

**Eksperimen Performa Pencampuran Oleh Vortex Mixer**

**LAPORAN SKRIPSI**

**OLEH**

**MUHAMMAD RIDHO ADE PUTRA SINURAYA**

**0403820056**



**LAPORAN SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN  
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

**JANUARI 2008**

## PENGESAHAN

Laporan Skripsi dengan judul:

**Eksperimen Performa Pencampuran Oleh Vortex Mixer**

Dibuat berdasarkan pada Skripsi berjudul Vortex Mixer Mixing Performance di School of Engineering Systems, Queensland University of Technology dan telah dipresentasikan pada tanggal 24 Januari 2008 di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 17 Desember 2007

Menyetujui,

Dosen Penguji II

Dosen Penguji III

Ir. Harinaldi, MEng, Dr.Eng

Dr.Ir. Budiarmo, MSc.

Dosen Penguji I

Prof. Ir. Bambang Sugiarto, Meng, Dr.Eng.

## Ucapan Terima kasih

Pertama sekali saya ucapkan syukur Alhamdulillah kepada Allah S.W.T yang karena izin dan petunjuk darinya saya bisa menyelesaikan tugas akhir saya.

Terima kasih kepada dosen pembimbing saya Dr. Richard Brown atas bimbingannya yang sangat membantu dan telah memberikan saya kesempatan untuk melakukan eksperimen yang sangat bermanfaat ini.

Terima kasih saya ucapkan kepada pembimbing ke-dua saya Dr.Rong Situ atas bantuan dan idenya. Dan juga kepada semua staff teknisi dan teknologi di Q.U.T atas bantuannya dan alat-alat yang telah saya gunakan untuk eksperimen saya ini.

Terima kasih juga saya ucapkan kepada teman-teman saya terutama kepada Dhierda Utiya, Asti Asra dan Dona Felder atas bantuan dari sisi pemilihan kata dan susunan bahasa.

Dan yang terakhir kepada keluarga saya yang selalu saya cintai atas seluruh dukungannya sehingga saya dapat menyelesaikan studi saya.

## Abstrak

Sekarang ini kegunaan bahan bakar suplemen meningkat disebabkan oleh meningkatnya harga bahan bakar yang berasal dari fosil (minyak dan gas). Pada mesin diesel, bahan bakar tambahan tidak dapat langsung ditambahkan pada bahan bakar diesel. Vortex Mixer adalah sebuah alat untuk mengatur banyaknya suplai bahan bakar tambahan dan juga mencampurnya secara merata sebelum campuran tersebut masuk ke ruang pembakaran. Eksperimen ini dilakukan untuk menganalisa karakteristik aliran udara setelah melewati Vortex Mixer dan menganalisa performa pencampuran. Eksperimen ini juga akan membuktikan bahwa Vortex Mixer ini mempercepat jarak yang dibutuhkan untuk mencampur bahan bakar suplemen dengan suplai udara. Untuk mencapai maksud tersebut dilakukan analisa dari profil kecepatan dan temperatur dari aliran setelah melewati Vortex Mixer. Vortex mixer diuji coba dalam wind tunnel. Semua kondisi, seperti kecepatan wind tunnel dan temperatur dari Heat Gun, diatur untuk mensimulasikan kondisi kerja dari mesin diesel enam liter dan empat tak.

## Daftar isi

PENGESAHAN.....	1
<b>Ucapan Terima kasih</b> .....	3
<b>Abstrak</b> .....	4
<b>Daftar isi</b> .....	5
<b>Daftar Grafik</b> .....	6
<b>Daftar Tabel</b> .....	6
<b>Daftar Simbol</b> .....	7
<b>1. Pendahuluan</b> .....	8
1. Tujuan.....	8
2. Maksud.....	8
3. Pembatasan Masalah.....	8
<b>2. Latar belakang dan Studi Literatur</b> .....	9
1. Mesin Diesel berbahan bakar Ganda.....	9
2. Persamaan Bernoulli.....	10
3. Pitot Static Tube.....	11
4. Thermocouple.....	12
5. Aliran fluida dalam pipa.....	14
6. Integral Numerik(Numerical Integration).....	16
<i>Dalil Trapesium(Trapezoidal rule)</i> .....	17
<i>Dalil Simpson</i> .....	17
<b>3. Vortex mixer</b> .....	18
<b>4. Metodologi</b> .....	19
<i>Mengkondisikan Aliran</i> .....	21
<b>5. Hasil dan Diskusi</b> .....	24
1. Profil kecepatan.....	24
2. Laju Volumetric.....	28
3. Profil temperatur.....	30
4. Energy Kalor.....	32
<b>6. Analisa</b> .....	34
1. Analisa Kecepatan aliran.....	34
2. Analisa Temperatur.....	34
<b>7. Kesimpulan</b> .....	35
<b>8. Rekomendasi Studi Selanjutnya</b> .....	35
<b>Daftar Pustaka</b> .....	36
<b>Appendix 1: Profil kecepatan data</b> .....	37
1. Horizontal axes.....	37
2. Vertical position.....	38
<b>Appendix 2: Profil temperatur data</b> .....	39
1. Horizontal axes.....	39
2. Vertical axes.....	40
<b>Appendix 3: Wind tunnel technical drawing</b> .....	41
<b>Appendix 4: Uli kruger's patent</b> .....	42

## Daftar Grafik

Grafik 1: Skematik Sistem bahan bakar ganda kruger.....	10
Grafik 2: Aliran fluida dalam pipa.....	11
Grafik 3: Diagram Pitot tube dan pitot tube beserta pembaca digital yang digunakan pada eksperimen.....	12
Grafik 4: Efek Seebeck.....	13
Grafik 5: perkembangan dari profil kecepatan dan temperatur.....	15
Grafik 6: Kecepatan and Thermal entry length.....	16
Grafik 7: Trapezoidal rule.....	17
Grafik 8: Simpson's rule.....	17
Grafik 9: Vortex mixer tampak depan(kiri) dan tampak bawah(kanan).....	18
Grafik 10: Vortex Mixer.....	18
Grafik 11: Wind tunnel dan bagian pengujian.....	19
Grafik 12: Mekanisme penggerak dan struktur pemegang thermocouple.....	20
Grafik 14: Lokasi Modifikasi Wind Tunnel.....	22
Grafik 15: Profil kecepatan udara setelah modifikasi.....	23
Grafik 16: Hasil pengukuran Profil kecepatan.....	25
Grafik 17: bagian-bagian Vortex mixer.....	25
Grafik 18: Diagram aliran.....	27
Grafik 21: Laju volumetrik.....	29
Grafik 22: Profil temperatur.....	31
Grafik 23: Kombinasi profil temperatur.....	32
Grafik 24: Energy kalor.....	33

## Daftar Tabel

Table 1: tipe thermocouple.....	13
Table 2: Parameter tidak berdimensi.....	14
Table 3: Entrance region length approximation.....	16
Table 4: Modifikasi pada wind tunnel.....	22

## Daftar Simbol

Simbol	Unit	Arti
$\dot{Q}$	$\text{m}^3/\text{s}$	Laju Volumetrik
$v$	$\text{m}/\text{s}$	Kecepatan
$A$	$\text{m}^2$	Luas
$P$	Pa	Tekanan
$\rho$	$\text{Kg}/\text{m}^3$	Massa jenis
$D$	m	Diameter
$\pi$	-	konstanta(3.14)
$f$	-	Fungsi
$E$	Watt	Energi
$\dot{m}$	$\text{Kg}/\text{s}$	Laju massa
$C_p$	$\text{J}/\text{Kg.K}$	Spesifik kalor
$T$	$^{\circ}\text{C}$	Temperature
$V$	$\text{m}^3$	Volume
$m$	kg	Massa
$R$	$\text{J}/\text{Kg.K}$	Konstanta gas
$g$	$\text{m}/\text{s}^2$	Perecepatan gravitasi( $9.8 \text{ m}/\text{s}^2$ )
Nu	Unit less	Bilangan Nusselt
$h$	$\text{W}/\text{m}^2.^{\circ}\text{C}$	Koefisien perpindahan kalor secara konveksi
$k$	$\text{W}/\text{m}.^{\circ}\text{C}$	Koefisien perpindahan kalor secara konduksi
$\mu$	$\text{Kg}/\text{m.s}$	Kekentalan(viskositas) dinamik
Pr	Unit less	Bilangan Prandtl
$\nu$	$\text{m}^2/\text{s}$	Kekentalan(viskositas) kinematik

# 1. Pendahuluan

## 1. Tujuan

Ada dua keuntungan menggunakan Vortex mixer pada sistem mesin diesel: pertama adalah rasio yang konstan antara jumlah bahan bakar tambahan dan bahan bakar utama diesel pada kondisi beban yang berbeda, dan yang kedua adalah untuk mencampur suplai udara dengan bahan bakar tambahan. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk menganalisa performa pencampuran dan karakteristik dari Vortex mixer.

## 2. Maksud

Untuk mencapai tujuan yang sudah dijelaskan diatas, dilakukan pengukuran dan analisa profil kecepatan dan temperatur setelah melewati Vortex mixer. Profil kecepatan dari suplai udara setekah melewati *Vortex mixer* akan menyediakan informasi yang penting tentang karakteristik aliran, seperti perkembangan profil kecepatan aksial, lokasi ketika komponen kecepatan tangensial menghilang, dan konsentrasi dari volume udara pada titik tertentu. Informasi tentang pencampuran performa dari Vortex mixer, seperti panjang yang diperlukan untuk melengkapi proses pencampuran, akan didapat dari analisa profil temperatur.

## 3. Pembatasan Masalah

Tugas akhir ini dikerjakan oleh dua pihak, dimana pihak pertama men- desain peralatan eksperimen, sedangkan pihak yang lain mengolah dan menganalisa data hasil. Laporan ini difokuskan pada hasil dan analisa daripada desain dan metodologi dari penelitian ini.



## 2. Latar belakang dan Studi Literatur

### 1. Mesin Diesel berbahan bakar Ganda

Riset dan pengembangan mengenai bahan bakar yang dapat diperbarui untuk menggantikan bahan bakar fosil adalah sangat penting untuk terus dilakukan dikarenakan cadangan bahan bakar fosil yang terus menurun dan juga untuk menurunkan tingkat polusi yang diakibatkan oleh bahan bakar fosil. Di beberapa Negara berkembang, seperti Australia, riset semacam ini dijadikan riset dengan tingkat prioritas paling utama.

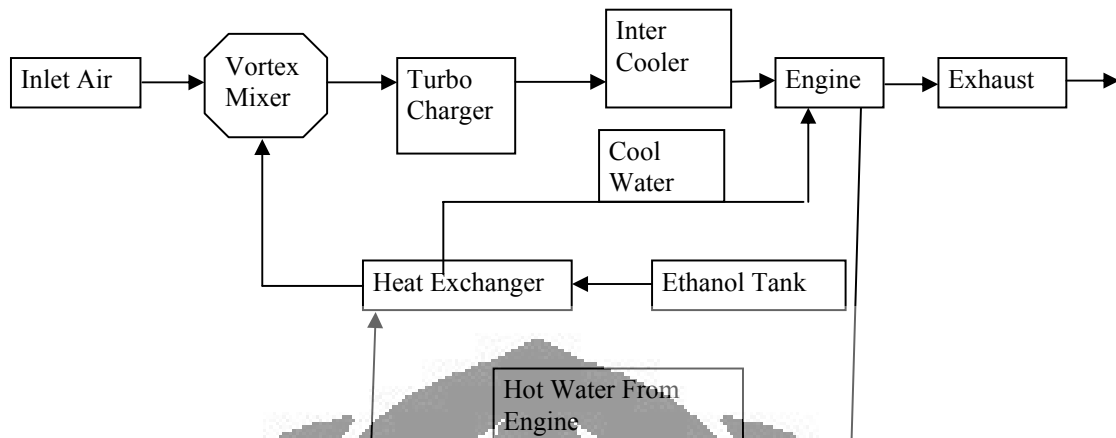
Riset dan pengembangan ini sangat penting artinya bagi sector industri dikarenakan harga bahan bakar fosil seperti bensin, solar dan minyak tanah yang terus meningkat, sementara hampir semua peralatan berat yang mereka gunakan menggunakan mesin diesel (*Diesel engine 2007*).

Salah satu solusi yang tersedia sekarang adalah dengan menggunakan bahan bakar suplemen untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil atau lebih lazimnya disebut bahan bakar ganda (dual fuel). Methanol dan ethanol adalah bahan bakar yang dapat diperbarui yang paling mendapat perhatian saat ini. Dibandingkan dengan methanol, ethanol mengandung lebih banyak energi per satuan massa.

Penggunaan bahan bakar ganda ini mudah dilakukan untuk bahan bakar bensin, karena bahan bakar suplemen seperti ethanol dan methanol dapat dicampurkan langsung ke bensin. Sementara untuk mesin diesel perlu teknik khusus untuk melakukannya. Salah satunya adalah dengan membuat tangki khusus untuk bahan bakar suplemen, dan ethanol tersebut masuk melalui dari saluran suplai udara.

Pencampuran antara ethanol dan bahan bakar diesel akan menghasilkan pembakaran yang relatif lebih lama. Fenomena ini terjadi karena ethanol memiliki nilai cetane rendah, sementara bahan bakar diesel memiliki nilai cetane yang tinggi. Sehingga sewaktu terjadi pembakaran bahan bakar dengan nilai cetane tinggi akan habis terbakar dahulu lalu bahan bakar ber-cetane rendah habis terbakar kemudian.

System bahan bakar ganda Kruger adalah salah satu system bahan bakar ganda yang tersedia sekarang. Pada system kruger ini banyaknya bahan bakar suplemen yang digunakan diatur oleh alat khusus yang disebut Vortex Mixer. Vortex Mixer juga dapat mencampur bahan bakar suplemen dengan udara masuk, sehingga udara dan bahan bakar suplemen sudah tercampur sempurna sebelum masuk ruang pembakaran.



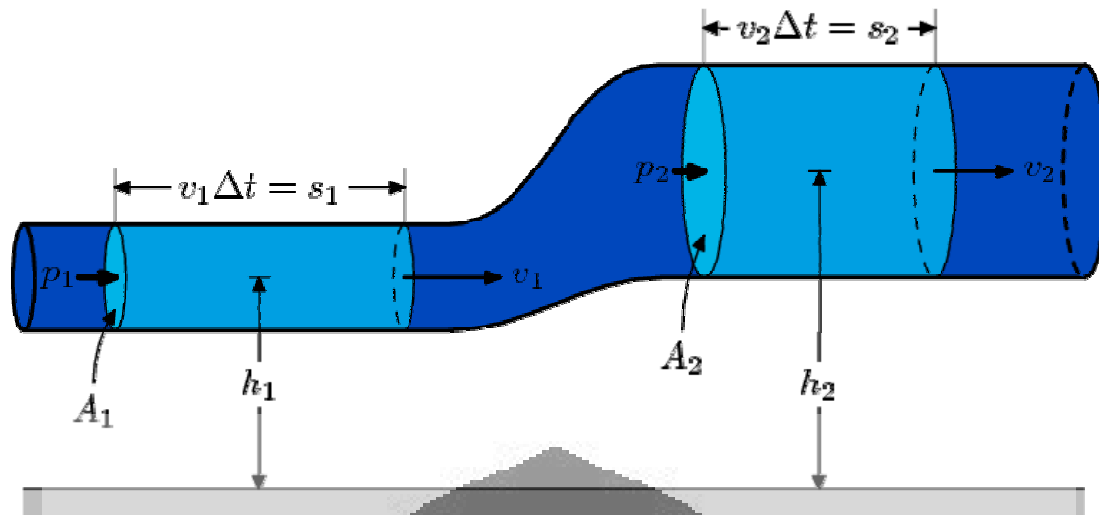
Grafik 1: Skematik Sistem bahan bakar ganda kruger

## 2. Persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli memberikan hubungan antara tekanan, kecepatan, dan beda ketinggian dalam suatu aliran fluida. Persamaan Bernoulli berlaku untuk aliran yang tetap (steady), tidak dapat dikompres (incompressible) dan gaya gesek fluida dapat diabaikan.

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{constant}$$

- $P$  adalah tekanan statik, atau tekanan fluid yang sebenarnya.
- $\frac{1}{2} \rho v^2$  adalah tekanan dinamik. Tekanan ini konstan ketika kecepatan fluida konstan, fluida incompressible dan perubahan massa jenis dapat diabaikan.
- $\rho gh$  adalah tekanan hidrostatik.



Grafik 2: Aliran fluid dala pipa

### 3. Pitot Static Tube

Pitot static tube digunakan untuk mengukur kecepatan lokal dari aliran fluida. Pitot static tube menggunakan prinsip Bernoulli untuk mengukur kecepatan lokal fluida.

