



UNIVERSITAS INDONESIA

**JATUH TEKANAN FLUIDA AIR PADA *MIXING HEAD SPRAY*
*NOZZLE***

SKRIPSI

DWI AGUS SULISTIA
08 06 36 8471

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**JATUH TEKANAN FLUIDA AIR PADA *MIXING HEAD SPRAY*
*NOZZLE***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

DWI AGUS SULISTIA
08 06 36 8471

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Dwi Agus Sulistia

NPM : 08 06 36 8471

Tanda tangan : 

Tanggal : 27 Juni 2011

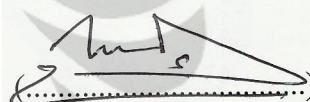
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Dwi Agus Sulistia
NPM : 08 06 36 8471
Program Studi : Sarjana Teknik Mesin
Judul Skripsi : Jatuh Tekanan Fluida Air Pada *Mixing Head Spray Nozzle*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin, Universitas Indonesia

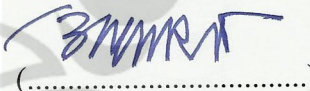
DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara



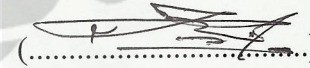
(.....)

Penguji : Prof. Dr. Ir. Budiarmo, M. Eng.



(.....)

Penguji : Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, M.T.



(.....)

Penguji : Ir. Warjito, M. Sc, Ph. D.



(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT dimana atas berkat rahmah dan hidayah -Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Dalam proses penulisan skripsi ini, penulis telah banyak dibantu oleh berbagai pihak, antara lain :

- 1 Orang tua, istri dan keluarga yang telah memberikan bantuan moril maupun material
- 2 Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara, M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran dalam memberikan pedoman kepada penulis selama penyusunan skripsi ini
- 3 Mas Adi waskitajati, Andianto dan Nurdiansyah marpaung selaku teman yang telah mau saling bertukar pikiran dengan penulis selama penyusunan skripsi ini
- 4 Teman-teman teknik mesin ekstensi 2008 yang telah membantu dan memberi support kepada penulis

Serta kepada bantuan pihak-pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu , penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya ,semoga rekan rekan sekalian di beri kelancaran dan kemudahan dalam segala urusannya

Depok, Juni 2011

Dwi Agus Sulistia

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dwi Agus Sulistia
NPM : 08 06 36 8471
Program Studi: Sarjana Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

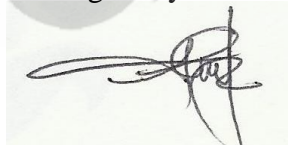
JATUH TEKANAN FLUIDA AIR PADA *MIXING HEAD SPRAY NOZZLE*

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan 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 : Depok
Pada tanggal : 27 Juni 2011

Yang menyatakan



(Dwi Agus Sulistia)

ABSTRAK

Nama : Dwi Agus Sulistia
Program Studi : Sarjana Teknik Mesin
Judul : Jatuh tekanan fluida air pada Mixing head spray Nozzle

Start : Penelitian yang dilakukan untuk tugas akhir ini mengambil tema Jatuh tekanan fluida air pada *Mixing head spray Nozzle* . Yaitu suatu nozzle yang merupakan komponen utama dari sistem spray mesin die casting. Mesin casting merupakan mesin pembuat part part casting (otomotif) yang banyak terdapat di industri manufaktur khususnya otomotif. Output daripada penelitian ini adalah mencari nilai jatuh tekanan pada mixing head spray dimana nantinya dimanfaatkan untuk penerapan standar kualitas pada part casting , maupun improvement lanjutan yang membutuhkan nilai jatuh tekanan pada sistem spray. Kembali terkait dengan nozzle , komponen ini merupakan komponen yang di lewati oleh fluida cair dengan jatuh tekanan yang cukup besar. Nozzle ini memiliki dimensi yang cukup kecil dengan inside diameter 1.8 mm dan panjang nozzle 42.4 mm. Penelitian yang di lakukan selain mencari besar jatuh tekanan pada nozzle tersebut, juga mencari mass flow rate untuk kondisi operasional (dalam satu kasus). Metode penelitian yang di lakukan selain dengan perhitungan menggunakan persamaan fluida ,juga di lakukan dengan pengukuran aktual terhadap nozzle saat operasional serta pen simulasian menggunakan software *cfdsol* (*Computational fluid dynamic*) . Hal ini di lakukan sebagai pembandingan / control terhadap perhitungan serta untuk mendapatkan nilai yang lebih akurat.

Kata kunci: jatuh tekanan, nozzle, cfdsol, spray, mixing head

ABSTRACT

Name : Dwi Agus Sulistia
Study Program : Bachelor of Mechanical Engineering
Title : Pressure drop water fluid at mixing head spray nozzle

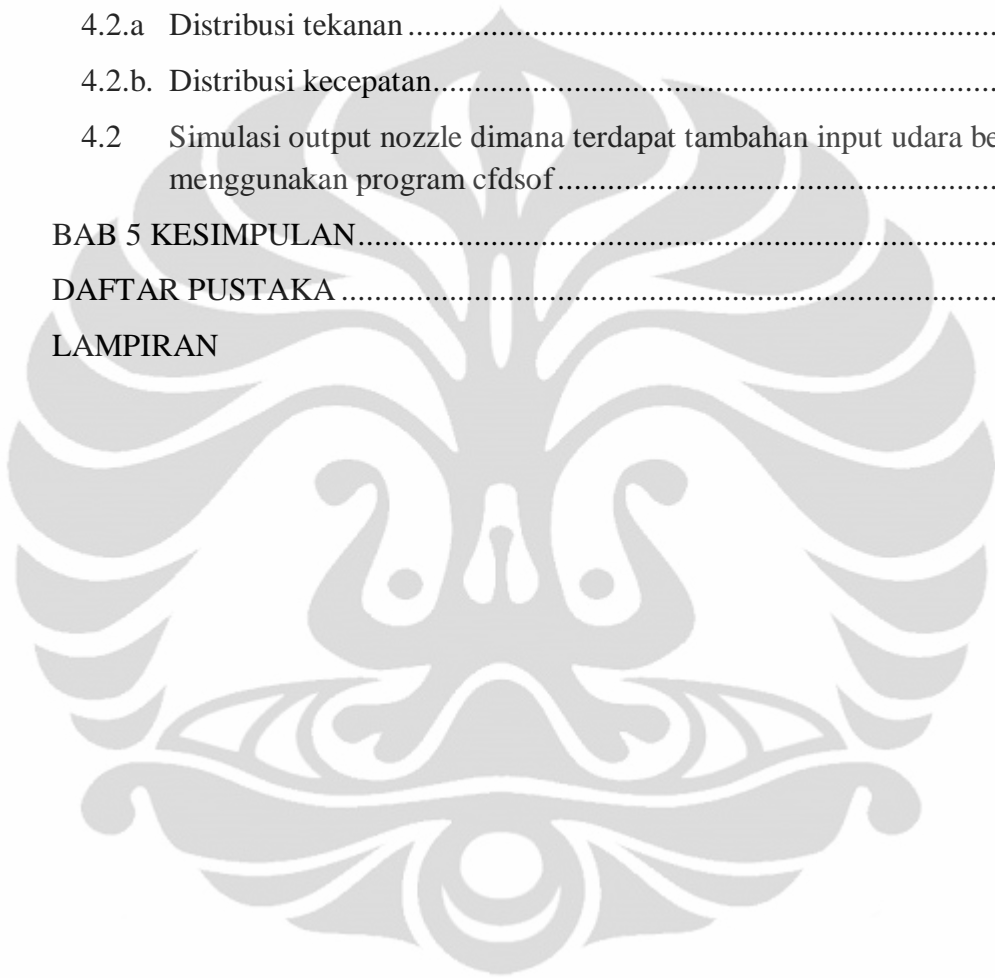
Start : Research conducted for this thesis takes the theme of Pressure drop water fluid on mixing head spray nozzles. That is a nozzle which is the main component of the die casting machine spray system. Casting machine is a machine parts manufacturer casting parts (automotive) are widely available in the automotive manufacturing industry in particular. Output than this study is to find the value of pressure drop on the spray mixing head where the latter used for the application of quality standards on the part casting, as well as continued improvement that requires the value of pressure drop in the spray system. Return associated with the nozzle, these components are the components that are skipped by the fluid liquid with a sufficiently large pressure drop. This nozzle has dimensions that are small enough with the inside diameter of 1.8 mm and 42.4 mm long nozzle. Research will be undertaken in addition to looking for a big fall in pressure at the nozzle, the mass flow rate is also looking for the operating conditions (in one case). Research methods in the do than by calculation using the equations of fluid, is also done with the actual measurements of the nozzle when the operational and simulated using software cfdsof (computational fluid dynamics). This is done as a comparison / control of the calculations and to obtain a more accurate value.

Keywords: Pressure dop, nozzle, cfdsof (computational fluid dynamics), spray, mixing head

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR TABEL & GRAFIK	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 DASAR TEORI	5
2.1 Klasifikasi Aliran Fluida	5
2.2 Karakteristik fluida	7
2.3 Pressure Drop pada Pipa lurus	11
2.4 Minor losses pada equipmet Pipa	16
2.5 Computational Fluid Dynamic	19
BAB 3 METODE PENELITIAN	22
3.1 Diagram Alir Penelitian	23
3.2 Alat Pengujian dan Komponen	24
3.3 Penentuan mass flow rate dan pressure dop	26
3.3.1 Pengukuran mass flow rate nozzle dan pressure dop dengan pengambilan data aktual	26

BAB 4 ANALISA DATA DAN PERHITUNGAN	33
4.1 Mencari nilai pressure dop dengan penyelesaian menggunakan persamaan aliran fluida	33
4.2 Mencari nilai pressure dop dengan penyelesaian menggunakan simulasi program cfdsof.....	37
4.2.a Distribusi tekanan	42
4.2.b. Distribusi kecepatan.....	43
4.2 Simulasi output nozzle dimana terdapat tambahan input udara bertekanan menggunakan program cfdsof.....	45
BAB 5 KESIMPULAN.....	51
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Pengklasifikasian Aliran Fluida dari modul mekflu warjito dkk.....	5
Gambar 2-2	Perilaku fluida yang ditempatkan di antara dua plat paralel dari munson, john w & son Fundamentals of Fluid Mechanics 4th	5
Gambar 2-3	Percobaan yang mengilustrasikan type aliran dan type dye streaks dari munson Fundamentals of Fluid Mechanics 4th	9
Gambar 2-4	Struktur aliran turbulen dalam pipa ,tegangan geser dan profil kecepatan dari munson Fundamentals of Fluid Mechanics 4th.....	10
Gambar 2-5	Koefisien loss aliran masuk dari munson Fundamentals of Fluid Mechanics 4th.....	12
Gambar 2-6	Koefisien loss sisi masuk di banding dengan sudut tepi masuk dari munson Fundamentals of Fluid Mechanics 4th	13
Gambar 2-7	Moody diagram dari munson, john w & son Fundamentals of Fluid Mechanics 4th	15
Gambar 2-8	Koefisien loss untuk ekspansi yang tiba tiba dari munson, john w & son Fundamentals of Fluid Mechanics 4th	16
Gambar 2-9	Koefisien loss untuk komponen perpipaan dari munson, john w & son Fundamentals of Fluid Mechanics 4th.....	17
Gambar 2-10	Bentuk diskritisasi subdomain dari HK Versteeg computational fluid dynamics 2 nd edition 2007	20
Gambar 3-1	Mixing head spray Mc Die Casting 650T	22
Gambar 3-2	Assy mixing head include nozzle spray Mesin DC 650T	22
Gambar 3-3	Diagram alir Penelitian.....	23
Gambar 3-4	Mesin Die Casting sumber dok eng PT. AH	24
Gambar 3-5	3D Mixing head spray die casting.....	25
Gambar 3-6	3D Nozzle mixing head Spray	25
Gambar 3-7	Gelas ukur.....	26
Gambar 3-8	Pressure gauge	26
Gambar 3-9	Alat pengukur temperatur (sensor type).....	27
Gambar 3-10	Pengukuran berat fluida spray	27

Gambar 3-11	Pengukuran temperatur fluida.....	28
Gambar 3-12	laju alir fluida pada mixing head spray dc.....	29
Gambar 3-13	pengukuran pressure pada mixing head spray	31
Gambar 4-1	control surface nozzle mixing head.....	33
Gambar 4-2	Grid nozzle mixing head	41
Gambar 4-3	distribusi tekanan fluida pada nozzle mixing head	42
Gambar 4-4	Distribusi tekanan fluida pada pipa (lanjutan nozzle).....	42
Gambar 4-5	Distribusi kecepatan fluida pada nozzle mixing head.....	43
Gambar 4-6	Nozzle dengan pengarah pipa.....	45
Gambar 4-7	Air volume fraction dengan iterasi 1.6	46
Gambar 4-8	Air volume fraction dengan iterasi 2.8	46
Gambar 4-9	Air volume fraction dengan iterasi 2.9	47
Gambar 4-10	Air volume fraction pada sisi masuk dengan iterasi 3.2	47
Gambar 4-11	Air volume fraction pada sisi keluar dengan iterasi 3.2	48
Gambar 4-12	Grafik tekanan dengan iterasi 1.6	48
Gambar 4-13	Grafik tekanan dengan iterasi 2.2	49
Gambar 4-14	Grafik tekanan dengan iterasi 2.8	49
Gambar 4-15	Grafik tekanan sisi masuk dengan iterasi 3.2	50
Gambar 4-16	Grafik tekanan sisi keluar dengan iterasi 3.2.....	50

DAFTAR TABLE

Table 2-1	Viskositas material dari V & P Scientific, INC.....	7
Table 2-2	Roughnes / Kekasaran pipa material dari Therm excel.com.....	18
Table 3-1	Hasil pengukuran massa jenis fluida.....	28
Table 3-2	Hasil percobaan pengukuran mass flow rate saat proses spray....	30
Table 3-3	Resume hasil pengambilan data aktual dengan pengukuran	32
Table 5-1	Perhitungan Nozzle mixing head untuk Perbedaan tekanan dan kecepatan aliran yang di ambil menggunakan pengukuran, perhitungan dan simulasi cfdsof	51

DAFTAR GRAFIK

Grafik 5-1	Nilai kecepatan fluida nozzle terhadap mode pencarian.....	51
Grafik 5-2	Nilai Pressure dop nozzle mixing head terhadap mode pencarian	52

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fluida merupakan suatu unsur yang sering kita jumpai dalam kehidupan kita. Fluida cair contohnya, fluida tersebut banyak di gunakan manusia untuk kebutuhan sehari hari maupun dalam industri. Contoh penggunaan fluida cair dalam industri seperti sebagai pendingin mesin / cooler , spray , power maupun hanya sebagai cleaner.

Salah satu contoh aplikasi dalam indutri adalah sebagai spraying dies , dimana fluida yang di semprotkan ke cetakan / dies . Aplikasi inilah yang di angkat penulis dimana tema yang diangkat adalah perhitungan pressure drop pada area mixing head spray. Kembali mengenai spraying dies, selain berfungsi untuk pendinginan dies juga berfungsi sebagai pemberi layer berupa silicon pada dies tersebut. Prinsipnya fluida cair akan menguap saat bersentuhan dengan dies yang memiliki temp 360° - 400° C. kemudian hanya menyisakan silicon yang sebelumnya telah dicampur dengan fluida air tersebut.

Fluida tersebut di pompa agar mengalir dari tangki pencampuran ke dies yang akan di spray. Pompa yang di gunakan adalah jenis Pompa diafragma. Penentuan jenis pompa , selain dari debit (Q) yang di keluarkan juga adanya pressure drop (ΔP) dari sistem spray yang di gunakan. Pressure drop menjadi sangat penting karena adanya pemampatan pada sistem spray tepatnya pada area mixing head.

Untuk itulah penulis mencoba melakukan perhitungan mengenai Pressure drop pada area nozzle mixing head tersebut. Sebagai salah satu dasar penentuan pemilihan pompa spray yang di gunakan

1.2 Perumusan Masalah

Perhitungan pressure drop pada nozle mixing head spray diperlukan untuk mengetahui angka yang pasti untuk beban / konsumsi proses spray , karena selain

debit adanya pressure drop / pemampatan juga mempengaruhi spesifikasi dari pompa yang dipilih. Saat ini pemilihan pompa hanya berdasarkan trial dan error. Diharapkan nantinya angka tersebut dapat menjadi salah satu acuan pemilihan pompa yang tepat serta dapat pula di gunakan untuk perhitungan inovasi lanjutan (contoh pembuatan sistem central spray).

1.3 Tujuan Penulisan

Perhitungan Pressure drop nozzle mixing head spray dilakukan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui pressure drop pada nozzle mixing head spray dan mass flow rate fluida cair pada nozzle tersebut , dimana nantinya dilakukan perbandingan antara hasil pengukuran dengan metode cfdsof
2. Mengetahui berapa besar penyimpangan / deviasi mass flow rate fluida cair pada nozzle antara hasil perhitungan dengan menggunakan metode cfdsof.

1.4 Batasan Masalah

Pada perhitungan pressure drop nozzle mixing head berikut ,penulis membatasi permasalahan mengenai fluida cair yang di gunakan adalah campuran air dan lubricant dengan massa jenis 990 kg/m^3 , dimana di asumsikan fluida tersebut memiliki karakteristik yang sama dengan air.

Untuk kondisi batas yang di hitung adalah hanya satu nozzle dimana diameter nozzle 1,8 mm, panjang 42,4 mm. Pressure keluaran Nozzle mixing head di asumsikan environment pressure yaitu 101325 pa.

