

**PENGARUH PENGGUNAAN *AUXILIARY AIR DEVICE*
DENGAN VARIASI SUDUT PENGAPIAN TERHADAP
UNJUK KERJA MOTOR BENSIN 4 LANGKAH**

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Konversi Energi

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

RICKY PRAMUDITYA AP

NIM. 0210623053

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2007

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Dalam skripsi ini penulis mengambil judul “ **PENGARUH PENGGUNAAN AUXILIARY AIR DEVICE DENGAN VARIASI SUDUT PENGAPIAN TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR BENSIN 4 LANGKAH**”

Pada kesempatan kali ini tidak lupa penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih , kepada :

- Bapak Ir. Bambang Indrayadi, MT, selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Djoko Sutikno, M.Eng, selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya sekaligus sebagai Dosen Pembimbing I.
- Bapak Ir. Rudy Soenoko, M.Eng. Sc. selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Konversi Energi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Eko Siswanto, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing II .
- Staf Administrasi di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang banyak membantu kelancaran dalam urusan administrasi.
- Seluruh teman-teman dan semua pihak yang secara langsung atau tidak langsung khususnya Mesin angkatan 2002 yang telah membantu penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, karena itu kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat kami harapkan dalam kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Amin

Malang, Januari 2007

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
DAFTAR SIMBOL	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Motor Bakar	4
2.3 Prinsip Kerja Motor Bensin Empat Langkah	5
2.4 Siklus Ideal Motor Bensin Empat Langkah	7
2.5 Siklus Aktual Motor Bensin Empat Langkah	8
2.6 Prinsip Kerja Karburator	9
2.7 Saluran Isap (<i>Intake Manifold</i>)	11
2.8 Bahan Bakar Kendaraan Bermotor	12
2.9 Pembakaran	12
2.9.1 Reaksi Pembakaran	12
2.9.2 Syarat-Syarat Terjadinya Pembakaran Sempurna	13
2.10 Sistem Pengapian	14
2.10.1 Sistem Penyalaan	14
2.10.2 Waktu Penyalaan	14
2.10.3 Detonasi (<i>knocking</i>)	15
2.11 Perbandingan Udara dan Bahan Bakar (AFR)	16
2.12 Emisi Gas Buang	17
2.13 Kinerja Motor Bakar	18



2.13.1 Torsi (T)	18
2.13.2 Daya Efektif (Ne)	19
2.13.3 <i>Fuel Consumption</i> (FC).....	19
2.13.4 <i>Spesific Fuel Consumption Efective</i> (SFCe)	20
2.13.5 Efisiensi Termal Efektif (η_e).....	20
2.14 Laju Aliran Massa Udara Masuk Melalui <i>Round Accurate Nozzle</i> (Gs)	21
2.15 Laju Aliran Massa Udara Masuk Melalui <i>Auxilliary Air Device</i> (Gs')	21
2.16 <i>Auxilliary Air Device</i>	23
2.17 Hipotesis	23
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Metode Penelitian	24
3.2 Peralatan yang digunakan	24
3.2.1 Peralatan utama	24
3.2.2 Peralatan Bantu.....	24
3.3 Instalasi Alat Pengujian	26
3.4 Tempat Penelitian	27
3.5 Variabel Penelitian	27
3.6 Prosedur Penelitian	27
3.7 Diagram Alir Penelitian	29
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Pengolahan Data	30
4.1.1 Data Hasil Pengujian.....	30
4.1.2 Perhitungan Data.....	33
4.2 Pembahasan	36
4.2.1 Hubungan Antara Bukaannya <i>Throttle</i> terhadap Daya Efektif	36
4.2.2 Hubungan Antara Bukaannya <i>throttle</i> terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	38
4.2.3 Hubungan antara Bukaannya <i>Throttle</i> terhadap Emisi Gas CO..	40
4.2.4 Hubungan antara Bukaannya <i>Throttle</i> Efisiensi Termal Efektif..	41



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

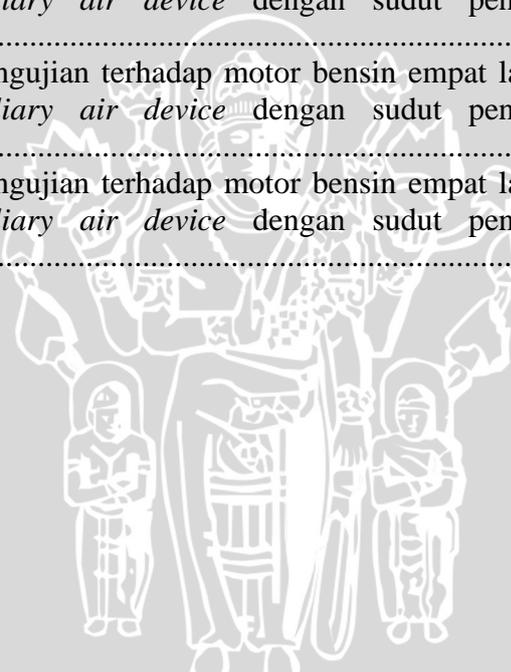
No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Skema langkah kerja motor bakar 4 langkah	6
Gambar 2.2	Diagram hubungan antara tekanan–volume spesifik dan temperatur–entropi	7
Gambar 2.3	Siklus aktual motor bensin 4 langkah	9
Gambar 2.4	Bagan karburator	10
Gambar 2.5	Hubungan antara diagram pengatur katub dengan gravik tekanan versus volume untuk motor empat langkah	15
Gambar 2.6	waktu pengapian	16
Gambar 2.7	Metode pengukuran laju aliran massa udara masuk melalui <i>auxilliary air device</i>	22
Gambar 2.8	<i>Auxiliary air device</i>	23
Gambar 3.1	<i>Auxiliary air device</i>	25
Gambar 3.2	Susunan peralatan uji	26
Gambar 4.1	Hubungan antara bukaan <i>throttle</i> terhadap daya efektif....	36
Gambar 4.2	Hubungan antara bukaan <i>throttle</i> terhadap konsumsi bahan bakar spesifik.....	38
Gambar 4.3	Hubungan antara bukaan <i>throttle</i> terhadap emisi gas CO..	40
Gambar 4.4	Hubungan antara bukaan <i>throttle</i> terhadap efisiensi termal efektif	41

DAFTAR SIMBOL

No.	Judul	Simbol
1	Tekanan	p
2	Temperature	T
3	Entropi	s
4	Volume spesifik	v
5	Entalpi	h
6	Faktor kelebihan udara	λ
7	Torsi	T
8	Daya efektif	Ne
9	Konsumsi bahan bakar	FC
10	Konsumsi bahan bakar spesifik	SFC_e
11	Efisiensi termal efektif	η_e
12	Gaya putar yang terbaca pada timbangan dinamometer	F
13	Panjang lengan dinamometer	L
14	Kecepatan anguler poros	ω
15	Putaran mesin	n
16	Volume bahan bakar selama t detik	b
17	Waktu untuk menghabiskan bahan bakar	t
18	Massa jenis bahan bakar	ρ_f
19	Jumlah kalor yang digunakan untuk daya efektif	Q_e
20	Jumlah kalor dari pembakaran bahan bakar dan udara	Q_b
21	Laju Aliran Massa Udara Masuk Melalui <i>Round Accurate Nozzle</i>	G_s
22	Koefisien aliran untuk <i>round nozzle</i> melalui <i>non-suction pipe</i>	α
23	Koefisien untuk fluida tak mampu mampat menjadi fluida mampu mampat	ϵ
24	Diameter dalam dari <i>round accurate nozzle</i>	d
25	Percepatan gravitasi	g
26	Berat spesifik udara	γ_a
27	Beda tekanan pada <i>round nozzle</i>	$P_1 - P_2$
28	Berat spesifik udara kering	γ_N
29	Tekanan atmosfer	P_a
30	Kelembaban relatif udara	ϕ
31	Berat spesifik uap air	γ_w
32	Tekanan uap air jenuh	P_s
33	Laju Aliran Massa Udara Masuk Melalui <i>Auxilliary Air Device</i>	G_s'
34	Kecepatan udara pada titik 2	v_2
35	Luas pada diameter dalam venturi	A_2
36	Massa jenis fluida pada manometer	ρ_m
37	Beda tekanan pada manometer	$\Delta P_{\text{orifice}}$
38	Diameter pada titik 1	d_1
39	Diameter dalam venturi	d_2
40	Rasio venturi	β

DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Data hasil pengujian terhadap motor bensin 4 langkah standar dengan sudut pengapian 8°	30
Tabel 4.2	Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan <i>auxiliary air device</i> dengan sudut pengapian 6°	31
Tabel 4.3	Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan <i>auxiliary air device</i> dengan sudut pengapian 7°	31
Tabel 4.4	Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan <i>auxiliary air device</i> dengan sudut pengapian 8°	32
Tabel 4.5	Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan <i>auxiliary air device</i> dengan sudut pengapian 9°	32
Tabel 4.6	Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan <i>auxiliary air device</i> dengan sudut pengapian 10°	33



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Hasil pengolahan data pengujian pada motor bensin empat langkah
Lampiran 2	Tabel hubungan $\frac{P_1 - P_2}{P_1} - \varepsilon$, $\theta - P_s$ dan $\theta - \gamma_w$



RINGKASAN

Ricky Pramuditya AP, 2007. Universitas Brawijaya. Pengaruh Penggunaan Auxiliary Air Device dengan Variasi Sudut Pengapian Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin 4 Langkah. Dosen Pembimbing : Ir. Djoko Sutikno, M.Eng & Eko Siswanto, ST, MT.

Produksi gas buang dari kendaraan bermotor menjadi sebuah masalah yang perlu diperhatikan khususnya karbon monoksida (CO) yang semakin meningkat seiring dengan semakin tingginya penggunaan kendaraan bermotor. Salah satu penyebab utama munculnya CO adalah akibat kurangnya oksigen pada reaksi pembakaran didalam ruang bakar motor bensin. Untuk mengatasi masalah tersebut dipasang *auxiliary air device* yang diharapkan dapat menambah masukan udara untuk proses pembakaran sehingga menghasilkan pembakaran yang sempurna. Selain itu kesempurnaan pembakaran juga dipengaruhi oleh waktu pengapian, semakin tepat waktu pengapian maka pembakaran yang terjadi semakin sempurna.

Dalam penelitian ini motor bensin dipasang *auxiliary air device* setelah karburator sebelum *intake manifold*. Jumlah udara yang masuk dalam ruang bakar merupakan penjumlahan udara yang masuk melalui karburator dan melalui *auxiliary air device*. Metode yang dipakai adalah metode eksperimental dengan variasi yang digunakan adalah variasi sudut pengapian (6° , 7° , 8° , 9° , dan 10°) dan bukaan *throttle* (24%, 28%, 32%, 36%, dan 40%).

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa penggunaan *auxiliary air device* dengan variasi sudut pengapian dapat meningkatkan efisiensi termal efektif serta menurunkan emisi gas CO motor bensin empat langkah. Dimana Emisi gas CO terkecil diperoleh dari motor bensin menggunakan *auxilliary air device* dengan sudut pengapian 9° yaitu sebesar 0.2056 % vol pada bukaan *throttle* 32%. Sedangkan efisiensi termal efektif terbesar 27,88% didapatkan dari motor bensin menggunakan *auxilliary air device* dengan sudut pengapian 8° pada bukaan *throttle* 40%.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor bakar adalah mesin konversi energi yang mengubah energi panas hasil pembakaran antara bahan bakar dan udara menjadi energi mekanik pada poros engkol. Ditinjau dari proses pembakarannya motor bakar digolongkan menjadi 2 golongan, yaitu motor bakar dengan penyalaan busi yang dikenal dengan motor bensin dan motor bakar dengan penyalaan tekanan disebut motor diesel. Ditinjau dari langkah kerjanya motor bakar dibagi menjadi 2 golongan yaitu motor 2 langkah dan motor 4 langkah.

Proses pembakaran disamping menghasilkan karbon dioksida (CO_2), biasanya juga menghasilkan karbon monoksida (CO). Karbon monoksida dalam udara terutama bersumber dari pembakaran bahan bakar tidak sempurna dalam kendaraan bermotor. Karbon monoksida (CO) merupakan salah satu unsur emisi gas buang yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia karena tidak berwarna, tidak berbau dan beracun yang dapat menimbulkan rasa sakit pada mata, saluran pernafasan dan paru-paru. Apabila masuk dalam darah melalui pernafasan CO akan bereaksi dengan hemoglobin dalam darah membentuk COHb (karboksihemoglobin), CO berikatan sangat kuat dengan Hb sehingga menghalangi fungsi vital Hb untuk membawa oksigen bagi tubuh. Banyaknya kendaraan menimbulkan akumulasi gas CO yang sangat membahayakan.

Salah satu penyebab utama terbentuknya CO pada gas buang motor bensin adalah akibat kurangnya oksigen pada reaksi pembakaran. Kurangnya oksigen pada proses pembakaran mengakibatkan pembakaran tidak sempurna, ini berarti pembakaran tidak efisien. Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut dengan pemasangan *auxiliary air device* ke ruang bakar pada *intake manifold*. Dengan demikian campuran udara (oksigen) dan bahan bakar akan terbakar lebih sempurna.

Pengaruh *auxiliary air device* pada *intake manifold* terhadap emisi gas CO dan efisiensi dari motor bensin empat langkah telah diteliti oleh Angga Y (2005), dimana pemasangan *auxiliary air device* berdiameter 1 mm pada *intake manifold* motor bensin dapat menurunkan emisi gas CO secara signifikan dan dapat meningkatkan efisiensi termal efektif pada bukaan *throttle* sekitar 24% sampai 34%. Hasil penelitian tersebut tanpa melakukan variasi sudut pengapian, padahal dalam proses pembakaran sudut pengapian sangat mempengaruhi awal pembakaran, sehingga akan berpengaruh pada kesempurnaan pembakaran yang tentunya juga menurunkan produk CO meningkatkan

efisiensi termal efektif. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan sudut pengapian dan penggunaan *auxiliary air device* pada *intake manifold* motor bensin.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasar latar belakang diatas maka permasalahan yang diteliti adalah bagaimana pengaruh penggunaan *auxiliary air device* pada *intake manifold* dengan variasi sudut pengapian terhadap unjuk kerja motor bensin 4 langkah?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memberi kejelasan terhadap isi pembahasan dan supaya mengarah pada permasalahan yang ditentukan maka diperlukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Motor diuji dalam keadaan tidak mobile.
2. Bahan bakar yang digunakan adalah premium SPBU.
3. Sistem pemasukan udara secara natural.
4. Motor yang dipakai adalah motor bensin 4 langkah 4 silinder (Laboratorium Motor Bakar Universitas Brawijaya).
5. Diameter lubang udara pada *auxiliary air device* adalah 1 mm.
6. Unjuk kerja meliputi daya efektif, konsumsi bahan bakar efektif, efisiensi dan emisi gas CO.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sudut pengapian yang efektif pada penggunaan *auxiliary air device* pada *intake manifold* terhadap unjuk kerja motor bensin 4 langkah.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh cara alternatif untuk mengurangi polusi udara akibat emisi CO.
2. Dapat membandingkan emisi gas CO dan efisiensi termal efektif dari motor bensin empat langkah yang menggunakan *auxiliary air device* dengan yang standar.
3. Mendapatkan sudut pengapian yang optimal sehingga akan didapat manfaat yaitu penurunan emisi gas CO dan peningkatan efisiensi termal efektif.

4. Sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya agar memperoleh emisi gas CO dan efisiensi termal efektif motor bensin yang lebih baik.
5. Sebagai dasar pengembangan kontrol AFR pada motor bensin untuk menghasilkan emisi gas buang yang ramah lingkungan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Zamroni (2005), melakukan penelitian tentang pengaruh pemasangan *Auxiliary air device* pada intake manifold pada motor bensin empat langkah. *Auxiliary air device* merupakan suatu alat yang digunakan untuk memasukkan udara tambahan ke campuran udara dan bahan bakar dari karburator, alat tersebut terletak pada *intake manifold* setelah karburator. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa pemasangan *Auxiliary air device* pada intake manifold dapat menurunkan emisi gas CO secara signifikan serta meningkatkan nilai efisiensi termal efektif motor bensin empat langkah empat silinder.

Bramantyo (2005), melakukan penelitian dengan memvariasikan jumlah saluran *Auxiliary air device* yaitu 1,2, dan 3 saluran. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa kinerja yang paling optimal dihasilkan oleh *Auxiliary air device* dengan satu saluran.

Yudistira (2005), melakukan penelitian penambahan *auxilliary air device* dengan variasi diameter pada *intake manifold* motor bensin empat langkah, variasi diameter yang dilakukan 1, 2, 3 dan 4 mm. Hasil penelitian, untuk diameter *Auxiliary air device* 1 mm dapat menurunkan emisi gas CO dan meningkatkan efisiensi termal efektif motor bensin empat langkah empat silinder secara signifikan.

