

**TUGAS SARJANA  
BIDANG KONVERSI ENERGI**

**KAJIAN FENOMENA SEPARASI ALIRAN DAN  
SECONDARY FLOW PADA RECTANGULAR BEND 90  
UNTUK ANGKA REYNOLDS 68400**



**Diajukan Sebagai Syarat Memperoleh Gelar Kesarjanaan Strata Satu (S-1)  
Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro**

**Disusun oleh:**

**Edy Wibowo Cahyono**

**L2E 307 016**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG**

**2011**

## TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Edy Wibowo Cahyono

NIM : L2E 307 016

Pembimbing : 1. Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fajar TK  
2. Khoiri Rozi, ST, MT

Jangka Waktu : 23 (dua puluh tiga) bulan

Judul : KAJIAN FENOMENA SEPARASI ALIRAN DAN  
*SECONDARY FLOW* PADA *RECTANGULAR BEND 90°*  
UNTUK ANGKA *REYNOLDS* 68400

Isi Tugas :

1. Mengetahui ada tidaknya separasi aliran dan aliran sekunder di dalam *rectangular bend 90°*.
2. Mensimulasikan fenomena aliran pada *rectangular bend 90°* dengan *FLUENT*.
3. Mengfungsikan kembali alat uji Air Flow Bench AF15 pada laboratorium Thermofluida Teknik Mesin UNDIP

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fajar TK

NIP. 195907221987031003

Dosen Pembimbing II

Khoiri Rozi, ST, MT

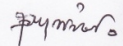
NIP. 197602162009121001

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : Edy Wibowo Cahyono

NIM : L2E 307 016

Tanda Tangan : 



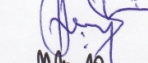
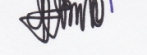
Tanggal : 23 Maret 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
NAMA : Edy Wibowo Cahyono  
NIM : L2E 307 016  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Kajian Fenomena Separasi Aliran dan *Secondary Flow* pada *Rectangular Bend 90°* untuk Angka *Reynolds* 68400

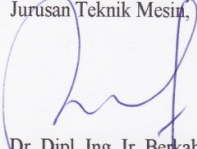
Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

### TIM PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fajar TK (  )  
Pembimbing II : Khoiri Rozi, ST, MT (  )  
Penguji : Dr. MSK. Tony SU, ST, MT (  )  
Penguji : Sri Nugroho, PhD (  )

Semarang,

Ketua  
Jurusan Teknik Mesin,

  
Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fajar 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 : Edy Wibowo Cahyono  
NIM : L2E 307 016  
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:

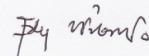
**“KAJIAN FENOMENA SEPARASI ALIRAN DAN SECONDARY FLOW PADA  
RECTANGULAR BEND 90° UNTUK ANGKA REYNOLDS 68400”**

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 : Maret 2011

Yang menyatakan



( Edy Wibowo Cahyono )

## ABSTRAK

Karakteristik aliran yang melalui saluran melengkung sangatlah kompleks. Pada saluran lengkung ini terbentuk aliran sekunder karena adanya interaksi lapisan batas pada daerah sudut. Efek yang ditimbulkan oleh aliran sekunder ini adalah penyumbatan aliran sehingga mengurangi luasan efektif. Adanya penyumbatan aliran maka akan mengakibatkan penurunan debit aliran. Selain aliran sekunder, pada saluran lengkung terjadi juga separasi aliran. Proses separasi diawali dengan adanya aliran fluida yang secara kontinyu melawan gaya gesek dan hambatan berupa *adverse pressure gradient*. *Adverse pressure gradient* pada aliran fluida dapat menyebabkan momentum aliran berkurang. Apabila aliran tidak mempunyai momentum yang cukup untuk dapat mengatasi *adverse pressure gradient*, maka aliran ini akan terseparasi dan berbalik arah dari aliran utamanya.

