manual book: 9*):

$$G_s = \frac{\alpha \cdot \epsilon \cdot \pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \gamma_a \cdot (P_1 - P_2)}$$

$$\gamma_a = \gamma_N \cdot \frac{P_1 - \phi \cdot P_s}{760} \cdot \frac{273}{273 + TBK} + \phi \cdot \gamma_w$$

dengan:

$$G_s = \text{Masa alir udara lewat nosel (kg.s}^{-1}\text{)}$$

$$\alpha = \text{Koefisien aliran disekitar nosel (0.822)}$$

ε = Koefisien untuk fluida inkompresibel menjadi kompresibel,
dari tabel.

$$= \frac{P_1 - P_2}{P_1}$$

$$\pi = 3.14$$

$$d = \text{Diameter nosel (0.048 m)}$$

$$g = 9.81 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\gamma_a = \text{Berat spesifik udara pada kondisi temperatur ruangan } \theta \text{ } ^\circ\text{C (kg.m}^{-3}\text{)}$$

$$P_1 - P_2 = \text{Perbedaan tekanan disekitar nosel (kg.m}^{-2}\text{)}$$

$$\gamma_N = \text{Berat spesifik udara pada temperatur } \theta \text{ } ^\circ\text{C dan 1 atm (1.293 kg.m}^{-3}\text{)}$$

$$P_1 = \text{Tekanan statis absolut pada masuk nosel (mmHg)}$$

$$\gamma_w = \text{Berat spesifik uap air pada temperatur } \theta \text{ } ^\circ\text{C (kg.m}^{-3}\text{)}$$

$$P_s = \text{Tekanan uap air pada temperatur } \theta \text{ } ^\circ\text{C (mmHg)}$$

$$P_a = \text{Tekanan atmosfer selama pengujian (mmHg)}$$

$$\begin{aligned} \gamma_a &= \gamma_N \cdot \frac{P_1 - \varphi \cdot P_s}{760} \cdot \frac{273}{273 + TBK} + \varphi \cdot \gamma_w \\ &= 1,293 \cdot \frac{715 - (0,57 \cdot 30,63)}{760} \cdot \frac{273}{273 + 28} + 0,57 \cdot 0,02931 \\ &= 1,094046 \text{ kg.m}^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_s &= \frac{\alpha \cdot \varepsilon \cdot \pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \gamma_a \cdot (P_1 - P_2)} \\ &= \frac{0,822 \cdot 0,999873 \cdot 3,14 \cdot 0,048^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,094046 \cdot (3,7)} \\ &= 0,013286 \text{ kg . detik}^{-1} \end{aligned}$$

6. Kapasitas Aliran Gas Buang (Gg)

Untuk mengetahui massa alir gas buang digunakan persamaan sebagai berikut (*manual book*: 12):

$$\begin{aligned} G_g &= G_s + \frac{F_c}{3600} \\ &= 0,013286 + \frac{3,488}{3600} \\ &= 0,0143118 \text{ kg . detik}^{-1} \end{aligned}$$

7. Daya Indikasi (N_i)

$$\begin{aligned} N_{Lgb} &= G_g \cdot C_{pg} \cdot (T_{eg} - T_{ud}) \cdot 3600 \\ &= 0,0143118 \cdot 0,285 \cdot (480 - 33) \cdot 3600 \\ &= 6523,065 \text{ kkal} \cdot \text{jam}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{Lap} &= W_w \cdot C_{pw} \cdot (T_{w_o} - T_{w_i}) \cdot \rho_{air} \\ &= 400 \cdot 1 \cdot (49 - 29) \cdot 1 \\ &= 8000 \text{ kkal} \cdot \text{jam}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_i &= N_{bb} - \frac{(N_{Lgb} + N_{Lap})}{632} \\ &= 56,062 - \frac{6523,065 + 8000}{632} \\ &= 29,975 \text{ PS} \end{aligned}$$

8. Efisiensi termal efektif (η_{te})

$$\begin{aligned} \eta_e &= \frac{632}{\text{SFCE} \cdot \text{LHV}_{bb}} \\ &= \frac{632}{0,256 \cdot 9596,4} \cdot 100\% \\ &= 24,052\% \end{aligned}$$

Analog dengan data yang pertama, maka diperoleh nilai dari torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, daya bahan bakar, daya indikasi, efisiensi termal efektif dan emisi gas CO dari masing-masing data yang lain. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat dalam lampiran 1.

4.1.3 Analisis varian

Data-data yang diperoleh dari hasil perhitungan dianalisis dengan menggunakan analisa varian dua arah. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan atau pengaruh putaran poros mesin, dan pemasangan *swirling grid* serta interaksi antara keduanya terhadap unjuk kerja motor Otto empat langkah.

Hipotesis yang digunakan dalam analisis statistik ini adalah:

I $H_0^1 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i$ (tidak ada pengaruh variasi putaran poros terhadap unjuk kerja motor Otto empat langkah)

H_1^1 : paling sedikit satu $\alpha_1 \neq 0$ (ada pengaruh variasi putaran poros terhadap unjuk kerja motor Otto empat langkah)

II $H_0^2: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j$ (tidak ada pengaruh variasi sudut lubang *swirling grid* pada *intake manifold* terhadap unjuk kerja motor Otto empat langkah)

H_1^2 : paling sedikit satu $\beta_j \neq 0$ (ada pengaruh variasi sudut lubang *swirling grid* pada *intake manifold* terhadap unjuk kerja motor Otto empat langkah)

III $H_0^3: (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij}$ (tidak ada pengaruh variasi putaran poros dan variasi sudut lubang *swirling grid* pada *intake manifold* terhadap unjuk kerja motor Otto empat langkah)

H_1^3 : paling sedikit satu $(\alpha\beta) \neq 0$ (ada pengaruh variasi putaran poros dan variasi sudut lubang *swirling grid* pada *intake manifold* terhadap unjuk kerja motor Otto empat langkah)

4.1.3.1 Analisis varian untuk torsi yang dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh putaran poros, variasi sudut *swirling grid* dan interaksi antara keduanya terhadap torsi yang dihasilkan motor Otto empat langkah empat silinder. Dari perhitungan statistik didapatkan analisis varian untuk torsi yang ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4.5. Analisis varian dua arah untuk torsi

Sumber keragaman	db	JK	KT	Fhitung	Ftabel
Tingkat putaran (A)	4	156.8559	39.21398	5.30236E+32	2.605975
Sudut <i>swirling grid</i> (B)	3	1.739826	0.579942	7.84175E+30	2.838745
Interaksi faktor A dan B	12	0.266741	0.022228	3.00564E+29	2.003459
Galat	40	2.96E-30	7.4E-32		
Total	59	158.8625			

Dari tabel diperoleh kesimpulan:

- $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$ maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima, ini berarti bahwa putaran poros berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan motor Otto empat langkah.
- $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$ H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima, ini berarti bahwa variasi sudut *swirling grid* berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan motor Otto empat langkah.
- $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$ maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima, ini berarti bahwa interaksi antara putaran poros dan variasi sudut *swirling grid* berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan motor Otto empat langkah.

