

**PENGARUH VARIASI TIMING PENGAPIAN TERHADAP
EMISI GAS BUANG DAN KARAKTERISTIK KINERJA
MOTOR BENSIN EMPAT LANGKAH
DENGAN MENGGUNAKAN
BENSIN 90% - METANOL 10%**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan
Memperoleh gelar sarjana teknik**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**DWI WAHYUDI
NIM : 0001063130-62**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2007**

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat ALLAH S.W.T, atas segala rahmat dan hidayat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Variasi *timing* Pengapian terhadap Emisi Gas Buang dan Karakteristik Kinerja Motor Bensin Empat Langkah Dengan Menggunakan Bensin 90% - Methanol 10%”.

Ucapan terima kasih atas segala bimbingan dan pengarahan yang sangat membantu dalam penusunan skripsi ini, terutama kami sampaikan kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Ir. Tjuk Oerbandon, M.Sc selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang
3. Bapak Ir. Rudy Soenoko M.Eng Sc selaku Ketua Kelompok Pengajar Konsentrasi Teknik Konversi Energi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
4. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT dan Bapak Eko Siswanto, ST, MT selaku Dosen pembimbing.
5. Orang tua, my sister, my brother dan D”ku tercinta (don’t leave me D) yang selalu tidak henti-hentinya dan memberikan semangat motifasi sehingga skripsi ini dapat dikerjakan. Spesial to my brother cepatan nyusul gw!!!.
6. Rekan-rekan angkatan 2000 (aming, pa dek, kodok, oriza, theo, aryo, sofy, Kristin, catur, gendro, jono, andis, kuli, erno, alex) dan semua pihak yang membantu penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari kekurangan serta kekeliruan, sehingga perlu perbaikan untuk kesempurnaan. Untuk itu penulis mengharapkan kritikan dan saran yang membangun demi kesempurnaan skripsi.

Malang, Juli 2007

Penulis

RINGKASAN

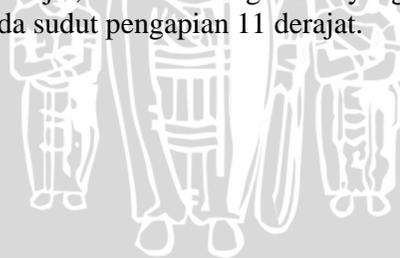
DWI WAHYUDI, Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. 2007, Pengaruh Variasi *Timing* Pengapian Terhadap Kadar Emisi Gas Buang dan Karakteristik Kinerja Motor Bensin Empat Langkah dengan Menggunakan Bensin 90% Methanol 10%.

Dosen Pembimbing : Dr. Slamet Wahyudi, ST, MT dan Eko Siswanto, ST, MT

Motor bensin merupakan kelompok dari motor bakar. Oleh karena itu di dalam pengoperasiannya motor bensin menggunakan bahan bakar untuk proses pembakaran. Proses pembakaran yang berlangsung di dalam motor bensin akan mempengaruhi kinerja dari motor bensin tersebut.

Meningkatkan penggunaan kendaraan bermotor, menuntut kita untuk bernovasi agar dapat menghasilkan motor yang makin efisien dalam penggunaan bahan bakar, termasuk diantaranya adalah pengurangan polutan yang dihasilkan serta mencari bahan bakar alternative. Salah satu cara adalah dengan memodifikasi bahan bakar yaitu dengan penambahan methanol pada bahan bakar dimana akan meningkatkan angka okta, mengurangi konsumsi penggunaan bahan bakar, dan mengurangi polusi udara. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh perubahan sudut pengapian terhadap kinerja motor bensin empat langkah dengan menggunakan penambahan 10% methanol-90% bensin premium

Dengan penambahan metanol 10% maka yang baik digunakan pada sudut pengapian terhadap torsi pada sudut pengapian 13 derajat, Nilai daya efektif rata-rata yang dipakai atau yang terbaik digunakan pada sudut pengapian 11 derajat, Nilai SFCE yang digunakan pada sudut pengapian yang terkecil pada 11 derajat, Efisiensi termal efektif rata-rata tertinggi yang didapatkan dengan sudut 11 derajat, Konsentrasi gas CO yang baik digunakan pada nilai yang terkecil yaitu pada sudut pengapian 11 derajat, Konsentrasi gas HC yang baik digunakan pada nilai yang terkecil yaitu pada sudut pengapian 11 derajat.



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
RINGKASAN	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Mesin Kalor	4
2.2 Mesin Bakar Torak	4
2.3 Motor Bensin	6
2.3.1 Klasifikasi Motor Bensin Bakar	6
2.3.2 Prinsip Kerja Motor Bensin Empat Langkah ...	7
2.3.3 Sisklus Ideal Motor Bensin Empat Langkah ...	8
2.3.4 Kecepatan Torak	10
2.4 Bahan Bakar Motor Bensin	10
2.4.1 Sifat-Sifat Bensin	10
2.4.2 Senyawa Bensin	11
2.4.3 Jenis-Jenis Bensin	11
2.5 Bilangan Oktan	11
2.6 Perbandingan Udara Bahan Bakar	12
2.7 Sistem Pembakaran	13
2.7.1 Karburator	13
2.7.2 Penyalaan dan Pembakaran	13

2.7.3 Jenis-Jenis Pembakaran	14
2.7.4 Sistem Pengapian	15
2.7.5 Waktu Pengapian	16
2.8 Nilai Panas	17
2.9 Kinerja Motor Bensin	17
2.10 Bensin Premium	19
2.11 Bensin Methanol	21
2.11.1 Sifat Campuran Bensin Methanol	22
2.11.2 Nilai Kalor dan Angka Oktan Bensin Methanol ...	22
2.12 Hipotesa	24
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian	25
3.2 Benda Uji dan Peralatan Bantu	25
3.2.1 Benda kerja	25
3.2.2 Peralatan Bantu	25
3.3 Variabel Penelitian	26
3.4 Tempat penelitian	27
3.5 Prosedur penelitian	27
3.6 Analisis Statistika	27
3.7 Diagram Alir Proses Penelitian	34
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Data	35
4.1.1 Data-Data Pengujian	35
4.1.2 Perhitungan Data.....	38
4.1.3 Analisis Statistik	40
4.1.3.1 Analisis Statistik untuk Torsi yang dihasilkan	41
4.1.3.2 Analisis Statistik untuk Daya Efektif yang Dihasilkan	42
4.1.3.3 Analisis Statistik untuk Konsumsi Bahan Bakar Spesifik yang dihasilkan	43
4.1.3.4 Analisis Statistik untuk Efisiensi	

Thermal Efektif yang dihasilkan	43
4.1.3.5 Analisis Statistik Variasi untuk konsentrasi Emisi gas CO yang dihasilkan ..	44
4.1.3.6 Analisis Statistik Varias untuk Konsentrasi Emisi gas HC yang dihasilkan..	45
4.2 Pembahasan	46
4.2.1 Hubungan Antara Putaran terhadap Torsi	46
4.2.2 Hubungan Antara putaran Terhadap Daya Efektif	49
4.2.3 Hubungan Antara Putaran Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik	52
4.2.4 Hubungan Antara Putaran Terhadap Efisiensi Thermal	54
4.2.5 Hubungan Antara Putaran Terhadap Emisi Gas CO	56
4.2.6 Hubungan Antara Putaran terhadap Emisi Gas HC	58
BAB V PENUTUPAN	
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	

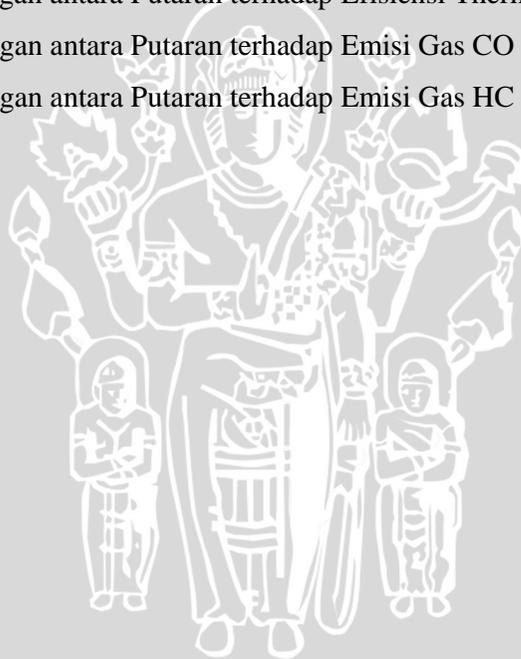


DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 : Pengolongan Mesin Kalor	5
Tabel 2 : Suhu Fraksi Penyulingan dari Macam-macam Bahan Bakar.....	20
Tabel 3 : Spesifikasi dari Bensin Premium	20
Tabel 4 : Sifat-sifat Bahan Bakar bensin Premium	21
Tabel 5 : Perbandingan Energi tiap-tiap Bahan Bakar	23
Tabel 6 : Sifat-sifat Fisik dan Thermal Methanol	24
Tabel 7 : Rancangan Pengamatan Model Arah	29
Tabel 8 : Rancangan Analisis Variasi	31
Tabel 9 : Penyederhanaan Model dua Arah dengan Pengulangan ..	31
Tabel 10: Torsi yang dihasilkan.....	35
Tabel 11: Daya Efektif yang dihasilkan	36
Tabel 12: Konsumsi bahan bakar spesifik efektif yang dihasilkan ...	37
Tabel 13: Konsumsi bahan bakar yang dihasilkan	37
Tabel 14: Efisiensi Thermal efektif yang dihasilkan	38
Tabel 15: Emisi gas CO yang dihasilkan	39
Tabel 16: Emisi gas HC yang dihasilkan	39
Tabel 17: Analisis Variasi untuk Torsi	43
Tabel 18: Analisis Variasi untuk Daya efektif	44.
Tabel 19: Analisis Statistik Konsumsi bahan bakar spesifik	45
Tabel 20: Analisis Variasi untuk Efisiensi thermal	45
Tabel 21: Analisis statistic variasi untuk konsentrasi CO	46
Tabel 22: Analisis statistic variasi untuk konsentrasi HC	47

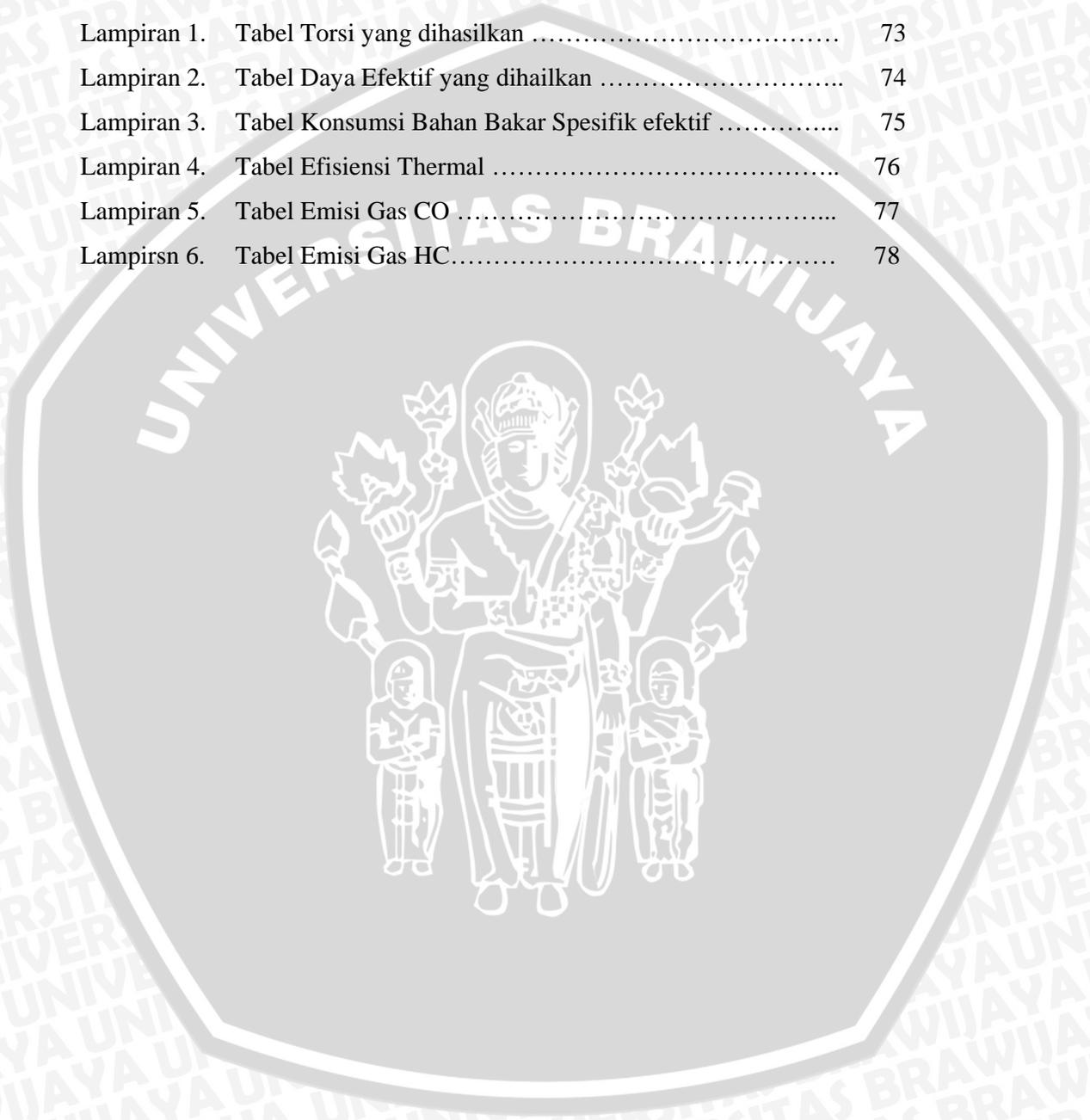
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Skema Gerakan Torak dan Katup Motor Bensin Empat Langkah	7
Gambar 2. Diagram $p - v$ dari Sirkulus Volume Konstan	9
Gambar 3. Hubungan antara Putaran terhadap Torsi	47
Gambar 4. Hubungan antara putaran terhadap Daya Efektif	50
Gambar 5. Hubungan antara Putaran terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif	52
Gambar 6. Hubungan antara Putaran terhadap Efisiensi Thermal ...	54
Gambar 7. Hubungan antara Putaran terhadap Emisi Gas CO	56
Gambar 8. Hubungan antara Putaran terhadap Emisi Gas HC	68



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Tabel Torsi yang dihasilkan	73
Lampiran 2. Tabel Daya Efektif yang dihaikan	74
Lampiran 3. Tabel Konsumsi Bahan Bakar Spesifik efektif	75
Lampiran 4. Tabel Efisiensi Thermal	76
Lampiran 5. Tabel Emisi Gas CO	77
Lampirsn 6. Tabel Emisi Gas HC.....	78



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Dengan semakin maju dan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi maka banyak sekali diantara kalangan industri maju dan berkembang terus berusaha menciptakan serta mengembangkan sesuatu yang baru untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Tidak jarang banyak perusahaan-perusahaan kecil, menengah atau besar saling bersaing didalam pengupayaan untuk menarik simpati dan daya beli masyarakat terhadap produk yang dihasilkannya. Untuk menghasilkan produksi yang mempunyai mutu dengan kualitas tinggi, sudah tentu perusahaan tersebut harus mempunyai sumber daya manusia yang baik. Disamping itu, juga harus memperhitungkan faktor peralatan dan mesin produksi yang baik pula. Sebagai peralatan atau mesin produksi perlu penanganan yang serius didalam pengoperasiannya, karena kesalahan atau kelalaian sedikit saja bisa mengurangi daya dan umur mesin. Apabila hal yang demikian ini dibiarkan terus dan berlarut-larut bisa jadi perusahaan yang mengalami kerugian.

Motor bensin merupakan kelompok dari motor bakar, oleh karena itu didalam pengoperasiannya motor bensin menggunakan bahan bakar untuk proses pembakaran. Keadaan yang sangat penting didalam pengoperasian motor bensin dengan keberhasilan yang tinggi adalah pemasukan bahan bakar yang baik, terlebih dipakai pada mesin-mesin yang sudah termakan usia. Dari segi ekonomis, dengan peningkatan daya maka akan membutuhkan bahan bakar yang banyak sehingga secara langsung biaya pengoperasionalnya akan naik. Keterbatasan sumber energi (bahan bakar cair) yang tidak dapat diperbarui di dalam negeri maka perlu sekali untuk mengefisienkan sumber bahan bakar tersebut.

Upaya tersebut dapat dilakukan dengan salah satu cara, yaitu menambahkan methanol pad bahan bakar bensin-premium, untuk mengurangi prosentase bensin-premium, karena methanol dan bensin premium mempunyai sifat-sifat yang berbeda.

Dengan penambahan methanol dalam bahan bakar bensin ini, akan menimbulkan perubahan pada mutu penyalaan (*timing ignition*) pengapian untuk mendapatkan

kecepatan perambatan dari bahan bakar yang lebih optimal sehingga mampu memperbaiki karakteristik kinerja motor bakar. Karena kecepatan rambatan di bahan bakar adalah salah satu faktor yang mempengaruhi bagus tidaknya karakteristik kinerja di motor bakar.

1.2 Rumusan masalah

Dari belakang diatas, maka dapat diambil suatu rumusan masalah sebagai berikut:

“Bagaimana pengaruh penyalaan semakin besar pada motor bakar bensin dengan penambahan methanol 10% terhadap torsi, daya efisiensi, konsumsi bahan bakar spesifik efektif dan karakteristik kinerja”.

1.3 Batasan masalah

Mengingat luasnya obyek penelitian, maka untuk memfokuskan arah pembatasan diperlukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Motor bensin yang digunakan adalah motor bensin empat langkah.
2. Putaran motor bensin yang digunakan adalah 1300, 1800, 2300, 2800 dan putaran 3300 rpm.
3. Motor bensin diuji dalam keadaan diam (*stationary*).
4. Bahan bakar bensin yang dipergunakan didapatkan dari SPBU.
5. Methanol (CH_3OH) yang dipergunakan dibeli ditoko kimia.
6. Campuran methanol yang digunakan 10% dalam bensin 900ml ditambahkan methanol 100ml.
7. Variasi waktu penyalaan 5° , 7° , 9° , 11° , 13° dari TMA.
8. Campuran bensin methanol dengan bahan bakar bensin dianggap melarutkan sempurna.
9. Perbandingan udara dengan campuran bahan bakar bensin dianggap tetap selama proses.
10. Suhu lingkungan dianggap stabil dan aliran udara *steady state*.
11. Emisi gas buangnya CO dan HC.

1.4 Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi timing *ignition* pada motor bakar bensin dengan penambahan methanol 10% karakteristik kinerja dan kadar HC (emisi) dari motor bensin empat langkah.