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang di kerjakan sebagai berikut :

1. Studi literatur
Studi literatur merupakan proses pengumpulan informasi baik dari buku, jurnal maupun internet.
2. Drawing komponen part yang akan di analisa
Terlebih dahulu dilakukan pemodelan solid untuk kemudian dapat di lanjutkan ke proses selanjutnya yaitu penghitungan menggunakan CFD.
3. Instalasi alat ukur ke komponen part yang akan di analisa
Untuk mengetahui pressure aktual pada komponen alat yang akan hitung.
4. Pengambilan data percobaan
Data percobaan meliputi pressure dan mass flow rate di ambil dan di catat berikut kejadian kejadian yang terjadi saat pengambilan data.
5. Perumusan teoritis.
Rumusan dari berbagai sumber di pilih yang tepat sebagai dasar perhitungan untuk kondisi yang sesuai dengan kondisi di atas.
6. Analisa data
Hasil dari perhitungan secara teoritis dibandingkan dengan data eksperimen serta simulasi yang dilakukan oleh cfd dianalisa untuk diambil kesimpulan.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini mengikuti sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bagian ini berisikan latar belakang penelitian tugas akhir, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penelitian.

BAB II DASAR TEORI

Bagian ini berisikan dasar-dasar teori dari aliran dalam pipa, perhitungan pressure drop untuk aliran laminar, tabel kerugian pressure drop untuk belokan. Dasar teori tersebut diambil dari berbagai sumber yang mendukung penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bagian ini berisikan urutan kegiatan penelitian serta pengambilan data .Metode penentuan massa jenis serta tabel hasil pengambilan data mass flow rate. Urutan proses pencarian mass flowrate menggunakan CFD (computational fluid dynamic). Di mulai dari drawing part yang akan di proses ,entry data input dan running program.

BAB IV ANALISA DATA

Berisi perhitungan untuk mencari pressure drop pada nozzle , dengan menggunakan persamaan pada pipa lurus,serta menghitung pula minor loses pada nozzle tersebut. Simulasi yang di lakukan pada cfd di jelaskan beserta langkah langkah pengerjaannya

BAB V KESIMPULAN

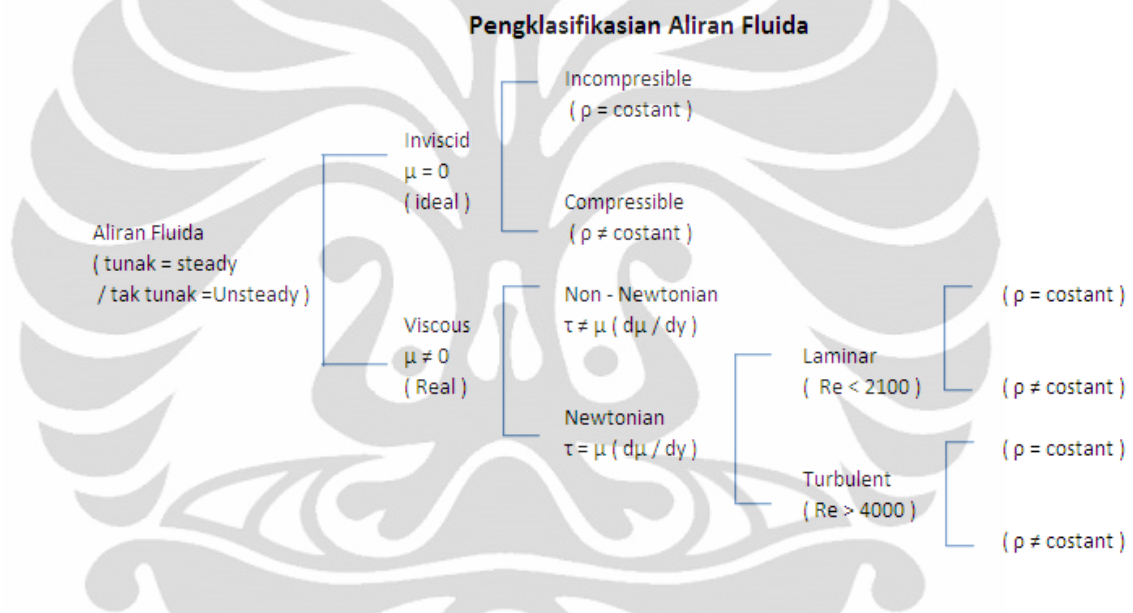
Berisi kesimpulan akhir dari nilai yang didapat untuk mass flow rate, pressure dop dan kecepatan fluida untuk masing masing cara pengambilan data tersebut. Selain itu dijelaskan pula , adanya perbedaan nilai nilai yang di dapat.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Klasifikasi Aliran Fluida

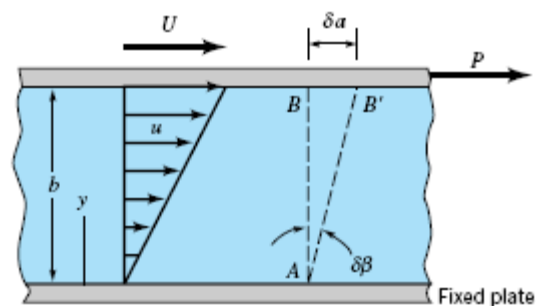
Fluida secara khusus didefinisikan sebagai zat yang berdeformasi terus menerus selama dipengaruhi suatu tegangan geser.¹

Aliran Fluida di klasifikasikan



Gambar 2.1 Pengklasifikasian Aliran Fluida

(sumber : slide modul kuliah mekanika fluida Dr.Ir Warjito M.Eng dkk)



Gambar 2.2 Perilaku fluida yang ditempatkan di antara dua plat paralel(Munson,
John wiley and sons, Fundamentals of Fluid Mechanics 4th Edition)

Fluida Newtonian

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.1)$$

dimana

τ = Tegangan geser (Pa)

μ = Viskositas dari sebuah fluida (Pa. s)

$\frac{du}{dy}$ = Gradien kecepatan yang arahnya tegak lurus dengan arah geser [s^{-1}]

Berikut karakteristik Fluida Newtonian

- Tegangan geser fluida berhubungan linier terhadap laju regangan geser.
- fluida ini akan terus mengalir sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida.
- Viskositas dari suatu fluida newtonian tidak berubah ketika terdapat gaya yang bekerja pada fluida.
- Viskositas dari suatu fluida newtonian hanya bergantung pada temperatur dan tekanan.

Karakteristik Fluida Non Newtonian

- Tegangan geser fluida tidak berhubungan linier terhadap laju regangan geser
- Viskositas fluida akan berubah bila terdapat gaya yang bekerja pada fluida (seperti pengadukan).
- Tidak memiliki viskositas yang konstan.

2.2 Karakteristik fluida

Viscositas

Viskositas atau kekentalan pada setiap fluida berbeda beda ,Satuan untuk Viscositas adalah Pa s (Pascal second). Berikut viskositas dari suatu fluida :

Approximate viscosities of common material (At room temperatur - 70° F)	
Material	Viscosity in centipoise
Water	1 cps
Milk	3 cps
SAE 10 Motor oil	85-140 cps
SAE 20 Motor oil	140-420 cps
SAE 30 Motor oil	420-650 cps
SAE 40 Motor oil	650-900 cps
Castrol Oil	1.000 cps
Karo Syrup	5.000 cps
Honey	10.000 cps
Chocolate	25.000 cps
Ketchup	50.000 cps
Mustard	70.000 cps
Sour Cream	100.000 cps
...	
...	

100 centipoise = 1 poise

1 Centipoise = 1 mPa s (mili Pascal Second)

1 Poise = 0,1 Pa s (Pascal Second)

Table 2.2 Viskositas material

(V & P Scientific, INC)

Reynold Number

Pada tahun 1883 Osborn reynold melakukan percobaan tentang analisis dimensional fluida , dimana yang di gunakan hingga saat ini yaitu bilangan reynold.

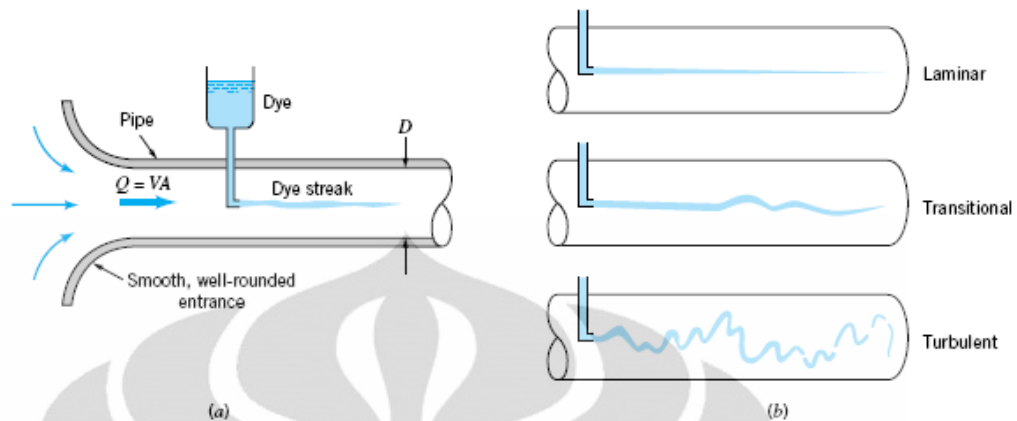
$$Re = \frac{\rho V d}{\mu} \quad (2.2)$$

Di mana

- Re = Reynold number
- ρ = density (kg/m³)
- V = kecepatan rata rata (m/s)
- μ = viscositas fluida

Aliran fluida dalam pipa di bedakan menjadi 3 yaitu :

1. Aliran laminar : Aliran dalam pipa bundar jika nilai Re nya lebih kecil dari 2100
2. Aliran turbulence : Aliran dalam pipa bundar jika nilai Re nya lebih besar dari 4000
3. Aliran transisi : Aliran dalam pipa bundar dengan Nilai Re diantara 2100 hingga 4000



Gambar 2.3 Percobaan yang mengilustrasikan type aliran dan
Type dye streaks

(Munson, John wiley and sons, Fundamentals of Fluid Mechanics 4th Edition)

Pressure Drop

Pressure drop dan kerugian head dalam pipa tergantung pada tegangan geser (τ_w), antara fluida dan permukaan pipa. Perbedaan antara aliran laminar dan turbulen adalah pada tegangan geser.

Pressure drop (Δp) untuk aliran turbulen, dalam pipa aliran dalam pipa horizontal diameter (D) dapat ditulis dalam bentuk fungsional sebagai berikut :

$$\Delta p = F(\bar{u}, D, \ell, \varepsilon, \mu, \rho) \quad (2.3)$$

Dimana,

Δp = pressure drop

\bar{u} = kecepatan rata-rata fluida

D = diameter pipa

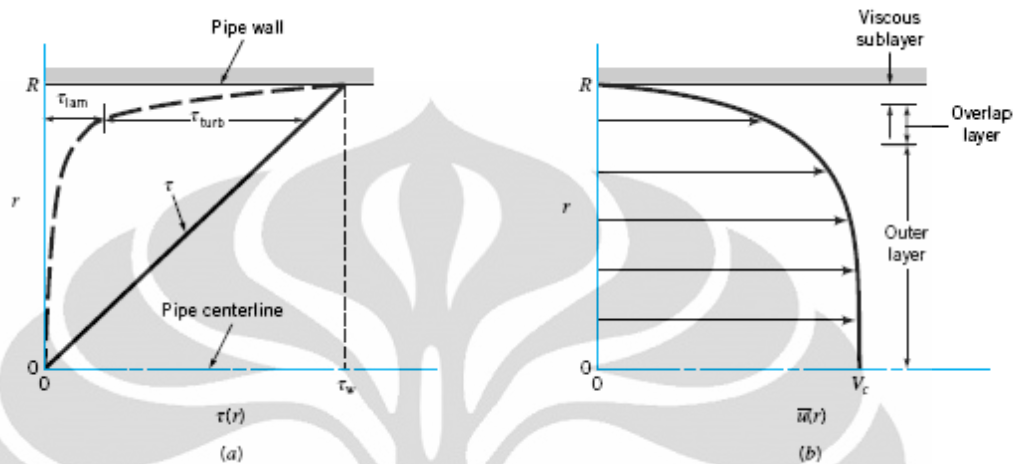
ℓ = panjang pipa

ε = kekasaran permukaan dinding pipa

μ = viskositas

ρ = density

Struktur aliran turbulen di pipa



Gambar 2.3 Struktur aliran turbulen dalam pipa. (a) tegangan geser
(b) Profil rata rata kecepatan

(Munson, John wiley and sons, Fundamentals of Fluid Mechanics 4th Edition)

Shear stress pada aliran turbulen

$$\tau = \eta \frac{du}{dy} \quad (2.4)$$

dimana :

τ = Tegangan geser (Pa)

η = Eddy Viskositas (Pa. s)

$\frac{du}{dy}$ = Gradien kecepatan yang arahnya tegak lurus dengan arah geser [s⁻¹]

Tekanan static,dinamis dan total

Bernoulli equation

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (2.5)$$

Masing ruas di kali dengan ρg

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (2.6)$$

Untuk pipa horizontal

Dimana

P_1 = Tekanan statik pada titik 1

P_2 = Tekanan statik pada titik 2

$\frac{1}{2} \rho v_1^2$ = Tekanan dinamis pada titik 1

$\frac{1}{2} \rho v_2^2$ = Tekanan dinamis pada titik 2

Tekanan total = Tekanan statis + Tekanan dynamis

2.3 Pressure Drop pada Pipa lurus

Hambatan pada pipa lurus terbagi menjadi 3 bagian yaitu : Saat fluida memasuki aliran masuk, kemudian kerugian sepanjang pipa dan yang terakhir kerugian saat fluida keluar dari pipa tersebut

- Head loss pada pipa masuk

Head loses pada pipa masuk termasuk kategori minor losses, dimana sebenarnya minor loses ini merupakan sebagian kecil loses di bandingkan dengan major loses. Tetapi di kasus yang lain terkadang minor loses lebih besar dari pada major loses.

Persamaan pada aliran masuk adalah

$$\Delta P = K_L \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (2.7)$$

atau

$$h_L = K_L \frac{v^2}{2g} \quad (2.8)$$

Di mana ΔP = Perbedaan tekanan (Pa)

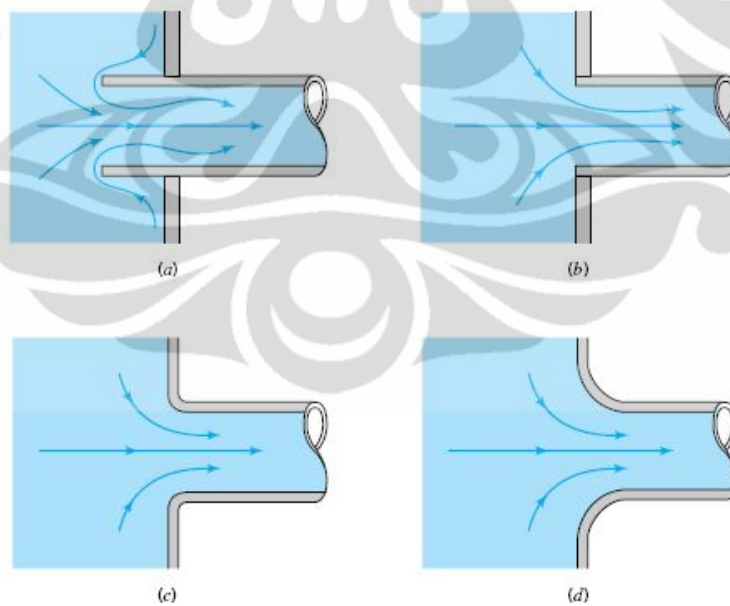
K_L = Loss Koefisien

ρ = density (kg/m^3)

V = kecepatan rata rata (m/s)

h_L = Head Loss (m)

g = gravitasi (m/s^2)

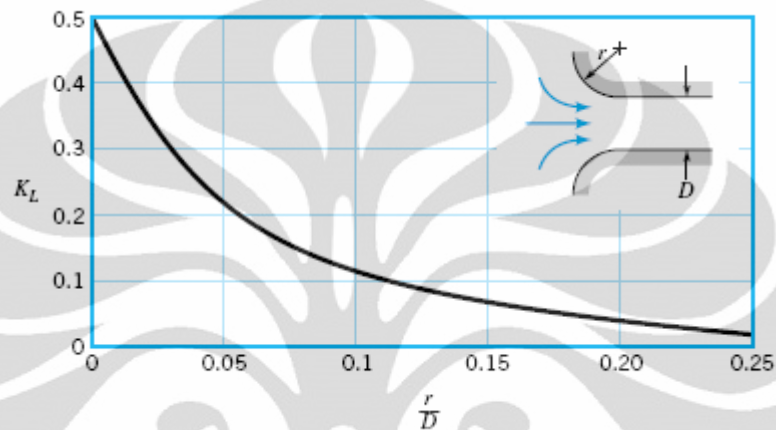


Gambar 2.4 Kondisi aliran masuk dan Koefisien loss (a) reentrant $K_L = 0.8$ (b) sharp-edge $K_L = 0.5$ (c) slightly rounded $K_L = 0.2$ (d) well rounded $K_L = 0.04$

(Munson, John wiley and sons, Fundamentals of Fluid Mechanics 4th Edition)

Gambar di atas menunjukkan semakin halus profil inlet suatu sistem perpipaan semakin kecil nilai h_L , yang berarti semakin kecil head loss (kerugian head) pada sistem perpipaan tersebut.