Dalam Tugas Sarjana ini Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen dan simulasi numerik. Kajian aliran dilakukan pada *rectangular bend 90,°* dengan angka Reynolds 68400 (kecepatan masukan fluida 15 m/s). Variabel yang diukur adalah tekanan pada dinding luar, dinding dalam, dan pada sisi radial untuk mendapatkan koefisien tekanan ( $C_p$ ). Kemudian koefisien tekanan ( $C_p$ ) hasil eksperimen dibandingkan dengan simulasi. Dalam simulasi ini, *Computational Fluid Dynamics (CFD)* digunakan untuk memprediksi fenomena separasi aliran dan aliran sekunder yang terjadi. Pada penelitian ini ditunjukkan fenomena aliran sekunder bergerak dari sisi *outer* menuju sisi *inner* dan menyebabkan *blockage effect*. Pada eksperimen didapat *discharge coefficient* ( $C_d$ ) = 1,040917, debit teoritis = 0,071958 m<sup>3</sup>/s, debit aktual = 0,074902 m<sup>3</sup>/s. Dan pada simulasi didapat *discharge coefficient* ( $C_d$ ) = 1,017981, debit teoritis = 0,073579 m<sup>3</sup>/s, debit aktual = 0,074902 m<sup>3</sup>/s.

Kata kunci: Separasi aliran, Aliran Sekunder, *Rectangular bend*.

## **ABSTRACT**

*Characteristics of flow through curved channels is very complicated. In the curved channel is formed due to secondary flow boundary layer interaction on the corner region. Effects caused by this secondary flow is blocked the flow, thereby reducing the flow effective area. The blockage of the flow will decrease the flow rate. In addition to the secondary flow, in curved channel occurs also separation flow. Separation process begins with the existence of a continuous fluid flow against the friction and obstacles in the form of adverse pressure gradient. Adverse pressure gradient on the fluid flow can cause the momentum of the flow decreases. If the flow does not have enough momentum to overcome the adverse pressure gradient, then this flow will separated and reverse direction from its main flow.*

*In this Final Project research was carried out with experimental and numerical simulation methods. Studies carried out on rectangular bend 90°, at the Reynolds number 68400 (velocity inlet of fluid 15 m/s). The variables measured were the pressure on outer wall, inner wall, and radial section to obtain the pressure coefficient ( $C_p$ ). Then the results pressure coefficient ( $C_p$ ) experimental compared with simulations. In this simulation, Computational Fluid Dynamics (CFD) is used to predict the phenomenon of separation flow and secondary flow occurring. In this study indicated the phenomenon of secondary flow moves from the outer to the inner side and cause the blockage effect. In the experiments obtained discharge coefficient ( $C_d$ ) = 1.040917, theoretical debit =  $0.071958 \text{ m}^3/\text{s}$ , actual debit =  $0.074902 \text{ m}^3/\text{s}$ . And in the simulations obtained discharge coefficient ( $C_d$ ) = 1,017981, theoretical debit =  $0,073579 \text{ m}^3/\text{s}$ , actual debit =  $0.074902 \text{ m}^3/\text{s}$ .*

*Keywords: separation flow, secondary flow, analytical model, Rectangular bend.*

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTTO**

- ❖ Seandainya lautan menjadi tinta dan pepohonan menjadi pena untuk mencatat ilmuNya, maka tidaklah cukup meskipun ditambah dengan tujuh kali lipatnya.  
(Alqur'an)
- ❖ Menuntut ilmu adalah kewajiban bagi orang laki-laki dan perempuan muslim.  
(Muhammad)
- ❖ Sebaik-baik manusia adalah Orang bermanfaat bagi orang lain.  
(Ali bin Abi Thalib)

### **PERSEMBAHAN**

Teruntuk orang-orang yang telah mempersembahkan harta tak ternilai dan tuntunan dengan tulus ikhlas:

- ❖ Ibu dan Bapak tercinta hormat dan terima kasih tak terkira atas segala doa, dukungan dan dorongan yang tiada terbatas dan tak pernah putus mengalir.
- ❖ Ketiga Adikku tersayang atas dukungannya.
- ❖ Eyang kakung, kaliyan eyang putri, pangestunipun, matur sembah nuwun kagem sedoyo pandonga lan panutanipun.



## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat melewati masa studi dan menyelesaikan Tugas Akhir yang merupakan tahap akhir dari proses untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin di Universitas Diponegoro.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan orang-orang yang dengan segenap hati memberikan bantuan, bimbingan dan dukungan, baik moral maupun material. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fajar TK, selaku Dosen Pembimbing I dan Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang.
2. Khoiri Rozi, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing II.
3. Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT, selaku Koordinator Tugas Akhir.
4. Kedua orang tua dan ketiga adikku atas do'a, bantuan serta dorongannya selama ini.
5. Rekan-rekan satu kelompok Tugas Sarjana Lab. Thermofluida.
6. Teman-teman mahasiswa teknik mesin ekstensi D3 angkatan 2007, yang telah banyak membantu penulis baik secara moril, maupun materiil.

Penyusun menyadari bahwa dalam menyusun laporan ini terdapat kekurangan dan keterbatasan, oleh karena itu kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk kesempurnaan dan kemajuan Penulis dimasa yang akan datang sangat diharapkan. Akhir kata Penulis berharap semoga hasil laporan ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Semarang, Maret 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN TUGAS SARJANA .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	v
HALAMAN ABSTRAK.....	vi
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	viii
HALAMAN KATA PENGANTAR.....	ix
HALAMAN DAFTAR ISI .....	x
HALAMAN DAFTAR GAMBAR .....	xiii
HALAMAN DAFTAR TABEL.....	xvi
NOMENKLATUR .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penulisan.....	2
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Metode Penelitian .....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1. Kajian Aliran pada <i>Rectangular Duct</i> .....	5
2.2. Kajian Distribusi Koefisien Tekanan pada <i>Bend 90°</i> .....	7
2.3. Aliran Sekunder pada <i>Bend 90°</i> .....	9
2.4. Aliran Separasi.....	14

2.5.	Persamaan Aliran di dalam <i>Rectangular Bend</i> 90° .....	16
2.6.	<i>Numerical Modeling</i> .....	18
2.6.1.	<i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i> .....	18
2.6.2.	<i>FLUENT</i> .....	19
2.6.3.	Diskretisasi .....	21
2.6.4.	Model Turbulen ( <i>TURBULENCE MODELS</i> ) .....	21
2.6.4.1.	<i>k-epsilon (k- )</i> .....	22
2.6.4.1.1.	<i>Standard k-epsilon</i> .....	22
2.6.4.1.2.	<i>RNG k-epsilon</i> .....	22
2.6.4.1.3.	<i>Realizable k-epsilon</i> .....	23
2.6.4.2.	<i>k-omega (k- )</i> .....	23
2.6.4.2.1.	<i>k-omega Standard</i> .....	23
2.6.4.2.2.	<i>k-omega SST</i> .....	23
2.6.5.	Model Turbulensi di Dekat Dinding ( <i>Near Wall Treatment</i> ).....	24
2.6.6.	Jenis Grid .....	25
2.6.7.	Kualitas Mesh.....	26
2.6.7.1.	Kerapatan Nodal .....	26
BAB III METODE PENELITIAN .....		28
3.1.	Deskripsi Alat Uji .....	28
3.2.	Instalasi Alat Uji Eksperimen.....	30
3.3.	Peralatan Pendukung Eksperimen.....	33
3.4.	Langkah-langkah Persiapan Pengujian .....	35
3.5.	Langkah-langkah Eksperimen .....	35
3.6.	Visualisasi Numerik.....	36
3.6.1.	Pembuatan Geometri dan Meshing.....	36
3.6.2.	Langkah-langkah Simulasi <i>FLUENT 6.3.26</i> .....	36