1.5 manfaat penelitian

Memberikan masukan kepada para pengguna motor bensin empat langkah dalam upaya untuk meningkatkan daya mesin, prestasi mesin, mengefisienkan pemakaian bahan bakar bensin dan meningkatkan umur mesin, juga sebagai alternatif untuk mengurangi pemakaian minyak bumi dengan ditambahkan methanol pada bahan bakar bensin.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin Kalor

Salah satu jenis penggerak mulai yang banyak dipakai adalah mesin kalor, yaitu mesin yang menggunakan energi termal untuk melakukan kerja mekanik atau yang mengubah energi termal menjadi energi mekanik. Energi itu sendiri dapat diperoleh dengan proses pembakaran, proses fisi bahan bakar nuklir atau proses lain. Ditinjau dari cara memperoleh energi termal ini mesin kalor dibagi menjadi dua golongan yaitu mesin pembakaran luar dan mesin pembakaran dalam.

1. Mesin pembakaran luar.

Pada mesin pembakaran luar proses pembakaran terjadi diluar mesin; energi termal dari gas hasil pembakaran dipindahkan ke fluida kerja mesin melalui beberapa dinding pemisah. Contohnya adalah mesin uap.

2 Mesin pembakaran dalam.

Mesin pembakaran dalam pada umumnya dikenal dengan nama motor bakar. Proses pembakarannya berlangsung di dalam motor bakar itu sendiri sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja. Contoh dari kelompok ini adalah motor bakar torak, system turbin gas dan propulsi pancar gas. Untuk lebih jelasnya penggolongan mesin kalor dapat disajikan dalam tabel 1.

2.2 Mesin bakar torak

Pada motor bakar tidak terjadi proses perpindahan kalor dari gas pembakaran ke fluida kerja, karena itu jumlah komponen motor bakar lebih sedikit dari pada komponen mesin uap. Motor bakar yang bekerja menggunakan piston silinder disebut dengan motor bakar torak. Motor bakar torak lebih sederhana, lebih kompak dan lebih ringan bila dibandingkan dengan mesin uap. Oleh karena itu penggunaan motor bakar torak di bandingkan transfortasi sangat menguntungkan.

Motor bakar torak dibagi menjadi dua jenis, yaitu motor bensin dan motor diesel. Perbedaan yang utama terletak pada system penyalan bahan bakarnya. Pada motor bensin penyalan bahan bakar dilakukan oleh api listrik yang berasal dari busi (*spark ignition engine*) dan pada motor diesel penyalan bahan bakarnya secara kompresi (*compression ignition engine*).

Tabel 1, Pengolongan Mesin Kalor

Golongan	Kelompok	Gerak	Penggunaan yang khas
Mesin pembakaran luar (<i>external combustion engine</i>)	mesin uap torak	Traspalansi	Lokomotif
	Turbin uap	Rotasi	Pusat tenaga listrik, kapal laut
	Mesin udara panas	Traspalansi	Tidak
Mesin pembakaran dalam (<i>internal combustion engine</i>)	Turbin gas siklus tertutup	Rotasi	Pusat tenaga listrik, kapal laut
	Motor bensin	Transparasi rotasi	Kendaraan darat, industri, pusat tenaga listrik
	Motor bensin	Translasi	Kendaraan darat, industri, lokomotif, kapal laut, pusat tenaga listrik
	Motor diesel	Translasi	Industri, pusat tenaga listrik
	Motor gas	Rotasi	Pusat tenaga listrik, pesawat terbang
	Propulsi pancar gas	Rotasi	Pesawat terbang

Sumber: W, Arismunandar, 1988, 7

Pengoperasian motor bensin dan motor diesel dapat dilaksanakan dengan menggunakan bahan bakar. Untuk menghasilkan putaran dan daya mesin yang baik, tentunya jenis bahan bakar tersebut harus sesuai dengan kondisi dengan kondisi dari mesin yang dipergunakan. Disamping itu juga harus diperhatikan

sifat-sifat dari bahan bakar itu sendiri, misalnya penyalan bahan bakar, viskositas dan kandungan bahan bakar. Dengan memperhatikan beberapa hal tersebut diatas maka dapat dipastikan akan memperbaiki kinerja motor bakar tersebut.

2.3 Motor bensin

Motor bakar bensin merupakan salah satu jenis dari mesin pembakaran dalam. Sesuai dengan namanya, mesin pembakaran dalam adalah mesin panas yang didalamnya, energi kimia dari pembakaran dilepaskan didalam silinder mesin.

Karakteristik utama dari motor bensin yang membedakannya dari motor bakar lain adalah metode penyalan bahan bakar. Motor tersebut dilengkapi busi dan karburator. Busi menghasilkan loncatan api listrik yang menyalakan campuran bahan bakar dan udara segar, karena itu motor bensin dinamai *spark ignition engine*.

Karburator ialah tempat pencampuran bahan bakar dengan udara. Pencampuran tersebut terjadi karena bahan bakar terhisap masuk kedalam karburator. Campuran bahan bakar dan udara segar yang terjadi itu sangat mudah terbakar dan kemudian masuk ke dalam silender yang dinyalakan oleh loncatan api listrik dari busi.

2.3.1 Klasifikasi motor bensin

Motor bensin dapat dibagi menjadi beberapa kelompok, yang masing-masing dibedakan menurut salah satu dari ciri berikut ini:

1. Metode pengisian

Mesin empat langkah : gas hasil pembakaran mendorong torak atau langkah kerja hanya dalam satu kali dalam dua kali putaran poros engkol.

Mesin dua langkah : langkah kerja dilakukan satu kali dalam satu putaran poros engkol.

2. Disain umum

Semua mesin dapat dibagi menjadi mesin bekerja tunggal dan mesin bekerja ganda. Disini bekerja ganda hanya digunakan pada mesin ukuran besar.

3. Jumlah silinder

Mesin-mesin torak pada umumnya bisa terdiri atas bersilinder tunggal atau jamak dengan dua, tiga, empat, enam kadang-kadang dua puluh empat silinder.

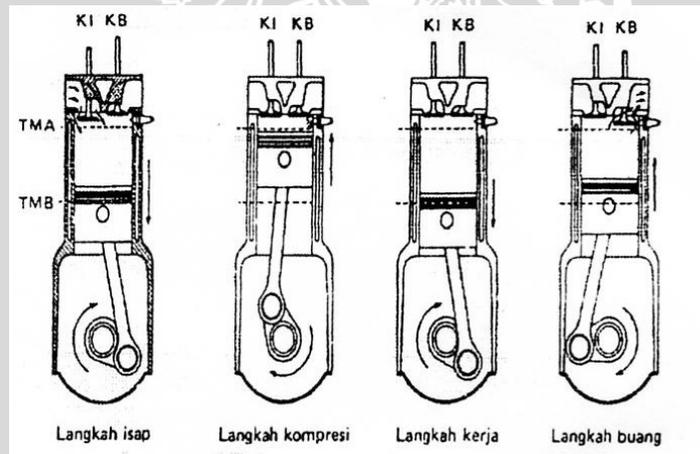
4. Berdasarkan kedudukan silinder

Silinder tipe horizontal, vertical, condong atau bentuk lain.

2.3.2 Prinsip Kerja Motor Bensin Empat Langkah

Prinsip kerja motor bensin empat langkah dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Langkah isap: yaitu ketika torak didalam silinder bergerak dari TMA (titik mati atas) menuju ke TMB (titik mati bawah), maka katup isap (KI) terbuka sedangkan katup buang (KB) dalam keadaan tertutup. Melalui katup isap inilah campuran bahan bakar dan udara terisap masuk kedalam silinder.



Gambar 2.1 Skema Gerakan Torak dan Katup Motor Bensin 4 langkah.

2. Langkah kompresi: setelah mencapai TMB, torak bergerak kembali ke TMA dan sementara katup isap serta katup buang dalam keadaan tertutup. Campuran bahan bakar dan udara yang masuk tadi terkompresi didalam silinder dan dimampatkan oleh torak yang bergerak ke TMA. Volumennya menjadi kecil dan temperaturnya mengalami kenaikan. Kemudian campuran bahan bakar dan udara dinyalakan oleh loncatan api yang

berasal dari busi. Pada proses ini terjadi pembakaran campuran bahan bakar.

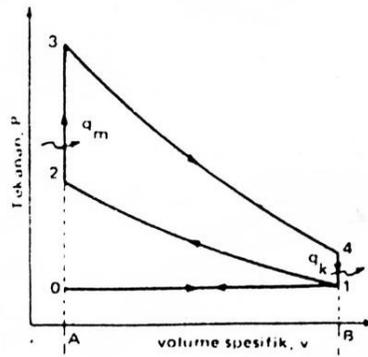
3. Langkah kerja atau ekspansi: Pada waktu torak bergerak ke TMA, maka volume ruang bakar menjadi semakin lebih kecil, sehingga temperatur gas didalam silinder menjadi semakin lebih tinggi akibat dari pembakaran bahan bakar. Gas hasil pembakaran yang ditimbulkan akhirnya mampu mendorong torak untuk bergerak kembali dari TMA ke TMB, sementara itu baik katup isap maupun katub buang masih dalam keadaan tertutup.
4. Langkah buang: setelah torak sampai ke TMB, volume gas pembakaran didalam silinder bertambah besar. Kemudian katup buang terbuka dan katub isap tertutup, torak bergerak kembali ke TMA mendesak gas pembakaran buang. Setelah proses ini terjadi langkah isap dan seterusnya membentuk suatu sirklus.

2.3.3 Siklus Ideal Motor Bensin Empat Langkah

Proses termodinamika dan kimia yang terjadi didalam motor bakar torak amat kompleks dianalisis menurut teori. Untuk memudahkan analisis kita perlu membayangkan suatu keadaan yang ideal. Pada umumnya untuk menganalisis motor bakar yang dipergunakan siklus udara yang ideal. Siklus udara menggunakan beberapa keadaan yang sama dengan siklus sebenarnya, misalnya mengenai:

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

Salah satu siklus udara yang akan dibahas kali ini adalah siklus udara volume konstan (sirklus oto). Untuk lebih jelasnya dapat diliat dalam p-v diagram berikut:



Gambar 2.2 Diagram P - V dari Siklus Volume Konstan

Analisis siklus tersebut diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Proses 0-1 : proses penghisapan udara kedalam silinder. Pada proses ini torak bergerak dari TMA ke TMB.
- Proses 1-2 : proses kompresi secara adiabatik, secara bersamaan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P \cdot V^k = \text{konstan} \quad (2-1)$$
 Dimana
 P : Tekanan (kg m^{-2})
 V : Volume (m^3)
 K : Konstan adiabatik (1,4 untuk udara)
- Proses 2-3 : proses pembakaran bahan bakar secara volume konstan atau isovolumis.
- Proses 3-4 : proses ekspansi secara adiabatik, pada proses berlaku pula rumus pada kompresi.
- Proses 4-1 : proses pembuangan gas yang hasil pembakaran secara volume.

2.3.4 Kecepatan Torak

Kecepatan putaran poros engkol dapat dianggap seragam, tetapi perjalanan torak tidak demikian, pada titik mati torak mulai bergerak kecepatannya nol, dan pada saat torak mulai bergerak kecepatannya meningkat sedikit demi sedikit dan mencapai maksimum di sekitar pertengahan langkah; dari sini kecepatan torak mulai menurun, dan pada titik mati yang berlawanan torak menjadi berhenti lagi. Jadi kecepatan bervariasi dengan waktu.

Untuk beberapa perhitungan perlu diketahui kecepatan torak rata-rata, yaitu kecepatan konstan yang diperlukan oleh torak untuk bergerak mencapai jarak yang sama. Kecepatan rata-rata biasanya disebutkan secara sederhana sebagai kecepatan torak dari mesin. Umumnya mengukur kecepatan torak dalam test tiap menit, sehingga dirumuskan:

$$C = 2 \frac{Ln}{60} \text{ (m menit}^{-1}\text{)} \quad (2-2)$$

Dimana

C : kecepatan torak rata-rata (m menit⁻¹)

L : panjang langkah (m)

n : putaran (rpm).

2.4 Bahan Bakar Motor Bensin

Bahan bakar motor bensin yang umum dan lazim dipakai adalah bensin. Bensin adalah zat cair yang dihasilkan dari hasil pemurnian minyak bumi yang mengandung unsur karbon *hydrogen*.

2.4.1 Sifat-sifat bensin

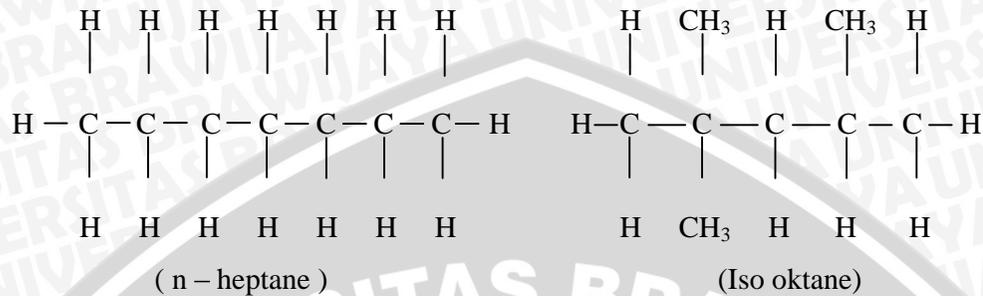
Persyaratan yg harus dipenuhi oleh bensin adalah:

1. Mudah mendidih, tetapi tidak pada tempertur luar.
2. Mempunyai titik nyala yg relative rendah.
3. Mempunyai bilangan okta yang cukup tinggi.
4. Dalam suhu kamar tidak mudah meledak.
5. Kadar belerang rendah.
6. Menghasilkan panas yang tinggi.
7. Tidak menimbulkan racun yang membahayakan.
8. Susunan kimianya hanya terdiri atas unsur-unsur bahan bakar.

2.4.2 Senyawa Bensin

Bensin merupakan senyawa dari unsur-unsur karbon (C) dan *hydrogen* (H) yang disebut karbon *hydrogen*. Berbagai macam bentuk hubungan karbon

dengan *hydrogen* menyebabkan bentuk ribuan macam struktur rantai karbon *hydrogen*. Misalnya adalah Heptane (C_6H_{16}) dan iso oktana (C_8H_{18}).



2.4.3 Jenis-Jenis Bensin

Jenis-jenis bensin dapat dibagi menjadi dua:

1. Bensin murni.

Bensin murni terdiri dari 100% karbon hydrogen tanpa tambahan bahan lainnya. Digunakan sebagai bahan pembersih atau bahan anti infeksi, untuk pembersihan luka dirumah sakit.

2. Bensin motor.

Bensin yang telah ditambah dengan bahan bakar adiktif anti knocking, antai korosi dan seainya. Bensin untuk motor dipasarkan dalam dua macam mutu:

a. Bensin premium (warna kuning jernih)

Untuk motir perbandingan kompresi 8-9,

b. Bensin super (warna merah jernih)

Untuk motor dengan perbandingan kompresi 9-10.

2.5 Bilangan Oktan

Mutu dari bensin ditentu dari bilangan oktan, semakin besar bilangan okta maka mutu bensin semakin baik. Apabila suatu bahan bakar dengan bilangan oktan yang tinggi dan di uji cobakan pada mesin yang mempunyai perbandingan kompresi yang rendah akan timbul suatu pembakaran yang tak terkendal, sehingga mutu bensin dengan bilangan oktan yang tinggi cocok dipakai pada mesin perbandingan kompresi yang tinggi pula.

Standar bahan bakar bilangan oktan 100 (seratus) adalah 2,2,4 trimetil pentane (C_8H_{18}), sedangkan standar bahan bakar dengan bilangan oktan 0 (nol) adalah n-heptane (C_7H_{16}).

Menurut Daryono (2003), kecenderungan bensin untuk berdetonasi di nilai dari λ bilangan oktan. Untuk megurangi dan mengerem kecenderungan mendetonasi, maka dalam mesin bensin dimasukkan zat cair, misalnya penambahan *tetraethyllead*.

2.6 Perbandingan Udara Bahan Bakar

Campuran antara udara dan bahan bakar biasa dinamai camouran saja, sedangkan perbandingan udara (Gud) dan berat bahan bakar (Gbb) dalam campuran ini dinamai perbandingan campuran atau perbandingan udara bahan bakar (Gud\Bbb). Dalam proses pembakaran sempurna bahan bakar hidrokarbon, C akan terbakar menjadi CO_2 dan H akan terbakar menjadi H_2O . maka perbandingan dari berat udara terhadap berat bahan bakar pada proses pembakarn sempurna dinamai perbandingan campuran stoikiometrik atau campuran udara teoritis. Sedangkan perbandingan campuran terhadap perbandingan campuran stoikiometrik dinamai “faktor kelebihan udara” atau (λ), taitu dirumuskan:

$$\lambda = \frac{Gud \setminus Gbb}{Rst} \quad (2-3)$$

Dimana

λ : Faktor kelebihan udara

Gud : berat uadara (kg)

Gbb : berat bahan bakar (kg)

Rst : perbandingan berat dengan berat bahan bakar stoikiometrik

Untuk perbandingan berat uadara dengan berat bahan bakar stoikiometri dirumuskan sebagai berikut ini :

$$Rst = \frac{Gudst}{Gbbst} \quad (2-4)$$

Dimana:

Rst : perbandingan berat udara dengan berat bahan bakar stoikiometrik

Gudst : berat udara stoikiometrik (kg)

Gbbst : berat bahan bakar stoikiometrik (kg)

Jika bertambah kecil, maka hal ini berarti bahwa bahan bakar yang dipakai terlalu banyak, atau kekerungan udara. Batas rendah dari ini dapat berbeda-beda.

2.7 Sistem Pembakaran

2.7.1 Karburator

Motor bensin merupakan kelompok motor pembakaran dalam, sehingga untuk melakukan fungsinya harus menggunakan bahan bakar untuk pembakaran. Bahan bakar bensin tersebut harus dicampur dengan udara terlebih dahulu sebelum dilakukan proses pembakaran. Untuk mencampurkan bahan bakar dengan udara secara otomatis dengan perbandingan tertentu pada suatu saat dan kondisi tertentu diperlukan karburator. Karburator di sini bisa menyediakan suatu campuran udara bahan bakar dengan perbandingan yang tetap.

2.7.2 Penyalan dan Pembakaran

System pembakaran motor bensin adalah spark ignition engine yaitu pembakaran dengan loncatandengan api listrik yang di hasikan oleh busi. Campuran udara bahan bakar yang berasal dari karburator dialirin ke dalam ruang pembakaran melalui katup isap dan kemudian di kompresikan. Pada akhir kompresi loncatan bunga api dari busi dinyalakan. Penyalan ini biasanya dinyalakan dalam derajat sudut engkol sebelum torak mencapai titik mati atas.

Pada motor bensin campuran udara bahan bakar dikompresikan sampai bahan bakar mencapai temperature pengapian. Temperature pengapian adalah temperature terendah pada saat bahan bakar dapat terbakar dengan sendiri atau dinyalakan. Jika bahan bakar telah mencapai temperature pengapian, dalam diberikan api maka terbakarlah dengan segera. Pada motor diesel dikompresikan hingga melampaui temperature bahan bakarnya, dan bahan bakar tersebut diseprotkan ke dalam udara maka terjadi pembakaran tanpa di awalin dengan nyala api.