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{constant}$$

Pada pitot static tube, tekanan hidrostatik dianggap 0, sehingga persamaan menjadi:

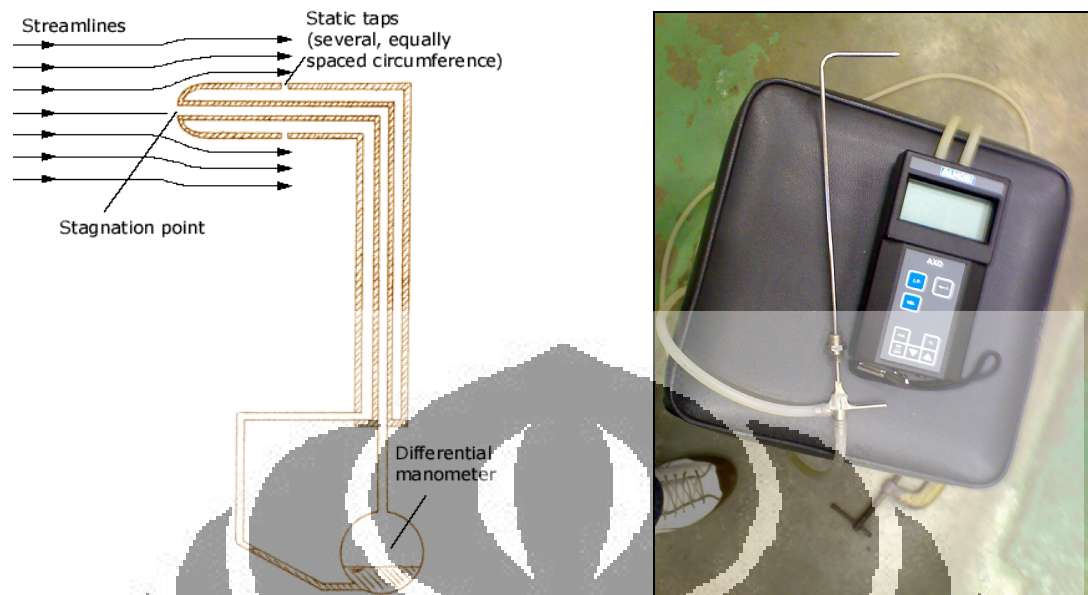
$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{constant}$$

Bentuk diatas disebut juga tekanan stagnasi, yang merepresentasikan tekanan pada saat fluida diberhentikan secara isentropic. Apabila tekanan stagnasi, tekanan static dan massa jenis diketahui, kecepatan lokal fluida dapat dikalkulasi.

$$P_{\text{stagnation}} = P + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{tekanan static} + \text{tekanan dinamik}$$

$$v = \sqrt{\frac{2(P_{\text{stag}} - P)}{\rho}}$$

Pitot tube diagram:



Grafik 3: Diagram Pitot tube dan pitot tube beserta pembaca digital yang digunakan pada eksperimen.

Kelebihan dan kekurangan pitot static tube:

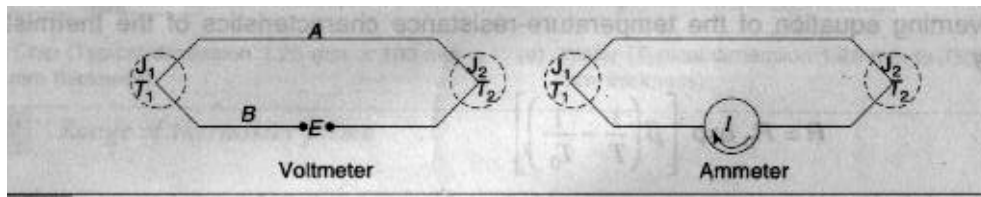
1. Konstruksi yang simpel
2. Relatif murah
3. Kalibrasi yang sangat mudah
4. Tidak merusak aliran
5. Hanya dibutuhkan lubang kecil untuk dimasukkan kedalam saluran/pipa.
6. Mengukur kecepatan dan tekanan dalam 1 waktu.

Kekurangan:

Hanya dapat digunakan pada aliran yang parallel.

#### 4. Thermocouple

Thermocouple adalah sensor temperatur yang terdiri dari 2 konduktor dengan bahan yang berbeda, dan menggunakan efek Seebeck untuk mengukur temperatur. Efek Seebeck memberikan hubungan antara gaya elektromagnetik(emf) dan perbedaan temperatur ketika dua konduktor yang berbeda jenis disatukan dan di berikan temperatur yang berbeda.



Grafik 4: Efek Seebeck

Thermocouple modern menggunakan 1 dari titik pertemuan(junction) sebagai referensi temperatur, dan titik yang lain digunakan untuk mengukur temperatur. Thermocouple di klasifikasikan berdasarkan 2 bahan konduktor yang digunakan.

ISA	Material (+ & -)	Temperature Sensitivity@		Error*	App.**
		Range °C (°F)	25°C (77°F) μV/°C (μV/°F)		
E	Chromel & Constantan (Ni-Cr & Cu-Ni)	-270~1000 (-450~1800)	60.9 (38.3)	LT: ±1.67°C (±3°F) HT: ±0.5%	I, O
J	Iron & Constantan (Fe & Cu-Ni)	-210~1200 (-350~2200)	51.7 (28.7)	LT: ±2.2~1.1°C (±4~2°F) HT: ±0.375~0.75%	I, O, R, V
K	Chromel & Alumel (Ni-Cr & Ni-Al)	-270~1350 (-450~2500)	40.6 (22.6)	LT: ±2.2~1.1°C (±4~2°F) HT: ±0.375~0.75%	I, O
T	Copper & Constantan (Cu & Cu-Ni)	-270~400 (-450~750)	40.6 (22.6)	LT: ±1~2% HT: ±1.5% or ±0.42°C (±0.75°F)	I, O, R, V
R	Platinum & 87% Platinum/13% Rhodium (Pt & Pt-Rh)	-50~1750 (-60~3200)	6 (3.3)	LT: ±2.8°C (±5°F) HT: ±0.5%	I, O
S	Platinum & 90% Platinum/10% Rhodium (Pt & Pt-Rh)	-50~1750 (-60~3200)	6 (3.3)	LT: ±2.8°C (±5°F) HT: ±0.5%	I, O
B	70% Platinum/30% Rhodium & 94% Platinum/6% Rhodium (Pt-Rh & Pt-Rh)	-50~1750 (-60~3200)	6 (3.3)	LT: ±2.8°C (±5°F) HT: ±0.5%	I, O

\*:LT = Low temperature range, HT = High temperature range

\*\* :I = Inert media, O = Oxidizing media, R = Reducing media, V = Vacuum

Constantan, Alumel, and Chromel are trade names of their respective owners.

Table 1: tipe thermocouple

Kelebihan thermocouple:

1. Respon dinamik yang relatif baik
2. Relatif murah
3. Cakupan pengukuran temperatur yang lebar
4. Output berupa sinyal elektrik, sehingga bisa direkam langsung dengan Data Logger.
5. Tingkat kesalahan yang sangat rendah (0.2-0.75%)
6. Stabil dalam waktu pengukuran yang panjang.

Kekurangan:

1. Hasil pengukuran adalah temperatur relatif, sehingga dibutuhkan kalibrasi akurat.
2. Dalam praktek, sinyal output butuh amplifikasi.

## 5. Aliran fluida dalam pipa

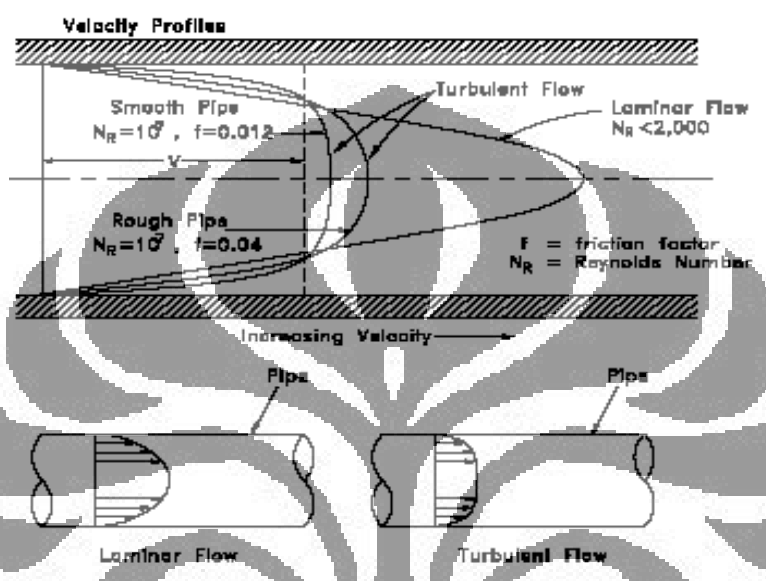
Ada tiga parameter tidak berdimensi yang lazim digunakan untuk mengetahui karakter dan perpindahan kalor pada aliran fluida dalam pipa.

Parameter tidak berdimensi	Deskripsi	Persamaan(for internal flow)
Nu ( Bilangan Nusselt)	Rasio antara konveksi relative terhadap konduksi pada lapisan fluida yang sama.	$Nu = \frac{hD}{k}$
Pr (Bilangan Prandtl)	Rasio antara difusifitas momentum dengan difusifitas kalor, dan merepresentasikan ketebalan relative antara kecepatan dengan batas lapisan kalor(thermal boundary layer).	$Pr = \frac{\mu C_p}{k}$
Re (Bilangan Reynolds )	Ratio antara gaya inersial dan gaya dari kekentalan.	$Re = \frac{v_{avg} D}{\nu}$

Table 2: Parameter tidak berdimensi

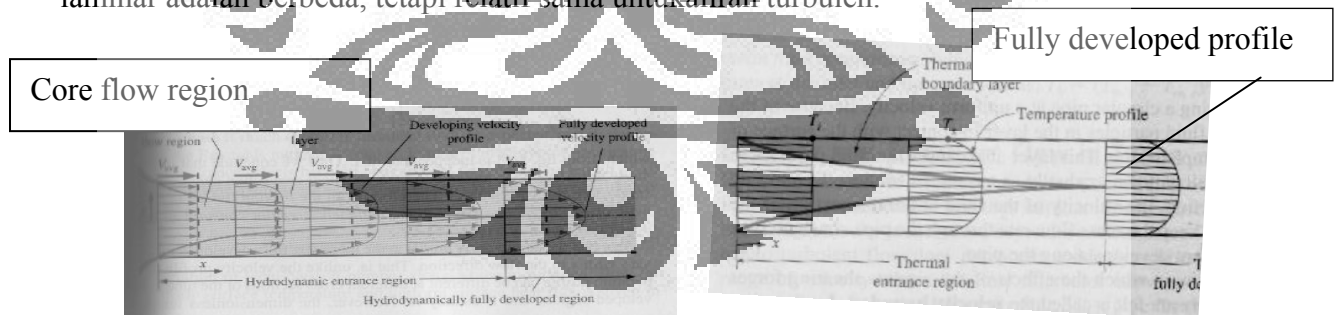
Ada 2 jenis aliran fluida dalam pipa yaitu laminar dan turbulen. Aliran laminar adalah aliran ketika bilangan Re kurang dari 2300, dan menjadi turbulen ketika bilangan Reynoldnya  $>100000$ , dan transisi ketika bilangan Re berada diantaranya.

Kecepatan fluida pada radius yang sama diasumsikan sama. Ini disebabkan karena asumsi tidak ada pergerakan relative antara dinding pipa dan fluida (no slip condition). Demikian juga dengan temperatur-nya.

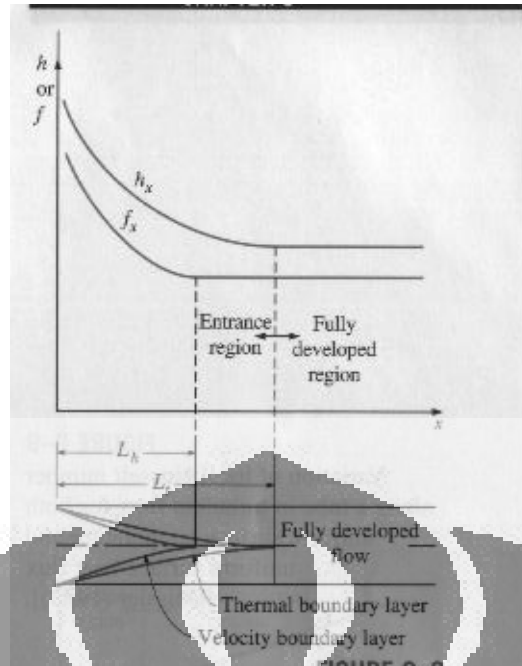


Grafik 4: Profil kecepatan

Wilayah dimana batas kecepatan dan temperatur berkembang setelah memasuki pipa disebut entrance region. Panjang dari entrance region untuk kecepatan dan temperatur untuk aliran laminar adalah berbeda, tetapi relatif sama untuk aliran turbulen.



Grafik 5: perkembangan dari profil kecepatan dan temperatur



**Grafik 6: Kecepatan and Thermal entry length**

Aproksimasi panjang Entrance region:

Jenis Aliran	Temperatur	Kecepatan
Laminar	$0.05 \text{ Re } D$	$0.05 \text{ Re } \text{Pr } D$
Turbulent	$10D$	$10D$

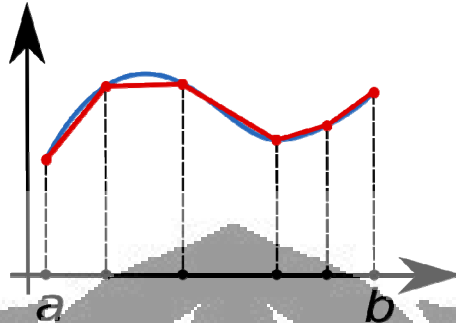
**Table 3: Entrance region length approximation**

### 6. Integral Numerik(Numerical Integration)

Integral numeric adalah suatu metode untuk mencari nilai suatu fungsi integral dengan cara mengevaluasi secara numeric. Integral numeric dapat dilakukan apabila beberapa nilai dari suatu fungsi diketahui atau bisa dikalkulasi. Metode numerik pada prinsipnya adalah metode aproksimasi, karena itu kesalahan aproksimasi semakin besar ketika jumlah data yang ketahui sedikit.



*Dalil Trapezium(Trapezoidal rule)*



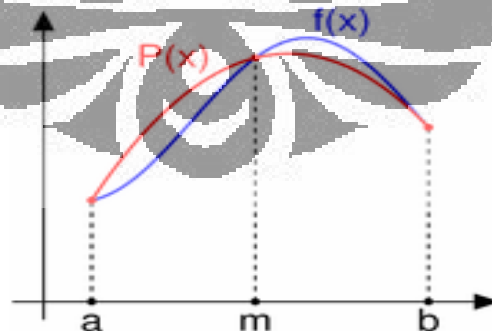
**Grafik 7: Trapezoidal rule**

$$J = \int_a^b f(x)dx \approx h \left[ \frac{1}{2} f(a) + f(x_1) + f(x_2) + \dots + f(x_{n-1}) + \frac{1}{2} f(b) \right]$$

dengan  $h=(b-a)/n$ ;  $n$ =jumlah data

*Dalil Simpson*

Aproksimasi numeric sudah pasti memiliki kesalahan. Besarnya tingkat kesalahan tersebut dapat diturunkan dengan menambah jumlah data yang diketahui. Metode lain untuk menurunkan tingkat kesalahan adalah dengan merubah metode aproksimasi dari linear menjadi kwadrat. Aproksimasi kwadrat ini disebut juga dalil Simpson. Dalil Simpson memiliki tingkat keasalahan yang relatif lebih rendah dari pada dalil trapesium dengan jumlah data yang sama.



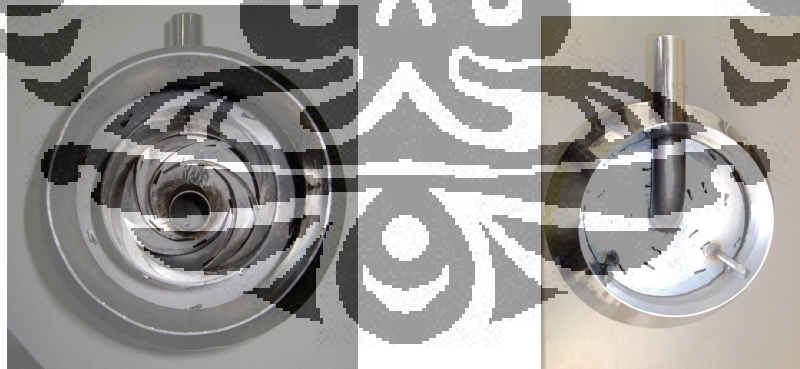
**Grafik 8: Simpson's rule**

$$J = \int_a^b f(x)dx \approx \left[ \frac{h}{3} (f_0 + 4f_1 + 2f_2 + 4f_3 + \dots + 2f_{n-2} + 4f_{n-1} + f_n) \right]$$

### 3. Vortex mixer

Vortex Mixer adalah pembentuk pusaran secara natural, yang mempunyai tekanan rendah pada saluran suplai bahan bakar suplemen, ketika udara melewati Vortex Mixer. Pembentukan pusaran dimungkinkan dengan adanya sejumlah sudu antar(guide vane) berbentuk busur yang membelokkan arah aliran sehingga membentuk aliran berputar. Bahan bakar suplemen kemudian masuk dari bagian inti dari Vortex Mixer. Pada system bahan bakar ganda Kruger, Vortex Mixer dipasang pada Air Intake Supply sebelum sebelum ruang pembakaran atau Turbocharger.

Ada 2 keuntungan menggunakan Vortex Mixer pada Mesin Diesel berbahan bakar ganda. Pertama adalah rasio yang konstan antara bahan bakar suplemen dengan bahan bakar utama pada kondise beban yang berbeda. Efek yang didapat dari keuntungan ini adalah rasio maksimum antara bahan bakar utama dan bahan bakar suplemen mencapai 60%:40%. Ratio ini lebih tinggi dari pada system bahan bakar ganda yang sudah banyak dipakai sekarang (Fumigation system) yaitu 70%:30% yang dikarenakan oleh adanya masalah pembakaran dini. Keuntungan yang kedua adalah Vortex mixer ini mencampur dengan merata bahan bakar suplemen dengan udara sebelum campuran ini masuk ke ruang bakar.