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema yang menggambarkan separasi aliran pada <i>duct</i> .....	5
Gambar 2.2	Pembentukan aliran sekunder di dalam suatu belokkan dari suatu saluran saluran.....	6
Gambar 2.3	Penampang <i>rectangular duct</i> .....	6
Gambar 2.4	Distribusi <i>static-pressure</i> pada dinding saluran <i>duct</i> 90°.....	7
Gambar 2.5	Distribusi tekanan pada <i>curved wall</i> .....	8
Gambar 2.6	(a) Formasi <i>adverse pressure gradient</i> (b) formasi <i>secondary flow</i> .....	9
Gambar 2.7	Geometri belokkan dan sistem koordinat.....	10
Gambar 2.8	<i>Velocity magnitude contours</i> dan <i>cross-sectional velocity</i> pada empat lokasi penampang.....	10
Gambar 2.9	Skema gambar/diagram pada belokkan dan sistem koordinat. ....	11
Gambar 2.10	Kontur kecepatan (atas) dan <i>velocity vector</i> (bawah), sisi kiri ( <i>inner wall</i> ) sisi kanan ( <i>outer wall</i> ).....	12
Gambar 2.11	Prediksi kontur kecepatan dan <i>secondary flow vector</i> pada <i>rectangular bend</i> .....	13
Gambar 2.12	Lokasi separasi pada lapisan batas silinder bundar.....	14
Gambar 2.13	Separasi aliran pada <i>curved duct</i> .....	15
Gambar 2.14	Aliran pada belokkan. ....	16
Gambar 2.15	Diagram Alir Prosedur Simulasi <i>FLUENT</i> .....	20
Gambar 2.16	(a) Tipe Sel 2D, (b) Tipe Sel 3D.....	25
Gambar 2.17	Bagian-bagian <i>Cell</i> .....	26
Gambar 2.18	Jenis <i>mesh</i> dan penggunaannya. ....	27
Gambar 3.1	Alat uji <i>Air Flow Bench AF10</i> .....	29
Gambar 3.2	Instalasi penelitian.....	30
Gambar 3.3	Blower. ....	30
Gambar 3.4	(a) <i>Rectangular Bend</i> 90°; (b) Dimensi dari <i>Bend</i> 90° dan Posisi dari <i>Pressure Tappings</i> .....	31
Gambar 3.5	<i>Honey comb</i> .....	32

Gambar 3.6	Katup kontrol.....	32
Gambar 3.7	<i>Thermometer</i> .....	33
Gambar 3.8	<i>Inclinable multi tube manometer</i> . ....	33
Gambar 3.9	<i>Reservoir</i> .....	34
Gambar 3.10	<i>Kestrel</i> . ....	34
Gambar 3.11	Pembuatan geometri <i>rectangular bend 90°</i> . ....	36
Gambar 3.12	Pemilihan <i>solver</i> .....	37
Gambar 3.13	Mengimpor dan memeriksa <i>mesh</i> . ....	38
Gambar 3.14	Pemilihan formulasi <i>solver</i> .....	38
Gambar 3.15	Penentuan model <i>viscous</i> .....	39
Gambar 3.16	Penentuan sifat material. ....	39
Gambar 3.17	Penentuan kondisi operasi. ....	40
Gambar 3.18	Penentuan <i>boundary condition</i> . ....	40
Gambar 3.19	Penentuan Inisialisasi. ....	41
Gambar 3.20	Kriteria konvergensi.....	41
Gambar 3.21	Panel iterasi.....	42
Gambar 3.22	Proses iterasi. ....	42
Gambar 4.1	Posisi tapping pengukuran pada <i>Rectangular Bend 90°</i> .....	44
Gambar 4.2	Grafik Distribusi Cp <i>Outer Wall, Inner Wall</i> pada <i>Rectangular Bend 90°</i> (Eksperimen). ....	49
Gambar 4.3	Grafik Distribusi Cp <i>Radial Section</i> pada <i>Rectangular Bend 90°</i> (Eksperimen).....	51
Gambar 4.4	Tapping Arah <i>Radial Section</i> .....	52
Gambar 4.5	Distribusi tekanan statis pada dinding.....	55
Gambar 4.6	Distribusi tekanan statis pada tiap tapping. ....	56
Gambar 4.7	Grafik perbandingan Cp <i>inner</i> dan <i>outer</i> hasil eksperimen dan hasil simulasi .....	58
Gambar 4.8	Grafik perbandingan Cp <i>radial</i> hasil eksperimen dan hasil simulasi.....	58
Gambar 4.9	Profil kecepatan pada dinding <i>rectangular bend 90°</i> .....	60
Gambar 4.10	Aliran Sekunder pada <i>Rectangular Bend 90°</i> . ....	61