Campuran udara bahan bakar yang menyala mula-mula terbakar di sekitar titik mati atas terdekat dari busi, kemudian ntala api merambat ke segala arah dengan kecepatanyang sangat tinggi (25 – 30) meter per detik. Waktu yang diperlukan untuk merembetkan api tersebut sangat tergantung pada kecepatan

gerak nyala api. Bensin dengan bilangan oktan yang sangat tinggi mempunyai periode yang panjang. Oleh karena itu lebih sesuai untuk motor bensin dengan perbandingan yang tinggi. Periode penundaan disini menyatakan kesabaran campuran bahan bakar - udara untuk menunggu saat dinyalakan (Wiranto Arismunandar, 1988).

2.7.3 Jenis-jenis Pembakaran

Ditinjau secara aurodinamis ada dua jenis pembakaran:

a. Pembakaran sempurna

Pembakaran sempurna disebut juga sebagai pembakaran stoikiometri. Campuran bahan bakar dan udara didalam silinder motor bensin harus jangan terbakar sendiri. Ketika busi mengeluarkan api listrik, yaitu pada saat beberapa derajat engkol sebelum tirak mencapai TMA, campuran bahan bakar dan udara yang ada disekitarnya itulah yang mula-mula terbakar. Kemudian nyala api akan merambat kesegala arah denga kecepatan yang sangat tinggi untuk menyalakan campuran yang dilalui sehingga tekanan gas didalam silinder akan naik, sesuai denagn jumlah bahan bakar yang terbakar.

b. Pembakaran tidak sempurna

Temperature pembakaran sekitar 2100 K samapai dengan 1500 K, disebabkan oleh pembakaran teratur yang lamanya kira-kira tiga mili detik (0,003 S), bersamaan dengan itu terjadinya perambatan tekanan secara teratur diatas piston. Pada peristiwa pembakaran normal, api menyala keseluuh ruang bakar dengan kecepatan konstan busi berfungsi sebagai pusat penyebaran. Dalam hal ini gas baru yang belum terbakar terdesak oleh gas yang telah terbakar, sehingga tekanan dan suhu naik mencapai sampai keadaan terbakar. jika saat ini gas tadinya terbakar dengan sendirinya, maka akan timbulnya ledakan yang disebut detonasi atau knocking yang menghasilkan gelombang kejutan beberapa suara ketukan (*knocking noise*).

Penyebab pembakaran dapat bermacam-macam, penyebab utamanya makin tinggi temperature gas pada ruang bakar yang sudah yidak memenuhi syarat, penyebab lain yang terbanyak adalah :

- Angka oktan bensin terlalu rendah;

- Penyetelan pengapian terlalu awal;
- Kurangnya pendinginan;
- Sebagian sisa pembakaran terbakar kembali;
- Perbandingan kompresi terlalu besar;
- Bentuk ruang bakar yang tidak sesuai;

Gejala detonasi yang mirip dengan degan peristiwa tersebut adalah *preignition*. Hanya saja, di dalam *pre-ignition* bahan bakar terbakar sebelum busi memberikan api. Detonasi yang berulang-ulang dalam waktu yang cukup lama dapat merusak bagian ruang bakar. Begitu juga pada proses *pre-ignition* dapat mengurangi daya dan efisiensi mesin, sedangkan tekanan maksimum gas pembakaran pun akan bertambah tinggi. Karena itu detonasi tidak dikehendaki dan harus dicegah. Seluruh campuran bahan bakar dan udara dinyalakan oleh api busi. Agar tujuan diatas tercapai adalah cara penanggulangannya adalah penyetelan sudut pengapian yang paling tepat agar tidak terjadi *pre-ignition*.

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

- a. Bahan bakar menguap secara cepat dan sempurna;
- b. Digunakan cukup udara untuk pembakaran;
- c. Adanya campuran antara bahan bakar dan udara yang homogen;
- d. Tercapainya temperature pembakaran yang cukup tinggi;

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

2.7.4 Sistem Pengapian

Pembakaran diawali dengan loncatan listrik\api antara dua elektroda busi pada akhir langkah pemampatan. Pada keadaan biasa kita mendapatkan pembakaran temperatur dimana selalu terdapat dua tahapan; yaitu bagian yang terbakar dan bagian yang tidak terbakar, keduanya dibatasi oleh api pembakaran (*fron* api). Untuk membangkitkan loncatan listrik kedua elektroda busi diperlukan

perbedaan tegangan yang cukup besar. Adanya besaran tegangan tersebut tergantung oleh beberapa faktor berikut ini:

- Perbandingan campuran bahan bakar dan udara,
- Kepadatan campuran bahan bakar dan udara,
- Jarak antara kedua elektroda dengan bentuk kedua elektroda,
- Jumlah molekul campuran yang terdapat di kedua elektroda,
- Temperature campuran dan kondisi operasi yang lain,

Perbandingan campuran bahan bakar dan udara berkisar antara 0,06-0,12. Untuk penyalan pencampuran bahan bakar dan udara yang miskin diperlukan perbedaan tegangan yang relatif lebih besar dari pada campuran yang kaya.

2.7.5 Waktu pengapian

Pengaturan waktu pengapian yang tepat merupakan hal yang penting karena masing-masing *engine* memiliki pengapian yang optimal pada kondisi standarnya (9° BTDC). Jika cetusan bunga api terlalu cepat maka akhir pembakaran akan terjadi sebelum langkah kompresi selesai sehingga tekanan yang dihasilkan kurang maksimal, hal ini disebut *direct losses*. Dan sebaliknya jika cetusan bunga api terlalu lambat maka piston sudah melakukan langkah ekspansi terbentuk tekanan yang tinggi akibat tenaga yang dihasilkan tidak maksimal. Berikut ini beberapa hal yang mempengaruhi waktu pengapian (*ignition timing*).

1. Kecepatan *engine*
dengan kecepatan *engine* maka laju pembakaran akan naik sehingga waktu penyalan akan lebih lambat,
2. Campuran bahan bakar dan udara
Semakin kaya campuran bahan bakar dan udara maka pembakaran akan lebih cepat. Sehingga waktu penyalan harus dilambatkan melalui TDC,
3. Bagian beban operasional
Presentase bagian beban operasional ditentukan oleh bukaan katup (*throttle*). Pada beban-beban sebagian waktu pengapian harus dimajukan.

4. Ignition delay

Ignition delay akan bergantung dengan jenis bahan bakar yang digunakan. Untuk mendapatkan tenaga yang maksimal maka bahan bakar dengan laju pembakaran yang lambat waktu pengapian harus dimajukan.

2.8 Nilai Panas

Reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen dari udara menghasilkan panas. Panas yang ditimbulkan kalau satu kg bahan bakar di bakar sempurna disebut nilai panas dari bahan bakar.

1. Nilai Panas Tinggi (HHV)

Nilai panas di tentukan secara eksperimen dengan *callorimeter*. Dalam instrumen ini hasil pembakaran didinginkan sampai suhu kamar, yaitu dengan sebagian besar uap air yang terbentuk oleh pembakaran *hydrogen* dari bahan bakar diembunkan dan melepaskan panas latennya. Nilai panas yang di dapatka di sebut nilai panas tinggi.

2. Nilai Panas Rendah (LHV)

Nilai panas dari bahan bakar tanpa panas laten dari penguapan disebut nilai panas rendah.

2.9 Kinerja motor Bensin

Untuk mencari atau membahas kinerja motor bensin maka terlebih dahulu kita harus mengerti dan memahami beberapa istilah sebai berikut:

1. Torsi (T)

Besar torsi suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan suata alat yang disebut *dynamometer*. *Dynamometer* ini akan menunjukkan besarnya gaya atau beban pengeraman pada poros, sehingga harga torsi didapatkan dari perkalian antara besarnya beban pengereman pada poros dengan panjang lengan yang menghubungkan timbangan dengan poros. Besarnya torsi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = F \cdot L \text{ (kg.m)} \quad (2 - 5)$$

Dimana

T : Torsi (kg.m)

F : Besar beban pada timbangan (kg)

L : Panjang lengan pada timbangan (m)

2. Daya efektif (Ne)

Daya efektif adalah daya poros engkol yang berguna untuk menggerakkan beban. Daya efektif ini dibangkitkan oleh daya indeksi, suatu daya yang dihasilkan torak, dimana sebagian daya ini dipergunakan untuk mengatasi gesekan. Dalam pengujian daya efektif didapatkan dengan mengalikan torsi (T) dengan kecepatan anguler poros (ω).

$$Ne = T \cdot \omega = T \cdot \frac{2 \lambda n}{60 \cdot 75} \quad (2-6)$$

Dimana

Ne : daya efektif (HP)

T : Torsi (kg.m)

Ω : Kecepatan anguler (rad dt^{-1})

n : Putaran mesin (rpm)

3. Komsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCE)

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif adalah banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif 1 HP selama 1 jam. Konsumsi bahan bakar diukur dengan menggunakan tabung ukur yang diketahui volumenya dan dilihat waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebesar volume tersebut. Konsumsi bahan bakar tersebut dikonversikan kedalam kg/jam dan dirumuskan sebagai berikut:

$$Fc = \frac{b}{t} \cdot \gamma \cdot f \cdot \frac{3600}{1000} \quad (\text{kg jam}^{-1}) \quad (2-7)$$

Dimana

Fc : konsumsi bahan bakar (kg jam^{-1})

B : volume bahan bakar selama t detik (ml)

T : waktu untuk menghabiskan bahan bakar selama b liter (dt)

γ : berat spesifik bahan bakar (kg l^{-1})

Sedangkan konsumsi bahan bakar spesifik efektif dirumuskan sebagai berikut:

$$SFCe = \frac{Fc}{Ne} \text{ (kg HP}^{-1} \text{ jam}^{-1}\text{)} \quad (2-8)$$

Dimana

SFCe : konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg HP⁻¹ jam⁻¹)

Fe : konsumsi bahan bakar (kg jam⁻¹)

Ne : daya efektif (HP)

4. Efisiensi termal efektif (η_{te})

Pemakaian bahan bakar spesifik efektif dapat dijadikan ukuran ekonomis dan tidaknya pemakaian bahan bakar. SFCe yang rendah menunjukkan efisiensi termal efektif yang tinggi karena efisiensi termal efektif dirumuskan dengan persamaan :

$$\eta_{te} = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot Ne}{Fc \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFCe \cdot LHV_{bb}} \text{ (%) } \quad (2-9)$$

Dimana

η_{te} : Efisiensi termal efektif (%)

Qe : Jumlah kalor yang dipergunakan untuk daya efektif (kkal kg⁻¹)

Qb : Jumlah kalor yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan udara (kkal kg⁻¹)

Ne : Daya efektif (HP)

Fc : Konsumsi bahan bakar (kg jam⁻¹)

LHV_{bb} : Nilai kalor rendah bahan bakar (kkal kg⁻¹)

SFCe : Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg HP⁻¹jam⁻¹)

2.10 Bensin Premium

Bensin (*gasoline*) merupakan salah satu jenis bahan bakar yang diperoleh dari hasil pemurnian minyak bumi, didalam terkandung berupa unsure-unsur karbon dan *hydrogen*. Jadi dikatakan sebagai bensin bukanlah satu substansi tunggal atau salah satu jenis hidrokarbon spesifik murni melainkan berupa campuran beberapa unsur dan senyawa olefin, parafin, naptalen, dan hidrokarbon aromatic yang terbentuk saat pemurnian minyak bumi (*crude oil*). Angka oktan dan karakteristik lainnya tergantung pada komposisi campuran bensin terdiri campuran *hydrogen* dengan perbandingan berat sekitar 15 persen *hydrogen* dan 85

persen karbon. Bensin cair kasar tidak akan terbakar, harus diuapkan dan dicampurkan dengan udara yang cukup agar tersedia oksigen saat pembakaran.

Bensin mempunyai nilai pembakaran yang tertinggi dibandingkan bahan bakar motor pada umumnya, dengan lebih dari dua kali lipat energi tiap pound alcohol. Apabila pembuatan senjata api menggunakan bahan bakar dasar untuk ledakan yang berasal dari campuran bahan bakar-udara maka meraka akan memilih bensin. Dan pada saat kondisi lingkungan tersedia banyak oksigen, sangat sulit untuk menandingin bensin dalam hal menghasilkan energi.

Tabel 2. berikut ini ditunjukkan antara suhu fraksi penyulingan dari macam-macam bahan bakar dengan hasil yang diperoleh.

(a) Produk	Fraksi suhu Destilasi (°C)	Berat jenis (kg/liter)
Gasoline	50-220	0,74
Kerosine	170-250	0,78-0,83
Light oil	200-340	0,82-0,86
Heavy oil	250-3600	0,91-0,99
Petroleum pitch	—	—

Sumber: lembaran pulikasi LEMIGAS no 4\1987

Tabel 3 spesifikasi dari bensin premium

Sifat	Unit	Batas		Metode tes ASTM
		Min	Maks	
1. Berat jenis	Gr/cc	—	00,7356,7356	D 1298
2. Angka oktan	—	87	—	D 1298
3. Kadar TEL (m/s)	TEL/AG	—	2,5	D 526
4. Distilasi	—	—	—	D 86
5. 10% Vol Evap	⁰ C	—	74	—
6. 50% Vol Evap	⁰ C	88	125	—
7. 90% Vol Evap	⁰ C	—	180	—
8. 20% Vol Evap	⁰ C	8	—	—
9. Residu	%	—	2,0	—
10. tek. Uap rata-rata 10%°F	—	—	9,0	—
11. Warna	—	—	—	Kuning

12. Periode induksi	Menit	240	–	D 525
13. Kadar sulfur	% Wt	–	0,2	D 484
14. Kadar cooper strip cor	% Wt	–	0,2	–
15. Kadar marcapatan sulfur	% Wt	–	–	D 1219

Sumber: lembaran publikasi LEMIGAS no 4\1987

Tabel 4 Sifat-sifat bahan bakar bensin premium

sifat	Unit	besaran
Density	Lb\gal	5,9 - 6,4
	Gr\cc	0,17 – 0,77
	Btu\gal	110,000 – 116.000
Nilai kalor rendah	Kcal\lt	7400 -7700
Panas laten penguapan	Btu\gal	900
Penguapan	Kcal\lt	60
Penguapan titik didih	$^{\circ}$ F	90 -430
	$^{\circ}$ C	32 -221
Tekanan uap rata-rata	Psi	16 – 15
	Kpa	41 -103
Rasio A\F stoikiometri	Lb\lb	14 -15
Angka oktan	–	82 -92

Sumber: lembaran publikasi LEMIGAS no 4\1987.

2.11 Bensin-metanol

baik bensin maupun methanol, keduanya merupakan zat kimia yang mudah terbakar sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar. Akan tetapi keduanya mempunyai sifat yang berbeda. Jika bensin merupakan salah satu keluarga benzena yaitu senyawa hidrokarbon dengan rumusan kimia C_8H_{15} , sedangkan methanol adalah salah satu jenis alcohol ringan dengan rumusan kimia CH_3OH . Apabila bensin methanol dicampurkan tentunya merubah sifat keduanya.

2.11.1 Sifat Campuran Bensin-metanol

Methanol merupakan *alcohol* ringan yang larutan dalam air mudah menarik air dalam perbandingan berapapun. Oleh karena itu dalam pencampuran bensin dengan methanol sistem harus benar-benar bebas dari kontaminasi air.

Apabila campuran bensin-metanol mengalami kontak yang melebihi batas toleransinya maka akan terjadi pemisahan sebagian dari methanol karena terekstrak oleh air sehingga terbagi menjadi dua fase yang berbeda. Fase bagian atas akan lebih banyak mengandung hidrokarbon dan fase bagian bawah lebih banyak mengandung methanol dan air. Lapisan bawah tanah tersebut tidak dapat digunakan sebagai bahan bakar karena dapat mematikan mesin saat mencapai carburetor. Selain itu campuran bensin-metanol dapat menyebabkan korosi pada baja. Logam yang umumnya digunakan sebagai bahan karburator dan komponen mesin lainnya.

Toleransi air dalam suatu sistem alkohol-hidrokarbon adalah jumlah maksimum air didalam campuran dan dapat larut pada temperature tertentu. Toleransi dari campuran bensin-alkohol tergantung pada temperature, jenis dan konsentrasi alkohol serta karakteristik bensin terutama kandungan aromatiknya

a. Pengaruh temperature terhadap nilai toleransi air

Kecenderungan toleransi air akan naik dengan kenaikan temperature.

b. Pengaruh jenis dan kadar alkohol terhadap toleransi air

Jenis dan jumlah senyawa alkohol yang dipakai sebagai bahan campuran di dalam bensin dapat mempengaruhi nilai toleransi terhadap air. Dengan naiknya kadar alkohol yang ditambahkan kadar bensin akan menaikkan nilai toleransi air.

c. Pengaruh karakteristik bensin khususnya kandungan amoniak terhadap toleransi air.

Semakin besar kandungan aromatic maka toleransi terhadap air akan semakin naik pula.

2.11.2 Nilai Kalor dan Angka Oktan Bensin-metanol

Apalagi ditinjau dari segi nilai kalor, bahan bakar bensin-metanol secara teoritis akan menurun, hal ini terjadi karena rendahnya nilai kalor yang terkandung

dalam methanol. Hal ini dapat dilihat pada tabel methanol secara acuan untuk menentukan nilai kalor bahan campuran bensin dan alkohol, dan karena tidak diuji maka penentuan kalor hanya dilakukan dengan melakukan perhitungan kuantitatif. Secara teoritis antara campuran bensin premium dengan methanol akan menurunkan karakteristik prestasi motor bakar, maka mutu bakar pada bahan bakar ditentukan besar kecilnya angka oktan. Dengan perhitungan kuantitatif penambahan methanol pada bensin premium dapat meningkatkan angka oktan bahan bakar campuran tersebut dibandingkan angka oktan bensin murni tanpa tambahan apapun, sehingga mutu bahan bakar yang dihasilkan akan lebih baik. Perhitungan kuantitatif apabila dimasukkan kadar methanol yang ditambah dalam bahan bakar bensin premium dengan perbandingan 80 ; 20 adalah sebagai berikut:

Angka oktan riset:

Bensin premium : 87

Methanol : 112

Didapat angka oktan campuran :

$$\frac{(80 \cdot 87) + (20 \cdot 112)}{100} = 92$$

Hanya saja karakteristik mesin yang sebelumnya hanya disetel untuk digunakan bahan bakar bensin murni kemungkinan akan mengalami penurunan pada kinerja kerja apabila ditambahkan methanol dengan kadar tertentu. Oleh karena itu perlu dicari beberapa besar methanol yang bisa ditambahkan kedalam bahan bakar bensin agar tidak mengurangi kinerja mesin secara keseluruhan.

Kandungan energi pada tiap-tiap bahan bakar ditunjukkan pada tabel 2.5, sedangkan sifat-sifat fisis dan termis methanol ditunjukkan pada tabel 2.6 berikut:

Tabel 5. Perbandingan Energi pada tiap-tiap Bahan Bakar.