2.2 Motor Bakar

Motor bakar torak, termasuk mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*), adalah suatu mesin konversi energi yang pada prinsipnya mengubah energi kimia yang dimiliki bahan bakar ke dalam bentuk energi termal atau potensial gas hasil pembakaran untuk melakukan kerja mekanik. Pembakaran antara bahan bakar dan oksigen dari udara terjadi di dalam silinder dan didalam silinder tersebut terdapat torak yang bergerak secara tranlasi, dimana torak inilah yang mengubah energi panas hasil pembakaran menjadi energi gerak. Menurut Wiranto Arismunandar (Motor Bakar Torak, 2005 : 5) Berdasarkan jenis penyalannya motor bakar dibagi dua macam yaitu motor bakar bensin (*Otto*) dan motor diesel.

1. Motor Otto : Dengan sistem penyalan busi (*spark ignition engine*) yang dilengkapi oleh karburator dan busi. Karburator adalah tempat percampuran bahan bakar dan udara, percampuran tersebut terjadi karena bahan bakar terisap ke dalam

karburator. Campuran bahan bakar dan udara kemudian dinyalakan oleh loncatan bunga api listrik yang timbul diantara elektrode busi menjelang akhir langkah kompresi.

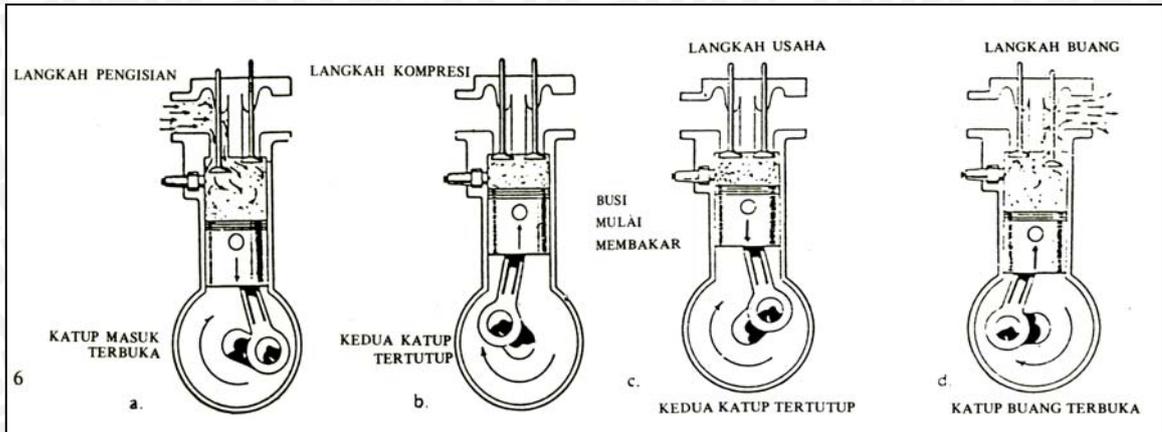
2. Motor Diesel : Dengan sistem penyalan sendiri pada tekanan dan temperatur yang tinggi (*compression ignition engine*).

Perbedaan utama dari kedua jenis motor bakar torak itu adalah terletak pada sistem penyalan bahan bakarnya. Pada motor bensin bahan bakarnya dinyalakan dengan loncatan bunga api yang dihasilkan oleh busi, sedangkan pada motor diesel terjadi penyalan sendiri pada tekanan dan temperatur yang tinggi sesaat sebelum akhir kompresi.

Selain berdasarkan jenis penyalannya, motor bakar torak juga dapat dibedakan berdasarkan jumlah langkah tiap siklus, yaitu motor bakar dua langkah dan motor bakar empat langkah. Motor bakar dua langkah adalah motor bakar yang memerlukan satu kali putaran poros engkol dalam satu kali siklus kerjanya. Sedangkan motor bakar empat langkah adalah motor bakar yang memerlukan dua kali putaran poros engkol dalam satu kali siklus kerjanya. Satu kali langkah piston adalah gerak piston dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB) dan sebaliknya.

2.3 Prinsip Kerja Motor Bensin Empat Langkah

Motor bensin mempergunakan karburator sebagai tempat pencampuran bahan bakar dan udara. Bahan bakar dihisap di dalam karburator melalui pilot jet akibat perbedaan tekanan terhadap lubang venturi yang dialiri oleh udara. Campuran ini kemudian masuk ke dalam silinder melalui katup isap dan kemudian disulut percikan busi menjelang akhir langkah kompresi, sehingga menghasilkan gas pembakaran yang digunakan untuk melakukan kerja. Untuk memperjelas prinsip kerja motor bensin empat langkah tersebut, dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Skema langkah kerja motor bakar empat langkah.

Sumber : Karyanto, E, 1994 : 6

Pada prinsipnya proses kerja motor bensin empat langkah adalah dua kali putaran poros engkol menghasilkan satu kali langkah kerja atau dengan kata lain untuk setiap proses pembakaran diperlukan dua kali putaran poros engkol. Dalam empat kali gerakan piston terjadi proses pengisian, kompresi, penyalaan, ekspansi dan pembuangan. Pada tutup silinder terdapat dua saluran, masing - masing sebagai saluran isap dan saluran buang.

Untuk lebih jelasnya maka siklus kerja motor empat langkah dapat diterangkan sebagai berikut:

a. Langkah isap (*Intake Stroke*).

Pada waktu piston mulai bergerak dari TMA maka katup isap membuka. Campuran bahan bakar dan udara yang telah dicampur di dalam karburator dihisap ke dalam silinder sampai piston berada di TMB maka katup isap akan tertutup.

b. Langkah kompresi (*Compression Stroke*).

Pada waktu piston bergerak dari TMB menuju TMA, katup isap dan katup buang tertutup sehingga gas yang telah dihisap ke dalam silinder mesin tidak dapat keluar pada waktu ditekan oleh piston, gerakan piston mengakibatkan tekanan gas campuran bahan bakar dan udara akan bertambah tinggi. Beberapa saat sebelum mencapai TMA gas yang telah mencapai tekanan optimum tersebut dibakar oleh bunga api listrik dari busi sehingga gas hasil pembakaran mencapai tekanan optimum.

c. Langkah Kerja (*Power Stroke*).

Gas hasil pembakaran yang mempunyai suhu dan tekanan tinggi akan mengembang dan menekan piston ke bawah menuju TMB. Pada langkah piston

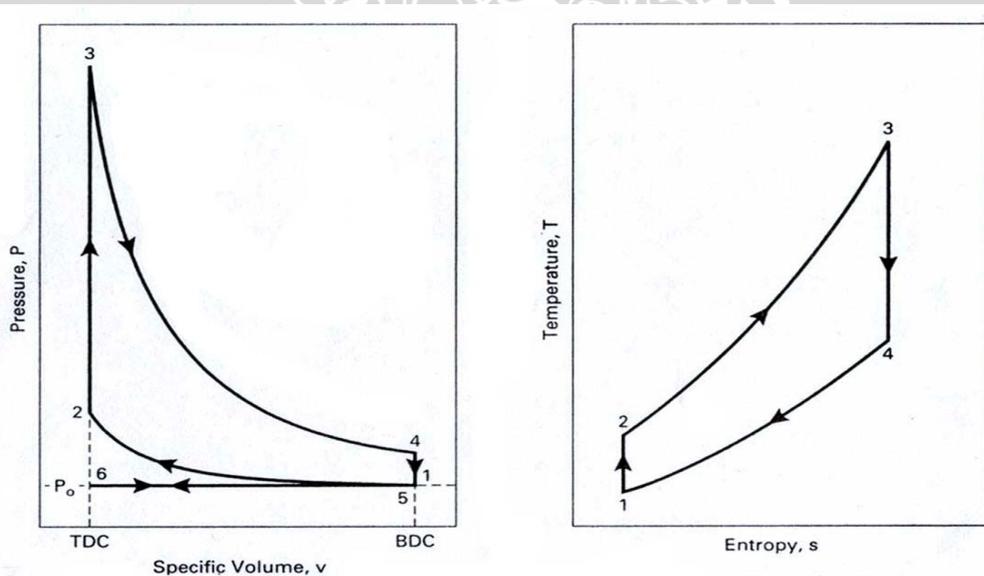
inilah tenaga panas diubah menjadi tenaga mekanis. Tenaga ini kemudian disalurkan melalui batang torak (*Conecting Rod*) dan poros engkol (*Crankshaft*) untuk diubah menjadi tenaga putar. Pada langkah kerja katup isap dan katup buang dalam keadaan tertutup.

d. Langkah buang (*Exhaust Stroke*).

Pada saat piston mulai bergerak dari TMB ke TMA katup buang membuka dan gas sisa pembakaran tertekan oleh piston melalui katup buang menuju udara bebas. Dengan terbuangnya gas buang ini (langkah keempat) motor nakar telah menyelesaikan satu siklus.

2.4 Siklus Ideal Motor Bensin Empat Langkah

Proses kimia dan termodinamika yang terjadi di dalam motor bakar torak amat kompleks untuk dianalisis menurut teori. Pada umumnya untuk menganalisis motor bakar dipergunakan siklus udara sebagai siklus ideal. Pada motor *Otto* yang menganut siklus volume – konstan dapat digambarkan dengan grafik P-V seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Diagram hubungan antara tekanan (p) – volume spesifik (v) dan temperatur (T) – entropi (s)

Sumber : Pulkabrek, 1977 : 75

Proses-proses yang terjadi dari diagram diatas adalah sebagai berikut :

1. Proses 0-1 = Langkah isap / pengisian, secara isobarik (tekanan konstan)
2. Proses 1-2 = Langkah kompresi / tekan, secara isentropik.
3. Proses 2-3 = Proses pembakaran, secara isokhorik (volume konstan)
4. Proses 3-4 = Langkah ekspansi / kerja, secara isentropik.

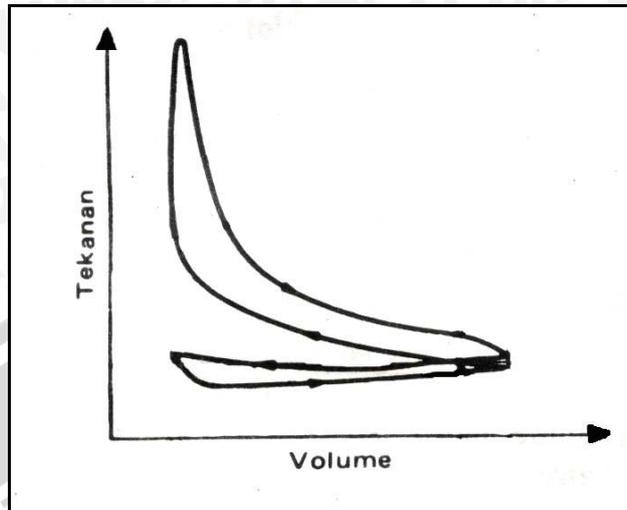
5. Proses 4-1 = Proses pengeluaran kalor, secara isokhorik (volume konstan)
6. Proses 1-0 = Langkah buang gas hasil pembakaran.
7. TMA = TDC ; TMB = BDC

2.5 Siklus Aktual Motor Bensin Empat Langkah

Proses langkah kerja motor bensin empat langkah dalam kenyataannya tidak dapat bekerja dalam kondisi ideal. Menurut Wiranto arismunandar (Motor Bakar Torak, 2005:29), penyimpangan dari siklus ideal itu terjadi karena dalam keadaan sebenarnya terjadi kerugian yang antara lain disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut:

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

8. Terjadi kerugian energi karena gesekan antara fluida kerja dengan dinding salurannya.



Gambar 2.3. Gambar Siklus Aktual Motor Bensin 4 Langkah

Sumber : Arismunandar W, 2002 : 31

Berdasarkan semua hal tersebut maka bentuk diagram $P - V$ dari siklus yang sebenarnya tidak sama dengan bentuk diagram siklus ideal. Pada siklus yang sebenarnya tidak pernah terjadi suatu proses dengan volume konstan atau tekanan konstan. Karena semua penyimpangan diatas menimbulkan kerugian energi, maka sebaiknya diusahakan agar siklus yang sebenarnya dapat mendekati siklus yang ideal.

2.6 Prinsip Kerja Karburator

Pada langkah isap dalam siklus motor bakar empat langkah, katup isap terbuka sehingga udara masuk ke ruang bakar. Aliran udara dilewatkan terlebih dahulu pada venturi karburator, karena sifat aliran akan terjadi penurunan tekanan pada leher venturi. Penurunan tekanan tersebut akan menghisap dan mengalirkan bahan bakar dari nosel bahan bakar ke aliran udara sehingga terjadi pencampuran udara dan bahan bakar yang kemudian masuk ke ruang bakar.

2.7 Saluran Isap (*Intake Manifold*)

Sistem isap (*intake system*) adalah sistem yang mengatur serta mengalirkan jumlah bahan bakar dan udara yang tepat kedalam silinder pada saat mesin bekerja. Sistem isap terdiri atas beberapa bagian utama, yaitu *intake manifold*, *throttle*, katup isap, karburator.

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

Campuran antara bahan bakar dan udara di dalam pipa isap dapat terjadi dalam tiga kondisi yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kondisi mesin, umur mesin, bahan bakar yang digunakandan temperatur kerja, yaitu:

1. Bahan bakar (dalam bentuk kabut/*droplet*) dengan udara akan bercampur dengan baik sehingga bahan bakar dan udara tersebut akan mengalir bersama-sama kedalam silinder. Ini merupakan kondisi ideal yang diharapkan dapat terjadi.
2. Terdapat sebagian kecil bahan bakar yang masih dalam bentuk tetes cairan sehingga tidak bisa bercampur dengan udara secara sempurna.
3. Terjadinya lapisan tipis bahan bakar (*film*) pada dinding *intake manifold*. Hal ini terjadi karena bahan bakar yang masih dalam bentuk titik cairan akibat pengaruh gaya gravitasi akan mengumpul menjadi suatu lapisan tipis pada dinding *intake manifold*.

Dua kondisi terakhir diatas akan menyebabkan terjadinya perbedaan perbandingan antara jumlah udara dengan bahan bakar yang akan dialirkan ke silinder akibat campuran udara dan bahan bakar yang tidak homogen. Hal ini akan berpengaruh terhadap kinerja mesin dan bahkan akan memperpendek umur mesin. Hal tersebut dapat dikurangi atau bahkan dapat diatasi dengan cara membuat modifikasi agar campuran bahan bakar dan udara menjadi homogen, misalnya dengan menggunakan sistem injeksi bahan bakar sehingga diharapkan dapat mengkabutkan bahan bakar dengan baik. Selain itu dapat juga dengan mengusahakan agar aliran yang melewati *intake manifold* berpusar sehingga didapatkan campuran yang homogen.

2.8 Bahan Bakar Kendaraan Bermotor

Dewasa ini bahan bakar yang umum digunakan untuk kendaraan bermotor di Indonesia adalah bahan bakar jenis premium, premix, minyak solar dan yang terakhir yang baru dipasarkan adalah bahan bakar gas (BBG) dan super TT. Premium, premix, minyak solar dan super TT adalah jenis bahan bakar cair yang pada umumnya diperoleh dari pengolahan minyak mentah. Di dalam bahan bakar, terkandung unsur-unsur karbon dan hidrogen sehingga disebut dengan nama *hidrokarbon*.

Sifat – sifat utama bensin adalah sebagai berikut:

1. Mudah menguap pada suhu biasa.
2. Tidak berwarna, jernih dan berbau khas (bensin mengandung *tetra ethyl lead* sebagai anti *knock*, warna merah atau hijau pada bensin menunjukkan adanya racun kimia).
3. Titik nyala rendah
4. Berat jenis rendah
5. Melarutkan minyak dan karet.
6. Menghasilkan panas yang besar (9.500 – 10.500) kkal.kg⁻¹
7. Meninggalkan sedikit sisa karbon (sisa pembakaran).

Bahan bakar yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah bensin premium dari SPBU Pertamina. Sifat – sifat bahan bakar bensin premium yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

- a. Massa jenis : 773,5 kg.m⁻³
- b. *Lower Heating Value* : 9596.4 kkal.kg⁻¹

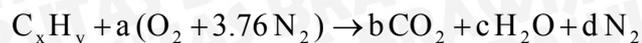
2.9 Pembakaran

Pengertian pembakaran adalah sebagai berikut:

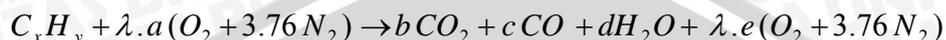
1. Pengertian secara makro adalah terjadinya reaksi kimia antara bahan bakar dan pengoksidasi yaitu O₂ dalam udara.
2. Pengertian secara mikro adalah lepasnya ikatan-ikatan yang lemah dalam bahan bakar karena masuknya energi dari luar, ikatan-ikatan yang terlepas ini berbentuk radikal kemudian radikal-radikal tersebut mengikat radikal lainnya membentuk ikatan yang sangat kuat dan menghasilkan energi yang sangat tinggi. Energi ini adalah yang dimanfaatkan sebagai kerja pada motor bakar maupun mesin-mesin yang lain.