Gambar 4.11	<i>Vortek</i> pada sisi <i>corner</i> .....	62
Gambar 4.12	Kontur <i>total pressure</i> . ....	62
Gambar 4.13	Kontur total pressure pada sepuluh <i>section</i> . ....	63
Gambar 4.14	Aliran sekunder pada sisi <i>outlet Rectangular bend</i> . ....	64
Gambar 4.15	Vektor kecepatan pada sepuluh <i>section</i> . ....	65

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Rata-rata ketinggian datum pada 6x percobaan. ....	45
Tabel 4.2	Perhitungan tekanan dan $C_p$ pada setiap <i>tapping</i> .....	48
Tabel 4.3	Tekanan arah <i>radial section</i> .....	53
Tabel 4.4	Tekanan statis hasil simulasi <i>FLUENT</i> .....	57
Tabel 4.5	$C_p$ hasil eksperimen dan hasil simulasi. ....	57
Tabel 4.6	Tekanan arah <i>radial section FLUENT</i> .....	66
Tabel 4.7	Perbedaan Nilai $C_d$ dan $Q$ Eksperimen dan <i>FLUENT</i> .....	68



## NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
b	Lebar bend	[m]
C	Konstanta	[-]
$C_d$	<i>Discharge coefficient</i>	[-]
$C_p$	<i>Pressure coefficient</i>	[-]
$D_h$	Diameter hidrolik <i>rectangular bend</i>	[m]
h	Tinggi bend	[m]
P	Tekanan pada <i>airbox</i>	[N/m <sup>2</sup> ]
$p_o$	Tekanan referensi sisi upstream	[N/m <sup>2</sup> ]
p	Tekanan pada radius r (tekanan tiap tapping)	[N/m <sup>2</sup> ]
$p_a$	Tekanan pada sisi radial 45° radius r = 0,05 m	[N/m <sup>2</sup> ]
$p_b$	Tekanan pada sisi radial 45° radius r = 0,055 m	[N/m <sup>2</sup> ]
$p_c$	Tekanan pada sisi radial 45° radius r = 0,06 m	[N/m <sup>2</sup> ]
$p_d$	Tekanan pada sisi radial 45° radius r = 0,065 m	[N/m <sup>2</sup> ]
$p_e$	Tekanan pada sisi radial 45° radius r = 0,07 m	[N/m <sup>2</sup> ]
$p_f$	Tekanan pada sisi radial 45° radius r = 0,075 m	[N/m <sup>2</sup> ]
$p_g$	Tekanan pada sisi radial 45° radius r = 0,08 m	[N/m <sup>2</sup> ]
$p_h$	Tekanan pada sisi radial 45° radius r = 0,085 m	[N/m <sup>2</sup> ]
$p_i$	Tekanan pada sisi radial 45° radius r = 0,09 m	[N/m <sup>2</sup> ]
$p_j$	Tekanan pada sisi radial 45° radius r = 0,095 m	[N/m <sup>2</sup> ]
$p_k$	Tekanan pada sisi radial 45° radius r = 0,1 m	[N/m <sup>2</sup> ]
Q	Debit aliran	[m <sup>3</sup> /s]
r	Radius bend	[m]
$r_1$	Radius inner bend	[m]
$r_2$	Radius outer bend	[m]
Re	<i>Reynold number</i>	[-]
U	Kecepatan masuk uniform	[m/s]
u	Kecepatan aliran pada radius r	[m/s]
x, y, z	koordinat kartesian	[m]

$x/l$	jarak x terhadap kelengkungan bend	[-]
$p$	Beda tekanan antara radius outer dan inner	[N/m <sup>2</sup> ]
$\theta$	Sudut bend	[°]
	Densitas fluida	[Kg/m <sup>3</sup> ]
$\mu$	Viskositas fluida	[kg/m.s]
$\frac{\partial p}{\partial x}$	<i>pressure gradient</i>	[N/m <sup>2</sup> ]