Fuel tipe	BTU/Gallon
Petrol	125000
LPG	95475
Diesel fuel oil	138690
Residential oil	149690
Ethanol	84400
Methanol	62800
Gasohol (10% etanol + 90% petrol)	120900

Sumber: lembaran Publikasi LEMIGAS no 4/ 1987.

Tabel 6. Sifat-sifat fisis dan Thermis Methanol.

Keterangan	Unit	Besar
Rumus kimia	–	CH ₃ OH
Nilai kalor rendah	Kcal/it	3800
Panas laten penguapan	–	200
Tekanan uap rata-rata	Psi	6,0
Angka oktan	–	112
Berat jenis	gr/cm ²	0,7924
Berat molekul	–	32,042
Kelarutan dalam air	–	Larut
Rasio A/F stoichiometri	Ib/b	6,4

Sumber: lembaran Publikasi LEMIGAS no 4/ 1987.

2.12 Hipotesa

Dengan adanya persamaan diatas, maka kami mempunyai hipotesa sebagai berikut:

“Waktu penyalaan yang semakin besar pada motor bahan bakar bensin empat langkah akan memberikan dampak pada peningkatan kinerja motor bensin empat langkah tersebut dan akan mengurangi emisi gas buang sehingga ramah terhadap lingkungan.”

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah metode penelitian experimental semu yang dipergunakan untuk mengetahui pengaruh putaran motor bensin dan pengaruh variasi waktu terhadap karakteristik kinerja motor bakar bensin empat langkah dengan menggunakan methanol 10%. Kinerja motor bakar bensin empat langkah tersebut meliputi: torsi (T), daya efektif (Ne), konsumsi bahan bakar spesifik relatif (SFCe), dan efisiensi thermal efektif (η_{te}).

3.2 Benda uji dan peralatan Bantu

3.2.1 Peralatan Bantu Uji

Peralatan bantu uji yang dipergunakan kali ini meliputi:

1. Campuran bahan bakar bensin 90% dengan methanol 10%
2. Motor bensin empat langkah dengan spesifikasi:
 - Merk mesin : Datsun, Tokyometer Co,Ltd
 - Model : GWE-80-100-HS.AV
 - Jumlah silinder : 4
 - Volume silinder : 1567 cc
 - Diameter silinder : 78mm
 - Panjang langkah : 82mm
 - Daya poror maksimum : 80 HP\1500 rpm
 - System pengapian : CDI elektronik (tanpa platina)
 - Bahan bakar : bensin premium

3.2.2 Peralatan Bantu

Peralatan Bantu yang dipergunakan dalam penelitian ini meliputi :

1. Dinamometer: digunakan untuk mengukur torsi mesin
2. Tachometer: digunakan untuk mengukur putaran mesin.

3. Tabung pengukuran bahan bakar: tabung pengukuran ini berisi sejumlah bahan bakar dengan volume tertentu dan digunakan untuk mengukur konsumsi bahan bakar yang telah dipakai selama pengujian.
4. Stop watch: digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan motor bensin untuk menghabiskan bahan bakar dengan volume tertentu.
5. Barometer: digunakan untuk mengukur tekanan udara ruang selama penelitian.
6. Thermometer: digunakan untuk mengukur suhu ruangan selama penelitian.
7. Timbangan: digunakan untuk mengukur berat spesifik bahan bakar.
8. Calorimeter: digunakan untuk mengukur nilai kalor rendah bahan bakar.
9. Jerigen dan selang.

3.3 Variabel penelitian

Variable penelitian yang dipergunakan terdiri atas variable bebas dan variable terikat.

1. Variable Bebas

Variable bebas adalah variable yang nilainya bebas ditentukan, variable bebas disini meliputi:

- Waktu penyalaan : Sudut pengapian diambil 5° , 7° , 9° , 11° , dan 13° .
- Putaran motor bensin : diambil 1300, 1800, 2300, 2800, dan 3300 rpm.
- Objek penelitian yang digunakan: campuran antara bensin 90% dan metanol 10%.

2. Variasi terikat

Variasi terikat adalah variable yang nilainya tergantung dari variabel bebasnya, yaitu:

- Bensin 90% ditambah methanol 10%
- Torsi (T)
- Daya efektif (Ne)
- Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCE)
- Efisiensi termal efektif (η_{te})

3.4 Tempat penelitian

Penelitian terhadap kinerja motor bakar empat langkah dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilaksanakan memulai tahap sebagai berikut:

1. Persiapan peralatan pengujian serta penyetingan mesin dalam kondisi baik.
2. Persiapan bahan bakar dengan pencampuran bensin 90% ditambah methanol 10%.
3. Menghidupkan mesin dan membiarkan selama 10 sampai dengan 15 menit hingga diperkirakan kondisi perputaran mesin menjadi stabil.
4. Proses pengambilan data dengan tahapan:
 - Tahap pertama: Pengambilan data dilakukan pada peralatan utama yang dilengkapi peralatan bantu dengan waktu penyalaan standart 9° . Pengambilan data dilakukan atau dimulai pada putaran 1000 sampai dengan 3000 rpm dengan kenaikan putaran sebesar 500rpm. Untuk memperoleh data yang diteliti dilakukan mengulang sebanyak 3 (tiga) kali.
 - Tahap kedua: Analog dengan tahap pertama, hanya saja dengan melakukan variasi waktu penyalaan 5° , 7° , 11° , dan 13° (9° waktu standart).
5. Data yang dicatat meliputi:
 - Putaran motor bensin (rpm),
 - Gaya pengeraman (kg),
 - Waktu untuk menghabiskan bahan bakar dengan volume tertentu (dt)

3.6 Analisis Statistika

Untuk mengelolah data yang diperoleh menggunakan analisis variasi dua arah. Dengan analisis variasi dua arah akan diketahui ada tidaknya pengaruh dari variasi putaran motor bensin (faktor A) dan pengaruh variasi penambahan methanol dalam bahan bakar bensin (faktor B) serta pengaruh interaksi keduanya (faktor AB) terhadap kinerja motor bensin empat langkah.

Faktor A mempunyai level A_1, A_2, \dots, A_r dan faktor B mempunyai level B_1, B_2, \dots, B_c . Jumlah pengamatan tiap sel adalah tiap kali dari rancangan dua kategori A dan B serta masing-masing katagori terdiri atas r dan c level. Bila pengaruh interaksi antara faktor A pada level ke i ban faktor B pada level ke j dinyatakan dengan $(\alpha\beta)_{ij}$. Maka nilai setiap pengamatan ditulis dengan model matematika sebagai berikut:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (3-1)$$

Dimana

Y_{ij} : Nilai setiap pengamatan

μ : Nilai rata-rata dari seluruh pengamatan

α_i : Pengaruh faktor A ke i

β_j : Pengaruh faktor B ke j

$(\alpha\beta)_{ij}$: Pengaruh interaksi faktor A ke i dan faktor B ke j

ϵ_{ijk} : simpangan pengamatan

yang akan kita uji dari kejadian ini adalah :

1. α : Pengaruh (efek) dari faktor A.
2. β : Pengaruh (efek) dari faktor B.
3. $(\alpha\beta)$: Pengaruh interaksi dari faktor A dan faktor B.

Adapun pengaruh hipotesa yang dipergunakan sebagai berikut:

1. $H_{01} : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i$ (Tidak ada pengaruh variasi putaran mesin terhadap torsi, daya efektif, kosumsi bahan bakar spesifik efektif dan efisiensi termal efektif motor bensin empat langkah)

H_{11} : paling sedikit satu $\alpha_i \neq 0$ (Ada pengaruh variasi putaran mesin terhadap torsi, daya efektif, kosumsi bahan bakar spesifik efektif dan efisiesi termal efektif motor bensin empat langkah).

2. $H_{02} : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j$ (Tidak ada pengaruh variasi penambahan methanol dalam bahan bakar bensin terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif dan efisiensi termal efektif motor bensin empat langkah).

H_{12} : paling sedikit satu $\beta_j \neq 0$ (ada pengaruh variasi penambahan methanol dalam bahan bakar bensin terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif dan efisiensi termal efektif motor bensin empat langkah).

3. $H_{03} : (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij}$ (Tidak ada pengaruh variasi putaran mesin dengan penambahan methanol dalam bahan bakar bensin terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif dan efisiensi termal efektif motor bensin empat langkah).

H_{13} : paling sedikit satu $(\alpha\beta)_{ij} \neq 0$ (adanya pengaruh variasi putaran mesin dengan penambahan methanol dalam bahan bakar bensin terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif dan efisiensi termal efektif motor bensin empat langkah).

Tabel 7. Rancangan pengamatan model arah dengan ulangan.

Faktor		B					∑ baris	Rata-rata
		B ₁	...	B _j	...	B _e		
A	A ₁	Y ₁₁₁		Y _{1jt}		Y _{1c1}	T _{1...}	$\bar{Y}_{1...}$
		Y ₁₁₂		Y _{1j2}		Y _{1c2}		
			
		Y _{11t}		Y _{1j3}		Y _{1ct}		
	A _i	Y _{i11}		Y _{ij1}		Y _{ic1}	T _{i...}	$\bar{Y}_{i...}$
		Y _{i12}		Y _{ij2}		Y _{ic2}		
			
		Y _{i1t}		Y _{ijt}		Y _{ict}		
	A _r	Y _{r11}		Y _{rj1}		Y _{rc1}	T _{r...}	$\bar{Y}_{r...}$
		Y _{r12}		Y _{rj2}		Y _{rc2}		
			
		Y _{r1t}		Y _{rjt}		Y _{rct}		
∑ kolom		T _{.1.}		T _{.j.}		T _{.c.}	T _{...}	
Rata-rata		$\bar{Y}_{.1.}$		$\bar{Y}_{.j.}$		$\bar{Y}_{.c.}$	$\bar{Y}_{...}$	

Sumber: : Ir. M. hifni, 1991 ,76

Didalam perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

1. Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t (Y_{ijk} - \bar{Y} \dots)^2 \quad (3-2)$$

2. Jumlah kuadrat faktor A (JKA)

$$JKA = ct \sum_{i=1}^r (\bar{y}_{i..} - \bar{Y} \dots)^2 \quad (3-3)$$

3. Jumlah kuadrat faktor B (JKB)

$$JKB = rt \sum_{j=1}^c (\bar{Y} \dots_j - \bar{Y} \dots)^2 \quad (3-4)$$

4. Jumlah pengaruh interaksi faktor A dan faktor B (JKAB)

$$JKAB = t \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c (\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y} \dots_j + \bar{Y} \dots)^2 \quad (3-5)$$

5. jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t (Y_{ijk} - \bar{Y}_{ij.})^2 \quad (3-6)$$

Apabila masing-masing suku dibagi dengan suatu 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:

1. Kuadrat tengah faktor A (KTA)

$$KTA = \frac{JKA}{(r-1)} \quad (3-7)$$

2. Kuadrat tengah faktor B (KTB)

$$KTB = \frac{JKB}{(c-1)} \quad (3-8)$$

3. Kuadrat tengah interaksi faktor A dan faktor B (KTAB)

$$KTAB = \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)} \quad (3-9)$$

4. Kuadrat tengah galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{rc(t-1)} \quad (3-10)$$

Untuk menguji ketiga hipotesa diatas kita mencari harga F_{hitung} masing-masing sumber keragaman (faktor A, faktor B dan interaksi faktor AB) 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:

1. F_{hitung} dari faktor A

$$F_A \text{ hitung} = \frac{KTA}{KTG} \quad (3 - 11)$$

2. F_{hitung} dari faktor B

$$F_B \text{ hitung} = \frac{KTB}{KTG} \quad (3 - 12)$$

3. F_{hitung} dari interaksi faktor AB

$$F_{AB} = \frac{KTAB}{KTG} \quad (3 - 13)$$

Tabel 8. rancangan analisis variasn

Sumber keragaman	Db	JK	KT	F_{hitung}
Faktor A	(r-1)	JKA	KTA	$F_{Ahitung}$
Faktor	(c-1)	JKB	KTB	$F_{Bhitung}$
Interaksi faktor AB	(r-i)(c-1)	JKAB	KTAB	$F_{ABhitung}$
Galat	rc(t-1)	JKG	KTG	
Total	$Rct-1$	JKT		

Sumber: Ir. M. hifni, 1991 ,76

Untuk mempermudah pelasaan perhitungan biasanya tabel 2 dibuat sebagai berikut:

Tabel 9. penyederhanaan model dua arah dengan ulangan

Faktor		B				
		B1	Bj	...	Bc	Σ
A	A1	T11.	T1j.	...	T1c.	T1..
	Ai	Ti1	Tij.	...	Tic	Ti..

	Ar	Tr1	Trj.	...	Trc	Tr..
	Σ	T.1.	Tj.	...	T.c.	T...

Sumber: Ir. M. hifni, 1991, 76

Dari tabel tersebut diatas rumus-rumus perhitungannya juga menjadi lebih sederhana lagi yaitu:

1. Faktor koreksi (FK)

$$FK = \frac{i}{rct} (T \dots)^2 \quad (3 - 14)$$

2. Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2 - FK \quad (3 - 15)$$

3. Jumlah kuadrat faktor A (JKA)

$$JKA = \frac{1}{ct} \sum_{i=1}^r T_{i..}^2 - FK \quad (3 - 16)$$

4. Jumlah kuadrat faktor B (JKB)

$$JKB = \frac{1}{rt} \sum_{j=1}^c T_{.j}^2 - FK \quad (3 - 17)$$

5. Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c Y_{ij}^2 - FK \quad (3 - 18)$$

6. Jumlah kuadrat interaksi faktor A dan faktor B (JKAB)

$$JKAB = JKP - JKA - JKB \quad (3 - 19)$$

7. Jumlah kuadrat galat (JKG)

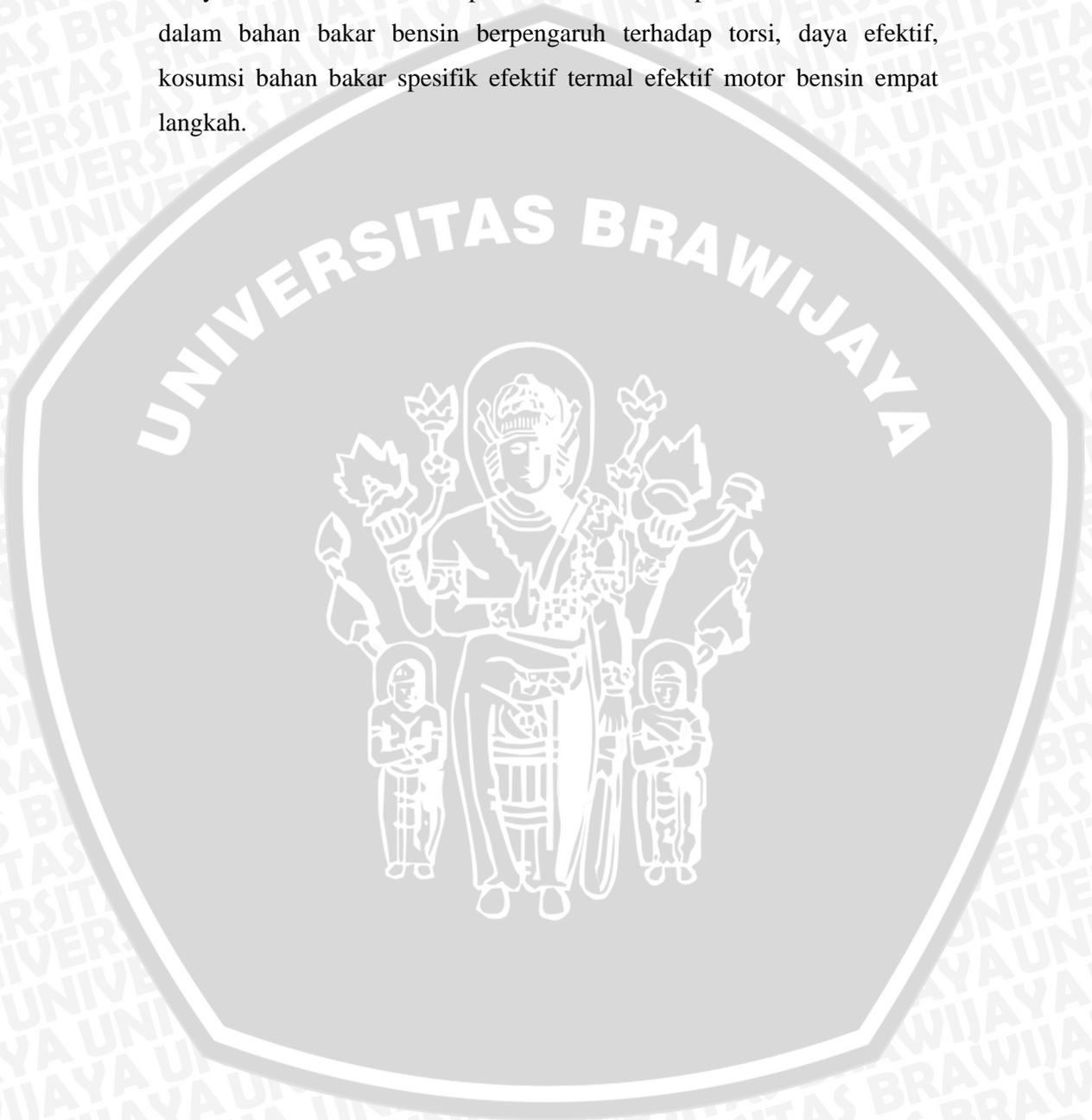
$$JKG = JKT - JKA - JKB - JKAB \quad (3 - 20)$$

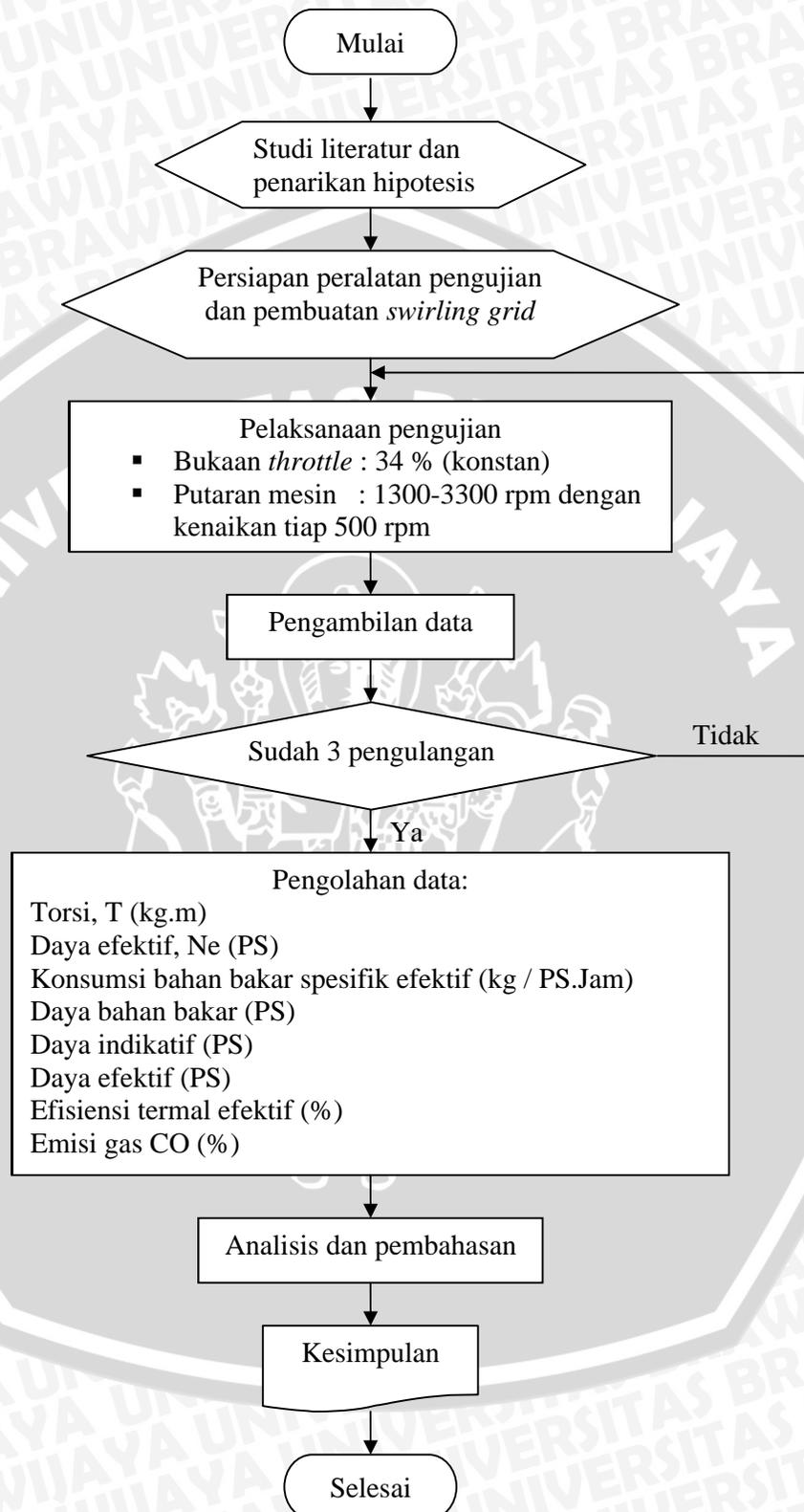
Kesimpulan yang diperoleh:

1. Bila FA hitung > FA tabel, maka H₀₁ ditolak dan H₁₁ diterima, ini menyatakan bahwa variasi putaran mesin berpengaruh terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif termal efektif motor bensin empat langkah.
2. Bila FB hitung > FB tabel, maka H₀₂ ditolak dan H₁₂ diterima, ini menyatakan variasi penambahan methanol dalam bahan bakar bensin

berpengaruh torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif termal efektif motor bensin empat langkah.