Grafik 9: Vortex mixer tampak depan(kiri) dan tampak bawah(kanan)



Grafik 10: Vortex Mixer

## 4. Metodologi

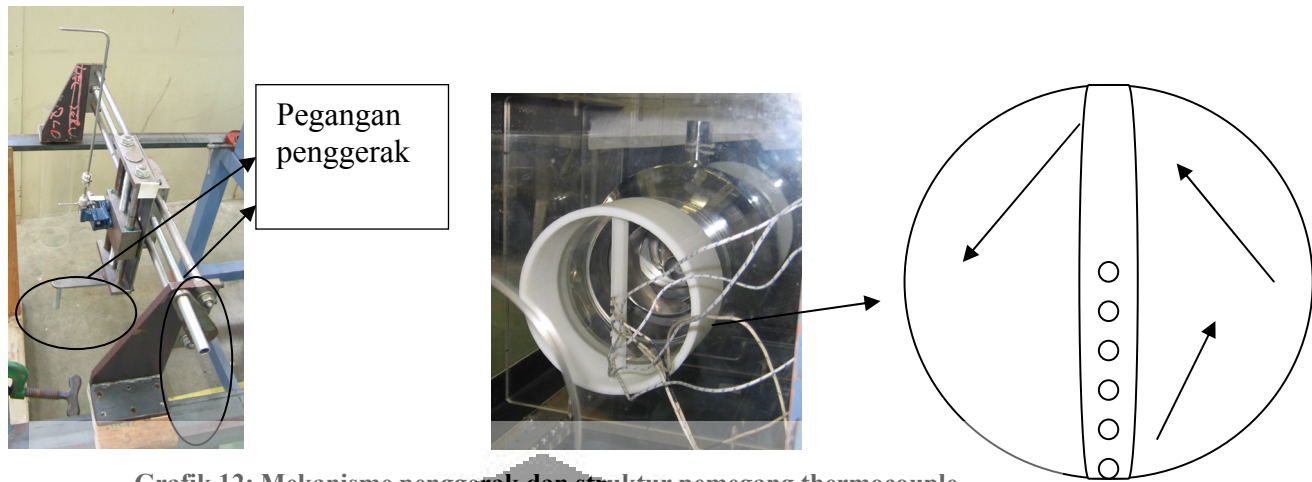
Peralatan:

1. Wind tunnel
2. Pitot tube
3. Pembaca Pitot tube
4. Mekanisme penggerak
5. 6 pipa transparan dengan panjang yang berbeda
6. Penggaris
7. Dua papan pemegang.
8. Thermocouple
9. 3 Temperatur data logger
10. Struktur Pemegang Thermocouple



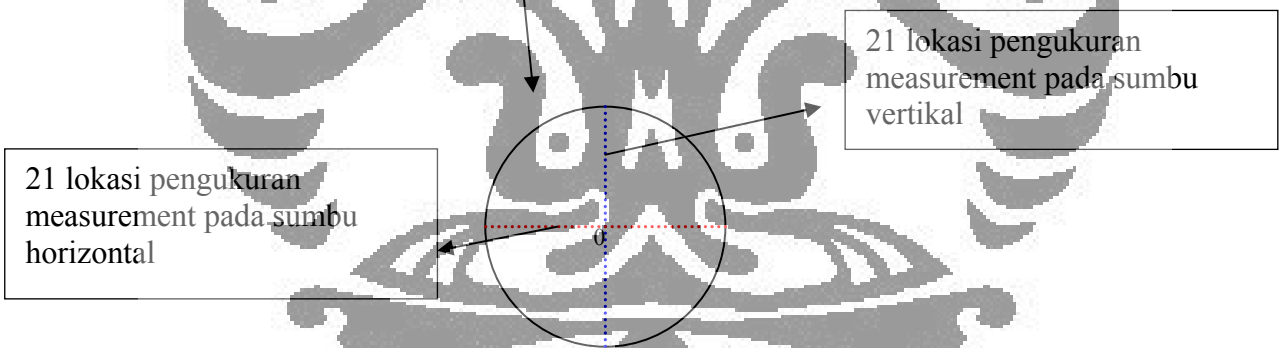
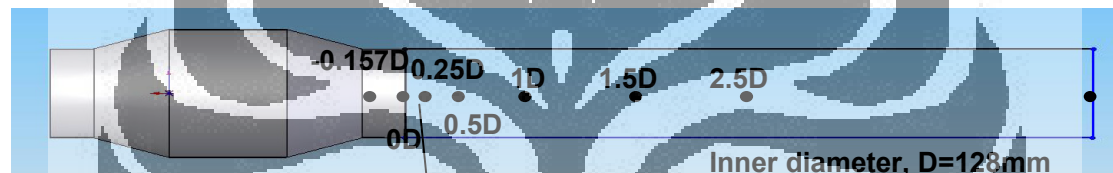
Grafik 11: Wind tunnel dan bagian pengujian

Eksperimen ini dimulai dengan mengatur semua peralatan dan Vortex mixer pada wind tunnel. Pitot tube dipasang pada sebuah mekanisme penggerak (traversing mechanism) untuk mengukur kecepatan, dan thermocouple dimasukkan kedalam struktur pemegang thermocouple untuk mengukur temperatur. Pengaturan posisi Pitot tube dilakukan dengan memutar penggerak pada mekanisme penggerak. Sementara 10 thermocouple dimasukkan kedalam struktur pemegang thermocouple, dan memutar struktur tersebut untuk mengatur posisinya.



Grafik 12: Mekanisme penggerak dan struktur pemegang thermocouple

Ada 21 titik pengukuran secara vertikal dan horizontal pada setiap jarak tertentu dari Vortex mixer.



Grafik 13: Lokasi pengukuran vertikal dan horizontal

Untuk mensimulasikan keadaan mesin truk, aproksimasi minimum dari laju volumetric pada suplai udara harus ditetapkan terlebih dahulu. Konsumsi udara setiap detik dari diesel 4 tak atau mesin bensin dapat ditetapkan dari

$$\dot{Q} = \text{Kapasitas silinder} \times \frac{1}{2} \times \frac{RPM}{3600}$$

Truk berukuran sedang biasanya mempunyai kapasitas silinder lebih dari 6 liter dan 2000RPM pada keadaan Idle.

$$\dot{Q} = 6l \times \frac{1}{2} \times \frac{2000}{3600}$$

$$\dot{Q} = 100 \text{ l/s} = 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{dimana } v = \frac{\dot{Q}}{A}$$

A adalah luas penampang saluran masuk udara pada Vortex Mixer=

$$A = \pi \left( \frac{0.125}{2} \right)^2 = 0.0122$$

$$v = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{0.1}{0.0122} = 8.3 \text{ m/s}$$

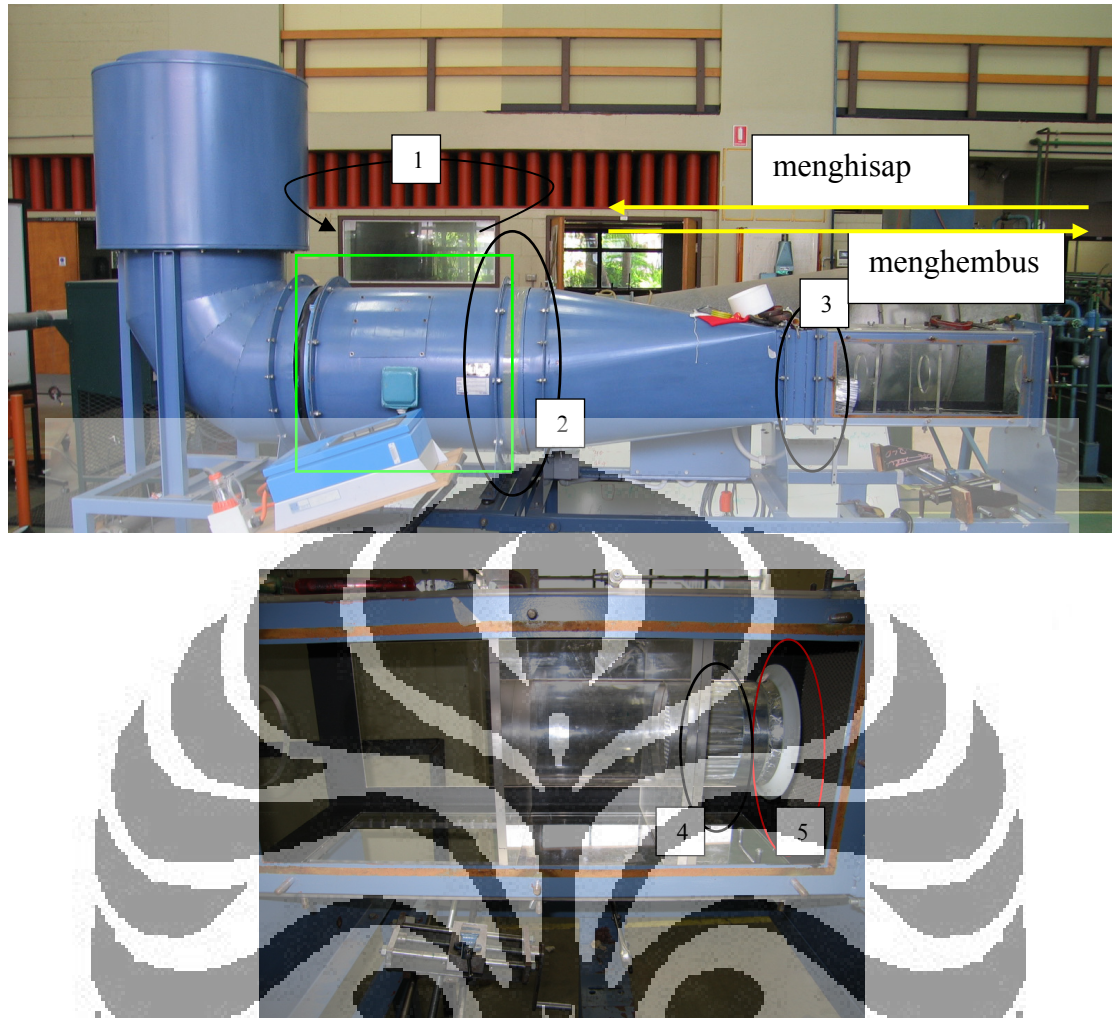
Pada peecobaan ini, kecepatan dari wind tunnel pada pengoperasian normal adalah 25 Hz, yang memberikan kecepatan sekitar 11m/s pada bagian tempat uji coba.

#### *Mengkondisikan Aliran*

Mengidealkan aliran pada bagian pengetesan dibutuhkan untuk mempermudah analisa dan menghilangkan kesalahan yang diakibatkan aliran yang tidak stabil. Pada dasarnya Wind Tunnel yang digunakan dalam eksperimen ini di desain untuk menghisap udara, tetapi pada eksperimen ini Wind tunnel akan dijalankan dengan arah sebaliknya.

Wind Tunnel ini dilengkapi dengan pengontrol kecepatan angin dan arahnya. Akan tetapi efisiensi volumetriknya akan menurun bila dijalankan untuk meniup udara. Problem lainnya adalah aliran udara akan berputar bila dijalankan untuk meniup udara.

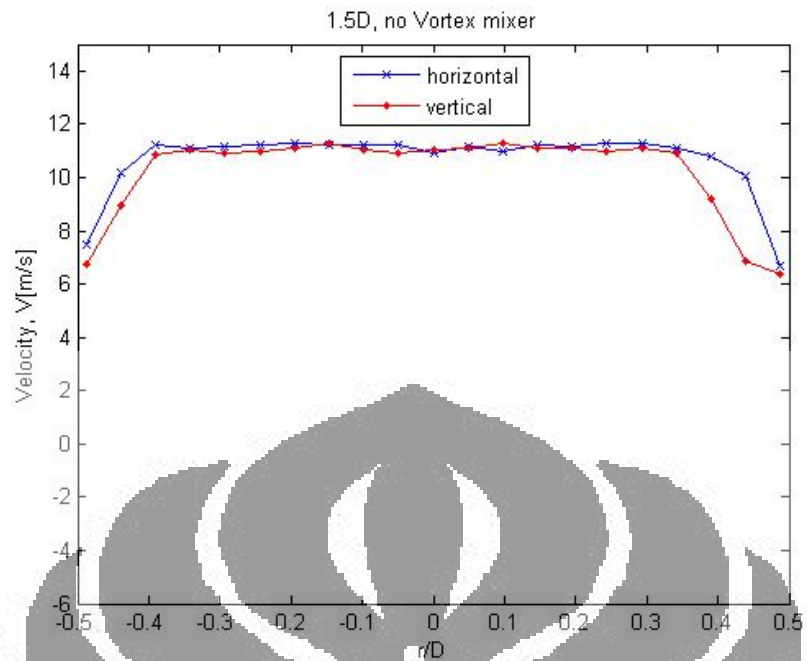
Pada awalnya, kecepatan lokal aliran udara pada bagian pengujian sangat fluktuatif, dengan kecepatan maksimum 11m/s dan kecepatan negatif pada beberapa titik. Beberapa modifikasi dilakukan untuk mendapatkan aliran yang mempunyai kecepatan yang konstan dan tidak berputar. Table dibawah menunjukkan modifikasi apa saja yang telah dilakukan:



Grafik 14: Lokasi Modifikasi Wind Tunnel

No	Modifikasi	Tujuan
1	Membalik arah baling-baling	Untuk menjadikan arah tiup (blowing) sebagai kondisi normal.
2	Menempatkan struktur sarang lebah setelah baling-baling	Untuk mem paralelkan aliran setelah baling-baling.
3	Menempatkan struktur sarang lebah setelah bagian nozzle	Untuk memastikan aliran stabil setelah melewati bagian nozzle.
4	Menempatkan struktur sarang lebah setelah struktur mulut trompet sebelum bagian pengujian	Untuk memastikan aliran stabil setelah udara memasuki saluran dengan diameter lebih.
5	Menempatkan struktur mulut trompet	Untuk mereduksi penurunan tekanan dan menghindari pusaran (eddy)