Berikut merupakan grafik nilai K_L dengan radius tepi pipa yang di bandingkan dengan diameter pipa



Gambar 2.5 Koefisien loss sisi masuk di banding dengan sudut tepi masuk

(Munson, John wiley and sons, Fundamentals of Fluid Mechanics 4th Edition)

- Pressure drop sepanjang pipa

Pressure drop sepanjang pipa dipengaruhi oleh kecepatan rata rata aliran fluida (V), diameter pipa (D), panjang pipa (l), kekasaran permukaan pipa (ϵ), Viskositas (μ) dan massa jenis (ρ)

Pada pipa lurus perbedaan tekanan pipa di rumuskan sebagai berikut :

$$\Delta P = f \frac{\ell}{D} \frac{\rho V^2}{2} \quad (2.9)$$

di mana ΔP = Perbedaan tekanan (Pa)

f = Friction factor

ℓ = Panjang pipa (m)

ρ = massa jenis (kg / m³)

V = kecepatan (m / s²)

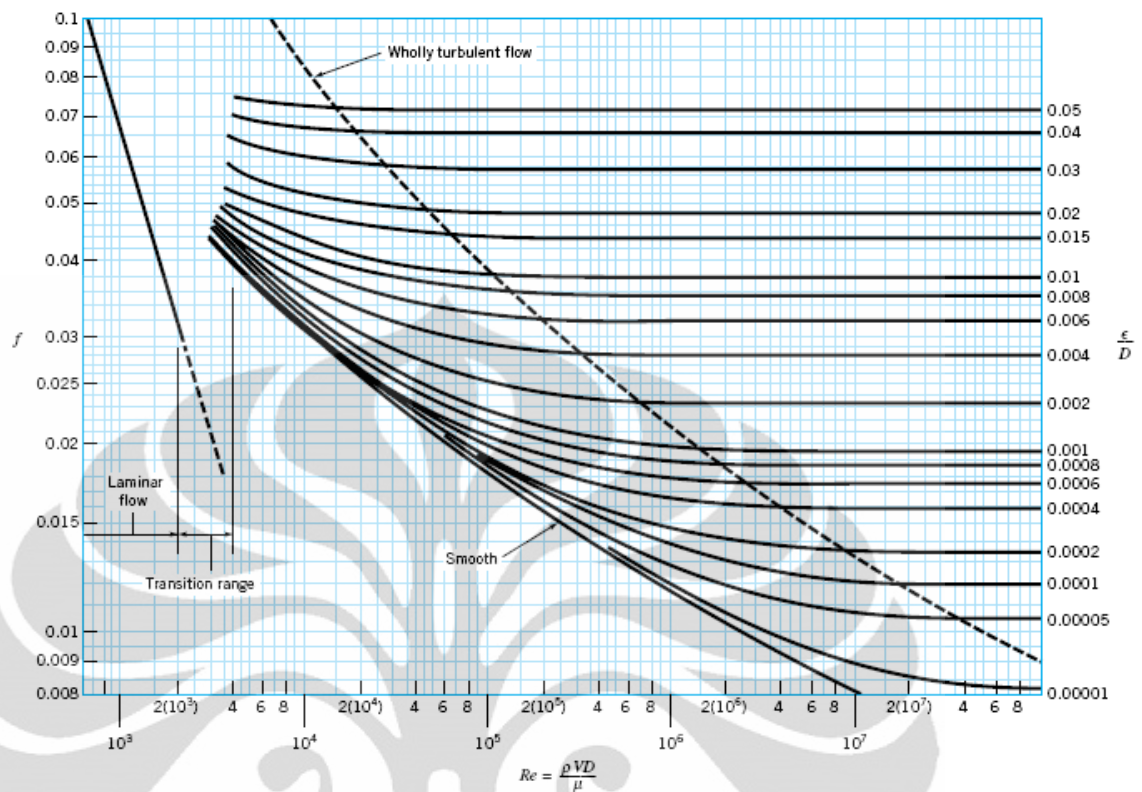
Dimana nilai f tergantung dari jenis aliran dari fluida tersebut, apakah alirannya laminar atau turbulen

1. Untuk Aliran laminar nilai f yang di gunakan

$$f = 0,079 Re^{1/4} \quad (2.10)$$

2. Untuk aliran turbulen friction factor dapat di cari dengan menggunakan

- a) Menggunakan moody diagram



Gambar 2.5 friction factor sebagai fungsi dari reynold number dan kekasaran relative untuk pipa

(Munson, John wiley and sons, Fundamentals of Fluid Mechanics 4th Edition)

- b) Mendapatkan nilai f untuk pipa halus dapat menggunakan rumus empiris Prandtl equation

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4 \log_{10} (Re \sqrt{f}) - 0,4 \quad (2.11)$$

- c) Untuk pipa through rough walled , nilai f dapat di cari dengan menggunakan rumusan empiris Theodore von Karman

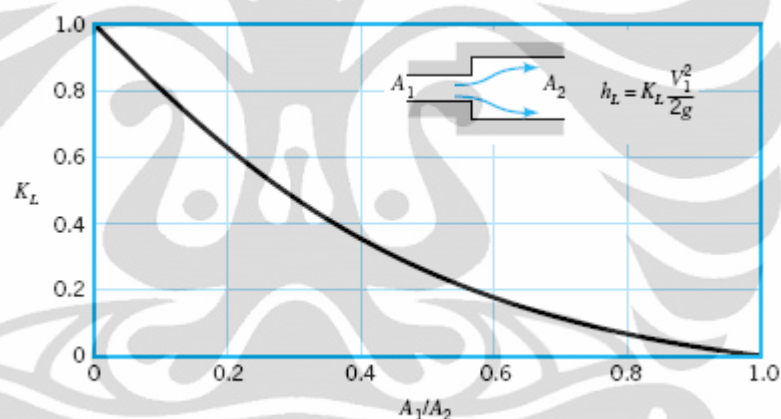
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \frac{d}{\varepsilon} + 2,28 \quad (2.12)$$

- d) Kombinasi persamaan pipa halus yang dikembangkan oleh Prandtl dengan pipa kasar yang dikemukakan oleh Von Karman, C.F. Colebrook meneliti rumusan untuk pipa komersial dimana nilai f dapat di hitung dengan rumusan

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2,28 - 4 \log_{10} \left(\frac{d}{\varepsilon} + \frac{4,675}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (2.13)$$

- Pressure drop pada keluaran pipa

Pada sisi keluar, terjadi juga perubahan tekanan yang berakibat adanya pressure drop pada sisi pipa keluar. Persamaan yang digunakan sama dengan sisi masuk yaitu pers 2.5. Untuk koefisien loss pada sisi keluaran pipa terlihat pada gambar.



Gambar 2.6 Koefisien loss untuk ekspansi yang tiba tiba

(Munson, John Wiley and Sons, Fundamentals of Fluid Mechanics 4th Edition)

a. Minor Losses pada equipment pipa

Banyak komponen perpipaan yang terinstal menjadi suatu sistem perpipaan, dimana head loss komponen-komponen ini pada umumnya disebut minor losses. Komponen equipment tambahan tersebut antara lain elbow, katup, tee, sambungan, bend dan lain-lain.

Persamaan pressure drop yang digunakan pada equipment tersebut sama dengan persamaan 2.5. Hanya nilai K_L nya saja yang berbeda.

Berikut table nilai K_L untuk equipment tambahan dalam sistem perpipaan

Loss Coefficients for Pipe Components ($h_L = K_L \frac{V^2}{2g}$) (Data from Refs. 5, 10, 27)

Component	K_L
a. Elbows	
Regular 90°, flanged	0.3
Regular 90°, threaded	1.5
Long radius 90°, flanged	0.2
Long radius 90°, threaded	0.7
Long radius 45°, flanged	0.2
Regular 45°, threaded	0.4
b. 180° return bends	
180° return bend, flanged	0.2
180° return bend, threaded	1.5
c. Tees	
Line flow, flanged	0.2
Line flow, threaded	0.9
Branch flow, flanged	1.0
Branch flow, threaded	2.0
d. Union, threaded	
	0.08
e. Valves	
Globe, fully open	10
Angle, fully open	2
Gate, fully open	0.15
Gate, $\frac{1}{4}$ closed	0.26
Gate, $\frac{1}{2}$ closed	2.1
Gate, $\frac{3}{4}$ closed	17
Swing check, forward flow	2
Swing check, backward flow	∞
Ball valve, fully open	0.05
Ball valve, $\frac{1}{2}$ closed	5.5
Ball valve, $\frac{2}{3}$ closed	210

Table 2.3 Koefisien loss untuk komponen perpipaan

(Munson, John wiley and sons, Fundamentals of Fluid Mechanics 4th Edition)

Kekasaran material pipa

Kekasaran diameter pipa mempengaruhi jenis aliran yang terjadi, semakin halus pipa, semakin kecil nilai Re sehingga aliran yang terjadi semakin teratur (laminar)

Berikut contoh nilai ε (kekasaran) dari material

Usual value index of roughness (k) in mm		
	Nature of interior surface	Index roughness K
1	Copper, lead, brass, stainless	0,001 to 0,002
2	PVC pipe	0,0015
3	Stainless steel	0,015
4	Steel commercial pipe	0,045 à 0,09
5	Stretched steel	0,015
6	Weld steel	0,045
7	Galvanized steel	0,15
8	Rusted steel	0,1 to 1
9	New cast iron	0,25 to 0,8
10	Worn cast iron	0,8 to 1,5
11	Rusty cast iron	1,5 to 2,5
12	Sheet or asphalted cast iron	0,01 to 0,015
13	Smoothed cement	0,3
14	Ordinary concrete	1
15	Coarse concrete	5
16	Well planed wood	5
17	Ordinary wood	1

Table 2.3 Roughnes / Kekasaran pipa material

Sumber Therm excel

2.5 Computational Fluid Dynamic

Computational Fluid Dynamics adalah Penganalisaan suatu sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan kalor dan fenomena lain yang berkaitan seperti reaksi kimia dengan cara simulasi berbasis komputer.

Dengan teknik yang sangat tinggi dan sangat kuat CFD mampu memecahkan permasalahan mencakup berbagai aplikasi industri dan non industri seperti :

- Aero dinamik pesawat terbang dan kendaraan : gaya angkat dan gaya tarik
- Hydrodinamik kapal laut
- Power plant : pembakaran dalam engine dan gas
- Mesin turbo : Aliran bagian dalam yang berputar , diffuser (pembagi) dll
- Elektrikal dan perekayasaan elektronik : ekuipment pendingin mikrosirkuit
- dan lain lain

Kemampuan untuk melakukan pengamatan pada eksperimen terkontrol yang sulit atau tidak mungkin untuk dilakukan (pada sistem yang besar).

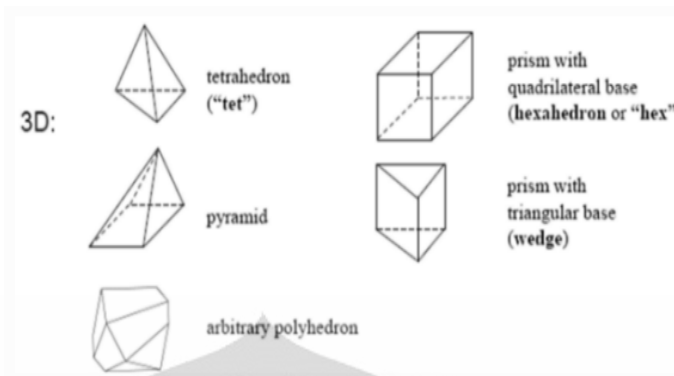
- a) Kemampuan untuk melakukan pengamatan sistem dalam kondisi berbahaya dan di luar batasan normal kerjanya (pengamatan keselamatan dalam kecelakaan).
- b) Hasil pengamatan yang sangat mendetail.

Program CFD berisi struktur numerik yang bisa menyelesaikan permasalahan-permasalahan fluida.

Terdapat 3 element utama dari CFD yaitu:

1. Meshing

Persamaan diferensial parsial yang menentukan aliran fluida dan perpindahan panas tidak biasa diterima dalam solusi analitis, kecuali untuk kasus yang sangat sederhana. Oleh karena itu, untuk menganalisa aliran fluida, daerah aliran dibagi menjadi *sub domain* yang lebih kecil yaitu membuat geometri sederhana seperti hexahedral dan tetrahedral, kuadrilateral maupun segitiga dan persamaan pengatur diskritisasi dapat diselesaikan dengan membagi domain dalam beberapa bagian.



Gambar 2.9 Bentuk diskritisasi subdomain

Biasanya, salah satu metode ini digunakan untuk menyelesaikan persamaan sistem : volume hingga, elemen hingga, atau elemen differences. Setiap bagian dari domain dikenal sebagai elemen atau sel, dan kumpulan dari semua elemen dikenal sebagai *mesh* atau *grid*.

2. Pre-Processor

Pre-processing berisikan input berupa permasalahan fluida yang akan dianalisa dan pengubahan input tersebut menjadi bentuk yang dapat diselesaikan oleh solver.

Pada tahap pre-processing dilakukan :

- Pendefinisian geometri daerah yang akan diamati (computational domain).
- Pembuatan *grid*, pembagian domain menjadi bagian-bagian kecil sub-domain yang tidak bertindihan, yaitu menjadi sel-sel.
- Pemilihan fenomena fisik dan kimia yang akan dimodelkan.
- Penentuan sifat-sifat fluida.
- Spesifikasi kondisi batas dan kondisi awal.

3. Solver

Persamaan atur adalah berbentuk persamaan diferensial parsial. Untuk dapat diselesaikan dengan komputer, persamaan tersebut harus ditransformasikan terlebih dahulu ke dalam bentuk numerik. Terdapat tiga teknik utama penyelesaian numerik CFD, yaitu dengan *finite difference*, *finite element*, dan *finite volume*. Secara garis besar, metode numerik yang menjadi basis solver adalah melakukan langkah-langkah berikut:

- Perkiraan variabel aliran yang belum diketahui dengan suatu fungsi sederhana.
- Diskritisasi dengan mensubstitusi perkiraan tersebut pada persamaan pengatur dan melakukan perhitungan matematis yang berulang.
- Penyelesaian dari persamaan pengatur.

4. Post-Processor

Pada tahap ini, paket program CFD menampilkan hasil perhitungan solver secara grafis yang meliputi:

- Tampilan geometri domain dan *grid*.
- Plot vektor.
- Plot kontur.
- Plot permukaan 2D atau 3D.
- Manipulasi tampilan (translasi, rotasi, dan lain-lain).
- Tampilan yang berwarna.

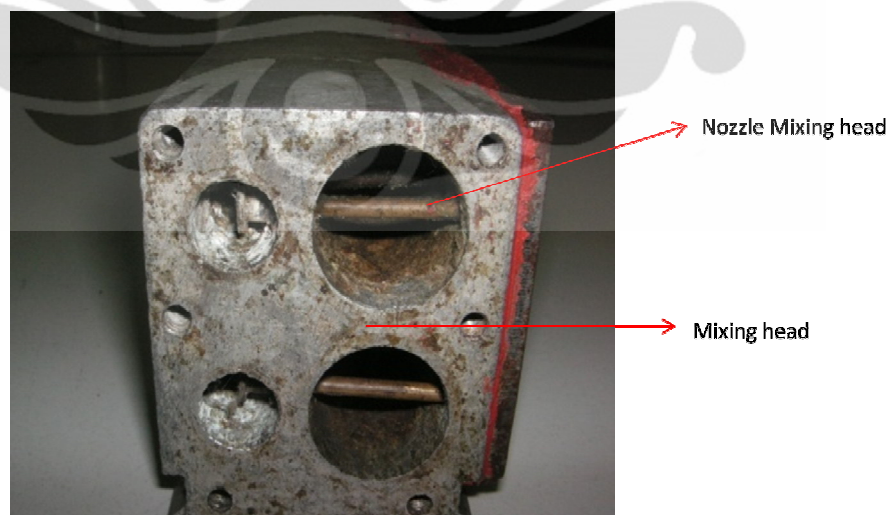
BAB III

METODE PENELITIAN

Alat pengujian dan komponen yang di teliti adalah Nozle mixing head spray mesin Die casting yang merupakan bagian dari Mesin Die casting. Mesin Die casting tersebut berada di salah satu perusahaan otomotif PT. AH di Indonesia.