2.9.1 Reaksi Pembakaran

Reaksi pembakaran sempurna antara bahan bakar (C_xH_y) dan udara secara matematis dituliskan sebagai berikut (Wardana, 1995: 21):



Dalam persamaan tersebut digunakan jumlah udara minimum yang biasa disebut dengan “udara teoritis”. Akan tetapi pada kondisi aktual pembakaran sempurna hampir tidak pernah terjadi karena pembakaran berlangsung secara kompleks. Tidak hanya tergantung ruang bakarnya tetapi juga tergantung kondisi bahan bakar, udara dan temperatur pembakaran. Sedangkan reaksi pembakaran secara umumnya dapat dituliskan sebagai berikut:



Dengan: λ = faktor kelebihan udara

$\lambda = 1$, apabila digunakan udara teoritis

$\lambda > 1$, apabila digunakan udara berlebih

$\lambda < 1$, apabila kekurangan udara

2.9.2 Syarat-syarat terjadinya pembakaran sempurna

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

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

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

Dari syarat ketiga (adanya campuran udara dan bahan bakar yang homogen) diatas untuk menghasilkan suatu proses pembakaran yang sempurna diperlukan homogenitas campuran bahan bakar dan udara. Terjadinya campuran antara bahan bakar dan udara pembakaran yang homogen disebabkan apabila garis alir fluida udara pembakaran dan bahan bakar saling berpotongan, sehingga partikel-parikel udara dan bahan bakar akan bergerak secara acak dan lebih bebas untuk saling berikatan. Dengan adanya campuran homogen ini, maka akan diperoleh suatu pembakaran yang merata, kecepatan pembakaran yang tinggi serta tekanan pembakaran yang lebih tinggi.

2.10 Sistem Pengapian

2.10.1 Sistem Penyalaan

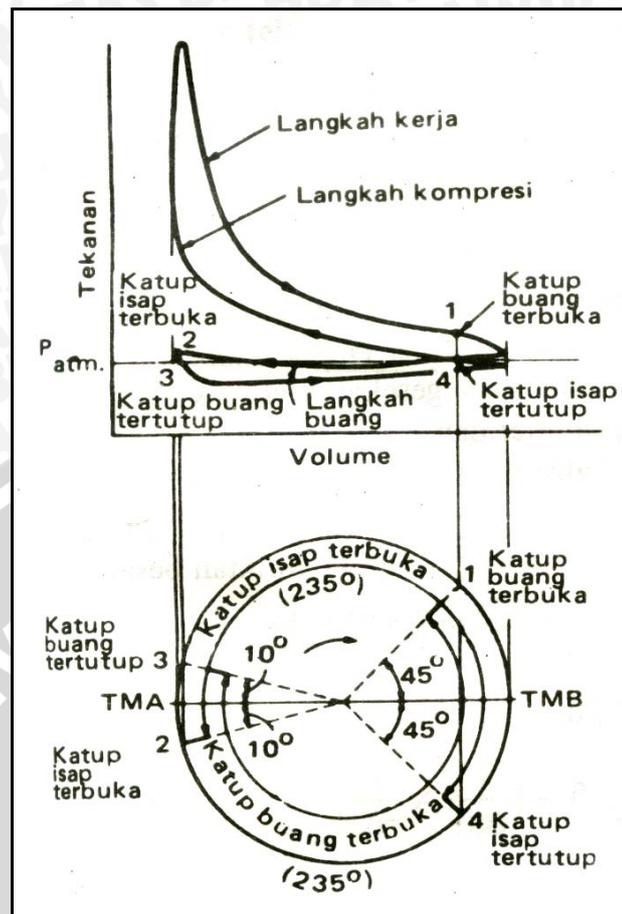
Untuk membangkitkan loncatan listrik antara kedua elektrode busi diperlukan perbedaan tegangan yang cukup besar. Adapun besarnya tegangan tersebut tergantung pada beberapa faktor sebagai berikut :

1. Perbandingan campuran bahan bakar-udara
2. Kepadatan campuran bahan bakar-udara
3. Jarak antara kedua elektrode serta bentuk elektroda
4. Jumlah molekul campuran yang terdapat diantara kedua elektroda
5. Temperatur campuran dan kondisi operasi yang lain.

Perbandingan campuran bahan bakar udara dapat berkisar antara 0,06 – 0,12. Untuk menyalakan campuran bahan bakar-udara yang miskin diperlukan perbedaan tegangan listrik relatif yang lebih besar daripada untuk campuran bahan bakar-udara yang kaya.

2.10.2 Waktu Penyalaan

Pada motor Otto, waktu kelambatan penyalaan (delay period, yaitu waktu antara terjadinya loncatan listrik pada busi dan saat mulai terjadinya nyala pembakaran) berkisar antara 1,7 – 4,5 mili second (ms) pada putaran 1500 rpm (Arismunandar, W, 2005: 67). Waktu kelambatan penyalaan itu boleh dikatakan konstan. Oleh karena itu makin tinggi kecepatan mesin, saat penyalaan itu pun harus diajukan untuk memberikan waktu pembakaran yang sama. Ini disebabkan karena pembakaran (oleh loncatan listrik) meminta gerakan torak yang lebih panjang atau sudut engkol yang lebih besar pada putaran poros yang lebih tinggi. Untuk memperoleh daya yang maksimum dari suatu operasi hendaknya penyalaan diatur sedemikian rupa sehingga tekanan gas maksimum terjadi pada saat torak berada disekitar 15 sampai 20 derajat engkol sesudah TMA. Penyalaan yang baik pada motor bakar bergantung pada kecepatan perambatan nyala, jarak perambatan nyala maksimum, kecepatan poros engkol, dan penyetelan sudut pengapian yang paling tepat. Jika nilai oktan bahan bakar tinggi saat pengapian harus dipercepat/ dimajukan dari spesifikasi yang diberikan, untuk mencegah penyalaan dini (*pre-ignition*). Adapun sudut pengapian untuk motor bensin standart pabrik adalah 8° - 10° sebelum TMA (Karyanto, E, 1994: 270).



Gambar 2.5 Hubungan antara diagram pengatur katub dengan gravik tekanan versus volume untuk motor empat langkah.

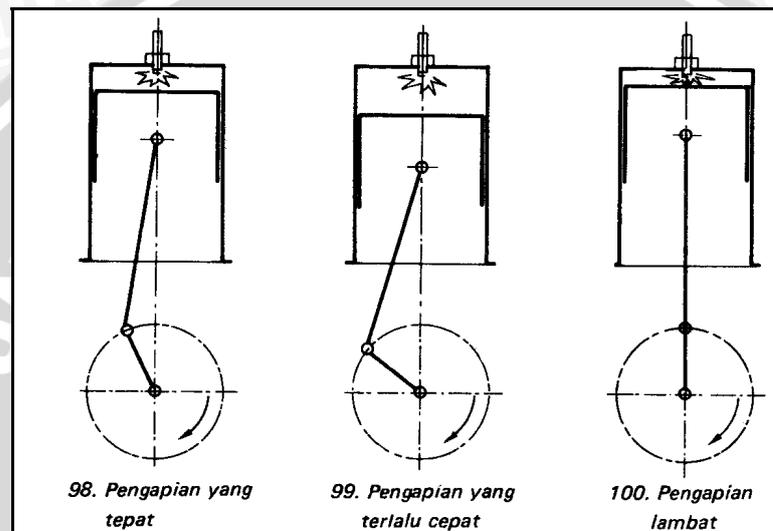
Sumber : Arismunandar W, 2002 : 31

Campuran bahan bakar – udara didalam silinder motor bensin harus sesuai dengan syarat pembakaran pada motor bakar, yaitu jangan terbakar sendiri. Ketika busi mengeluarkan api listrik, yaitu pada saat beberapa derajat engkol sebelum torak mencapai titik mati atas (TMA), campuran bahan bakar udara disekitar itulah yang mula-mula terbakar, kemudian nyala api merambat kesegala arah dengan kecepatan yang sangat tinggi (25 – 50 m/det), menyalakan campuran yang dilaluinya sehingga tekanan gas didalam silinder naik, sesuai dengan jumlah bahan bakar yang terbakar.

2.10.3 Detonasi (*knocking*)

Seperti pada peristiwa pembakaran normal api menyebar keseluruh bagian ruang bakar dengan kecepatan konstant dan busi berfungsi sebagai pusat penyalaan. Campuran bahan bakar-udara yang belum terbakar terdesak oleh gas yang telah terbakar, sehingga tekanan dan suhunya naik sampai keadaan hampir terbakar dan kemudian terbakar dengan sendirinya, maka akan timbul ledakan (detonasi) yang menghasilkan gelombang kejutan berupa suara ketukan (*knocking noise*) Gejala detonasi (*knocking*) lain yang mirip dengan peristiwa tersebut adalah *pre-ignition*

(Arismunandar, W, 2005: 82). Pada pre-ignition bahan bakar terbakar sebelum busi memberikan api. Detonasi (*knocking*) yang berulang – ulang dalam waktu yang cukup lama dapat merusak bagian ruang bakar. Begitu pula pada proses *pre-ignition* dapat mengurangi daya dan efisiensi mesin, sedangkan tekanan maksimum gas pembakaranpun akan bertambah tinggi. Karena itu detonasi tidak dikehendaki dan harus dicegah. Seluruh campuran bahan bakar – udara harus dinyalakan oleh nyala api yang berasal dari busi. Agar tujuan diatas tercapai, salah satu cara penanggulangannya adalah penyetulan sudut pengapian yang paling tepat agar tidak terjadi *pre-ignition*.



Gambar 2.6 waktu pengapian.
Sumber : Arends, 1980 : 70

2.11 Perbandingan Udara dan Bahan Bakar (AFR)

Perbandingan udara dan bahan bakar pada proses pembakaran sempurna disebut perbandingan udara dan bahan bakar teoritis atau stoikiometrik $(AFR)_t$. Dalam proses pembakaran sempurna hidrokarbon, karbon akan terbakar menjadi CO_2 dan hidrogen akan terbakar menjadi H_2O . Sedangkan perbandingan udara dan bahan bakar pada proses pembakaran nyata disebut perbandingan udara dan bahan bakar aktual $(AFR)_{act}$ dan merupakan pembakaran yang tidak sempurna dimana karbon akan menghasilkan CO_2 dan CO .

Perbandingan antara perbandingan udara dan bahan bakar teoritis atau stoikiometrik $(AFR)_t$ dan perbandingan udara dan bahan bakar aktual $(AFR)_{act}$ disebut faktor kelebihan udara (λ), yang dirumuskan:

$$\lambda = \frac{(AFR)_{act}}{(AFR)_t}$$

dengan,

λ = faktor kelebihan udara

$(AFR)_{act}$ = perbandingan udara dan bahan bakar aktual

$(AFR)_t$ = perbandingan udara dan bahan bakar teoritis atau stoikiometrik

Supaya pembakaran berlangsung sempurna maka perbandingan bahan bakar dan udara haruslah sesuai, perbandingan yang sesuai untuk berbagai udara dan bahan bakar antara 2.5 – 34.6 (Maleev. V. L., 1987).

Jika λ bertambah kecil, hal ini berarti bahan bakar yang dipakai terlalu banyak, atau kekurangan udara. Pada keadaan ini terjadi pembakaran yang tidak sempurna karena terdapat senyawa hidrokarbon yang berlebih dan akan menghasilkan HC dan CO yang tinggi. Jika λ bertambah besar, maka hal ini berarti bahan bakar yang dipakai dalam pembakaran terlalu sedikit atau kelebihan udara. Pada keadaan ini udara berlebih akan lebih menjamin terjadinya pembakaran sempurna.

Pada kondisi aktual pencampuran bahan bakar dan udara yang sempurna sulit terjadi, oleh karena itu mesin menggunakan udara lebih daripada udara teorisnya. Jika mesin beroperasi dengan jumlah udara yang kurang dari kebutuhan teoritisnya, maka bahan bakar tidak sempat terbakar secara sempurna. Pembakaran tidak sempurna juga terjadi pada mesin dengan kelebihan udara dengan pencampuran yang lemah.

2.12 Emisi Gas Buang

Hasil pembakaran bahan bakar di dalam motor pada umumnya adalah CO_2 , CO, H_2O berupa uap, SO_x dan NO_x . Pada pembakaran yang sempurna maka pada gas buang akan dihasilkan CO_2 dan H_2O . Jika bahan bakar mengandung unsur belerang dan zat lemas udara, maka hasil pembakarannya adalah SO_x dan NO_x yang merupakan unsur polutan yang dapat mencemari udara bebas. Sedangkan kadar CO akan bertambah tinggi apabila dalam proses pembakaran, komposisi bahan bakar lebih banyak ketimbang udara (O_2) yang diperlukan untuk mengubah CO menjadi CO_2 . Akibatnya CO yang terbuang meningkat.

Bahan bakar premium mengandung campuran dari beberapa hidrokarbon dan jika terbakar sempurna pada gas buang hanya akan mengandung karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2O) serta udara yang tidak ikut dalam proses pembakaran. Namun pada kenyataannya, pembakaran yang terjadi adalah tidak sempurna dan akan dihasilkan karbon monoksida (CO). Karbon monoksida (CO) merupakan salah satu unsur emisi gas buang yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia karena tidak berwarna, tidak

berbau dan beracun yang dapat menimbulkan rasa sakit pada mata, saluran pernafasan dan paru-paru. Apabila masuk dalam darah melalui pernafasan, CO akan bereaksi dengan hemoglobin dalam darah membentuk COHb (karboksihemoglobin), CO berikatan sangat kuat dengan Hb sehingga akan melumpuhkan sistem pembuluh darah dan menghalangi fungsi vital Hb untuk membawa oksigen bagi tubuh.

Banyaknya CO dari gas buang tersebut tergantung dari perbandingan bahan bakar dan udara, pada pembakaran yang sempurna tidak terbentuk CO. Hal ini bisa dicapai pada perbandingan secara teoritis 14,7 : 1 (Arends, 1980: 72). Perbandingan ini sulit dicapai, karena kualitas campuran selalu berubah dengan frekuensi putar dan pembebanan motor. Jadi banyaknya CO yang terbentuk pada gas buang dipengaruhi oleh : (1) campuran bahan bakar, (2) kecepatan (rpm), (3) temperatur dari ruang bakar, silinder dan dinding silinder, (4) saat pengapian, (5) langkah torak, (6) udara yang dimasukkan dalam karburator .

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

2.13 Kinerja Motor Bakar.

Pengujian dari suatu motor bakar adalah untuk mengetahui kinerja dari motor bakar itu sendiri. Kinerja motor bakar yang akan diamati dalam penelitian ini meliputi:

1. Torsi (T)
2. Daya efektif (N_e)
3. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFC_e)
4. Efisiensi termal efektif (η_e).

2.13.1 Torsi (T)

Hasil proses pembakaran di dalam silinder menimbulkan tekanan yang dapat menekan torak melakukan langkah ekspansi atau kerja. Tekanan tersebut diubah menjadi gaya oleh torak yang selanjutnya diteruskan ke batang torak yang kemudian akan menyebabkan berputarnya poros engkol. Berputarnya poros ini akan menimbulkan momen putar yang disebut torsi. Besarnya torsi dapat diukur dengan menggunakan alat

dynamometer. *Dynamometer* akan menunjukkan besarnya gaya atau beban pengereman pada poros. Sehingga harga torsi didapat dari perkalian besarnya beban pengereman dengan panjang lengan yang menghubungkan timbangan dengan poros.