3. Bila FAB hitung $>$ FAB tabel, maka H_{03} ditolak dan H_{13} diterima, ini menyatakan bahwa variasi putaran mesin dan penambahan methanol dalam bahan bakar bensin berpengaruh terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif termal efektif motor bensin empat langkah.





BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Data

4.1.1. Data-Data Pengujian

Pengujian	: Variasi Waktu Pengapian
Bukaan throttle	: 34%
Temperatur bola kering	: 30 ⁰ C
Temperature bola basah	: 28 ⁰ C
Tekanan udara saat pengujian	: 715 cm Hg
Kelembaban udara	: 85%
Volume bahan bakar (b)	: 30 ml
LHV Bahan BakarBensin + methanol 10%	: 8500kkal/kg.

Tabel Data-Data pengujian

Tabel 10. Torsi yang dihasilkan.

Putaran (rpm)	Torsi sudu 5 ⁰ (kg.m)	Torsi sudu 7 ⁰ (kg.m)	Torsi sudu 9 ⁰ (kg.m)	Torsi sudu 11 ⁰ (kg.m)	Torsi sudu 13 ⁰ (kg.m)
1300	6.5335	6.623	6.981	6.444	6.086
	6.623	6.623	6.981	6.444	6.086
	6.623	6.623	6.802	6.3545	6.086
Rata-Rata	6.5931	6.623	6.9213	6.411	6.086
1800	5.728	5.8175	5.728	5.9965	5.728
	5.549	5.8175	5.728	5.6385	5.549
	5.549	5.8175	5.728	5.728	5.37
Rata-Rata	5.6086	5.8175	5.728	5.7876	5.549
2300	4.2065	4.296	4.475	4.475	4.117
	4.117	4.296	4.296	4.475	4.117
	4.2065	4.296	4.296	4.5645	4.117
Rata-Rata	4.176	4.296	4.3556	4.6848	4.117
2800	3.043	3.222	3.043	3.401	2.864
	3.043	3.222	3.043	3.401	2.7745

	3.043	3.222	3.043	3.401	2.864
Rata-Rata	3.043	3.222	3.222	3.401	2.8341
3300	1.8795	2.148	1.969	2.2375	1.969
	1.969	2.148	1.969	2.148	2.0585
	1.969	2.2375	1.969	2.148	2.0585
Rata-Rata	1.9319	2.1778	1.969	2.1778	2.0285

Tabel 11. Daya efektif yang dihasilkan

Putaran (rpm)	Ne sudu 5 ⁰ (HP)	Ne sudu 7 ⁰ (HP)	Ne sudu 9 ⁰ (HP)	Ne sudu 11 ⁰ (HP)	Ne sudu 13 ⁰ (HP)
1300	11.85919	12.02164	12.67146	11.69673	11.04691
	12.02164	12.02164	12.67146	11.69673	11.04691
	12.02164	12.02164	12.34655	11.53428	11.04691
Rata-Rata	11.96749	12.0214	12.5631	11.69673	11.04691
1800	14.39598	14.62092	14.39598	15.07079	14.39598
	13.9461	14.62092	14.39598	14.17104	13.9461
	13.9461	14.67778	14.39598	14.39598	13.49623
Rata-Rata	14.09606	14.639873	14.39598	14.46679	13.94614
2300	13.50873	13.79615	14.37099	14.37099	13.22131
	13.22131	13.79615	13.79615	14.37099	13.22131
	13.50873	13.79615	13.79615	14.65841	13.22131
Rata-Rata	13.4129	13.79615	13.89668	14.46679	13.22131
2800	11.89668	12.59648	11.89668	13.29629	11.19687
	11.89668	12.59648	11.89668	13.29629	10.84697
	11.89668	12.59648	11.89668	13.29629	11.19687
Rata-Rata	11.89668	12.59648	11.89668	13.29629	11.08023
3300	8.660081	9.897235	9.072466	10.30962	9.072466
	9.072466	9.897235	9.072466	9.897235	9.484851
	9.072466	10.30962	9.072466	9.897235	9.484851
Rata-Rata	8.9350	10.346	9.072456	10.03469	9.34738

Tabel 12. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif yang dihasilkan

Putaran (rpm)	η_{th} sudu 5^0 (kg $HP^{-1}jam^{-1}$)	η_{th} sudu 7^0 (kg $HP^{-1}jam^{-1}$)	η_{th} sudu 9^0 (kg $HP^{-1}jam^{-1}$)	η_{th} sudu 11^0 (kg $HP^{-1}jam^{-1}$)	η_{th} sudu 13^0 (kg $HP^{-1}jam^{-1}$)
1300	0.274326	0.276511	0.281549	0.277	0.31725
	0.273533	0.270729	0.270487	0.274646	0.312967
	0.2749	0.273307	0.267554	0.281591	0.305126
Rata-Rata	0.274253	0.2735156	0.273196	0.277456	0.3317923
1800	0.271494	0.266923	0.268715	0.263226	0.282482
	0.274309	0.267845	0.264462	0.274452	0.278333
	0.276844	0.26813	0.256586	0.270164	0.299625
Rata-Rata	0.2742156	0.267632	0.2632543	0.2692806	0.286813
2300	0.319359	0.300773	0.30036	0.307552	0.314014
	0.33171	0.333166	0.298587	0.301015	0.333812
	0.323758	0.321261	0.296129	0.293196	0.317166
Rata-Rata	0.3249423	0.3184	0.2983586	0.3005876	0.321694
2800	0.431874	0.369388	0.359701	0.345491	0.398285
	0.389064	0.371347	0.365814	0.345892	0.408836
	0.383474	0.374214	0.354352	0.347502	0.406507
Rata-Rata	0.4014706	0.3716496	0.3599556	0.346295	0.404526
3300	0.532609	0.494173	0.504297	0.464111	0.535414
	0.505462	0.491749	0.486898	0.483741	0.49846
	0.529634	0.490109	0.529634	0.477122	0.514391
Rata-Rata	0.5225683	0.4920103	0.506943	0.4749913	0.5160883

Tabel 13. Konsumsi bahan bakar yang dihasilkan

Putaran (rpm)	FC sudu 5^0 (kg $^{-1}jam^{-1}$)	FC sudu 7^0 (kg $^{-1}jam^{-1}$)	FC sudu 9^0 (kg $^{-1}jam^{-1}$)	FC sudu 11^0 (kg $^{-1}jam^{-1}$)	FC sudu 13^0 (kg $^{-1}jam^{-1}$)
1300	3.25328	3.324121	3.56764	3.24	3.457317
	3.28832	3.254613	3.42746	3.212465	3.370701
	3.30475	3.285596	3.30337	3.247954	4.066598
Rata-Rata	3.2821167	3.28811	3.432823	3.233473	3.631538
1800	3.90842	3.902655	3.86842	3.967019	3.881663

	3.82554	3.916132	3.80719	3.88927	4.04381
	3.36089	3.935548	3.69831	3.88927	4.151674
Rata-Rata	3.698283	3.924583	3.79130	3.725	4.025715
2300	4.31413	4.149503	4.31648	4.419822	4.405105
	4.38564	4.59641	4.11936	4.325886	4.193344
	4.37355	4.432161	4.08543	4.29778	4.459551
Rata-Rata	4.357	4.392691	4.173775	4.34783	4.3527
2800	5.13786	4.652989	4.27925	4.59375	4.434637
	4.62857	4.677666	4.35197	4.599073	4.551606
	4.56207	4.713777	4.21561	4.620489	4.551606
Rata-Rata	4.77616	4.681477	4.28227	4.604437	4.512616
3300	4.61243	4.890943	4.57522	4.78481	4.855046
	4.58579	4.866953	4.41736	4.787696	4.727814
	4.80508	5.052833	4.80508	4.722189	4.878918
Rata-Rata	4.66776	4.936909	4.59922	4.793936	4.82059

Tabel 14. Efisiensi Thermal efektif

Putaran (rpm)	η_e sudu 5 ⁰ (%)	η_e sudu 7 ⁰ (%)	η_e sudu 9 ⁰ (%)	η_e sudu 11 ⁰ (%)	η_e sudu 13 ⁰ (%)
1300	29.59437	29.36043	28.83507	29.3086	25.59019
	29.6801	29.98748	30.01439	29.55981	25.94043
	29.53256	29.70469	30.34337	28.83075	26.60702
Rata-Rata	29.60234	29.6842	29.73094	29.23305	26.04588
1800	29.90305	30.41514	30.21224	30.84235	28.73991
	29.59616	30.31047	30.69811	29.58075	29.16826
	29.32516	30.27823	31.6404	30.05028	27.0955
Rata-Rata	29.60812	30.33461	30.85025	30.15779	28.3345
2300	25.42123	26.99213	27.02917	26.39716	25.85393
	24.4747	24.3677	27.18967	26.97037	24.36652
	25.07583	25.27073	27.41542	27.68968	25.59702
Rata-Rata	24.99058	25.54353	27.44709	27.01907	25.27249

2800	18.7983	21.97823	22.57012	23.49841	20.38361
	20.86672	21.86228	22.19294	23.47121	19.85756
	21.1709	21.6948	22.9108	23.36242	19.97136
Rata-Rata	20.27864	21.845103	22.5579	23.44401	20.07084
3300	15.24289	16.42846	16.09864	17.49256	15.17076
	16.06152	16.50944	16.67392	16.78274	16.28717
	16.06152	17.19733	16.67392	16.78274	16.28717
Rata-Rata	15.78864	16.711743	16.48216	17.01934	15.91713

Tabel 15. Emisi gas CO

Putaran (rpm)	CO sudu 5 ⁰ (%)	CO sudu 7 ⁰ (%)	CO sudu 9 ⁰ (%)	CO sudu 11 ⁰ (%)	CO sudu 13 ⁰ (%)
1300	0.722	0.695	0.602	0.37	1.079
	0.45	0.675	0.633	0.353	1.101
	0.667	0.569	0.666	0.423	1.135
Rata-Rata	0.613	0.646	0.639	0.382	1.105
1800	0.285	0.283	0.25	0.253	0.287
	0.276	0.271	0.283	0.226	0.17
	0.284	0.317	0.373	0.232	0.18
Rata-Rata	0.282	0.290	0.302	0.237	0.212
2300	0.4	0.421	0.252	0.39	0.294
	0.441	0.383	0.225	0.33	0.278
	0.445	0.469	0.224	0.358	0.286
Rata-Rata	0.428	0.424	0.233	0.359	0.286
2800	0.57	0.6	0.272	0.421	0.404
	0.598	0.553	0.266	0.449	0.422
	0.592	0.644	0.25	0.449	0.42
Rata-Rata	0.586	0.599	0.262	0.439	0.415
3300	0.714	0.773	0.335	0.609	0.619
	0.731	0.791	0.34	0.609	0.636
	0.724	0.742	0.341	0.641	0.616
Rata-Rata	0.723	0.768	0.338	0.619	0.623

Tabel 16. Emisi Gas HC

Putaran (rpm)	HC sudu 5 ⁰ (ppm)	HC sudu 7 ⁰ (ppm)	HC sudu 9 ⁰ (ppm)	HC sudu 11 ⁰ (ppm)	HC sudu 13 ⁰ (HP)
1300	164	182	231	137	140

	190	183	227	147	164
	197	193	230	160	169
Rata-Rata	183.6	186	229.3	148	157.6
	163	169	196	154	147
1800	168	165	198	150	146
	169	164	198	156	144
Rata-Rata	166.6	166	197.3	153.3	145.6
	161	146	135	156	153
2300	157	151	133	156	150
	157	155	132	152	148
Rata-Rata	158.3	150.6	133.3	154.6	150.3
	159	152	131	150	143
2800	154	149	125	149	142
	160	151	120	150	141
Rata-Rata	157.6	150.6	125.3	149.6	142
	165	144	111	138	126
3300	174	148	106	140	128
	162	142	105	135	122
Rata-Rata	167	144.6	107.3	137.6	125.3

4.1.2 Perhitungan Data

Dari hasil pengujian dapat dilakukan pengolahan data, sebagai contoh perhitungan diambil data dari pengujian variasi waktu pengapian dengan kadar methanol 10% terhadap torsi, daya efektif, daya efisiensi, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, karakteristik kinerja, pada motor bakar empat langkah. Adapun data yang diambil sebagai berikut:

Contoh perhitungan hasil pengujian bahan bakar campuran bensin dengan methanol 10% adalah sebagai berikut:

- Putaran mesin (n) : 1300 rpm,
- Volume bahan bakar : 30ml
- Besar beban pada timbangan (F) : 18,5 kg
- Waktu menghabiskan bahan bakar : 24.4 dt

- Panjang lengan pada timbangan (L) : 0.358m
- Berat spesifik bahan bakar : 0.735 ml/gr
- Nilai kalor rendah bahan bakar + methanol 10% : 8500kkal/kg

Dari hasil data pengujian motor bakar bensin empat langkah pada tabel 4.1.1 didapatkan nilai dari:

1. Torsi (T)

$$\begin{aligned} \text{Torsi (T)} &= F.L \\ &= 18,5 \cdot 0,358 \\ &= 6,5335 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

2. Daya Efektif (Ne)

$$\begin{aligned} \text{Ne} &= \frac{T.n}{716,2} \text{ (HP)} \\ &= \frac{6,5335 \cdot 1300}{716,2} \\ &= 11,859 \text{ HP} \end{aligned}$$

3. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFCe)

$$\begin{aligned} \text{FC} &= \frac{b}{t} \cdot \gamma \cdot \frac{3600}{1000} \text{ (kg jam}^{-1}\text{)} \\ &= \frac{30}{24,4} \cdot 0,735 \cdot \frac{3600}{1000} \\ &= 3,253 \text{ kg jam}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SFCe} &= \frac{\text{FC}}{\text{Ne}} \text{ (kg HP}^{-1} \text{ jam}^{-1}\text{)} \\ &= \frac{2,253}{11,859} \end{aligned}$$

$$= 0.274 \text{ kg HP}^{-1}\text{jam}^{-1}$$

4. Efisiensi Termal Efektif (η_{te})

$$\eta_{te} = \frac{632}{SFCE.LHV_{bb}} (\%)$$

$$= \frac{632}{0,274.8725}$$

$$= 26.4\%$$

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

4.1.3 Analisis Statististik

Dari data-data yang diperoleh dari hasil pengujian dilakukan analisis variasi dua arah untuk mengetahui pengaruh putaran (faktor α) dan variasi luasan penampang sudu (faktor β) serta pengaruh interaksi antara kedua faktornya (faktor $\alpha \beta$) terhadap kinerja motor bensin empat langkah.

Hipotesa yang digunakan dalam analisis statistik ini adalah:

1. Pengaruh Putaran (faktor α)

$H_{01} : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i$, artinya putaran (faktor α) memberikan pengaruh yang sama terhadap kinerja motor bakar bensin empat langkah.

$H_{11} : \alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \dots \neq \alpha_i$, memberikan pengaruh yang nyata dan berbeda terhadap kinerja motor bakar bensin empat langkah.

2. Pengaruh Luasan Penampang Sudut (faktor β)

$H_{01} : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_i$, artinya variasi luas penampang sudu (faktor β) memberikan pengaruh yang sama terhadap kinerja motor bakar bensin empat langkah.

$H_{12} : \beta_1 \neq \beta_2 \neq \dots \neq \beta_i$, artinya variasi luas penampang sudu (faktor β) memberikan pengaruh yang nyata dan berbeda terhadap kinerja motor bakar bensin empat langkah.

3. Pengaruh Interaksi Antara Putaran dengan Variasi Luas Penampang Sudu (faktor $\alpha\beta$)

$H_{01} : \alpha\beta_{11} = \alpha\beta_{12} = \dots = \alpha\beta_{ij}$, artinya interaksi antara putaran dan luas penampang sudu (faktor $\alpha\beta$) memberikan pengaruh yang sama terhadap kinerja motor bakar bensin empat langkah.

$H_{13} : \alpha\beta_{11} \neq \alpha\beta_{12} \neq \dots \neq \alpha\beta_{ij}$, artinya interaksi antara putaran dengan variasi luas penampang sudu (faktor $\alpha\beta$) memberikan pengaruh yang nyata dan berbeda terhadap kinerja motor bakar bensin empat langkah.

