

**PENGARUH VARIASI JARAK ANTAR VANE PADA ANGLED VANE
TURBULATOR DI INTAKE MANIFOLD TERHADAP KINERJA MOTOR
BENSIN EMPAT LANGKAH**

SKRIPSI

Konsentrasi Konversi Energi
Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun Oleh :

ARY BUDI MULYONO
NIM. 0510620023-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2010



LEMBAR PERSETUJUAN
PENGARUH VARIASI JARAK ANTAR VANE PADA ANGLED VANE
TURBULATOR DI INTAKE MANIFOLD TERHADAP KINERJA MOTOR
BENSIN EMPAT LANGKAH

SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

ARY BUDI MULYONO
NIM. 0510620023-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr.Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.,Sc

NIP. 19490911 198403 1 001

Ir. Saifuddin Baedowie

NIP. 19460703 197009 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI JARAK ANTAR VANE PADA ANGLED VANE
TURBULATOR DI INTAKE MANIFOLD TERHADAP KINERJA MOTOR
BENSIN EMPAT LANGKAH**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

**ARY BUDI MULYONO
NIM. 0510620023-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada tanggal 04 Maret 2010

Dosen Penguji :

Penguji Skripsi I

Penguji Skripsi II

Ir. Marsoedi Wirohardjo, MMT

Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST, M.Eng.

NIP. 19450307 197603 1 001

NIP. 19740121 199903 1 001

Penguji Komprehensif

Ir. Imam Zaky, MT.

NIP. 19450918 197702 1 001

Mengetahui :

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST, MT

NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan nikmat, rahmat dan karunia yang telah diberikan, juga sholawat serta salam penulis tujukan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ **Pengaruh Variasi Jarak Antar Vane pada Angled Vane Turbulator di Intake Manifold Terhadap Kinerja Motor Bensin 4 Langkah** ”.

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

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi S.T, M.T, selaku Ketua Jurusan Mesin.
2. Bapak Dr.Eng Anindito P. S.T, M.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Mesin.
3. Bapak Ir. Made Gunadiarta M.T, sebagai Ketua Kelompok Pengajar Konversi Energi Jurusan Mesin.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc. selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, waktu dan pengetahuan pada penulis dalam menyusun skripsi ini.
5. Bapak Ir. Saifuddin Baedowie, selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, masukan, diskusi dan pengetahuan pada penulis dalam menyusun skripsi ini.
6. Seluruh Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya, Teman-Teman Asisten Motor Bakar yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini, serta Arek Mesin'05 UB atas kebersamaan dan persaudaraan seutuhnya.
7. Papa (Ir. Budi Hartono) dan Mama (Lindra Hayati S.Pd) serta Teteh dan Adik-Adikku yang sangat aku cintai, yang telah memberikan seluruh dukungan lahir dan batin dalam penyelesaian skripsi ini.

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

Malang, Februari 2010

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR DAN GRAFIK	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan masalah	2
1.3 Batasan masalah	2
1.4 Tujuan penelitian	3
1.5 Manfaat penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian sebelumnya.....	4
2.2 Motor bakar.....	4
2.3 Motor bensin.....	5
2.3.1 Siklus ideal motor bensin empat langkah.....	6
2.3.2 Siklus aktual motor bensin empat langkah.....	8
2.3.3 Karburator.....	10
2.3.4 Saluran isap (<i>intake manifold</i>).....	11
2.4 Pembakaran.....	11
2.4.1 Jenis-jenis pembakaran.....	12
2.4.2 Pembakaran pada motor bensin empat langkah.....	12
2.5 Pengaruh turbulensi pada pembakaran.....	13
2.6 Angled vane turbulator.....	15
2.7 Tinjauan pustaka kinerja motor bensin	17
2.7.1 Torsi (T).....	17
2.7.2 Daya bahan bakar	17
2.7.3 Daya indikatif.....	18
2.7.4 Daya efektif (Ne)	19
2.7.5 Konsumsi bahan bakar spesifik efektif.....	20
2.7.6 Efisiensi termal efektif (η_e).....	20

2.8 Hipotesa..... 21

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode penelitian 22

3.2 Variabel penelitian..... 22

3.3 Peralatan penelitian..... 23

 3.3.1 Peralatan utama..... 23

 3.3.2 Peralatan bantu..... 24

3.4 Tempat penelitian..... 24

3.5 Instalasi alat penelitian..... 24

3.6 Pelaksanaan penelitian..... 26

 3.6.1 Penyusunan alat penelitian..... 26

 3.6.2 Prosedur penelitian..... 26

3.7 Analisis statistika..... 27

3.8 Diagram alir penelitian..... 32

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis data..... 33

 4.1.1 Data hasil pengujian..... 33

 4.1.2 Perhitungan data..... 35

 4.1.3 Analisis varian..... 40

 4.1.3.1 Analisis varian untuk torsi yang dihasilkan..... 41

 4.1.3.2 Analisis varian untuk daya efektif yang dihasilkan..... 42

 4.1.3.3 Analisis varian untuk konsumsi bahan bakar spesifik yang dihasilkan 42

 4.1.3.4 Analisis varian untuk efisiensi termal efektif yang dihasilkan..... 43

4.2 Pembahasan..... 45

 4.2.1 Hubungan antara torsi dengan jarak antar *vane*..... 45

 4.2.2 Hubungan antara daya efektif dengan jarak antar *vane*.. 48

 4.2.3 Hubungan antara konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe) dengan jarak antar *vane* 50

 4.2.4 Hubungan efisiensi termal efektif dengan jarak antar

vane..... 53

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan..... 56

5.2 Saran..... 56

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Rancangan pengamatan model dua arah dengan pengulangan	28
Tabel 3.2	Rancangan analisis varian	30
Tabel 4.1	Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah standar	33
Tabel 4.2	Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan pemasangan <i>angled vane turbulator</i> dengan jarak antar <i>vane</i> 3 mm.....	34
Tabel 4.3	Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan pemasangan <i>angled vane turbulator</i> dengan jarak antar <i>vane</i> 4 mm.....	34
Tabel 4.4	Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan pemasangan <i>angled vane turbulator</i> dengan jarak antar <i>vane</i> 5 mm.....	35
Tabel 4.5	Analisis varian dua arah untuk torsi.....	41
Tabel 4.6	Analisis varian dua arah untuk daya efektif.....	42
Tabel 4.7	Analisis varian dua arah untuk SFCE.....	43
Tabel 4.8	Analisis varian dua arah untuk efisiensi termal efektif.....	43

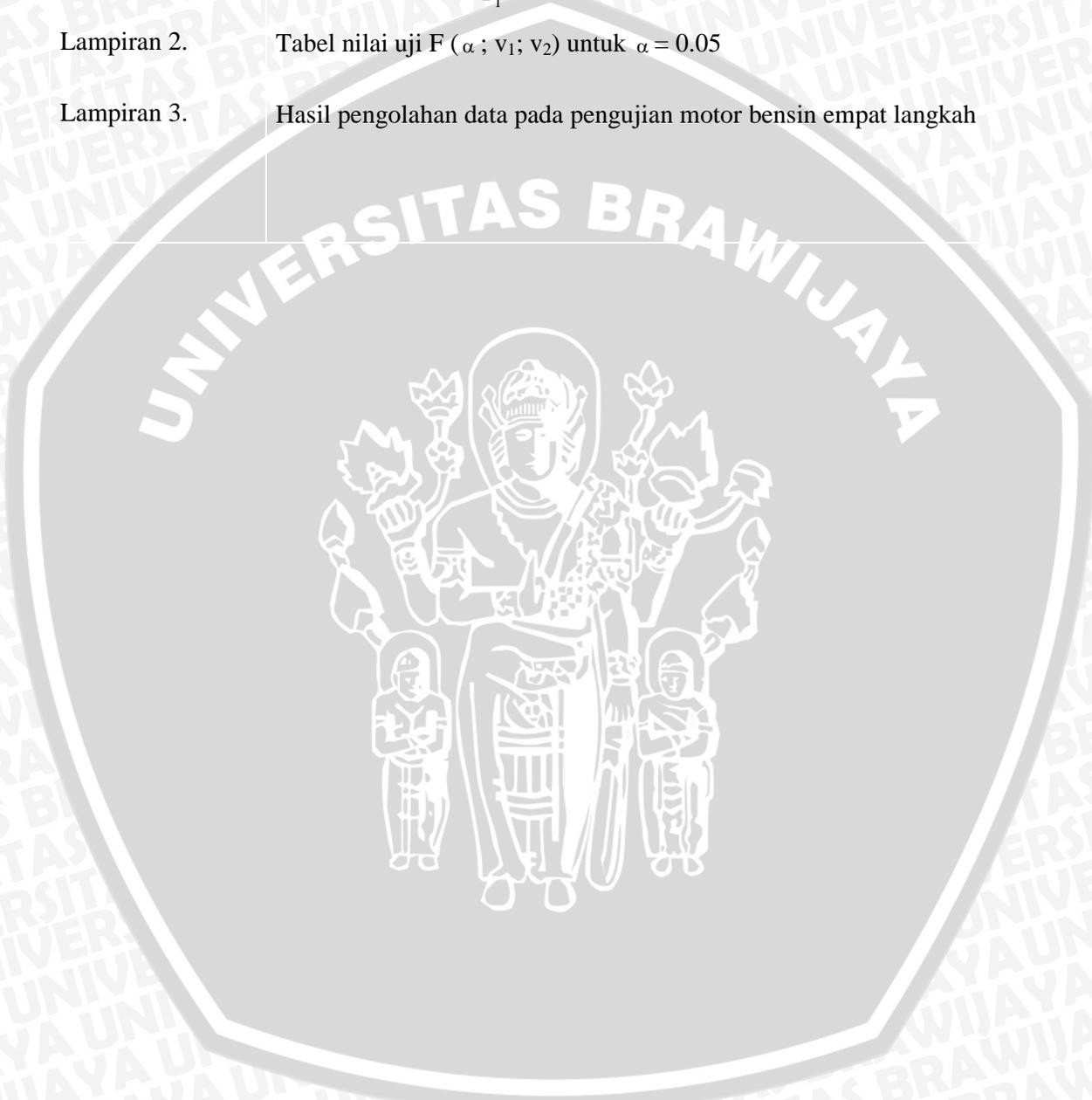


DAFTAR GAMBAR DAN GRAFIK

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Skema gerakan torak dan katup motor bensin 4 langkah...	6
Gambar 2.2	Diagram siklus ideal motor bensin 4 langkah digambarkan dalam diagram P-V dan T-S.....	7
Gambar 2.3	Siklus aktual motor bensin empat langkah.....	8
Gambar 2.4	Pengaruh putaran mesin terhadap intensitas turbulensi....	14
Gambar 2.5	Pengaruh putaran mesin terhadap kecepatan pembakaran.	14
Gambar 2.6	Turbulensi di belakang suatu penghalang <i>grid</i>	16
Gambar 3.1	<i>Angled vane turbulator</i>	23
Gambar 3.2	Susunan peralatan uji.....	25
Gambar 3.3	Diagram alir pelaksanaan penelitian.....	32
Gambar 4.1	Hubungan antara torsi dengan jarak antar vane.....	45
Gambar 4.2	Hubungan antara torsi dengan putaran.....	46
Gambar 4.3	Hubungan antara daya efektif dengan jarak antar vane....	48
Gambar 4.4	Hubungan antara daya efektif dengan putaran.....	49
Gambar 4.5	Hubungan antara SFCE dengan jarak antar vane	51
Gambar 4.6	Hubungan antara SFCE dengan putaran.....	52
Gambar 4.7	Hubungan antara efisiensi termal efektif dengan jarak antar vane	53
Gambar 4.8	Hubungan antara efisiensi termal efektif dengan putaran.....	54

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul
Lampiran 1.	Tabel hubungan $\frac{P_1 - P_2}{P_1} -$, $-P_s$ dan $-w$
Lampiran 2.	Tabel nilai uji F ($\alpha ; v_1; v_2$) untuk $\alpha = 0.05$
Lampiran 3.	Hasil pengolahan data pada pengujian motor bensin empat langkah



RINGKASAN

Ary Budi Mulyono, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Februari 2010, *Pengaruh Variasi Jarak Antar Vane pada Angled Vane Turbulator di Intake Manifold Terhadap Kinerja Motor Bensin Empat Langkah*. Dosen Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc. dan Ir. Saifuddin Baedowie

Motor bensin adalah mesin konversi energi yang banyak digunakan oleh masyarakat sebagai alat transportasi. Penggunaan yang lebih luas tersebut memerlukan kebutuhan bahan bakar dalam jumlah yang tidak sedikit. Terlebih lagi persediaan bahan bakar di alam semakin menipis. Sehingga di perlukan upaya-upaya dalam hal penghematan penggunaan bahan bakar. Salah satu upaya untuk mencapai hal tersebut adalah dengan peningkatan kinerja dari sebuah motor bensin yang nantinya berpengaruh terhadap daya serta konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan. Penurunan kinerja pada motor bensin salah satunya disebabkan karena kurang sempurnanya pencampuran bahan bakar bensin dengan udara. Salah satu cara untuk membuat pencampuran bahan bakar dan udara yang lebih baik adalah dengan membuat olakan atau turbulensi pada campuran antara bahan bakar dan udara pembakaran yang mengalir melalui saluran isap dengan pemasangan *angled vane turbulator*.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*). Jenis penelitian ini digunakan untuk mengetahui pengaruh jarak antar *vane* pada *angled vane turbulator* di *intake manifold* terhadap kinerja motor bensin empat langkah yang meliputi torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif dan efisiensi termal efektif. Penelitian ini menggunakan variabel terkontrol jarak antar *vane* pada *angled vane turbulator* yaitu 3 mm, 4 mm, 5 mm dan tanpa *angled vane turbulator*.

Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan *angled vane turbulator* dengan jarak antar *vane* 3 mm, 4 mm, 5 mm dan keadaan tanpa pemasangan diperoleh bahwa torsi paling besar diperoleh pada jarak antar *vane* 3 mm pada putaran 1300 rpm. Daya efektif paling besar diperoleh pada jarak antar *vane* sampai 3 mm pada putaran 2800 rpm. SFCe paling kecil didapatkan pada jarak antar *vane* 3 mm 2300 rpm dan efisiensi termal efektif paling besar di dapat pada jarak antar *vane* 3 mm pada putaran 2300 rpm.

Kata kunci : Jarak Antar *Vane*, *Angled Vane Turbulator*, *Intake Manifold*, Kinerja, Motor Bensin Empat Langkah.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi adalah suatu hal yang sangat dibutuhkan oleh umat manusia. Manusia dalam kehidupannya sehari-hari tak dapat lepas dari kebutuhan akan energi, mulai dari aspek rumah tangga ataupun dalam ruang lingkup yang lebih besar lagi yaitu industri. Kita bisa mendapatkan energi dari bermacam-macam sumber. Diantara sumber tersebut yaitu sumber energi yang berasal dari dalam bumi dan dari luar bumi. Pemanfaatan energi yang berasal dari dalam bumi untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia sebagian besar berasal dari energi fosil. Penggunaan minyak bumi dan batu bara lebih banyak dari energi yang berasal dari dalam bumi lainnya karena alasan lebih mudah dalam hal pemanfaatannya. Minyak bumi sendiri merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui (*unrenewable*) sehingga perlu dilakukannya upaya-upaya penghematan. Energi minyak bumi ini sendiri sebagian besar digunakan dalam motor bakar.

Motor bakar sendiri luas sekali cangkupan penggunaannya. Motor bakar bisa digunakan dalam hal transportasi, sumber pembangkit listrik, pompa, industri, dan sebagainya. Penggunaan yang paling dominan dari motor bakar adalah untuk keperluan transportasi. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya permintaan mobil dan motor. Motor bensin merupakan kelompok dari motor bakar, oleh karena itu dalam pengoperasiannya motor bensin menggunakan bahan bakar untuk proses pembakaran. Parameter di dalam pengoperasian motor bensin adalah kinerja dari motor bensin. Keadaan yang penting untuk meningkatkan kinerja dari motor bensin adalah proses pembakaran dari bahan bakar itu sendiri yang akan berpengaruh terhadap kinerja dari motor bensin.

Usaha yang dilakukan untuk memperbaiki proses pembakaran dapat dilakukan dengan menyempurnakan proses pencampuran bahan bakar dengan udara sebelum masuk ruang bakar. Jika fluida yang dibakar berpusar dan menimbulkan turbulensi maka kecepatan pembakaran akan semakin meningkat sehingga akan mengakibatkan tekanan pembakaran akan semakin meningkat pula (Zhang dan Hill, 1996). Untuk dapat menghasilkan olakan pada campuran bahan bakar dan udara tersebut, maka

setelah karburator dipasang suatu penganggu aliran (*turbulator*) dari campuran bahan bakar dan udara yang dapat berupa *grid*, *swirling vane*, *disc bluff body* dan sebagainya.

Dari sinilah muncul sebuah gagasan agar pembakaran yang terjadi pada motor bensin menjadi semakin lebih baik, maka dilakukan penelitian dengan cara memodifikasi *intake manifold* pada motor bensin dengan cara memasang *angled vane turbulator*. Dengan pemasangan *angled vane turbulator* pada *intake manifold* diharapkan akan terjadi olakan-olakan dari campuran bahan bakar dan udara sehingga campuran bahan bakar dan udara tersebut akan menjadi lebih homogen yang akan menyebabkan pembakaran akan menjadi lebih baik sehingga akan berpengaruh terhadap kinerja dari motor bensin.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas maka permasalahan yang akan di teliti adalah:

Bagaimana pengaruh jarak antar *vane* pada *angled vane turbulator* terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, dan efesiensi termal efektif motor bensin 4 langkah?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mesin yang dipakai adalah motor bakar bensin 4 langkah.
2. Data diambil di Laboratorium Motor Bakar Universitas Brawijaya.
3. Mesin diuji dalam keadaan stasioner.
4. Bahan bakar yang digunakan adalah bensin premium yang dijual di SPBU
5. Kinerja yang diuji meliputi torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar efektif, dan efesiensi termal efektif dari motor bensin.
6. Kondisi operasi yang dirubah adalah putaran mesin dan jarak antar *vane* pada *angled vane turbulator*.
7. Jarak antar *vane* yang di ujikan adalah 3mm, 4mm, 5mm dan tanpa pemasangan *angled vane turbulator*
8. Tebal dari *vane* untuk setiap variasi jarak adalah 1 mm.
9. Tidak membahas material dari *angled vane turbulator* yang di ujikan.
10. Besar sudut pemasangan pada tiap *vane* dibuat sama yaitu 25^0 terhadap sumbu vertikal dari plat.