Persamaannya dirumuskan sebagai berikut:

$$T = F.L \text{ (kg.m)} \dots\dots\dots(\text{Nakoela Sunarta; 1995 : 11})$$

Dengan:

F = Besar gaya putar yang terbaca pada timbangan dynamometer (kg)

L = Panjang lengan dynamometer = 0,358 (m)

2.13.2 Daya Efektif (Ne)

Daya efektif adalah daya aktual yang dihasilkan pada poros setelah mengalami kerugian-kerugian seperti gesekan antara piston dengan dinding silinder, gesekan poros dengan bantalan dan sebagian daya yang digunakan untuk menggerakkan peralatan tambahan. Untuk mendapat daya efektif dapat dicari dengan mengalikan torsi (T) dengan kecepatan anguler poros (ω). Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$N_e = T.\omega = \frac{T.2.\pi.n}{60.75} = \frac{T.n}{716.2} \text{ (HP)} \dots\dots\dots(\text{Petrovsky; 1979 : 59})$$

Dengan:

N_e = Daya efektif (HP)

T = Torsi (kg.m)

ω = Kecepatan anguler poros (rad.det⁻¹)

n = Putaran mesin (rpm)

2.13.3 Fuel Consumption (FC)

Konsumsi bahan bakar pada motor bakar diukur dengan menggunakan tabung ukur yang disebut meter alir dimana bahan bakar dialirkan melalui tabung ukur yang diketahui volumenya dan dilihat waktu untuk menghabiskannya sebesar volume tersebut. Konsumsi bahan bakar tersebut dikonversikan kedalam kg/jam dengan rumusan sebagai berikut:

$$F_c = \frac{b}{t} \cdot \rho_f \cdot \frac{3600}{1000} \text{ (kg/jam)} \dots\dots\dots(\text{Petrovsky; 1979 : 63})$$

Dengan:

F_c = konsumsi bahan bakar (kg.jam⁻¹)

b = Volume bahan bakar selama t detik (ml)

t = Waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak b ml (dt)

ρ_f = Massa jenis bahan bakar (gr.ml⁻¹)

2.13.4 Specific Fuel Consumption Effective (SFCe)

Specific fuel consumption effective adalah banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya 1 HP selama 1 jam. Besar *specific fuel consumption* efektif (SFCe) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{SFCe} = \frac{\text{FC}}{\text{Ne}} \text{ (Kg.HP}^{-1}\text{.jam}^{-1}\text{)} \dots\dots\dots \text{(Petrovsky, 1979 : 63)}$$

63)

Dengan:

SFCe = konsumsi bahan bakar spesifik efektif (Kg.HP⁻¹.jam⁻¹)

Fc = konsumsi bahan bakar (kg.jam⁻¹)

Ne = Daya efektif (HP)

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

2.13.5 Efisiensi Termal Efektif (η_e)

Efisiensi Termal Efektif merupakan perbandingan antara kalor yang digunakan untuk daya efektif yang dihasilkan oleh mesin dengan jumlah kalor dari pembakaran bahan bakar dan udara. Hal ini merupakan suatu parameter ekonomis atau tidaknya dalam pemakaian bahan bakar, jadi jika konsumsi bahan bakar spesifik efektif semakin turun, maka efisiensi termal efektif akan meningkat. Ini dikarenakan nilai dari efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik, sesuai dengan rumus Efisiensi Termal Efektif.

$$\eta_e = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot \text{LHV}_{bb}} = \frac{632}{\text{SFCe} \cdot \text{LHV}_{bb}} \text{ (%) } \dots\dots\dots \text{(Petrovsky; 1979 : 62)}$$

Dengan:

η_e = efisiensi termal efektif (%)

Q_e = jumlah kalor yang digunakan untuk daya efektif (kkal . kg⁻¹)

Q_b = jumlah kalor dari pembakaran bahan bakar dan udara (kkal . kg⁻¹)

2.14 Laju Aliran Massa Udara Masuk Melalui *Round Accurate Nozzle* (Gs)

$$G_s = \alpha \cdot \varepsilon \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2g \cdot \gamma_a \cdot (P_1 - P_2)} \quad (\text{kg/s}) \quad \dots\dots\dots (\text{Operation manual:9})$$

$$\gamma_a = \gamma_N \frac{P_a - \phi \cdot P_s}{760} \cdot \frac{273}{273 + \theta} + \phi \cdot \gamma_w \quad (\text{kg/m}^3) \quad \dots\dots\dots (\text{Operation manual:9})$$

Dengan:

G_s = Laju aliran massa udara masuk melalui *round accurate nozzle* (kg/s)

α = koefisien aliran untuk *round nozzle* melalui *non-suction pipe* (0.822)

ε = koefisien untuk fluida tak mampu mampat menjadi fluida mampu mampat,

lihat lampiran 2 untuk melihat hubungan antara ε dan $\frac{P_1 - P_2}{P_1}$.

π = 3.1415

d = diameter dalam dari *round accurate nozzle* (0.048 m)

g = percepatan gravitasi (9.8 m/s^2)

γ_a = berat spesifik udara, pada temperatur θ °C, tekanan absolut P_a mmHg dan kelembaban relatif ϕ (kg/m^3)

$P_1 - P_2$ = beda tekanan pada *round nozzle* (kg/m^2)

γ_N = berat spesifik udara kering pada temperatur 0°C dan tekanan absolut 760 mmHg ($1,293 \text{ kg/m}^3$)

P_a = Tekanan atmosfer yang terukur selama tes (mmHg)

ϕ = kelembaban relatif udara.

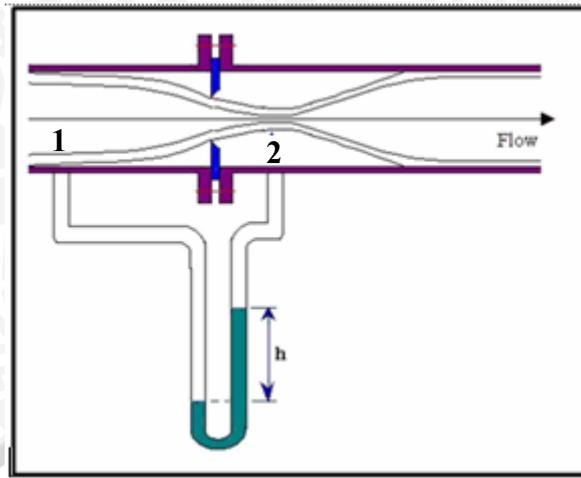
γ_w = berat spesifik uap air pada temperatur θ °C, (kg/m^3), lihat lampiran 2.

P_s = tekanan uap air jenuh pada temperatur θ °C, (mmHg), lihat lampiran 2.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{K}{K-1} \cdot \frac{P_1}{P_1 - P_2} \cdot \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{K}} - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{K+1}{K}}} \quad \dots\dots\dots (\text{Operation manual:9})$$

2.15 Laju Aliran Massa Udara Masuk Melalui *Auxilliary Air Device* (Gs')

Laju aliran massa udara masuk melalui *auxilliary air device* didapat dengan mencari beda tekanan pada orifis yang dipasang pada saluran masuknya dengan menggunakan manometer raksa jenis U.



Gambar 2.7 Metode pengukuran laju aliran massa udara masuk melalui *auxilliary air device*

$$Gs' = \gamma_a \cdot v_2 \cdot A_2 \quad (\text{kg/s})$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\gamma_a (1 - \beta^4)}} \quad (\text{m/s})$$

$$\Delta P = \frac{\rho_m g \Delta P_{\text{orifis}}}{1000} \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} \right)$$

$$\frac{d_2}{d_1} = \beta$$

dengan:

Gs' = laju aliran massa udara masuk melalui *auxilliary air device*.

γ_a = berat spesifik udara, pada temperatur θ °C, tekanan absolut P_a mmHg dan kelembaban relatif ϕ (kg/m^3).

v_2 = kecepatan udara pada titik 2 (m/s).

A_2 = luas pada diameter dalam orifice (m).

ρ_m = massa jenis fluida pada manometer ($13600 \text{ kg}/\text{m}^3$)

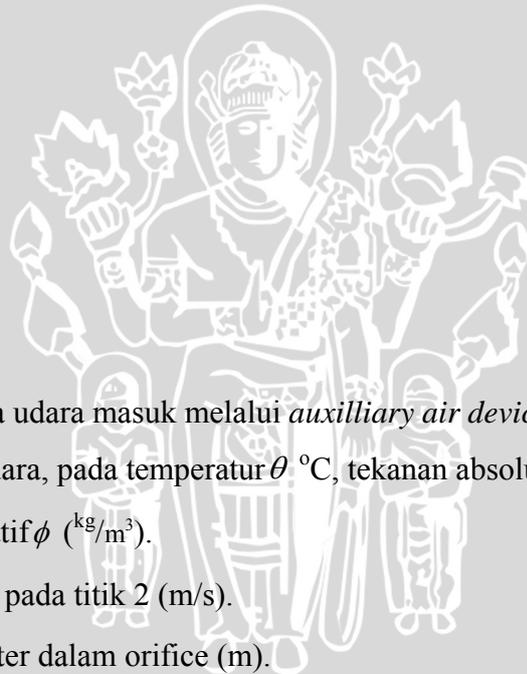
g = percepatan gravitasi ($9.8 \text{ m}/\text{s}^2$)

$\Delta P_{\text{orifice}}$ = beda tekanan pada manometer (mmHg)

d_1 = diameter pada titik 1 (10 mm)

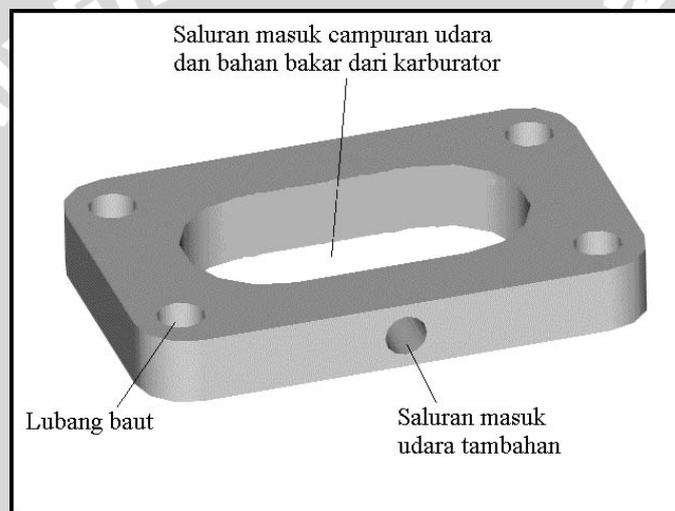
d_2 = diameter dalam orifice (4 mm)

β = rasio orifice (0.4)



2.16 Auxiliary Air Device

Auxiliary Air Device adalah suatu alat yang digunakan untuk memasukkan udara tambahan ke campuran udara dan bahan bakar dari karburator, jadi alat ini terletak sebelum *intake manifold* setelah karburator. Pemasukan udara melalui alat ini yaitu dengan memanfaatkan tekanan yang kurang dari 1 atm akibat gerakan isap torak. Tujuan pemasangan alat ini adalah untuk penambahan suplai udara pada ruang bakar sehingga akan mengurangi emisi gas CO. Dengan adanya tambahan udara ini, maka proses pembakaran akan bertambah sempurna, dan meminimalkan terbentuknya gas CO. Sempurnanya proses pembakaran ini nantinya diharapkan akan mampu menurunkan emisi gas CO dan meningkatkan efisiensi termal efektif dari motor bensin itu sendiri. Dalam penelitian kali ini digunakan diameter 1 mm.



Gambar 2.8. *Auxiliary air device*

2.17 Hipotesis

Pemasangan *auxiliary air device* pada *intake manifold* akan menambah udara pada ruang bakar sehingga reaksi pembakaran antara bahan bakar dan udara akan lebih sempurna. Pengaturan sudut pengapian yang tepat akan menghasilkan laju pembakaran yang sesuai. Dengan semakin sempurnanya pembakaran dan ketepatan awal pembakaran maka emisi gas buang untuk kandungan karbon monoksida akan semakin menurun dan efisiensi termal efektif dari motor bakar akan semakin meningkat.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah metode penelitian experimental yang digunakan untuk mengetahui pengaruh pemasangan *auxiliary air device* pada *intake manifold* dengan variasi sudut pengapian terhadap unjuk kerja motor bensin empat langkah .

3.2 Peralatan yang digunakan

3.2.1 Peralatan utama

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

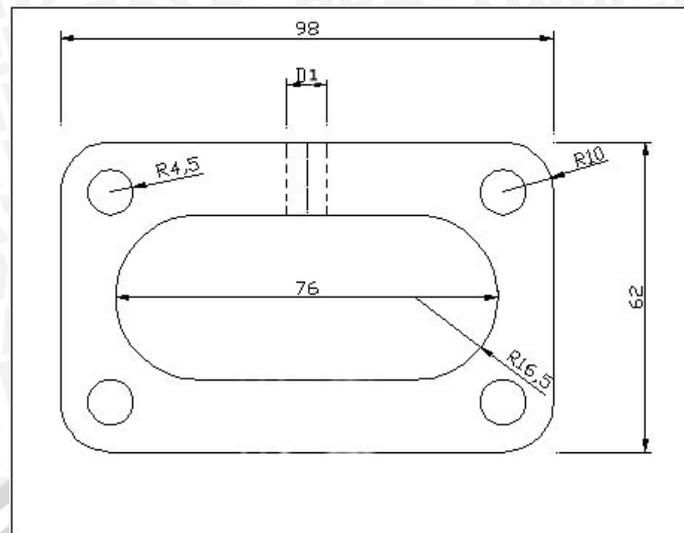
1. Motor bensin empat langkah dengan spesifikasi sebagai berikut:

- ✓ Siklus : 4 Langkah
- ✓ Jumlah silinder : 4
- ✓ Volume langkah torak total : 1567 cm³
- ✓ Diameter silinder : 78 mm
- ✓ Panjang langkah torak : 82 mm
- ✓ Perbandingan kompresi : 9 : 1
- ✓ Pendingin : Air
- ✓ Daya poros : 80 BHP / 5000 RPM
- ✓ Model : GWE – 80 – 100 – HS – Av
- ✓ Negara pembuat : Jepang

3.2.2 Peralatan bantu

Peralatan bantu yang dimaksud disini adalah alat-alat yang digunakan untuk mengukur parameter-parameter pengujian dan juga alat-alat lain yang diperlukan untuk membantu pelaksanaan penelitian. Pemilihan alat ukur yang dipakai dalam penelitian ini berdasarkan atas ketersediaan alat, kemudahan dalam pengoperasian, jangkauan pengukuran dan ketelitian ukurnya. Adapun peralatan bantu yang digunakan selama penelitian adalah:

1. *Auxiliary air device* : digunakan untuk memasukkan udara tambahan ke campuran udara dan bahan bakar dari karburator. Berikut adalah gambar dari *auxiliary air device*.

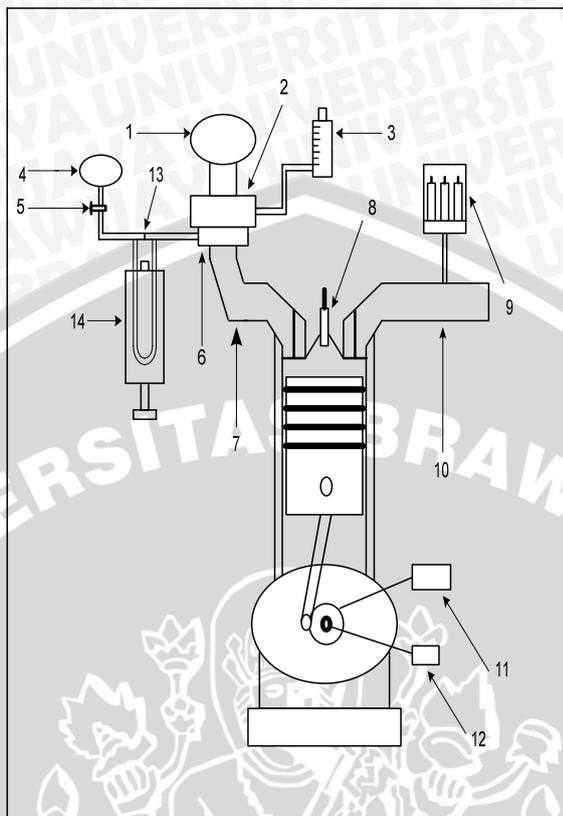


Gambar 3.1 : Auxiliary Air Device

2. *Dinamometer* : digunakan untuk mengukur gaya pengereman.
3. *Tachometer* : digunakan untuk mengukur putaran mesin.
4. Tabung pengukur bahan bakar: tabung pengukur ini berisi sejumlah bahan bakar dengan volume tertentu dan digunakan untuk mengukur konsumsi bahan bakar yang dipakai selama pengujian.
5. *Stop wacth*: digunakan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan motor bensin untuk menghabiskan bahan bakar dengan volume tertentu.
6. Barometer: digunakan untuk mengukur tekanan udara ruangan selama penelitian.
7. Termometer: digunakan untuk mengukur temperatur ruangan selama penelitian.
8. *Aerometer* : digunakan untuk mengukur berat jenis bahan bakar yang digunakan untuk pengujian.
9. Manometer: digunakan untuk mengetahui beda tekanan udara tambahan pada *auxiliary air device*.
10. *Gas Analyzer*: digunakan sebagai alat untuk mendapatkan kandungan emisi pada gas buang..
11. *Timing Light* : digunakan untuk mengetahui besar derajat pengapian.

3.3 Instalasi alat pengujian

Susunan alat pengujian adalah seperti berikut:



Gambar 3.2 : Susunan peralatan uji

Keterangan gambar:

1. Filter udara
2. Karburator
3. Alat ukur konsumsi bahan bakar
4. Filter udara
5. Katup pembuka dan penutup udara tambahan
6. *Auxiliary air device*
7. *Intake manifold*
8. Busi
9. *Gas Analyzer*
10. *Exhaust port*
11. *Tachometer*
12. *Engine dynamometer*
13. Orifice
14. *Manometer*

3.4 Tempat Penelitian

Penelitian terhadap kinerja motor bensin empat langkah ini dilakukan di laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

3.5 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan terdiri atas :

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan besarnya dapat diubah-ubah untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari obyek penelitian, sehingga diperoleh hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat. Variabel ini meliputi

- a. Buka *throttle* (24 %, 28%, 32%, 36%, 40%)
- b. Sudut pengapian motor bensin: 6°, 7°, 8°, 9°, dan 10°.