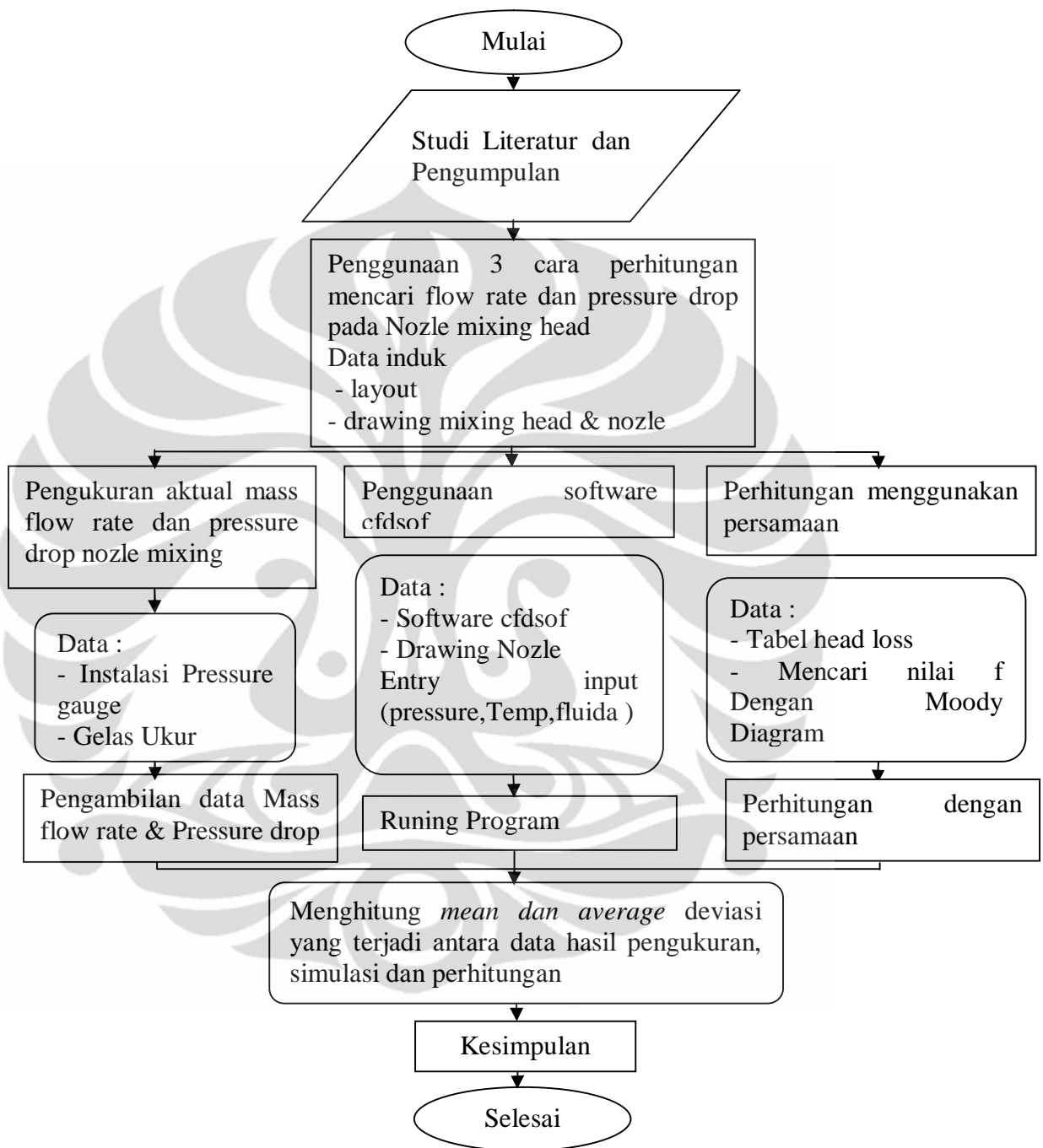


Gambar 3.1 Mixing head spray Mc Die Casting 650T



Gambar 3.2 Assy mixing head include nozzle spray Mesin DC 650T

3.1 Diagram Alir Penelitian



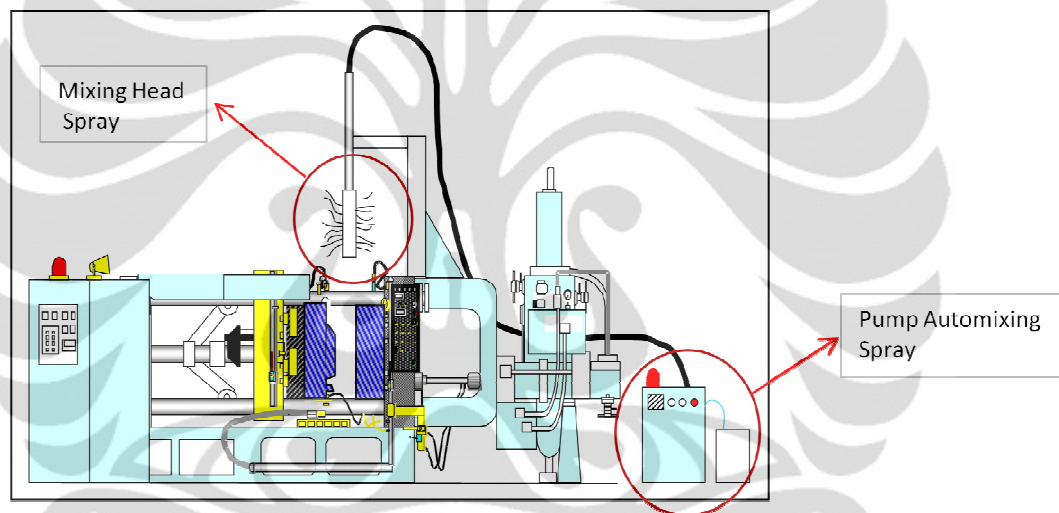
Gambar 3.1 Diagram alir Penelitian

III.2 Alat Pengujian dan Komponen

Komponen-komponen part pada sistem spray turut menyumbang adanya pressure drop dan head loss. Seperti pada ball valve, hose, knee, shock, tee dan komponen perpipaan yang lain

Akan tetapi Pressure drop paling besar terjadi pada mixing head spray, dimana pada bagian Nozzle mixing head merupakan bagian yang mengalami jatuh tekanan yang utama pada mixing head.

Berikut ilustrasi Mixing head spray pada Mesin Die Casting DC 650

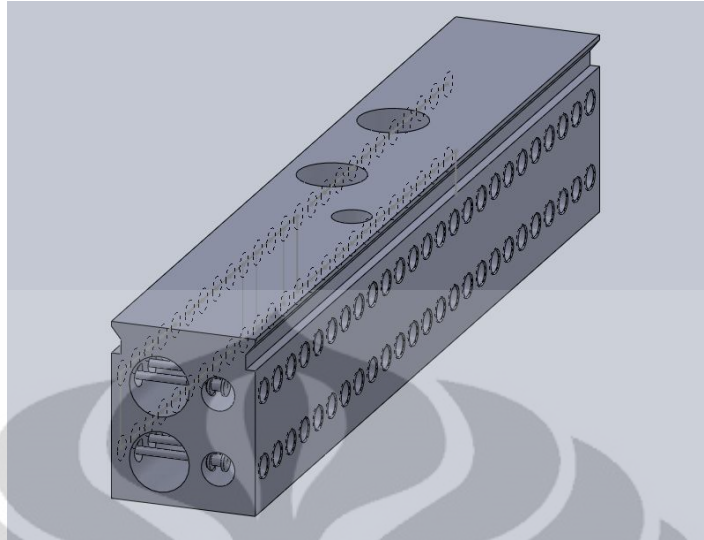


Gambar 3.2 Mesin Die Casting

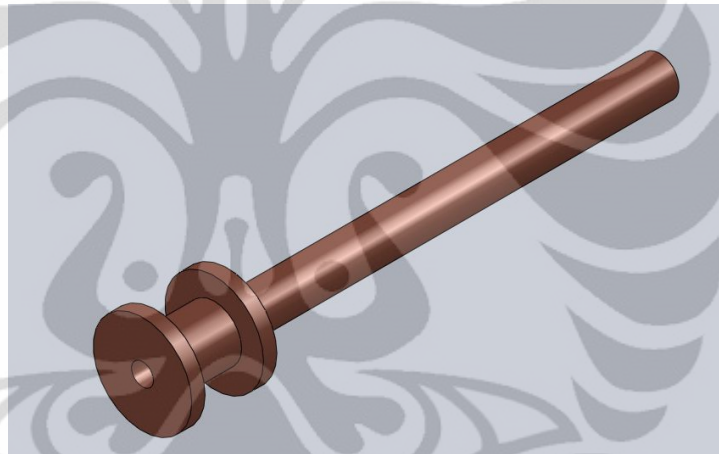
Sumber Dok Eng DC

Seperti telah di sampaikan sebelumnya Mixing head merupakan unsur dari suatu sistem spray, sedang sistem spray sendiri merupakan salah satu sistem (cycle) dari mesin die casting

Gambar di bawah merupakan Mixing head dan Nozle yang akan di analisa pressure drop dan aliran fluidanya.



Gambar 3.3 3D Mixing head spray die casting



Gambar 3.4 3D Nozzle mixing head Spray

Perhitungan mass flow rate dan Pressure drop pada Nozzle dilakukan dengan 3 cara yaitu pengukuran mass flow rate aktual di nozzle yang beroperasi, simulasi menggunakan program cfdsoft dan yang terakhir menggunakan penyelesaian persamaan fluida

Hal ini dilakukan sebagai suatu koreksi nilai antara mode yang satu dengan yang lain, serta mendapatkan hasil yang akurat sehingga nilai tersebut dapat digunakan sebagai acuan penggunaan yang lebih luas lagi.

III.3 Penentuan Mass flow dan Pressure Dop

Seperti yang telah disampaikan diatas bahwa Analisa pressure dop untuk nozzle mixing head di lakukan dengan : Analisa menggunakan persamaan, Simulasi menggunakan software dan Pengambilan data di lapangan merupakan suatu sistem kerja yang lengkap dan saling mengoreksi.

III.3.1 Pengukuran mass flow rate nozzle dan pressure dop dengan pengambilan data aktual

Penggunaan alat ukur,equipment , Instalasi dan Pengambilan data input

1. Persiapan Alat alat yang dibutuhkan untuk pengukuran

a) Gelas ukur



Spesifikasi :

3 buah gelas ukur

- Gelas Ukur Kap 1000 cc
- Gelas Ukur Kap 50 cc
- Gelas Ukur Kap 20 cc

Gambar 3.5 gelas ukur

b) Pressure Gauge



Spesifikasi :

- Pressure gauge Max press 0,2 Mpa

Qty : 1 pcs

Merk : SMC

Gambar 3.6 gelas ukur

c) Sensor Temperatur



Spesifikasi :

- Sensor temperature

Qty : 1 pcs

Merk :

Gambar 3.7 Sensor temperature

2. Pembuatan saluran lubang pada area mixing head untuk pemasangan pressure gauge

Proses pengerjaan : Di workshop Maintenance PT. AH

Jenis pekerjaan : Drilling Dia 9 dan Tapping M10

3. Pemasangan Pressure gauge pada Mixing head

Proses pengerjaan : Di workshop maintenance PT. AH

4. Pengambilan data massa jenis fluida yang beroperasi



Gambar 3.10 Pengukuran berat fluida spray

Cara pengukuran massa jenis fluida :

Fluida yang di ukur massa jenis nya di masukan ke dalam gelas ukur yang bervolume 1000 cc, kemudian untuk tiap satu percobaan berat fluida tersebut di hitung beratnya.

No	Pengambilan Data ukur	
1	987,7	gr
2	991,8	gr
3	990,3	gr
4	990,3	gr
5	990,4	gr
6	990,6	gr
7	991,1	gr
8	990,2	gr
9	989,3	gr
10	989,1	gr
Rata rata	990,08	gr

Tabel 3.1 Hasil pengukuran massa jenis fluida

Spray mesin die casting

Nilai rata rata untuk massa jenis (ρ) fluida yang beroperasi untuk spray mesin die casting adalah **990,08 gram/mm³**

5. Pengukuran temperature fluida yang beroperasi

Cara pengukuran :

Fluida dalam tank di tembak oleh sensor infra red alat ukur, sehingga temperature fluida terlihat dalam display / tampilan alat ukur sensor temperature.

Dari beberapa titik yang di tembak Display menunjukkan angka 31° C

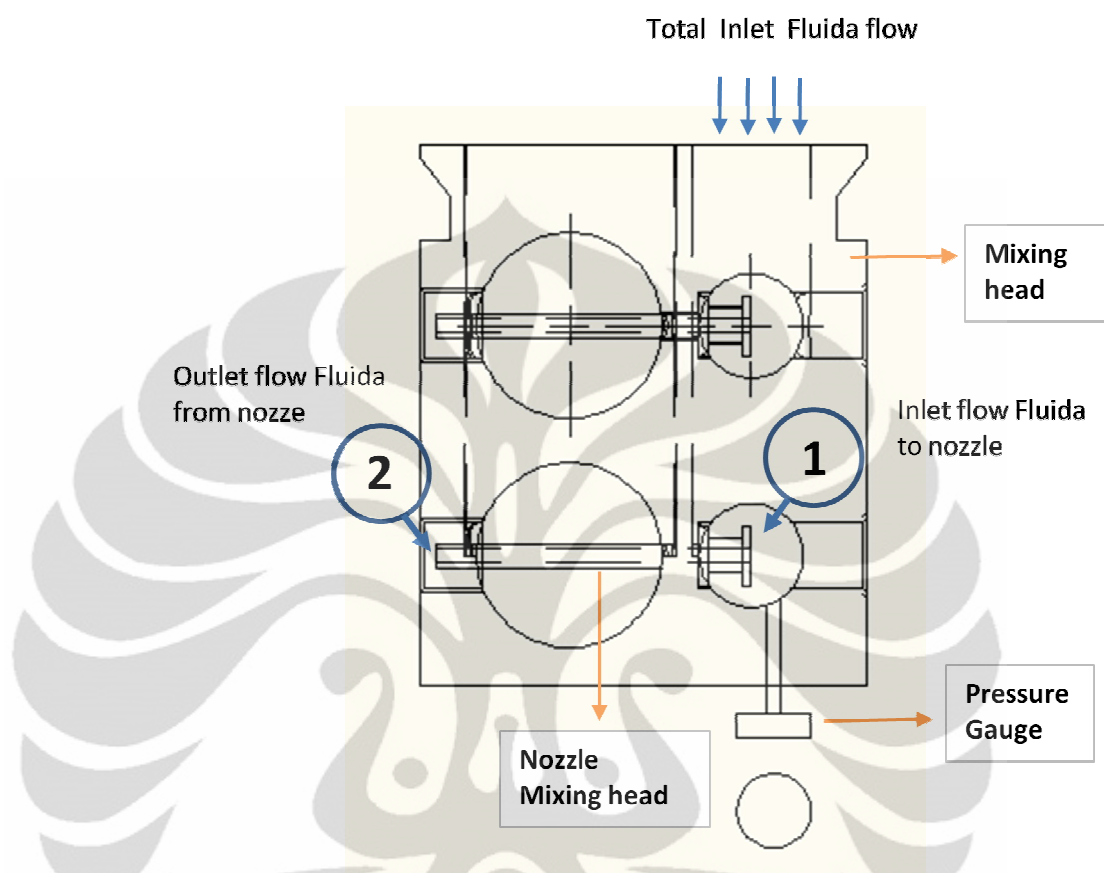
Sehingga di tentukan bahwa Temperatur operasi fluida adalah **31° C**



Gambar 3.11 Pengukuran temperatur fluida

Data data di atas merupakan data input yang nantinya akan di gunakan di dalam perhitungan

Bagan Alir dan Skematik Aliran fluida pada Mixing head



Fluida yang dipompa oleh pompa diafragma, masuk ke area mixing head spray setelah melewati hose, piping dan solenoide valve.

Fluida masuk melalui lubang atas (diameter 16 mm) untuk kemudian. Memenuhi area sepanjang lorong sisi masuk nozzle, lalu terdorong masuk ke nozzle diameter 1,8 mm.

Untuk Analisa pressure dop pada nozzle, kami penulis hanya membatasi perhitungan untuk satu nozzle di mana

Titik 1 merupakan titik masuk / inlet flow dan

Titik 2 merupakan titik keluar / outlet flow

Metode yang di lakukan untuk pengambilan data aktual ini adalah mencari nilai tekanan pada titik 1 dengan cara menyuntikkan pressure gauge pada area tersebut , untuk mengetahui pressure nozzle pada saat operasional. Kemudian untuk Titik 2 ,di asumsi kan pressure yang bekerja di sana adalah pressure dengan kondisi environment (101325 Pa).

Pengukuran Mass flow rate fluida pada nozzle

Cara pengukuran :

Proses spray di lakukan selama beberapa detik, output fluida yang di keluarkan di tampung dalam bejana. Fluida yang tertampung tersebut di ukur volumenya menggunakan gelas ukur. Mass flow rate untuk fluida tersebut adalah volume fluida di bagi dengan waktu operasi spray.

Berikut data hasil pengukuran mass flow rate fluida spray

No	Percobaan	vol (cc)	t (det)	Q (liter / det)
1	Percobaan 1	70	8	0,0087500
2	Percobaan 2	65	8	0,0081250
3	Percobaan 3	62	8	0,0077500
4	Percobaan 4	67	8	0,0083750
5	Percobaan 5	64	8	0,0080000
6	Percobaan 6	64	8	0,0080000
7	Percobaan 7	67	8	0,0083750
8	Percobaan 8	64	8	0,0080000
9	Percobaan 9	68	8	0,0085000
10	Percobaan 10	68	8	0,0085000
11	Percobaan 11	66,5	8	0,0083125
12	Percobaan 12	65	8	0,0081250
13	Percobaan 13	67	8	0,0083750
14	Percobaan 14	67	8	0,0083750
15	Percobaan 15	65	8	0,0081250
Rata rata				0,0082458

Table 3.2 Hasil percobaan pengukuran mass flow rate saat proses spray

Dari hasil percobaan di atas di mana proses spray di lakukan selama 8 detik, Mass Flow rate untuk proses spray adalah

$$Q = \frac{\Sigma m}{\Sigma t}$$

$$Q = \frac{989,5 \text{ cm}^3}{120 \text{ det}}$$

$$Q = 8,2458 \text{ cm}^3/\text{det}$$

$$Q = 0,0082458 \text{ dm}^3/\text{det}$$

$$m = 0,008163 \text{ Kg}/\text{det}$$

Pengukuran Pressure Dop (ΔP) pada nozzle

Cara pengukuran :

Pada saat proses spray display pada pressure di lihat dan di catat, pressure ini merupakan (titik 1) P1 dimana merupakan pressure saat akan masuk ke nozzle . Untuk pressure keluaran nozzle (titik 2) P2 di asumsikan merupakan pressure lingkungan yaitu 101325 Pa.

$$P_{\text{atm}} = 101325 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{gage}} = 78000 \text{ Pa}$$



Gambar 3.8 pengukuran pressure pada mixing head spray

Sehingga untuk pressure drop (ΔP) di mana merupakan perbedaan tekanan antara P1 dan P2, maka berdasar hasil pengukuran di dapat bahwa

$$P1 = P_{\text{atm}} + P_{\text{gage}} = 101325 + 78000 = 179325 \text{ Pa}$$

$$P2 = P_{\text{atm}} = 101325 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 179325 - 101325 = 78000 \text{ Pa}$$

Di dapat bahwa perbedaan pressure (pressure drop) pada Nozle minxing head spray adalah **78000 Pa**

Berikut Resume hasil pengukuran dan pengambilan data aktual untuk proses spray die casting

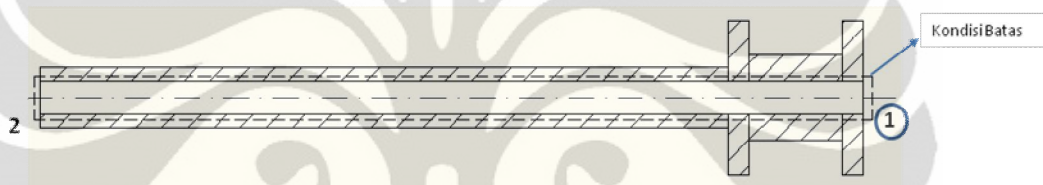
No	Item Pengukuran	Result
1.	Massa Jenis Fluida (ρ)	990,08 gr/cm^3
2.	Temperatur fluida (t)	31 ^o C
3.	Mass Flow rate (Q)	0,0082458 dm^3/det
4.	P1 (Pressure di titik 1)	179325 Pa
5.	P2 (Pressure di titik 2)	101325 Pa
6.	ΔP (Pressure drop)	78000 Pa