11. Buka *throttle* pada saat pengujian dibuat konstan.
12. Sistem pemasukan udara dilakukan secara natural.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini mempunyai tujuan sebagai berikut :

Untuk mengetahui pengaruh jarak antar *vane* pada *angled vane turbulator* terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, dan efisiensi termal efektif motor bensin 4 langkah.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mampu mengaplikasikan teori yang telah didapat selama perkuliahan tentang motor bakar dan bahan bakar.
2. Dapat membandingkan kinerja motor bensin 4 langkah yang menggunakan *angled vane turbulator* dengan variasi jarak antar *vane* pada *intake manifold* dengan yang tanpa menggunakan *angled vane turbulator* pada *intake manifold*.
3. Meningkatkan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta sebagai bahan acuan untuk penelitian berikutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

M. Rifqi Effendi (2003) melakukan penelitian tentang pengaruh pemasangan *grid* pada *intake manifold* terhadap kinerja motor bensin empat langkah dengan variasi diameter lubang *grid*. Hasilnya disimpulkan bahwa pemasangan *grid* dengan variasi diameter lubang *grid* memberikan pengaruh yang nyata terhadap kinerja motor bensin. Penelitian lainnya dilakukan Miftahul Huda (2003) berupa pemasangan *swirling vane turbulator* pada *intake manifold* dengan variasi jumlah sudu *swirling vane*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan adanya peningkatan dari kinerja motor bensin dengan pemasangan *swirling vane turbulator* bila dibandingkan dengan tanpa menggunakan *swirling vane turbulator*.

2.2 Motor Bakar Torak

Motor bakar torak termasuk salah satu penggerak mula yaitu mesin yang menggunakan energi termal untuk melakukan kerja mekanik atau mengubah energi termal menjadi energi mekanis. Energi termal tersebut di peroleh dari hasil pembakaran antara bahan bakar dan udara yang terjadi di dalam ruang bakar dari motor bakar itu sendiri. Gas yang dihasilkan oleh proses pembakaran tersebut mampu menggerakkan torak yang oleh batang penghubung dihubungkan dengan poros engkol. Gerak translasi tersebut akan menghasilkan gerak rotasi pada poros engkol dan sebaliknya gerak rotasi pada poros engkol mengakibatkan gerak translasi pada torak.

Pada motor bakar torak tidak terjadi proses perpindahan panas dari gas hasil pembakaran ke fluida kerja. Oleh karena itu, jumlah komponen dari motor bakar lebih sedikit daripada komponen mesin uap. Motor bakar torak memiliki beberapa kekurangan dibandingkan dengan mesin uap diantaranya adalah penggunaan bahan bakar dimana mesin uap lebih leluasa dalam hal penggunaan bahan bakar dan mesin uap lebih bebas dari getaran. Namun motor bakar torak lebih sederhana, lebih kompak, lebih ringan jika dibandingkan dengan mesin uap. Karena itu pula penggunaan motor bakar torak sangat menguntungkan di bidang transportasi.

Motor bakar torak terbagi menjadi dua jenis utama yaitu motor bensin dan motor diesel. Perbedaan yang paling utama adalah terletak pada sistem penyalanya dan

bahan bakar yang digunakan. Pada motor bensin, bahan bakar dinyalakan dengan bantuan loncatan bunga api diantara dua elektroda busi. Oleh karena itu motor bensin di sebut *Spark Ignition Engine*. Sedangkan pada motor diesel, penyalan dari bahan bakar terjadi karena adanya tekanan dan temperatur sehingga bahan bakar tersebut terbakar sendiri oleh udara yang mengandung 21 persen volume oksigen setelah temperatur campuran tersebut melampaui temperatur nyala dari bahan bakar.

Motor bakar torak dapat pula digolongkan menurut susunan silindernya. Apabila sumbu utama semua silinder itu terletak pada sebuah bidang datar, mesin tersebut dinamai mesin satu baris. Apabila semua silinder terletak pada dua bidang yang berpotongan maka mesin itu di namai mesin V. Dan apabila semua silinder terletak radial terhadap sumbu poros engkol seperi jari-jari roda sepeda terhadap sumbu roda maka mesin tersebut disebut dengan mesin radial.

Selain berdasarkan jenis penyalannya dan susunan silindernya, motor bakar juga dapat di bedakan berdasarkan jumlah langkah tiap siklus, dimana pengelompokan ini dapat menjadi dua macam yaitu motor bakar dua langkah dan motor bakar empat langkah. Motor bakar dua langkah adalah motor bakar yang memerlukan dua kali langkah piston dalam satu kali siklus kerjanya. Satu kali langkah piston adalah gerak piston dari titik mati atas ke titik mati bawah atau sebaliknya. Sedangkan motor bakar empat langkah adalah motor bakar torak dimana untuk memperoleh satu kali kerja di perlukan empat langkah torak atau untuk setiap proses pembakaran di perlukan dua kali putaran poros engkol. Motor bakar torak empat langkah lebih hemat bahan bakar dibanding dengan motor bakar torak dua langkah karena satu kali kerja menghasilkan dua putaran poros engkol. Sedangkan motor bakar torak dua langkah, satu kali kerja menghasilkan satu putaran putaran poros engkol.

2.3 Motor Bensin

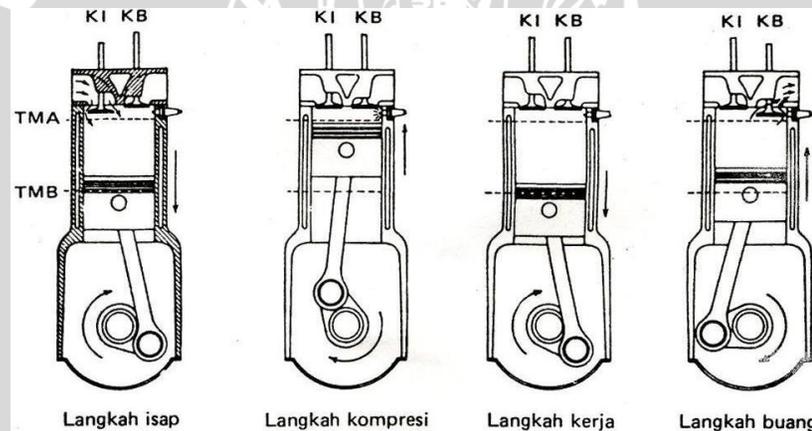
Motor bensin disebut juga dengan *Spark Ignition Engine* karena pada motor bensin bahan bakar dinyalakan dengan bantuan loncatan bunga api diantara dua elektroda busi. Pada motor bensin pencampuran bahan bakar dengan udara terjadi pada karburator, dimana bahan bakar tersebut disemprotkan melalui main jet akibat adanya perbedaan tekanan pada lubang venturi yang di aliri oleh udara. Campuran tersebut kemudian masuk ke dalam ruang bakar melalui *intake manifold* dan di bakar oleh percikan bunga api listrik dari busi menjelang langkah akhir kompresi, sehingga

menghasilkan gas hasil pembakaran sebagai fluida kerja yang digunakan untuk melakukan kerja.

2.3.1 Siklus Ideal Motor Bensin Empat Langkah

Secara prinsip proses kerja motor bensin empat langkah adalah dua kali putaran poros engkol akan menghasilkan sekali langkah kerja atau dengan kata lain untuk setiap proses pembakaran diperlukan dua kali putaran poros engkol.

Pada motor bensin empat langkah, torak bergerak dari titik mati atas ke posisi titik mati bawah, dimana setiap kali torak baik dari titik mati atas ke titik mati bawah atau titik mati bawah ke titik mati atas dihitung satu kali langkah. Oleh karena itu, pada motor bensin empat langkah pada siklusnya terdiri dari empat kali gerakan torak dan dua kali putaran poros engkol. Untuk memperjelas prinsip kerja motor bensin empat langkah tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini :



Gambar 2.1 Skema gerakan torak dan katup motor bensin empat langkah
Sumber : Arismunandar, *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*, 1988:8

Proses pembakaran di dalam mesin bensin empat langkah terjadi secara periodik sebagai berikut :

a. Langkah Isap

Katup isap terbuka, campuran bahan bakar dan udara masuk terisap kedalam ruang bakar seiring dengan gerakan torak dari posisi titik mati atas menuju titik mati bawah . Sedangkan pada saat langkah ini katup buang dalam keadaan tertutup.

b. Langkah Kompresi

Setelah torak mencapai titik mati bawah, kedua katup baik katup isap maupun katup buang tertutup. Pada saat itu campuran udara dan bahan bakar yang terisap dan terkurung didalam silinder dimampatkan oleh torak yang bergerak ke titik mati atas sehingga terjadi proses kompresi.

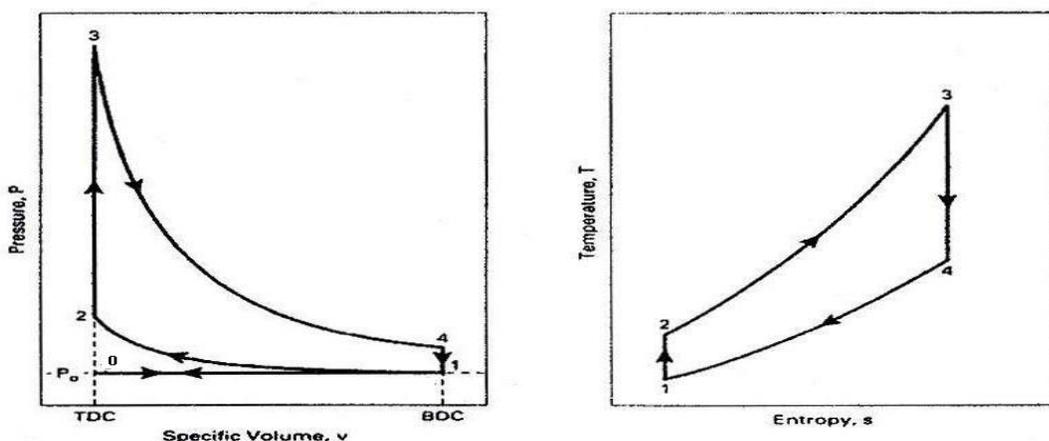
c. Langkah Ekspansi

Beberapa saat sebelum mencapai titik mati atas pada langkah kompresi, busi memercikkan bunga api untuk membakar campuran udara dan bahan bakar sehingga tekanan dan temperatur semakin meningkat. Gas hasil pembakaran yang dihasilkan akhirnya mampu mendorong torak untuk bergerak kembali dari TMA ke TMB. Sementara itu baik katup isap maupun katup buang masih dalam keadaan tertutup.

d. Langkah Buang

Setelah torak mencapai titik mati bawah katup buang mulai terbuka sementara katup isap tetap tertutup. Torak bergerak menuju titik mati atas dan membuang gas sisa hasil pembakaran keluar silinder melalui katup buang.

Proses termodinamika dan kimia yang terjadi di dalam motor bakar torak amat kompleks untuk dianalisis menurut teori. Siklus motor bensin empat langkah merupakan siklus udara volume konstan, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram P-V dan T-S pada gambar 2.2 berikut ini :



Gambar 2.2 Diagram siklus ideal motor bensin empat langkah digambarkan dalam diagram P-V dan T-S

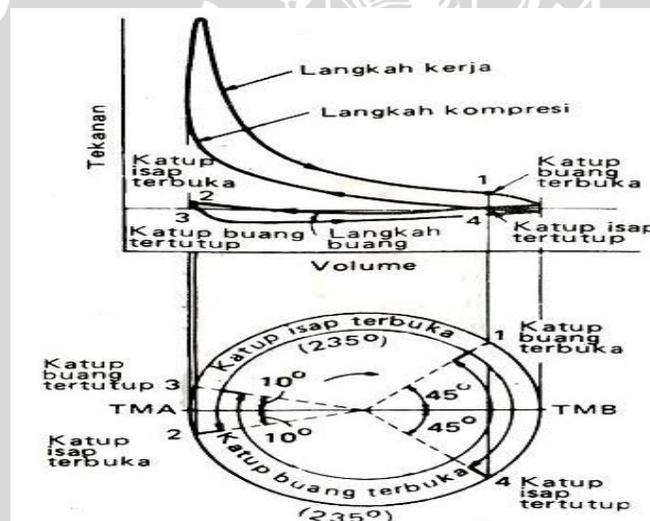
Sumber : Pulkrabek, *Engineering Fundamental of Internal Combustion Engine*, 1997 : 90

Penjelasan siklus tersebut adalah sebagai berikut :

1. Proses 0 – 1 adalah pengisian udara kedalam silinder.
2. Proses 1 – 2 adalah proses kompresi isentropik.
3. Proses 2 – 3 adalah proses pemasukan kalor bahan bakar secara volume konstan
4. Proses 3 – 4 adalah proses ekspansi (kerja) secara isentropik.
5. Proses 4 – 1 adalah proses pelepasan kalor pada volume konstan.
6. Proses 1 – 0 adalah proses pembuangan gas hasil pembakaran ke atmosfer.

2.2.2 Siklus Aktual Motor Bensin Empat Langkah

Apabila tekanan gas dan volume silinder secara bersamaan pada setiap posisi torak dapat diukur maka dapat digambarkan siklus aktual motor bensin empat langkah yang bentuknya seperti ditunjukkan pada gambar 2.3 dibawah ini :



Gambar 2.3 Siklus aktual motor bensin empat langkah

Sumber : Arismunandar, *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*, 1988 : 31

Proses langkah kerja pada motor bensin empat langkah dalam kenyataannya tidak dapat bekerja dalam kondisi ideal. Menurut Arismunandar, W. (1988 : 29), penyimpangan dari siklus ideal itu terjadi karena dalam keadaan yang sebenarnya terjadi kerugian antara lain disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. Kebocoran fluida kerja karena penyekatan oleh cincin torak dan katup tidak dapat sempurna.

2. Katup tidak dibuka dan ditutup tepat di TMA dan TMB karena pertimbangan dinamika mekanisme katup. Kerugian tersebut dapat diperkecil bila saat pembukaan dan penutupan katup disesuaikan dengan besarnya beban dan kecepatan torak.
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 pada TMA, tidak terdapat proses pemasukan kalor seperti pada siklus udara. Kenaikan tekanan dan temperatur fluida kerja disebabkan oleh proses pembakaran antara bahan bakar dengan udara dalam silinder.
5. Proses pembakaran memerlukan waktu, jadi 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 derajat sudut engkol sebelum torak mencapai TMA dan berakhir beberapa derajat sudut engkol sesudah torak bergerak kembali dari TMA menuju TMB. Jadi proses pembakaran tidak dapat berlangsung pada volume atau pada tekanan konstan. Disamping itu, pada kenyataannya tidak pernah terjadi pembakaran yang sempurna. Karena itu daya dan efisiensinya sangatlah bergantung pada perbandingan bahan bakar dan udara, kesempurnaan bahan bakar dan udara bercampur, dan saat penyalaan.
6. Terdapat kerugian kalor yang disebabkan perpindahan kalor dari fluida kerja ke fluida pendingin, terutama pada saat langkah kompresi, langkah ekspansi dan pada saat gas buang meninggalkan silinder. Perpindahan kalor tersebut terjadi karena terdapat perbedaan temperatur antara fluida kerja dan fluida pendingin
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. Terdapat kerugian energi karena gesekan antara fluida kerja dengan dinding salurannya.

Berdasarkan semua hal di atas, bentuk diagram P-V dari siklus yang sebenarnya tidak sama dengan bentuk diagram siklus ideal. Siklus yang sebenarnya tidak pernah

merupakan siklus volume konstan. Karena semua penyimpangan diatas menimbulkan kerugian energi, maka sebaiknya diusahakan agar siklus yang sebenarnya dapat mendekati siklus yang ideal.

2.2.3 Karburator

Karburator adalah tempat pencampuran bahan bakar dan udara, dimana pencampuran tersebut terjadi karena bahan bakar terisap masuk kedalam arus udara yang masuk kedalam karburator. Katup isap akan terbuka pada saat langkah isap dalam siklus motor bakar empat langkah sehingga udara masuk kedalam ruang bakar. Udara yang terisap pada saat gerakan piston dari TMA ke TMB itu akan melewati venturi karburator terlebih dahulu maka akan terjadi penurunan tekanan pada leher venturi. Akibat dari adanya penurunan tekanan tersebut maka akan menghisap dan mengalirkan bahan bakar dari nosel bahan bakar ke aliran udara sehingga terjadi pencampuran bahan bakar dengan udara yang kemudian masuk kedalam ruang bakar motor bensin.

Tingkat kesempurnaan dari pembakaran amat sangat di pengaruhi dari kesempurnaan pencampuran bahan bakar dan udara. Pada motor bakar bensin, persiapan pencampuran udara dan bahan bakar dilakukan diluar silinder mesin. Adapun proses karburasi yang terjadi adalah sebagai berikut :

1. Udara yang terisap pada langkah pemasukan mengalir melalui venturi karburator sehingga tekanan pada leher venturi akan menurun.
2. Bahan bakar dari *jet* akan terisap masuk aliran udara dan sebagian energi aliran akan digunakan untuk memecah bahan bakar. Bahan bakar tersemprotkan melalui *jet* membentuk *droplet* dengan berbagai ukuran dan bercampur dengan udara pembakaran. Proses terurainya bahan bakar ini disebut atomisasi. Derajat atomisasi yang terjadi pada karburator tergantung dari beberapa hal diantaranya adalah kecepatan relatif udara dan bahan bakar, karakteristik bahan bakar, dan tegangan permukaan.
3. Bahan bakar yang teratomisasi yang mengalami penguapan sejak keluar dari *jet*. Hal ini terjadi pada aliran udara sampai pada ruang bakar. Penguapan ini ditunjang oleh persinggungan dengan dinding saluran, kontak dengan dinding silinder yang bersuhu tinggi, gas sisa dalam silinder yang bersuhu tinggi.
4. Terjadi proses pencampuran bahan bakar dan udara pada karburator.