2. Variabel yang terkontrol

Variabel yang dikontrol pada penelitian ini adalah putaran mesin (2000 rpm).

3. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah :

- a. Daya efektif
- b. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif
- c. Emisi gas CO
- d. Efisiensi termal efektif

3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilaksanakan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Persiapan peralatan pengujian serta penyetingan mesin dalam kondisi baik.
2. *Running* mesin (motor).
3. Proses pengambilan data dengan tahapan:
 - Tahap pertama : yaitu pengambilan data dilakukan pada peralatan utama yang telah dilengkapi dengan peralatan bantu tanpa mempergunakan *auxiliary air device* pada *intake manifold*. Pengambilan data dilakukan pada bukaan *throttle* 24% sampai dengan 40% dengan sudut pengapian 8° dan putaran mesin 2000

rpm. Untuk memperoleh data yang lebih teliti dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali.

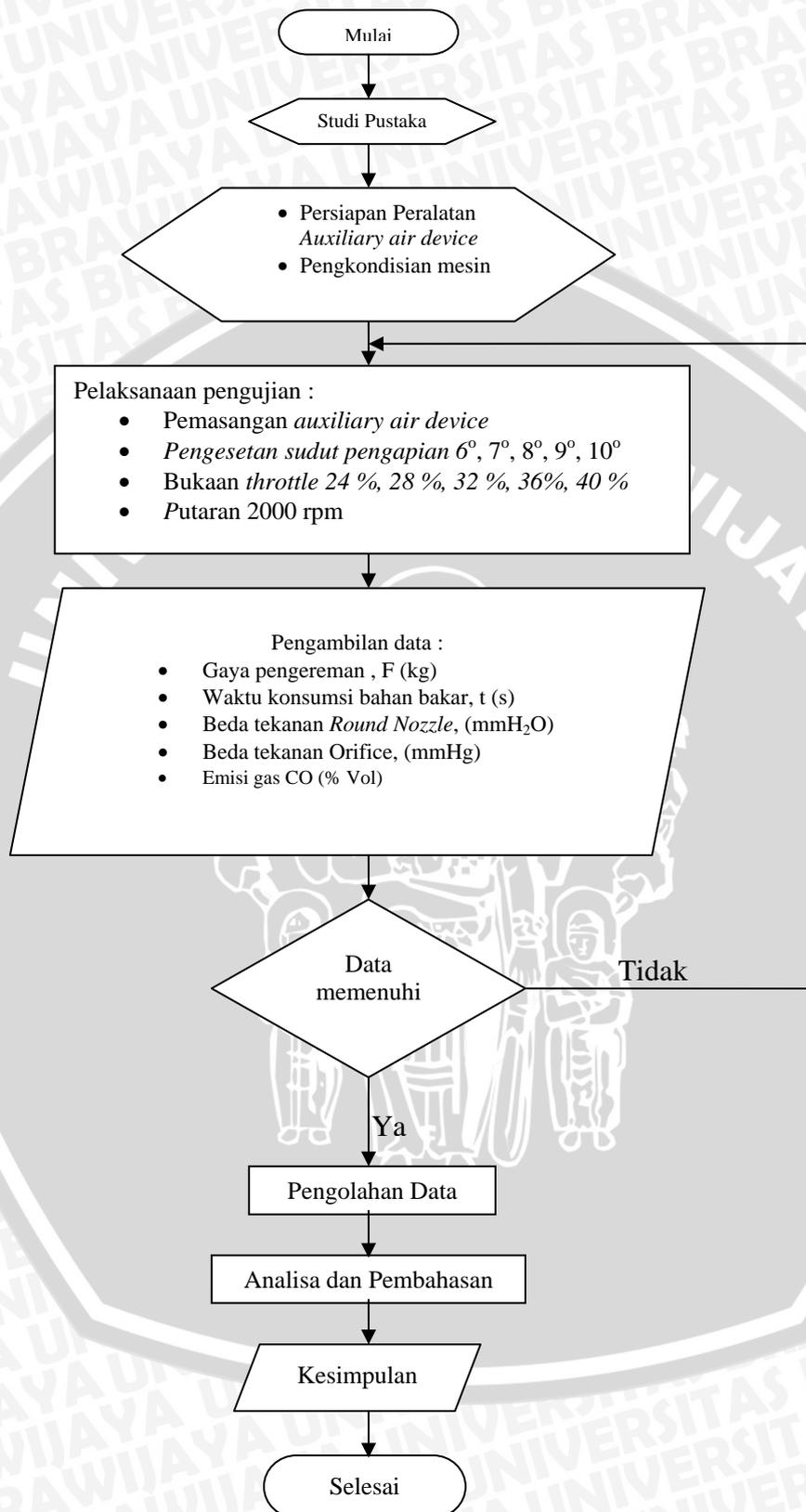
- Tahap kedua : pengambilan data dilakukan pada peralatan utama yang telah dilengkapi peralatan bantu dan mempergunakan *auxiliary air device* pada *intake manifold* dengan diameter 1 mm. Pengambilan data dilakukan pada bukaan *throttle* 24% sampai dengan 40% dengan sudut pengapian 6° dan putaran mesin 2000 rpm hal ini dilakukan sampai dengan sudut pengapian 10° . Untuk memperoleh data yang lebih teliti dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali.

4. Data yang dicatat meliputi:

- Putaran motor (rpm)
- Gaya pengereman (kg)
- Konsumsi bahan bakar ($\text{ml}\cdot\text{s}^{-1}$)
- Produk emisi gas karbon monoksida (% Vol)



3.7 Diagram Alir Penelitian



BAB IV

PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian

Pengujian yang telah dilakukan sebagai berikut :

Pengujian	: Variasi <i>Throttle</i>
Putaran	: 2000 rpm
Volume bahan bakar	: 30 ml
LHV bahan bakar	: 9596,4 kkal.kg ⁻¹

Tabel 4.1 Data hasil pengujian terhadap motor bensin 4 langkah standar dengan sudut pengapian 8°.

Tbk = 27 °C

Tbb = 25 °C

RH = 76 %

Pbar = 716 mmHg

Bukaan Throttle (%)	t (s)	F (kg)	ΔP R.Nozzle (mmH ₂ O)	CO (% Vol)	CO ₂ (% Vol)	HC (ppm)	O ₂ (% Vol)
40	16,24	19,75	7,9	0,742	8,49	131	8,57
	16,24	19,75	7,9	0,839	8,25	146	8,79
	16,5	19,75	7,9	0,701	8,64	123	8,43
36	17,88	19	6,9	0,326	8,73	123	8,48
	17,86	19	6,9	0,349	8,67	128	8,51
	17,89	19	6,9	0,3	8,76	124	8,45
32	19,47	17	5,8	0,335	8,49	131	8,76
	19,48	17	5,8	0,343	8,56	132	8,71
	19,5	17	5,8	0,345	8,45	130	8,77
28	21,26	14,75	4,9	0,374	8,13	132	9,12
	21,27	14,75	4,9	0,331	8,15	137	9,1
	21,3	14,75	4,9	0,341	8,12	133	9,16
24	24,18	11,75	3,9	0,376	7,88	138	9,53
	24,15	11,75	3,9	0,394	7,77	132	9,54
	24,18	11,75	3,9	0,363	7,83	133	9,62

Berikut ini adalah data yang diambil dari pengujian motor bensin yang menggunakan *auxiliary air device* dengan sudut pengapian 6° , 7° , 8° , 9° , dan 10° secara berurutan ditunjukkan pada tabel 4.2, tabel 4.3, tabel 4.4, tabel 4.5 dan tabel 4.6.

Tabel 4.2 Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan *auxiliary air device* dengan sudut pengapian 6° .

Tbk = 27°C

Tbb = 25°C

RH = 76 %

Pbar = 716 mmHg

Bukaan Throttle (%)	t (s)	F (kg)	ΔP R.Nozzle (mmH ₂ O)	ΔP Orifice (mmHg)	CO (% Vol)	CO ₂ (% Vol)	HC (ppm)	O ₂ (% Vol)
40	16,56	18,75	7	104	0,264	8,75	134	8,64
	16,41	18,75	7	104	0,389	8,49	147	9,05
	16,45	18,75	7	104	0,221	8,47	183	9,19
36	18,51	17,25	6	130	0,205	7,7	122	9,77
	18,76	17,25	6	130	0,187	8,58	124	9,02
	18,53	17,25	6	130	0,206	8,62	132	9,03
32	20,71	15	5	164	0,214	8,2	114	9,53
	20,52	15	5	164	0,222	8,22	114	9,44
	20,54	15	5	164	0,275	8,59	117	9,33
28	23,37	12,5	4	198	0,224	7,98	119	9,84
	23,35	12,5	4	198	0,233	7,92	117	9,84
	23,37	12,5	4	198	0,235	8,08	116	9,76
24	27	9,75	3	232	0,255	7,82	130	9,86
	26,93	9,75	3	232	0,26	7,79	126	9,97
	27,01	9,75	3	232	0,262	7,88	118	9,95

Tabel 4.3 Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan *auxiliary air device* dengan sudut pengapian 7°

Tbk = 27°C

Tbb = 25°C

RH = 76 %

Pbar = 716 mmHg

Bukaan Throttle (%)	t (s)	F (kg)	ΔP R.Nozzle (mmH ₂ O)	ΔP Orifice (mmHg)	CO (% Vol)	CO ₂ (% Vol)	HC (ppm)	O ₂ (% Vol)
40	16,63	18,75	7	100	0,329	8,25	138	9,12
	17,09	18,75	7	100	0,286	8,47	126	8,94
	16,62	18,75	7	100	0,328	8,26	150	9,29
36	18,85	17,75	6	128	0,189	8,37	112	9,26
	18,81	17,75	6	128	0,192	8,36	115	9,19
	18,98	17,75	6	128	0,217	8,5	121	9,1
32	20,26	16	5,2	150	0,216	8,28	111	9,29
	20,18	16	5,2	150	0,24	8,24	111	9,31
	20,42	16	5,2	150	0,223	8,36	117	9,32
28	23,02	13,25	4	188	0,235	7,7	116	9,99
	23,17	13,25	4	188	0,24	7,76	116	9,97
	23,06	13,25	4	188	0,224	7,83	114	9,91
24	27,1	10,25	3	226	0,251	7,37	115	10,33
	27,1	10,25	3	226	0,26	7,36	116	10,38
	27,07	10,25	3	226	0,252	7,54	118	10,34

Tabel 4.4 Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan *auxiliary air device* dengan sudut pengapian 8° .

Tbk = 27°C

Tbb = 25°C

RH = 76 %

Pbar = 716 mmHg

Bukaan Throttle (%)	t (s)	F (kg)	ΔP R.Nozzle (mmH ₂ O)	ΔP Orifice (mmHg)	CO (% Vol)	CO ₂ (% Vol)	HC (ppm)	O ₂ (% Vol)
40	17,74	19,5	7	86	0,23	8,73	214	8,8
	17,72	19,5	7	86	0,184	8,54	257	9,01
	17,32	19,5	7	86	0,202	8,18	329	9,28
36	18,81	18,25	6	106	0,216	8,55	214	8,91
	18,75	18,25	6	106	0,197	8,48	227	9
	18,68	18,25	6	106	0,25	8,61	209	8,93
32	20,18	16,25	5,4	126	0,224	8,39	228	9,09
	20,26	16,25	5,4	126	0,214	8,32	227	9,18
	20,13	16,25	5,3	126	0,221	8,39	212	9,16
28	23,45	13,25	4,3	162	0,219	8,09	209	9,52
	22,96	13,25	4,2	162	0,201	8,07	197	9,51
	23,43	13,25	4,2	162	0,219	8,04	174	9,54
24	26,25	10,75	3,3	192	0,244	7,7	160	9,84
	26,26	10,75	3,3	192	0,241	7,75	163	9,87
	26,73	10,75	3,3	192	0,257	7,77	154	9,76

Tabel 4.5 Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan *auxiliary air device* dengan sudut pengapian 9° .

Tbk = 27°C

Tbb = 25°C

RH = 76 %

Pbar = 716 mmHg

Bukaan Throttle (%)	t (s)	F (kg)	ΔP R.Nozzle (mmH ₂ O)	ΔP Orifice (mmHg)	CO (% Vol)	CO ₂ (% Vol)	HC (ppm)	O ₂ (% Vol)
40	16,46	20	7,3	92	0,408	8,43	137	9
	16,61	20	7,4	92	0,345	8,53	145	9,05
	16,59	20	7,4	92	0,817	8,4	124	8,61
36	18,6	18,25	6,3	122	0,175	8,31	102	9,17
	18,58	18,25	6,3	122	0,172	8,35	103	9,22
	18,71	18,25	6,3	122	0,186	8,36	112	9,19
32	20,32	16,25	5,3	150	0,195	8,09	96	9,41
	20,36	16,25	5,4	150	0,22	8,27	99	9,41
	20,23	16,25	5,4	150	0,202	8,11	97	9,51
28	23,39	13,25	4,1	186	0,229	7,76	102	9,95
	23,12	13,25	4,2	186	0,206	7,62	96	10,01
	23,05	13,25	4,2	186	0,23	7,72	102	9,89
24	26,57	10,75	3,1	222	0,241	7,32	91	10,28
	26,72	10,75	3,1	222	0,226	7,39	92	10,23
	26,77	10,75	3,2	222	0,243	7,41	96	10,22

Tabel 4.6 Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan *auxiliary air device* dengan sudut pengapian 10° .

$$T_{bk} = 27^\circ\text{C}$$

$$T_{bb} = 25^\circ\text{C}$$

$$RH = 76\%$$

$$P_{bar} = 716 \text{ mmHg}$$

Bukaan Throttle (%)	t (s)	F (kg)	ΔP R.Nozzle (mmH ₂ O)	ΔP Orifice (mmHg)	CO (% Vol)	CO ₂ (% Vol)	HC (ppm)	O ₂ (% Vol)
40	16,88	18,75	7	100	0,196	8,39	120	9,25
	17,05	18,75	7	100	0,176	8,27	130	9,41
	17,04	18,75	7	100	0,393	8,35	116	9,08
36	18,44	18	6,3	116	0,165	8,41	113	9,22
	18,71	18	6,3	116	0,176	8,56	111	9,11
	18,48	18	6,3	116	0,184	8,47	109	9,09
32	20,42	16,25	5	150	0,22	8,14	115	9,47
	20,48	16,25	5,1	150	0,199	8,09	114	9,57
	20,7	16,25	5,1	150	0,189	8,25	113	9,54
28	23,55	12,75	4	190	0,22	7,73	118	9,96
	23,38	12,75	4	190	0,199	7,73	115	9,99
	23,56	12,75	4	190	0,222	7,82	118	9,93
24	26,09	11	3,4	216	0,208	7,49	110	10,36
	25,88	11	3,4	216	0,224	7,44	114	10,34
	26,01	11	3,4	216	0,221	7,53	116	10,28

4.1.2 Pengolahan Data

Untuk contoh perhitungan unjuk kerja diambil data Bukaan *throttle* 40% pada pengujian motor bensin standar (table 4.1). Perhitungan unjuk kerja meliputi torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, dan efisiensi termal efektif motor bensin 4 langkah. Adapun data untuk contoh perhitungan tersebut adalah sebagai berikut :

Bukaan <i>throttle</i>	= 40 %
Putaran mesin (n)	= 2000 rpm
Besar beban timbangan (F)	= 19,75 kg
Panjang lengan pada timbangan (l)	= 0,358 m
Volume bahan bakar (b)	= 30 ml
Waktu konsumsi bahan bakar (t)	= 16,24 detik
Massa jenis bahan bakar (ρ_f)	= 0,7735 gr.ml ⁻¹

Dari hasil data pengujian motor bensin empat langkah pada tabel 4.1 didapatkan nilai dari :

1. Torsi (T)

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

$$= 19,75 \times 0,358$$

$$= 7,0705 \text{ kg.m}$$

2. Daya efektif (Ne)

$$\begin{aligned}
 Ne &= \frac{T \cdot n}{716,2} \text{ (HP)} \\
 &= \frac{7,0705 \times 2000}{716,2} \\
 &= 19,74 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

3. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe)

$$\begin{aligned}
 FC &= \frac{b}{t} \cdot \rho_f \cdot \frac{3600}{1000} \text{ (kg} \cdot \text{jam}^{-1}\text{)} \\
 &= \frac{30}{16,24} \cdot 0,7735 \cdot \frac{3600}{1000} \\
 &= 4,987 \text{ kg} \cdot \text{jam}^{-1} \\
 SFCe &= \frac{FC}{Ne} \text{ (Kg} \cdot \text{HP}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1}\text{)} \\
 &= \frac{4,987}{19,74} \\
 &= 0,2526 \text{ Kg} \cdot \text{HP}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1}
 \end{aligned}$$