4.1.3.1 Analisis Statistik untuk Torsi yang dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh putaran, variasi luasan penampang sudu dan interaksi antara putaran dengan variasi luasan penampang sudu terhadap torsi motor bakar bensin empat langkah.

Dari tabel 4.2 dapat diketahui bahwa masing-masing $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hal ini berarti bahwa H_{01} , H_{02} , H_{03} , ditolak dan H_{11} , H_{12} , H_{13} diterima. Hal ini berarti bahwa putaran, variasi luasan penampang sudu dan interaksi antara putaran dengan variasi luasan penampang sudu mempunyai pengaruh yang nyata dan perbedaan terhadap torsi motor bakar bensin empat langkah dengan tingkat keyakinan 95%.

Tabel 17. Analisis Variasi untuk Torsi yang dihasilkan

Sumber Keragaman	JK	Db	KT	Ftabel	Fhitung
Putaran	200.3079	4	50.07699	10192.85	2.557179
Sudut pengapian	1.154971	4	0.288743	58.77174	2.557179
Interaksi	1.115668	16	0.069729	14.19293	1.850315
Galat	0.245648	50	0.004913		
Total	202.8242	74			

4.1.3.2 Analisis Statistik untuk Daya Efektif yang dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh putaran, variasi luasan penampang sudu dan interaksi antara putaran dengan variasi luasan penampang sudu

terhadap daya efektif motor bakar bensin empat langkah. Dari perhitungan statistik didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 18. Analisis untuk Daya Efektif yang dihasilkan

Sumber keragaman	JK	db	KT	Fhitung	Ftabel
Putaran	216.4542	4	54.11355	1386.473	2.557179
Sudut pengapian	11.05748	4	2.764369	70.8274	2.557179
Interaksi	8.240562	16	0.515035	13.19599	1.850315
Galat	1.951483	50	0.03903		
Total	237.7037	74			

Dari tabel anova diatas dapat diketahui bahwa masing-masing $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hal ini berarti bahwa H_{01} , H_{02} , H_{03} , ditolak dan H_{11} , H_{12} , H_{13} diterima. Hal ini berarti bahwa putaran, variasi luasan penampang sudu dan interaksi antara putaran dan variasi luasan penampang sudu mempunyai pengaruh yang nyata dan berbeda terhadap daya efektif motor bakar bensin empat langkah dengan tingkat keyakinan 95%.

4.1.3.3 Analisis Statistik untuk Konsumsi Bahan Bakar Spesifik yang dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh putaran, variasi luas penampang sudu dengan interaksi antara putaran dengan variasi luasan sudu terhadap konsumsi bahan bakar spesifik efektif motor bakar bensin empat langkah. Dari hasil perhitungan statistik didapatkan tabel sebagai berikut:

Dari tabel 17 dapat diketahui bahwa masing-masing $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hal ini berarti bahwa H_{01} , H_{02} , H_{03} , ditolak dan H_{11} , H_{12} , H_{13} diterima. Hal ini berarti bahwa putaran, variasi luas penampang sudu dan interaksi antara putaran dengan variasi luasan penampang sudu mempunyai pengaruh yang nyata dan berbeda terhadap konsumsi bahan bakar spesifik efektif motor bakar bensin empat langkah dengan tingkat keyakinan 95%.

Tabel 19. Analisis statistik untuk Konsumsi Bahan Bakar Spesifik yang dihasilkan

Sumber keragaman	JK	Db	KT	Ftabel	Fhitung
Putaran	0.540248	4	0.135062	1257.323	2.557179
Sudut pengapian	0.012011	4	0.003003	27.95399	2.557179
Interaksi	0.006419	16	0.000401	3.734603	1.850315
Galat	0.005371	50	0.000107		
Total	0.564049	74			

4.1.3.4 Analisis Statistik Efisiensi Thermal Efektif yang dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh putaran, variasi luasan penampang sudu dan interaksi antara putaran dengan variasi luasan penampang sudu terhadap efisiensi thermal fektif motor bakar empat langkah. Dari hasil hitungan statistik didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 20 Analisis variasi Efisiensi Thermal yang dihasilkan

Sumber keragaman	JK	Db	KT	Fhitung	Ftabel
Putaran	1860.37	4	465.0926	1230.845	2.557179
Sudut pengapian	55.36348	4	13.84087	36.62918	2.557179
Interaksi	27.26981	16	1.704363	4.510512	1.850315
Galat	18.89323	50	0.377865		
Total	1961.897	74			

Dari tabel anova diatas dapat diketahui bahwa masing-masing $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hal ini berarti bahwa H_{01} , H_{02} , H_{03} , ditolah dan H_{11} , H_{12} , H_{13} diterima. Hal ini berarti bahwa putaran, variasi luas penampang sudu dan interaksi antara putaran dengan variasi luasan penampang sudu mempunyai pengaruh yang nyata dan berbeda terhadap efisiensi thermal efekif motor bakar bensin empat langkah dengan tingkat keyakinan 95%.

4.1.3.5 Analisis statistik Variasi untuk Konsentrasi Emisi Gas CO yang dihasilkan

Setelah diperoleh data perhitungan untuk daya maka, dilakukan analisis dua arah untuk konsentrasi CO. Analisis ini berfungsi untuk mengetahui pengaruh putaran dan pengapian terhadap konsentrasi CO yang dihasilkan. Dari perhitungan statistik yang telah dilakukan dapat dibuat tabel untuk konsentrasi CO sebagai berikut:

Tabel 21. Analisis statistik variasi untuk konsentrasi CO

Sumber keragaman	JK	Db	KT	Fhitung	Ftabel
Putaran	1.820993	4	0.455248	252.0122	2.557179
Sudut pengapian	0.440195	4	0.110049	60.91979	2.557179
Interaksi	1.062299	16	0.066394	36.75362	1.850315
Galat	0.090323	50	0.001806		
Total	3.41381	74			

Kesimpulan yang diperoleh adalah:

- $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$, maka H_{01} ditolak dan H_{11} diterima, ini menyatakan bahwa putaran berpengaruh terhadap unjuk kerja motor bensin.
- $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$, maka H_{02} ditolak dan H_{12} diterima, ini menyatakan bahwa sudut pengapian berpengaruh terhadap unjuk kerja motor bensin.
- $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$, maka H_{03} ditolak dan H_{13} diterima, ini menyatakan bahwa interaksi antara putaran mesin dan sudut pengapian berpengaruh terhadap unjuk kerja motor bensin.

Dari tabel anova diatas terlihat bahwa masing-masing nilai diperoleh $F_{\text{tabel}} > F_{\text{hitung}}$, sehingga dapat dikatakan bahwa H_0 ditolak dan H_1 diterima. Dapat diambil kesimpulan bahwa putaran mesin, sudut pengapian, interaksi antara putaran mesin dan sudut pengapian mempunyai pengaruh yang nyata terhadap konsentrasi CO yang dihasilkan dengan keyakinan 95% tingkat kesalahan (galat $\alpha = 5\%$).

4.1.3.6 Analisis statistik variasi untuk Konsentrasi Emisi Gas HC yg dihasilkan

Setelah didapatkan perhitistiungan untuk daya maka, dilakukan analisis dua arah untuk konsentrasi HC. Analisis ini berfungsi untuk mengetahui pengaruh putaran dan pengapian terhadap konsentrasi HC yang dihasilkan. Dari perhitungan statistik yang telah dilakukan dapat dibuat tabel untuk konsentrasi HC sebagai berikut:

Tabel 22. Analisis stasistik variasi untuk kansentrasi HC

Sumber keragaman	JK	Db	KT	Fhitung	Ftabel
Putaran	18945.07	4	4736.267	130.7398	2.557179
Sudut pengapian	4876.267	4	1219.067	33.65109	2.557179
Interaksi	20652	16	1290.75	35.62983	1.850315
Galat	1811.333	50	36.22667		
Total	46284.67	74			

Kesimpulan yang diperoleh adalah:

- $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$ maka H_{01} ditolak dan H_{11} diterima, ini menyatakan bahwa putaran mesin berpengaruh terhadap unjuk kerja motor bensin.
- $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$ maka H_{02} ditolak dan H_{12} diterima, ini menyatakan bahwa sudut pengapian berpengaruh terhadap unjuk kerja motor bensin.
- $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$ maka H_{03} ditolak H_{13} diterima, ini menyatakan bahwa interaksi antara putaran mesin dan sudut pengapian berpengaruh terhadap unjuk kerja motor bensin.

Dari tabel anova diatas bahwa masing-masing nilai diperoleh $F \text{ hitung} > F \text{ tabel}$, sehingga dapat dikatakan bahwa H_0 ditolakdan H_1 diterima. Dapat diambil kesimpulan bahwa putaran mesin, sudut pengapian, interaksi antara putaran mesin dan sudut pengapian mempunyai pengaruh yang nyata terhadap konsentrasi HC yang dihasilkan dengan keyakinan 95% tingkat kesalahan (galat $\alpha = 5\%$).

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan data pengujian dengan variasi putaran maka didapatkan parameter-parameter yang berhubungan dengan variasi putaran

tersebut. Untuk memperoleh dalam menganalisis hasil perhitungan maka data hasil perhitungan tersebut digambarkan dalam bentuk grafik. Adapun ada analisis grafik hubungan antara putaran dengan motor bensin empat langkah dengan parameter torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif dan efisiensi thermal efektif adalah sebagai berikut:

4.2.1 Hubungan Antara Putaran dengan Torsi

Hubungan antara putaran motor bakar bensin empat langkah dengan torsi yang dihasilkan pada berbagai variasi timing pengapian dalam bahan bakar bensin dapat dilihat pada grafik 4.1 berikut ini:

Dari gambar grafik 4.1 dapat dilihat bahwa dengan semakin tinggi putaran poros motor bensin empat langkah maka torsi yang dihasilkan akan semakin menurun. Penyebab terjadinya hal ini adalah karena pada saat menaikkan putaran, beban pengereman yang dikenakan pada poros dikurangi sampai pada putaran yang dikehendaki. Dengan semakin kecilnya beban pengereman yang diterima oleh poros maka besarnya torsi yang terjadi juga akan semakin kecil. Hubungan antara beban pengereman dengan torsi ditulis sebagai berikut:

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

Dinama

$$T = \text{Torsi yang dihasilkan (kg.m)}$$

$$F = \text{Besaran beban yang diterima oleh poros (kg)}$$

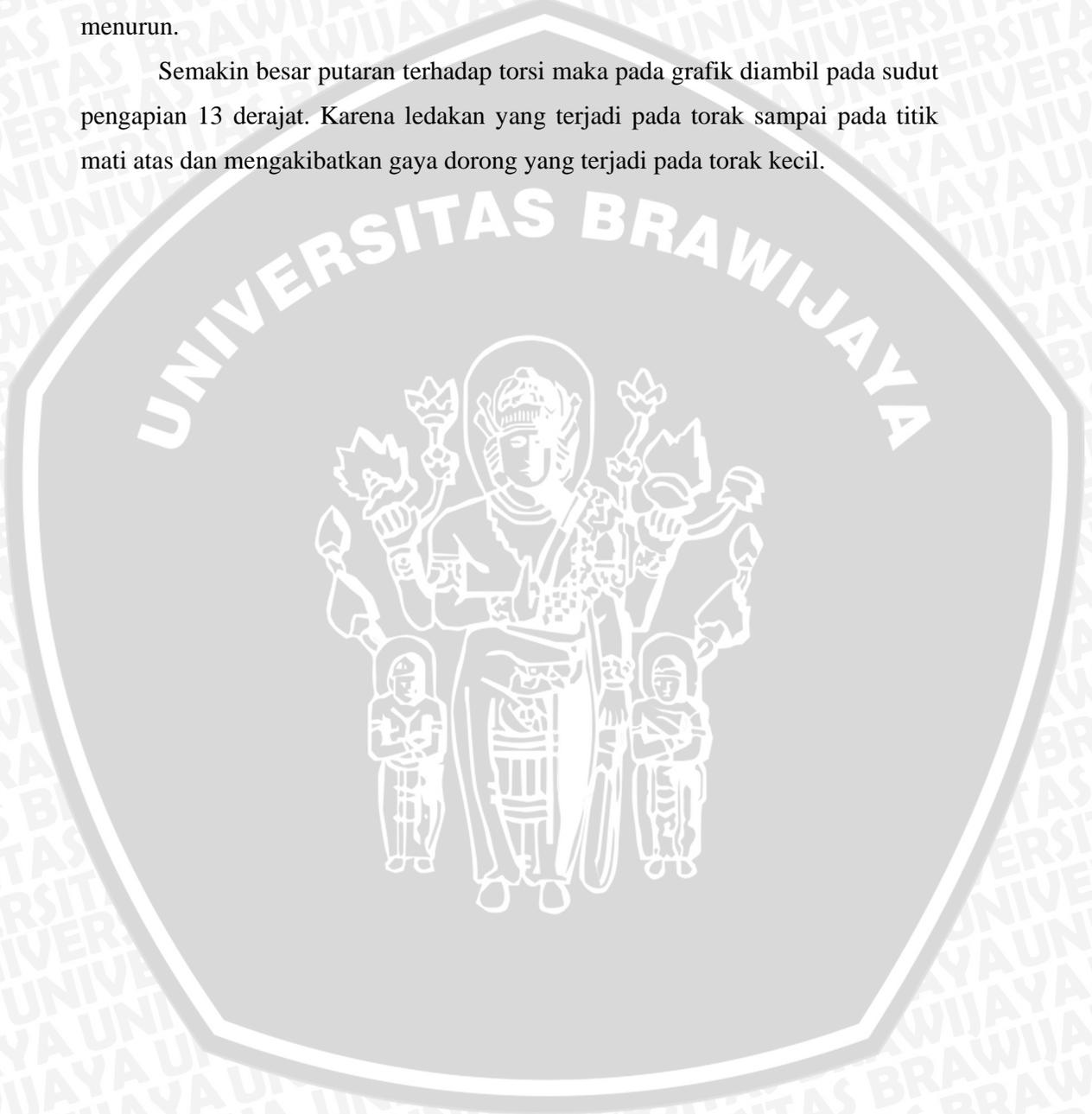
$$L = \text{Panjang lengan dynamometer (m)}$$

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

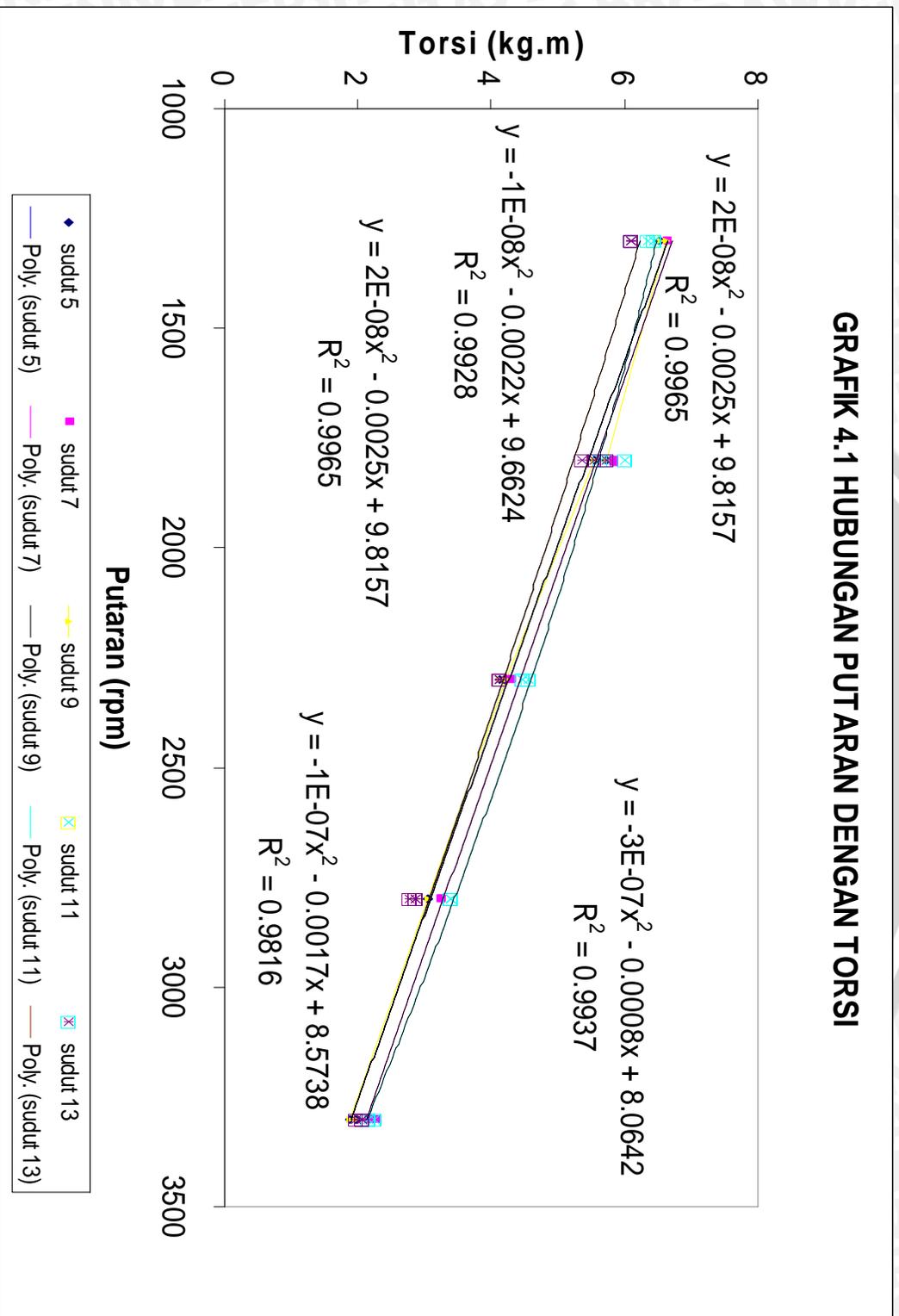
Penyebab menurunnya torsi selain karena hal tersebut di atas juga dikarenakan dengan semakin tinggi putaran, gerakan bolak-balik torak akan semakin cepat. Hal ini mengakibatkan jumlah siklus yang terjadi semakin banyak. Akibatnya kerugian mekanis dari gesekan antara piston dengan dinding silinder akan semakin besar. Gerakan torak yang semakin cepat ini diikuti pula oleh semakin singkatnya waktu yang dibutuhkan untuk membuka dan menutup katup isap. Hal ini berdampak pada semakin sedikitnya massa campuran udara dan bahan bakar yang masuk dan terbakar di dalam ruang bakar setiap satu kali siklus.

Dengan semakin sedikitnya massa campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar maka tekanan akhir kompresi dan tekanan efektif pembakaran yang dihasilkan akan semakin berkurang. Akibatnya gaya dorong torak pada saat langkah kerja (ekspansi) juga berkurang, sehingga torsi yang dihasilkan semakin menurun.

Semakin besar putaran terhadap torsi maka pada grafik diambil pada sudut pengapian 13 derajat. Karena ledakan yang terjadi pada torak sampai pada titik mati atas dan mengakibatkan gaya dorong yang terjadi pada torak kecil.