2.2.4 Saluran Isap (*Intake Manifold*)

Saluran isap (*intake manifold*) merupakan salah satu bagian dari sistem isap yaitu merupakan sistem yang mengatur serta mengalirkan jumlah bahan bakar dan udara yang tepat kedalam silinder pada saat mesin bekerja

Campuran antara bahan bakar dan udara dalam *intake manifold* dapat terjadi dalam tiga kondisi yang dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi mesin, umur mesin, bahan bakar yang digunakan, dan sebagainya. Kondisi tersebut adalah sebagai berikut :

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

Dua kondisi diatas menyebabkan terjadinya perbedaan perbandingan campuran jumlah bahan bakar dan udara yang dialirkan ke silinder akibat campuran bahan bakar dan udara yang kurang homogen Hal tersebut dapat dikurangi bahkan dapat diatasi dengan cara membuat modifikasi agar campuran bahan bakar menjadi homogen, misalnya dengan menggunakan sistem injeksi bahan bakar sehingga diharapkan dapat mengabutkan bahan bakar dengan baik. Selain itu dapat juga dengan mengusahakan agar aliran yang melewati *intake manifold* berolak. Dengan adanya aliran yang berolak maka bahan bakar akan memiliki kesempatan yang lebih besar untuk bercampur lebih merata dengan udara sebagai oksidator, sehingga didapatkan campuran bahan bakar dan udara yang lebih homogen

2.3 Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia berupa reaksi okidasi yang berlangsung pada suhu tinggi, berlangsung sangat cepat, serta diikuti oleh lepasnya sejumlah kalor dan cahaya (Turns,1996 : 6).

2.3.1 Jenis-Jenis Pembakaran

Berdasarkan kondisi campuran bahan bakar dengan udara, pembakaran dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Pembakaran *premixed* adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksidasi sudah bercampur terlebih dahulu sebelum terjadi pembakaran.
2. Pembakaran *difusi* yaitu proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksidasi tidak bercampur secara mekanik, melainkan bercampur sendiri secara alami melalui proses difusi selanjutnya baru terjadi proses pembakaran.

2.3.2 Pembakaran Pada Motor Bensin Empat Langkah

Proses pembakaran yang terjadi di dalam motor bensin adalah jenis pembakaran *premixed* dimana antara bahan bakar dan udara dan udara dicampur terlebih dahulu didalam karburator. Pada karburator, bahan bakar akan mengabut dan membentuk *droplet* kemudian mengalir ke ruang bakar.

Pada motor bakar, proses pembakaran memegang peranan penting karena manfaat yang di berikan oleh motor bakar tergantung dari proses pembakaran. Pada pembakaran yang sempurna berarti semua bahan bakar akan habis terbakar dan energi panas yang dihasilkan akan tinggi pula.

Pembakaran dalam ruang bakar ini terjadi seketika, tetapi ada jeda waktu dari saat awal penyalaan api oleh busi sampai campuran bahan bakar dan udara habis. Ketika busi mengeluarkan api listrik, yaitu beberapa derajat engkol sebelum torak mencapai TMA, campuran bahan bakar dan udara disekitar itulah yang mula-mula terbakar. Kemudian nyala api merambat ke segala arah dengan kecepatan yang sangat tinggi (25 – 50 m/s),menyalakan campuran yang dilaluinya sehingga tekanan gas didalam silinder naik, sesuai dengan jumlah bahan bakar yang terbakar (Arismunandar, 1988 : 82). Pada proses pembakaran, ada empat syarat yang harus di penuhi agar terjadi pembakaran yang sempurna (Soetiari, 1990 : 35).

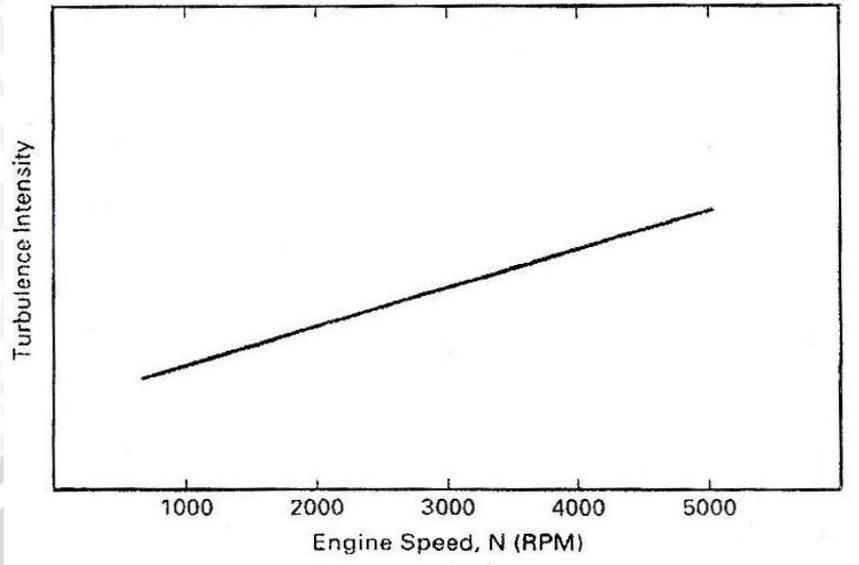
1. Bahan bakar menguap cepat dan sempurna.
2. Digunakan cukup udara pembakaran.
3. Adanya campuran yang homogen antara bahan bakar dan udara.
4. Temperatur pembakaran harus cukup tinggi.

Jika salah satu syarat diatas tidak terpenuhi maka akan terjadi pembakaran yang tidak sempurna. Pembakaran yang tidak sempurna akan menurunkan kinerja dari motor bakar itu sendiri. Seperti yang tertera di atas, keberhasilan proses pembakaran salah satunya di pengaruhi oleh faktor homogenitas campuran bahan bakar dan udara. Namun dalam kenyataanya campuran yang homogen ini sulit untuk didapatkan. Maka selama bahan bakar dan udara mengalir dalam *intake manifold*, homogenitasnya harus ditingkatkan. Hal ini dapat dilakukan dengan mengkondisikan agar aliran bahan bakar dan udara menjadi acak atau terjadi olakan-olakan pada aliran campuran bahan bakar dan udara. Dengan adanya campuran homogen ini, maka akan diperoleh suatu pembakaran yang merata, kecepatan pembakaran yang tinggi serta tekanan pembakaran yang lebih tinggi.

2.4 Pengaruh Turbulensi Pada Pembakaran

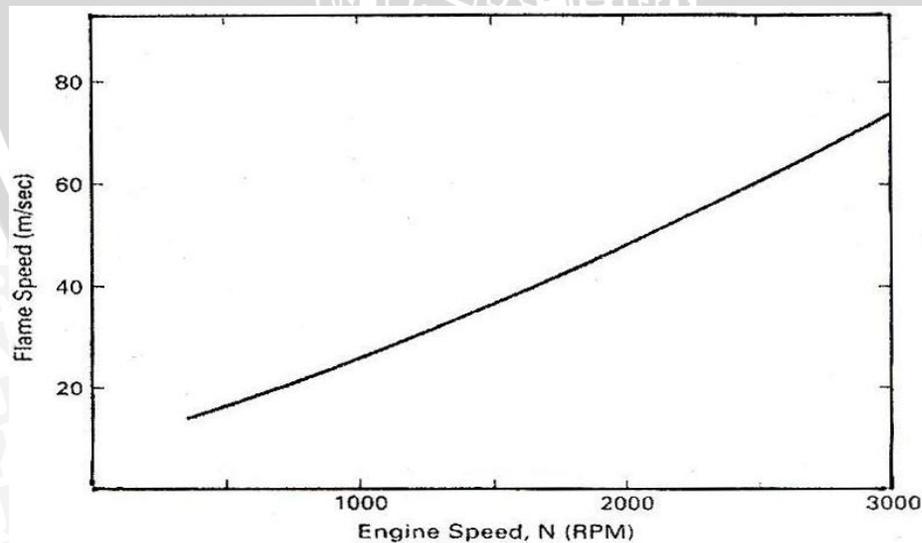
Proses pembakaran pada motor bensin tidak terjadi dengan sendirinya (autoignition). Proses pembakaran pada motor bensin memerlukan energi dari luar untuk penyalaan yang dalam hal ini adalah cetusan bunga api dari busi. Pada penyalaan akan terbentuk *flame front* yang bergerak maju melalui campuran dari titik penyalaan (busi). Seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa pada proses pembakaran, kondisi campuran udara dan bahan bakar menentukan kualitas dari pembakaran. Terjadinya turbulensi dari campuran bahan bakar merupakan hal yang penting untuk memperoleh campuran yang homogen (Soetiari, 1990: 35). Zhang dan Hill (1996) menemukan bahwa turbulensi pada campuran bahan bakar dan udara yang akan dibakar juga akan meningkatkan kecepatan pembakaran.

Apabila kecepatan mesin meningkat, maka kecepatan aliran campuran bakar bakar dan udara yang masuk ke dalam silinder akan meningkat. Hal ini akan menyebabkan terjadinya pusaran dan turbulensi aliran. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut ini :



Gambar 2.4 Pengaruh putaran mesin terhadap intensitas turbulensi
 Sumber : Pulkrabek, *Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine*,1997:208

Dengan demikian, dengan adanya aliran yang turbulen maka memperbaiki pencampuran bahan bakar. Turbulensi aliran campuran bahan bakar dan udara yang meningkat akan menghasilkan kecepatan pembakaran yang lebih cepat (Pulkrabek, 1997: 236). Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Pengaruh putaran mesin terhadap kecepatan pembakaran
 Sumber : Pulkrabek, *Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine*,1997:236

Panas yang dihasilkan pada pembakaran campuran bahan bakar dan udara akan diubah dalam bentuk yang hasil yang efisien jika terjadi kecepatan pembakaran tinggi (Soenarta, 1995 : 55). Hal ini diharapkan panas yang dihasilkan akan dirubah dalam bentuk yang efisien dan pembakaran akan berlangsung lebih baik.

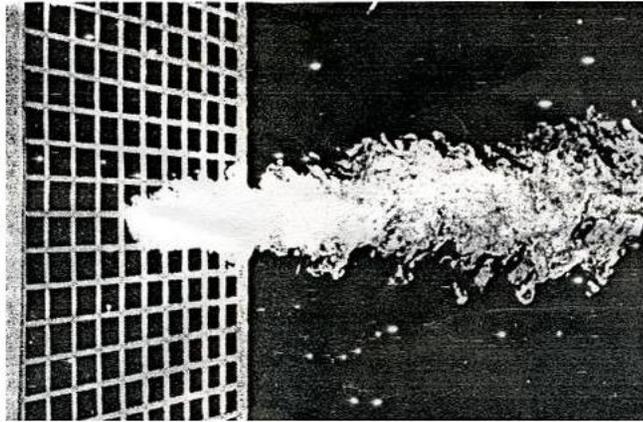
2.5 *Angled Vane Turbulator*

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa selama proses pembakaran pada motor bensin diperlukan sejumlah udara yang telah bercampur dengan bahan bakar yang dalam hal ini diperlukan campuran bahan bakar dan udara yang homogen. Bahan bakar dan udara sebelum masuk ruang bakar terlebih dahulu dicampur di dalam karburator. Proses ini terjadi karena adanya penurunan tekanan pada pipa venturi di karburator sehingga bahan bakar dapat disemprotkan membentuk *droplet* dengan berbagai ukuran dan bercampur dengan udara pembakaran. Proses terurainya bahan bakar ini disebut atomisasi. Derajat atomisasi yang terjadi pada karburator tergantung dari beberapa hal diantaranya adalah kecepatan relatif udara dan bahan bakar, karakteristik bahan bakar, dan tegangan permukaan (Lichty, 1967: 271)

Kehomogenitasan dari suatu campuran bahan bakar dan udara yang terbentuk setelah melewati karburator masih dapat ditingkatkan yaitu dengan cara membuat droplet yang telah terbentuk, terpecah dan terurai menjadi semakin kecil serta membuat aliran campuran bahan bakar dan udara berolak. Hal tersebut dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya :

1. Secara mekanik, yaitu dengan menggunakan penghalang atau pengganggu aliran berupa *bluff body*, *grid*, dan lain-lain yang bertujuan untuk menimbulkan efek turbulensi pada campuran tersebut.
2. Secara magnetik, efek turbulensi dibuat oleh medan magnet pada saluran yang akan dilewati campuran bahan bakar dan udara.

Suatu aliran fluida yang melewati penghalang berupa *grid* kecepatannya akan berkurang, dan akan menimbulkan pusaran (*vorticity*) pada bagian belakang *grid*, sehingga efek turbulensi akan terbentuk karena adanya aliran berpusar (Lesieur, 1990: 5). Fenomena aliran turbulensi yang terjadi dibelakang penghalang *grid* dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut ini :



Gambar 2.6 Turbulensi di belakang suatu penghalang *grid*
Sumber : Lesieur, *Turbulence In Fluids*, 1990:4

Pada penelitian yang akan dilakukan, modifikasi yang dilakukan adalah dengan memberikan perlakuan mekanik yaitu dengan pemasangan *angled vane turbulator* pada saluran isap (*intake manifold*) tepat sesudah karburator. Dengan peletakan *angled vane turbulator* seperti ini diharapkan dapat terjadi efek pusaran yang optimal dan campuran bahan bakar dan udara memiliki kesempatan yang lebih besar untuk bercampur dengan baik. *Angled vane turbulator* merupakan penghalang aliran berupa pelat datar dengan ketebalan tertentu yang memiliki *vane* dengan kemiringan tertentu terhadap sumbu vertikal pelat dan jarak antar *vane* yang tertentu pula besarnya.

Pemasangan *angled vane turbulator* pada prinsipnya berfungsi sebagai pengganggu serta pengatur arah aliran campuran dengan tujuan agar aliran campuran bahan bakar dan udara yang melewati *angled vane* mengalami pusaran dibelakang *angled vane turbulator* sehingga memperbaiki pencampuran antara bahan bakar dan udara. Kecepatan aliran campuran bahan bakar dan udara ketika melewati lubang-lubang *angled vane turbulator* akan meningkat. Hal tersebut terjadi dikarenakan aliran campuran bahan bakar dan udara melewati pengecilan penampang aliran, sehingga terjadi peningkatan kecepatan dan penurunan tekanan aliran campuran. Adanya penurunan tekanan dan peningkatan kecepatan ini juga di harapkan akan dapat meningkatkan proses atomisasi dari bahan bakar yang terjadi. Sehingga pada saat melewati lubang *angled vane turbulator*, *droplet* yang telah terbentuk dari karburator akan terpecah menjadi lebih kecil dan bercampur kembali dengan udara pembakaran. Aliran campuran bahan bakar dan udara yang keluar dari *angled vane turbulator* akan diarahkan oleh *vane* yang memiliki kemiringan tertentu agar diperoleh aliran yang berolak. Sehingga diharapkan dengan pemasangan *angled vane turbulator* didapatkan

peningkatan kehomogenitasan campuran bahan bakar dan udara yang akan masuk ke dalam ruang bakar dari motor bensin.

2.6 Tinjauan Pustaka Kinerja Motor Bensin

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

1. Torsi (T)
2. Daya efektif (Ne)
3. Konsumsi bahan bakar spesifik (SFCE).
4. Efisiensi Termal Efektif (η_{te})

2.6.1 Torsi (T)

Hasil dari proses pembakaran didalam silinder menimbulkan tekanan yang dapat menekan torak melakukan langkah ekspansi atau kerja. Tekanan tersebut dirubah menjadi gaya oleh torak yang selanjutnya diteruskan ke batang torak yang kemudian akan menyebabkan berputarnya poros engkol. Berputarnya poros engkol ini akan menimbulkan gaya putar yang di sebut torsi. Besarnya torsi suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan alat yang disebut *dynamometer*, yang akan menunjukkan besarnya gaya atau beban pengereman pada poros, sehingga harga torsi dapat dicari dari hubungan antara perkalian besarnya beban pengereman dengan panjang lengan yang menghubungkan timbangan dengan poros. Besarnya torsi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = F.L \quad (\text{Soenarta, 1995 : 11}) \quad (2-1)$$

dengan : T = Torsi yang dihasilkan (kgm)

F = Besarnya beban pada timbangan (kg)

L = Panjang lengan dinamometer (m)

2.6.2 Daya Bahan Bakar (N_{bb})

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

$$N_{bb} = \frac{Fc.LHV_{bb}}{632} \quad (\text{Ogawa, 1987 : 16}) \quad (2-2)$$

Dimana : N_{bb} = Daya bahan bakar (PS)
 FC = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)
 LHV_{bb} = Nilai kalor rendah bahan bakar (kkal/kg)

2.6.3 Daya Indikatif (Ni)

Daya indikatif adalah daya gas hasil pembakaran yang menggerakkan torak. Bahan bakar yang terbakar akan berubah menjadi gas hasil pembakaran yang memiliki temperatur dan tekanan tinggi yang akan menggerakkan torak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB) pada langkah ekspansi. Daya indikatif dapat diketahui besarnya dengan persamaan :

$$N_i = N_{bb} - \frac{(N_{Lgb} - N_{Lap})}{632} \quad (\text{Arismunandar, 1988 : 29}) \quad (2-3)$$

Dimana : N_i = Daya indikatif (PS)
 N_{bb} = Daya bahan bakar (PS)
 N_{lgb} = Daya yang hilang pada gas buang (kkal/jam)
 N_{lap} = Daya yang hilang pada air pendingin (kkal/jam)

$$N_{Lap} = W_w \cdot Cp_w \cdot (T_{wo} - T_{wi}) \quad (\text{Ogawa, 1987 : 13}) \quad (2-4)$$

Dimana : N_{lap} = Daya yang hilang pada air pendingin (kkal/jam)
 W_w = Debit air pendingin (kg/jam)
 Cp_w = Panas jenis air (1 kkal/kg°C)
 T_{wo} = Temperatur keluar air pendingin (°C)
 T_{wi} = Temperatur masuk air pendingin (°C)

$$N_{Lgb} = Gg \cdot Cp_g \cdot (T_{eg} - T_{ud}) \cdot 3600 \quad (\text{Ogawa, 1987 : 11}) \quad (2-5)$$

