



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**STUDI EKSPERIMENTAL DAN KOMPUTASI NUMERIK  
PADA *RECTANGULAR ELBOW* DENGAN ANGKA *REYNOLDS*  
150.000**

**TUGAS AKHIR**

**GIRI WICAKSONO**

**L2E 307 020**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG**

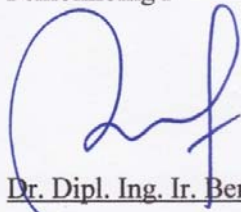
**MARET 2011**

## TUGAS SARJANA

- Diberikan kepada : Nama : Giri Wicaksono  
NIM : L2E 307 020
- Dosen Pembimbing : 1. Dr.Ir.Dipl.Ing.Berkah Fajar TK  
2. Khoiri Rozi, ST, MT
- Jangka Waktu : 23 (dua puluh tiga) bulan
- Judul : STUDI EKSPERIMENTAL DAN KOMPUTASI  
NUMERIK PADA *RECTANGULAR ELBOW* DENGAN  
ANGKA *REYNOLDS* 150.000
- Isi Tugas : - Mengetahui distribusi *Pressure (P)* dan *coeffisien pressure (Cp)* yang mengalir didalam *rectangular elbow*.  
- Mengetahui debit (Q) pada *rectangular elbow*.  
- Mengetahui bentuk aliran didalam *rectangular elbow* menggunakan software *FLUENT 6.3.26*.  
- Mengetahui hasil dari simulasi *FLUENT 6.3.26*.

Semarang, 22 Maret 2011

Menyetujui,  
Pembimbing I



Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fajar TK

NIP. 195907221987031003

Pembimbing II



Khoiri Rozi, ST, MT


NIP.197602162009121001

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi/Tesis/Disertai ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.**

**NAMA : Giri Wicaksono**

**NIM : L2E 307 020**

**Tanda Tangan :** 

**Tanggal : 22 Maret 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
NAMA : Giri Wicaksono  
NIM : L2E 307 020  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : STUDI EKSPERIMENTAL DAN KOMPUTASI  
NUMERIK PADA *RECTANGULAR ELBOW*  
DENGAN ANGKA *REYNOLDS* 150.000

Telah berhasil dipertahankan di hadapan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

### TIM PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fadjar TK (  )  
Pembimbing II : Khoiri Rozi, ST, MT (  )  
Penguji I : Dr. Susilo Adi W, ST, MT (  )  
Penguji II : Ir. Sudargana, MT (  )

Semarang, 22 Maret 2011

Ketua Jurusan Teknik Mesin

  
Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fadjar TK

NIP. 195907221987031003

## **HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Giri Wicaksono  
NIM : L2E 307 020  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Tugas Akhir

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“STUDI EKSPERIMENTAL DAN KOMPUTASI NUMERIK PADA  
RECTANGULAR ELBOW DENGAN ANGKA REYNOLDS 150.000”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang  
Pada Tanggal : 22 Maret 2011

Yang menyatakan

  
(Giri Wicaksono)

## ABSTRAK

Penelitian tentang *internal flow* telah banyak dilakukan dan terus berkembang. Salah satunya adalah aliran yang melalui *rectangular elbow*. Pada karakteristik aliran yang melalui *rectangular elbow* sangatlah rumit dan mengalami berbagai macam fenomena. Salah satunya adalah terbentuknya *secondary flow*. Fenomena aliran ini terjadi karena adanya interaksi *boundary layer* pada *corner wall*. Efek yang ditimbulkan oleh aliran sekunder ini adalah penyumbatan aliran (*blockage effect*) sehingga mengurangi *effective flow area*.

Model uji yang digunakan adalah *Air Flow Bend AF 15* yang berada di dalam Laboratorium Thermofluid Teknik Mesin UNDIP dengan Diameter hidrolis (Dh) = 66,7 mm, menggunakan kecepatan  $U \approx 33$  m/s dan *Reynold Number* sebesar 150000. Variabel yang diukur adalah tekanan statis dengan menggunakan *Inclinable Multitube Manometer* dan dihubungkan pada *wall pressure tappings* yang kemudian dapat menghasilkan grafik distribusi *wall Pressure Coefficient (Cp)*.