4. Efisiensi termal efektif (η_e)

$$\begin{aligned}
 \eta_e &= \frac{632}{SFCe \cdot LHV_{bb}} \times 100\% \text{ (%) } \\
 &= \frac{632}{0,2526 \cdot 9596,4} \times 100\% \\
 &= 26,07\%
 \end{aligned}$$

5. Aliran udara melalui nosel (Gs)

$$\begin{aligned}
 \gamma_a &= \gamma_N \cdot \frac{P_1 - \phi \cdot P_s}{760} \cdot \frac{273}{273 + TBK} + \phi \cdot \gamma_w \\
 &= 1,293 \cdot \frac{716 - (0,76 \cdot 26,74)}{760} \cdot \frac{273}{273 + 27} + 0,76 \cdot 0,02578 \\
 &= 1,096639 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Gs &= \frac{\alpha \cdot \varepsilon \cdot \pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \gamma_a \cdot (P_1 - P_2)} \\
 &= \frac{0,822 \cdot 1 \cdot 3,14 \cdot 0,048^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,096639 \cdot (7)} \\
 &= 0,019372 \text{ kg} \cdot \text{detik}^{-1}
 \end{aligned}$$

6. Aliran udara melalui orifis (G_s')

$$\rho_m = \text{masa jenis fluida di manometer (13600 kg.m}^{-3}\text{)}$$

$$v_2 = \text{Kecepatan udara melalui orifis (m.s}^{-1}\text{)}$$

$$A = \text{Luasan orifis (m}^2\text{)}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= \rho_m g \Delta h \text{ (manometer)} \\ &= 13600 \cdot 9,81 \cdot 0,104 \\ &= 13875,26 \text{ kg.m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}v_2 &= \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho(1-\beta^4)}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 13875,26}{1,09539(1-0,4^4)}} \\ &= 161,1518 \text{ m.s}^{-1}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}G_s' &= v_2 \cdot A \cdot \gamma_a \\ &= 161,1518 \cdot \left(\frac{3,14}{4} \cdot 0,004^2\right) \cdot 1,096639 \\ &= 0,00222 \text{ kg.s}^{-1}\end{aligned}$$

7. Perbandingan udara bahan bakar (AFR)

- AFR standar

$$\begin{aligned}\text{AFR} &= \frac{G_s}{FC} \\ &= \frac{0,019327}{4,891/3600} \\ &= 13,982\end{aligned}$$

- AFR dengan *auxilliary air device*

$$\begin{aligned}\text{AFR} &= \frac{G_s + G_s'}{FC} \\ &= \frac{0,019327 + 0,00222}{4,891/3600} \\ &= 15,859\end{aligned}$$

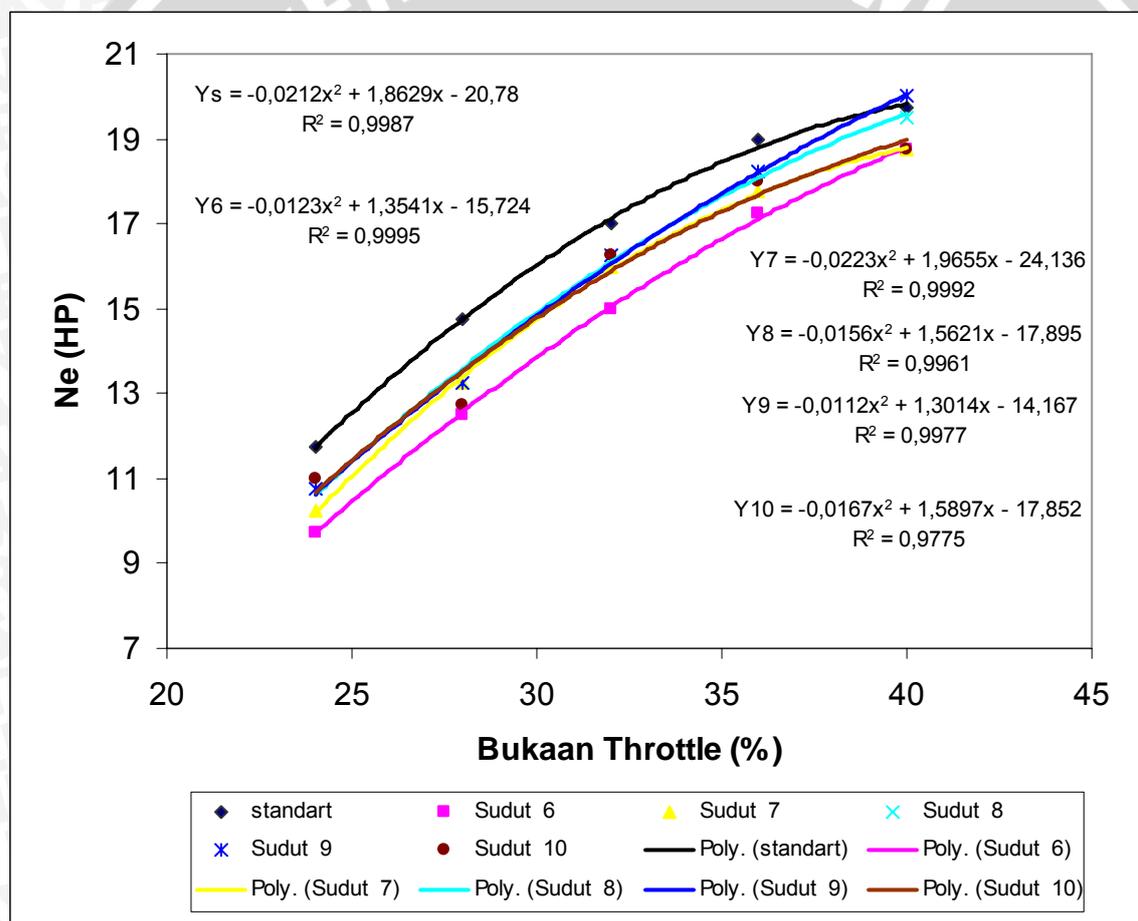
Perhitungan selengkapnya (torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, dan efisiensi termal efektif) untuk motor bensin standar dan motor bensin yang menggunakan *auxiliary air device* dengan sudut pengapian 6° , 7° , 8° , 9° , dan 10° secara berurutan ditunjukkan pada table 1.1, tabel 1.2, tabel 1.3, table 1.3, tabel 1.4, table 1.5, dan tabel 1.6 pada lampiran 1.

4.2 Pembahasan

Hasil pengolahan data pengujian motor bensin empat langkah dibuat dalam bentuk grafik hubungan antara bukaan *throttle* dengan daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi thermal efektif dan emisi gas CO. Secara berurutan grafik – grafik tersebut ditunjukkan pada gambar 4.1, gambar 4.2, gambar 4.3 dan gambar 4.4. Penyajian dalam bentuk grafik dimaksudkan untuk mempermudah analisa hasil uji.

4.2.1 Hubungan antara Bukaan *Throttle* terhadap Daya Efektif

Hubungan antara bukaan *throttle* motor bensin empat langkah pada putaran 2000 rpm untuk sudut pengapian 6° , 7° , 8° , 9° , dan 10° dengan menggunakan *auxiliary air device* serta tanpa memakai *auxiliary air device* (standar) terhadap daya efektif dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut ini :



Gambar 4.1. Hubungan antara bukaan *throttle* terhadap daya efektif

Pada gambar 4.1 dapat dilihat kecenderungan bahwa semakin besar bukaan *throttle* motor bensin standar maupun motor bensin dengan menggunakan *auxiliary air device* akan menghasilkan daya efektif yang semakin tinggi. Daya efektif tertinggi dihasilkan pada motor bensin menggunakan *auxiliary air device* dengan sudut pengapian 9° pada bukaan

throttle 40 %. Hal ini disebabkan karena semakin besar bukaan *throttle* maka beda tekanan yang terjadi pada *round nozzle* semakin besar yang mengakibatkan kecepatan udara masuk ruang bakar semakin besar. Kecepatan udara yang besar ini menyebabkan tekanan statik yang terjadi pada venturi karburator akan semakin kecil sehingga massa bahan bakar yang terkonsumsi akan semakin banyak. Hal ini mengakibatkan massa campuran bahan bakar dan udara dalam ruang bakar semakin banyak. Dengan sudut pengapian 9° memberikan cukup waktu agar campuran bahan bakar dan udara terbakar menyeluruh, sehingga kalor yang dihasilkan semakin besar yang mengakibatkan tekanan yang bekerja pada torak pada langkah ekspansi semakin besar pula. Kondisi yang demikian akan menimbulkan gaya yang besar pula. Gaya yang timbul tersebut akan mengakibatkan torsi yang dihasilkan juga semakin besar. Sesuai dengan rumus

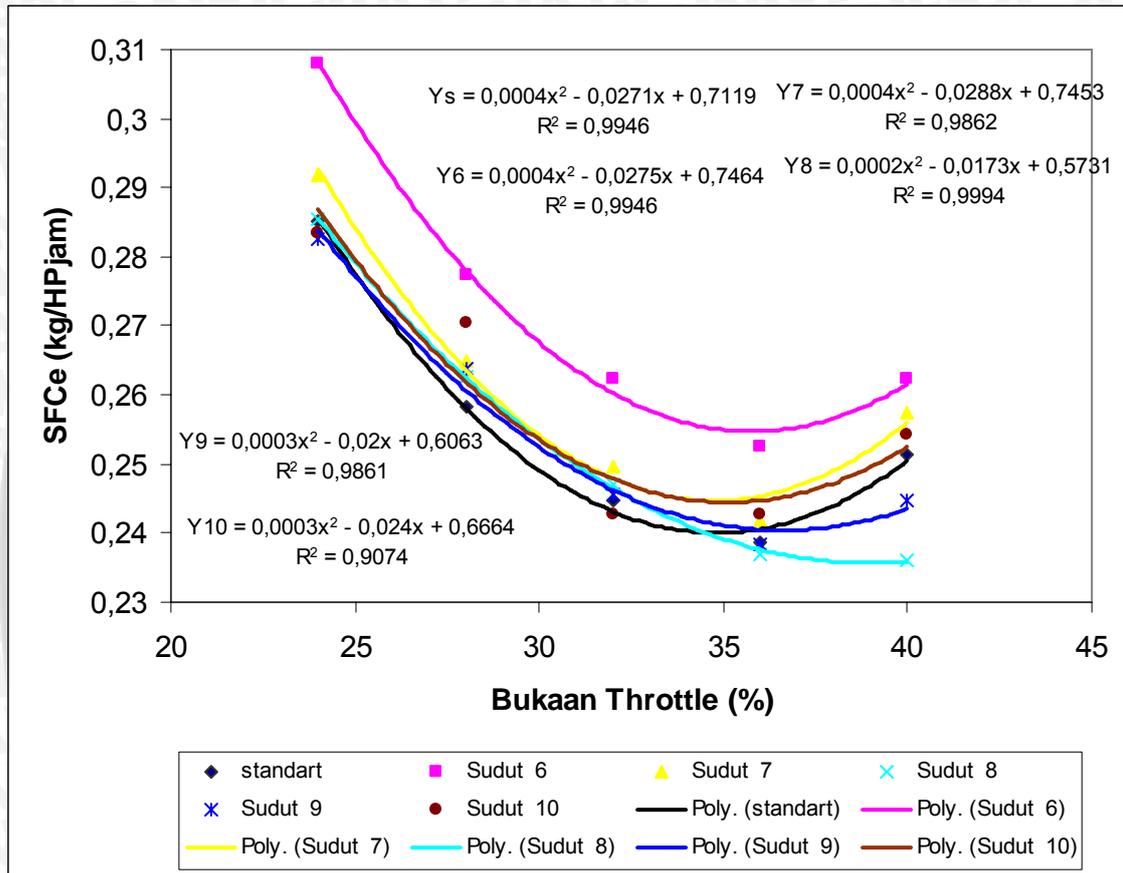
$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716.2};$$

menyatakan bahwa daya efektif berbanding lurus dengan torsi, sehingga semakin besar torsi maka semakin besar pula daya efektif yang dihasilkan.

Pada gambar 4.1, juga dapat dilihat perbandingan daya efektif antara motor bensin tanpa menggunakan *auxiliary air device* (standar) dengan motor bensin yang memakai *auxiliary air device*. Kurva untuk motor bensin standar berpotongan dengan kurva motor bensin menggunakan *auxiliary air device* dengan sudut pengapian 9° . Pada bukaan *throttle* 24% sampai 36 % daya efektif yang dihasilkan motor bensin standar lebih besar dari pada dengan menggunakan *auxiliary air device*, sebaliknya pada bukaan *throttle* 36% sampai 40% motor bensin dengan menggunakan *auxiliary air device* lebih besar dari pada standar. Hal ini disebabkan pada bukaan *throttle* 24% sampai 36% beda tekanan yang terjadi pada *round nozzle* lebih kecil dibandingkan 36% sampai 40%, sehingga konsumsi bahan bakar juga lebih sedikit. Karena awal pembakaran tetap (9° sebelum titik mati atas) dan campuran bahan bakar dan udara yang terjadi berbeda, maka daya efektif yang dihasilkan juga berbeda. Pada bukaan *throttle* 36% sampai 40% motor bensin dengan menggunakan *auxiliary air device* menghasilkan campuran bahan bakar dan udara yang merata. Karena didukung dengan penambahan udara yang sesuai, maka dihasilkan daya efektif motor bensin dengan menggunakan *auxiliary air device* lebih besar dibandingkan motor bensin standar. Dari pembahasan di atas menunjukkan bahwa pemasangan *auxiliary air device* dengan variasi sudut pengapian dapat menghasilkan daya efektif yang tinggi pada bukaan *throttle* 36% sampai 40% dengan sudut pengapian 9° .

4.2.2 Hubungan antara Bukaannya *Throttle* terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Hubungan antara bukaannya *throttle* motor bensin empat langkah pada putaran 2000 rpm untuk sudut pengapian 6° , 7° , 8° , 9° , dan 10° dengan menggunakan *auxiliary air device* serta motor bensin tanpa memakai *auxiliary air device* (standar) terhadap konsumsi bahan bakar spesifik dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut ini :

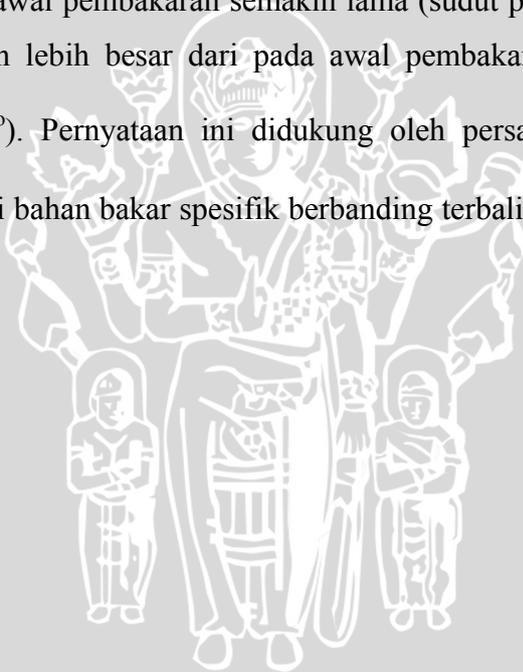


Gambar 4.2. Hubungan antara bukaannya *throttle* terhadap konsumsi bahan bakar spesifik.