Dimana : N_{lgb} = Daya yang hilang pada gas buang (kkal/jam)
 G_g = Massa alir gas buang (kg/detik)
 Cp_g = Panas jenis gas buang pembakaran (kkal/kg°C)
 T_{eg} = Temperatur gas buang pembakaran (°C)
 T_{wi} = Temperatur udara masuk (°C)

$$G_g = G_s + \frac{F_c}{3600} \quad (\text{Ogawa, 1987 : 11}) \quad (2-6)$$

Dimana : G_g = Massa alir gas buang (kg/detik)
 G_s = Massa alir udara masuk (kg/detik)
 F_c = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

$$G_s = \frac{\dots \cdot d^2}{4} \sqrt{2 \cdot g \cdot a \cdot (P_1 - P_2)} \quad (\text{Ogawa, 1987 : 9}) \quad (2-7)$$

$$a = \frac{P_1 - \phi \cdot P_s}{N \cdot 760} \cdot \frac{273}{273 + TBK} + \phi \cdot w \quad (\text{Ogawa, 1987 : 9}) \quad (2-8)$$

Dimana : G_s = Massa alir udara lewat nosel (kg/detik)
 a = Koefisien kemiringan nosel (0.822)
 a = Koefisien udara (Lampiran 1)

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

$$= 3,14$$

d = Diameter nosel (0.048 m)

g = 9,81 m/s²

a = Berat spesifik udara pada kondisi temperatur ruangan °C (kg/m³)

$P_1 - P_2$ = Perbedaan tekanan di sekitar nosel (kg/m³)

N = Berat spesifik udara pada temperatur °C dan 1 atm (1,293 kg/m³)

w = Kelembapan relatif udara

P_1 = Tekanan udara ruangan (mmHg)

w = Berat spesifik uap air pada temperatur °C (kg/m³) (Lampiran 1)

P_s = Tekanan uap air pada temperatur °C (mmHg) (Lampiran 1)

2.6.4 Daya Efektif (Ne)

Daya efektif adalah daya poros engkol yang berguna untuk menggerakkan beban setelah mengalami kerugian-kerugian seperti gesekan antara piston dan dinding silinder, gesekan poros dengan bantalan, dan untuk menggerakkan peralatan bantu seperti kipas, pompa minyak dan lain-lain. Daya efektif dapat dihitung dengan persamaan :

$$Ne = \frac{T \cdot n}{716.2} [\text{PS}] \quad (\text{Petrovsky; 1979 : 59}) \quad (2-9)$$

dengan : Ne = Daya Efektif (PS)

T = Torsi (kg.m)

n = Putaran poros engkol (rpm)

2.6.5 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCe)

Pemakaian bahan bakar spesifik efektif di definisikan sebagai banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif sebesar satu PS selama jangka waktu satu jam. Konsumsi bahan bakar diukur dengan menggunakan tabung yang telah diketahui volumenya. Bahan bakar akan dialirkan melalui tabung ukur ini kemudian diamati waktu yang di perlukan untuk menghabiskan bahan bakar sebesar volume tersebut pada saat mesin bekerja. Konsumsi bahan bakar tersebut dikonversikan kedalam satuan kg/jam. Konsumsi bahan bakar tersebut dirumuskan sebagai berikut :

$$F_c = \frac{b}{t} \cdot \frac{3600}{1000} \quad (\text{Petrovsky, 1979 : 63}) \quad (2-10)$$

dengan : F_c = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

b = Volume bahan bakar dalam tabung ukur (ml)

t = Waktu yang diperlukan untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak b ml (detik)

f = Berat spesifik bahan bakar (kg/l)

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

$$SFC_e = \frac{F_c}{N_e} \quad (\text{Petrovsky, 1979 : 63}) \quad (2-11)$$

dengan: SFC_e = Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg/PS.jam)

F_c = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

N_e = Daya efektif (PS)

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

2.6.6 Efisiensi Termal Efektif (η_e)

Efisiensi termal efektif merupakan perbandingan antara kalor yang dirubah menjadi daya efektif dengan kalor yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik

efektif. Jadi jika konsumsi bahan bakar spesifik efektif semakin turun, maka efisiensi termal efektif akan meningkat. Hal ini ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{te} = \frac{632 \cdot Ne}{Fc \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{Fc / Ne \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFCe \cdot LHV_{bb}} \quad (\text{Petrovsky, 1979: 62}) \quad (2-12)$$

dengan : η_{te} = Efisiensi termal efektif (%)

LHV_{bb} = Nilai kalor dari bahan bakar bensin (kkal/kg)

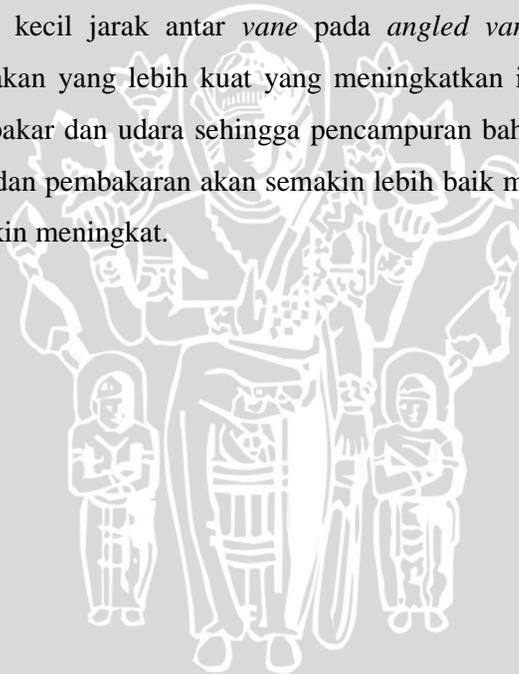
FC = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

Ne = Daya efektif (PS)

$SFCe$ = Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg/PS.jam)

2.7 Hipotesa

Dengan semakin kecil jarak antar *vane* pada *angled vane turbulator*, akan menimbulkan olakan-olakan yang lebih kuat yang meningkatkan intensitas turbulensi aliran campuran bahan bakar dan udara sehingga pencampuran bahan bakar dan udara akan semakin homogen dan pembakaran akan semakin lebih baik menyebabkan kinerja motor bensin akan semakin meningkat.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental(*experimental research*) yang digunakan untuk mengetahui pengaruh variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* terhadap kinerja motor bakar bensin empat langkah. Kinerja motor bakar bensin empat langkah disini adalah torsi (T), daya efektif (Ne), Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe) dan efisiensi termal efektif (η_e).

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan terdiri atas variabel bebas, variabel terkontrol, dan variabel terikat

1. Variabel bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah putaran mesin. Adapun putaran mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah : 1300 rpm, 1800 rpm, 2300 rpm, 2800 rpm, 3300 rpm.

2. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah jarak antar *vane* :

1. Tanpa pemasangan *angled vane turbulator*.
2. Jarak pemasangan antar *vane* 3 mm.
3. Jarak pemasangan antar *vane* 4 mm.
4. Jarak pemasangan antar *vane* 5 mm.

3. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas dan besarnya dapat diketahui setelah penelitian dilakukan. Adapun variabel terikat dalam penelitian ini adalah :

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

3.3.2 Peralatan Bantu

Peralatan bantu adalah alat-alat yang dipakai untuk mengukur parameter pengujian, peralatan tersebut adalah sebagai berikut :

1. *Dynamometer Prony Brake*

Digunakan untuk mengukur torsi dari motor bensin. Alat ini terangkai dengan mesin yang diuji. Panjang lengan dari *dynamometer Prony Brake* adalah 0,358 m.

1. *Tachometer*

Digunakan untuk mengukur putaran mesin. Satuan yang digunakan adalah rpm (*rotation per minute*).

2. Tabung pengukur konsumsi bahan bakar

Digunakan untuk mengukur konsumsi bahan bakar yang berbentuk tabung dengan volume tertentu.

3. Barometer

Digunakan untuk mengukur tekanan udara atmosfer pada saat pengujian.

4. *Stopwatch*

Digunakan untuk mengukur waktu yang diperlukan motor bensin untuk menghabiskan bahan bakar dengan volume tertentu.

5. Termometer

Digunakan untuk temperatur ruang tempat pengujian.

6. Hidrometer

Digunakan untuk mengukur densitas bahan bakar pada saat pengujian

7. *Higrometer*

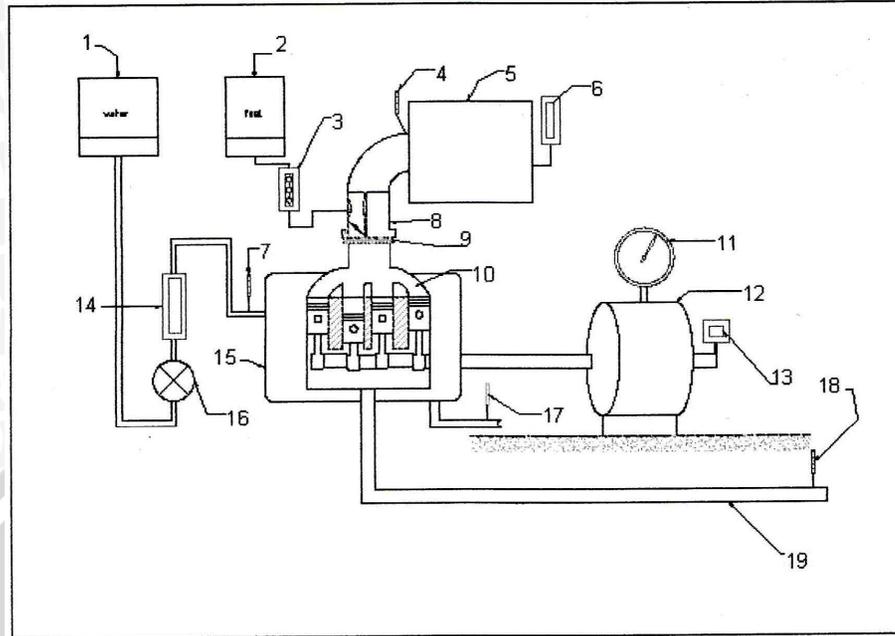
Digunakan untuk mengukur kelembapan relatif ruangan selama penelitian.

3.4 Tempat Penelitian

Penelitian tentang pengaruh variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* terhadap kinerja motor bensin empat langkah ini dilaksanakan di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang

3.5 Instalasi Alat Penelitian

Susunan instalasi alat yang digunakan dalam pengujian ini dapat dilihat seperti gambar 3.2 berikut ini



Gambar 3.2 Susunan peralatan uji

1. Tangki air
2. Tangki bahan bakar
3. *Fuel consumption meter*
4. Indikator temperatur udara masuk
5. Filter udara
6. Manometer
7. Indikator temperatur air pendingin masuk
8. Karburator
9. *Angled vane turbulator*
10. *Intake manifold*
11. Timbangan gaya
12. *Dynamometer*
13. *Tachometer*
14. *Water flow meter*
15. *Engine*
16. Katup air pendingin
17. Indikator air pendingin keluar
18. Indikator temperatur gas buang
19. Knalpot

3.6 Pelaksanaan Penelitian

3.6.1 Penyusunan Alat Penelitian

Sebelum penelitian dilaksanakan, maka dilakukan persiapan penyusunan alat-alat penelitian, mempersiapkan instalasi utama (gambar 3.2) yang dirangkai menjadi satu kesatuan

3.6.2 Prosedur Penelitian

Prosedur pengujian dimulai dengan menggunakan motor bensin tanpa menggunakan *angled vane turbulator* pada *intake manifold*. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian dengan menggunakan *angled vane turbulator* pada *intake manifold* dengan variasi jarak antar vane.

Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut :

1. Persiapan peralatan pengujian dan benda uji.
2. Menghidupkan mesin bensin dan mesin dibiarkan hidup sekitar 5-10 menit hingga di perkirakan putaran motor telah stabil.
3. Penyetingan mesin dengan kondisi bukaan *throttle* 22 % dengan cara membaca *throttle valve* indikator.
4. Proses pengambilan data dengan tahap-tahap sebagai berikut :
 - a. Tahap pertama, dilakukan pada peralatan utama yang telah dilengkapi dengan peralatan bantu tanpa menggunakan peralatan uji yaitu *angled vane turbulator*. Pengambilan data dimulai dari putaran 1300 sampai dengan putaran 3300 rpm dengan kenaikan putaran sebesar 500 rpm untuk tiap pengujian. Untuk memperoleh hasil yang lebih teliti dilakukan pengulangan pengujian sebanyak 3 kali.
 - b. Tahap kedua, pengambilan data dilakukan dengan prosedur dan kondisi mesin yang sama seperti pada pengujian pada tahap pertama. Tetapi, pada *intake manifold* di pasang *angled vane turbulator* dengan variasi jarak antar vane 5 mm, kemudian dilanjutkan 4 mm, dan yang terakhir adalah 3 mm.
5. Pada setiap kenaikan putaran, data-data yang diambil adalah putaran mesin (rpm), besar gaya pengereman (kg), waktu yang diperlukan untuk mengkonsumsi bahan bakar sebanyak 30 ml (detik), perbedaan tekanan di *round nossel*(mmH₂O), debit air pendingin masuk (liter/jam), temperatur air

masuk(°C), temperatur air keluar(°C), temperatur udara masuk(°C), temperatur gas buang(°C).

3.7 Analisis Statistik

Untuk mengolah data dari penelitian ini digunakan analisa varian dua arah. Dengan analisa varian dua arah akan diketahui ada atau tidaknya pengaruh putaran (faktor A) dan pengaruh jarak pemasangan antar *vane* (faktor B) serta pengaruh interaksi antar keduanya (faktor AB) terhadap kinerja dari motor bensin empat langkah.

Faktor A mempunyai level $A_1, A_2, A_3, \dots, A_r$, dan faktor B mempunyai level $B_1, B_2, B_3, \dots, B_c$. Jika jumlah pengamatan tiap sel adalah t kali dan rancangan dua kategori A dan B dengan masing-masing kategori terdiri dari r dan c level. Bila pengaruh interaksi antara variasi putaran mesin pada level ke i dan pengaruh variasi jarak antar *vane* pada *angled vane turbulator* pada level ke j dinyatakan dengan $()_{ij}$, maka nilai pengamatan dapat ditulis dalam metode matematis sebagai berikut :

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + ()_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (\text{Wahyudi, 2006: 96}) \quad (3-1)$$

Keterangan :

- μ = Nilai rata-rata dari seluruh pengamatan.
- α_i = Pengaruh putaran mesin ke i
- β_j = Pengaruh jarak antar *vane* pada *angled vane turbulator* ke j
- $()_{ij}$ = Pengaruh interaksi putaran mesin ke i dan jarak antar *vane* pada *angled vane turbulator* ke j
- ϵ_{ijk} = Simpangan pengamatan

Yang akan kita uji dari pengamatan ini adalah :

1. : Pengaruh (efek) dari putaran mesin.
2. : Pengaruh (efek) dari jarak antar *vane* pada *angled vane turbulator*.
3. : Pengaruh interaksi dari faktor putaran mesin dan jarak antar *vane* pada *angled vane turbulator*.

Adapun hipotesa yang dipergunakan adalah sebagai berikut :

1. H_0^1 : $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i$
(Tidak ada pengaruh variasi putaran poros mesin terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, dan efisiensi termal efektif).
- H_1^1 : Paling sedikit satu $\alpha_i \neq 0$

(Ada pengaruh variasi putaran poros mesin terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, dan efisiensi termal efektif).

$$2. H_0^2: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_j$$

(Tidak ada pengaruh variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, dan efisiensi termal efektif).

$$H_1^2: \text{Paling sedikit satu } \tau_j \neq 0$$

(Ada pengaruh variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, dan efisiensi termal efektif).

$$3. H_0^3: (\tau)_{11} = (\tau)_{12} = \dots = (\tau)_{ij}$$

(Tidak ada pengaruh variasi putaran poros mesin dan variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, dan efisiensi termal efektif).

$$H_1^3: \text{Paling sedikit satu } (\tau)_{ij} \neq 0$$

(Ada pengaruh variasi putaran poros mesin dan variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, dan efisiensi termal efektif).

Metode statistik yang digunakan adalah dengan analisa varian dua arah, dengan penggunaan dua variasi yaitu putaran mesin dan jarak antar *vane* pada *angled vane turbulator*. Data yang diperoleh pada pengujian dituliskan seperti pada tabel 3.1 dibawah ini:

Tabel 3.1 Rancangan pengamatan model dua arah dengan pengulangan

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

Sumber : Wahyudi, *Statistik Teknik*, 2006: 96

Didalam perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut ini:

1. Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t X_{ijk}^2 - \frac{(T_{...})^2}{rct} \quad (\text{Wahyudi, 2006: 98}) \quad (3-2)$$

2. Jumlah kuadrat putaran mesin (JKA)

$$JKA = \frac{\sum_{i=1}^r T_{i.}^2}{ct} - \frac{(T_{...})^2}{rct} \quad (\text{Wahyudi, 2006: 98}) \quad (3-3)$$

3. Jumlah kuadrat variasi jarak antar *angled vane turbulator* (JKB)

$$JKB = \frac{\sum_{j=1}^c T_{.j.}^2}{rt} - \frac{(T_{...})^2}{rct} \quad (\text{Wahyudi, 2006: 98}) \quad (3-4)$$

4. Jumlah pengaruh interaksi perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij.}^2}{t} - \frac{(T_{...})^2}{rct} \quad (\text{Wahyudi, 2006: 98}) \quad (3-5)$$

$$JKAB = JKP - JKA - JKB \quad (\text{Wahyudi, 2006: 98}) \quad (3-6)$$

5. Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP = JKT - JKA - JKAB \quad (\text{Wahyudi, 2006: 98}) \quad (3-7)$$

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

1. Kuadrat tengah variasi putaran mesin (KTA)

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

2. Kuadrat tengah variasi jarak antar *vane* pada *angled vane turbulator* (KTB)

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

3. Kuadrat tengah interaksi variasi putaran mesin dan variasi jarak antar *vane* pada *angled vane turbulator* (KTAB)

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

4. Kuadrat tengah galat (KTG)

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

Untuk menguji ketiga hipotesis diatas kita mencari harga F_{hitung} masing-masing sumber keragaman (putaran mesin, variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* dan interaksi putaran mesin dan variasi jarak antar *vane* pada *angled vane*) kemudian hasilnya dibandingkan dengan F_{tabel} pada derajat bebas yang sesuai dengan nilai tertentu seperti terlampir pada lampiran 2. Nilai F_{hitung} dari masing-masing sumber keragaman adalah sebagai berikut:

1. F_{hitung} dari putaran mesin

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

2. F_{hitung} dari variasi jarak antar *vane* pada *angled vane*

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

3. F_{hitung} dari interaksi putaran mesin dan variasi jarak antar *vane* pada *angled vane*

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

Dari perhitungan data statistik diatas dilakukan perbandingan dan kesimpulan yang terjadi pada analisa dua variasi tersebut, seperti dituliskan pada tabel 3.2 berikut