Penelitian dilakukan secara eksperimen dan visualisasi numerik menggunakan software FLUENT 6.3.26 dan GAMBIT 2.4.6 agar dapat memberikan informasi mengenai fenomena aliran yang melintasi *rectangular elbow*. Dengan menggunakan dua metode penelitian didapatkan hasil mengenai distribusi tekanan pada *outer*, *inner wall* dan *radial section* serta mengetahui jumlah debit (Q) pada saluran masuk, belokan  $\theta = 45^\circ$  dan saluran keluar.

Kata kunci : *internal flow, rectangular elbow, secondary flow, Pressure Coefficient (Cp)*

## **ABSTRACT**

*Research about the internal flow have been done and continues to grow up. One of all is the flow through a rectangular elbow. On the flow characteristic that the rectangular elbow through is so complicated and have many kinds of phenomena. There is the formation of secondary flow. This flow phenomenon occurs because of boundary layer interaction on the corner wall. The effect caused by this secondary flow is the flow blockage (blockage effect), so that reducing the effective flow area.*

*The test model used was Air Flow Bend AF 15 inside Mechanical Engineering Laboratory Termofluid UNDIP with hydraulic diameter ( $D_h$ ) = 66.7 mm, using the velocity  $U \approx 33$  m / s and Reynolds Number of 150,000. The variable measured is static pressure using a manometer Multitube Inclinal and connected to wall pressure tappings then can produce wall distribution graph Pressure Coefficient ( $C_p$ ).*

*Research conducted in experimental and numerical visualization using the software FLUENT GAMBIT 6.3.26 and 2.4.6 in order to provide information about flow phenomena that crosses the rectangular elbow. By using the two methods showed the results of pressure distribution on the outer, inner wall and the radial section and know the amount of discharge ( $Q$ ) in the inlet, the bend  $\theta = 45^\circ$  and outlet.*

*Keyword : internal flow, rectangular elbow, secondary flow, Pressure Coefficient ( $C_p$ )*

## MOTTO

*Sesungguhnya, Aku mengingatkan kepadamu supaya kamu tidak termasuk orang-orang yang tidak berpengetahuan.*

(QS Hud : 46)

*Tak ada rahasia untuk menggapai sukses. Sukses itu dapat terjadi karena persiapan, kerja keras, dan mau belajar dari kegagalan.*

(General Colin Powell)

## PERSEMBAHAN

*Kupersembahkan Tugas Sarjana ini kepada Ibu,  
Bapak, Kakakku, dan Adikku yang tercinta...  
Teman Teknik Mesin Angkatan 2007 UNDIP...*

*Terima kasih atas berbagai dukungan dan doa yang  
telah diberikan...*



## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan judul “STUDI EKSPERIMENTAL DAN KOMPUTASI NUMERIK PADA *RECTANGULAR ELBOW* DENGAN ANGKA *REYNOLDS* 150.000”. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi pada program strata satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih atas bimbingan, bantuan, serta dukungan kepada :

1. Dr.Ir.Dipl.Ing. Berkah Fajar T K, selaku Dosen Pembimbing dan selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang.
2. Khoiri Rozi, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing II
3. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang turut membantu dalam pelaksanaan dan penulisan Tugas Sarjana ini.

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menyadari banyak kekurangan. Oleh karena itu segala kritik yang bersifat membangun akan diterima dengan senang hati untuk kemajuan bersama. Akhir kata penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat kepada siapa saja yang membutuhkan data maupun referensi yang ada dalam laporan ini.

Terima kasih.

Semarang, 22 Maret 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

JUDUL .....	i
TUGAS SARJANA .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	v
ABSTRAK .....	vi
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
NOMENKLATUR.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Metode Penelitian .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II DASAR TEORI .....	5
2.1 Dasar Teori.....	5
2.1.1 <i>Pressure coefficient (Cp)</i> .....	6
2.1.2 Debit (Q) .....	8
2.1.3 <i>Angka Reynolds (Re)</i> .....	9
2.2 Kajian Penelitian Aliran pada <i>Rectangular Elbow 90<sup>0</sup></i> .....	9
2.3 Investigasi Aliran Pada <i>Rectangular Elbow 90<sup>0</sup></i> .....	14