BAB IV ANALISA DATA

4.1 Mencari nilai pressure drop dengan penyelesaian menggunakan persamaan aliran fluida

Berdasarkan data yang telah di dapat dari percobaan maupun dari tabel , kita dapat mencari pressure drop menggunakan persamaan aliran dalam pipa dan head loss nya

Boundary condition Nozzle



Gambar 4.1 control volume nozzle mixing head

Dari data aktual di ketahui :

Mass flow rate (\dot{m}) = 0,008163 kg/det (nilai dari hasil pengukuran)

Debit (Q) = 0,008245 /det

Massa jenis fluida (ρ) = 0,99008 gr/d = 990,08 kg/

Diameter dalam pipa (D) nozzle = 1,8 mm

Panjang (L) = 42,4 mm

Viskositas (μ) air = 1 cps = 0,001 Pa s (table 2,2 viskositas material)

ϵ pipa material tembaga (copper) = 0,001 – 0,002 mm

(table 2,3 roughness material)

a) Mencari Nilai V (kecepatan aliran)

Persamaan

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot V$$

$$8,245 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det} = \frac{\pi}{4} (1,8 \times 10^{-3})^2 \text{ m}^2 \times V$$

$$V = 3,24 \text{ m} / \text{det}$$

b) Mencari nilai Re (Reynold Number)

Untuk mengetahui jenis aliran

$$Re = \frac{\rho V d}{\mu}$$

$$Re = \frac{(990,08 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) (3,24 \frac{\text{m}}{\text{s}}) (1,8 \times 10^{-3} \text{ m})}{0,001 \text{ Pa s}}$$

$$Re = 5774,14$$

Re > 4000 , maka jenis aliran fluida tersebut saat melewati pipa adalah turbulen

c) Mencari nilai f (friction)

Nilai f (friction) di cari menggunakan moody diagram

$$Re = 5774,14$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0015}{1,8}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,0008330$$

Dari moody diagram

Dengan Re = 5774,14 dan $\frac{\varepsilon}{D} = 0,0008330$

Di dapat nilai f = 0,037

Pressure drop pada nozzle pipa

$$\Delta P_1 = f \frac{\ell}{D} \frac{\rho V^2}{2}$$

$$\Delta P_1 = 0,037 \frac{0,0425}{1,8 \times 10^{-3} \text{ (m)}} \frac{990,08 \text{ kg/m}^3}{2} (3,24)^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\Delta P_1 = 4539,92 \text{ kg/m}^2$$

$$\Delta P_1 = 44536,64 \text{ N/m}^2$$

$$\Delta P_1 = 44536,64 \text{ Pa}$$

Pressure drop pada aliran masuk nozzle pipa

$$\Delta P_2 = K_L \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (\text{sesuai gambar 2,4 Nilai } K_L \text{ untuk kondisi nozzle adalah } 0,5)$$

$$\Delta P_2 = (0,5) \times (0,5) \times 990,08 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (3,24)^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\Delta P_2 = 2598,37 \text{ N/m}^2$$

$$\Delta P_2 = 2598,37 \text{ Pa}$$

Pressure drop pada keluaran nozzle pipa

Kondisi Nozle

D nozzle = 1,8 mm

D pipa pengarah = 6 mm

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (1,8)^2 \text{ mm}^2$$

$$= 2,5434 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} (6)^2 \text{ mm}^2$$

$$= 28,26 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_1}{A_2} = 0,09$$

Untuk $\frac{A_1}{A_2} = 0,09$ Berdasar gambar 2,6 Maka Nilai K_L adalah 0,8

$$\Delta P_3 = K_L \frac{1}{2} \rho V^2$$

$$\Delta P_3 = (0,8) (0,5) 990,08 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (3,24)^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\Delta P_3 = 4157,385 \text{ N/m}^2$$

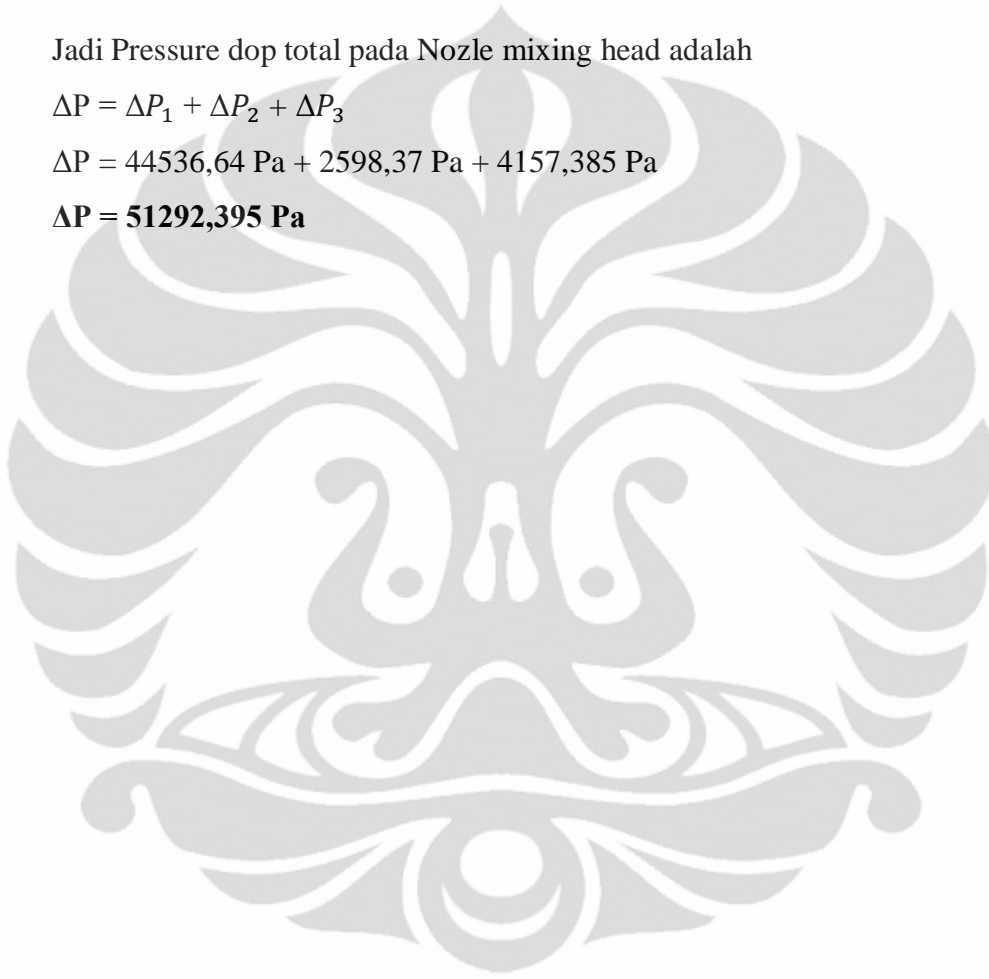
$$\Delta P_3 = 4157,385 \text{ Pa}$$

Jadi Pressure dop total pada Nozle mixing head adalah

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3$$

$$\Delta P = 44536,64 \text{ Pa} + 2598,37 \text{ Pa} + 4157,385 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = \mathbf{51292,395 \text{ Pa}}$$



4.2 Mencari nilai pressure drop dengan penyelesaian menggunakan simulasi program cfdsof

Simulasi Nozzle mixing head pada program cfdsof ini menggunakan kondisi sempadan / input data berupa Tekanan. Di mana Tekanan pada sisi masuk dan Tekanan pada sisi keluaran menjadi dasar perhitungan untuk mencari nilai nilai yang lain.

Berikut data input yang di entry pada simulasi cfdsof

Dimensi : Panjang (l) 42,4 mm
Diameter pipa (d) 1,8 mm
Fluida : Massa jenis (ρ) 990,08 kg/m³
Viskositas (μ) 0,001 Pa s
Temp (T) 304 K
Tekanan : Input Pressure 179325 Pa
Output Pressure 101325 Pa

Data yang ingin di dapatkan

- d) Distribusi Tekanan & Pressure Drop
- e) Distribusi kecepatan
- f) Mass flow rate

Di bawah merupakan contoh tampilan proses simulasi pencarian nilai tekanan, mass flow rate dan kecepatan fluida pada nozzle mixing head menggunakan simulasi program cfdsof.

```

CFDSOF
*****
(*)-
PERINTAH YG TERSEDIA DI *AWAL*:
      BACA-FILE-CASE      BACA-CASE-DATA      MAHIR
FILE-TERFORMAT  INPUT-1      OPSI      LIHAT-GRAFIS
ESC
(*AWAL*)-
in
(*)- ALOKASI MEMORI, MOHON TUNGGU..
(*)- *** SISTEM SATUAN ***
(L)- PAKAI SAT.INGGRIS ( N = SATUAN SI )?
(L)- Y / N  ++(BAWAAN -N)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

PERINTAH YG TERSEDIA DI INPUT1:
      BACA-FILE-GRID      ATUR-DOMAIN      BATAS-TAYANGAN
BANGUN-GRID      KOORDINAT-MODAL      UBAH-CELL      ATUR-MODEL
LIHAT-GRAFIS      MAHIR      ESC
(INPUT1)-
ad

PERINTAH YG TERSEDIA DI SET-DOMAIN:
      DIMENSI      UKRN-DOMAIN      JUMLH-CELL      SLR      ESC
(SET-DOMAIN)-
d
(I)- JUMLAH DIMENSI FISIKAL DALAM DOMAIN      (2 / 3)
(I)- ++(BAWAAN 2)++

(I)- BAWAAN DIPAKAI

PERINTAH YG TERSEDIA DI SET-DOMAIN:
      DIMENSI      UKRN-DOMAIN      JUMLH-CELL      SLR      ESC
(SET-DOMAIN)-
ud
(L)- PILIH KOORDINAT SIMETRIS-SUMBU?
(L)- Y / N  ++(BAWAAN -N)++
y
(R)- PANJNG DOMAIN
(R)- SAT. = H ++(BAWAAN 1.0000E+00)++
42.2e-3
(R)- RADIUS DALAM ANULUS
(R)- SAT. = H ++(BAWAAN 0.0000E-01)++
|

```

```

CFDSOF
PERINTAH YG TERSEDIA DI SET-DOMAIN:
DIMENSI      UKRN-DOMAIN  JUMLH-CELL  SLR      ESC
(SET-DOMAIN)-
ud
(L)- PILIH KOORDINAT SIMETRIS-SUMBU?
(L)- Y / N  ++(BAWAAN -N )++
y
(R)- PANJNG DOMAIN
(R)- SAT. = M ++(BAWAAN  1.0000E+00)++
42.2e-3
(R)- RADIUS DALAM ANULUS
(R)- SAT. = M ++(BAWAAN  0.0000E-01)++
0
(R)- RADIUS LUAR ANULUS
(R)- SAT. = M ++(BAWAAN  1.0000E+00)++
0.9e-3
(R)- SUDUT SEKTOR (PAKAI HNY UTK OUTPUT)
(R)- SAT. = RAD ++(BAWAAN  1.0000E+00)++

(R)- BAWAAN DIPAKAI

PERINTAH YG TERSEDIA DI SET-DOMAIN:
DIMENSI      UKRN-DOMAIN  JUMLH-CELL  SLR      ESC
(SET-DOMAIN)-
jc
(I)- AKS:  ARAH (I)
(I)- ++(BAWAAN  10)++
60
(I)- RAD:  ARAH (J)
(I)- ++(BAWAAN  10)++
15

PERINTAH YG TERSEDIA DI SET-DOMAIN:
DIMENSI      UKRN-DOMAIN  JUMLH-CELL  SLR      ESC
(SET-DOMAIN)-
slr
(I)- JUMLAH DIMENSI FISIKAL DALAM DOMAIN  (2 / 3)
(I)- ++(BAWAAN  2)++

(I)- BAWAAN DIPAKAI

(L)- PILIH KOORDINAT SIMETRIS-SUMBU?
(L)- Y / N  ++(BAWAAN -Y )++
y
(R)- PANJNG DOMAIN

```



```

CFDSOF
PERINTAH YG TERSEDIA DI KONSTANTA-FISIKAL:
  DNSITAS          USKOSITAS          TEKANAN-OPERASI    ESC
(KONSTANTA-FISIKAL)-
dn
(L)- PKAI HK GAS?
(L)- Y / N  ++(BAWAAN -N )++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(R)- DENSITAS FLUIDA
(R)- SAT. = KG/H3 ++(BAWAAN  1.0000E+03)++

(R)- BAWAAN DIPAKAI

PERINTAH YG TERSEDIA DI KONSTANTA-FISIKAL:
  DNSITAS          USKOSITAS          TEKANAN-OPERASI    ESC
(KONSTANTA-FISIKAL)-
dn
(L)- PKAI HK GAS?
(L)- Y / N  ++(BAWAAN -N )++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(R)- DENSITAS FLUIDA
(R)- SAT. = KG/H3 ++(BAWAAN  1.0000E+03)++
990.08

PERINTAH YG TERSEDIA DI KONSTANTA-FISIKAL:
  DNSITAS          USKOSITAS          TEKANAN-OPERASI    ESC
(KONSTANTA-FISIKAL)-
uk
TIDAK DIKENAL  -----U
                    UK

PERINTAH YG TERSEDIA DI KONSTANTA-FISIKAL:
  DNSITAS          USKOSITAS          TEKANAN-OPERASI    ESC
(KONSTANTA-FISIKAL)-
us
(R)- USKOSITAS FLUIDA
(R)- SAT. = KG/H-S ++(BAWAAN  9.0000E-04)++
0.001

PERINTAH YG TERSEDIA DI KONSTANTA-FISIKAL:
  DNSITAS          USKOSITAS          TEKANAN-OPERASI    ESC
(KONSTANTA-FISIKAL)-

```

```

CFDSOF
NITER (P) (U) (U) (H)
80 1.914E-03 2.054E-02 2.341E-05 3.223E-02
81 1.895E-03 2.024E-02 2.321E-05 3.187E-02
82 1.875E-03 1.994E-02 2.305E-05 3.150E-02
83 1.855E-03 1.965E-02 2.286E-05 3.112E-02
84 1.839E-03 1.937E-02 2.265E-05 3.075E-02
85 1.820E-03 1.910E-02 2.243E-05 3.032E-02
86 1.803E-03 1.883E-02 2.226E-05 3.007E-02
87 1.786E-03 1.856E-02 2.214E-05 2.973E-02
88 1.773E-03 1.831E-02 2.199E-05 2.939E-02
89 1.757E-03 1.806E-02 2.184E-05 2.909E-02
90 1.737E-03 1.781E-02 2.165E-05 2.878E-02
91 1.702E-03 1.757E-02 2.146E-05 2.846E-02
92 1.681E-03 1.734E-02 2.132E-05 2.815E-02
93 1.672E-03 1.711E-02 2.121E-05 2.787E-02
94 1.659E-03 1.688E-02 2.105E-05 2.758E-02
95 1.643E-03 1.666E-02 2.092E-05 2.728E-02
96 1.625E-03 1.645E-02 2.079E-05 2.700E-02
97 1.608E-03 1.624E-02 2.065E-05 2.674E-02
98 1.596E-03 1.603E-02 2.049E-05 2.647E-02
99 1.581E-03 1.583E-02 2.036E-05 2.620E-02
.....RESIDU NORMALISASI .....
NITER (P) (U) (U) (H)
100 1.572E-03 1.563E-02 2.027E-05 2.594E-02

PERINTAH YG TERSEDIA DI *AVAL*:
BACA-FILE-CASE  BACA-CASE-DATA  BACA-FILE-DATA  HAHIR  FILE-TERFORMAT  INPUT-1  ITER-1  TAPEL
INPUT-2        CETAK-FILE      LIHAT-ALFA     TULIS-FILE-CASE  TULIS-CASE-DATA  TULIS-FILE-DATA  OPST    LIHAT-CRAFIS
(=AVAL*)-
lg

PERINTAH YG TERSEDIA DI LIHAT-CRAFIS:
GRID          GRID-PERBUKH          GRID-ZONA          OUTLINE          OUTLINE-GEOMETRI          T0H-TEKS
SET-PARAMETER  RENTANG-LIHAT        DRIVER            HEADFILE          PLAY-BACK              KONTUR
KONTUR-PENUH  PARAMETER-KONTUR     ITEM-LABEL       STREAKLINE        PROFIL                 VEKTOR-KECEPATAN
VEKTOR-DITAPKH-USER  PARAMETER-VEKTOR    PLOT-XY          ATUR-LIHAT-GRFS  KAPSI                   WARNA-MAP
PILIH-WARNA    BUKA-WINDOW         TUTUP-WINDOW     SET-WINDOW        ESC

(LIHAT-CRAFIS)-
du
(1)- INPUT ID WINDOW
(1)- ++(BAWAAN  1)++

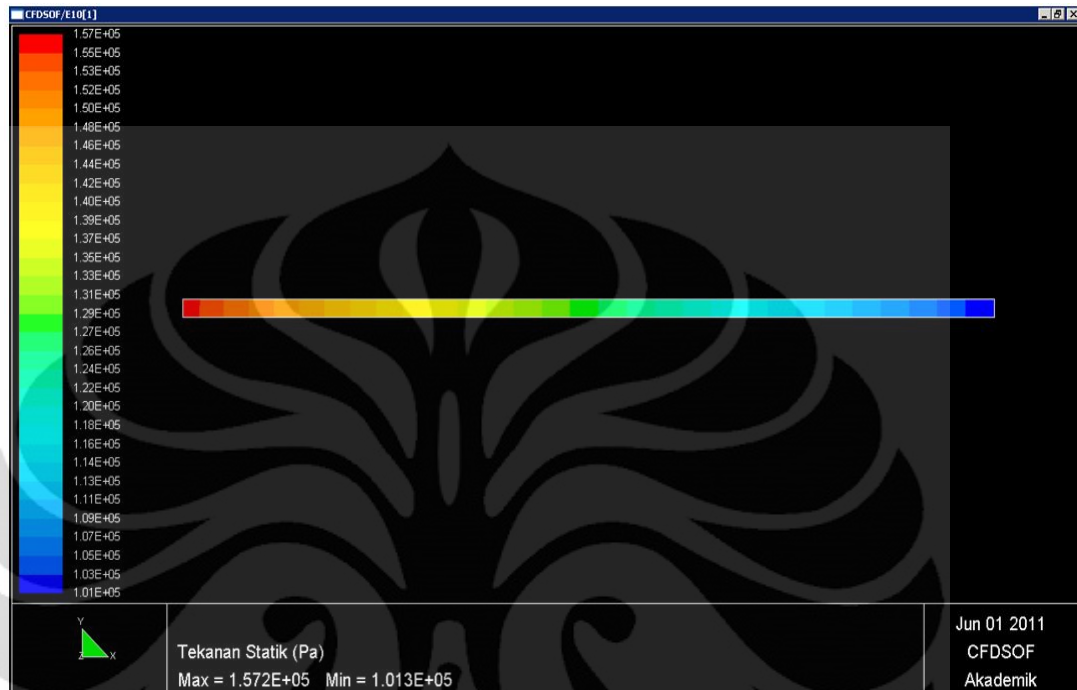
(1)- BAWAAN DIPAKAI

PERINTAH YG TERSEDIA DI LIHAT-CRAFIS:
GRID          GRID-PERBUKH          GRID-ZONA          OUTLINE          OUTLINE-GEOMETRI          T0H-TEKS

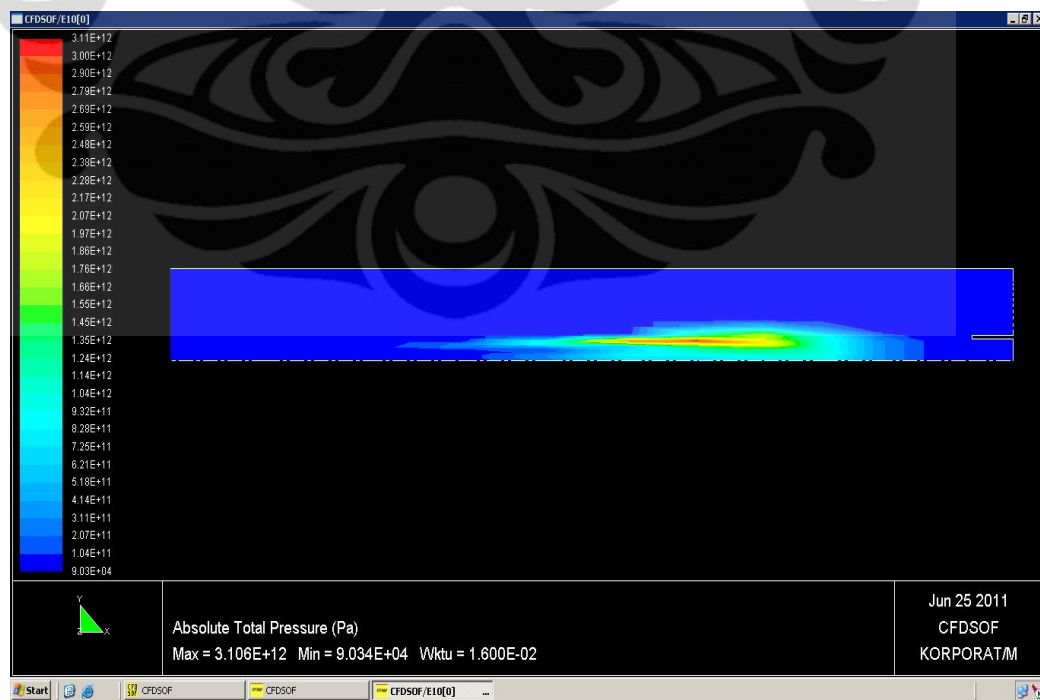
```