Tabel 3.2 Analisis varian

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

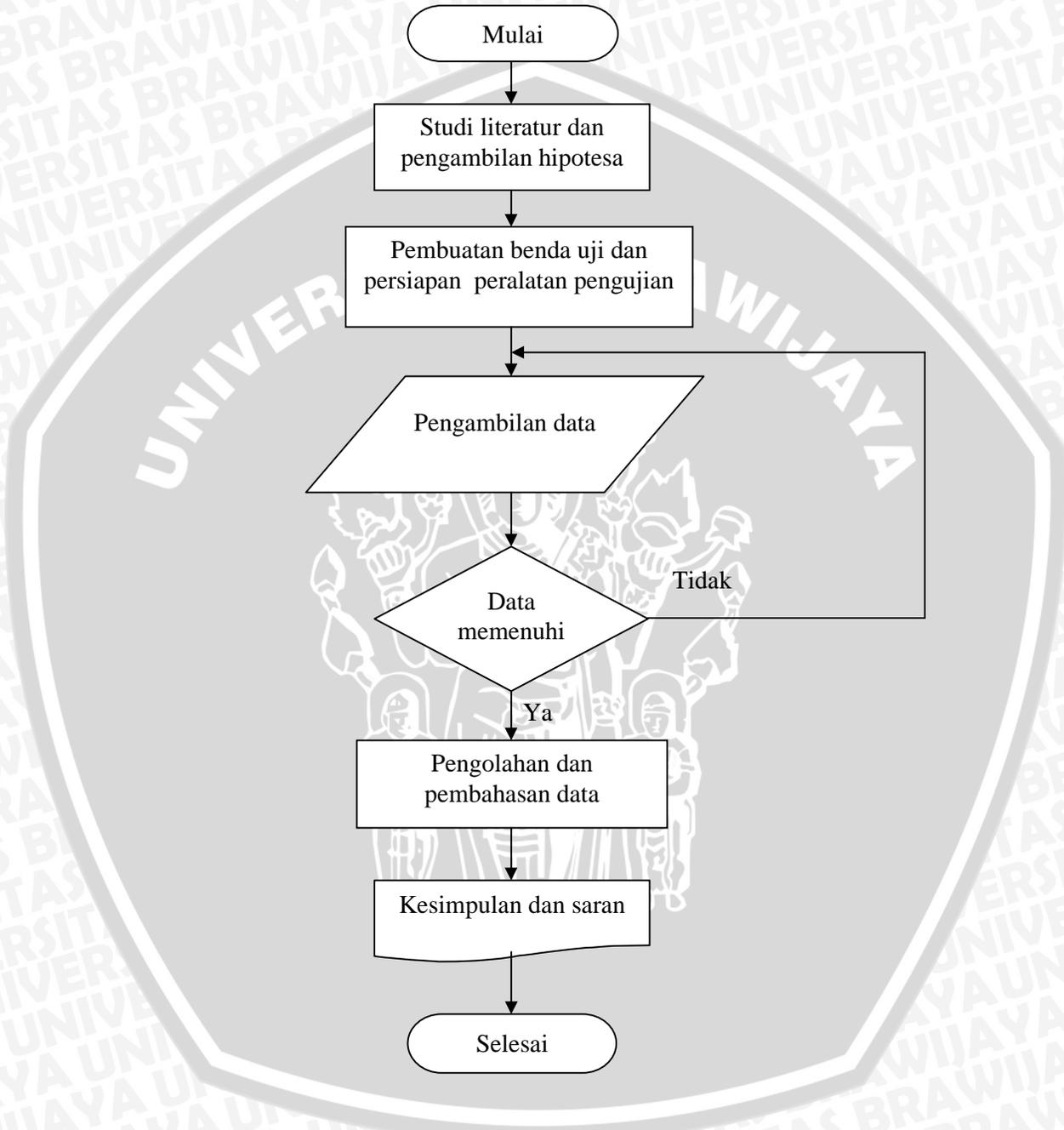
Sumber : Wahyudi, *Statistik Teknik*, 2006 : 98

Kesimpulan yang diperoleh :

1. Bila $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima, ini menyatakan bahwa variasi putaran poros mesin berpengaruh terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, dan efisiensi termal efektif.
2. Bila $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima, ini menyatakan bahwa variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* berpengaruh terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, dan efisiensi termal efektif.
3. Bila $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima, ini menyatakan bahwa variasi putaran poros mesin dan variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* berpengaruh terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, dan efisiensi termal efektif

3.8 Diagram Alir Penelitian

Tahapan-tahapan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut ini :



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian

Data yang diperoleh selama pengujian adalah sebagai berikut :

1. Pengujian : Variasi putaran
2. Temperatur bola kering : 29 °C
3. Temperatur bola basah : 26 °C
4. Bukaannya *Throttle* : 22 %
5. Kelembaban relatif : 78 %
6. Volume bahan bakar (b) : 30 ml
7. Tekanan udara : 715 mmHg
8. LHV bahan bakar : 9596,4 kkal.kg⁻¹

Data hasil pengujian pada motor bensin empat langkah pada keadaan standar (tanpa *angled vane turbulator*) dapat dituliskan dalam bentuk tabel 4.1 berikut ini :

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

No	Putaran (rpm)	F (kg)	t (s)	P1-P2 (mmH ₂ O)	Ww (lt/jam)	Twi (°C)	Two (°C)	Tud (°C)	Teg (°C)
1	1300	20.00	20.29	4.0	400	30	58	34	585
		20.00	20.16	4.0	400	30	58	34	590
		20.00	20.09	4.0	400	30	58.5	34	590
2	1800	19.00	15.89	7.0	460	30	59	34	640
		19.00	15.95	7.0	460	30	60	34	645
		19.00	15.61	7.0	460	30	60	35	650
3	2300	18.00	13.66	10.0	500	30	61.5	35	670
		18.00	13.68	10.0	500	30	62	35	675
		18.00	13.92	10.0	500	30	62	35	675
4	2800	17.25	11.71	13.0	540	30	63	35	710
		17.25	11.67	13.0	540	30	64	35	710
		17.25	11.46	13.0	540	30	65	35	715
5	3300	14.00	11.03	16.0	560	30	67	35	720
		14.00	10.99	16.0	560	30	68	35	720
		14.00	10.92	16.0	560	30	68	35	725

Data hasil pengujian pada motor bensin empat langkah dengan pemasangan *angled vane turbulator* dengan jarak antar *vane* 3 mm dapat dituliskan dalam bentuk tabel 4.2 berikut ini :

Tabel 4.2. Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan pemasangan *Angled Vane Turbulator* dengan jarak antar *vane* 3 mm

No	Putaran (rpm)	F (kg)	t (s)	P1-P2 (mmH ₂ O)	Ww (lt/jam)	Twi (°C)	Two (°C)	Tud (°C)	Teg (°C)
1	1300	20.50	20.64	4.0	400	30	54	34	580
		20.50	20.60	4.0	400	30	55	34	580
		20.50	20.58	4.0	400	30	55	34	580
2	1800	19.75	15.99	7.0	440	30	55.5	34	630
		19.75	15.91	7.0	440	30	56	34	635
		19.75	16.03	7.0	440	30	56	34	635
3	2300	19.00	13.59	9.0	480	31	62	34	670
		19.00	13.38	9.0	480	31	63	34	680
		19.00	13.30	9.0	480	32	64	34	685
4	2800	18.25	11.37	12.0	520	32	66	34	700
		18.25	11.25	12.0	520	32	67	34	705
		18.25	11.34	12.0	520	32	67	34	705
5	3300	15.00	10.95	14.0	560	32	67.5	34	710
		15.00	10.90	14.0	560	32	68	34	710
		15.00	10.86	14.0	560	32	68	34	710

Data hasil pengujian pada motor bensin empat langkah dengan pemasangan *angled vane turbulator* dengan jarak antar *vane* 4 mm dapat dituliskan dalam bentuk tabel 4.3 berikut ini :

Tabel 4.3. Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan pemasangan *Angled Vane Turbulator* dengan jarak antar *vane* 4 mm

No	Putaran (rpm)	F (kg)	t (s)	P1-P2 (mmH ₂ O)	Ww (lt/jam)	Twi (°C)	Two (°C)	Tud (°C)	Teg (°C)
1	1300	20.25	20.55	4.0	400	30	56	34	585
		20.25	20.50	4.0	400	30	56	34	585
		20.25	20.41	4.0	400	30	56.5	34	585
2	1800	19.50	16.09	7.0	440	31	57	34	630
		19.50	16.11	7.0	440	31	58	34	640
		19.50	15.86	7.0	440	31	58	34	655
3	2300	18.75	13.32	10.0	500	31	63	34	660
		18.75	13.53	10.0	500	31	63	34	660
		18.75	13.26	10.0	500	31	63.5	34	670
4	2800	17.75	11.56	12.0	520	31	66	34	690
		17.75	11.48	12.0	520	31	66	34	695
		17.75	11.59	12.0	520	31	66	34	695
5	3300	14.50	11.03	14.0	550	31	68	34	710
		14.50	10.97	14.0	550	31	68.5	34	710
		14.50	11.08	14.0	550	31	69	34	710

Data hasil pengujian pada motor bensin empat langkah dengan pemasangan *angled vane turbulator* dengan jarak antar *vane* 5 mm dapat dituliskan dalam bentuk tabel 4.4 berikut ini :

Tabel 4.4. Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dengan pemasangan *Angled Vane Turbulator* dengan jarak antar *vane* 5 mm

No	Putaran (rpm)	F	t	P1-P2	Ww	Twi	Two	Tud	Teg
		(kg)	(s)	(mmH ₂ O)	(lt/jam)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
1	1300	20.00	20.63	4.0	400	30	56.5	34	580
		20.00	20.59	4.0	400	30	57	34	580
		20.00	20.56	4.0	400	30	57	34	580
2	1800	19.25	15.83	7.0	440	30	59	34	640
		19.25	15.90	7.0	440	30	59	34	645
		19.25	15.72	7.0	440	30	59.5	34	645
3	2300	18.50	13.47	10.0	500	30	61	34	670
		18.50	13.49	10.0	500	30	62	34	675
		18.50	13.43	10.0	500	30	62	34	680
4	2800	17.50	11.58	13.0	520	30	64	35	695
		17.50	11.44	13.0	520	30	65	35	700
		17.50	11.51	13.0	520	30	65.5	35	700
5	3300	14.25	10.95	16.0	560	30	67	35	705
		14.25	11.05	16.0	560	30	67	35	705
		14.25	10.88	16.0	560	30	68	35	705

4.1.2 Perhitungan Data

Dari hasil pengujian dapat dilakukan pengolahan data. Sebagai contoh perhitungan diambil data dari pengujian pemasangan *Angled Vane Turbulator* dengan jarak antar *vane* 5 mm pada *intake manifold* terhadap torsi, daya efektif, daya bahan bakar, daya indikasi, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif pada motor Bensin empat langkah. Adapun data yang diambil adalah sebagai berikut:

1. Putaran mesin (n) = 1300 rpm
2. Besar beban pengereman (F) = 20 kg
3. Panjang lengan *dynamometer* (L) = 0.358 m
4. Waktu konsumsi bahan bakar (t) = 20,63 detik
5. Debit air pendinginan (Ww) = 400 lt/jam
6. Temperatur air pendinginan masuk (Twi) = 30 °C
7. Temperatur air pendinginan keluar (Two) = 56,5 °C
8. Temperatur udara masuk (Tud) = 34 °C
9. Temperatur gas buang (Teg) = 580 °C
10. Berat spesifik bahan bakar (ρ_f) = 0.722 kg.liter⁻¹
11. Nilai kalor rendah bahan bakar (LHV) = 9596.4 kkal.kg⁻¹

Dari hasil data pengujian motor bakar empat langkah pada table 4.4 didapatkan nilai dari:

1. Torsi (T)

Torsi dapat dihitung dengan persamaan :

$$T = F.L$$

dengan : T = Torsi yang dihasilkan (kgm)

F = Besarnya beban pada timbangan (kg)

L = Panjang lengan dinamometer (m)

$$\begin{aligned} T &= F.L \\ &= 20 \cdot 0,358 \\ &= 7,160 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

2. Daya efektif (N_e)

Besarnya daya efektif dapat dihitung dengan persamaan :

$$N_e = \frac{T.n}{716.2} \text{ [PS]}$$

dengan : N_e = Daya Efektif (PS)

T = Torsi (kg.m)

n = Putaran poros engkol (rpm)

$$\begin{aligned} N_e &= \frac{T.n}{716.,2} \\ &= \frac{7,160 \cdot 1300}{716,2} \\ &= 12,996 \text{ PS} \end{aligned}$$

3. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFC_e)

Besarnya konsumsi bahan bakar dapat dihitung dengan persamaan :

$$F_c = \frac{b}{t} \cdot \frac{3600}{1000}$$

dengan : F_c = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

b = Volume bahan bakar dalam tabung ukur (ml)

t = Waktu yang diperlukan untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak b ml (detik)

f = Berat spesifik bahan bakar (kg/l) = 0,722 kg/l

$$\begin{aligned} F_c &= \frac{b}{t} \cdot \frac{3600}{f \cdot 1000} \\ &= \frac{30}{20,63} \cdot 0,722 \cdot \frac{3600}{1000} \\ &= 3,7797 \text{ kg} \cdot \text{jam}^{-1} \end{aligned}$$

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

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

dengan: SFCe = Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg/PS.jam)

Fc = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

Ne = Daya efektif (PS)

$$\begin{aligned} SFCe &= \frac{F_c}{N_e} \\ &= \frac{3,7797}{12,996} \\ &= 0,2908 \text{ kg} \cdot \text{PS}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1} \end{aligned}$$

4. Daya Bahan Bakar (N_{bb})

Daya bahan bakar dapat dihitung dengan persamaan :

$$N_{bb} = \frac{F_c \cdot LHV_{bb}}{632}$$

Dimana : N_{bb} = Daya bahan bakar (PS)

FC = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

LHV_{bb} = Nilai kalor rendah bahan bakar (kkal/kg) = 9596,4 kkal/kg

$$\begin{aligned} N_{bb} &= \frac{F_c \cdot LHV_{bb}}{632} \\ &= \frac{3,797 \cdot 9596,4}{632} \\ &= 57,392 \text{ PS} \end{aligned}$$

5. Aliran udara melalui *nozzle* (Gs)

Untuk mengetahui massa alir udara yang masuk ke dalam karburator digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} G_s &= \frac{\dots \cdot d^2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot a \cdot (P_1 - P_2)}}{4} \\ &= \frac{P_1 - \varphi \cdot P_s}{760} \cdot \frac{273}{273 + TBK} + \varphi \cdot w \end{aligned}$$

dengan:

Gs = Massa alir udara lewat *nozzle* (kg.s⁻¹)

= Koefisien aliran disekitar *nozzle* (0.822)

= Koefisien udara (lampiran 1)

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

$$= 3.14$$

d = Diameter *nozzle* (0.048 m)

g = 9.81 m.s⁻²

a = Berat spesifik udara pada kondisi temperatur ruangan °C (kg.m⁻³)

P₁-P₂ = Perbedaan tekanan disekitar *nozzle* (mmH₂O)

N = Berat spesifik udara pada temperatur °C dan 1 atm (1.293 kg.m⁻³)

P₁ = Tekanan udara ruangan (mmHg)

w = Berat spesifik uap air pada temperatur °C (kg.m⁻³) (lampiran 1)

Ps = Tekanan uap air pada temperatur °C (mmHg) (lampiran 1)

$$\begin{aligned} \gamma_a &= \gamma_N \cdot \frac{P_1 - \phi P_s}{760} \cdot \frac{273}{273 + TBK} + \phi \gamma_w \\ &= 1,293 \cdot \frac{715 - (0,78 \cdot 30,09)}{760} \cdot \frac{273}{273 + 29} + 0,78 \cdot 0,02882 \\ &= 1,08601 \text{ kg.m}^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_s &= \frac{\alpha \cdot \varepsilon \cdot \pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \gamma_a \cdot (P_1 - P_2)} \\ &= \frac{0,822 \cdot 0,999872 \cdot 3,14 \cdot 0,048^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,08601 \cdot (4,0)} \\ &= 0,013730 \text{ kg.detik}^{-1} \end{aligned}$$

6. Kapasitas Aliran Gas Buang (G_g)

Untuk mengetahui massa alir gas buang digunakan persamaan sebagai berikut

$$G_g = G_s + \frac{F_c}{3600}$$

Dimana :G_g =Massa alir gas buang (kg/detik)

G_s = Massa alir udara masuk (kg/detik)

F_c = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

$$\begin{aligned} G_g &= G_s + \frac{F_c}{3600} \\ &= 0,013730 + \frac{3,7797}{3600} \\ &= 0,01478 \text{ kg.detik}^{-1} \end{aligned}$$

7. Daya Indikasi (N_i)

Daya indikasi dapat dihitung dengan persamaan :

$$N_i = N_{bb} - \frac{(N_{Lgb} - N_{Lap})}{632}$$

Dimana : N_i = Daya indikatif (PS)

N_{bb} = Daya bahan bakar (PS)

N_{lgb} = Daya yang hilang pada gas buang (kkal/jam)

N_{lap} = Daya yang hilang pada air pendingin (kkal/jam)

Daya yang hilang pada air pendingin dapat dihitung dengan persamaan :

$$N_{Lap} = W_w \cdot C_{p_w} \cdot (T_{wo} - T_{wi})$$

Dimana : N_{lap} = Daya yang hilang pada air pendingin (kkal/jam)

W_w = Debit air pendingin (kg/jam)

C_{p_w} = Panas jenis air (1 kkal/kg $^{\circ}$ C)

T_{wo} = Temperatur keluar air pendingin ($^{\circ}$ C)

T_{wi} = Temperatur masuk air pendingin ($^{\circ}$ C)

$$\begin{aligned} N_{Lap} &= W_w \cdot C_{p_w} \cdot (T_{wo} - T_{wi}) \\ &= 400 \cdot 1 \cdot (56,5 - 30) \\ &= 10600 \text{ kkal} \cdot \text{jam}^{-1} \end{aligned}$$

Daya yang hilang pada gas buang dapat dihitung dengan persamaan :

$$N_{Lgb} = G_g \cdot C_{p_g} \cdot (T_{eg} - T_{ud}) \cdot 3600$$

Dimana :

N_{lgb} = Daya yang hilang pada gas buang (kkal/jam)

G_g = Massa alir gas buang (kg/detik)

C_{p_g} = Panas jenis gas buang pembakaran (kkal/kg $^{\circ}$ C)

T_{eg} = Temperatur gas buang pembakaran ($^{\circ}$ C)

T_{wi} = Temperatur udara masuk ($^{\circ}$ C)

$$\begin{aligned} N_{Lgb} &= G_g \cdot C_{p_g} \cdot (T_{eg} - T_{ud}) \cdot 3600 \\ &= 0,01478 \cdot 0,285 \cdot (580 - 34) \cdot 3600 \\ &= 8279,93 \text{ kkal} \cdot \text{jam}^{-1} \end{aligned}$$

Daya indikasi yang dihasilkan adalah

$$N_i = N_{bb} - \frac{(N_{Lgb} + N_{Lap})}{632}$$

$$= 57,392 - \frac{8279,93 + 10600}{632}$$

$$= 27,519 \text{ PS}$$

8. Efisiensi termal efektif (η_{te})

Nilai dari efisiensi termal efektif (η_{te}) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\eta_{te} = \frac{632 \cdot Ne}{Fc \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{\frac{Fc}{Ne} \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFCe \cdot LHV_{bb}}$$

dengan :

η_{te} = Efisiensi termal efektif (%)

LHV_{bb} = Nilai kalor dari bahan bakar bensin (kkal/kg) = 9596,4 kkal/kg

FC = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

Ne = Daya efektif (PS)

SFCe = Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg/PS.jam)

$$\eta_{te} = \frac{632}{SFCe \cdot LHV_{bb}}$$

$$= \frac{632}{0,2908 \cdot 9596,4} \cdot 100\%$$

$$= 22,65 \%$$

Analog dengan data yang pertama, maka diperoleh nilai dari torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, daya bahan bakar, daya indikasi, efisiensi termal efektif dari masing-masing data yang lain. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat dalam lampiran 3.