2.4	Topologi Aliran Pada <i>Rectangular Elbow 90<sup>0</sup></i> .....	18
2.5	<i>Numerical Modeling</i> .....	20
2.5.1	<i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i> .....	21
2.5.2	<i>FLUENT</i> .....	22
2.5.3	Diskritisasi .....	22
2.5.3.1	<i>First-Order Upwind Scheme</i> .....	23
2.5.3.2	<i>Second-Order Upwind Scheme</i> .....	23
2.5.4	Model Turbulen ( <i>TURBULENCE MODELS</i> ).....	23
2.5.4.1	<i>k-epsilon (k-ε)</i> .....	24
2.5.4.1.1	<i>Standard</i> .....	24
2.5.4.1.2	<i>RNG</i> .....	24
2.5.4.1.3	<i>Realizable</i> .....	25
2.5.4.2	<i>k-omega (k-ω)</i> .....	25
2.5.4.2.1	<i>Standard</i> .....	25
2.5.4.2.2	<i>SST</i> .....	26
2.5.5	Jenis <i>Grid</i> .....	26
2.5.6	Kualitas <i>Mesh</i> .....	27
2.5.7	Kerapatan <i>Nodal</i> .....	28
BAB III METODE PENELITIAN.....		29
3.1	Deskripsi Alat Uji .....	29
3.2	Instalasi Alat Uji dan Peralatan Pendukung .....	30
3.3	Peralatan Pendukung.....	34
3.4	Prosedur Percobaan.....	36
3.4.1	Langkah-langkah Persiapan Percobaan .....	36
3.4.2	Langkah Prosedur Pengambilan Data pada Sisi <i>Inner, Outer</i> dan <i>Radial Section</i> .....	36
3.5	Visualisasi Numerik.....	37
BAB IV HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN .....		42
4.1	Data Hasil Eksperimental.....	42

4.2	Analisa Perhitungan .....	44
4.2.1.	Hasil Perhitungan Tekanan ( $p$ ) dan Perhitungan <i>Pressure Coefficient</i> ( $C_p$ ) .....	45
4.2.2.	Perhitungan <i>Discharge Coefficient</i> ( $C_d$ ) .....	48
4.2.3.	Perhitungan <i>Debit</i> ( $Q$ ) .....	49
4.2.3.1	Debit dengan Persamaan Teoritis .....	50
4.2.3.2	Debit dengan persamaan aktual .....	50
4.3	Hasil Analisa <i>Fluent</i> .....	51
4.3.1	Distribusi <i>Pressure Coefficient</i> ( $C_p$ ) Searah <i>Streamline</i> .....	51
4.3.2	Distribusi <i>Pressure Coefficient</i> ( $C_p$ ) Tegak Lurus <i>Streamline</i> .....	53
4.3.3	Profil kecepatan .....	54
4.3.4	<i>Secondary Flow</i> .....	56
4.4	Pembahasan Hasil Eksperimen dan Simulasi Numerik .....	60
BAB V PENUTUP.....		63
5.1.	Kesimpulan.....	63
5.2.	Saran.....	64

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Rata-rata 6 kali percobaan pada kecepatan = 33 m/s .....	43
Tabel 4.2	$\Delta h$ pada <i>inclinable multitube manometer</i> .....	44
Tabel 4.3	Hasil perhitungan <i>Pressure (p)</i> dan <i>Pressure Coefficient (Cp)</i> .....	45
Tabel 4.4	Distribusi tekanan arah <i>radial section</i> .....	48
Tabel 4.5	<i>Pressure Coefficient (Cp)</i> Eksperimen vs Fluent .....	62
Tabel 4.6	Debit (Q) Eksperimen vs Fluent .....	62