Table 4: Modifikasi pada wind tunnel



Grafik 15: Profil kecepatan udara setelah modifikasi

$$Re = \frac{v_{avg} D}{\nu}$$

$v_{avg} = 11.8 \text{ m/s}$

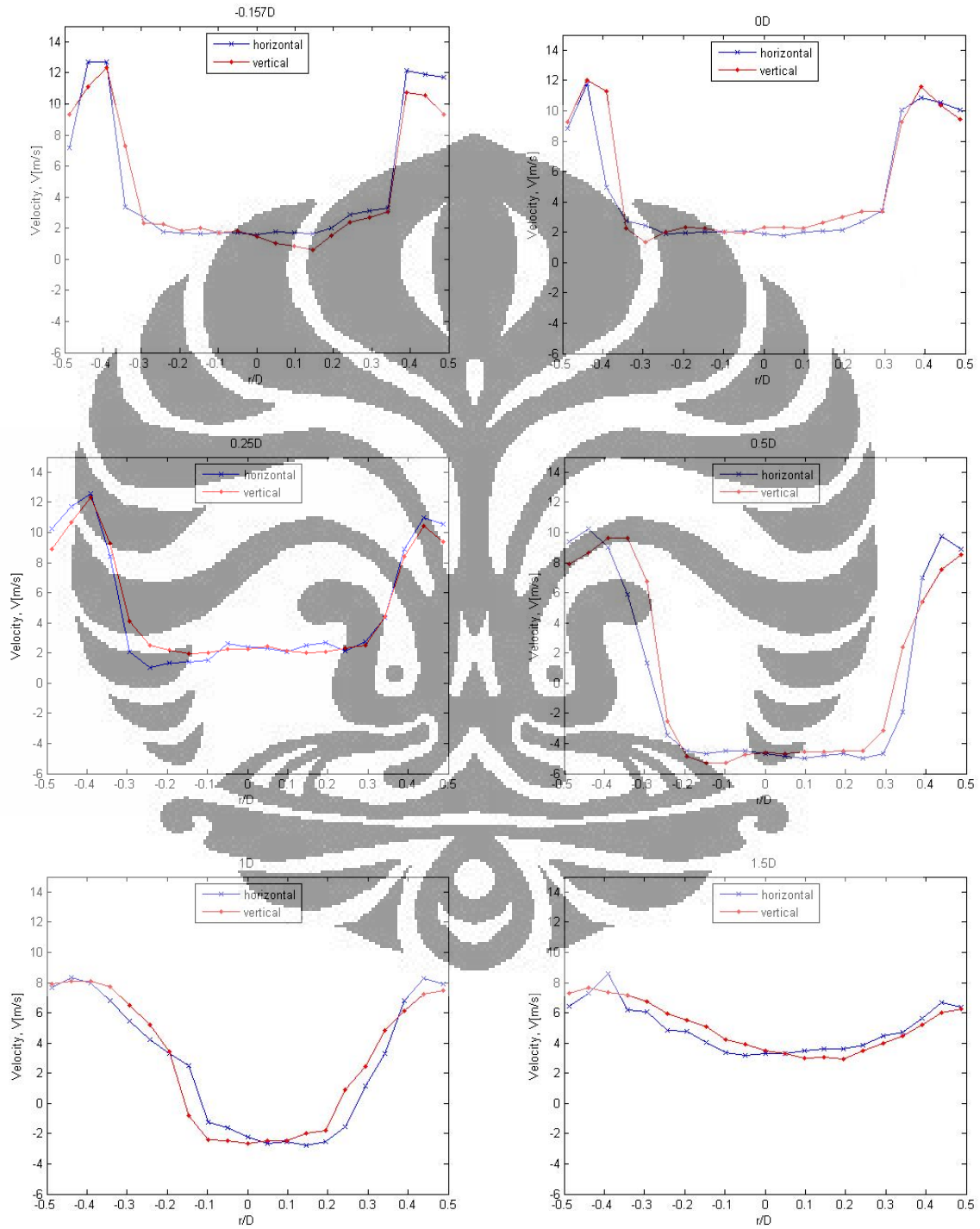
$D = 0.128 \text{ mm}$

$\nu @ 1 \text{ atm and } 25^\circ = 1.562 \times 10^{-5}$

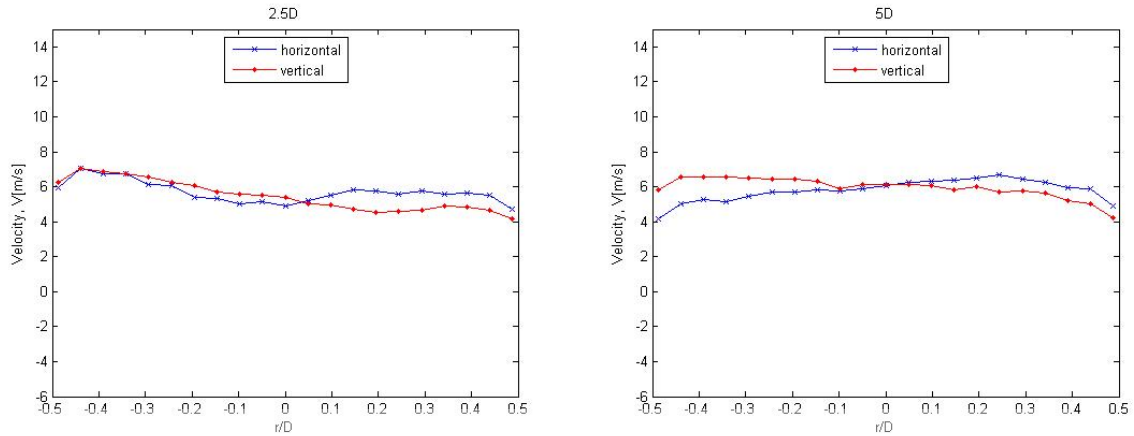
$$Re = \frac{11.8 \times 0.128}{1.562 \times 10^{-5}} = 96696.54 \dots \dots \dots (\text{Turbulent})$$

# 5. Hasil dan Diskusi

## 1. Profil kecepatan

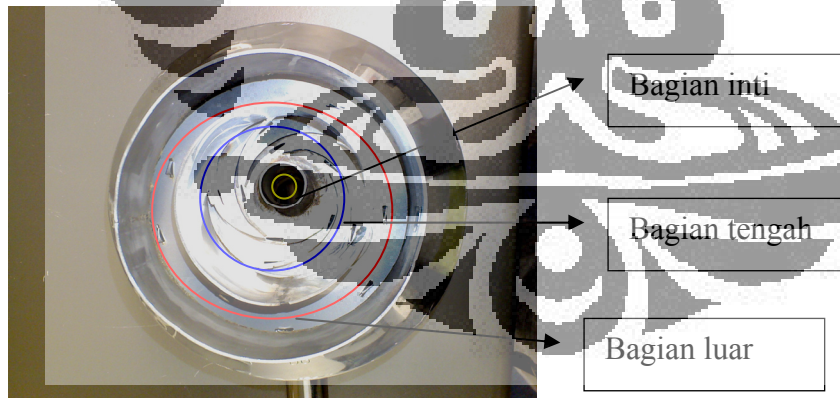






**Grafik 16: Hasil pengukuran Profil kecepatan**

Vortex mixer mempunyai tiga bagian: Pertama adalah bagian terluar dimana terjadi aliran fluida yang parallel, kedua adalah bagian tengah dimana fluida mengalir berputar dan yang terakhir bagian dimana bahan bakar suplemen masuk yaitu di bagian inti. Semua hasil pada grafik16 menunjukkan bahwa kecepatan fluida kurang lebih simetris terhadap sumbu radius. Pengukuran yang konsisten sulit didapat karena pengukuran dilakukan tidak pada waktu yang sama dan juga karena fluktuasi tekanan dari fluida. Fluktuasi tekanan terjadi karena fluida mengalir berputar. Untuk mengatasi masalah ini, data yang diambil adalah data rata-rata dari data yang diambil dalam periode waktu yang singkat. Pilihan ini adalah fitur standart dari pembaca pitot tube yang dipakai dalam experiment ini.



**Grafik 17: bagian-bagian Vortex mixer**

Vortex mixer didisain untuk mendistribusikan lebih banyak udara pada bagian luar dari pada di bagian tengah dan inti. Tekanan pada bagian inti bergantung pada tekanan di bagian tengah (Kruger, 2006). Kecepatan pada suatu titik adalah volume dibagi luas penampang di titik tersebut. Kecepatan fluida akan bertambah jika volume aliran fluida bertambah. Itulah sebabnya mengapa pada jarak  $-0.175D$  sampai  $5D$  dari

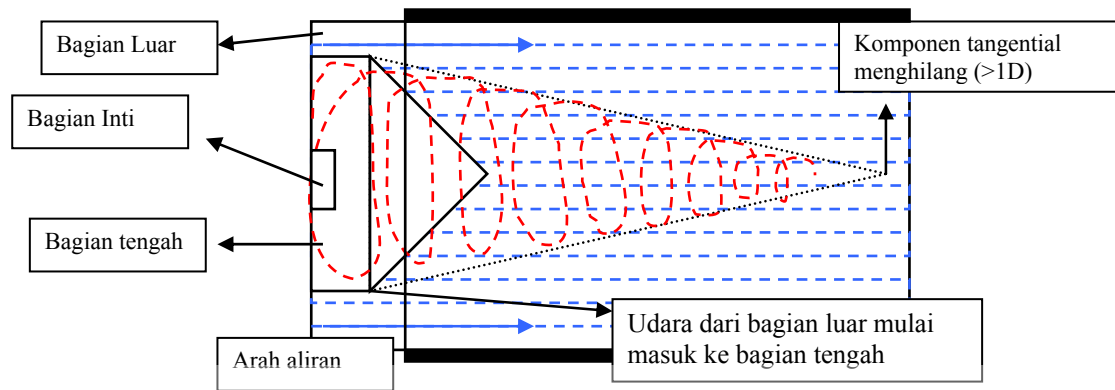
vortex mixer, kecepatan tertinggi terjadi di bagian luar, dan menurun secara drastik di bagian tengah dan inti.

Hal yang sangat menarik dari hasil pengukuran profil kecepatan adalah profil kecepatan mencapai *fully developed region* diantara 1.5D dan 2.5D. Jarak ini relatif sangat pendek bila dibandingkan dengan jarak yang dibutuhkan oleh fluida untuk mencapai profil kecepatan penuh (*fully developed*) pada aliran turbulenta paralel dalam pipa yaitu 10D (Cengel, 2007). Fenomena ini terjadi akibat dari efek dari gesekan antar lapisan fluida yang berkecepatan tinggi dengan yang berkecepatan rendah. Alasan lainnya adalah karena efek dari putaran fluida di wilayah tengah yang berdampak pada percepatan distribusi fluida dari bagian luar ke bagian tengah dan inti.

Hal lain yang menarik dari hasil pengukuran kecepatan fluida adalah kecepatan yang negative pada jarak 0.5D-1D dari vortex mixer. Kecepatan fluida diukur dengan persamaan:

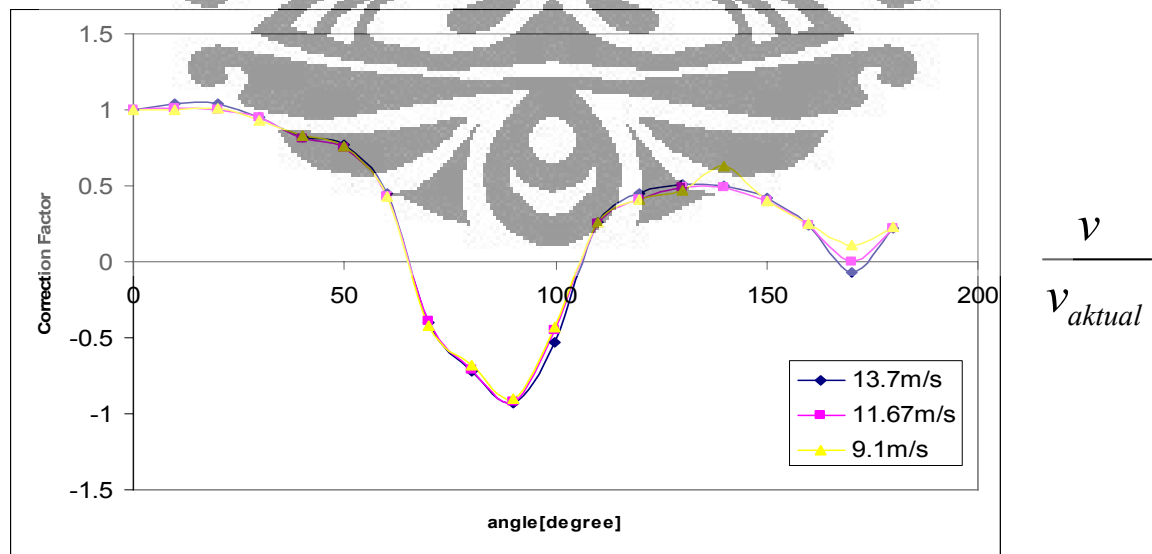
$$v = \sqrt{\frac{2(P_{stagnasi} - P_{statik})}{\rho}}$$

Dari persamaan diatas, kecepatan yang negatif adalah tidak mungkin karena kecepatan adalah akar dari perbedaan tekanan stagnasi dan statik. Apabila tekanan stagnasi kurang dari tekanan statik maka akarnya akan menjadi imajiner. Pembaca pitot tube yang digunakan merepresentasikan nilai imajiner sebagai negative. Tekanan static akan meningkat apabila posisi pitot tube tidak sejajar dengan aliran fluida yang diukur. Pada kasus ini, pitot tube tidak sejajar dengan aliran fluida dikarenakan aliran fluida yang berputar dari vortex mixer. Putaran fluida ini berakhir kurang lebih pada jarak 1.5D. Pengukuran pada jarak sebelum 0.5D tidak banyak terpengaruh oleh pusaran fluida dikarenakan oleh konsentrasi fluida, dalam percobaan ini adalah udara, terkonsentrasi pada bagian luar (aliran paralel).



Grafik 18: Diagram aliran

Eksperimen factor koreksi dilakukan dengan maksud untuk memperbaiki problem yang diakibatkan oleh aliran yang berputar. Faktor koreksi adalah rasio antara kecepatan fluida yang terukur di pitot tube dengan kecepatan fluida yang sesungguhnya. Eksperimen ini dilakukan untuk memahami sifat-sifat pitot tube ketika sudut antara pitot tube dan aliran dirubah. Eksperimen ini dilakukan tanpa vortex mixer dan pada jarak ketika aliran sudah fully developed. Hal ini dilakukan agar bias diasumsikan bahwa kecepatan fluida di setiap titik adalah sama. Eksperimen dilakukan dengan sudut antara aliran dan pitot tube dari 0-180 derajat, dengan kenaikan 10 derajat.



Grafik 19: grafik faktor koreksi vs sudut antara aliran dengan pitot tube

Grafik 19 menunjukkan apabila sudut putaran lokal kurang dari 50 derajat, factor koreksi kurang lebih 1, dapat disimpulkan bahwa ke-tidak akuratan dapat diabaikan. Faktor koreksi menjadi negatif ketika kecepatan dari pembacaan pitot tube negatif, hal ini terjadi ketika sudut putaran lokal melebihi kurang lebih 60 derajat. Sudut putaran lebih dari 90 adalah sudut yang tidak mungkin terjadi, karena lebih dari 90 derajat merupakan eddy motion(pusaran).

Faktor koreksi dapat di aplikasikan apabila sudut lokal putaran diketahui. Dikarenakan keterbatasan alat yang tersedia pada eksperimen ini, sudut local putaran tidak dapat diukur pada eksperimen ini, dan ditinggal kan sebagai saran untuk eksperimen mendatang.

## 2. Laju Volumetric

$$Q = \int v dA$$

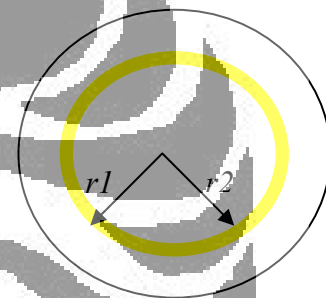
$$\text{dimana } A_{\text{annulus}} = \pi D r$$

$$dA = \pi 2r dr$$

$$\text{jadi, } Q = \int_0^r v(\pi 2r dr) = 2\pi \int_0^r v(r) r dr$$

atau bisa ditulis

$$Q = 2\pi \sum_{i=1}^n v_n r_n (r_n - r_{n-1}) \dots \dots \dots (5.2.1)$$



Grafik 20: lingkaran annulus

Persamaan terakhir adalah aproksimasi laju volumetric linear, atau dalil trapezium (Kreyszig,2001). Aproksimasi numerik pasti memiliki kesalahan numerik. Kesalahan tersebut dapat di reduksi dengan menambah jumlah data pengukuran. Metode lain untuk meningkatkan akurasi aproksimasi adalah dengan mengganti aproksimasi linear dengan aproksimasi kwadrat atau disebut juga dalil Simpson. Dalil Simpson relative lebih akurat dibandingkan dengan dalil trapezium dengan jumlah data yang sama.(Kreyszig,2001).

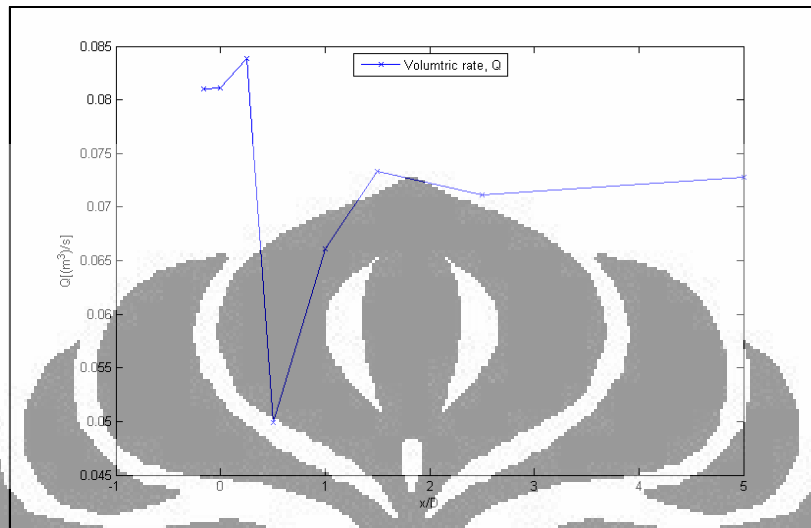
$$\int_a^b f(x) dx \approx \left[ \frac{h}{3} (f_0 + 4f_1 + 2f_2 + 4f_3 + \dots + 2f_{n-2} + 4f_{n-1} + f_n) \right]$$

Aplikasian dalil Simpson kedalam persamaan 5.2.1

$$Q \approx 2\pi \left[ \frac{h}{3} (v_0 r_0 + 4v_1 r_1 + 2v_2 r_2 + 4v_3 r_3 + \dots + 2v_{n-2} r_{n-2} + 4v_{n-1} r_{n-1} + v_n r_n) \right]$$

dengan  $h=r/n$

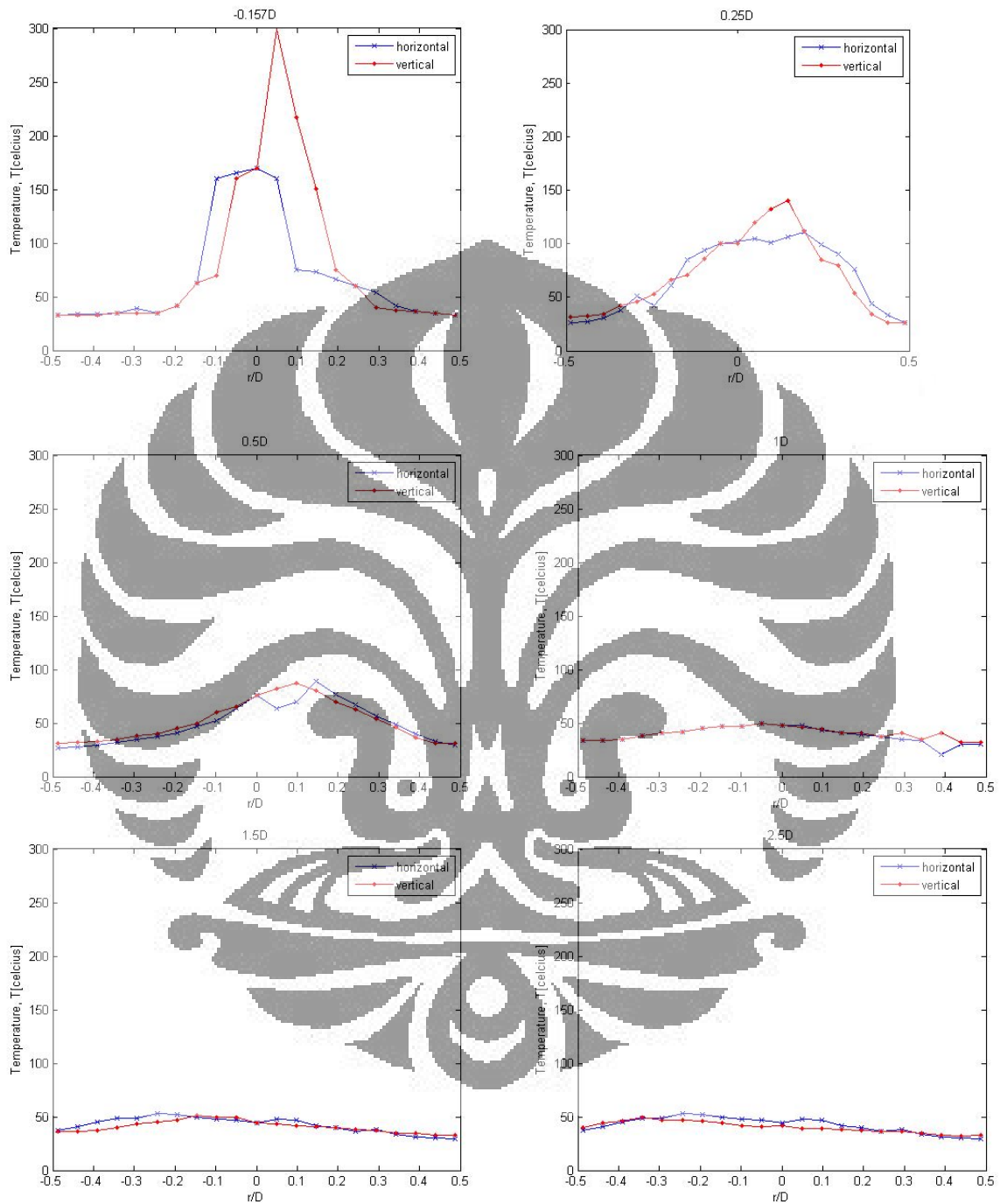
Untuk menggunakan dalil Simpson, data terlebih dahulu harus diurutkan. Data pertama (diberi nomor 0) haruslah kecepatan pada  $r=0$ , dan data terakhir (diberi nomor 20) adalah kecepatan pada  $r$ .