4.1.3 Analisis varian

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

Hipotesis yang digunakan dalam analisis statistik ini adalah:

I H_0^1 : $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i$ (tidak ada pengaruh variasi putaran poros terhadap kinerja motor bensin empat langkah)

H_1^1 : paling sedikit satu $\mu_i \neq 0$ (ada pengaruh variasi putaran poros terhadap kinerja motor bensin empat langkah)

II H_0^2 : $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_j$ (tidak ada pengaruh variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* di *intake manifold* terhadap kinerja motor bensin empat langkah)

H_1^2 : paling sedikit satu $\mu_j \neq 0$ (ada pengaruh variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* pada *intake manifold* terhadap kinerja motor bensin empat langkah)

III H_0^3 : $(\mu)_{11} = (\mu)_{12} = \dots = (\mu)_{ij}$ (tidak ada pengaruh variasi putaran poros dan variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* di *intake manifold* terhadap kinerja motor bensin empat langkah)

H_1^3 : paling sedikit satu $(\mu)_{ij} \neq 0$ (ada pengaruh variasi putaran poros dan variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* di *intake manifold* terhadap kinerja motor bensin empat langkah)

4.1.3.1 Analisis varian untuk torsi yang dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh putaran poros, variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* dan interaksi antara keduanya terhadap torsi yang dihasilkan motor bensin empat langkah empat silinder. Dari perhitungan statistik didapatkan analisis varian untuk torsi yang ditampilkan pada tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5. Analisis varian dua arah untuk torsi

SUMBER VARIAN	db	JK	KT	Fhitung	Ftabel
Putaran(faktor A)	4	30.38101	7.59525	5.69E+04	2.60597
Jarak antar <i>vane</i> (faktor B)	3	0.75016	0.25005	1.87E+03	2.83874
Interaksi faktor A dan B	12	0.05687	0.00474	3.55E+01	2.00345
Galat	40	0.00534	0.00013		
Total	59	31.19338			

Dari tabel diperoleh kesimpulan:

- $F_{A \text{ hitung}} > F_{A \text{ tabel}}$ maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima, ini berarti bahwa putaran poros berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan motor bensin empat langkah.
- $F_{B \text{ hitung}} > F_{B \text{ tabel}}$ H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima, ini berarti bahwa variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan motor bensin empat langkah.
- $F_{AB \text{ hitung}} > F_{AB \text{ tabel}}$ maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima, ini berarti bahwa interaksi antara putaran poros dan variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan motor bensin empat langkah.

Dari kesimpulan diatas terlihat bahwa putaran poros, variasi jarak antar *vane* pada *angled vane*, dan interaksi antara putaran poros dan variasi jarak antar *vane* pada

angled vane mempunyai pengaruh yang nyata terhadap torsi yang dihasilkan dengan tingkat keyakinan 95 %.

4.1.3.2 Analisis varian untuk daya efektif yang dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh putaran poros, variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* dan interaksi antara keduanya terhadap daya efektif yang dihasilkan motor bensin empat langkah empat silinder. Dari perhitungan statistik didapatkan analisis varian untuk daya efektif yang ditampilkan pada tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6. Analisis varian dua arah untuk daya efektif

SUMBER VARIAN	db	JK	KT	Fhitung	Ftabel
Putaran(faktor A)	4	1114.48698	278.62174	6.6412E+08	2.60597
Jarak antar <i>vane</i> (faktor B)	3	8.78478	2.92826	6.9797E+06	2.83874
Interaksi faktor A dan B	12	2.03609	0.16967	4.0443E+05	2.00345
Galat	40	1.678E-05	4.1954E-07		
Total	59	1125.30787			

Dari tabel diperoleh kesimpulan:

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

Dari kesimpulan diatas terlihat bahwa putaran poros, variasi jarak antar *vane* pada *angled vane*, dan interaksi antara putaran poros dan variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap daya efektif yang dihasilkan dengan tingkat keyakinan sebesar 95 %.

4.1.3.3 Analisis varian untuk konsumsi bahan bakar spesifik efektif yang dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh putaran poros, variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* dan interaksi antara keduanya terhadap SFCE yang

dihasilkan motor bensin empat langkah empat silinder. Dari perhitungan statistik didapatkan analisis varian untuk SFCE yang ditampilkan pada tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7. Analisis varian dua arah untuk SFCE

SUMBER VARIAN	db	JK	KT	Fhitung	Ftabel
Putaran(faktor A)	4	0.006443	1.61E-03	409.03	2.60597
Jarak antar vane(faktor B)	3	0.001312	4.37E-04	111.03	2.83874
Interaksi faktor A dan B	12	0.000161	1.34E-05	3.40	2.00345
Galat	40	0.000158	3.94E-06		
Total	59	0.008072			

Dari tabel diperoleh kesimpulan:

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

Dari kesimpulan diatas terlihat bahwa putaran poros, variasi jarak antar vane pada *angled vane*, dan interaksi antara putaran poros dan variasi jarak antar vane pada *angled vane* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap SFCE yang dihasilkan dengan tingkat keyakinan 95 %.

4.1.3.4 Analisis varian untuk efisiensi termal efektif yang dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh putaran poros, variasi jarak antar vane pada *angled vane* dan interaksi antara keduanya terhadap efisiensi termal efektif yang dihasilkan motor bensin empat langkah. Dari perhitungan statistik didapatkan analisis varian untuk efisiensi termal efektif seperti pada tabel 4.8 berikut ini

Tabel 4.8. Analisis varian dua arah untuk efisiensi termal efektif

SUMBER VARIAN	db	JK	KT	Fhitung	Ftabel
Putaran(faktor A)	4	42.55099	10.63775	380.9916	2.60597
Jarak antar vane(faktor B)	3	8.59828	2.86609	102.6493	2.83874
Interaksi faktor A dan B	12	0.75663	0.06305	2.2582	2.00345
Galat	40	1.11685	0.02792		
Total	59	53.02275			

Dari tabel diperoleh kesimpulan:

- a. $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$ maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima, ini berarti bahwa putaran poros berpengaruh terhadap efisiensi termal efektif yang dihasilkan motor bensin empat langkah.
- b. $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$ H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima, ini berarti bahwa variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* berpengaruh terhadap efisiensi termal efektif yang dihasilkan motor bensin empat langkah.
- c. $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$ maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima, ini berarti bahwa interaksi antara putaran poros dan variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* berpengaruh terhadap efisiensi termal efektif yang dihasilkan motor bensin empat langkah.

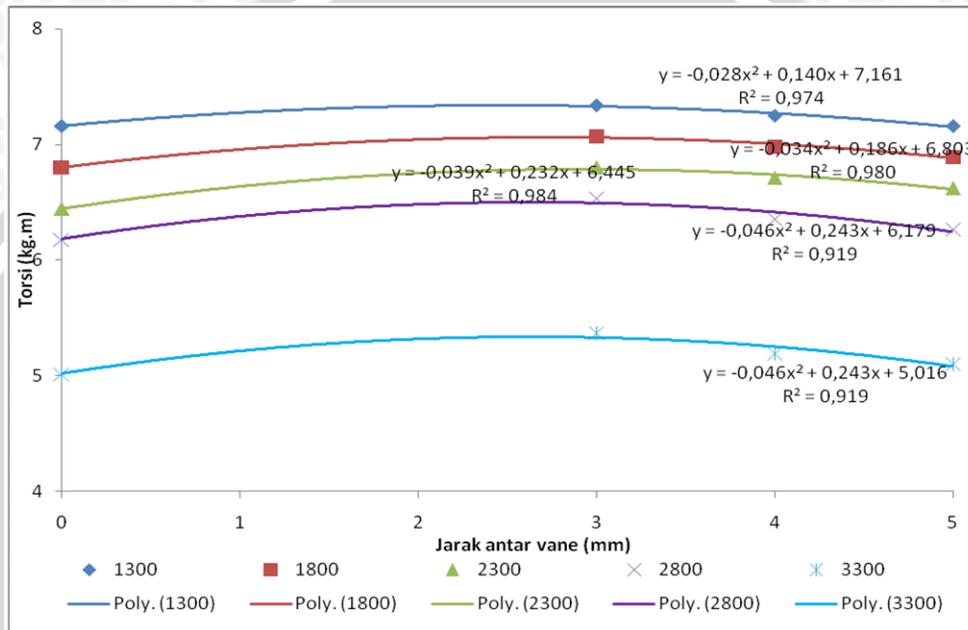
Dari kesimpulan diatas terlihat bahwa putaran poros, variasi jarak antar *vane* pada *angled vane*, dan interaksi antara putaran poros dan variasi jarak antar *vane* pada *angled vane* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap efisiensi termal efektif yang dihasilkan dengan tingkat keyakinan sebesar 95 %.



4.2 Pembahasan

4.2.1 Hubungan antara torsi dengan jarak antar vane

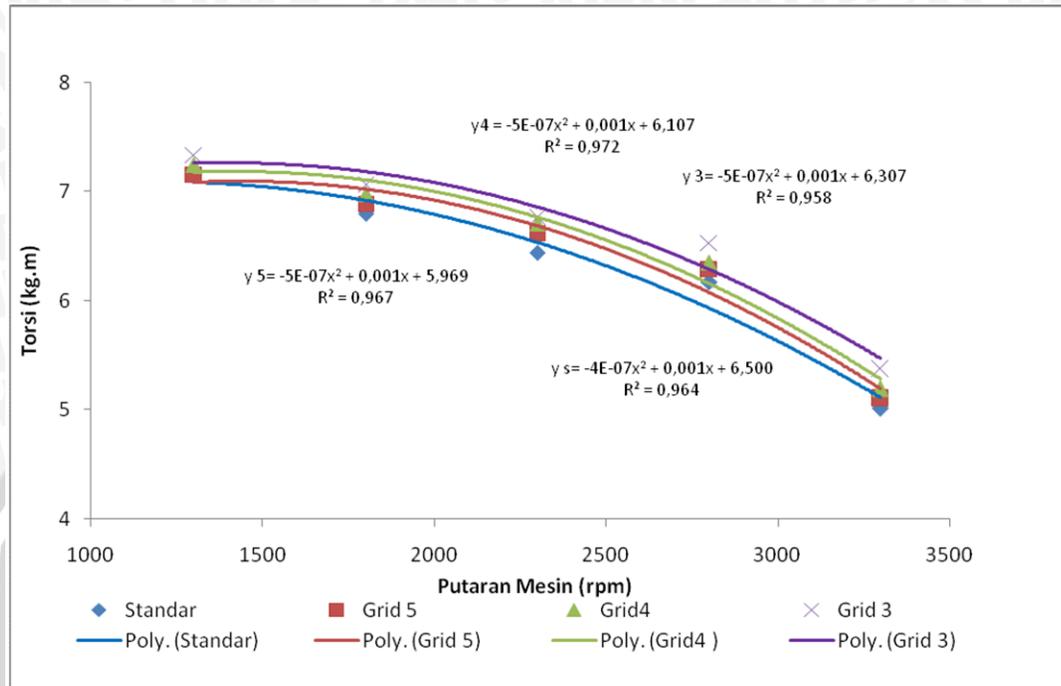
Pada gambar 4.1 dapat dilihat hubungan antara torsi dengan jarak antar vane dapat di gambarkan grafik pada putaran konstan sehingga dapat diketahui bagaimana kecenderungannya untuk tingkatan jarak antar vane yang digunakan. Sehingga dapat dilihat jarak antar vane yang optimal digunakan pada putaran yang dikonstankan.



Gambar 4.1 Hubungan torsi dengan jarak antar vane

Pada gambar 4.1 diatas dapat dilihat hubungan antara torsi yang dihasilkan dengan jarak antar vane. Pada grafik dapat dilihat bahwa dengan adanya pemasangan *angled vane turbulator* menyebabkan terjadinya peningkatan torsi dibandingkan dengan tanpa *angled vane turbulator* (standart). Pada grafik 4.1 juga dapat dilihat tingkat kecenderungannya pada putaran konstan. Pada grafik ditunjukkan kecenderungan semakin meningkat seiring berkurangnya jarak antar vane yang digunakan. Peningkatan di peroleh dari jarak antar vane 5 mm sampai 3mm. Hal tersebut dikarenakan dengan semakin berkurangnya jarak antar vane maka intensitas turbulensi(olakan) yang terjadi akan semakin meningkat sehingga akan menghasilkan campuran bahan bakar dan udara yang lebih homogen. Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai torsi dengan pemasangan *angled vane turbulator* lebih tinggi daripada tanpa pemasangan *angled vane turbulator*. Untuk mengetahui kecenderungan yang terjadi pada pengujian maka dapat di gambarkan dalam bentuk sebuah grafik yang menghubungkan antara variabel torsi

dengan variabel putaran sehingga dapat disimpulkan penggunaan variasi jarak antar vane yang optimal seperti ditunjukkan pada gambar 4.2 berikut ini



Gambar 4.2 Hubungan torsi dengan putaran mesin

Dari grafik diatas dapat dilihat hubungan antar torsi dengan jarak antar vane membentuk sebuah kurva dimana semakin tinggi putaran dari poros motor bensin empat langkah maka torsi yang dihasilkan dari motor bensin akan semakin menurun. Hal tersebut di sebabkan saat menaikkan putaran, beban pengereman yang dikenakan pada poros dikurangi sampai didapat putaran yang dikehendaki. Sehingga dengan semakin kecilnya beban pengereman yang diterima oleh poros maka torsi yang terjadi pada motor bensin juga akan semakin mengecil. Hal tersebut dapat dijelaskan dengan persamaan hubungan torsi dengan beban pengereman sebagai berikut :

$$T = F \cdot L \quad (\text{Arismunandar, 1988 : 32})$$

Dimana : T = Torsi (kg.m)

F = Beban Pengereman (kg)

L = Panjang Lengan Dynamometer (m)

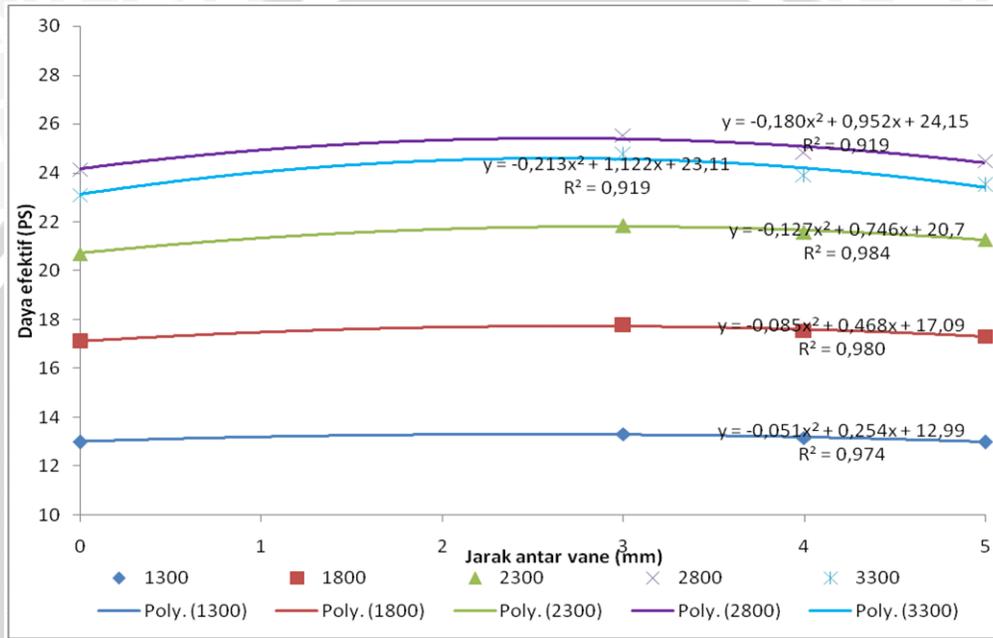
Selain dari penyebab di atas, ada beberapa penyebab lain yang menyebabkan terjadinya penurunan nilai dari torsi pada motor bensin. Hal tersebut diantaranya pada putaran poros yang semakin tinggi, gerakan bolak-balik dari piston akan semakin cepat. Gerakan bolak-balik dari piston yang cepat ini menyebabkan jumlah siklus yang terjadi

semakin banyak. Dengan semakin cepatnya gerakan torak maka diikuti pula dengan dengan semakin singkatnya waktu yang dibutuhkan untuk membuka dan menutup katup isap. Sehingga massa campuran bahan bakar dan udara yang masuk dan terbakar pada ruang bakar setiap satu siklus semakin sedikit, yang mengakibatkan energi panas dan gaya dorong torak pada saat ekspansi juga akan berkurang yang mengakibatkan torsi yang dihasilkan akan menjadi turun pula. Gerakan bolak-balik dari piston yang cepat ini juga mengakibatkan kerugian daya akibat gesekan (*friction*) yang lebih besar antara piston dan silinder sehingga torsi yang dihasilkan juga akan semakin menurun.