Hasil output pada simulasi cfdsof dapat berupa tampilan grafik yang memudahkan pengamatan pada object yang di cari nilainya.

a) Distribusi tekanan



Gambar 4.3 distribusi tekanan fluida pada nozzle mixing head



Gambar 4.4 distribusi tekanan fluida pada pipa (lanjutan nozzle)

Pada gambar input nozzle terlihat bahwa terlihat tampilan pressure statik pada grafik 157200 Pa,

Bila di konversikan menjadi tekanan absolute /total di tambahkan dengan $\frac{1}{2} \rho v^2$ menjadi = $157200 + \frac{1}{2} (990,08) 3,8^2$ ($3,8 \text{ m/s} = \text{gambar 4.5 posisi titik masuk}$)
= 164691 Pa

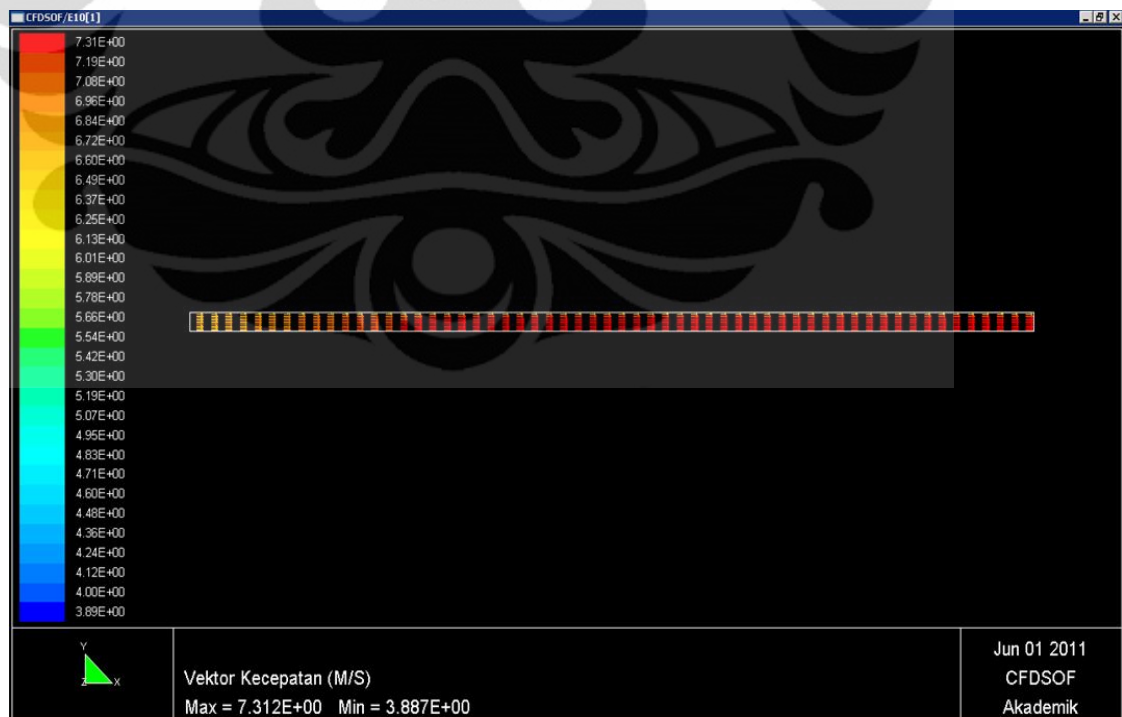
Pada titik keluar pipa (gambar 4.4)

Tekanan absolute di titik keluar pipa adalah **90300 Pa**

Maka Perbedaan tekanan kedua titik berdasar hasil simulasi

$$\begin{aligned} \Delta P &= 164691 \text{ Pa} - 90300 \text{ Pa} \\ &= \mathbf{74390,9 \text{ Pa}} \end{aligned}$$

b) Distribusi kecepatan



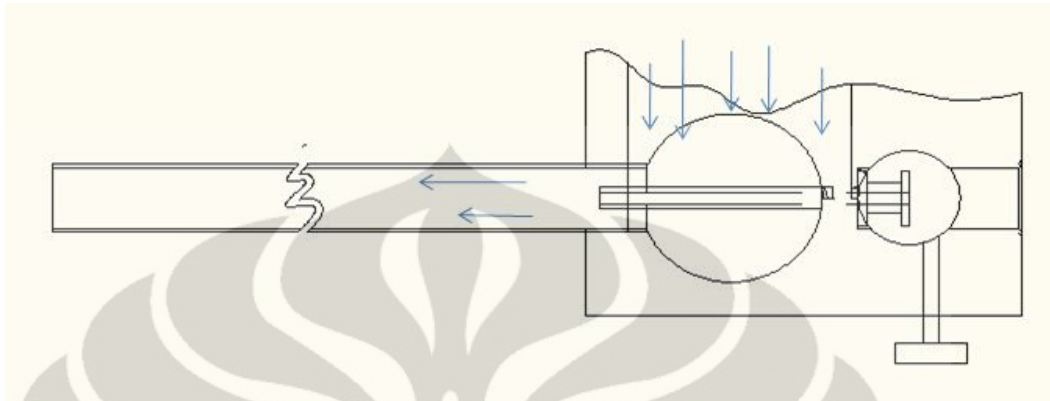
Gambar 4.5 Distribusi kecepatan fluida pada nozzle mixing head

Pada display kecepatan terlihat kecepatan maksimal terlihat pada sisi keluaran (outlet) , dimana memang kecepatan berbanding terbalik dengan tekanan. Untuk sisi keluaran distribusi tekanan pada gambar 4.2 justru terlihat menurun.

Kecepatan fluida pada sisi masuk berada di kisaran 3.887 m/s sedangkan pada sisi keluaran (outlet) 7,31 m/s



4.3 Simulasi Output Nozzle dimana terdapat tambahan Input udara bertekanan menggunakan Program cfdsof



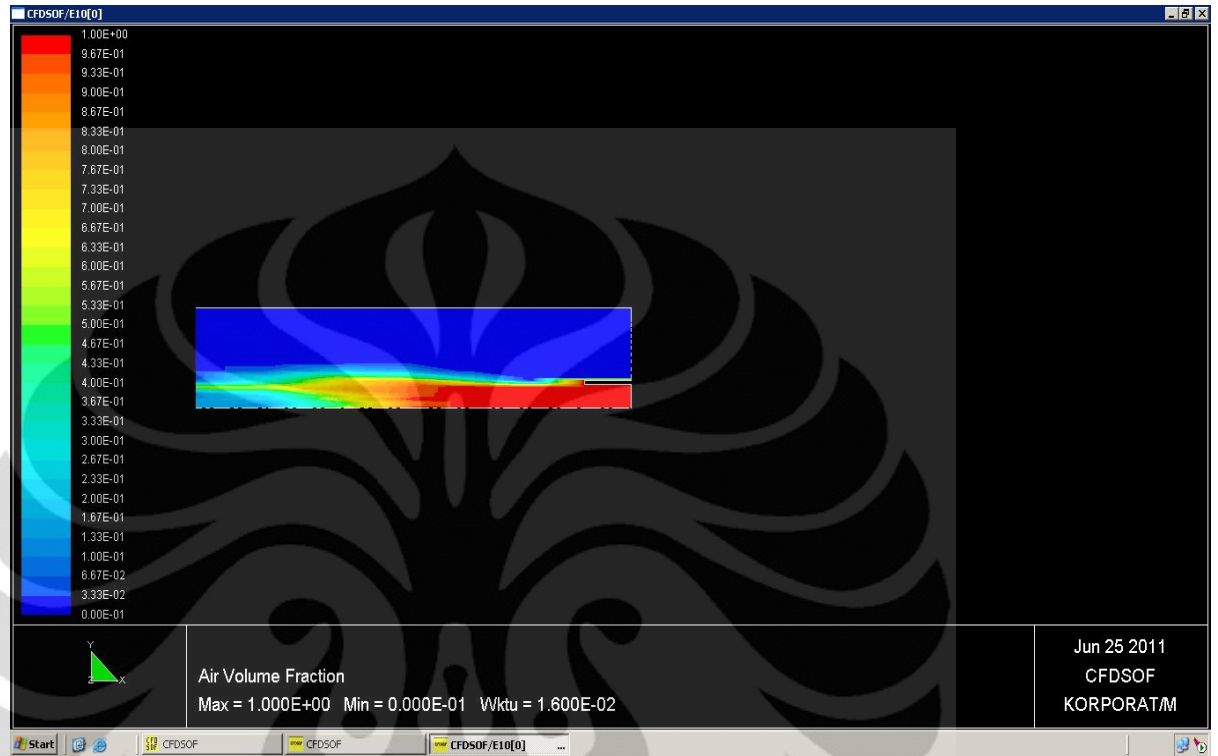
Gambar 4.6 Nozzle dengan pengarah pipa

Dengan data input simulasi

- Power Kompresor 22 KW / 18 Mc
- Eff Kompresor 75 % (Tabel Eff Kompresor)
- Dia Pipa 6 mm
- Panjang Pipa 300 mm
- Tekanan angin 3 bar
- Kec. angin dari kompresor 107 m/s

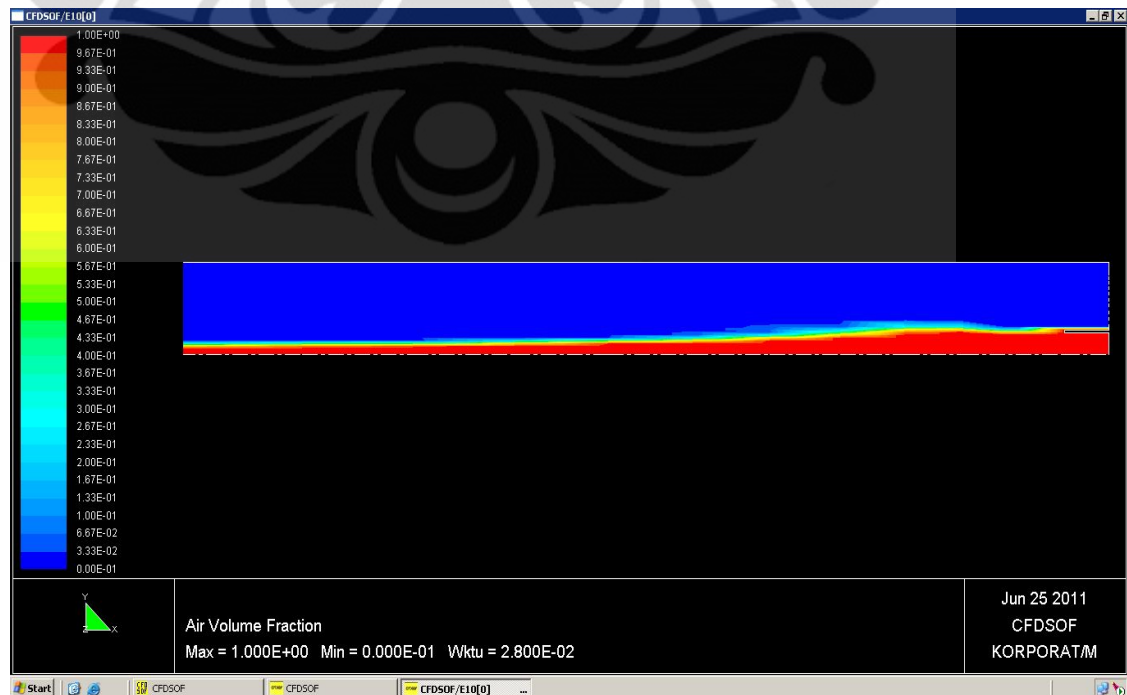
Untuk Air Volume fraction

Iterasi 1,6 (0,16 detik)



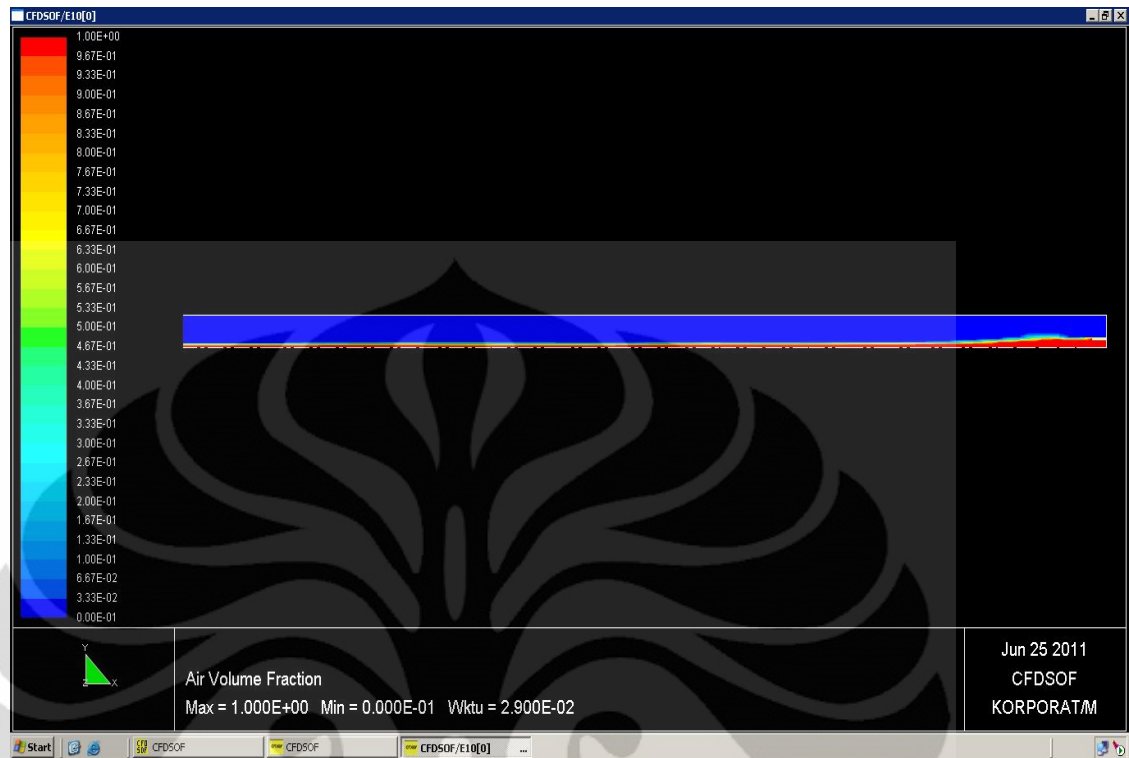
Gambar 4.7 Air volume fraction dg iterasi 1.6