Dari kesimpulan diatas terlihat bahwa putaran poros, variasi sudut *swirling grid*, dan interaksi antara putaran poros dan variasi sudut *swirling grid* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap torsi yang dihasilkan dengan tingkat keyakinan 95 %.

4.1.3.2 Analisis varian untuk daya efektif yang dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh putaran poros, variasi sudut *swirling grid* dan interaksi antara keduanya terhadap daya efektif yang dihasilkan motor Otto empat langkah empat silinder. Dari perhitungan statistik didapatkan analisis varian untuk daya efektif yang ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4.6. Analisis varian dua arah untuk daya efektif

Sumber keragaman	db	JK	KT	Fhitung	Ftabel
Tingkat putaran (A)	4	133.4237	33.35592	2.82E+31	2.605975
Sudut <i>swirling grid</i> (B)	3	16.9927	5.664234	4.79E+30	2.838745
Interaksi faktor A dan B	12	3.331607	0.277634	2.35E+29	2.003459
Galat	40	4.73E-29	1.18E-30		
Total	59	153.748			

Dari tabel diperoleh kesimpulan:

- $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$ maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima, ini berarti bahwa putaran poros berpengaruh terhadap daya efektif yang dihasilkan motor Otto empat langkah.
- $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$ H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima, ini berarti bahwa variasi sudut *swirling grid* berpengaruh terhadap daya efektif yang dihasilkan motor Otto empat langkah.
- $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$ maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima, ini berarti bahwa interaksi antara putaran poros dan variasi sudut *swirling grid* berpengaruh terhadap daya efektif yang dihasilkan motor Otto empat langkah.

Dari kesimpulan diatas terlihat bahwa putaran poros, variasi sudut *swirling grid*, dan interaksi antara putaran poros dan variasi sudut *swirling grid* mempunyai pengaruh nyata terhadap daya efektif yang dihasilkan dengan tingkat keyakinan sebesar 95 %.

4.1.3.3 Analisis varian untuk konsumsi bahan bakar spesifik efektif yang dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh putaran poros, variasi sudut *swirling grid* dan interaksi antara keduanya terhadap SFCe yang dihasilkan motor Otto empat langkah empat silinder. Dari perhitungan statistik didapatkan analisis varian untuk SFCe yang ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4.7. Analisis varian dua arah untuk SFCe

Sumber keragaman	db	JK	KT	Fhitung	Ftabel
Tingkat putaran (A)	4	0.11546	0.028865	6509.069	2.605975
Sudut <i>swirling grid</i> (B)	3	0.001883	0.000628	141.562	2.838745
Interaksi faktor A dan B	12	0.000923	7.69E-05	17.34816	2.003459
Galat	40	0.000177	4.43E-06		
Total	59	0.118444			

Dari tabel diperoleh kesimpulan:

- $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$ maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima, ini berarti bahwa putaran poros berpengaruh terhadap SFCE yang dihasilkan motor Otto empat langkah.
- $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$ H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima, ini berarti bahwa variasi sudut *swirling grid* berpengaruh terhadap SFCE yang dihasilkan motor Otto empat langkah.
- $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$ maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima, ini berarti bahwa interaksi antara putaran poros dan variasi sudut *swirling grid* berpengaruh terhadap SFCE yang dihasilkan motor Otto empat langkah.

Dari kesimpulan diatas terlihat bahwa putaran poros, variasi sudut *swirling grid*, dan interaksi antara putaran poros dan variasi sudut *swirling grid* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap SFCE yang dihasilkan dengan tingkat keyakinan 95 %.

4.1.3.4 Analisis varian untuk efisiensi termal efektif yang dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh putaran poros, variasi sudut *swirling grid* dan interaksi antara keduanya terhadap efisiensi termal efektif yang dihasilkan motor Otto empat langkah empat silinder. Dari perhitungan statistik didapatkan analisis varian untuk efisiensi termal efektif yang ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4.8. Analisis varian dua arah untuk efisiensi termal efektif

Sumber keragaman	db	JK	KT	Fhitung	Ftabel
Tingkat putaran (A)	4	634.3129	158.5782	4991.28	2.605975
Sudut <i>swirling grid</i> (B)	3	14.24497	4.748322	149.4543	2.838745
Interaksi faktor A dan B	12	7.102332	0.591861	18.62894	2.003459
Galat	40	1.270842	0.031771		
Total	59	656.9311			

Dari tabel diperoleh kesimpulan:

- $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$ maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima, ini berarti bahwa putaran poros berpengaruh terhadap efisiensi termal efektif yang dihasilkan motor Otto empat langkah.
- $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$ H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima, ini berarti bahwa variasi sudut *swirling grid* berpengaruh terhadap efisiensi termal efektif yang dihasilkan motor Otto empat langkah.
- $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$ maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima, ini berarti bahwa interaksi antara putaran poros dan variasi sudut *swirling grid* berpengaruh terhadap efisiensi termal efektif yang dihasilkan motor Otto empat langkah.

Dari kesimpulan diatas terlihat bahwa putaran poros, variasi sudut *swirling grid*, dan interaksi antara putaran poros dan variasi sudut *swirling grid* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap efisiensi termal efektif yang dihasilkan dengan tingkat keyakinan sebesar 95 %.

4.1.3.5 Analisis varian untuk emisi gas CO yang dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh putaran poros, variasi sudut *swirling grid* dan interaksi antara keduanya terhadap emisi gas CO yang dihasilkan motor Otto empat langkah empat silinder. Dari perhitungan statistik didapatkan analisis varian untuk emisi gas CO yang ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4.9. Analisis varian dua arah untuk emisi gas CO

Sumber keragaman	db	JK	KT	Fhitung	Ftabel
Tingkat putaran (A)	4	2.552084	0.638021	649.9916	2.605975
Sudut <i>swirling grid</i> (B)	3	0.669676	0.223225	227.4134	2.838745
Interaksi faktor A dan B	12	0.170766	0.01423	14.49746	2.003459
Galat	40	0.039263	0.000982		
Total	59	3.431788			

Dari tabel diperoleh kesimpulan:

- $F_{A \text{ hitung}} > F_{A \text{ tabel}}$ maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima, ini berarti bahwa putaran poros berpengaruh terhadap emisi gas CO yang dihasilkan motor Otto empat langkah.
- $F_{B \text{ hitung}} > F_{B \text{ tabel}}$ H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima, ini berarti bahwa variasi sudut *swirling grid* berpengaruh terhadap emisi gas CO yang dihasilkan motor Otto empat langkah.
- $F_{AB \text{ hitung}} > F_{AB \text{ tabel}}$ maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima, ini berarti bahwa interaksi antara putaran poros dan variasi sudut *swirling grid* berpengaruh terhadap emisi gas CO yang dihasilkan motor Otto empat langkah.

Dari kesimpulan diatas terlihat bahwa putaran poros, variasi sudut *swirling grid*, dan interaksi antara putaran poros dan variasi sudut *swirling grid* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap emisi gas CO yang dihasilkan dengan tingkat keyakinan sebesar 95%.