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Asumsi distribusi kecepatan di dalam <i>bend</i> [4] .....	5
Gambar 2.2	Distribusi dari <i>Pressure Coefficient (Cp)</i> dari dinding [4].....	7
Gambar 2.3	Skema yang menggambarkan separasi aliran pada saluran [4].....	10
Gambar 2.4	Pembentukan aliran sekunder di dalam suatu belokkan dari sebuah saluran [4] .....	11
Gambar 2.5	Penampang pipa lengkung berbentuk persegi [1] .....	12
Gambar 2.6	Susunan saluran lengkung 90 <sup>0</sup> dan distribusi tekanan statis pada dinding [7].....	14
Gambar 2.7	Distribusi tekanan statis pada dinding [5].....	15
Gambar 2.8	Geometri saluran 90 <sup>0</sup> dan sistem koordinat [3].....	16
Gambar 2.9	Kontur besaran kecepatan dan kecepatan <i>Cross-Section</i> di lokasi <i>Streamwise</i> (a) $\theta=0^0$ , (b) $\theta=30^0$ , (c) $\theta=60^0$ , dan (d) $\theta=90^0$ [3].....	17
Gambar 2.10	Pola Garis Aliran (a) bidang simetri, (b) sisi dinding, (c) <i>outer wall</i> dan (d) <i>inner wall</i> [3] .....	18
Gambar 2.11	Skema penelitian <i>curved duct</i> [11].....	19
Gambar 2.12	Kontur simulasi tekanan tiga dimensi [11] .....	20
Gambar 2.13	Jenis <i>grid</i> a)2D dan b)3D .....	27
Gambar 2.14	Jenis <i>Mesh</i> dan penggunaannya .....	27
Gambar 2.15	Gambar 2.15 Bagian-bagian <i>Cell</i> .....	28
Gambar 3.1	Uji <i>Air Flow Bench AF 10</i> [4].....	29
Gambar 3.2	Instalasi Penelitian .....	31
Gambar 3.3	<i>Blower</i> .....	31
Gambar 3.4	<i>Honey Comb</i> .....	32
Gambar 3.5	a) <i>Rectangular elbow</i> ; b) Dimensi dari <i>elbow</i> dan posisi dari <i>pressure tappings</i> [4] .....	33
Gambar 3.6	Katup kontrol .....	33
Gambar 3.7	<i>Thermometer</i> .....	34
Gambar 3.8	<i>Inclinable Multi Tube Manometer</i> [4].....	34

Gambar 3.9	<i>Reservoir</i> .....	35
Gambar 3.10	<i>Kestrel</i> .....	35
Gambar 3.11	<i>Viscous Model</i> .....	38
Gambar 3.12	Diagram alir 1 .....	39
Gambar 3.13	Diagram alir 2 (lanjutan 1).....	40
Gambar 3.14	Geometri <i>mesh rectangular elbow</i> .....	41
Gambar 4.1	Skematik penelitian <i>rectangular elbow</i> .....	43
Gambar 4.2	Grafik <i>pressure coefficient (Cp)</i> berdasarkan eksperimen. a) <i>outer wall</i> dan <i>inner wall</i> ; b) <i>radial section</i> .....	47
Gambar 4.3	<i>Tapping</i> arah <i>radial section</i> .....	48
Gambar 4.4	Grafik distribusi <i>wall Pressure Coefficient (Cp)</i> berdasarkan numerik pada <i>inner</i> dan <i>outer wall</i> .....	51
Gambar 4.5	Kontur tekanan statis pada <i>rectangular elbow</i> .....	53
Gambar 4.6	Grafik distribusi <i>wall Pressure Coefficient (Cp)</i> arah <i>radial</i> .....	54
Gambar 4.7	Kontur kecepatan pada bagian tengah bidang.....	55
Gambar 4.8	Kontur kecepatan pada sepuluh section .....	55
Gambar 4.9	<i>Pathline</i> a) tampak samping; b) tampak atas; c) tampak depan.....	57
Gambar 4.10	Vektor kecepatan pada sepuluh <i>section</i> .....	58
Gambar 4.11	Grafik <i>Pressure Coefficient (Cp)</i> Eksperimen vs <i>Fluent</i> a) <i>outer wall</i> ; b) <i>inner wall</i> ; c) <i>radial section</i> .....	61

## NOMENKLATUR

$A$	luas penampang,	[m <sup>2</sup> ]
$b$	lebar penampang <i>elbow</i> ,	[m]
$C_d$	<i>discharge coefficient</i> ,	
$C_p$	<i>Pressure Coefficient</i> ,	
$D_h$	diameter hidrolis,	[m]
$h$	panjang penampang <i>elbow</i> ,	[mm]
$P$	tekanan statis,	[N/m <sup>2</sup> ]
$p_0$	tekanan statis referensi,	[N/m <sup>2</sup> ]
$P - p_0$	tekanan dinamis	[N/m <sup>2</sup> ]
$Q$	laju aliran volume,	[m <sup>3</sup> /s]
$r_1, r_2$	jari-jari kelengkungan <i>elbow</i>	[m]
$Re$	bilangan <i>Reynolds</i>	
$s$	<i>streamline</i>	[mm]
$U$	kecepatan <i>uniform</i> ,	[m/s]
$V$	kecepatan,	[m/s]
$\Delta h$	panjang terukur – datum	[mm]
$\rho$	massa jenis,	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\nu$	viskositas kinematik,	[m <sup>2</sup> /s]
$\mu$	viskositas dinamik,	[kg/m.s]