Pada grafik hubungan antara torsi dan jarak antar *vane* diatas, pemasangan *angled vane turbulator* dengan jarak antar *vane* 3mm, 4mm, dan 5mm rata-rata menghasilkan torsi yang lebih tinggi dari keadaan standar pada putaran 1300-3300 rpm. Hal tersebut terjadi karena pada pemasangan *angled vane turbulator* 3, 4 dan 5 mm maka campuran yang melaluinya mengalami peningkatan pencampuran akibat mengalami olakan-olakan sehingga di peroleh campuran yang lebih homogen daripada tanpa pemasangan *angled vane turbulator* (standar). Dengan semakin homogennya campuran tersebut, maka bahan bakar yang terbakar akan semakin sempurna untuk terbakar sehingga akan menghasilkan peningkatan daya efektif yang dikarenakan adanya peningkatan torsi yang dihasilkan dibandingkan kondisi standar. Pemasangan *angled vane turbulator* dengan jarak antar *vane* 3mm menghasilkan torsi yang paling besar. Hal ini dikarenakan karena *angled vane turbulator* dengan jarak antar *vane* 3mm merupakan *angled vane* dengan jarak antar *vane* lebih kecil, sehingga campuran bahan bakar dan udara akan lebih homogen. Campuran yang lebih homogen akan terbakar lebih baik sehingga akan meningkatkan torsi. Hasil pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa nilai torsi yang paling besar terjadi pada pemasangan *angled vane turbulator* dengan jarak antar *vane* 3mm (7,339 kg.m) pada putaran 1300 rpm dan 7,071 kg.m pada putaran 1800 rpm. Nilai Torsi tanpa pemasangan *angled vane turbulator* berada dibawah grafik dengan pemasangan *angled vane turbulator* 3, 4 dan 5mm pada putaran 1300-3300. Torsi terendah dihasilkan pada keadaan tanpa pemasangan *angled vane turbulator* (5,012 kg.m). Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa pemasangan *angled vane* dengan jarak antar *vane* 3mm menghasilkan torsi rata-rata terbesar dan merupakan jarak antar *vane* yang paling efektif untuk menghasilkan torsi yang besar.

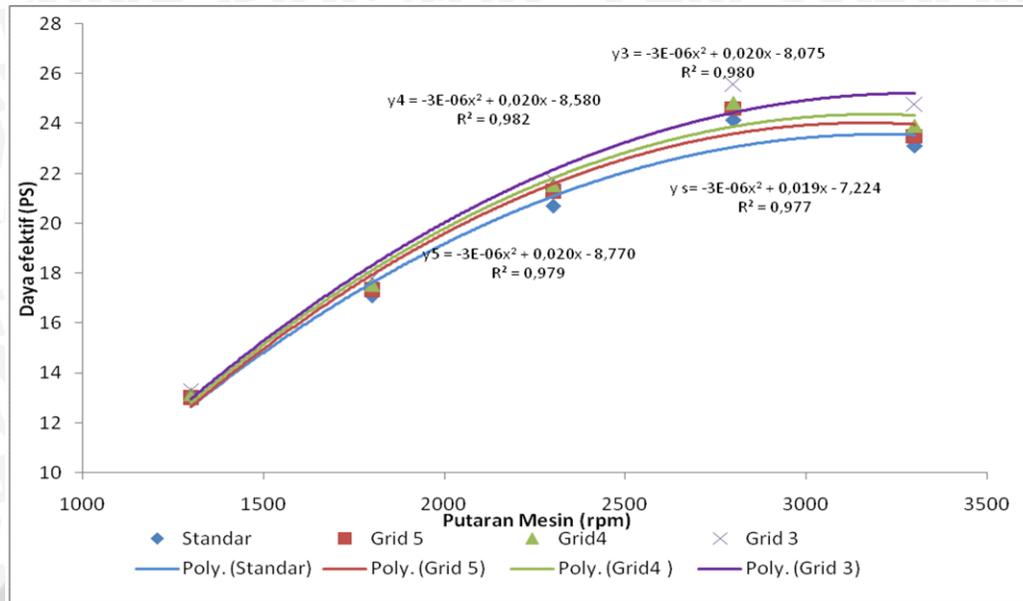
4.2.2 Hubungan antara daya efektif dengan jarak antar vane

Pada gambar 4.3 dapat dilihat hubungan antara daya efektif dengan jarak antar vane dapat di gambarkan grafik pada putaran konstan sehingga dapat diketahui bagaimana kecenderungannya untuk tingkatan jarak antar vane yang digunakan. Sehingga dapat dilihat jarak antar vane yang optimal digunakan pada putaran yang dikonstankan.



Gambar 4.3 Hubungan antara daya efektif dengan jarak antar vane

Pada gambar 4.3 diatas dapat dilihat hubungan antara daya efektif yang dihasilkan dengan jarak antar vane. Pada grafik 4.3 juga dapat dilihat tingkat kecenderungannya pada putaran konstan. Pada grafik ditunjukkan kecenderungan semakin meningkat seiring berkurangnya jarak antar vane yang digunakan mulai dari keadaan tanpa angled vane vane 5mm, 4mm dan 3mm. Hal tersebut dikarenakan dengan semakin berkurangnya jarak antar vane maka intensitas turbulensi yang terjadi akan semakin meningkat sehingga akan menghasilkan campuran bahan bakar dan udara yang lebih homogen sehingga dihasilkan daya efektif yang semakin meningkat. Untuk mengetahui kecenderungan yang terjadi pada pengujian maka dapat di gambarkan dalam grafik yang menghubungkan antara variabel daya efektif dengan variabel putaran seperti ditunjukkan pada gambar 4.4 berikut ini



Gambar 4.4 Hubungan data efektif dengan putaran mesin

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa hubungan antara daya efektif dengan jarak antar *vane* mempunyai bentuk yang hampir sama berbentuk kurva parabolik, dimana dengan semakin meningkatnya putaran poros maka daya efektif (N_e) yang dihasilkan pada putaran awal mengalami kenaikan sampai pada putaran tertentu, tetapi setelah mencapai titik maksimal maka grafik mengalami penurunan seiring dengan naiknya putaran. Daya efektif (N_e) berhubungan dengan harga torsi (T) yang dihasilkan dan putaran mesin (n) sesuai dengan persamaan :

$$N_e = \frac{T \cdot n}{716,2} \quad (\text{Arismunandar, 1988 : 32})$$

dengan : N_e = Daya Efektif (PS)

T = Torsi (kg.m)

n = Putaran poros engkol (rpm)

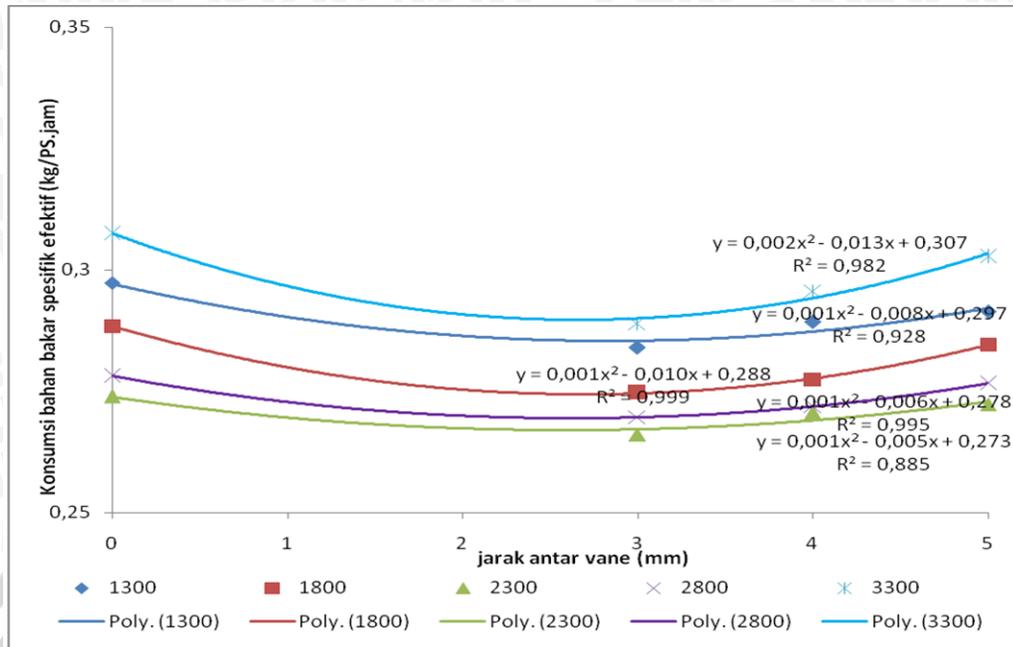
Sebelumnya pada pembahasan grafik hubungan antara putaran dengan torsi dapat dilihat bahwa pada saat putaran semakin tinggi maka akan dihasilkan torsi yang semakin menurun. Sedangkan daya efektif seperti ditunjukkan pada persamaan diatas berbanding lurus dengan torsi (T) dan putaran poros mesin (n). Peningkatan daya efektif (N_e) pada beberapa putaran awal sampai mencapai putaran tertentu disebabkan karena penurunan torsi masih dapat diikuti atau diimbangi oleh kenaikan putaran yang terjadi. Selain itu pada putaran rendah proses pembakaran pada ruang bakar memiliki waktu yang lebih banyak akibat gerak bolak-balik torak yang cenderung lebih lambat daripada putaran tinggi. Hal ini mengakibatkan pembakaran

yang lebih sempurna dan akhirnya menghasilkan peningkatan energi yang lebih besar dibandingkan dengan kerugian mekanis akibat gesekan torak dengan dinding silinder. Tetapi setelah putaran mencapai titik tertentu sampai putaran tinggi, kenaikan putaran tidak lagi mampu menghasilkan energi yang lebih besar dari kerugian mekanis tersebut. Hal tersebut mengakibatkan penurunan energi yang dihasilkan dari proses pembakaran pada putaran tinggi sehingga memberikan efek terhadap daya efektif yang dihasilkan.

Dari grafik dapat dilihat bahwa pemasangan *angled vane turbulator* 3, 4, 5 mm menghasilkan daya efektif yang lebih besar dibandingkan dengan daya efektif yang dihasilkan oleh motor bensin empat langkah tanpa pemasangan *angled vane turbulator*. Hal ini terjadi karena pada pemasangan *angled vane turbulator* dengan seiring berkurangnya jarak antar *vane* pada *angled vane turbulator*, maka campuran bahan bakar dan udara menjadi lebih homogen karena bahan bakar dan udara mampu mengalami pencampuran kembali (pengacakan partikel) yang lebih sempurna dibandingkan tanpa pemasangan *angled vane turbulator* (standar). Akibat dari campuran bahan bakar dan udara yang lebih homogen ini adalah proses pembakaran akan terjadi semakin cepat dan semakin lebih baik, sehingga akan menghasilkan daya efektif yang lebih besar pula. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya efektif maksimal diperoleh pada pemasangan *angled vane turbulator* dengan jarak antar *vane* 3mm (25,54 PS) pada putaran 2800 rpm. Kemudian diikuti oleh pemasangan *angled vane* 4 mm sebesar 24,84 PS dan nilai daya efektif terendah dihasilkan dari tanpa pemasangan *angled vane turbulator* sebesar 12,996 PS. Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa pemasangan *angled vane* dengan jarak antar *vane* 3mm menghasilkan daya efektif rata-rata yang terbesar dan merupakan jarak antar *vane* yang paling efektif untuk menghasilkan daya yang besar.

4.2.3 Hubungan antara konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe) dengan jarak antar *vane*

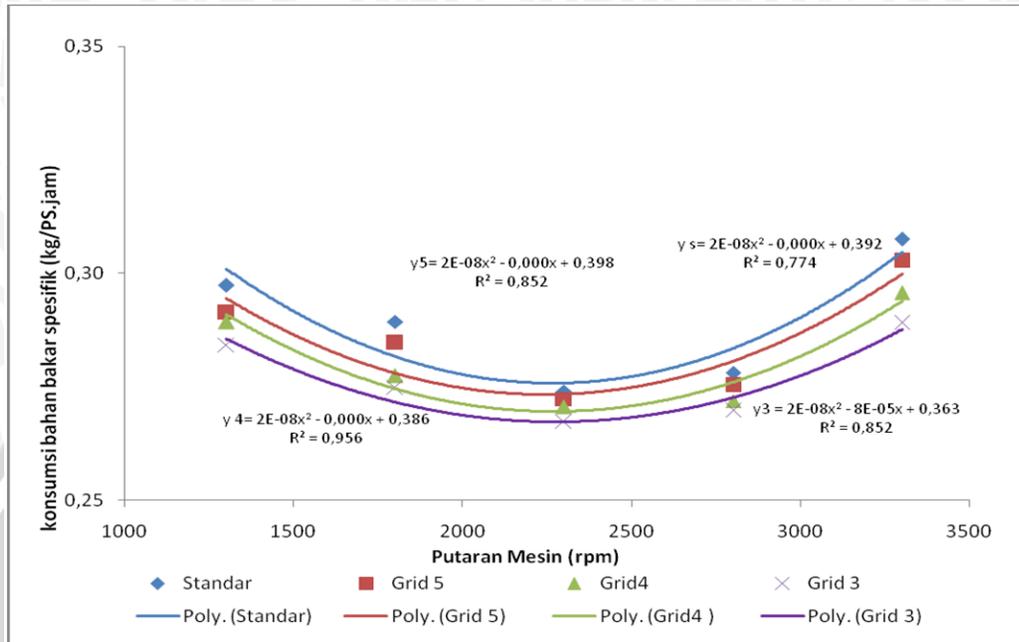
Hubungan antara konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe) dengan jarak antar *vane* pada *angled vane turbulator*, dengan tiap-tiap putaran mesin dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut :



Gambar 4.5 Hubungan antara konsumsi bahan spesifik efektif (SFCE) dengan jarak antar *vane*

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCE) merupakan banyaknya bahan bakar yang terpakai setiap jamnya untuk daya efektif yang dihasilkan sehingga konsumsi bahan bakar spesifik efektif dapat menunjukkan tingkat keekonomisan dalam pemakaian bahan bakar yaitu semakin rendah nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif maka mesin tersebut akan semakin ekonomis. Pada gambar 4.5 diatas dapat dilihat hubungan antara SFCE yang dihasilkan dengan jarak antar *vane*. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa dengan adanya pemasangan *angled vane turbulator* menyebabkan terjadinya penurunan SFCE dibandingkan dengan tanpa *angled vane turbulator* (standart) pada tingkat putaran yang konstan. Pada grafik ditunjukkan kecenderungan semakin menurun seiring berkurangnya jarak antar *vane* yang digunakan. Hal tersebut dikarenakan semakin berkurangnya jarak antar *vane* maka intensitas turbulensi yang terjadi akan semakin meningkat sehingga akan menghasilkan campuran bahan bakar dan udara yang lebih homogen sehingga mengasilkan daya efektif yang lebih besar yang pada akhirnya akan menurunkan harga SFCE. Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai SFCE dengan pemasangan *angled vane turbulator* lebih rendah dari pada tanpa pemasangan *angled vane turbulator*. Untuk mengetahui kecenderungan yang terjadi pada pengujian maka dapat di gambarkan dalam grafik yang

menghubungkan antara variabel SFCE dengan variabel putaran seperti ditunjukkan pada gambar 4.6 berikut ini



Gambar 4.6 Hubungan SFCE dengan putaran mesin

Dari grafik diatas terlihat bahwa kecenderungan semua grafik SFCE mengalami penurunan kemudian peningkatan kembali. Hal ini terjadi karena dengan semakin tingginya putaran maka jumlah siklus yang terjadi makin banyak dan konsummsi bahan bakar (FC) yang dibutuhkan akan semakin besar. Hubungan antara SFCE, FC, dan Ne ditunjukkan persamaan dibawah ini :

$$F_c = \frac{b}{t} \cdot \eta_f \cdot \frac{3600}{1000} \quad (\text{Petrovsky, 1979 : 63})$$

$$SFCE = \frac{F_c}{N_e} \quad (\text{Petrovsky, 1979 : 63})$$

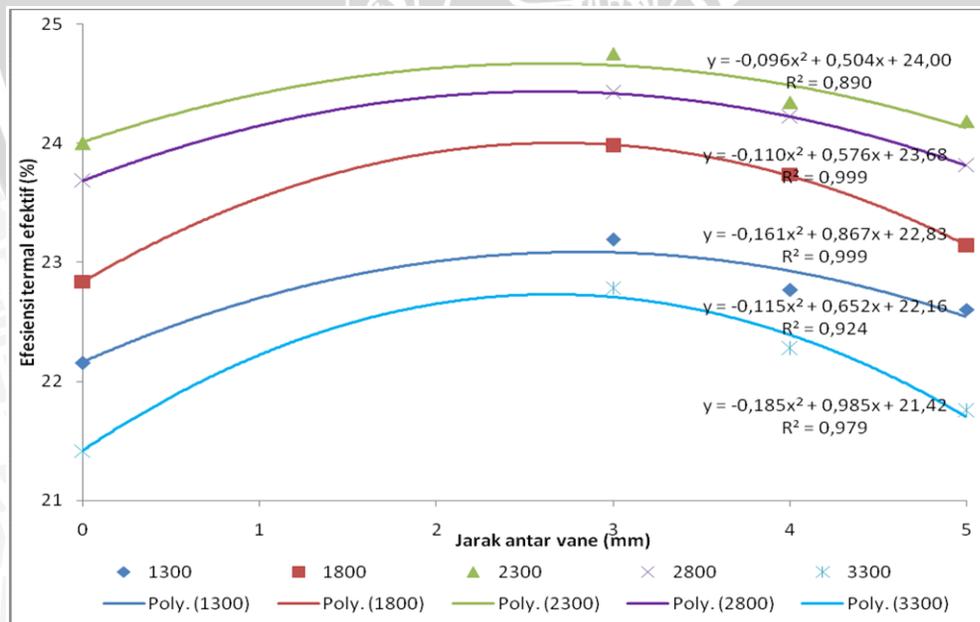
Berdasarkan persamaan diatas terlihat bahwa SFCE berbanding lurus dengan FC dan berbanding terbalik dengan Ne. Berdasarkan hubungan menurut persamaan diatas, maka apabila FC mengalami peningkatan maka SFCE juga akan meningkat apabila daya efektif yang dihasilkan cenderung naik dengan interval kenaikan yang tidak terlalu besar atau bahkan jika Ne mengalami penurunan.