4.1.3.6 Kajian interaksi antara putaran dengan sudut *swirling grid*

Dalam suatu penelitian yang mempunyai dua faktor yang berbeda, data yang didapat adalah efek langsung dari pengaruh kedua faktor secara bersama-sama. Dalam arti data yang didapat dari penelitian merupakan interaksi dari kedua faktor tersebut pada tingkat kategori tertentu (Wahyudi,S, 2006). Pada penelitian ini data unjuk kerja motor otto yang didapat dari pengamatan dan perhitungan merupakan interaksi dari dua faktor yaitu putaran poros motor otto dengan sudut *swirling grid* .

Dalam analisis varian dua arah yang dilakukan diatas secara keseluruhan menunjukkan bahwa ada pengaruh interaksi antara putaran poros motor otto dengan sudut *swirling grid* terhadap unjuk kerja motor otto. Hal ini berarti faktor putaran poros motor dan faktor sudut *swirling grid* memberikan efek langsung terhadap unjukkerja motor otto secara bersama-sama.

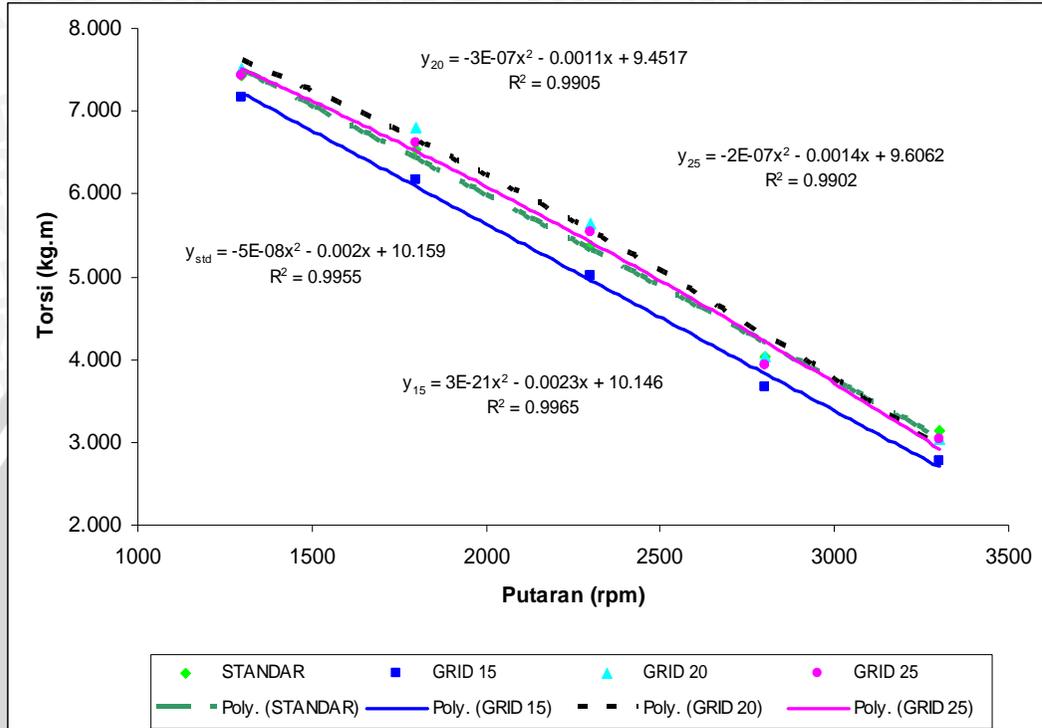
Berdasarkan hasil pengolahan data pengujian dengan variasi putaran dan variasi sudut *swirling grid* yang dilakukan , tidak dapat ditunjukkan interaksi antara putaran poros motor otto dengan sudut *swirling grid*. Hal ini dikarenakan pada penelitian ini putaran poros motor otto dan sudut *swirling grid* merupakan variabel bebas yang nilainya ditetapkan oleh peneliti. Oleh karena itu, nilai dari sudut *swirling grid* dan putaran poros motor otto tidak saling mempengaruhi satu sama lainnya.

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengolahan data pengujian dengan variasi putaran maka didapatkan parameter-parameter yang berhubungan dengan variasi putaran tersebut. Untuk mempermudah dalam menganalisis hasil pengolahan maka data tersebut digambarkan dalam bentuk grafik hubungan antara tingkat putaran dengan unjuk kerja motor Otto empat langkah yang meliputi torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif, dan emisi gas CO.

4.2.1 Hubungan antara Putaran dengan Torsi

Hubungan antara putaran motor Otto empat langkah dengan torsi, dengan variasi sudut *swirling grid* yang mempunyai variasi sudut lubang 15⁰, 20⁰ dan 25⁰ maupun standar dapat dilihat dalam gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1. Hubungan antara putaran dengan torsi

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa hubungan antara putaran motor Otto empat langkah dengan torsi membentuk sebuah kurva dimana dengan semakin tinggi nilai putaran poros motor Otto empat langkah maka torsi yang dihasilkan akan semakin menurun. Hal ini dikarenakan pada saat menaikkan putaran, beban pengereman yang dikenakan pada poros dikurangi sampai pada putaran yang dikehendaki. Sehingga 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 dalam suatu persamaan sebagai berikut:

$$T = F \times L$$

Dari persamaan di atas terlihat bahwa besarnya torsi berbanding lurus dengan besarnya beban pengereman yang dikenakan pada poros.

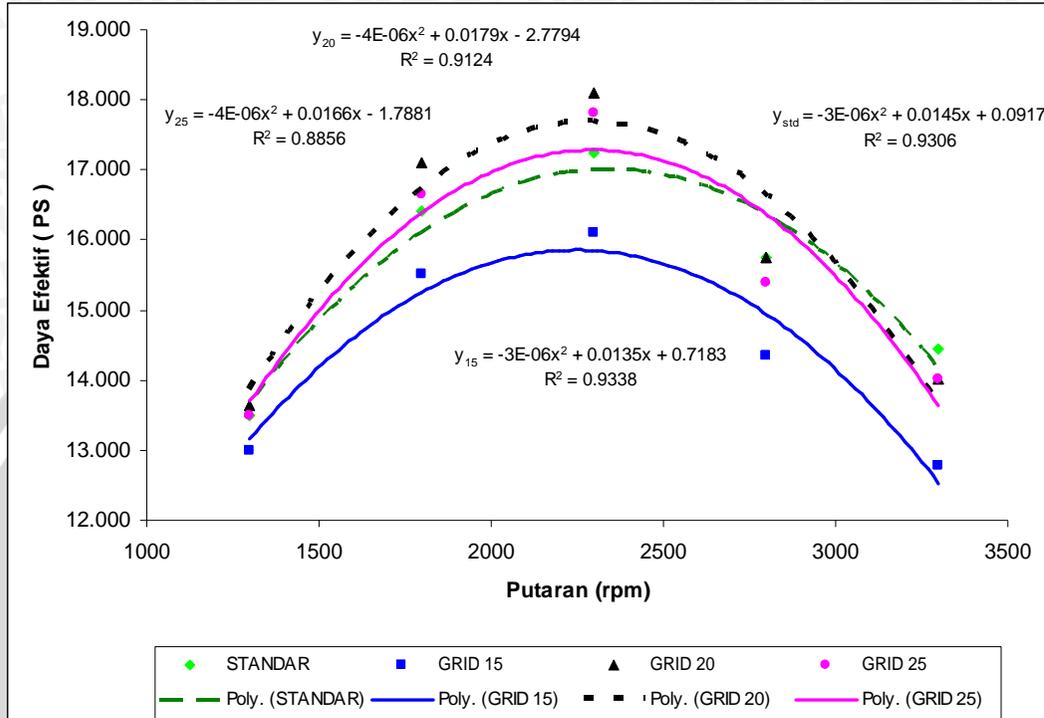
Selain dikarenakan hal tersebut di atas, penurunan nilai torsi juga dikarenakan oleh keadaan bahwa pada putaran poros yang lebih tinggi, gerakan bolak-balik piston tiap siklus akan lebih cepat, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk membuka dan