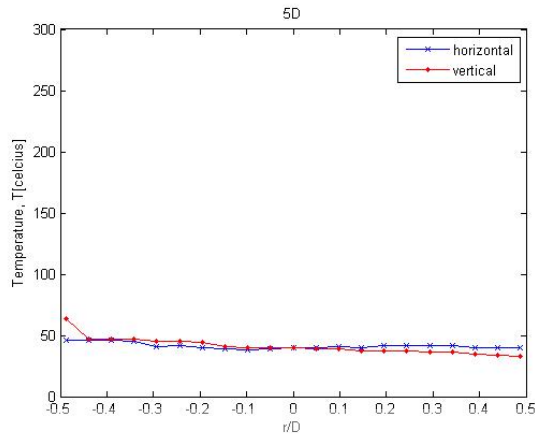


**Grafik 21: Laju volumetrik**

Secara teoritis, laju volumetric adalah konstan karena perubahan massa jenis pada titik-titik pengukuran relative sangat kecil. Pada eksperimen ini, laju volumetric yang tidak konstan disebabkan oleh kesalahan pengukuran oleh pitot tube, dan kesalahan numerik dari aprosimasi volume relative sangat kecil. Lima data pertama memiliki kesalahan sebagai akibat dari aliran yang berputar. Pada jarak  $-0.175D-0.25D$  udara masih terkonsentrasi di bagian luar dengan aliran paralel, karena itu kesalahan pada jarak  $-0.175D-0.25D$  tidak sebesar pada  $0.5D-1D$ . Aliran berputar mulai menghilang dari jarak  $1.5D-5D$ , karena itu tidak ada kesalahan pembacaan dari pitot tube. Konservasi volume dari aliran menunjukkan bahwa tidak ada kesalahan dari alat-alat eksperimen, prosedur, dan integrasi volumetric, apabila tidak ada aliran berputar.

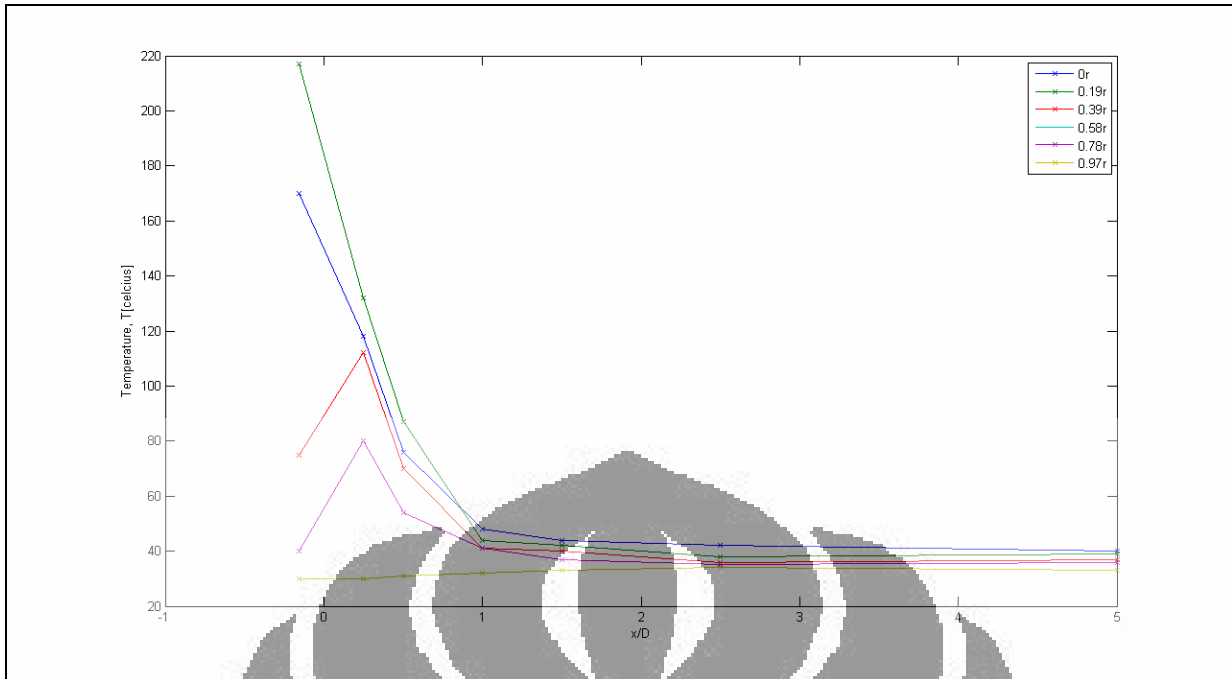
### 3. Profil temperatur





Grafik 22: Profil temperatur

Tanda negative pada sumbu  $r/D$  merepresentasikan pengukuran di vertical bagian atas, dan horizontal bagian kanan. Kalor masuk kedalam vortex mixer melalui saluran bahan bakar suplemen dengan temperature kurang lebih  $300^{\circ}\text{C}$ , dan aliran udara dari wind tunnel  $25^{\circ}\text{C}$ . Pada sumbu pengukuran vertical berjarak  $-0.175D$  dan  $0.25D$  menunjukkan bahwa temperatur lebih tinggi di bagian bawah. Ini terjadi akibat dari lokasi saluran bahan bakar suplemen yang tidak persis ditengah, melainkan sedikit agak ke bawah. Grafik yang sama juga menunjukkan bahwa kalor terdistribusi lebih banyak di bagian kanan dari sumbu pengukuran horizontal. Distribusi yang tidak merata ini terjadi akibat design sudu antar(guided vane) Vortex Mixer yang memutar berlawanan arah jarum jam; konsekwensinya adalah energy kalo digunakan lebih dulu untuk meningkatkan temperature di bagian kanan davi Vortex Mixer, karena itu sewaktu memasuki bagian kiri energi kalor yang tersedia lebih rendah. Pada jarak  $0.5D$ , temperature pada radius yang sama relatif sama besar, dan *Fully mixed heat* terjadi kurang lebih pada jarak  $1D$ . Jarak  $1D$  dari Vortex Mixer adalah sangat pendek bila dibandingkan dengan jarak yang dibutuhkan untuk mencampur sempurna pada aliran parallel turbulent di dalam pipa yaitu  $10D$  (Cengel, 2007). Analisa pencampuran temperature ini dapat dianalogikan sebagai performa pencampuran (mixing performance) yang dilakukan oleh Vortex Mixer ketika bahan bakar suplemen masuk ke dalam Vortex Mixer.



Grafik 23: Kombinasi profil temperatur

#### 4. Energy Kalor

Energy yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur suatu aliran massa dapat dihitung dengan persamaan :

$$E = m C_p \Delta T$$

Ada 2 sumber energy dalam eksperimen ini, pertama adalah energy aliran(flow) yang berasal dari motor listrik wintunnel dan yang kedua adalah energi kalor(heat) dari heatgun. Pada seksi ini kalkulasi konservasi energy hanya berfokus pada energi kalor.

$$E_{kalor} = E_{total} - E_{aliran} = m C_p \Delta T$$

dimana:  $m = \rho Q = \rho Av$

$$E_{kalor} = \rho Av C_p \Delta T$$

$$dE_{kalor} = \rho(2\pi r dr)v(r)C_p(r)dT$$

integral-kan persamaan

$$E_{kalor} = 2\pi \iint \rho v(r)C_p(r)rdTdr....(5.1)$$

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ dan dari persamaan gas ideal (perfect gas) } \frac{m}{V} = \frac{P}{RT} ....(5.2)$$

Substitusikan persamaan 5.2. ke dalam 5.1 dan ekspresikan dalam bentuk penjumlahan:



$$E_{kalor} \approx \frac{2\pi}{R} \sum_0^n \frac{P}{T_n} v_n C_{(p)n} r_n (T_n - T) (r_n - r_{n-1}) \dots (5.3)$$

R(udara)=287 J/(Kg.K)

T=25°C (Harus dikonversi ke dalam Kelvin)

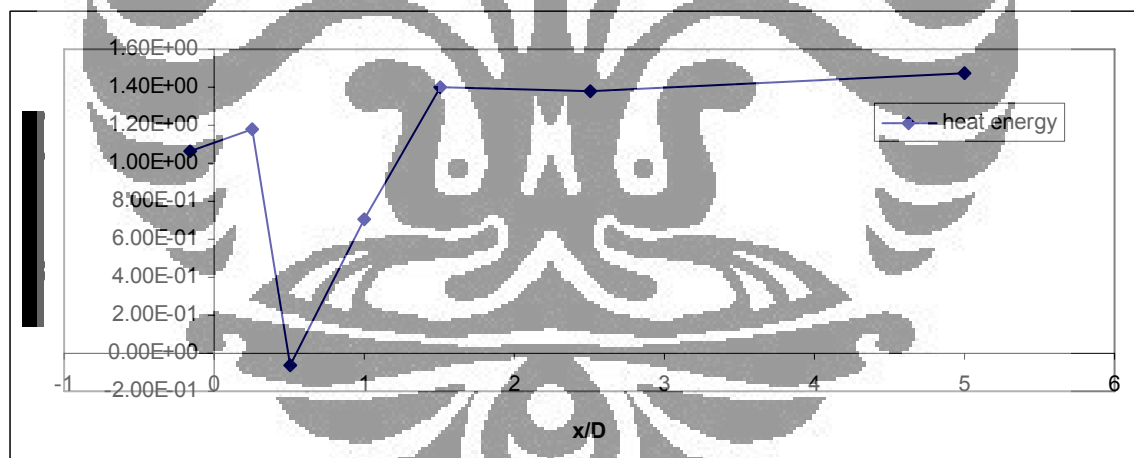
C<sub>p</sub> diambil dari data udara pada tekanan 1 atm

P = P(atm) + P(gauge). P(gauge) Ditiadakan Karena nilainya sangat kecil (100Pa) relative terhadap P(atm).

Untuk meningkatkan akurasi dari aproksimasi numeric, dalil Simpson digunakan ke dalam persamaan 5.3

$$E \approx \frac{2\pi P}{R} \left[ \frac{h}{3} (v_0 C_{(p)0} r_0 \left(\frac{T_0 - T}{T_0}\right) + 4v_1 C_{(p)1} r_1 \left(\frac{T_1 - T}{T_1}\right) + 2v_2 C_{(p)2} r_2 \left(\frac{T_2 - T}{T_2}\right) + 4v_3 C_{(p)3} r_3 \left(\frac{T_3 - T}{T_3}\right) + \dots \right. \\ \left. \dots + 2v_{(n-2)} C_{(p)(n-2)} r_{(n-2)} \left(\frac{T_{(n-2)} - T}{T_{(n-2)}}\right) + 4v_{(n-1)} C_{(p)(n-1)} r_{(n-1)} \left(\frac{T_{(n-1)} - T}{T_{(n-1)}}\right) + v_n C_{(p)n} r_n \left(\frac{T_n - T}{T_n}\right) \right]$$

dengan h=r/n



Grafik 24: Energy kalor

Grafik 22 menunjukkan trend yang kurang lebih mirip dengan grafik laju volumetric. Grafik 22 juga memiliki kesalahan pada 4 nilai pertama yang dikarenakan oleh Energy kalor dalam persamaan diatas merupakan fungsi dari kecepatan aliran. Daya maksimum yang dapat disuplai oleh Heat Gun yang digunakan dalam eksperimen ini adalah 3KW. Dalam eksperimen ini daya yang digunakan hanya setengah dari daya maksimum (1.5KW). Grafik energy kalor menunjukkan bahwa kalkulasi dari data yang didapat sangat mendekati nilai teoritis(1.5KW) yaitu sekitar 1.4KW. Kalkulasi

pada seksi ini dan grafik 12 menunjukkan validitas dari semua pengukuran temperatur, alat dan kalkulasi yang digunakan.

## 6. Analisa

### 1. Analisa Kecepatan aliran

1. Komponen tangential dari kecepatan menghilang kurang lebih setelah 1.5D.
2. Volume udara terkonsentrasi di bagian luar setelah udara melewati Vortex Mixer, dan mulai terdistribusi merata mulai dari kurang lebih jarak 0.25D.

Komponen tangensial dari kecepatan menghilang kurang lebih pada jarak 1D-1.5D. Seperti yang telah didiskusikan sebelumnya, Laju Volumetrik dipengaruhi oleh komponen kecepatan tangensial. Oleh karena itu, laju volumetrik yang konstan dimulai dari 1.5D. Tetapi komponen tangensial dari kecepatan bisa saja hilang sebelum jarak tersebut.

Udara terkonsentrasi pada bagian luar dan mulai menyebar ke tengah kurang lebih pada 0.25D. Ada 2 fenomena yang mendukung analisa ini:

1. Kecepatan aliran yang tinggi pada wilayah luar Vortex Mixer sebelum aliran keluar dari Vortex Mixer.
2. Kesalahan pembacaan oleh vortex mixer paling besar terjadi pada jarak 0.25D. pada saat terjadi kesalahan pembacaan tersesar, berarti aliran paralel dari bagian luar Vortex Mixer sedang membelok ke arah inti dan berputar.

### 2. Analisa Temperatur

*Thermal Fully developed region* dicapai kurang lebih pada jarak 1D dari Vortex Mixer. Dimana jarak tersebut menjadi kurang lebih 10D tanpa adanya Vortex Mixer. Terlihat sekali bahwa pusaran yang dihasilkan setelah aliran melewati Vortex Mixer dan distribusi udara yang sangat besar pada bagian luar dari Vortex Mixer mempercepat terjadinya profil temperatur stabil (*Fully developed thermal profile*). Profil temperatur yang stabil ini di indikasikan dari profil yang rata, seperti yang terjadi pada jarak 1D dan selanjutnya. Hal ini dapat menganalogikan

kemampuan mencampur Vortex Mixer, yang kurang lebih proses pencampuran akan sempurna kurang lebih pada jarak 1D.

## 7. Kesimpulan

Ada dua kesimpulan dari eksperimen ini Vortex Mixer ini:

1. Dari analisa profil kecepatan, bahwa aliran pada bagian tengah dan inti berputar (swirling) hanya sampai kurang lebih 1.5D dari Vortex Mixer. Hal ini dikarenakan aliran parallel pada bagian Luar dari Vortex Mixer yang mempunyai kecepatan yang jauh lebih tinggi sangat mempengaruhi aliran berputar pada bagian tengah dan inti yang memiliki kecepatan axial yang relative lebih rendah dari pada kecepatan axial aliran di bagian luar.
2. Dari analisa profil temperature, dapat dibuktikan bahwa Vortex Mixer mereduksi jarak yang dibutuhkan untuk mencampur bahan bakar suplemen dengan udara.