Pada grafik diatas terlihat bahwa pemasangan *angled vane turbulator* dengan jarak antar *vane* 3mm, 4mm dan 5mm memiliki SFCE yang lebih kecil daripada kondisi tanpa pemasangan *angled vane*. Hal itu berarti bahwa *angled vane turbulator* mampu membuat mesin bekerja lebih ekonomis dalam pemakaian bahan bakar karena dengan

jumlah yang sama atau lebih sedikit mampu menghasilkan daya efektif yang lebih besar daripada kondisi tanpa pemasangan *angled vane turbulator*. Penyebab terjadinya hal ini adalah karena campuran bahan bakar dan udara yang melewati *angled vane* dengan jarak antar *vane* 3mm, 4mm, dan 5mm mampu menghasilkan campuran yang lebih homogen akibat terjadinya olakan-olakan ketika campuran bahan bakar dan udara melewati *angled vane turbulator* tersebut. Dari hasil pengujian diperoleh konsumsi bahan bakar spesifik efektif yang terkecil pada pemasangan *angled vane turbulator* dengan jarak antar *vane* 3mm yakni sebesar $0,265 \text{ kg.PS}^{-1}.\text{jam}^{-1}$ sedangkan kondisi tanpa pemasangan *angled vane turbulator* (standar) diperoleh konsumsi bahan bakar spesifik efektif terkecil $0,2707 \text{ kg.PS}^{-1}.\text{jam}^{-1}$. Hal ini berarti bahwa pemasangan *angled vane turbulator* dengan jarak antar *vane* 3mm mampu membuat mesin bekerja lebih ekonomis dalam hal pemakaian bahan bakar dan daya efektif yang dihasilkan.

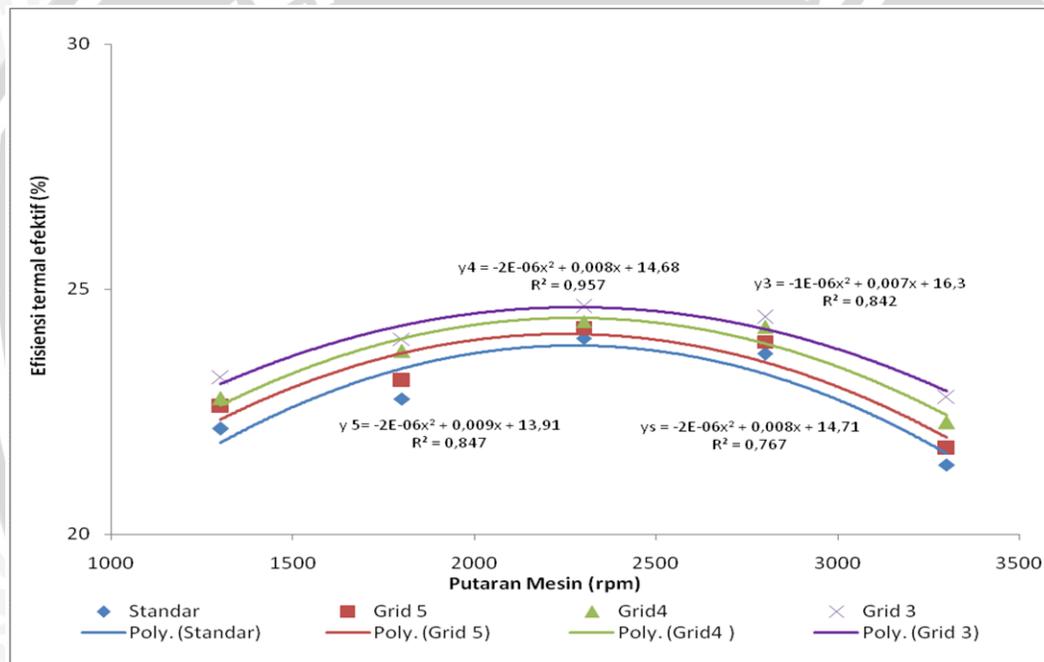
4.2.4 Hubungan antara efisiensi termal efektif (η_e) dengan jarak antar *vane*

Pada gambar 4.7 dapat dilihat hubungan antara efisiensi termal efektif dengan jarak antar *vane* dapat digambarkan grafik pada putaran konstan sehingga dapat diketahui bagaimana kecenderungannya untuk tingkatan jarak antar *vane* yang digunakan. Sehingga dapat dilihat jarak antar *vane* yang optimal digunakan pada putaran yang dikonstantakan.



Gambar 4.7 Hubungan antara efisiensi termal efektif (η_e) dengan jarak antar *vane*

Pada gambar 4.7 dapat dilihat hubungan antara η_{te} yang dihasilkan dengan jarak antar *vane* pada tingkat putaran yang konstan. Pada grafik ditunjukkan kecenderungan semakin meningkat seiring berkurangnya jarak antar *vane* yang digunakan. Hal tersebut dikarenakan dengan semakin berkurangnya jarak antar *vane* maka intensitas turbulensi yang terjadi akan semakin meningkat sehingga akan menghasilkan campuran bahan bakar dan udara yang lebih homogen sehingga dihasilkan daya efektif yang meningkat yang pada akhirnya meningkatkan η_{te} . Untuk mengetahui kecenderungan yang terjadi pada pengujian maka dapat di gambarkan dalam grafik yang menghubungkan antara variabel daya efektif dengan variabel putaran seperti ditunjukkan pada gambar 4.8 berikut ini



Gambar 4.8 Hubungan efisiensi termal efektif (η_{te}) dengan putaran mesin

Pada gambar 4.8 diatas terlihat bahwa dengan semakin tingginya putaran poros mesin bensin empat langkah maka secara umum efisiensi termal efektif yang dihasilkan juga akan mengalami peningkatan kemudian pada putaran tertentu akan cenderung menurun. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik dan nilai kalor rendah bahan bakar, dimana dalam hal ini nilai kalor rendah bahan bakar adalah konstan. Hubungan antara nilai efisiensi termal efektif (η_{te}), konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCE) dan nilai kalor rendah bahan bakar (LHV) ditulis dengan persamaan berikut :

$$\eta_e = \frac{632.N_e}{F_c.LHV_{bb}} = \frac{632}{\frac{F_c}{N_e}.LHV_{bb}} = \frac{632}{SFCE.LHV_{bb}} \quad (\text{Petrovsky, 1979: 62})$$

Seperti telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya mengenai SFCE bahwa pada awal putaran poros mesin sampai pada putaran tertentu maka konsumsi bahan bakar spesifik efektif cenderung menurun. Namun setelah melewati putaran tertentu, kenaikan putaran poros mesin cenderung meningkatkan nilai SFCE. Dari kecenderungan SFCE tersebut dapat terlihat bahwa grafik putaran dengan efisiensi termal efektif berkebalikan dengan grafik hubungan antara putaran dan SFCE. Hal ini disebabkan karena dengan putaran yang semakin tinggi maka gerakan bolak-balik torak juga semakin cepat sehingga kerugian mekanis akibat gesekan torak dengan dinding silinder semakin besar. Selain itu waktu yang dibutuhkan untuk membuka dan menutup katup isap akan semakin singkat, yang akan mengakibatkan campuran bahan bakar dan udara yang masuk kedalam ruang bakar setiap siklusnya semakin sedikit. Hal ini akan menghasilkan jumlah energi kalor hasil pembakaran yang semakin menurun yang apada akhirnya menurunkan daya efektif yang dihasilkan sehingga efisiensi termalnya menurun.

Dari gambar 4.8 terlihat bahwa dengan pemasangan *angled vane turbulator* baik dengan jarak antar *vane* 3mm, 4mm, dan 5mm menghasilkan efisiensi termal efektif yang lebih tinggi dari keadaan tanpa pemasangan *angled vane turbulator* (standar). Hal ini terjadi karena dengan pemasangan *angled vane turbulator* dengan jarak antar *vane* 3mm, 4mm, 5mm mampu menghasilkan daya efektif (N_e) yang lebih besar daripada kondisi tanpa pemasangan *angled vane turbulator*. Adapun sebab peningkatan daya efektif (N_e) lebih besar karena dengan pemasangan *angled vane* dengan jarak antar *vane* yang semakin kecil maka proses homogenisasi campuran bahan bakar dan udara cenderung lebih baik sehingga proses pembakaran yang berlangsung pada ruang bakar akan menjadi lebih baik pula daripada tanpa pemasangan *angled vane turbulator*, hal itu berakibat daya efektif meningkat pula sehingga dengan meningkatnya daya efektif maka efisiensi termal efektif akan semakin meningkat. Pada grafik terlihat bahwa pemasangan *angled vane* dengan jarak antar *vane* 3mm memiliki efisiensi termal efektif (η_e) tertinggi yang berarti bahwa *angled vane* dengan jarak antar *vane* 3mm merupakan *angled vane* yang paling efektif untuk mendapatkan efisiensi termal efektif (η_e) yang tinggi pada motor bensin empat langkah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan mengenai pengaruh variasi jarak antar *vane* dalam pemasangan *angled vane turbulator* pada motor bensin empat langkah diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Variasi jarak antar *vane* pada pemasangan *angled vane* pada motor bensin empat langkah memberikan pengaruh yang nyata dan berbeda terhadap kinerja motor bakar bensin empat langkah yang meliputi torsi, daya efektif, SFCe, dan efisiensi termal efektif.
2. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh bahwa secara keseluruhan terdapat perubahan yang jelas terlihat pada pemasangan *angled vane* dengan variasi jarak terhadap kinerja motor bensin empat langkah antara lain :
 - a. Kenaikan torsi dan daya efektif sebesar 4,594% dan 5,036% terhadap kondisi standar dengan pemasangan *angled vane* dengan jarak antar *vane* 3 mm.
 - b. Penurunan konsumsi bahan bakar spesifik efektif sebesar 4,481% terhadap kondisi standar dengan pemasangan *angled vane* dengan jarak antar *vane* 3 mm.
 - c. Kenaikan efisiensi termal efektif sebesar 4,240% terhadap kondisi standar dengan pemasangan *angled vane* dengan jarak antar *vane* 3 mm.

5.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang variasi jarak antar *vane* terhadap kinerja motor bensin empat langkah pada putaran yang lebih tinggi dan pada kondisi berjalan.
2. Perlu penelitian yang lain yang bisa dilakukan dengan memvariasikan sudut *vane* pada *angled vane turbulator*.
3. Perlu adanya pengujian komposisi gas buang hasil pembakaran motor bensin dengan pemasangan *angled vane turbulator*.

4. Pada saat penelitian hendaknya ketelitian dalam proses pembacaan data alat ukur harus dilakukan secermatnya agar data penelitian yang diperoleh menjadi lebih baik.



LAMPIRAN

Lampiran 1

Tabel hubungan $\frac{P_1 - P_2}{P_1}$, $-P_s$ dan $-w$

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

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

Sumber: Ogawa, 1987 : 7

- Hubungan $-P_s$, $-w$

(°C)	P_s (mmHg)	w (kg/m^3)	(°C)	P_s (mmHg)	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: Ogawa, 1987 : 20

Lampiran 2

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

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

Sumber : Pearson, *Biometrika Tables For Statisticians*.

Lampiran 3

Hasil pengolahan data pada pengujian motor bensin empat langkah.

Hasil pengolahan data tanpa pemasangan *angled vane turbulator* (standar)

No	Rpm	T	Ne	Nbb	NLgb	NLap	Ni	FC	SFC	Efisiensi
1	1300	7.160	12.996	58.354	8369.421	11200	27.390	3.843	0.296	22.272
	1300	7.160	12.996	58.730	8449.295	11200	27.640	3.868	0.298	22.129
	1300	7.160	12.996	58.935	8451.431	11400	27.524	3.881	0.299	22.052
2	1800	6.802	17.095	74.512	12145.270	13340	34.188	4.907	0.287	22.943
	1800	6.802	17.095	74.232	12242.264	13800	33.026	4.889	0.286	23.029
	1800	6.802	17.095	75.849	12341.074	13800	34.486	4.995	0.292	22.539
3	2300	6.444	20.694	86.677	15181.300	15750	37.735	5.708	0.276	23.875
	2300	6.444	20.694	86.550	15299.315	16000	37.026	5.700	0.275	23.910
	2300	6.444	20.694	85.058	15281.390	16000	35.562	5.602	0.271	24.330
4	2800	6.176	24.143	101.110	18426.992	17820	43.757	6.659	0.276	23.878
	2800	6.176	24.143	101.457	18431.383	18360	43.243	6.682	0.277	23.797
	2800	6.176	24.143	103.316	18591.641	18900	43.994	6.804	0.282	23.368
5	3300	5.012	23.094	107.344	20681.849	20720	41.834	7.069	0.306	21.514
	3300	5.012	23.094	107.734	20686.873	21280	41.331	7.095	0.307	21.436
	3300	5.012	23.094	108.425	20846.816	21280	41.769	7.141	0.309	21.299

Hasil pengolahan data dengan pemasangan *angled vane turbulator* dengan jarak antar *vane* 3 mm

No	Rpm	T	Ne	Nbb	NLgb	NLap	Ni	FC	SFC	Efisiensi
1	1300	7.339	13.321	57.364	8283.620	9600	29.068	3.778	0.284	23.222
	1300	7.339	13.321	57.448	8284.762	10000	28.544	3.783	0.284	23.188
	1300	7.339	13.321	57.532	8285.334	10000	28.599	3.789	0.284	23.155
2	1800	7.071	17.770	74.046	11940.054	11220	37.401	4.877	0.274	23.999
	1800	7.071	17.770	74.419	12044.422	11440	37.260	4.901	0.276	23.878
	1800	7.071	17.770	73.862	12038.138	11440	36.713	4.864	0.274	24.059
3	2300	6.802	21.844	87.123	14484.281	14880	40.661	5.738	0.263	25.072
	2300	6.802	21.844	88.490	14728.601	15360	40.882	5.828	0.267	24.685
	2300	6.802	21.844	89.023	14849.103	15360	41.223	5.863	0.268	24.537
4	2800	6.534	25.543	104.134	17556.527	17680	48.380	6.858	0.268	24.529
	2800	6.534	25.543	105.245	17702.322	18200	48.437	6.931	0.271	24.270
	2800	6.534	25.543	104.409	17691.802	18200	47.618	6.876	0.269	24.464
5	3300	5.370	24.743	108.128	19191.625	19880	46.306	7.121	0.288	22.883
	3300	5.370	24.743	108.624	19197.919	20160	46.349	7.154	0.289	22.779
	3300	5.370	24.743	109.024	19202.995	20160	46.741	7.180	0.290	22.695

Hasil pengolahan data dengan pemasangan *angled vane turbulator* dengan jarak antar *vane* 4 mm

No	Rpm	T	Ne	Nbb	NLgb	NLap	Ni	FC	SFC	Efisiensi
1	1300	7.250	13.159	57.616	8364.334	10400	27.925	3.794	0.288	22.839
	1300	7.250	13.159	57.756	8365.787	10400	28.063	3.804	0.289	22.783
	1300	7.250	13.159	58.011	8368.421	10600	27.998	3.820	0.290	22.683
2	1800	6.981	17.545	73.586	11938.137	11440	36.595	4.846	0.276	23.843
	1800	6.981	17.545	73.495	12137.402	11880	35.493	4.840	0.276	23.873
	1800	6.981	17.545	74.653	12451.336	11880	36.154	4.917	0.280	23.502
3	2300	6.713	21.556	88.889	14996.701	16000	39.844	5.854	0.272	24.251
	2300	6.713	21.556	87.509	14980.491	16000	38.490	5.763	0.267	24.633
	2300	6.713	21.556	89.291	15241.067	16250	39.464	5.881	0.273	24.142
4	2800	6.355	24.843	102.422	17276.498	18200	46.289	6.745	0.272	24.256
	2800	6.355	24.843	103.136	17417.034	18200	46.780	6.792	0.273	24.088
	2800	6.355	24.843	102.157	17404.890	18200	45.820	6.728	0.271	24.318
5	3300	5.191	23.918	107.344	19186.858	20350	44.785	7.069	0.296	22.282
	3300	5.191	23.918	107.931	19194.307	20625	44.926	7.108	0.297	22.161
	3300	5.191	23.918	106.859	19180.712	20900	43.440	7.038	0.294	22.383

Hasil pengolahan data dengan pemasangan *angled vane turbulator* dengan jarak antar *vane* 5 mm

No	Rpm	T	Ne	Nbb	NLgb	NLap	Ni	FC	SFC	Efisiensi
1	1300	7.160	12.996	57.392	8279.929	10600	27.519	3.780	0.291	22.645
	1300	7.160	12.996	57.504	8281.072	10800	27.312	3.787	0.291	22.601
	1300	7.160	12.996	57.588	8281.932	10800	27.395	3.793	0.292	22.568
2	1800	6.892	17.320	74.795	12143.067	12760	35.391	4.926	0.284	23.157
	1800	6.892	17.320	74.465	12239.481	12760	34.909	4.904	0.283	23.259
	1800	6.892	17.320	75.318	12249.259	12980	35.398	4.960	0.286	22.996
3	2300	6.623	21.269	87.899	15213.008	15500	39.303	5.789	0.272	24.197
	2300	6.623	21.269	87.769	15331.039	16000	38.194	5.780	0.272	24.233
	2300	6.623	21.269	88.161	15455.381	16000	38.390	5.806	0.273	24.125
4	2800	6.265	24.493	102.245	18023.525	17680	45.752	6.734	0.275	23.955
	2800	6.265	24.493	103.497	18175.685	18200	45.940	6.816	0.278	23.666
	2800	6.265	24.493	102.867	18167.828	18460	44.912	6.775	0.277	23.810
5	3300	5.102	23.506	108.128	20229.769	20720	43.334	7.121	0.303	21.739
	3300	5.102	23.506	107.149	20217.463	20720	42.375	7.057	0.300	21.938
	3300	5.102	23.506	108.824	20238.517	21280	43.130	7.167	0.305	21.600