GRAFIK 4.1 HUBUNGAN PUTARAN DENGAN TORSI



4.2.2 Hubungan Antara Putaran dengan Daya Efektif

Hubungan antara putaran motor bensin empat langkah dengan daya efektif yang dihasilkan pada berbagai variasi timing pengapian dalam motor bakar bensin dapat dilihat dalam gambar grafik 4.2.

Dari gambar grafik 4.2 terlihat bahwa semua grafik yang terbentuk cenderung sama berbentuk kurva parabolik membuka ke bawah. Secara umum seiring dengan naiknya putaran maka daya efektif (N_e) yang dihasilkan pada putaran awal mengalami kenaikan sampai pada putaran tertentu, tetapi setelah mencapai titik maksimal, grafik mengalami penurunan seiring dengan naiknya putaran. Hal ini terjadi karena daya efektif (N_e) berbanding lurus dengan harga torsi (T) yang dihasilkan dan putaran poros mesin (n) sesuai persamaan berikut:

$$N_e = \frac{T \cdot n}{716,2}$$

Dimana

N_e : Daya efektif yang dihasilkan oleh motor (HP)

T : Torsi yang dihasilkan oleh motor (kg.m)

n : putaran motor (rpm)

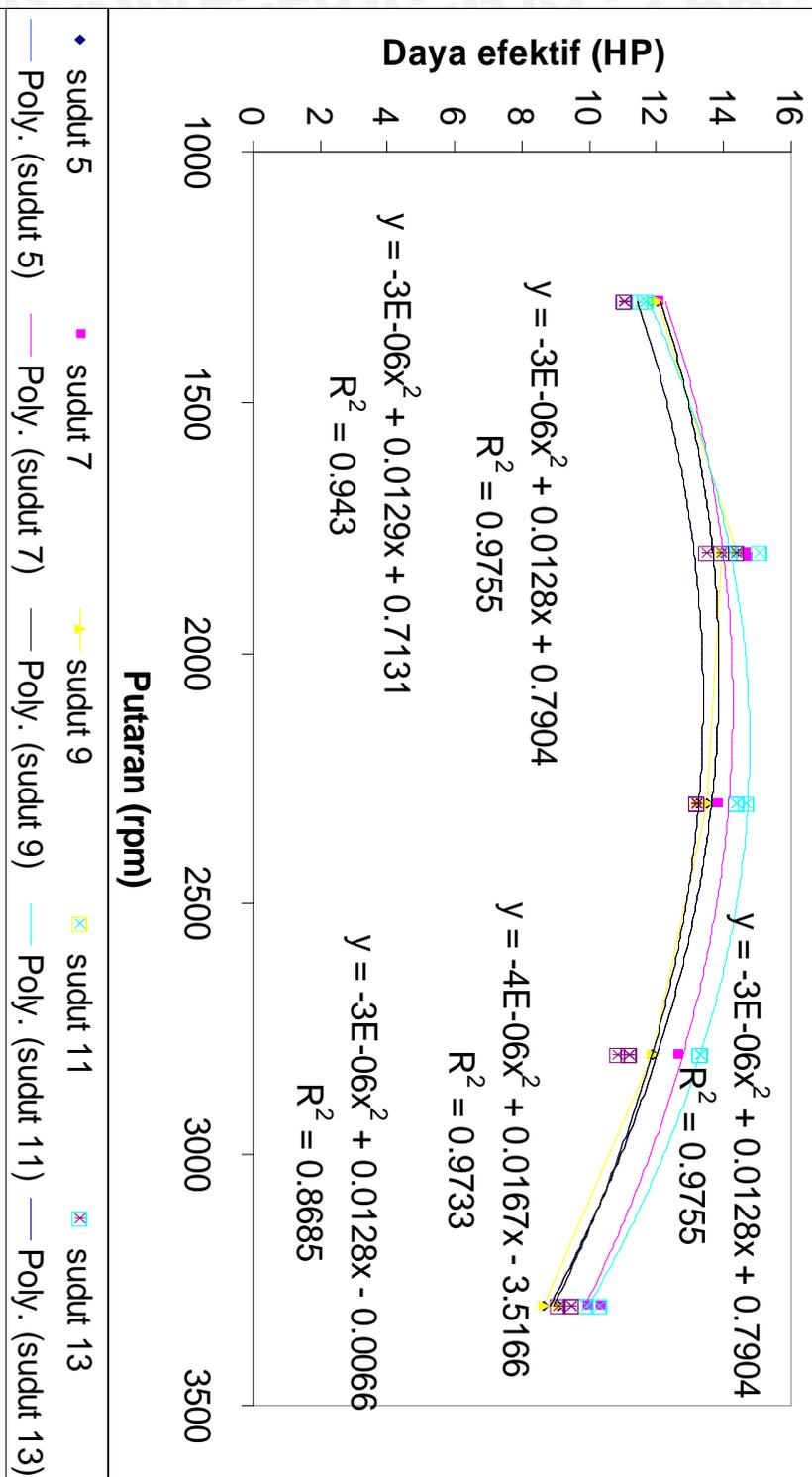
pembahasan sebelumnya antara putaran dengan torsi menunjukkan bahwa pada saat putaran semakin tinggi maka torsi yang terjadi semakin menurun. Padahal daya efektif seperti ditunjukkan pada persamaan di atas berbanding lurus dengan torsi dan putaran poros mesin. Peningkatan daya efektif (N_e) pada beberapa putaran awal sampai mencapai putaran tertentu disebabkan karena penurunan torsi masih dapat diikuti atau diimbangi oleh kenaikan putaran. Selain itu pada putaran rendah campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar masih mampu menghasilkan energi untuk mengimbangi kerugian mekanis akibat gesekan antara torak dengan dinding silinder. Tetapi setelah putaran mencapai titik tertentu dan meningkat sampai putaran tinggi, penurunan torsi menjadi tidak seimbang terhadap kenaikan putaran dan kerugian mekanis tersebut. Hal ini berdampak dengan semakin menurunnya energi pembakaran pada putaran tinggi sehingga menurunkan daya efektif yang dihasilkan.

Nilai daya efektif terjadi paling besar pada grafik dengan sudut pengapian 11 derajat, sesuai dengan hasil torsi, nilai daya tergantung dari nilai torsi sesuai

dengan rumus diatas. Pada sudut tersebut hampir semua bahan bakar dapat terbakar sempurna. sedangkan pada sudut 13 derajat memiliki nilai paling kecil karena pada sudut tersebut waktu penyalaannya terlalu awal.



GRAFIK 4.2 HUBUNGAN ANTARA PUTARAN DENGAN DAYA EFEKTIF



4.2.3 Hubungan Antara Putaran dengan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif

Dari gambar grafik 4.3 terlihat bahwa kecenderungan semua grafik SFCE mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena dengan semakin tingginya putaran maka jumlah siklus yang terjadi semakin banyak dan konsumsi bahan bakar (FC) yang dibutuhkan semakin besar (lampiran 3). Hubungan antara SFCE, FC, dan juga Ne ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$FC = \frac{b}{t} \cdot \gamma_f \cdot \frac{3600}{1000} \dots (\text{Kg} \cdot \text{jam}^{-1})$$

$$\text{SFCE} = \frac{FC}{Ne} \dots (\text{Kg} \cdot \text{HP}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1})$$

Dimana:

SFCE : Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg. HP⁻¹jam⁻¹)

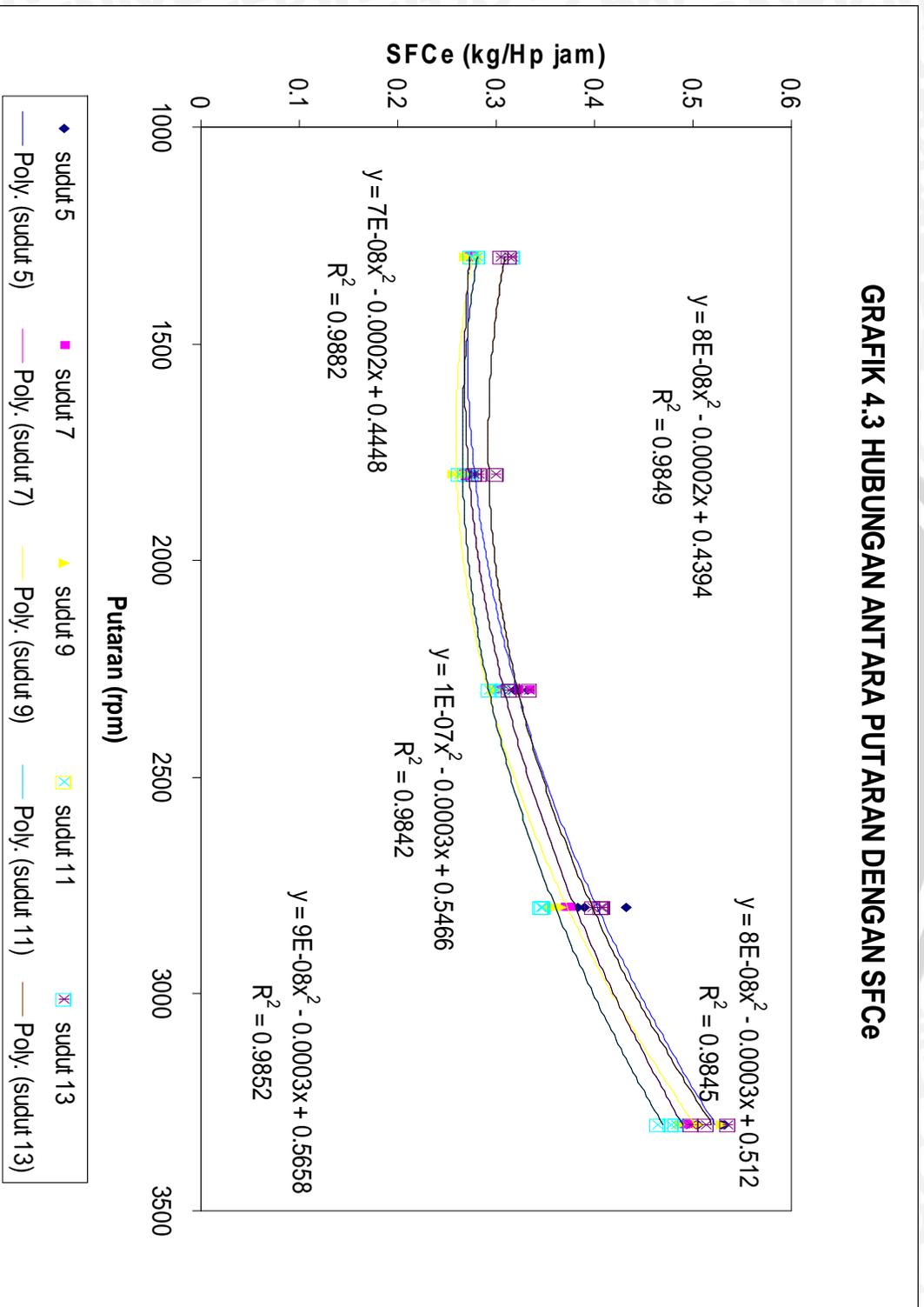
FC : Konsumsi bahan bakar (kg.jam⁻¹)

Ne : Daya efektif (HP)

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

Pada grafik 4.3 Hubungan antara putaran terhadap konsumsi bahan bakar dipakai pada sudut pengapian 11 derajat dimana tingkat konsumsi bahan bakar yang digunakan terkecil.

GRAFIK 4.3 HUBUNGAN ANTARA PUTARAN DENGAN SFCe



4.2.4 Hubungan antara Putaran dengan Efisiensi Thermal

Hubungan antara putaran dengan efisiensi pada gambar grafik 4.4 terlihat kecenderungan menurun dengan bertambahnya putaran, hal ini disebabkan dengan bertambahnya putaran nilai daya efektif juga semakin turun karena kerugian mekanis dan kerugian lain yang timbul juga semakin besar. Efisiensi termal efektif berbanding lurus dengan daya efektif seperti pada rumus sebagai berikut:

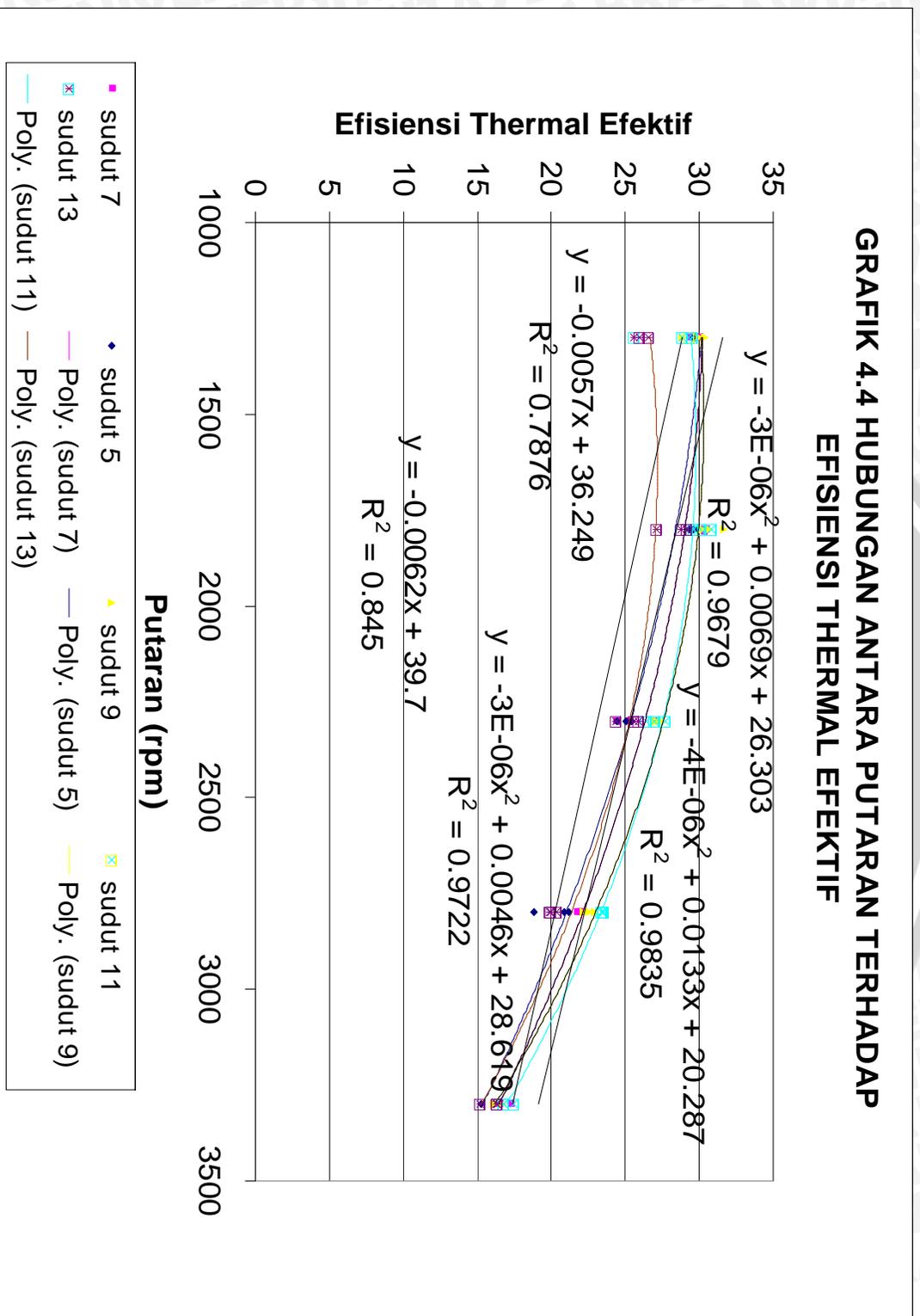
$$\eta_e = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFC_e \cdot LHV_{bb}} \%$$

Dimana:

- η_{te} : Efisiensi thermal efektif (%)
- Q_e : Jumlah kalor yang diperlukan untuk daya efektif (kcal kg^{-1})
- Q_b : Jumlah kalor yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan udara (kcal kg^{-1})
- N_e : Daya Efektif (HP)
- F_c : Konsumsi bahan bakar (kg jam^{-1})
- LHV_{bb} : Nilai kalor rendah bahan bakar (kcal kg^{-1})
- SFC_e : Konsumsi bahan bakar spesifik efektif ($\text{kg HP}^{-1}\text{jam}^{-1}$)

Sedangkan efisiensi berbanding terbalik dengan nilai kalor dari bahan bakar, sedangkan nilai kalor bahan bakar semakin besar dengan bertambahnya putaran sehingga nilai efisiensi termal semakin kecil. Nilai efisiensi terbesar pada diambil pada sudut pengapian 11 derajat karena energi yang masuk dan yang keluar hampir sama dimana pembakaran yang terjadi sempurna.