## 8. Rekomendasi Studi Selanjutnya

Dari masalah yang ditemukan dalam eksperimen ini, sangat direkomendasikan untuk melakukan simulasi CFD (Computational Fluid Dynamic) untuk mempelajari lebih dalam bagaimana sifat-sifat aliran setelah melewati Vortex Mixer. Dengan simulasi CFD akan didapat lebih banyak informasi seperti profil kecepatan tangensial, jarak yang dibutuhkan untuk mencampur secara merata bahan bakar suplemen pada kondisi beban yang berbeda-beda, medan vector dari kecepatan di jarak yang berbeda-beda dari vortex mixer, dsb. Simulasi CFD tersebut kemudian disbanding kan dengan data-data yang telah didapat pada eksperimen ini untuk memvalidasi hasil yang didapat melalui CFD.

## Daftar Pustaka

- [1] Ajav, E. A., B. Singh and T. K. Bhattacharya. 1998. Performance of a stationary Diesel engine using vapourized ethanol as supplementary fuel  
Department of Agricultural Engineering, Faculty of Technology, University of Ibadan, Ibadan, Nigeria  
College of Technology, G.B. Pant University of Agriculture and Technology, Pantnagar 263145 (U.P.), India  
Department of Farm Machinery and Power Engineering, G.B. Pant University of Agriculture and Technology, Pantnagar 263145 (U.P.), India
- [2] Cengel, Y. A. 2007. Heat and Mass Transfer: A Practical Approach. 3rd ed. New York: McGraw-Hill.
- [3] Cengel, Y. A. and R. H. Turner. 2005. Fundamental of Thermal-Fluid Sciences. 2nd ed. New York: McGraw-hill.
- [4] Kreyszig, E. 2001. Advanced Engineering Mathematics. 8th ed. Singapore: John Wiley & Sons (Asia).
- [5] Kruger, U. 2006. Compression Ignition Engines edited by U. S. Patent. United States: Kruger Ventures Pty Ltd.
- [6] Nakra, B. C. and K. K. Chaundry. 2004. Instrumentation, Measurement and Analysis. 2nd ed. New Delhi: Tata McGraw-hill.
- [7] Tuck, Y. C. 2004. 2-Stroke Diesel Engine. <http://www.free-marine.com/i3why2stroke.htm> (accessed 10/6/2007).

## Appendix 1: Profil kecepatan data

### 1. Horizontal axes

Position r/D	Local Kecepatan[m/s]							
	-0.157D	0D	0.25D	0.5D	1D	1.5D	2.5D	5D
-0.487804878	7.18	8.8	10.23	9.38	7.66	6.43	5.93	4.18
-0.43902439	12.7	11.8	11.7	10.26	8.34	7.29	7.03	5.01
-0.390243902	12.72	4.96	12.6	9	7.98	8.58	6.75	5.25
-0.341463415	3.38	2.76	8.4	5.91	6.78	6.18	6.72	5.16
-0.292682927	2.69	2.46	2.07	1.31	5.45	6.04	6.15	5.43
-0.243902439	1.76	1.86	1.06	-3.45	4.23	4.84	6.04	5.69
-0.195121951	1.72	1.94	1.31	-4.51	3.3	4.79	5.42	5.71
-0.146341463	1.64	2.01	1.4	-4.65	2.52	4.04	5.33	5.81
-0.097560976	1.73	2.01	1.55	-4.47	-1.27	3.36	5.03	5.76
-0.048780488	1.7	2.09	2.63	-4.48	-1.61	3.2	5.12	5.87
0	1.58	1.86	2.38	-4.65	-2.2	3.29	4.92	6.07
0.048780488	1.79	1.77	2.35	-4.84	-2.63	3.3	5.23	6.24
0.097560976	1.7	1.99	2.07	-4.96	-2.54	3.49	5.53	6.31
0.146341463	1.62	2.09	2.53	-4.79	-2.76	3.6	5.85	6.4
0.195121951	2	2.16	2.69	-4.65	-2.51	3.64	5.74	6.52
0.243902439	2.87	2.7	2.14	-4.96	-1.57	3.85	5.58	6.69
0.292682927	3.14	3.4	2.74	-4.65	1.16	4.49	5.75	6.43
0.341463415	3.3	10.06	4.32	-1.9	3.3	4.69	5.6	6.24
0.390243902	12.15	10.86	8.87	6.97	6.81	5.63	5.61	5.94
0.43902439	11.91	10.56	11	9.73	8.25	6.68	5.53	5.9
0.487804878	11.71	10.07	10.52	8.9	7.92	6.4	4.74	4.9

## 2. Vertical position

Position r/D	Local kecepatan[m/s]								
	"-0.157D"	0D	0.25D	0.5D	1D	1.5D	2.5D	5D	
-0.487804878	9.31	9.26	8.9	7.91	7.89	7.32	6.28	5.82	
-0.43902439	11.08	12.04	10.69	8.67	8.09	7.68	7.03	6.53	
-0.390243902	12.31	11.27	12.3	9.63	8.11	7.38	6.88	6.58	
-0.341463415	7.29	2.23	9.28	9.64	7.72	7.19	6.73	6.58	
-0.292682927	2.32	1.35	4.08	6.72	6.49	6.77	6.53	6.47	
-0.243902439	2.27	2	2.5	-2.53	5.22	5.94	6.25	6.45	
-0.195121951	1.84	2.29	2.22	-4.85	3.45	5.51	6.07	6.44	
-0.146341463	2	2.27	1.95	-5.28	-0.84	5.11	5.72	6.33	
-0.097560976	1.7	2.02	2	-5.28	-2.42	4.21	5.55	5.91	
-0.048780488	1.83	1.97	2.24	-4.75	-2.46	3.92	5.5	6.15	
0	1.44	2.33	2.25	-4.63	-2.68	3.5	5.36	6.13	
0.048780488	1.02	2.29	2.44	-4.65	-2.48	3.33	5.05	6.13	
0.097560976	0.86	2.23	2.16	-4.55	-2.48	3.02	4.96	6.07	
0.146341463	0.59	2.62	2	-4.53	-1.99	3.04	4.71	5.83	
0.195121951	1.52	2.97	2.08	-4.49	-1.78	2.93	4.53	6	
0.243902439	2.36	3.37	2.3	-4.48	0.93	3.48	4.57	5.71	
0.292682927	2.71	3.39	2.5	-3.15	2.42	3.97	4.63	5.74	
0.341463415	3.05	9.25	4.39	2.38	4.86	4.45	4.87	5.62	
0.390243902	10.75	11.61	8.41	5.36	6.11	5.22	4.84	5.19	
0.43902439	10.55	10.34	10.44	7.56	7.24	5.99	4.63	5	
0.487804878	9.29	9.44	9.36	8.51	7.48	6.22	4.17	4.24	

## Appendix 2: Profil temperatur data

### 1. Horizontal axes

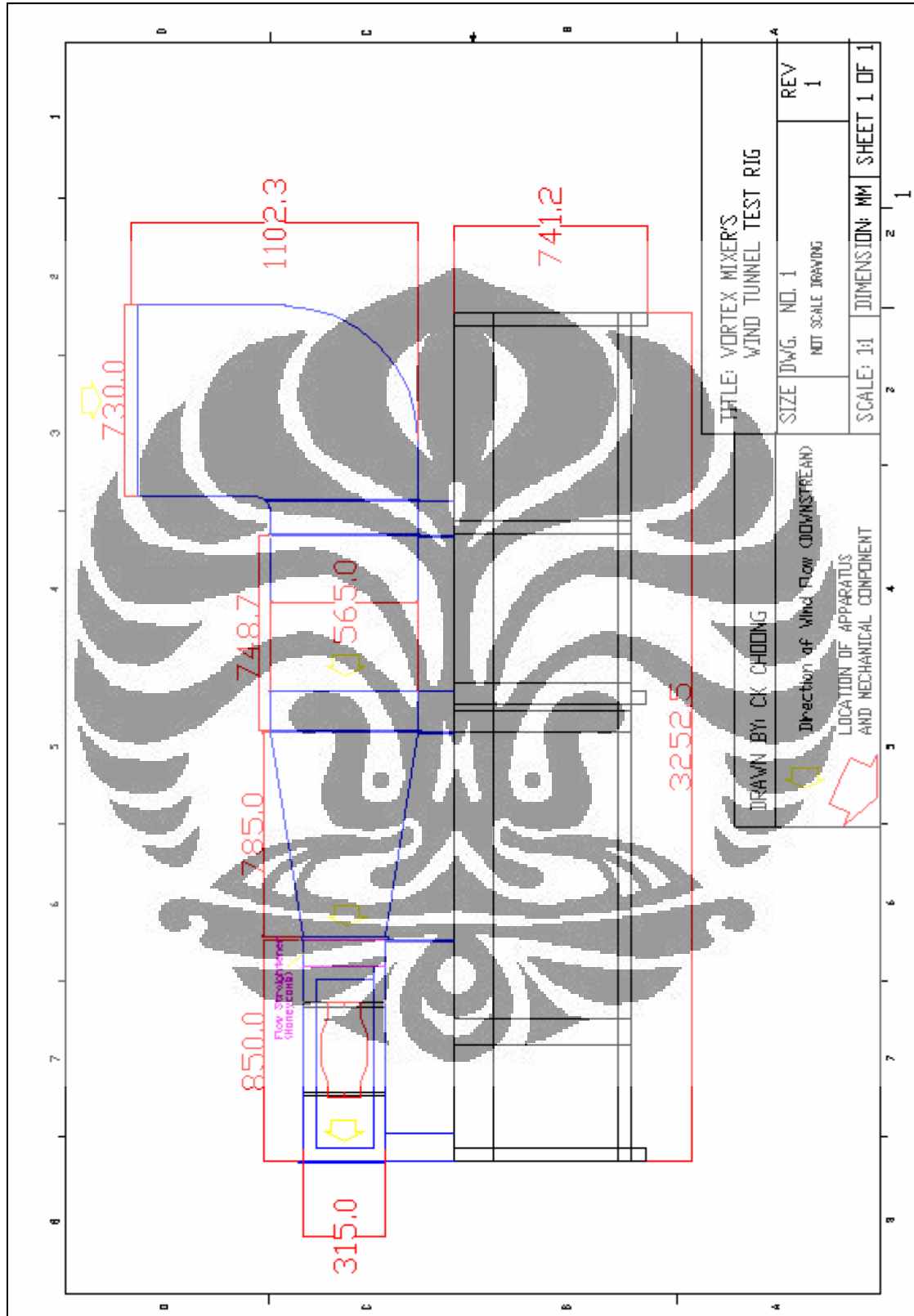
Position r/D	Temperature [°celcius]						
	-0.157D	0.25D	0.5D	1D	1.5D	2.5D	5D
-0.4878	33	26	27	34	37	40	46
-0.43902	34	27.5	27.9	34	41	44	46
-0.39024	34	31	29.5	35	45.2	46	46
-0.34146	35	38	32	38	49	50	45
-0.29268	39	51	35	41	49	47	41
-0.2439	35	42	37	42	53	47	42
-0.19512	42	61	41	45	52	46	40
-0.14634	63	85	47	47	50	44	39
-0.09756	160	94	52	47	48	42	38
-0.04878	165	100	64	50	47	41	39
0	170	102	76	48	44	42	40
0.04878	160	105	64	48	48	39	40
0.097561	75	101	70	43	47	39	41
0.146341	73	106	89	41	42	38	40
0.195122	66	111	77	39	40	37	42
0.243902	60	99	67	37	36	36	42
0.292683	54	90	57	35	38	36	42
0.341463	42	76	49	34	34	35	42
0.390244	36	44.4	40.2	20.7	31	33	40
0.439024	35	33.2	33	30	30	32	40
0.487805	33	26	29	30	29	33	40

## 2. Vertical axes

Position r/D	Temperature[ <sup>o</sup> celcius]						
	-0.157D	0.25D	0.5D	1D	1.5D	2.5D	5D
-0.4878	33	32	31	34	36	40	64
-0.43902	33	32.5	32	34	36.6	40	47
-0.39024	33	34.5	33.2	35	37.5	42	47
-0.34146	35	42	35	38	40	43	47
-0.29268	35	46	38	41	43	44	45
-0.2439	35	53	40	42	45	44	45
-0.19512	42	66	45	45	47	44	44
-0.14634	63	71	50	47	51	44	41
-0.09756	70	86	60	47	50	42	40
-0.04878	160	100	65	50	50	41	40
0	170	100	76	48	44	42	40
0.04878	300	120	82	46	43	39	39
0.097561	217	132	87	44	42	38	39
0.146341	150	140	80	41	41	37	37
0.195122	75	112	70	41	40	36	37
0.243902	60	85	63	37	38	34	37
0.292683	40	80	54	41	37	35	36
0.341463	37	54	46	35	35	34	36
0.390244	40	80	54	41	37	35	36
0.439024	35	26.6	31	32	33	34	34
0.487805	33	26	31	32	33	34	33



### Appendix 3: Wind tunnel technical drawing



# Appendix 4: Uli kruger's patent



(12) **United States Patent**  
**Kruger**  
 (10) **Patent No.:** **US 7,000,573 B2**  
 (45) **Date of Patent:** **Feb. 21, 2006**

(54) **COMPRESSION IGNITION ENGINES**

(56) **References Cited**

(75) Inventor: Uli Kruger, Adelaide (AU)

U.S. PATENT DOCUMENTS

(73) Assignee: Kruger Ventures Pty Ltd, (AU)

(\* ) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days.

2,659,667 A *	11/1953	Bosdet .....	123/592
2,695,011 A *	11/1954	Dodds et al. ....	123/1 A
3,698,365 A *	10/1972	Hallberg .....	
4,463,734 A *	8/1984	Akroyd .....	123/525
4,613,727 A *	4/1985	Lagano et al. ....	123/525
4,526,756 A *	6/1985	Akroyd .....	123/27 GE
4,524,730 A *	6/1985	Doell et al. ....	123/27 GE
4,553,294 A *	11/1985	Duggal et al. ....	123/1 A
4,614,166 A *	9/1986	Bancholer .....	123/27 GE
4,694,802 A *	9/1987	Loke, Jr. ....	
4,953,215 A *	9/1990	Fehr et al. ....	123/526
4,958,756 A *	9/1990	Fosseen .....	123/1 A
RE37,151 E *	3/1996	Hude .....	261/142
5,791,962 A *	6/1998	Azao .....	
6,185,495 A *	11/2000	Valicome .....	123/525
6,550,446 B1 *	4/2003	Kobley, Jr. ....	123/006

(21) Appl. No.: 10/479,760

(22) PCT Filed: Jan. 4, 2002

(86) PCT No.: PCT/AU02/00708

§ 371 (c)(4).

(21)-(22) Date: Jun. 2, 2004

(87) PCT Pub. No.: WO02/09265

PCT Pub. Date: Dec. 12, 2002

(65) **Prime Publication Data**

US 2004/0200229 A1 Oct. 21, 2004

(30) **Foreign Application Priority Data**

Jan. 4, 2001 (AU) ..... PR5435

(51) Int. Cl. (2006.01)

F02M 21/04

(52) U.S. Cl. .... 123/27 GE, 123/28, 123/525, 123/590

(56) **Field of Classification Search** ..... 123/1, 123/27 GE, 306, 525, 590, 531, 537, 528, 123/591, 592, 48, 804

See application file for complete search history.