Pada Gambar 4.2. terlihat bahwa semakin besar bukaannya *throttle* semakin turun konsumsi bahan bakar spesifik yang dihasilkan sampai pada bukaannya *throttle* tertentu kemudian konsumsi bahan bakar spesifik pada bukaannya *throttle* yang lebih besar naik kembali. Hal ini disebabkan semakin besar bukaannya *throttle* maka konsumsi bahan bakar semakin besar. Konsumsi bahan bakar yang semakin besar ini mengakibatkan energi pembakaran yang dihasilkan oleh motor bensin menjadi semakin besar pula. Energi pembakaran yang semakin besar ini menghasilkan gaya dorong pada torak yang semakin tinggi sedangkan putaran poros ditahan tetap 2000 rpm. Sehingga untuk putaran konstan tersebut diperoleh gaya pengereman yang semakin besar pada bukaannya *throttle* semakin besar, akibatnya torsi yang dihasilkan menjadi semakin besar pula. Tetapi gaya pengereman ini juga akan turun kembali pada bukaannya *throttle* tertentu. Kecenderungan ini

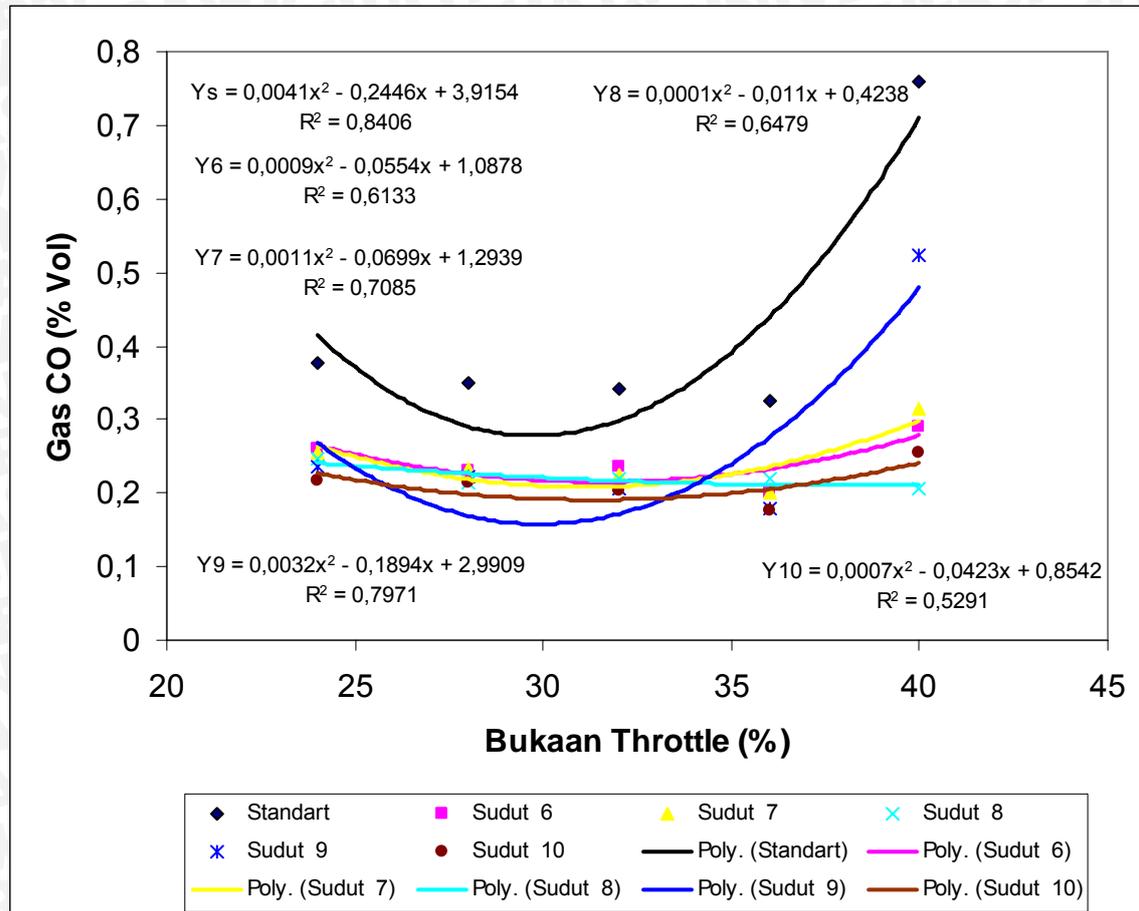
dikarenakan kecepatan udara yang tinggi dan panas yang menyebabkan udara mengembang sehingga efisiensi pengisian turun. Pada motor bensin yang menggunakan *auxiliary air device* dengan sudut pengapian 8° memiliki nilai konsumsi bahan bakar spesifik yang paling kecil, yaitu pada bukaan *throttle* 40% dengan nilai 0,2361 Kg/Hpjam. Untuk grafik motor bensin yang menggunakan *auxiliary air device* dengan sudut pengapian 8° titik minimum tidak terlihat, titik ini diprediksi terjadi pada bukaan *throttle* lebih dari 40%.

Pada Gambar 4.2. juga dapat dilihat bahwa motor yang menggunakan *auxiliary air device* dengan awal pembakaran semakin lama (sudut pengapian 9° dan 10°) didapatkan konsumsi bahan bakar spesifik yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan awal pembakaran yang lebih cepat (sudut pengapian 6° dan 7°). Kondisi yang demikian sesuai dengan daya efektif yang dihasilkan (gambar 4.1) bahwa motor yang menggunakan *auxiliary air device* dengan awal pembakaran semakin lama (sudut pengapian 9° dan 10°) daya efektif yang dihasilkan lebih besar dari pada awal pembakaran yang lebih cepat (sudut pengapian 6° dan 7°). Pernyataan ini didukung oleh persamaan $SFC_e = \frac{FC}{Ne}$; menyatakan bahwa konsumsi bahan bakar spesifik berbanding terbalik dengan daya efektif yang dihasilkan.



4.2.3 Hubungan antara Bukaannya *Throttle* terhadap Emisi Gas CO

Hubungan antara bukaannya *throttle* motor bensin empat langkah pada putaran 2000 rpm untuk sudut pengapian 6° , 7° , 8° , 9° , dan 10° dengan menggunakan *auxiliary air device* serta motor bensin tanpa memakai *auxiliary air device* (standar) terhadap emisi gas CO dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut ini :



Gambar 4.3. Hubungan antara bukaannya *throttle* terhadap emisi gas CO.

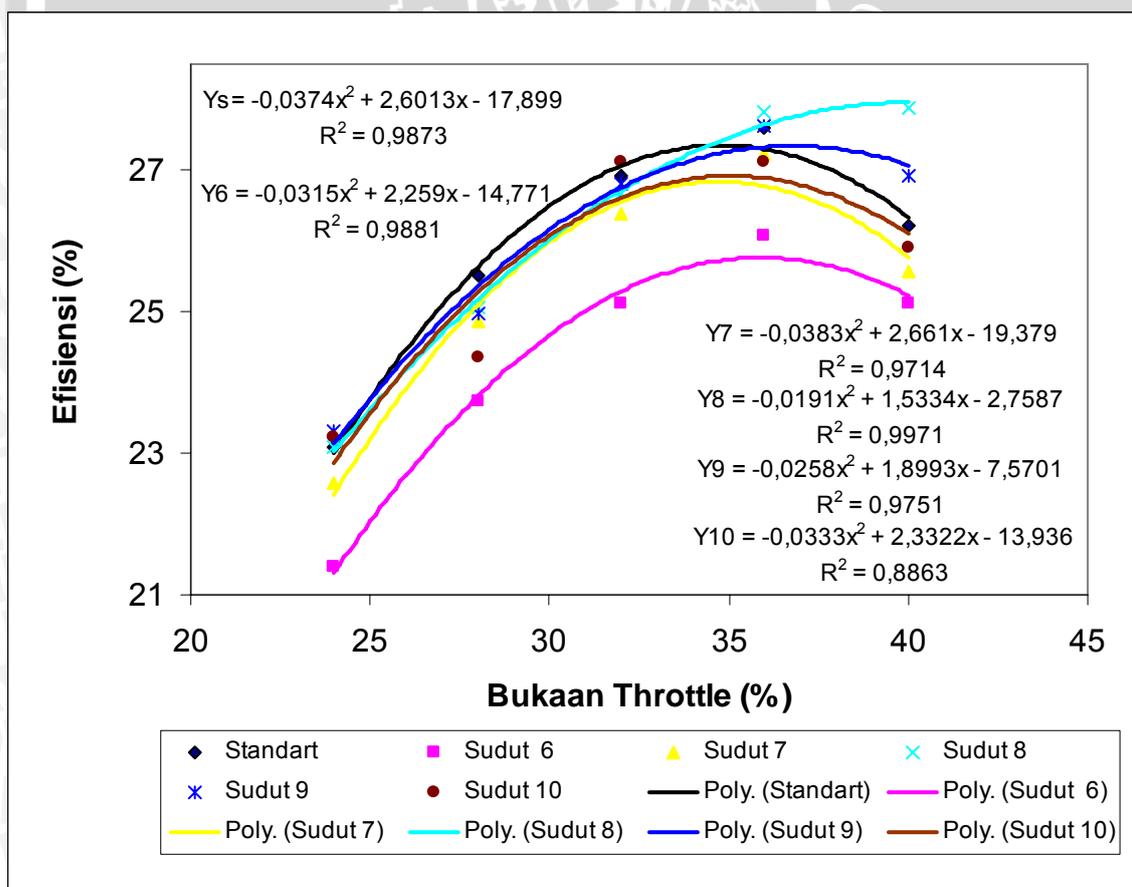
Pada gambar 4.3 dapat dilihat kecenderungan semakin besar bukaannya *throttle* motor bensin standar maupun dengan menggunakan *auxiliary air device* akan menghasilkan emisi gas CO yang semakin turun sampai bukaannya *throttle* tertentu kemudian naik kembali. Emisi gas CO dengan nilai terendah dicapai motor bensin yang menggunakan *auxiliary air device* dengan sudut pengapian 9° yaitu sebesar 0.2056 %vol pada bukaannya *throttle* 32%. Hal ini disebabkan awal pembakaran yang diperpanjang ke depan (sudut pengapian 9° sebelum TMA) memberikan waktu bahan bakar dan udara untuk berikatan lebih homogen, sehingga pembakaran yang terjadi menghasilkan gas CO yang rendah. Seiring dengan bukaannya *throttle* yang semakin besar emisi gas CO cenderung naik, ini dikarenakan semakin

besar bukaan *throttle* maka bahan bakar yang masuk juga semakin banyak sehingga campuran bahan bakar dan udara bereaksi tidak sempurna.

Gambar 4.3 menunjukkan perbandingan emisi gas CO antara motor bensin standar dengan yang memakai *auxiliary air device*. Emisi gas CO motor bensin yang memakai *auxiliary air device* lebih rendah dibandingkan emisi gas CO motor bensin standar. Hal ini dikarenakan motor bensin dengan menggunakan *auxiliary air device* mengakibatkan udara yang disuplai lebih banyak dari pada motor bensin standar sehingga koefisien excess air lebih besar dan mengakibatkan reaksi antara bahan bakar dan udara lebih homogen. Hal ini menunjukkan bahwa pemasangan *auxiliary air device* dengan variasi sudut pengapian efektif untuk menurunkan emisi gas CO pada bukaan *throttle* 24% - 40%

4.2.4 Hubungan antara Bukaan *Throttle* Efisiensi Termal Efektif

Hubungan antara bukaan *throttle* motor bensin empat langkah pada putaran 2000 rpm untuk sudut pengapian 6°, 7°, 8°, 9°, dan 10° dengan menggunakan *auxiliary air device* serta motor bensin tanpa memakai *auxiliary air device* (standar) terhadap efisiensi termal efektif dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut ini :



Gambar 4.4. Hubungan antara bukaan *throttle* terhadap efisiensi termal efektif.

Pada Gambar 4.4. terlihat bahwa dengan semakin besar bukaan *throttle* motor bensin maka secara umum efisiensi termal efektif yang dihasilkan semakin meningkat sampai pada bukaan *throttle* tertentu kemudian efisiensi akan turun kembali. Efisiensi termal efektif dipengaruhi oleh banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya 1 HP selama 1 jam (SFCe) sesuai dengan persamaan berikut:

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

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa efisiensi berbanding terbalik dengan konsumsi bahan bakar spesifik. Jadi semakin kecil nilai konsumsi bahan bakar spesifik maka efisiensi dari motor bensin semakin besar.

Pada Gambar 4.4. juga dapat dilihat bahwa motor bensin menggunakan *auxiliary air device* dengan sudut pengapian 8° memiliki efisiensi termal efektif terbesar (27,80% sampai 27,88% pada bukaan *throttle* 36% sampai 40%) dibandingkan dengan sudut pengapian yang lain. Hal ini disebabkan dengan menggunakan *auxiliary air device* efektif menambah udara sehingga AFRnya lebih besar dari standar (lampiran 1 tabel 1.4). Ini juga menunjukkan dengan awal pembakaran yang tepat (sudut pengapian 8° dibandingkan dengan pengesetan sudut yang lain) dengan kata lain pada pengesetan sudut tersebut memberikan cukup waktu untuk campuran bahan bakar dan udara terbakar lebih banyak sehingga menghasilkan daya efektif yang besar. Dengan didukung data konsumsi bahan bakar spesifik dan AFR yang seimbang dengan daya efektif yang dihasilkan, maka menjadikan motor bensin menggunakan *auxiliary air device* dengan sudut pengapian 8° memiliki efisiensi termal efektif tertinggi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pengolahan data dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan bahwa penggunaan *auxilliary air device* dengan variasi sudut pengapian dapat menurunkan emisi gas CO serta meningkatkan efisiensi termal efektif motor bensin 4 langkah. Dimana Emisi gas CO terkecil pada bukaan *throttle* 32% motor bensin menggunakan *auxilliary air device* dengan sudut pengapian 9° yaitu sebesar 0.2056 % vol. Sedangkan efisiensi termal efektif terbesar 27,88% didapatkan dari motor bensin menggunakan *auxilliary air device* dengan sudut pengapian 8° pada bukaan *throttle* 40%.

5.2 Saran

Adapun saran yang penulis harapkan dari penelitian tentang pemasangan *auxilliary air device* dengan variasi sudut pengapian motor bensin empat langkah adalah sebagai berikut:

- 1 Perlu diadakan penelitian lebih lanjut untuk motor bensin empat langkah dengan beberapa variasi antara lain bukaan *throttle*, putaran, sudut masuk ke *intake manifold*, serta penempatan *auxilliary air device* pada awal dan akhir *intake manifold*.
- 2 Dari penelitian ini bisa dilanjutkan untuk pembuatan kontrol otomatis yang akan mengatur sudut pengapian pada bukaan *throttle* tertentu sehingga didapatkan emisi gas CO terkecil dan efisiensi termal terbesar.

DAFTAR PUSTAKA

- Arends & Berenschot; 1980: *Motor Bensin*; Erlangga, Jakarta.
- Arismunandar, Wiranto; 2005: *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*; Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Bramantyo; 2005: *Pengaruh Jumlah Saluran Udara Auxiliary Air Device terhadap Emisi Gas CO dan Efisiensi Motor Bensin 4 Langkah*.
- Daryanto; 2004: *Sistem Pengapian Mobil*; Bumi Aksara, Jakarta.
- Fuad, Zamroni; 2005: *Pengaruh Auxilliary Air Device pada Intake Manifold terhadap Emisi Gas CO dan Efisiensi Motor Bensin 4 Langkah*.
- Karyanto, E; 1994: *Pedoman Reparasi Motor Bensin*; Pedoman Ilmu Jaya, Jakarta.
- Maleev, V. L; 1973: *Internal Combustion engines*; Mc.Graw Hill Book Company, Inc., Singapore.
- Petrovsky, N; 1979: *Marine Internal Combustion Engine*; Mir Publisher, Moscow.
- Pudjanarsa, Astu; 1999: *Motor Pembakaran Dalam*; ITS, Surabaya.
- Pulkrabrek, Willard W; 2004: *Engineering Fundamental of the internal combustion engine*, Prentice Hal International inc., New Jersey.
- Soenarto, Nakoela; 1995: *Motor Serba Guna*; Pradnya Paramita, Jakarta.
- Yudistira, A; 2005: *Pengaruh Variasi Diameter Auxilliary Air Device Pada Intake Manifold Terhadap Efisiensi dan Emisi Gas CO Motor Bensin 4 Langkah*.



LAMPIRAN

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

Tabel L.1 Hasil pengolahan data pengujian terhadap motor bensin empat langkah standar.

Bukaan Throttle (%)	CO (% Vol)	CO2 (% Vol)	HC (ppm)	O2 (% Vol)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/HPjam)	T (kg.m)	Ne (HP)	Eff (%)	AFR akt	GS (Kg/s)
40	0,742	8,49	131	8,57	4,987685	0,2526115	7,0705	19,74448	26,07087	13,98218	0,019372
	0,839	8,25	146	8,79	4,987685	0,2526115	7,0705	19,74448	26,07087	13,98218	0,019372
	0,701	8,64	123	8,43	4,909091	0,248631	7,0705	19,74448	26,48826	14,20603	0,019372
rata - rata	0,760667	8,46	133,333	8,596667	4,961487	0,2512847	7,0705	19,74448	26,21	14,0568	0,019372
36	0,326	8,73	123	8,48	4,530201	0,2384983	6,802	18,99469	27,61363	14,38691	0,018104
	0,349	8,67	128	8,51	4,535274	0,2387653	6,802	18,99469	27,58274	14,37081	0,018104
	0,3	8,76	124	8,45	4,527669	0,2383649	6,802	18,99469	27,62908	14,39495	0,018104
rata - rata	0,325	8,72	125	8,48	4,531048	0,2385428	6,802	18,99469	27,60848	14,38422	0,018104
32	0,335	8,49	131	8,76	4,160247	0,2447887	6,086	16,99525	26,90403	14,36333	0,016599
	0,343	8,56	132	8,71	4,158111	0,2446631	6,086	16,99525	26,91785	14,37071	0,016599
	0,345	8,45	130	8,77	4,153846	0,2444121	6,086	16,99525	26,94548	14,38547	0,016599
rata - rata	0,341	8,5	131	8,746667	4,157401	0,2446213	6,086	16,99525	26,92245	14,37317	0,016599
28	0,374	8,13	132	9,12	3,809972	0,2583753	5,2805	14,74588	25,48929	14,41573	0,015257
	0,331	8,15	137	9,1	3,808181	0,2582538	5,2805	14,74588	25,50128	14,42251	0,015257
	0,341	8,12	133	9,16	3,802817	0,2578901	5,2805	14,74588	25,53725	14,44285	0,015257
rata - rata	0,348667	8,133333	134	9,126667	3,80699	0,2581731	5,2805	14,74588	25,50927	14,42703	0,015257
24	0,376	7,88	138	9,53	3,349876	0,2851755	4,2065	11,74672	23,09386	14,62729	0,013611
	0,394	7,77	132	9,54	3,354037	0,2855297	4,2065	11,74672	23,06521	14,60914	0,013611
	0,363	7,83	133	9,62	3,349876	0,2851755	4,2065	11,74672	23,09386	14,62729	0,013611
rata - rata	0,377667	7,826667	134,333	9,563333	3,351263	0,2852935	4,2065	11,74672	23,08431	14,62124	0,013611

Tabel L.2 Hasil pengolahan data pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan *auxilliary air device* dengan sudut pengapian 6°.