Iterasi 2.8 (0.28 detik)



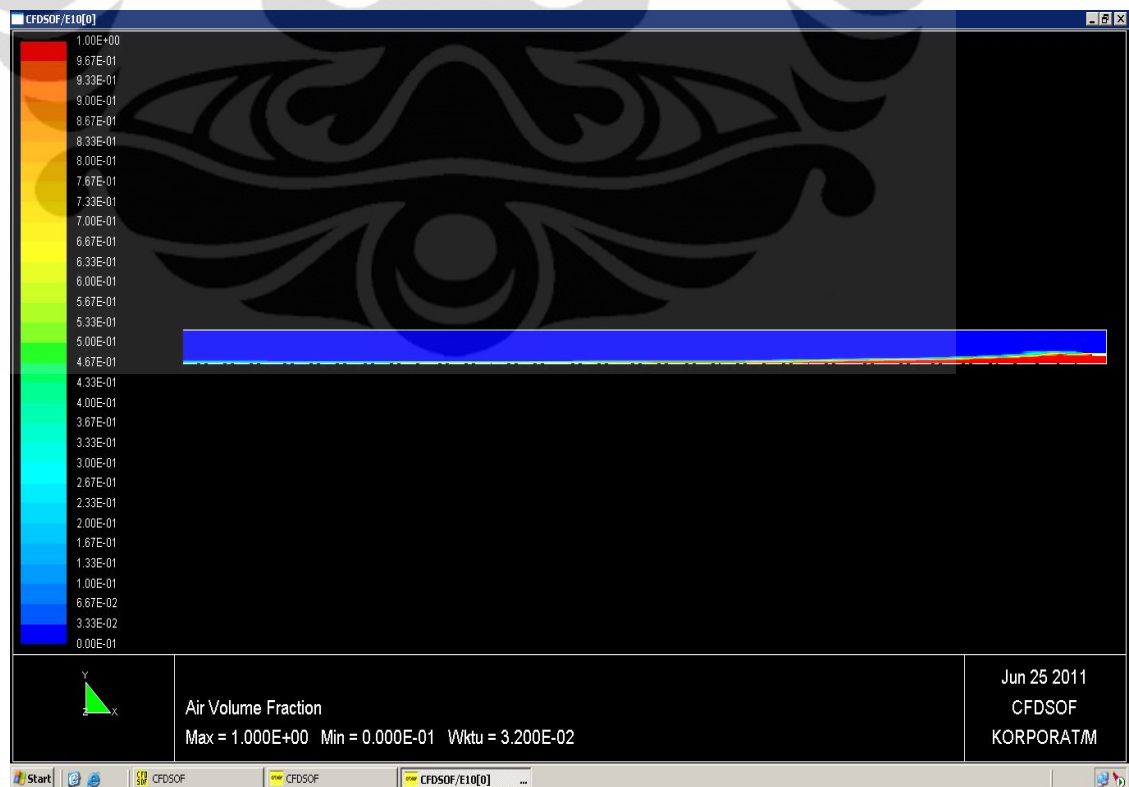
Gambar 4.8 Air volume fraction dg iterasi 2.8

Iterasi 2.9 (0.29 detik)



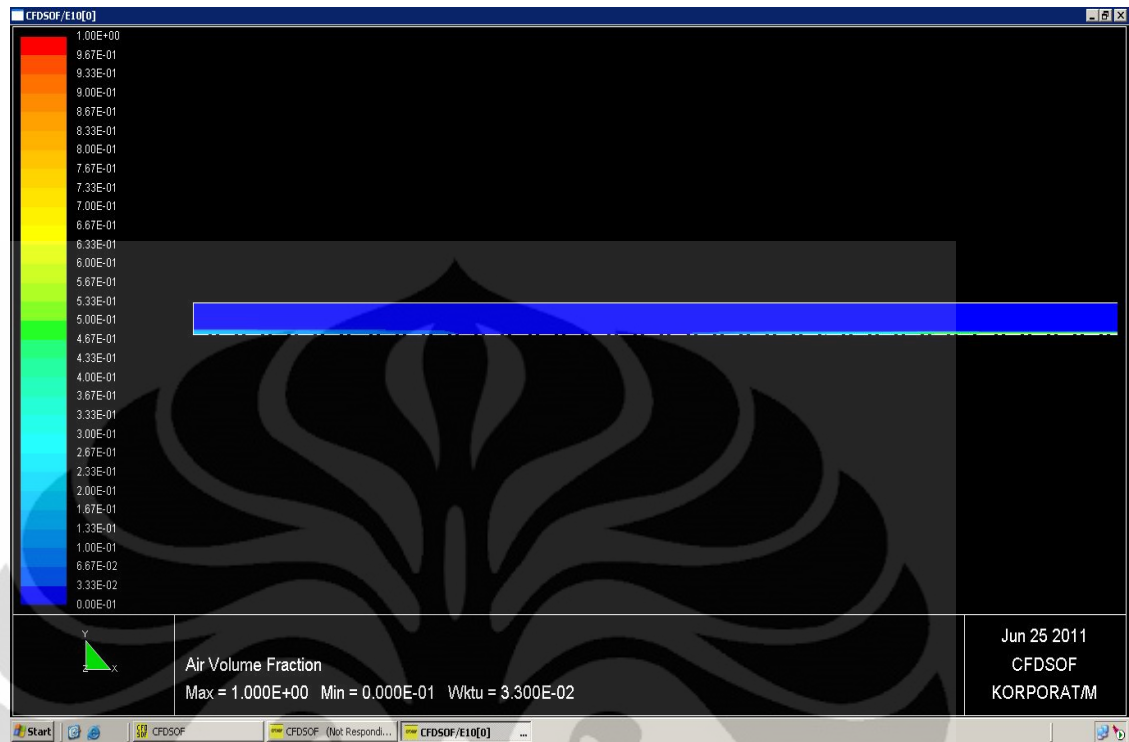
Gambar 4.9 Air volume fraction dg iterasi 2.9

Iterasi 3.2 (0.32 detik) pada sisi masuk



Gambar 4.10 Air volume fraction sisi masuk dg iterasi 3.2

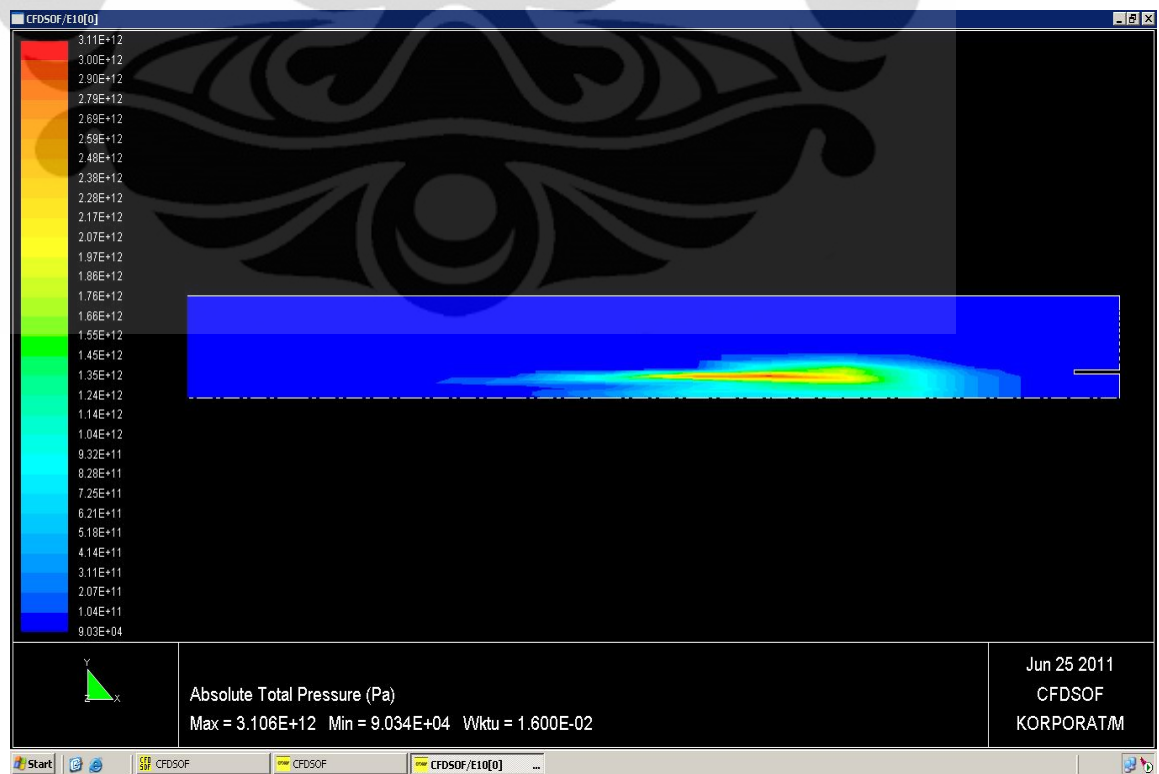
Iterasi 3.2 (0.32 detik) pada sisi keluar



Gambar 4.11 Air volume fraction sisi keluar dg iterasi 3.2

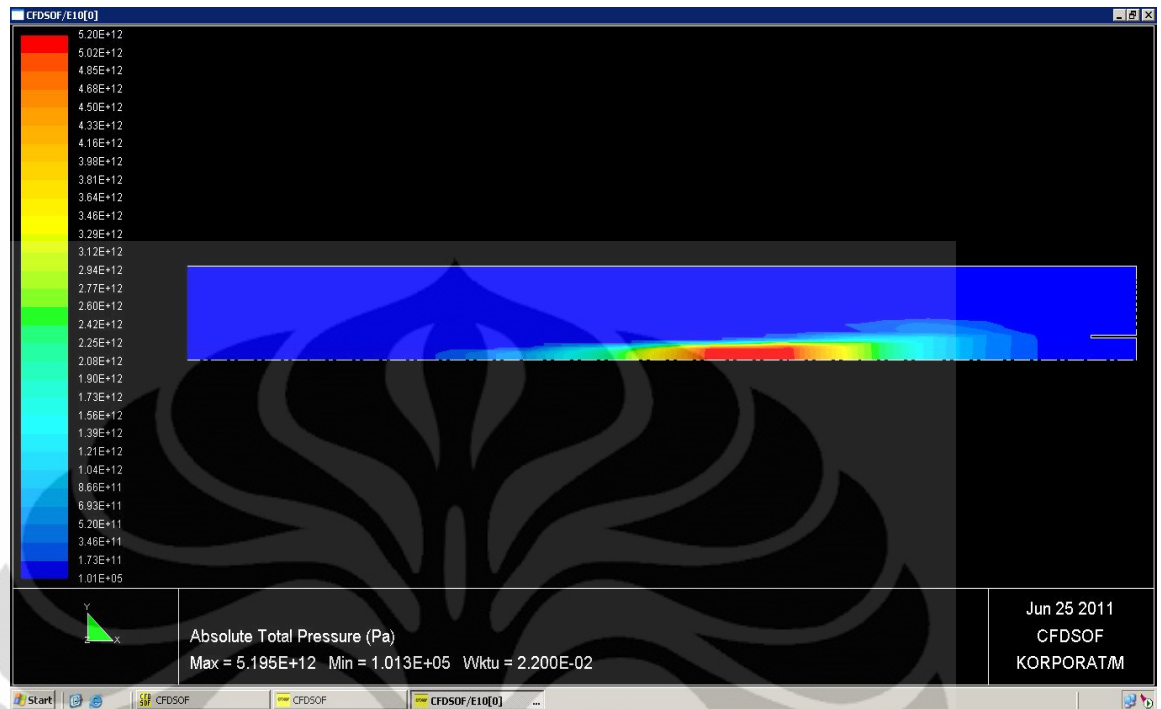
Grafik Tekanan

Iterasi 1.6 (0.16 detik)



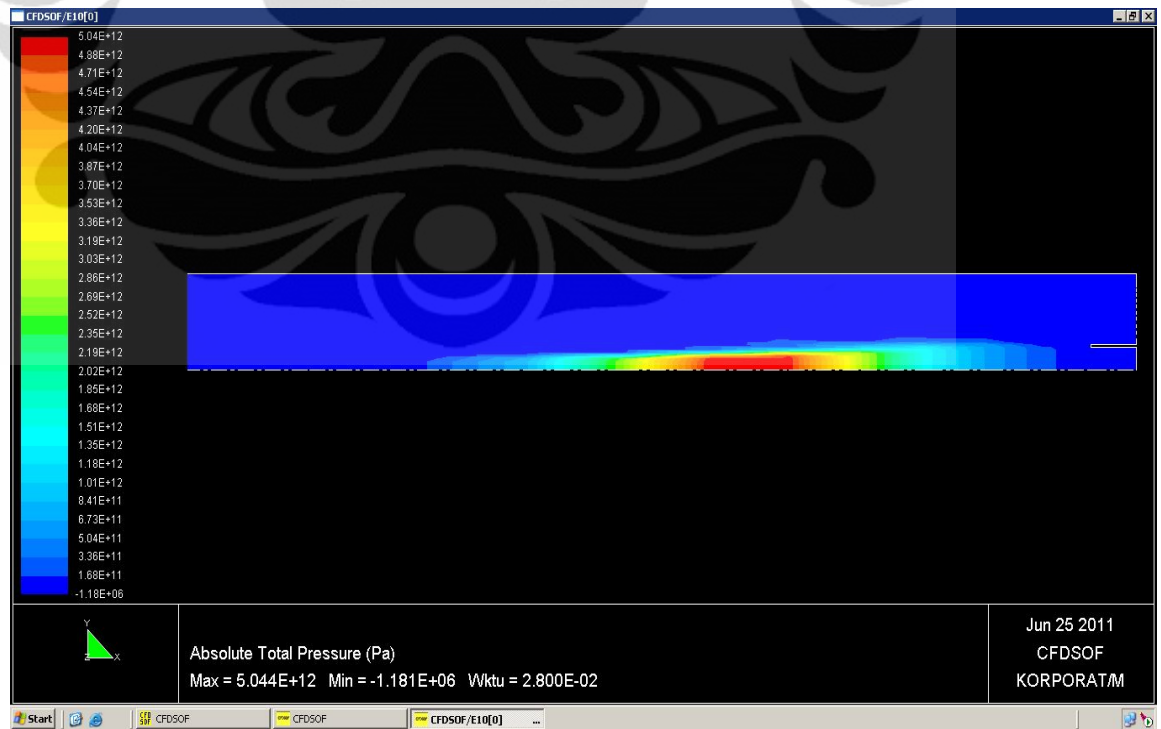
Gambar 4.12 grafik tekanan dg iterasi 1.6

Iterasi 2.2 (0.22 detik)



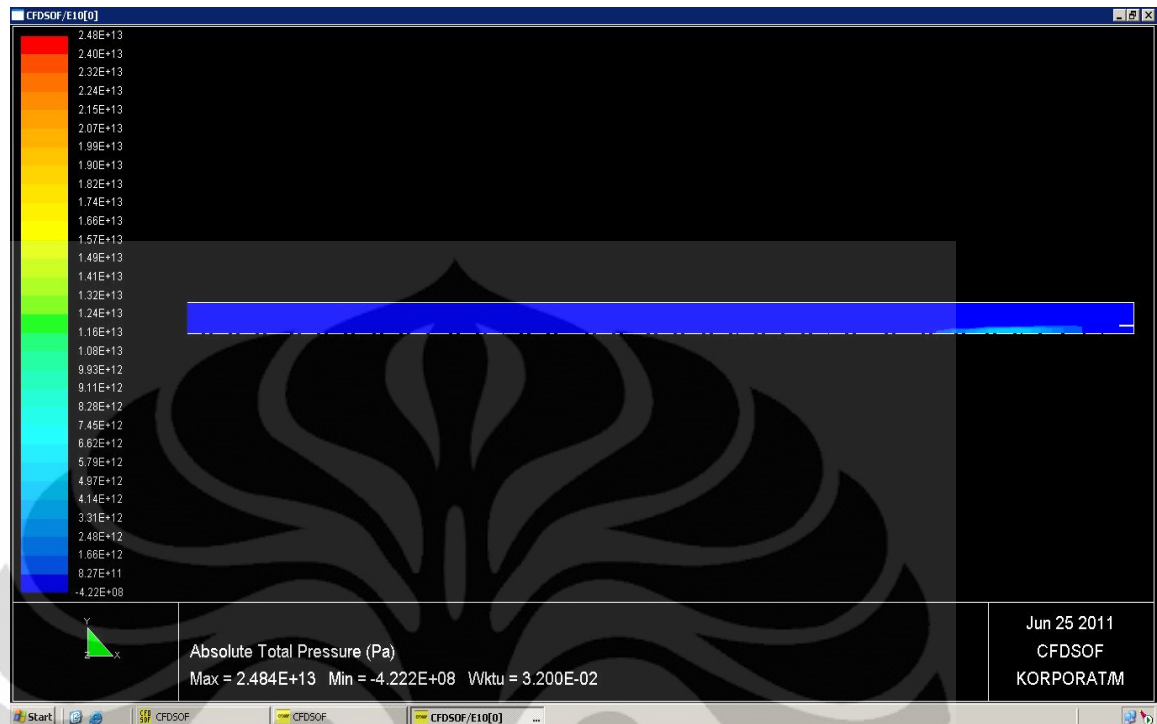
Gambar 4.13 grafik tekanan dg iterasi 2.2

Iterasi 2.8 (0.28 detik)