menutupnya katup isap akan semakin sedikit. Hal ini mengakibatkan semakin sedikitnya massa campuran udara dan bahan bakar yang masuk dan terbakar di dalam ruang bakar setiap satu kali siklus, yang berarti pengisian silinder tidak penuh dan mengakibatkan gaya dorong torak pada saat langkah kerja juga berkurang, sehingga torsi yang dihasilkan semakin menurun. Pada gerakan torak yang semakin cepat ini, maka kerugian mekanis akibat gesekan torak dengan dinding silinder semakin besar.

Pada grafik hubungan antara tingkat putaran dengan torsi diatas, pemasangan *swirling grid* bersudut 20° dan 25° pada *intake manifold* menghasilkan torsi yang lebih tinggi dari torsi standar, dan pada pemasangan *swirling grid* bersudut 15° menghasilkan torsi yang lebih rendah dari torsi standar. Hal ini berarti bahwa proses pencampuran udara dan bahan bakar pada pemasangan *swirling grid* bersudut 20° dan 25° lebih homogen daripada tanpa pemasangan *swirling grid*. Dengan semakin homogenya campuran tersebut maka bahan bakar yang terbakar akan semakin sempurna untuk terbakar sehingga torsi yang dihasilkan akan lebih besar dibandingkan dengan torsi standarnya. Pada pemasangan *swirling grid* bersudut 15° menghasilkan torsi yang lebih kecil dibandingkan torsi standar karena pada sudut lubang 15° intensitas pencampurannya kurang maksimal sehingga pada sudut lubang 15° hanya membuat aliran campuran udara dan bahan bakar mengalami penurunan tekanan pengisian silinder. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan terlihat bahwa nilai torsi yang paling besar terjadi pada pemasangan *swirling grid* bersudut 20° (7,518 kg.m) mulai putaran 1300 rpm-2800 rpm. Setelah putaran tersebut, nilai torsi terbesar dihasilkan pada tanpa pemasangan *swirling grid*. Nilai torsi tanpa pemasangan *swirling grid* berada dibawah grafik dengan pemasangan *swirling grid* bersudut 25° pada putaran 1300 rpm-2800 rpm, torsi terendah dihasilkan dari pemasangan *swirling grid* bersudut 15° (2,685 kg.m). Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa pemasangan *swirling grid* bersudut 20° menghasilkan torsi rata-rata terbesar dan merupakan sudut *swirling grid* yang paling efektif untuk memperoleh torsi yang besar.

4.2.2 Hubungan antara Putaran dengan Daya Efektif

Hubungan antara putaran motor Otto empat langkah dengan daya efektif, dengan pemasangan *swirling grid* yang mempunyai variasi sudut lubang 15°, 20° dan 25° maupun standar dapat dilihat dalam gambar 4.2 berikut:



Gambar 4.2. Hubungan antara putaran dengan daya efektif

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa hubungan antara putaran motor Otto empat langkah dengan daya efektif cenderung sama membentuk sebuah kurva parabolik membuka ke bawah, dimana dengan semakin meningkatnya putaran poros maka daya efektif (N_e) yang dihasilkan pada putaran awal mengalami kenaikan sampai pada putaran tertentu, kemudian grafik mengalami penurunan seiring dengan naiknya putaran. Daya efektif (N_e) berhubungan dengan harga torsi (T) yang dihasilkan dan putaran poros mesin (n) sesuai persamaan berikut:

$$N_e = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716.2}$$

Pada grafik dapat dilihat bahwa peningkatan daya efektif terjadi hanya sampai pada putaran tertentu, hal ini dikarenakan dengan putaran yang semakin meningkat maka gerakan bolak-balik piston tiap siklus akan lebih cepat, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk membuka dan menutupnya katup isap akan semakin sedikit. Hal ini mengakibatkan semakin sedikitnya massa campuran udara dan bahan bakar yang masuk

dan terbakar di dalam ruang bakar setiap satu kali siklus, yang berarti mempengaruhi besarnya torsi. Pada putaran poros yang semakin tinggi maka kerugian gesekan yang terjadi juga semakin meningkat, tetapi masih bisa diikuti atau diimbangi oleh nilai kenaikan putaran. Pada putaran rendah proses pembakaran pada ruang bakar memiliki waktu yang lebih banyak akibat gerakan bolak-balik torak yang mengakibatkan pembakaran lebih sempurna sehingga menghasilkan peningkatan energi yang besar pula. Tetapi setelah putaran tertentu daya efektif yang dihasilkan akan semakin menurun dan waktu pembakaran cenderung menjadi lebih cepat, dan besar kecenderungan kurang sempurnanya pembakaran, sehingga mengakibatkan penurunan energi yang dihasilkan, yang akhirnya memberikan efek penurunan terhadap daya efektif yang dihasilkan.

Pada grafik hubungan antara tingkat putaran dengan daya efektif diatas bisa dilihat bahwa pemasangan *swirling grid* bersudut 20° dan 25° menghasilkan daya efektif (N_e) yang lebih besar dibandingkan daya efektif yang dihasilkan tanpa pemasangan *swirling grid*. Sedangkan pada pemasangan *swirling grid* bersudut 15° , daya efektif yang dihasilkan berada di bawah grafik tanpa pemasangan *swirling grid* (standar). Hal ini terjadi karena pada pemasangan *swirling grid* bersudut 20° dan 25° , intensitas pencampuran udara dan bahan bakar lebih baik sehingga mampu mengimbangi kerugian akibat penurunan tekanan pengisian silinder, dengan lebih baiknya intensitas pencampuran udara dan bahan bakar maka campuran tersebut menjadi lebih homogen dan terjadi proses pembakaran yang lebih sempurna. Pada pembakaran yang lebih sempurna akan dihasilkan tekanan efektif rata-rata yang besar dimana akan mempengaruhi besar daya efektif. Hubungan antara tekanan efektif rata-rata (P_e) dengan daya efektif (N_e) adalah berbanding lurus sesuai persamaan berikut:

$$N_e = \frac{P_e V_L z n a}{450000} \dots (PS)$$

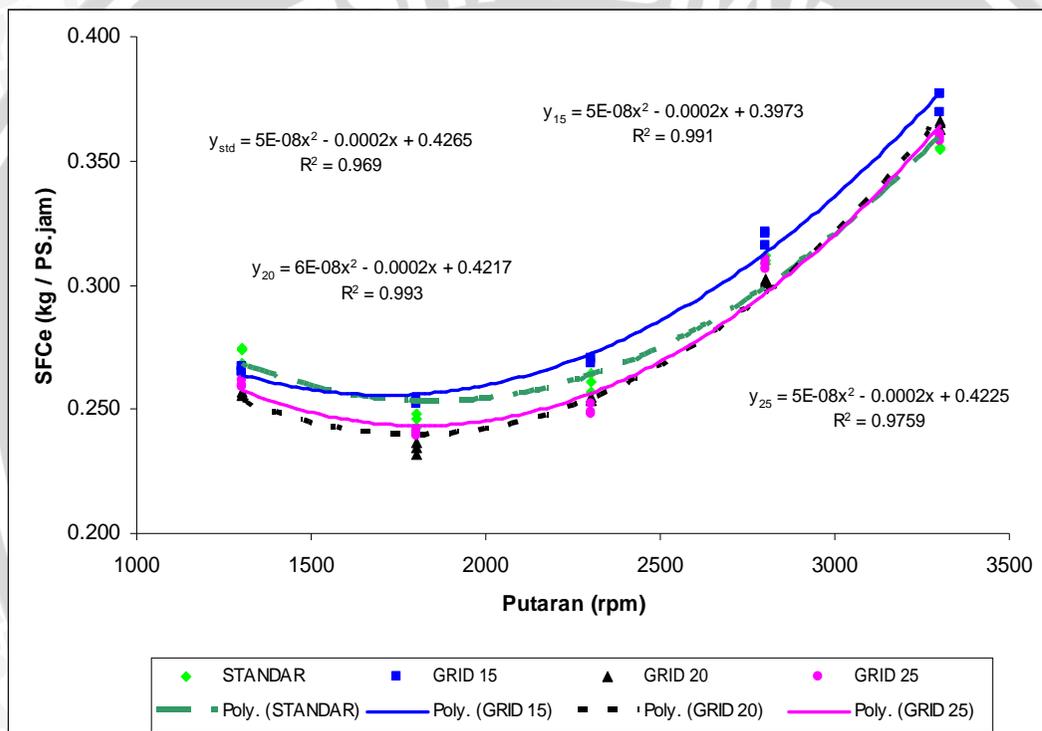
Dari persamaan diatas dapat diketahui jika tekanan efektif rata-rata semakin besar maka daya efektif yang dihasilkan meningkat pula. Sedangkan pada pemasangan *swirling grid* bersudut 15° intensitas pencampuran udara dan bahan bakar tidak mampu mengimbangi kerugian akibat penurunan tekanan pengisian silinder sehingga proses pembakaran yang terjadi kurang sempurna.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan terlihat bahwa nilai daya efektif yang paling besar terjadi pada pemasangan *swirling grid* bersudut 20° (18.107 PS) mulai putaran 1300 rpm-2800 rpm. Setelah putaran tersebut, nilai daya efektif terbesar dihasilkan pada tanpa pemasangan *swirling grid*. Nilai daya efektif tanpa pemasangan

swirling grid berada dibawah grafik dengan pemasangan *swirling grid* bersudut 25⁰ pada putaran 1300 rpm-2800 rpm, daya efektif terendah dihasilkan dari pemasangan *swirling grid* bersudut 15⁰ (12.372 PS). Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa pemasangan *swirling grid* bersudut 20⁰ menghasilkan daya efektif rata-rata terbesar dan merupakan sudut *swirling grid* yang paling efektif untuk memperoleh daya efektif yang besar.

4.2.3 Hubungan antara Putaran dengan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik efektif (SFCe)

Hubungan antara putaran motor Otto empat langkah dengan SFCe, dengan pemasangan *swirling grid* yang mempunyai variasi sudut lubang 15⁰, 20⁰ dan 25⁰ maupun standar dapat dilihat dalam gambar 4.3 berikut:



Gambar 4.3. Hubungan antara putaran dengan SFCe

Dari grafik hubungan antara putaran motor Otto empat langkah dengan SFCe 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. Hubungan antara SFCe, FC, dan juga Ne ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$SFCe = \frac{FC}{Ne} \quad \text{dan} \quad FC = \frac{b}{t} \cdot \gamma_f \cdot \frac{3600}{1000}$$

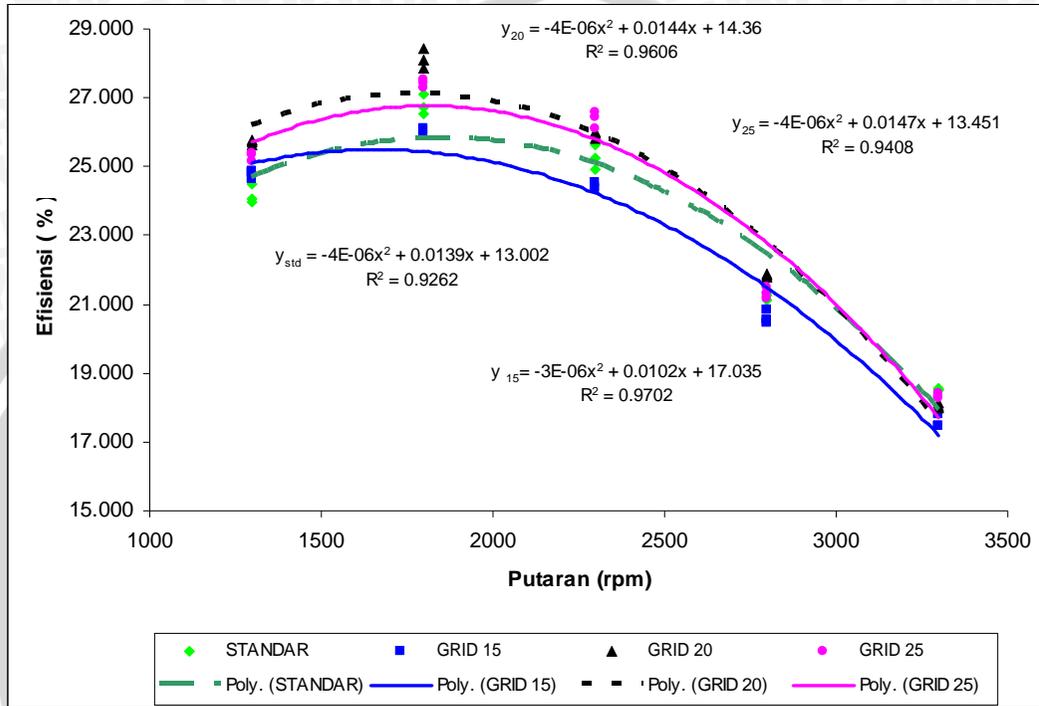
Sesuai dengan persamaan di atas terlihat bahwa SFCE berbanding lurus dengan FC dan berbanding terbalik dengan Ne. Atau dapat pula disimpulkan bahwa apabila FC mengalami peningkatan maka SFCE juga akan meningkat apabila daya efektif yang dihasilkan cenderung naik dengan interval kenaikan yang tidak terlalu besar atau bahkan jika Ne mengalami penurunan.