Bukaan Throttle (%)	CO (% Vol)	CO2 (% Vol)	HC (ppm)	O2 (% Vol)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Hpjam)	T (kg.m)	Ne (HP)	Eff (%)	AFR akt	GS (Kg/s)	GS' (Kg/s)
40	0,264	8,75	134	8,64	4,891304	0,2609424	6,7125	18,74476	25,23853	15,06232	0,018245	0,00222
	0,389	8,49	147	9,05	4,936015	0,2633276	6,7125	18,74476	25,00992	14,92589	0,018245	0,00222
	0,221	8,47	183	9,19	4,924012	0,2626873	6,7125	18,74476	25,07088	14,96227	0,018245	0,00222
rata - rata	0,291333	8,57	154,667	8,96	4,91711	0,2623191	6,7125	18,74476	25,10644	14,98349	0,018245	0,00222
36	0,205	7,7	122	9,77	4,376013	0,2537528	6,1755	17,24518	25,95362	15,93807	0,016892	0,002482
	0,187	8,58	124	9,02	4,317697	0,2503712	6,1755	17,24518	26,30416	16,15333	0,016892	0,002482
	0,206	8,62	132	9,03	4,37129	0,2534789	6,1755	17,24518	25,98166	15,95529	0,016892	0,002482
rata - rata	0,199333	8,3	126	9,273333	4,355	0,2525343	6,1755	17,24518	26,07981	16,01556	0,016892	0,002482
32	0,214	8,2	114	9,53	3,911154	0,2608164	5,37	14,99581	25,25072	16,75906	0,01542	0,002787
	0,222	8,22	114	9,44	3,947368	0,2632314	5,37	14,99581	25,01906	16,60531	0,01542	0,002787
	0,275	8,59	117	9,33	3,943525	0,2629751	5,37	14,99581	25,04345	16,62149	0,01542	0,002787
rata - rata	0,237	8,336667	115	9,433333	3,934016	0,262341	5,37	14,99581	25,10441	16,66195	0,01542	0,002787
28	0,224	7,98	119	9,84	3,465982	0,277356	4,475	12,49651	23,74494	17,50668	0,013792	0,003063
	0,233	7,92	117	9,84	3,468951	0,2775936	4,475	12,49651	23,72462	17,4917	0,013792	0,003063
	0,235	8,08	116	9,76	3,465982	0,277356	4,475	12,49651	23,74494	17,50668	0,013792	0,003063
rata - rata	0,230667	7,993333	117,333	9,813333	3,466972	0,2774352	4,475	12,49651	23,73817	17,50169	0,013792	0,003063
24	0,255	7,82	130	9,86	3	0,3077783	3,4905	9,747277	21,39788	18,31163	0,011944	0,003315
	0,26	7,79	126	9,97	3,007798	0,3085783	3,4905	9,747277	21,34241	18,26415	0,011944	0,003315
	0,262	7,88	118	9,95	2,998889	0,3076643	3,4905	9,747277	21,40581	18,31841	0,011944	0,003315
rata - rata	0,259	7,83	124,667	9,926667	3,002229	0,3080069	3,4905	9,747277	21,38203	18,29806	0,011944	0,003315

Tabel L.3 Hasil pengolahan data pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan *auxilliary air device* dengan sudut pengapian 7°.

Bukaan Throttle (%)	CO (% Vol)	CO2 (% Vol)	HC (ppm)	O2 (% Vol)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Hpjam)	T (kg.m)	Ne (HP)	Eff (%)	AFR akt	GS (Kg/s)	GS' (Kg/s)
40	0,329	8,25	138	9,12	4,870716	0,2598441	6,7125	18,74476	25,34521	15,0923	0,018245	0,002174
	0,286	8,47	126	8,94	4,739614	0,25285	6,7125	18,74476	26,04628	15,50976	0,018245	0,002174
	0,328	8,26	150	9,29	4,873646	0,2600004	6,7125	18,74476	25,32997	15,08322	0,018245	0,002174
rata - rata	0,314333	8,326667	138	9,116667	4,827992	0,2575648	6,7125	18,74476	25,57382	15,22843	0,018245	0,019899
36	0,189	8,37	112	9,26	4,297082	0,2421568	6,3545	17,74504	27,19644	16,21242	0,016892	0,00246
	0,192	8,36	115	9,19	4,30622	0,2426717	6,3545	17,74504	27,13873	16,17801	0,016892	0,00246
	0,217	8,5	121	9,1	4,26765	0,2404982	6,3545	17,74504	27,38401	16,32423	0,016892	0,00246
rata - rata	0,199333	8,41	116	9,183333	4,290317	0,2417755	6,3545	17,74504	27,23973	16,23822	0,016892	0,019999
32	0,216	8,28	111	9,29	3,998026	0,2499464	5,728	15,99553	26,34886	16,55764	0,015726	0,002663
	0,24	8,24	111	9,31	4,013875	0,2509373	5,728	15,99553	26,24482	16,49226	0,015726	0,002663
	0,223	8,36	117	9,32	3,966699	0,247988	5,728	15,99553	26,55695	16,6884	0,015726	0,002663
rata - rata	0,226333	8,293333	113	9,306667	3,992867	0,2496239	5,728	15,99553	26,38354	16,57943	0,015726	0,01986
28	0,235	7,7	116	9,99	3,518679	0,2656349	4,7435	13,2463	24,79269	17,16086	0,013792	0,002981
	0,24	7,76	116	9,97	3,4959	0,2639152	4,7435	13,2463	24,95424	17,27268	0,013792	0,002981
	0,224	7,83	114	9,91	3,512576	0,2651741	4,7435	13,2463	24,83577	17,19068	0,013792	0,002981
rata - rata	0,233	7,763333	115,333	9,956667	3,509052	0,2649081	4,7435	13,2463	24,8609	17,20807	0,013792	0,019215
24	0,251	7,37	115	10,33	2,98893	0,2916844	3,6695	10,24714	22,57853	18,32299	0,011944	0,003268
	0,26	7,36	116	10,38	2,98893	0,2916844	3,6695	10,24714	22,57853	18,32299	0,011944	0,003268
	0,252	7,54	118	10,34	2,992242	0,2920076	3,6695	10,24714	22,55353	18,3027	0,011944	0,003268
rata - rata	0,254333	7,423333	116,333	10,35	2,990034	0,2917921	3,6695	10,24714	22,57019	18,31623	0,011944	0,003268

Tabel L.4 Hasil pengolahan data pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan *auxilliary air device* dengan sudut pengapian 8°.

Bukaan Throttle (%)	CO (% Vol)	CO2 (% Vol)	HC (ppm)	O2 (% Vol)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Hpjam)	T (kg.m)	Ne (HP)	Eff (%)	AFR akt	GS (Kg/s)	GS' (Kg/s)
40	0,23	8,73	214	8,8	4,565953	0,2342168	6,981	19,49455	28,1184	15,97515	0,018245	0,002016
	0,184	8,54	257	9,01	4,571106	0,2344812	6,981	19,49455	28,0867	15,95714	0,018245	0,002016
	0,202	8,18	329	9,28	4,676674	0,2398964	6,981	19,49455	27,45269	15,59693	0,018245	0,002016
rata - rata	0,205333	8,483333	266,667	9,03	4,604578	0,2361981	6,981	19,49455	27,88593	15,84307	0,018245	0,002016
36	0,216	8,55	214	8,91	4,30622	0,2360232	6,5335	18,2449	27,9032	15,99298	0,016892	0,002238
	0,197	8,48	227	9	4,32	0,2367784	6,5335	18,2449	27,8142	15,94196	0,016892	0,002238
	0,25	8,61	209	8,93	4,336188	0,2376657	6,5335	18,2449	27,71036	15,88244	0,016892	0,002238
rata - rata	0,221	8,546667	216,667	8,946667	4,320803	0,2368225	6,5335	18,2449	27,80925	15,93913	0,016892	0,002238
32	0,224	8,39	228	9,09	4,013875	0,2470767	5,8175	16,24546	26,65489	16,56155	0,016025	0,00244
	0,214	8,32	227	9,18	3,998026	0,2461011	5,8175	16,24546	26,76056	16,62721	0,016025	0,00244
	0,221	8,39	212	9,16	4,023845	0,2476904	5,8175	16,24546	26,58885	16,38715	0,015876	0,00244
rata - rata	0,219667	8,366667	222,333	9,143333	4,011915	0,2469561	5,8175	16,24546	26,6681	16,5253	0,015975	0,00244
28	0,219	8,09	209	9,52	3,454158	0,260764	4,7435	13,2463	25,2558	17,78789	0,0143	0,002767
	0,201	8,07	197	9,51	3,527875	0,2663291	4,7435	13,2463	24,72807	17,24553	0,014133	0,002767
	0,219	8,04	174	9,54	3,457106	0,2609866	4,7435	13,2463	25,23426	17,59855	0,014133	0,002767
rata - rata	0,213	8,066667	193,333	9,523333	3,479713	0,2626932	4,7435	13,2463	25,07271	17,54399	0,014189	0,002767
24	0,244	7,7	160	9,84	3,085714	0,2871234	3,8485	10,747	22,93719	18,12993	0,012527	0,003013
	0,241	7,75	163	9,87	3,084539	0,287014	3,8485	10,747	22,94593	18,13684	0,012527	0,003013
	0,257	7,77	154	9,76	3,030303	0,2819674	3,8485	10,747	23,35661	18,46145	0,012527	0,003013
rata - rata	0,247333	7,74	159	9,823333	3,066852	0,2853683	3,8485	10,747	23,07991	18,24274	0,012527	0,003013

Tabel L.5 Hasil pengolahan data pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan *auxilliary air device* dengan sudut pengapian 9°.

Bukaan Throttle (%)	CO (% Vol)	CO2 (% Vol)	HC (ppm)	O2 (% Vol)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Hpjam)	T (kg.m)	Ne (HP)	Eff (%)	AFR akt	GS (Kg/s)	GS' (Kg/s)
40	0,408	8,43	137	9	4,921021	0,2461198	7,16	19,99441	26,75853	15,15609	0,018632	0,002085
	0,345	8,53	145	9,05	4,87658	0,2438971	7,16	19,99441	27,00238	15,3881	0,018759	0,002085
	0,817	8,4	124	8,61	4,882459	0,2441912	7,16	19,99441	26,96987	15,36957	0,018759	0,002085
rata - rata	0,523333	8,453333	135,333	8,886667	4,893353	0,244736	7,16	19,99441	26,91026	15,30459	0,018717	0,002085
36	0,175	8,31	102	9,17	4,354839	0,238688	6,5335	18,2449	27,59169	16,29401	0,017309	0,002401
	0,172	8,35	103	9,22	4,359526	0,2389449	6,5335	18,2449	27,56202	16,27649	0,017309	0,002401
	0,186	8,36	112	9,19	4,329236	0,2372847	6,5335	18,2449	27,75486	16,39038	0,017309	0,002401
rata - rata	0,177667	8,34	105,667	9,193333	4,347867	0,2383058	6,5335	18,2449	27,63619	16,32029	0,017309	0,002401
32	0,195	8,09	96	9,41	3,98622	0,2453744	5,8175	16,24546	26,83981	16,74258	0,015876	0,002663
	0,22	8,27	99	9,41	3,978389	0,2448923	5,8175	16,24546	26,89265	16,91043	0,016025	0,002663
	0,202	8,11	97	9,51	4,003955	0,246466	5,8175	16,24546	26,72094	16,80246	0,016025	0,002663
rata - rata	0,205667	8,156667	97,3333	9,443333	3,989521	0,2455776	5,8175	16,24546	26,8178	16,81849	0,015975	0,002663
28	0,229	7,76	102	9,95	3,463018	0,2614329	4,7435	13,2463	25,19118	17,59828	0,013964	0,002965
	0,206	7,62	96	10,01	3,50346	0,2644859	4,7435	13,2463	24,90039	17,56906	0,014133	0,002965
	0,23	7,72	102	9,89	3,5141	0,2652892	4,7435	13,2463	24,825	17,51586	0,014133	0,002965
rata - rata	0,221667	7,7	100	9,95	3,493526	0,263736	4,7435	13,2463	24,97219	17,56107	0,014076	0,002965
24	0,241	7,32	91	10,28	3,048551	0,2836654	3,8485	10,747	23,2168	18,16349	0,012142	0,003239
	0,226	7,39	92	10,23	3,031437	0,2820729	3,8485	10,747	23,34787	18,26603	0,012142	0,003239
	0,243	7,41	96	10,22	3,025775	0,2815461	3,8485	10,747	23,39156	18,53137	0,012336	0,003239
rata - rata	0,236667	7,373333	93	10,24333	3,035254	0,2824281	3,8485	10,747	23,31875	18,3203	0,012207	0,003239

Tabel L.6 Hasil pengolahan data pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan *auxilliary air device* dengan sudut pengapian 10°.

Bukaan Throttle (%)	CO (% Vol)	CO2 (% Vol)	HC (ppm)	O2 (% Vol)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Hpjam)	T (kg.m)	Ne (HP)	Eff (%)	AFR akt	GS (Kg/s)	GS' (Kg/s)
40	0,196	8,39	120	9,25	4,798578	0,2559957	6,7125	18,74476	25,72623	15,31918	0,018245	0,002174
	0,176	8,27	130	9,41	4,750733	0,2534432	6,7125	18,74476	25,98532	15,47346	0,018245	0,002174
	0,393	8,35	116	9,08	4,753521	0,2535919	6,7125	18,74476	25,97008	15,46439	0,018245	0,002174
rata - rata	0,255	8,336667	122	9,246667	4,767611	0,2543436	6,7125	18,74476	25,89388	15,41901	0,018245	0,002174
36	0,165	8,41	113	9,22	4,392625	0,2441029	6,444	17,99497	26,97962	16,10485	0,017309	0,002342
	0,176	8,56	111	9,11	4,329236	0,2405803	6,444	17,99497	27,37466	16,34065	0,017309	0,002342
	0,184	8,47	109	9,09	4,383117	0,2435745	6,444	17,99497	27,03815	16,13978	0,017309	0,002342
rata - rata	0,175	8,48	111	9,14	4,368326	0,2427526	6,444	17,99497	27,13081	16,19509	0,017309	0,002342
32	0,22	8,14	115	9,47	3,966699	0,2441728	5,8175	16,24546	26,9719	16,41125	0,01542	0,002663
	0,199	8,09	114	9,57	3,955078	0,2434574	5,8175	16,24546	27,05115	16,59913	0,015574	0,002663
	0,189	8,25	113	9,54	3,913043	0,2408699	5,8175	16,24546	27,34174	16,77744	0,015574	0,002663
rata - rata	0,202667	8,16	114	9,526667	3,94494	0,2428334	5,8175	16,24546	27,1216	16,59594	0,015523	0,002663
28	0,22	7,73	118	9,96	3,43949	0,2698393	4,5645	12,74644	24,40639	17,57252	0,013792	0,002997
	0,199	7,73	115	9,99	3,4645	0,2718014	4,5645	12,74644	24,23021	17,44566	0,013792	0,002997
	0,222	7,82	118	9,93	3,438031	0,2697248	4,5645	12,74644	24,41675	17,57998	0,013792	0,002997
rata - rata	0,213667	7,76	117	9,96	3,44734	0,2704551	4,5645	12,74644	24,35112	17,53272	0,013792	0,002997
24	0,208	7,49	110	10,36	3,104638	0,2823186	3,938	10,99693	23,32755	18,44977	0,012716	0,003195
	0,224	7,44	114	10,34	3,12983	0,2846095	3,938	10,99693	23,13979	18,30127	0,012716	0,003195
	0,221	7,53	116	10,28	3,114187	0,283187	3,938	10,99693	23,25602	18,3932	0,012716	0,003195
rata - rata	0,217667	7,486667	113,333	10,32667	3,116218	0,2833717	3,938	10,99693	23,24112	18,38141	0,012716	0,003195

Lampiran 2

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

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

$\frac{P_1 - P_2}{P_1}$	0	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
ε	1.00 0	0.96 9	0.90 6	0.87 3	0.84 0	0.85 0	0.76 9	0.73 2	0.69 3	0.65 3

Sumber: Manual book Mesin Bensin: 10

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

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

Sumber: Manual Book Mesin Bensin: 22