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

AU	7105154 B	4/21/82	
DD	234707 A1	8/1985	
GB	201535	* 5/1933	123/592
GB	965671	* 4/1961	123/590
GB	2060765	* 5/1981	
IT	528529	* 6/1955	123/590
JP	2001-241342 A	7/2001	

\* cited by examiner

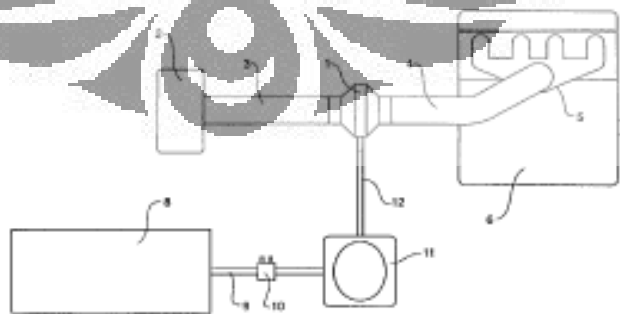
Primary Examiner—Tony M. Argenbright

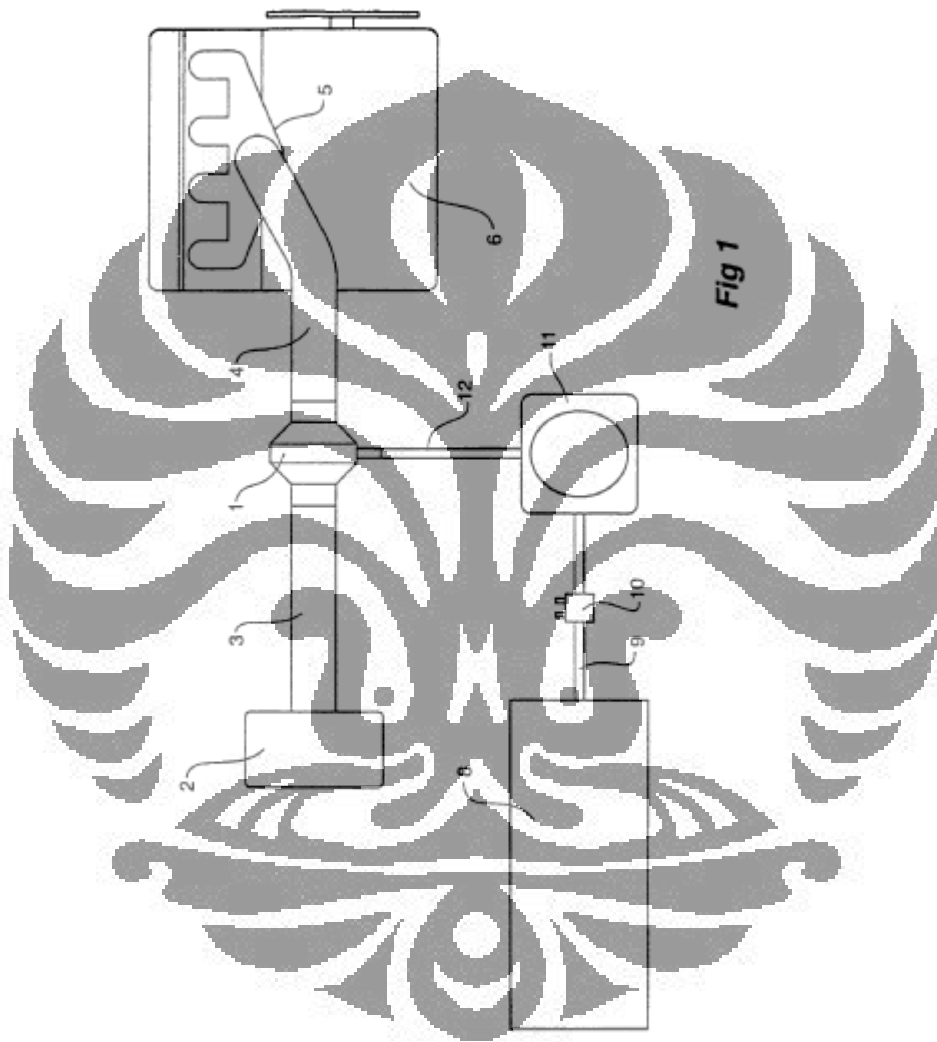
(74) Attorney, Agent, or Firm—Akerman Senterfitt

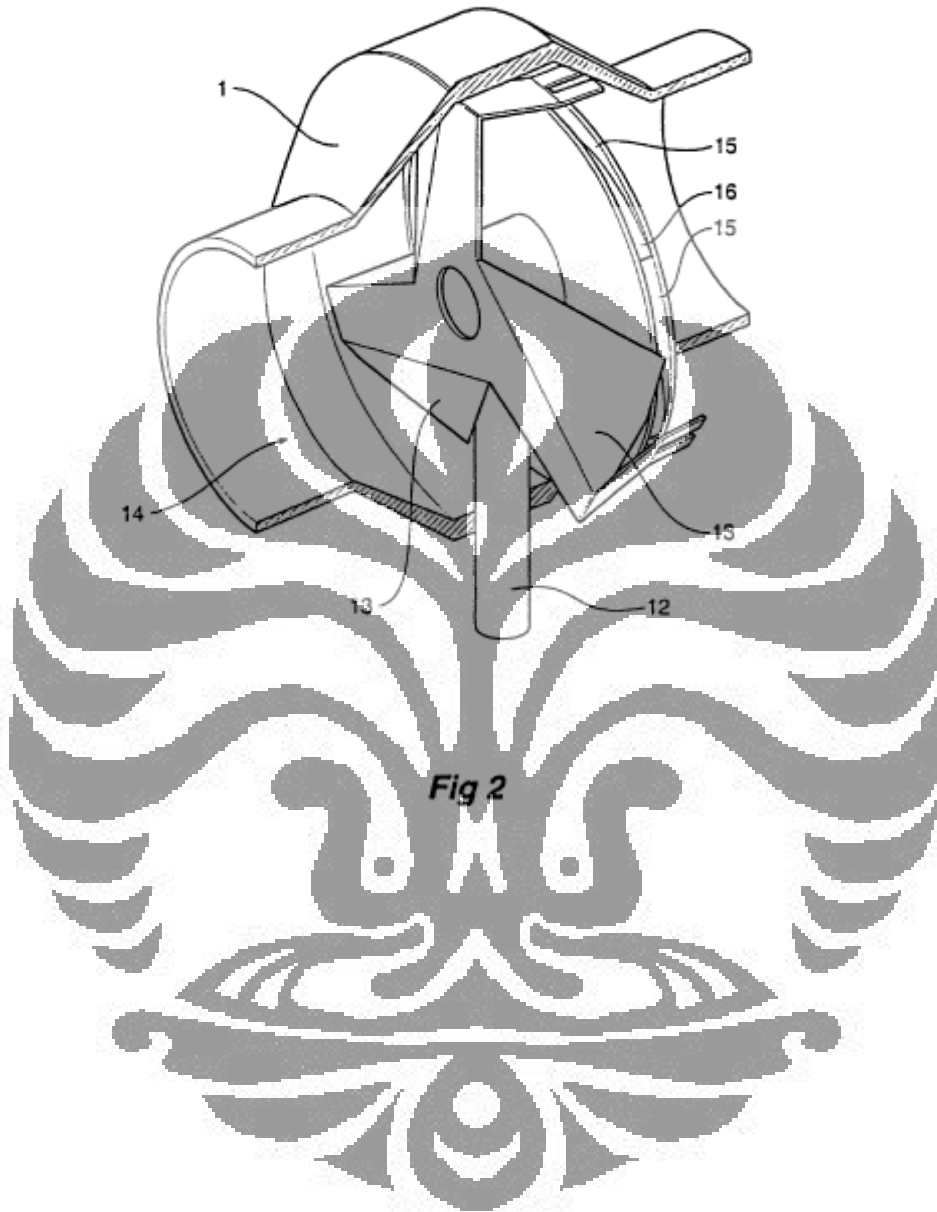
(57) **ABSTRACT**

A method and arrangement of supplying a supplementary fuel (8) to a compression ignition internal combustion engine wherein an air supply (3) to the engine is first caused to pass through a natural vortex (1), and a supply of supplementary fuel (8) to the engine is supplied into a low pressure area in the natural vortex (1) which provides a substantially correct ratio of supplementary fuel to main fuel through varying fuel conditions.

7 Claims, 4 Drawing Sheets







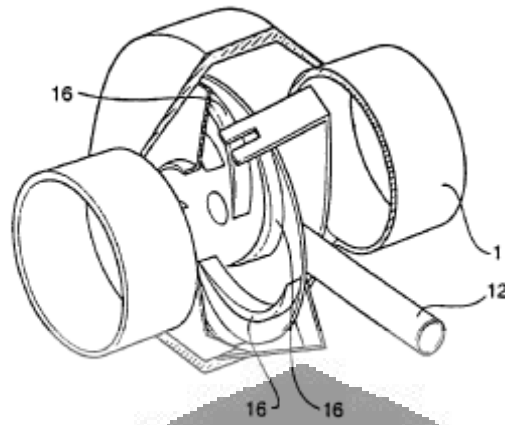


Fig 3

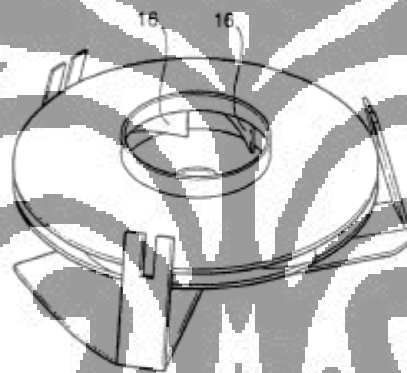
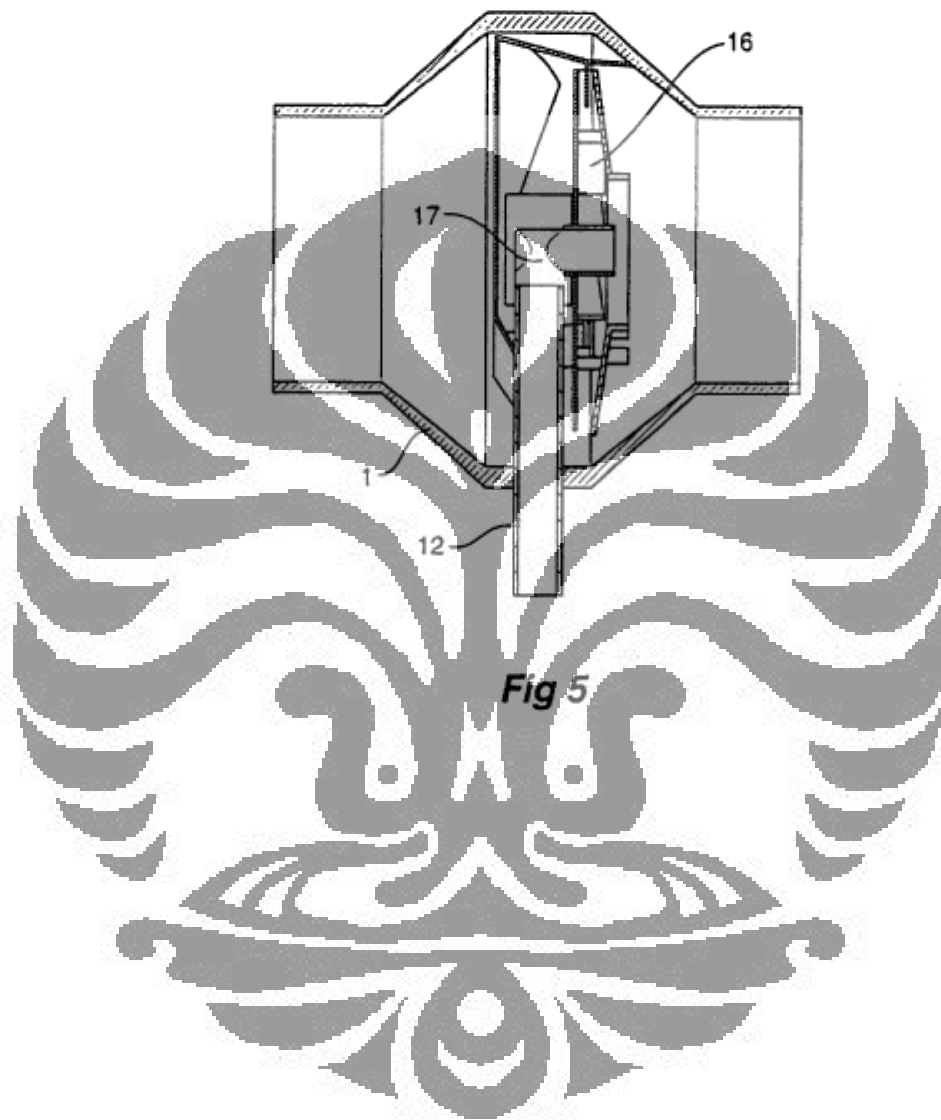


Fig 4



US 7,000,573 B2

1

## COMPRESSION IGNITION ENGINES

## TECHNICAL FIELD

This invention relates to engines of a type often referred to as "diesel engines" but which are more generally described as compression ignition internal combustion engines.

## BACKGROUND ART

While such engines use "diesel" as a fuel, such fuel can be usefully supplemented by other fuels in certain circumstances.

This invention relates to a fuel supplementation process and method and to an arrangement for using supplementary fuels in engines of this type.

Characteristics of this type of engine include a main fuel injection system, means to change an amount of main fuel being injected into the engine in response to load demands on the engine, and an air supply. This type of engine works best with an approximately constant pressure cycle which provides a relatively flat torque curve and generally low specific fuel consumption. However this ideal is not readily achieved. One factor in this is that in order to achieve a reliable and instant ignition requires a fuel with a high octane rating but in order to then achieve a long slow burn requires a fuel with a low octane rating. To achieve reliable ignition with a subsequent long slow burn then essentially requires two different fuels. This is where fuel supplementation can be very advantageous where a main fuel is a fuel with a high octane rating, and the subsequent supplementary fuel is a fuel with a high octane and low octane rating.

It is currently known to provide some fuel supplementation by adding supplementary fuel into an air supply where a "diesel" or compression ignition engine is turbo charged.

However, one of the difficulties that currently exists is the difficulty of ensuring that there is an appropriate ratio of supplementary fuel and air through changing load conditions.

## DISCLOSURE OF THE INVENTION

In accordance with this invention, I have found that there is very significant advantage achieved by providing that an air supply for a compression ignition type engine be drawn through an arrangement effecting a natural vortex with a low pressure center core with such air and then to receive the low pressure core of any such vortex formed with a supply of supplementary fuel so that the supplementary fuel will be drawn in to the low pressure core of the vortex and thereby be supplied through an air intake of the engine.

Such an arrangement I have surprisingly discovered has an advantage that a beneficial ratio of air and a supplementary fuel is maintained by the characteristics of the natural vortex through changing load conditions.

This is in contradiction for instance with more traditional techniques used to effect control of proportionality.

In this way then, it is found that the ratio of supplementary fuel to main fuel supply can remain more constant through changing load levels even though the engine speed and the air being drawn into the engine as a result of that engine speed will not vary substantially through such changing load levels.

This has a significant advantage that through an operating cycle of an engine with changing loads that the ratio will be kept such that pre-ignition that might otherwise be caused by

2

an excess of supplementary fuel will be reduced. It also has the advantage that a high octane fuel can be used as the supplementary or auxiliary fuel. The advantage of this is that once ignition has been effected through the compression of the main fuel, the slower burning high octane fuel will extend a burning period contributing to a more extended constant pressure through the burning cycle.

In one form then, the invention can be said to reside in a method of supplying a supplementary fuel supply to a compression ignition internal combustion engine, which includes the step of having an air supply to the engine first caused to pass through a natural vortex creator, and effecting a supply of supplementary fuel to the engine by introducing supplementary fuel into a low pressure area within a centre of any natural vortex adapted to be created by the vortex creator.

A characteristic of such engines is that they have their speed constrained by a governor with increase or decrease in power being achieved by an increase or decrease in fuel being injected into the engine with substantially the same air flow being maintained. This however means that there will be relatively minor changes in air flow rates in response to load output changes. My discovery has been that by use of the natural vortex the amount of supplementary fuel being in preference, the supply of fuel in fluid form is provided at a substantially constant pressure so that the amount of fuel being supplied into the low pressure region of the vortex will be in proportion to such low pressure and this in turn will result in a relatively constant ratio of fuel to air being supplied to a downstream "diesel" engine.

In preference, the fuel being a fluid is a gas although liquid fuels can be used in other instances where there is a preliminary vaporisation by use of a second natural vortex creator.

There is advantage in providing a supplementary fuel as a gas in that this then provides a higher octane fuel which is then mixed with a lower octane fuel so that there is a longer burn etc.

However, there can be other reasons to have a different fuel for instance where the supplementary fuel is hydrogen. This can provide for extremely clean or environmentally good outputs while there may be some loss in efficiency which however is acceptable. The advantage of the invention in providing reliable main fuel to supplementary fuel ratios in varying load conditions is even more useful with such a gas where high supplementary to main fuel ratios are desirable.

In experiments conducted so far, it is found that the balance of fuels should be such that the total mixture is slightly lean for instance a ratio of 20:1 as compared to perhaps a stoichiometric mixture of 16:1 which is the ratio for 1.9%.

The advantages of this arrangement in a preferred example offer a least one or more of the following, namely, additional power available from an existing engine, lower exhaust temperatures than otherwise would be expected, less fuel and oil consumption, smoother running and costs savings.

The creation of a natural vortex is possible using appropriately shaped vanes or apertures passing through a conduit aligned so as to cause the air to be drawn through these to form a spiral path. A natural vortex is one where a center of the vortex is at a lower pressure than its outer parts. This is in contrast to a

Prior examples of gas supplementation have been traditionally of what is called "a gas fumigation type" where at a selected load on the "diesel" engine, gas is introduced into

3

the intake manifold in order to increase the power. An example of this is available currently on the Internet at the URL being www.bullydog.com, or there is a system known as "torque master system" for trucks sold under the registered trade mark "CATERPILLAR".

Under such previous techniques, a supplementation rate of 30% supplementary fuel by weight as compared to a total fuel being supplied has been accepted by the industry as a practical upper limit in that higher supplementation has resulted in pre-ignition effects which make this increase unacceptable.

With the current invention and in relation to the embodiment, supplementation up to 75% of the total fuel provided has been found to be possible without the pre-ignition effect. There has also been improvement in engine efficiency with exhaust temperatures lowered in several trials by some 40° C.

In a further form then the invention can be said to reside in a method of supplying a fuel supply to a compression ignition internal combustion engine which includes having an air supply to the engine first caused to pass through a natural vortex creator, and effecting a supply of supplementary fuel to the engine by introducing supplementary fuel into a low pressure area within a central area of any natural vortex being created by the vortex creator.

In preference the main fuel supply is of a high octane rating and the supplementary fuel is of high octane rating.

In preference the supplementary fuel is being provided at a substantially constant pressure to the low pressure area within a central area of a natural vortex.

In preference the supplementary fuel is first supplied as a liquid which is introduced into a low pressure area of a second natural vortex creator with a low pressure center core which is arranged to effect a natural vortex with air being drawn through it by the engine which then in turn fed as a vapour into the low pressure area of a vortex created by the first said natural vortex creator as the supplementary fuel.

In a further form the invention can be said to reside in a compression ignition internal combustion engine including in its air supply a natural vortex creator with a conduit connecting an outlet of the vortex creator with an inlet of the engine, a conduit connecting a source of supplementary fuel with the vortex creator so as to have an outlet of the said conduit communicating with a low pressure center of a vortex.