Pada grafik di atas terlihat bahwa pemasangan *swirling grid* bersudut 20° dan 25° memiliki SFCE yang lebih kecil daripada kondisi tanpa pemasangan *swirling grid* (standar). Hal ini berarti bahwa *swirling grid* bersudut 20° dan 25° 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 *swirling grid*. Di sisi lain, pemasangan *swirling grid* bersudut 15° mm menghasilkan SFCE yang lebih besar dibandingkan kondisi tanpa pemasangan *swirling grid*. Penyebab terjadinya hal ini adalah karena campuran udara dan bahan bakar yang melewati *swirling grid* bersudut 20° dan 25° mampu menghasilkan campuran yang lebih homogen daripada *swirling grid* bersudut 15° , sehingga terjadi proses pembakaran yang lebih sempurna. Pada pembakaran yang lebih sempurna akan dihasilkan tekanan efektif rata-rata yang besar dimana akan mempengaruhi besar daya efektif serta mempengaruhi dari keekonomisan dalam pemakaian bahan bakar.

Dari hasil pengujian diperoleh bahwa Konsumsi bahan bakar spesifik efektif yang terkecil adalah pada *swirling grid* bersudut 20° mulai putaran 1300-2800 rpm, yakni sebesar $0,232 \text{ (Kg.PS}^{-1}\text{.jam}^{-1}\text{)}$. Pemasangan *swirling grid* bersudut 15° menghasilkan SFCE yang lebih tinggi daripada kondisi standar. Dapat disimpulkan bahwa *swirling grid* bersudut 20° menghasilkan SFCE terkecil dan berarti pula bahwa *swirling grid* bersudut 20° mampu membuat mesin bekerja lebih ekonomis dalam hal pemakaian bahan bakar dan daya efektif yang dihasilkan.

4.2.4 Hubungan antara Putaran dengan Efisiensi Termal Efektif

Hubungan antara putaran motor bensin empat langkah dengan efisiensi termal efektif, dengan pemasangan *swirling grid* yang mempunyai variasi sudut lubang 15°, 20° dan 25° maupun standar dapat dilihat dalam gambar 4.4 berikut:



Gambar 4.4. Hubungan antara putaran dengan efisiensi termal efektif

Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa dengan semakin tinggi putaran poros motor bensin empat langkah maka secara umum efisiensi termal efektif yang dihasilkan juga akan mengalami peningkatan sampai pada putaran tertentu dan kemudian turun lagi. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe) dan nilai kalor rendah bahan bakar (LHV_{bb}), dimana dalam hal ini nilai kalor rendah bahan bakar adalah konstan, sebagaimana ditulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_{te} = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFC_e \cdot LHV_{bb}}$$

Dengan semakin tingginya putaran mesin maka konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe) juga semakin meningkat, sehingga η_{te} yang diperoleh semakin menurun. Hal ini disebabkan karena pada putaran yang semakin tinggi maka 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.

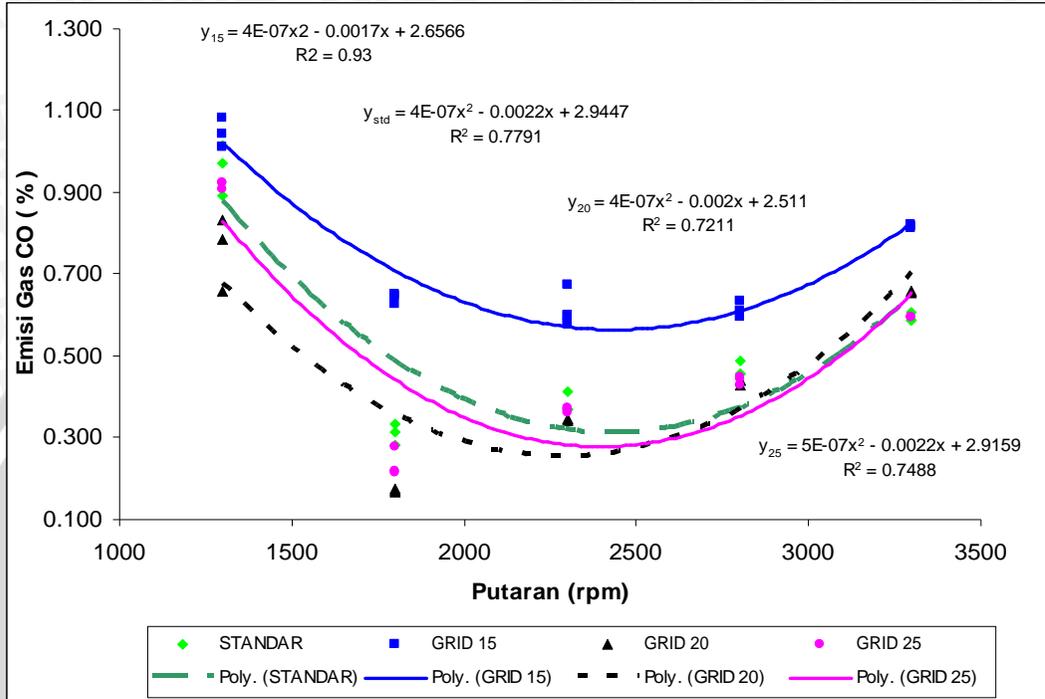
Dari grafik tersebut terlihat bahwa pada putaran 1300-2800 rpm dengan pemasangan *swirling grid* bersudut 20^0 dan 25^0 menghasilkan η_{te} yang lebih tinggi dibandingkan dengan mesin tanpa pemasangan *swirling grid* (standar). Tetapi lain halnya dengan pemasangan *swirling grid* bersudut 15^0 yang menghasilkan η_{te} lebih rendah daripada kondisi standar. Hal ini terjadi karena dengan pemasangan *swirling grid* bersudut 20^0 dan 25^0 mampu menghasilkan daya efektif (N_e) yang lebih besar daripada kondisi tanpa pemasangan *swirling grid*. Dengan meningkatnya N_e maka konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe) akan semakin kecil dan η_{te} yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini berarti pula bahwa *swirling grid* bersudut 20^0 dan 25^0 mampu menghasilkan homogenitas campuran udara dan bahan bakar yang lebih baik yang akhirnya menjadikan proses pembakaran lebih sempurna dan menghasilkan daya efektif (N_e) maupun η_{te} yang lebih tinggi.

Dari grafik terlihat bahwa pemasangan *swirling grid* yang bersudut 20^0 memiliki η_{te} tertinggi, yang berarti pula bahwa *swirling grid* yang bersudut 20^0 adalah yang paling efektif untuk memperoleh efisiensi termal (η_{te}) yang tinggi pada putaran 1300-2500 rpm kemudian tanpa pemasangan grid memiliki η_{te} tertinggi pada putaran 2800-3300 rpm.