**GRAFIK 4.4 HUBUNGAN ANTARA PUTARAN TERHADAP
EFISIENSI THERMAL EFEKTIF**

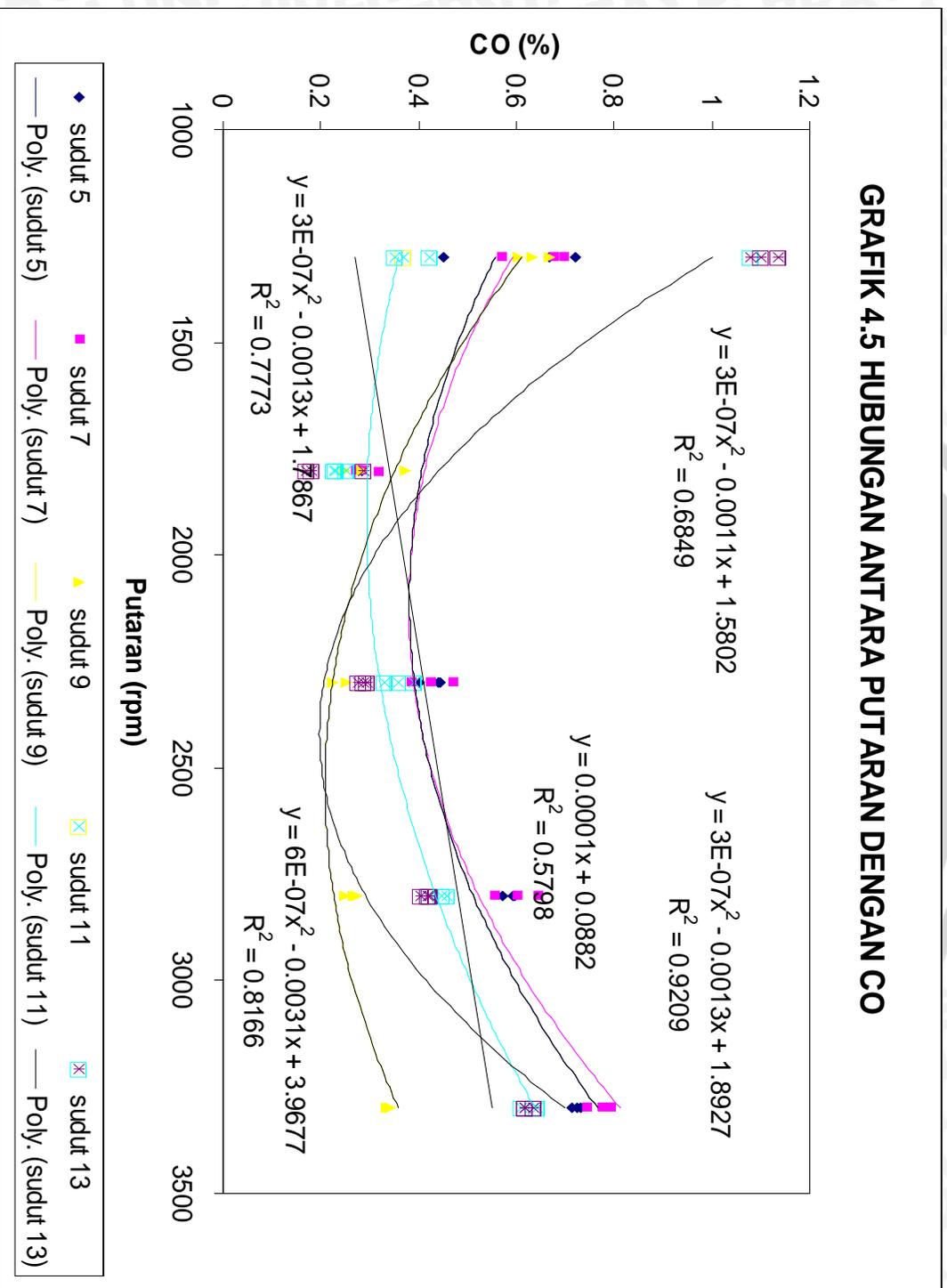


4.2.5 Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas CO

Pada grafik terlihat bahwa emisi gas CO yang dihasilkan pada putaran rendah adalah pada sudut 11 derajat tetapi pada sudut 13 derajat menghasilkan emisi paling besar dan pada putaran tinggi emisi paling baik pada sudut 9 derajat dan paling jelek pada sudut 7 derajat. Hal ini terjadi karena gas CO merupakan produk pembakaran yang tidak sempurna. Apabila kadar CO semakin besar, maka hal ini mengindikasikan bahwa proses pembakaran yang terjadi semakin tidak sempurna. Faktor lain yang menyebabkan hal tersebut adalah adanya perbandingan udara dengan bahan bakar (AFR) yang berbeda-beda (lampiran 6). Nilai AFR yang lebih kecil dari AFR ideal (14,7:1) merupakan pembakaran yang kaya, sedangkan nilai AFR yang lebih besar dari AFR ideal merupakan pembakaran miskin (*excess air*).

Pada pembakaran kaya, produk pembakaran akan cenderung menghasilkan gas CO lebih besar atau pada kondisi tertentu menghasilkan gas CO yang kecil tetapi tetap masih ada apabila ada sebagian bahan bakar yang tidak terbakar yang kemudian ikut terbuang bersama gas buang (HC). Sementara pada pembakaran yang miskin akan cenderung menghasilkan gas O₂ pada produk pembakarannya, meskipun pada kondisi tertentu juga menghasilkan gas CO tetapi kadarnya cenderung lebih rendah.

Pada hubungan antara putaran terhadap kadar emisi gas buang CO diambil pada sudut pengapian 9 derajat dimana kadar emisi yang terjadi paling kecil, sehingga mengurangi polusi yang terjadi.

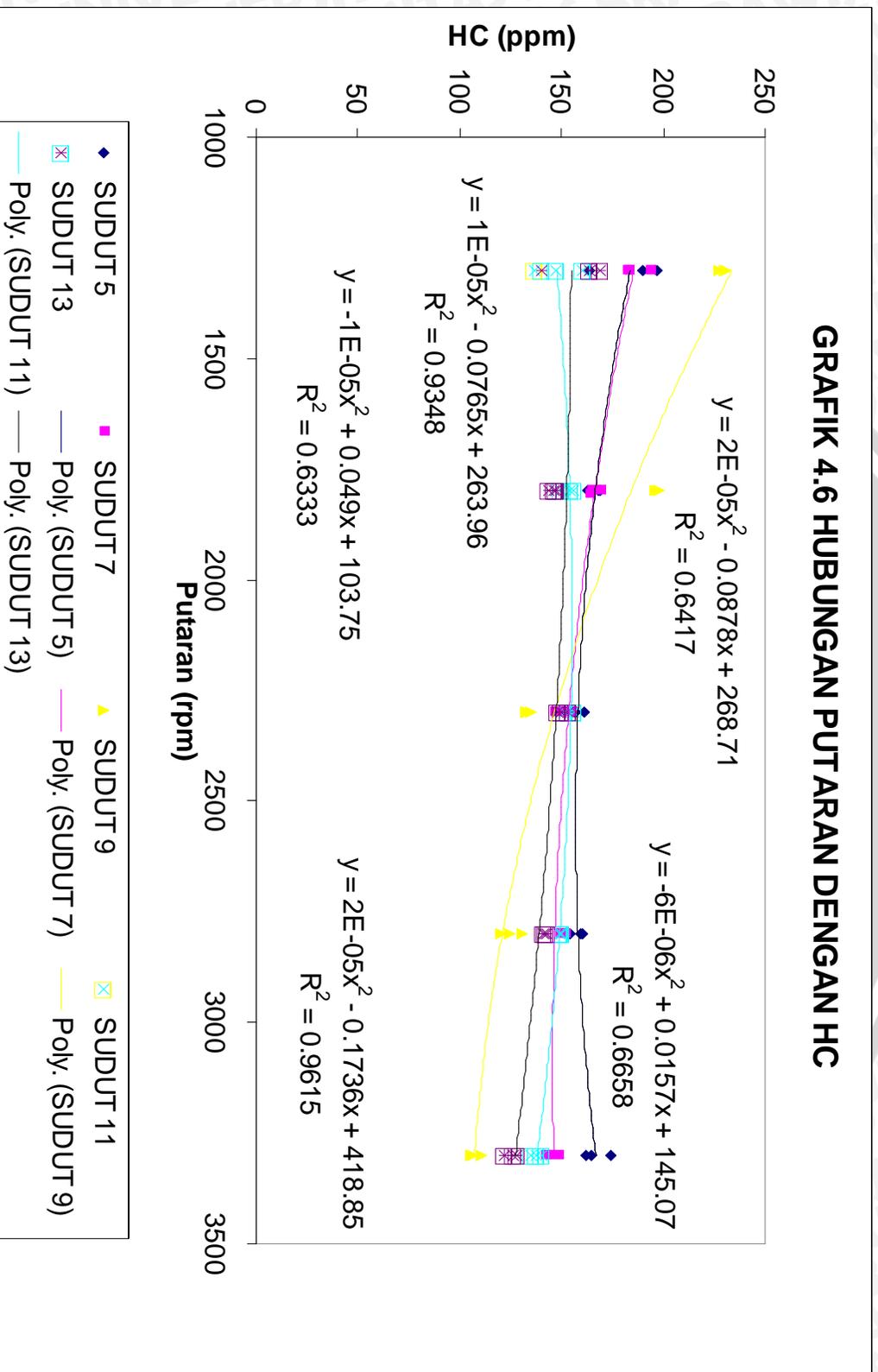
GRAFIK 4.5 HUBUNGAN ANTARA PUTARAN DENGAN CO


4.2.6 Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas HC

Dari gambar grafik 4.6 pengaruh penurunan putaran terhadap konsentrasi HC terlihat bahwa unsur HC yang terkandung dalam bahan bakar campuran bensin metanol cenderung lebih banyak dibandingkan bensin premium. Hal ini disebabkan karena semakin banyaknya unsur carbon dalam bahan bakar campuran bensin metanol dibandingkan bahan bakar bensin premium. Banyak unsur karbon dalam bahan bakar campuran bensin metanol membutuhkan udara yang cukup sehingga seluruh karbon didalam bahan bakar dapat diubah seluruhnya menjadi karbon dioksida. Memajukan waktu pengapian maka kadar HC akan meningkat. Hal ini terjadi karena waktu pengapian yang makin cepat akan menurunkan temperature gas buang. Penurunan tersebut akan mengurangi kemampuan gas buang untuk melakukan pembakaran sisa-sisa bahan bakar yang tidak terbakar pada langkah ekspansi sehingga kadar HC akan makin tinggi.

Dari gambar grafik 4.6 hubungan putaran terhadap konsentrasi HC terlihat bahwa pemakaian bahan bakar bensin metanol dengan pengapian dipercepat menghasilkan konsentrasi kadar HC yang lebih sedikit, hal ini disebabkan dengan percepatan waktu pengapian mengakibatkan waktu pembakaran yang terjadi untuk membakar bahan bakar dalam ruang bakar akan meningkat sehingga konsentrasi HC yang dihasilkan gas buang lebih sedikit. Kadar HC rata-rata terendah dan yang terbaik diraih pada sudut pengapian 9 derajat sebelum titik mati atas. Karena pada sudut pengapian 9 derajat nilai gas buang terendah dan dampak pada polusi udara akan berkurang.

GRAFIK 4.6 HUBUNGAN PUTARAN DENGAN HC



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis data dan pembahasan dengan variasi waktu pengapian dalam bahan bakar bensin pada motor bakar bensin empat langkah dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Nilai torsi rata-rata yang dipakai atau yang terbaik digunakan pada sudut pengapian 13 derajat.
- Nilai daya efektif rata-rata yang dipakai atau yang terbaik digunakan pada suut pengapian 11 derajat.
- Nilai SFCe yang digunakan pada sudut pengapian yang terkecil pada 11 derajat.
- Efisiensi termal efektif rata-rata tertinggi yang didapatkan dengan sudut 11 derajat.
- Konsentrasi gas CO yang baik digunakan pada nilai yang terkecil yaitu pada sudut pengapian 11 derajat.
- Konsentrasi gas HC yang baik digunakan pada nilai yang terkecil yaitu pada sudut pengapian 11 derajat.

5.2 Saran

Adapun saran yang penulis harapkan dari penelitian terhadap variasi timing pengapian dengan penambahan metanol 10% dalam bensin pada motor bakar bensin adalah sebagai berikut:

- Pemeriksaan kondisi mesin dan alat yang dipergunakan harus dilakukan sebelum memulai penelitian agar tidak mengalami kesalahan dalam pengambilan data.
- Bisa dilanjutkan kembali untuk diuji cobakan pada motor bensin dengan menggunakan variasi yang berbeda dan tingkat komperesi yang berbeda pula.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhadianto Taufik. 2000. "Pengaruh sudut pengapian terhadap kinerja motor bensin empat langkah dengan menggunakan bahan bakar 15% methanol-premium 85%". *Skripsi Tidak Diterbitkan*. Malang; Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya
- Arismunandar, Wiranto. 1988. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*, ITB, Bandung.
- M. Hilfi. 1991. *Analisis varian dan penerapan*. Malang: Koplra Press, Koperasi Mahasiswa Unibra Malang.
- Petrovsky, N. 1979. *Marine Internal Combustion Engine*, Mir Publisher, Moscow.
- Soenarta, Nakoela. 2002. *Motor Serba Guna*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Walpole, Ronald E.1992. *Pengantar Statistika*, Gramadia, Jakarta.



LAMPIRAN

Hasil pengolahan data yang didapatkan pada pengujian motor bakar empat langkah

Lampiran 1.

Data-data pada 5 derajat terhadap motor bakar empat langkah

Bahan bakar : Premium+metanol 10%

System penyalaaan : Konvensional

Temperature udara luar : 27⁰C

Volume bahan bakar : 30ml

Putaran (rpm)	F (kg)	P ₁ - P ₂ (mmH ₂ O)	Teg (°C)	Tud (°C)	Twi (°C)	Two (°C)	Ww (liter/jam)	t (sekon)	HC (ppm)	CO (%)
1300	18.25	3	550	31	27.5	50	400	24.4	164	0.722
	18.5	3	550	31	27.5	50	400	24.14	190	0.45
	18.5	3	550	31	27.5	52	400	24.02	197	0.667
1800	16	5	580	31	28	52	480	20.31	163	0.285
	15.5	5	580	31	28	52	480	20.75	168	0.276
	15.5	5	585	31	28	52	480	20.56	169	0.284
2300	11.75	6	620	31	28	52	565	18.4	161	0.4
	11.5	6	630	31	28	52	580	18.1	157	0.441
	11.75	6	630	31	28	52	570	18.15	157	0.445
2800	8.5	6.5	665	32	28	51	670	15.45	159	0.57
	8.5	6.5	670	32	28	50.5	660	17.15	154	0.598
	8.5	6.5	670	32.5	28	50.5	660	17.4	160	0.592
3300	5.25	6.5	690	31	29	49	760	17.21	165	0.714
	5.5	6.5	695	31	28.5	49.5	760	17.31	174	0.731
	5.5	6.5	695	31	28	49.5	760	16.52	162	0.724

Lampiran 2.

Data-data pada 7 derajat terhadap motor bakar empat langkah

Bahan bakar : Premium+metanol 10%

System penyalaaan : Konvensional

Temperature udara luar : 27°C

Volume bahan bakar : 30ml

Putaran (rpm)	F (kg)	P ₁ - P ₂ (mmH ₂ O)	Teg (°C)	Tud (°C)	Twi (°C)	Two (°C)	Ww (liter/jam)	t (sekon)	HC (ppm)	CO (%)
1300	18.5	3	540	31	29	50	400	23.88	182	0.695
	18.5	3	540	31	29	51	410	24.39	183	0.675
	18.5	3	540	31	29	52	410	24.16	193	0.569
1800	16.25	5	590	31	29	53	480	20.34	169	0.283
	16.25	5	590	31	30	53	480	20.27	165	0.271
	16.25	5	590	31	30	53	480	20.17	164	0.317
2300	12	6	630	31	30	53	580	19.13	146	0.421
	12	6	630	31	30	53	580	17.27	151	0.383
	12	6	630	31	30	53	570	17.91	155	0.469
2800	9	6.5	670	32	30	53	680	17.06	152	0.6
	9	6.5	670	32	30	53	700	16.97	149	0.553
	9	6.5	670	32	30	52	700	16.84	151	0.644
3300	6	7	695	31	30	50	800	16.23	144	0.773
	6	7	695	31	29	50	800	16.31	148	0.791
	6.25	7	690	31	29	50	780	15.71	142	0.742

Lampiran 3.

Data-data 9 derajat pada sudut pengapian terhadap motor bakar empat langkah

Bahan bakar : Premium+metanol 10%

System penyalaaan : Konvensional

Temperature udara luar : 27°C

Volume bahan bakar : 30ml

Putaran (rpm)	F (kg)	P ₁ - P ₂ (mmH ₂ O)	Teg (°C)	Tud (°C)	Twi (°C)	Two (°C)	Ww (liter/jam)	t (sekon)	HC (ppm)	CO (%)
1300	18.5	3	540	31	29	50	400	23.88	182	0.695
	18.5	3	540	31	29	51	410	24.39	183	0.675
	18.5	3	540	31	29	52	410	24.16	193	0.569
1800	16.25	5	590	31	29	53	480	20.34	169	0.283
	16.25	5	590	31	30	53	480	20.27	165	0.271
	16.25	5	590	31	30	53	480	20.17	164	0.317
2300	12	6	630	31	30	53	580	19.13	146	0.421
	12	6	630	31	30	53	580	17.27	151	0.383
	12	6	630	31	30	53	570	17.91	155	0.469
2800	9	6.5	670	32	30	53	680	17.06	152	0.6
	9	6.5	670	32	30	53	700	16.97	149	0.553
	9	6.5	670	32	30	52	700	16.84	151	0.644
3300	6	7	695	31	30	50	800	16.23	144	0.773
	6	7	695	31	29	50	800	16.31	148	0.791
	6.25	7	690	31	29	50	780	15.71	142	0.742

Lampiran 4.

Data-data 11 derajat pada sudut pengapian terhadap motor bakar empat langkah

Bahan bakar : Premium+metanol 10%

System penyalaaan : Konvensional

Temperature udara luar : 27°C

Volume bahan bakar : 30ml

Putaran (rpm)	F (kg)	P ₁ - P ₂ (mmH ₂ O)	Teg (° C)	Tud (° C)	Twi (° C)	Two (° C)	Ww (liter/jam)	t (sekon)	HC (ppm)	CO (%)
1300	18	3	560	31	31	49	400	24.5	137	0.37
	18	3	570	31	31	52	400	24.71	147	0.353
	17.75	3	570	31	31	53	410	24.44	160	0.423
1800	16.75	5	590	31.5	31	54	500	20.01	154	0.253
	15.75	5	600	32	31	54	500	20.41	150	0.226
	16	5	600	31.5	31	53.5	500	20.41	156	0.232
2300	12.5	5.5	630	31	31	53	600	17.96	156	0.39
	12.5	5.75	630	31	31	53	600	18.35	156	0.33
	12.75	5.75	630	31	31	53	590	18.47	152	0.358
2800	9.5	6	670	31.5	31	52	700	17.28	150	0.421
	9.5	6	675	32	31	52	700	17.26	149	0.449
	9.5	6	675	32	31	51	700	17.18	150	0.457
3300	6.25	6.5	700	31.5	31	50	800	16.59	138	0.609
	6	6.5	700	31.5	30	50	790	16.58	140	0.637
	6	6.75	705	31.5	30	50	800	16.81	135	0.641

Lampiran 5.

Data-data 13 derajat pada sudut pengapian terhadap motor bensin empat langkah

Bahan bakar : Premium+metanol 10%

System penyalaaan : Konvensional

Temperature udara luar : 27°C

Volume bahan bakar : 30ml

Putaran (rpm)	F (kg)	P ₁ - P ₂ (mmH ₂ O)	Teg (°C)	Tud (°C)	Tw _i (°C)	Two (°C)	Ww (liter/jam)	t (sekon)	HC (ppm)	CO (%)
1300	17	3	600	32	31	52	400	22.65	140	1.079
	17	3	605	32	31	53.5	400	22.96	164	1.101
	17	3.25	610	32	31	54	400	23.55	169	1.135
1800	16	5	630	32	31.5	54	460	19.52	147	0.287
	15.5	5	630	32	31.5	55	480	20.45	146	0.17
	15	4.5	630	32	31.5	55	480	19.63	144	0.18
2300	11.5	5	640	32	31.5	54.5	560	19.12	153	0.294
	11.5	5	640	32	31.5	54	560	18.02	150	0.278
	11.5	5	640	32	31.5	54	560	18.93	148	0.286
2800	8	6	680	32	31.5	52.5	640	17.8	143	0.404
	7.75	6	680	32	31.5	52.5	630	17.9	142	0.422
	8	6	680	32	31.5	52.5	640	17.44	141	0.42
3300	5.5	6.5	700	32	31.5	52	760	16.35	126	0.619
	5.75	6.5	710	31.5	32	51.5	760	16.79	128	0.636
	5.75	6.75	720	21.5	32	51.5	780	16.27	122	0.616