In a further form the invention can be said to reside in a compression ignition internal combustion engine including at least one piston within a cylinder, a main fuel injector to effect injection of fuel into each respective cylinder, means to effect a change in quantity of main fuel being injected into the cylinder in response to change in load applied to the engine, a conduit connecting an outlet of a natural vortex creator with an air inlet of the cylinder of the engine, a conduit connecting a source of supplementary fuel with the vortex creator with its outlet communicating with a low pressure center of the vortex creator.

In a further form the invention can be said to reside in a compression ignition internal combustion engine including at least one piston within a cylinder, a main fuel injector to effect injection of fuel into each respective cylinder, means to effect a change in quantity of main fuel being injected into the cylinder in response to change in load applied to the engine, a conduit connecting an outlet of a natural vortex creator with an air inlet of the cylinder of the engine, a conduit connecting a source of supplementary fuel in a gaseous form with the vortex creator with its outlet communicating with a low pressure center of the vortex creator,

4

means connecting a source of the supplementary fuel as a liquid to a low pressure area of a second natural vortex creator which is arranged to effect a natural vortex with air being drawn through it by the cylinder, a conduit connecting an outlet of the second natural vortex creator to a low pressure area of the first said natural vortex creator.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

The invention will be better understood when described with reference to an embodiment, and accordingly this is described with the assistance of drawings where:

FIG. 1 is a schematic layout illustrating the way in which a vortex creator is coupled in an airflow stream through to a "diesel" engine;

FIG. 2 is a part cut away of a vortex creator with an inlet tube for the supplementary fuel supply;

FIG. 3 is a part cut away perspective view of a vortex creator including a gas input;

FIG. 4 is a part cut away of a different view of the vortex creator showing in this case curved vanes which direct air into a natural vortex formation; and

FIG. 5 is a cross sectional view showing dimensions of the parts providing for the vortex creation.

BEST MODE FOR CARRYING OUT THE INVENTION

Referring in detail to the drawings, and in particular to FIG. 1, there is a natural vortex creator 1 which is positioned in line from an air inlet filter 2 which has a passage 3 directing air into the vortex creator 1 which thereafter is connected by passage 4 through to manifold 5 of a "diesel" engine 6.

A low pressure gas (LPG) supply which holds gas in liquid form is shown at 8 and this is connected via conduit 9 through solenoid operated valve 10 to a liquid to gas converter at 11. The liquid to gas converter then supplies gas through conduit 12 at a relatively constant pressure so that this is fed into a low pressure center of any natural vortex that is formed within the vortex creator 1. The vortex creator itself is shown in greater detail in FIG. 2 through to 5, and consists of a plurality of vanes such as is shown in 13 which assist to provide a preliminary direction path to air being introduced in the direction 14 so that the air then passes into channels shown at 15 typically which are each defined by vanes such as at 16 which are in arcuate form and chosen so as to provide the air that passes through this into a central area will thereafter follow and be caught within a natural vortex with its centripetal effect being zapped.

Such a vortex which is exclusively referred to as a centrifugal or natural vortex is to be compared with an alternate type vortex which might be called a centrifugal vortex but such an alternate effect generally will not have a low pressure center.

Such distinctions however may be academic in precise terms some characteristics of both may be exhibited in formation. For this reason it is perhaps for the sake of accuracy better to refer to the natural vortex where there is a low pressure center at its core and where this is being used for the purposes of this invention. Therefore while the term "centrifugal vortex" has been used in some instances it is better to say that the vortex is having its centripetal component being used and we have used the term "natural vortex with a low pressure center" to distinguish the characteristics required.



US 7,000,573 B2

5

The vortex might be distinguished by reference to a centripetal or natural vortex providing a low pressure at its centre.

There are known devices to provide a centripetal vortex but we have described once instance only of this which has been found to provide good effect.

According to this invention and this embodiment in particular however, air is drawn through such a vortex creator so as to cause a low pressure to be caused at the centre of such a vortex, and conduit 12 has its opening as shown specifically in FIG. 5 so as to be located at the relative centre 17 so that it will connect with the lowest pressure position of the vortex that might be formed by the air passing through the channel between the vanes 16 and then through a downstream passage into the "diesel" or compression

internal combustion engine. Using this arrangement to effect a control of the degree of mixing of air with gaseous fuel has shown itself to provide significant reliability in respect of such ratio, especially over a reasonable range of power demands and this has had the advantage of being able to maintain performance in a over a range of power demands.

Hitherto this has been attempted to be achieved by electrical devices which are complex and may have serious reliability difficulties. The arrangement using simply a natural vortex is not dependent on electrical components or a large number of moving parts and is therefore significantly more reliable.

An example of actual results is now set out which generally show the extent of consistency of results thus far obtained. It is of value to say that the reason the arrangement works so well in the trials conducted so far is not understood. It is suspected that the dynamic nature of pressure levels within a centripetal vortex are such as to cause this to respond to rapidly changing pressure levels at an outlet end with a very rapid change in its low pressure at its inlet end. However, this is a case where it is going to require significant further investigation to prove any theory.

The example is now given as follows:

EXAMPLE 1

The internal combustion engine is a Perkins T4-236 driving a 52 kW generator set running at 3600 rpm. The engine has a displacement of 5.80 litres and a compression ratio of 16:1. The intake to the engine has been modified to include a water heated gasifier for LPG and includes a natural vortex creator in line with the air inlet with liquid petroleum gas which is fed through the LPG gasifier so that the outlet from this will then be connected directly to a low pressure centre core of the natural vortex creator.

The results are summarised in the following table which characterises the consistency in the ratio of fuel power input derived from diesel as compared to total fuel input power of the combined fuels for increased loads, where for 20 kW this ratio is 0.35, 30 kW is 0.37 and for 40 kW is 0.44.

Similarly, the percentage LPG by mass of supplemented fuel varied little over the range of power outputs, where for 20 kW the fuel was approximately 63% LPG by mass, 61% LPG by mass at 30 kW and 54% LPG by mass at 40 kW. The advantages of being able to operate with such high percentage supplementation are obvious in terms of cost savings.

Comparison figures for diesel alone are given from which it can be seen that there are significant reductions in carbon dioxide and nitrous oxide levels in the exhaust when supplementing. Furthermore, there is only a very marginal drop in

6

overall thermal efficiency of the plant when comparing supplementation of fuel with diesel alone for a given power output.

LOAD kW	time/200 min	kW of Diesel kW	mass of LPG kg	kW of LPG kW	Efficiency %	Diesel Mass ratio %	Energy rate Diesel/Total
20	109	14.7	0	0	30.9	100	1.00
20	214	33.0	0.284	61.4	21.2	48.1	0.35
30	77	91.6	0	0	32.7	100	1.00
30	168	42.0	0.254	70.0	26.8	54.2	0.37
40	59	139.6	0	0	33.5	100	1.00
40	125	56.4	0.192	71.1	31.4	52.8	0.44

LOAD kW	CO2 %	CO2 reduce %	NO x ppm	NO x reduce %	Opacity %	AFR	HC
20	6.23		366		16		34.2
20	5.8	6.9	221	39.6	4	75.0	30.5
30	8.18		645		34		26.6
30	7.47	8.7	406	38.0	14	58.8	26.3
40	8.71		958		50		22.7
40	7.88	9.5	553	41.0	33	34.0	23.3

From these tests, it has been established so far that the constant ratio over varying loads can be kept substantially constant by the relatively simple mechanism being described which has significant advantages through a range of supplementary fuels and other compression ignition internal combustion engines.

It is found that this arrangement is applicable both to direct and indirect injection types of "diesel" engines, and it is also applicable to "diesel" engines which do not have turbo boost. As such, it is therefore even more useful.

The invention claimed is:

1. A method of supplying a fuel supply to a compression ignition internal combustion engine which includes having an air supply to the engine first caused to pass through a natural vortex creator, and effecting a supply of supplementary fuel to the engine by introducing supplementary fuel into a low pressure area within a central area of any natural vortex being created by the vortex creator.

2. A method of supplying a fuel supply to a compression ignition internal combustion engine as in claim 1, further characterised in that a main fuel supply is of a high octane rating and the supplementary fuel is of high octane rating.

3. A method of supplying a fuel supply to a compression ignition internal combustion engine as in claim 1, wherein the supplementary fuel is being provided at a substantially constant pressure to the low pressure area within a central area of a natural vortex.

4. A method of supplying a fuel supply to a compression ignition internal combustion engine as in claim 1, further characterised in that the supplementary fuel is first supplied as a liquid which is introduced into a low pressure area of a second natural vortex creator which is arranged to effect a natural vortex with air being drawn through it by the engine which then in turn as a vapour is fed into the low pressure area of a vortex created by the first said natural vortex creator as the supplementary fuel.

5. A compression ignition engine including in its supply a natural vortex creator, a conduit connecting an outlet of the vortex creator with an air inlet of the engine, a further conduit, on a source of supplementary fuel with the vortex creator so as to have an outlet of the said conduit communicating with a low pressure area of a vortex.

US 7,000,573 B2

7

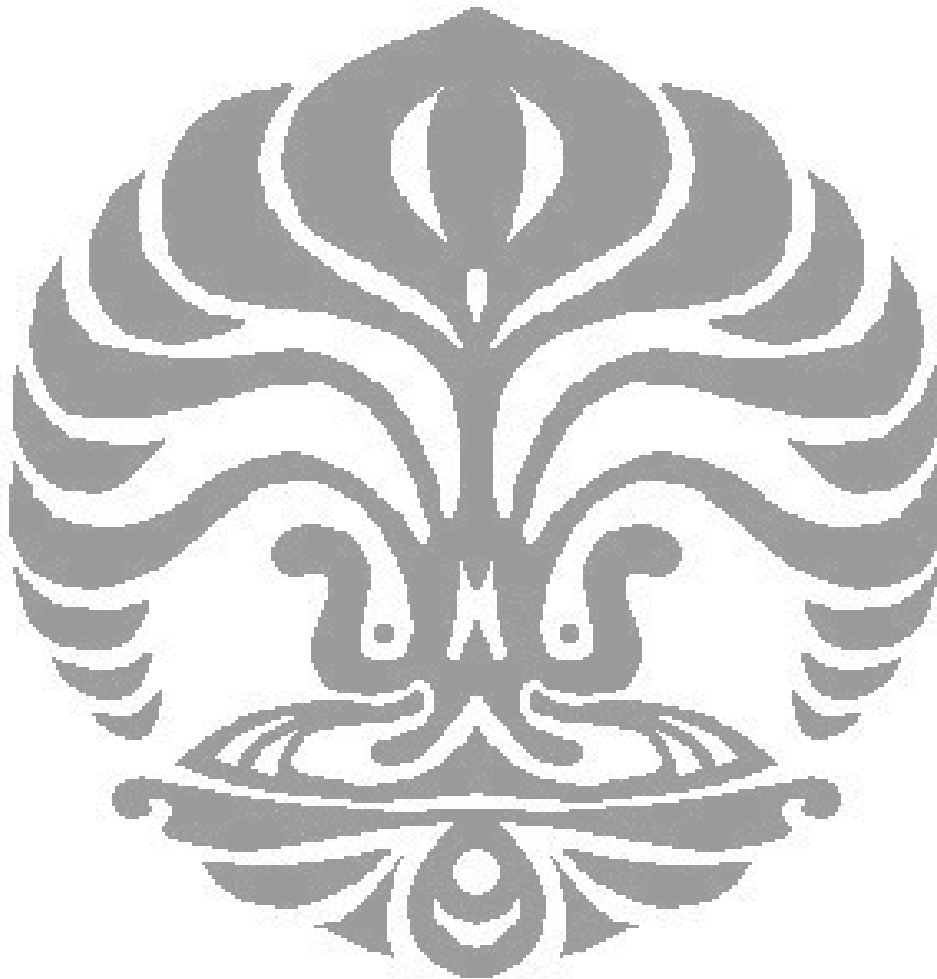
6. A compression ignition internal combustion engine including at least one piston within a cylinder, a main fuel injector to effect injection of fuel into each respective cylinder, means to effect a change in quantity of main fuel being injected into the cylinder in response to change in load applied to the engine, a conduit connecting an outlet of a natural vortex creator with an air inlet of the cylinder of the engine, a conduit connecting a source of supplementary fuel with the vortex creator with its outlet communicating with a low pressure center of the vortex creator.

7. A compression ignition internal combustion engine including at least one piston within a cylinder, a main fuel injector to effect injection of fuel into each respective cylinder, means to effect a change in quantity of main fuel

8

being injected into the cylinder in response to change in load applied to the engine, a conduit connecting an outlet of a natural vortex creator with an air inlet of the cylinder of the engine, a conduit connecting a source of supplementary fuel in gaseous form with the vortex creator with its outlet communicating with a low pressure center of the vortex creator, means connecting a source of the supplementary fuel as a liquid to a low pressure area of a second natural vortex creator which is arranged to effect a natural vortex with air being drawn through it by the cylinder, a conduit connecting an outlet of the second natural vortex creator to a low pressure area of the first said natural vortex creator.

\* \* \* \* \*



# Appendix 5: Safety form

Faculty Operations Portfolio CF105

Issue 4 23/08/07



## RISK MANAGEMENT PLAN

Before Commencement –YOU MUST- refer to the *Risk Management Guide*.

The purpose of 'Risk Management' is not to make QUT risk adverse but to pro-actively manage risks to ensure the safety, health and wellbeing of all QUT staff, colleagues, students and visitors.

Project Title: Dual Fuel Diesel Engine, Testing of Vortex Mixer.

Project Type (tick appropriate box)							
UG Project	<input checked="" type="checkbox"/>	PG Research Project	<input checked="" type="checkbox"/>	Staff Research Project	<input checked="" type="checkbox"/>	Commercial	<input type="checkbox"/>
UG Class Exercise	<input type="checkbox"/>	PG Class Project	<input type="checkbox"/>	Integrated Project	<input type="checkbox"/>	Work Activity	<input type="checkbox"/>
Project Discipline (tick appropriate box)							
Engineering Systems	<input checked="" type="checkbox"/>	Design	<input checked="" type="checkbox"/>	Urban Development	<input type="checkbox"/>	Research	<input checked="" type="checkbox"/>
Teaching & Learning	<input type="checkbox"/>	Faculty Operations	<input type="checkbox"/>	External Relations	<input type="checkbox"/>	Other (detail below)	<input type="checkbox"/>
Other.....							
Project/Work Details (Specify extent of project)							
Design and Testing of Vortex mixer in the wind tunnel. Manufactured parts such as pipes or tubes, Perspex and etc.							
Objectives: To measure temperature and velocity profile of the air and smoke mixture of flow. To construct test rig in the test section of wind tunnel.							
Proposed commencement date							
March 2007							
Project Team Members & Contact phone numbers							
CHOONG CHIN KIT, 0413254034, Muhammad Ridho Ade Putra Sinuraya, 0421748058, Dr Rong Situ, 0418 340 188							
Project Location (site, room, etc)							
Thermodynamic Lab O123, 122, 122A, 119, 125							
RISK CALCULATOR (see guide for explanation on use)							
	CONSEQUENCES						
LIKELIHOOD	INSIGNIFICANT	MINOR	MODERATE	MAJOR	CATASTROPHIC		
ALMOST CERTAIN	MODERATE	HIGH	EXTREME	EXTREME	EXTREME		
LIKELY	MODERATE	HIGH	HIGH	EXTREME	EXTREME		
MODERATE	LOW	MODERATE	HIGH	EXTREME	EXTREME		
UNLIKELY	LOW	LOW	MODERATE	HIGH	EXTREME		
RARE	LOW	LOW	MODERATE	HIGH	HIGH		



**RISK ASSESSMENT REGISTER**

Complete Table for All Identified hazards. Where a Documented Control exists, place the details in the Control Measures column.

All Control Measures MUST comply with State & Federal Legislative Requirements

Hazard or Task	Assessed Risks (List all risks associated with the Hazard or Task)	Appropriate Control Measures	Risk Level Initial / Final	Date Implemented	Valid Until	Individuals Consulted	Approver Signature
Dismantle wind tunnel	Heavy parts, sharp edges	Required at least 4 persons to work on this task when lifting parts. -Use correct hold to work on this task such as screwdriver, wrench and power drill. -Wear gloves	High / Final	27/8/2007	1/1/2008	Dr Richard Brown, Tony Morris and Glenn Turner	
Testing	Slip, tripe general on speed of air flow	-Control the amount of sample air speed direction of flow -Use appropriate mechanism or apparatus when working on this task -Turn on ventilation using scale	Moderate / Low	27/8/2007	1/1/2008	Dr Richard Brown, Tony Morris and Glenn Turner	
Assemblies	Heavy parts, sharp edges	-Required at least 2 persons to work on this task -Use correct tools to work on this task such as screwdriver, wrench and power drill. -Wear gloves	High / Moderate	27/8/2007	1/1/2008	Dr Richard Brown, Tony Morris and Glenn Turner	
Measurement	Sharp Edges	-Pay attention for sharp edges. -Use correct tools such as calliper and measurement tags	Moderate / low	27/8/2007	1/1/2008	Dr Richard Brown, Tony Morris and Glenn Turner	

Make additional copies of this page as required

APPROVAL							
Conducted By	Muhammad R. Sinuraya		Signature		Date	27/8/08	
Approved By	R. J. BROWN		Signature		Date	27/8/08	

Individuals approving this document accept responsibility for the appropriateness of controls and for the validity of the Risk Management Plan.

This document is to be kept by the Approver for the duration of the project, then forwarded to the Faculty Health & Safety Officer