4.2.5 Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas CO

Hubungan antara putaran motor Otto empat langkah dengan emisi gas CO, dengan pemasangan *swirling grid* yang mempunyai variasi sudut lubang 15⁰, 20⁰ dan 25⁰ maupun standar dapat dilihat dalam gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.5. Hubungan antara putaran dengan emisi gas CO

Pada gambar 4.5 di atas terlihat bahwa emisi gas CO yang dihasilkan baik pada pengujian tanpa pemasangan *swirling grid* (standar) maupun dengan pemasangan *swirling grid* menunjukkan nilai yang berfluktuasi seiring dengan meningkatnya putaran mesin. Gas CO merupakan produk pembakaran yang tidak sempurna

Pada grafik hubungan antara tingkat putaran dengan emisi gas CO diatas bisa dilihat bahwa pada putaran 1300-2800 rpm pada pemasangan *swirling grid* bersudut 20⁰ dan 25⁰ menghasilkan emisi gas CO yang lebih kecil dibandingkan emisi gas CO yang dihasilkan tanpa pemasangan *swirling grid*. Sedangkan pada pemasangan *swirling grid* bersudut 15⁰, emisi gas CO yang dihasilkan berada di atas grafik tanpa pemasangan *swirling grid*. Hal ini terjadi karena pada pemasangan *swirling grid* bersudut 20⁰ dan 25⁰, intensitas pencampuran udara dan bahan bakarnya lebih baik sehingga mampu menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna. Sedangkan untuk putaran 2800-3300 rpm emisi gas CO paling rendah diperoleh dengan tanpa pemasangan *swirling grid*, yang berarti menunjukkan bahwa pada putaran tersebut

pembakaran yang terjadi lebih sempurna akibat campuran udara dan bahan bakar yang lebih homogen. Berdasarkan fluktuasi emisi gas CO di atas dapat disimpulkan bahwa *swirling grid* yang paling efektif dalam usaha mengurangi emisi gas CO adalah *swirling grid* bersudut 20° , karena kadar gas CO yang dihasilkan selalu berada di bawah kondisi standar dan paling rendah.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisis data dan pembahasan variasi sudut swirl dari *divergent swirling grid* pada *intake manifold* motor bensin empat langkah, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Pemasangan *swirling grid* dengan variasi sudut lubang 20° dan 25° dapat meningkatkan unjuk kerja dan menurunkan gas CO yang dihasilkan motor Otto empat langkah, tetapi untuk sudut lubang 15° tidak dapat meningkatkan unjuk kerja dan menurunkan gas CO yang dihasilkan motor Otto empat langkah. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa secara keseluruhan unjuk kerja motor Otto empat langkah paling optimal dihasilkan pada pemasangan *swirling grid* bersudut 20° .

5.2 Saran

Saran yang dapat penulis penelitian yang dilakukan adalah :

- 1 Dari penelitian ini bisa dilanjutkan untuk motor Otto empat langkah dengan variasi bukaan *throttle*.
- 2 Bisa dilanjutkan untuk letak pemasangan *swirling grid* yaitu pada awal dan akhir *intake manifold* dari motor Otto empat langkah.
- 3 Dari penelitian ini bisa dilanjutkan untuk penelitian lebih lanjut mengenai pemasangan *swirling grid* terhadap emisi gas buang selain gas CO.

Daftar Pustaka

- Anonim. 1986. *Manual Book Engine Research and Test Bed Model GWE 80/100-HS-AV*. Tokyo: Ogawa Seiki Co. Ltd
- Arends & Berenschot. 1980. *Motor Bensin*, Jakarta: Erlangga
- Arismunandar, W. 2002. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*, ITB, Bandung
- Dehong, Zhang; Hill, Philip G. 1996. *Effect of Swirl on Combustion in Short Cylinder Chamber Combustion and flame*, vol 106, New York: El Seiver Science
- Efendi, M. Rifqi. 2002. *Pengaruh Diameter Grid Pada Intake Manifold Terhadap Unjuk Kerja Mesin Motor Bensin Empat Langkah, Skripsi Tidak diterbitkan*, Malang: Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Wahyudi, Slamet. 2006. *Statistik Teknik*. Malang: Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Lesieur, Marcel. 1990. *Turbulence in Fluid*, Netherland: Kluwer Academic Publisher
- Petrovsky, N. 1979. *Marine Internal Combustion Engine*. Moscow: Mir Publisher.
- Pulkrabrek, Willard W. 2004. *Engineering Fundamental of the internal combustion engine*, New Jersey: Prentice Hal International inc
- Yunianto, Bambang Dwi. 2003. *Pengaruh Variasi Kemiringan Lubang Grid Terhadap Kinerja Motor Bensin Empat Langkah, Skripsi Tidak diterbitkan*, Malang: Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil pengolahan data pada pengujian motor Otto empat langkah.

Hasil pengolahan data tanpa pemasangan *swirling grid* (standar)

No	Putaran	T	Ne	SFCe	Nbb	Ni	Effisiensi	CO
	(rpm)	(kg.m)	(PS)	(kg/PS.jam)	(PS)	(PS)	(%)	(%)
1	1300	7.429	13.484	0.274	56.062	31.720	24.052	0.971
		7.429	13.484	0.275	56.210	30.506	23.988	1.016
		7.429	13.484	0.269	55.018	28.518	24.508	0.892
2	1800	6.534	16.420	0.248	61.935	32.121	26.512	0.312
		6.534	16.420	0.243	60.549	30.645	27.119	0.332
		6.534	16.420	0.246	61.397	31.348	26.745	0.281
3	2300	5.370	17.245	0.257	67.315	35.161	25.618	0.369
		5.370	17.245	0.261	68.329	35.336	25.239	0.413
		5.370	17.245	0.264	69.222	35.455	24.913	0.370
4	2800	4.028	15.746	0.312	74.497	37.336	21.136	0.458
		4.028	15.746	0.309	73.762	37.753	21.347	0.487
		4.028	15.746	0.310	74.063	37.666	21.260	0.458
5	3300	3.133	14.433	0.355	77.875	35.742	18.534	0.607
		3.133	14.433	0.355	77.779	34.360	18.557	0.586
		3.133	14.433	0.356	77.922	34.216	18.523	0.588

Hasil pengolahan data dengan pemasangan *swirling grid* dengan sudut lubang 15⁰

No	Putaran	T	Ne	SFCe	Nbb	Ni	Effisiensi	CO
	(rpm)	(kg.m)	(PS)	(kg/PS.jam)	(PS)	(PS)	(%)	(%)
1	1300	7.160	12.996	0.267	52.757	29.678	24.634	1.082
		7.160	12.996	0.265	52.301	29.052	24.849	1.010
		7.160	12.996	0.265	52.344	28.349	24.829	1.043
2	1800	6.176	15.521	0.254	59.921	31.370	25.902	0.648
		6.176	15.521	0.252	59.500	31.651	26.085	0.651
		6.176	15.521	0.253	59.528	30.714	26.073	0.628
3	2300	5.012	16.096	0.270	65.987	33.837	24.392	0.673
		5.012	16.096	0.270	66.090	33.938	24.354	0.580
		5.012	16.096	0.269	65.646	32.868	24.518	0.599
4	2800	3.670	14.346	0.321	69.831	35.231	20.544	0.633
		3.670	14.346	0.316	68.810	33.685	20.849	0.597
		3.670	14.346	0.322	70.062	34.730	20.476	0.611
5	3300	2.775	12.784	0.377	73.125	32.729	17.482	0.817
		2.775	12.784	0.377	73.209	31.103	17.462	0.820
		2.775	12.784	0.370	71.763	32.371	17.814	0.812

Hasil pengolahan data dengan pemasangan *swirling grid* dengan sudut lubang 20⁰

No	Putaran	T	Ne	SFCe	Nbb	Ni	Effisiensi	CO
	(rpm)	(kg.m)	(PS)	(kg/PS.jam)	(PS)	(PS)	(%)	(%)
1	1300	7.518	13.646	0.256	52.955	29.975	25.769	0.657
		7.518	13.646	0.256	53.021	28.697	25.737	0.786
		7.518	13.646	0.257	53.266	28.887	25.619	0.831
2	1800	6.802	17.095	0.234	60.838	32.437	28.099	0.172
		6.802	17.095	0.236	61.367	32.234	27.857	0.169
		6.802	17.095	0.232	60.176	30.237	28.409	0.176
3	2300	5.639	18.107	0.253	69.677	36.362	25.988	0.344
		5.639	18.107	0.254	69.754	35.900	25.959	0.340
		5.639	18.107	0.255	70.178	35.382	25.802	0.345
4	2800	4.028	15.746	0.302	72.170	35.616	21.817	0.440
		4.028	15.746	0.302	72.252	37.379	21.793	0.442
		4.028	15.746	0.301	72.007	36.283	21.867	0.430
5	3300	3.043	14.021	0.363	77.259	35.270	18.148	0.656
		3.043	14.021	0.366	77.875	34.799	18.005	0.660
		3.043	14.021	0.366	77.827	34.879	18.016	0.657

Hasil pengolahan data dengan pemasangan *swirling grid* dengan sudut lubang 25⁰

No	Putaran	T	Ne	SFCe	Nbb	Ni	Effisiensi	CO
	(rpm)	(kg.m)	(PS)	(kg/PS.jam)	(PS)	(PS)	(%)	(%)
1	1300	7.429	13.484	0.262	53.603	29.963	25.155	0.924
		7.429	13.484	0.259	53.088	29.254	25.399	0.922
		7.429	13.484	0.260	53.221	28.734	25.335	0.906
2	1800	6.623	16.645	0.240	60.693	32.462	27.425	0.215
		6.623	16.645	0.239	60.491	31.503	27.517	0.220
		6.623	16.645	0.242	61.043	32.047	27.268	0.279
3	2300	5.549	17.820	0.252	68.219	36.773	26.122	0.375
		5.549	17.820	0.249	67.351	35.286	26.458	0.363
		5.549	17.820	0.248	67.102	33.538	26.557	0.371
4	2800	3.938	15.396	0.309	72.170	34.449	21.333	0.443
		3.938	15.396	0.311	72.665	36.519	21.187	0.428
		3.938	15.396	0.306	71.601	33.889	21.502	0.448
5	3300	3.043	14.021	0.360	76.561	34.980	18.314	0.594
		3.043	14.021	0.358	76.148	33.656	18.413	0.594
		3.043	14.021	0.360	76.746	34.371	18.269	0.597

Lampiran 2

Tabel hubungan $\frac{P_1 - P_2}{P_1} - \varepsilon$, $\theta - P_s$ dan $\theta - \gamma_w$

- Hubungan antara $\frac{P_1 - P_2}{P_1}$ dan ε

$\frac{P_1 - P_2}{P_1}$	0	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
ε	1.000	0.969	0.906	0.873	0.840	0.850	0.769	0.732	0.693	0.653

Sumber: *Manual Book: 10*

- Hubungan $\theta - P_s$, $\theta - \gamma_w$

θ (°C)	P_s (mmHg)	γ_w (kg/m ³)	θ (°C)	P_s (mmHg)	γ_w (kg/m ³)
0.0	4.581	0.00485	20.0	17.53	0.01730
1.0	4.925	0.00520	21.0	18.65	0.01834
2.0	5.292	0.00556	22.0	19.82	0.01943
3.0	5.682	0.00595	23.0	21.07	0.02058
4.0	6.098	0.00636	24.0	22.38	0.02179
5.0	6.540	0.00680	25.0	23.75	0.02306
6.0	7.010	0.00726	26.0	25.21	0.02438
7.0	7.511	0.00775	27.0	26.74	0.02578
8.0	8.042	0.00827	28.0	28.35	0.02725
9.0	8.606	0.00882	29.0	30.04	0.02878
10.0	9.205	0.00940	30.0	31.83	0.03039
11.0	9.840	0.01001	31.0	33.70	0.03207
12.0	10.514	0.01066	32.0	35.67	0.03384
13.0	11.23	0.01135	33.0	37.73	0.03569
14.0	11.98	0.01207	34.0	39.90	0.03762
15.0	12.78	0.01283	35.0	42.18	0.03964
16.0	13.61	0.01364	36.0	44.57	0.04175
17.0	14.53	0.01448	37.0	47.08	0.04396
18.0	15.47	0.01537	38.0	49.70	0.04627
19.0	16.47	0.01631	39.0	52.45	0.04869
			40.0	55.34	0.05120

Sumber: *Manual Book: 22*

Lampiran 3

Tabel F (α ; v_1 ; v_2) untuk $\alpha = 0.05$

$v_1 \backslash v_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120	-
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	250	251	252	253	254
2	18.5	19	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
3	10.2	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.7	8.66	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6	5.96	5.91	5.86	5.8	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.5	4.46	4.43	4.4	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.1	4.06	4	3.94	3.87	3.81	3.77	3.74	3.7	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.38	3.34	3.3	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.5	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.1	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.84	2.77	2.7	2.66	2.62	2.58	2.54
$v_1 \backslash v_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120	-
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.2	3.09	3.01	2.95	2.9	2.85	2.79	2.72	2.65	2.57	2.53	2.49	2.45	2.4
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3	2.91	2.85	2.8	2.75	2.69	2.62	2.54	2.47	2.43	2.38	2.34	2.3
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.6	2.53	2.46	2.38	2.34	2.3	2.25	2.21
14	4.6	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.7	2.65	2.6	2.53	2.46	2.39	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.45	3.68	3.29	3.06	2.9	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.4	2.33	2.25	2.2	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.2	2.96	2.81	2.7	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.15	2.1	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.9	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.1	2.87	2.71	2.6	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.2	2.12	2.04	1.99	1.95	1.9	1.84
$v_1 \backslash v_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120	-
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.6	2.49	2.4	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2	1.92	1.84	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.1	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.55	1.5	1.43	1.35	1.25
-	3.84	3	2.6	2.37	2.21	2.1	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.46	1.39	1.32	1.22	1





This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.