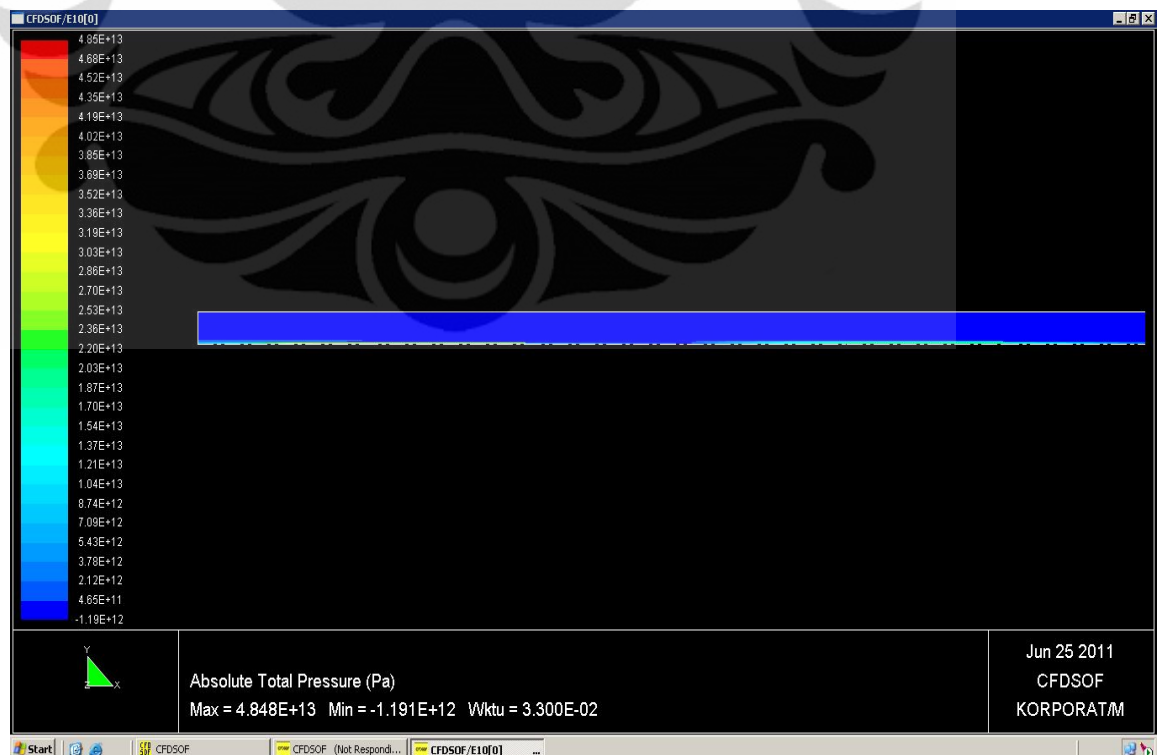
Gambar 4.14 grafik tekanan dg iterasi 2.8

Iterasi 3.2 (0.32 detik) pada sisi masuk



Gambar 4.15 grafik tekanan sisi masuk dg iterasi 3.2

Iterasi 3.2 (0.32 detik) pada sisi keluar



Gambar 4.16 grafik tekanan sisi keluar dg iterasi 3.2

BAB V

KESIMPULAN

Dari hasil analisa pressure drop dan mass flow rate secara pengukuran, Perhitungan dan simulasi menggunakan, terdapat perbedaan dari nilai yang didapatkan.

Berikut Resume pressure dop untuk masing masing metode pengambilan data.

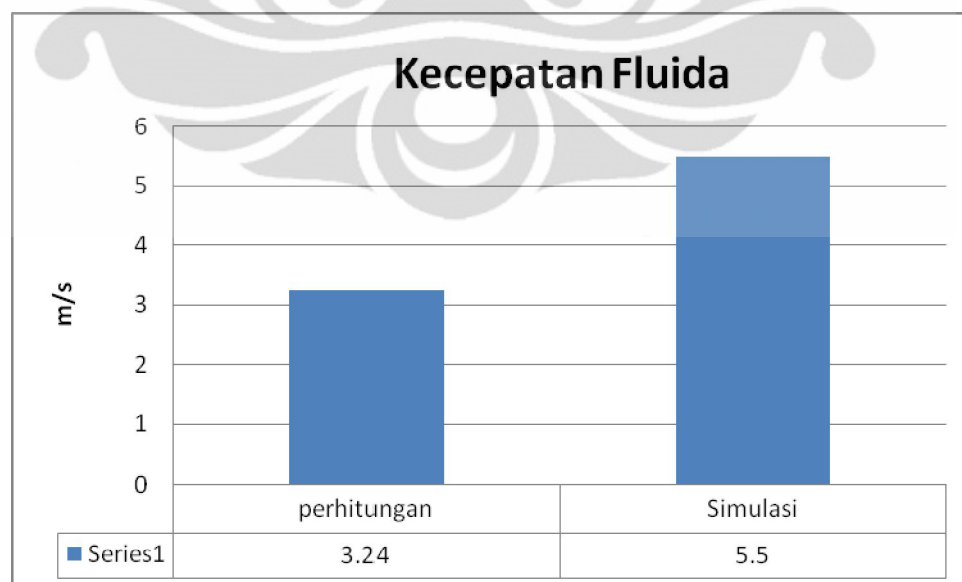
Nilai Q hasil pengukuran = 0,0082 liter/detik

No	Item	Pengukuran	Perhitungan	Simulasi
1.	V		3,24 m/s	5,5 m/s
2.	ΔP	78000 Pa		74390,9 Pa

Tabel 5.1 Perhitungan Nozzle mixing head untuk Perbedaan tekanan dan kecepatan aliran yang di ambil menggunakan pengukuran, perhitungan dan simulasi cfdsof

Berdasar table 5-1 dapat ditarik kesimpulan bahwa.

a) Untuk Nilai kecepatan



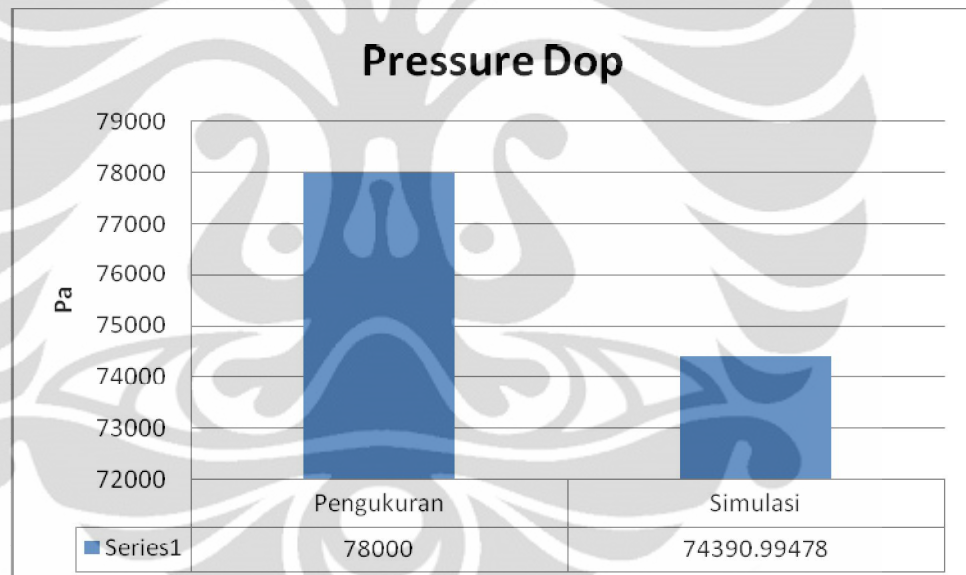
Grafik 5.1 Nilai mass kecepatan fluida nozzle terhadap mode pencarian

Perbedaan antara hasil perhitungan dengan simulasi.

Adanya perbedaan kecepatan hasil simulasi dengan hasil perhitungan , dapat disebabkan

- a) Kondisi nozzle yang terdapat kerak (kotoran) pada inside diameternya
- b) Setting grid / jumlah cell pada nozzle . semakin banyak grid yang terbentuk , semakin tepat suatu perhitungan
- c) Jumlah Iterasi, Iterasi yang semakin banyak ,akan menghasilkan nilai yang semakin baik pula.

b) Untuk nilai Pressure dop (ΔP)



Grafik 5.2 Nilai pressure dop nozzle mixing head terhadap mode pencarian

Hasil Perhitungan dengan simulasi

Nilai yang di dapat dari Hasil perhitungan dan simulasi cfd sudah mendekati, perbedaan sekitar 4,6 % merupakan hasil yang cukup baik.

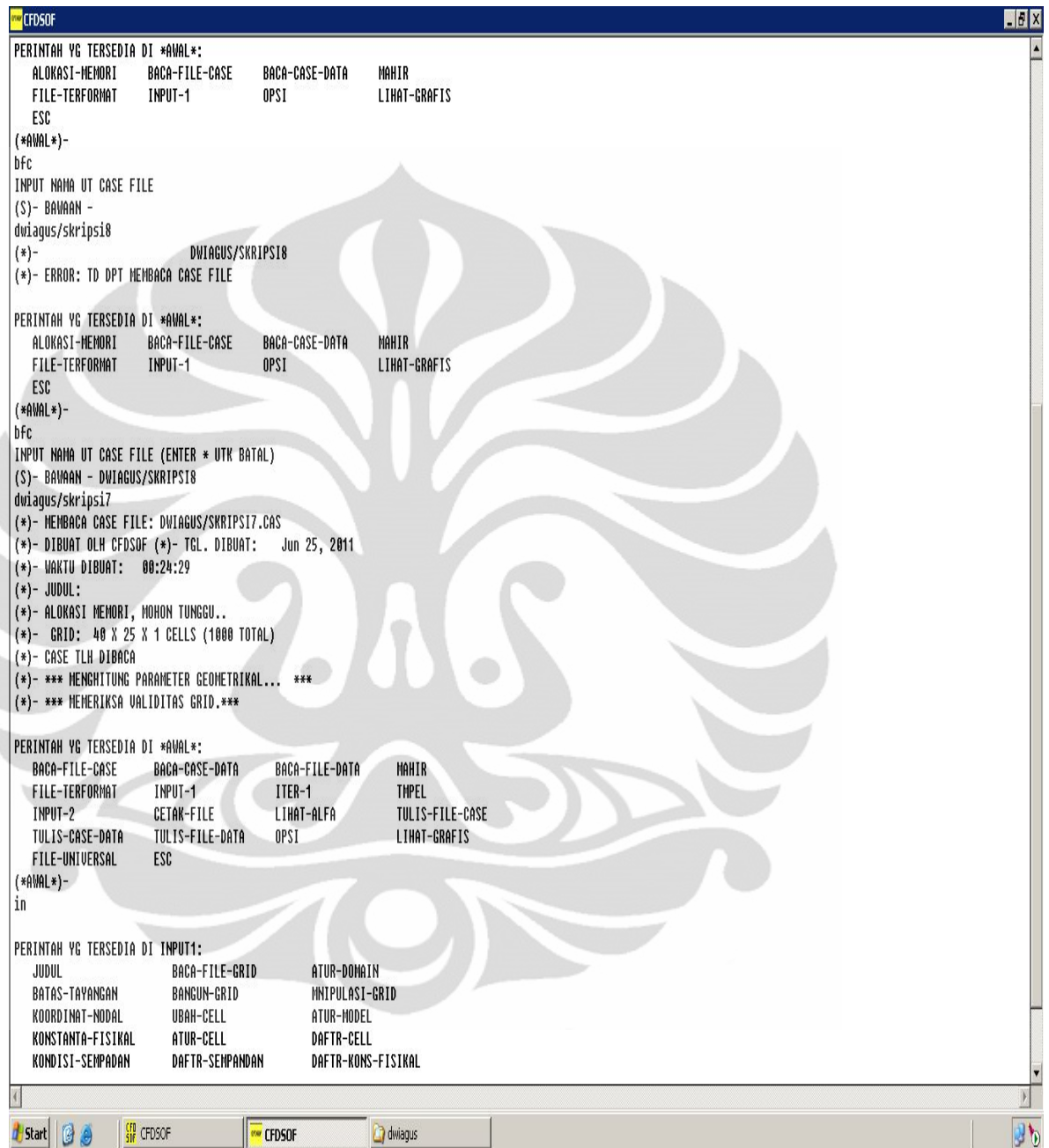
Banyak yang mempengaruhi perbedaan pengukuran diantaranya

- Perbedaan kondisi , dimana untuk simulasi selalu di kondisikan ideal. Sedangkan untuk pengukuran tidak ideal dalam arti , kemungkinan diameter nozzle telah berkarat.

DAFTAR PUSTAKA

- a) Fox. Robert W , Mc Donald. Alan T , Pritchard. Philip J, 2003, “ *Introduction to Fluid Mechanics* “, Sixth Edition , United States of America , John Wiley & Sons, Inc
- b) Scahschke, Carl, 2000, “ *Fluid Mechanics worked examples for engineer* “, Institution of Chemical Engineers
- c) Munson. Bruce R, Young. Donald F, Okiishi. Theodore H, 2002, “ *Fundamentals of fluid mechanics* “, Fourth edition, John Wiley & Sons, Inc
- d) Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (1994). *Thermodynamics: An Engineering Approach* (2nd ed.). United States of America: McGraw-Hill.
- e) Versteeg HK, Malalasekera W, 2007 ,” *An Introduction to computational fluid dynamics the finite element method* “, Second edition, England , Pearson Prentice hall.
- f) Table viskositas material, di akses 12 mei 2011, www.vp-scientific.com
- g) Tabel kekasaran pada material , di akses 12 mei 2011, www.thermexcel.com

LAMPIRAN



```

CFDSOF
PERINTAH YG TERSEDIA DI *AWAL*:
  ALOKASI-MEMORI  BACA-FILE-CASE  BACA-CASE-DATA  MAHIR
  FILE-TERFORMAT  INPUT-1         OPSI             LIHAT-GRAFIS
ESC
(*AWAL*)-
bfc
INPUT MAHA UT CASE FILE
(S)- BAWAAN -
dwiagus/skripsi8
(*)-
          DWIAGUS/SKRIPSI8
(*)- ERROR: TD DPT MEMBACA CASE FILE

PERINTAH YG TERSEDIA DI *AWAL*:
  ALOKASI-MEMORI  BACA-FILE-CASE  BACA-CASE-DATA  MAHIR
  FILE-TERFORMAT  INPUT-1         OPSI             LIHAT-GRAFIS
ESC
(*AWAL*)-
bfc
INPUT MAHA UT CASE FILE (ENTER * UTK BATAL)
(S)- BAWAAN - DWIAGUS/SKRIPSI8
dwiagus/skripsi7
(*)- MEMBACA CASE FILE: DWIAGUS/SKRIPSI7.CAS
(*)- DIBUAT OLEH CFDSOF (*)- TGL. DIBUAT:  Jun 25, 2011
(*)- WAKTU DIBUAT:  00:24:29
(*)- JUDUL:
(*)- ALOKASI MEMORI, MOHON TUNGGU..
(*)- GRID: 40 X 25 X 1 CELLS (1000 TOTAL)
(*)- CASE TLH DIBACA
(*)- *** MENGHITUNG PARAMETER GEOMETRIKAL... ***
(*)- *** MEMERIKSA VALIDITAS GRID.***

PERINTAH YG TERSEDIA DI *AWAL*:
  BACA-FILE-CASE  BACA-CASE-DATA  BACA-FILE-DATA  MAHIR
  FILE-TERFORMAT  INPUT-1         ITER-1          THPEL
  INPUT-2         CETAK-FILE      LIHAT-ALFA      TULIS-FILE-CASE
  TULIS-CASE-DATA  TULIS-FILE-DATA  OPSI            LIHAT-GRAFIS
  FILE-UNIVERSAL  ESC
(*AWAL*)-
in

PERINTAH YG TERSEDIA DI INPUT1:
  JUDUL           BACA-FILE-GRID  ATUR-DOMAIN
  BATAS-TAYANGAN  BANGUN-GRID    MANIPULASI-GRID
  KOORDINAT-NODAL  UBAH-CELL      ATUR-MODEL
  KONSTANTA-FISIKAL  ATUR-CELL      DAFTR-CELL
  KONDISI-SEMPAPAN  DAFTR-SEMPAPAN  DAFTR-KONS-FISIKAL

```



```

CFDSOF
31 5.607E-01 9.871E-04 1.563E-04 5.842E-03 2.524E-02
31 5.976E-01 1.122E-03 2.277E-04 6.594E-03 2.704E-02
31 5.885E-01 1.034E-03 9.906E-05 6.137E-03 2.656E-02
31 5.990E-01 1.060E-03 4.719E-05 5.920E-03 2.556E-02
NWKRTU = 31 NITER = 2916 STEP = 1.00E-03 TIME = 3.100E-02 S
.....RESIDU NORMALISASI .....
NWKRTU (P) (U) (V) (E) (D)
31 5.789E-01 1.002E-03 7.342E-05 5.944E-03 2.570E-02
31 8.004E-01 1.018E-03 7.119E-04 6.385E-03 2.729E-02
31 7.595E-01 1.086E-03 4.814E-04 6.669E-03 2.850E-02
31 7.414E-01 1.139E-03 7.587E-04 6.054E-03 2.554E-02
31 8.630E-01 1.210E-03 3.836E-04 6.434E-03 2.686E-02
31 8.116E-01 1.216E-03 2.143E-04 6.711E-03 2.753E-02
31 7.660E-01 1.183E-03 5.851E-05 6.169E-03 2.577E-02
31 7.801E-01 1.191E-03 5.170E-05 6.154E-03 2.559E-02
31 8.138E-01 1.306E-03 2.479E-04 7.789E-03 3.243E-02
31 8.297E-01 1.292E-03 1.095E-04 7.829E-03 3.277E-02
31 8.165E-01 1.308E-03 1.153E-04 7.511E-03 3.154E-02
31 8.404E-01 1.452E-03 1.770E-04 6.573E-03 2.793E-02
31 7.972E-01 1.330E-03 2.290E-04 8.447E-03 3.668E-02
31 8.056E-01 1.308E-03 1.430E-04 8.000E-03 3.512E-02
31 8.691E-01 1.414E-03 1.776E-04 7.723E-03 3.481E-02
31 8.148E-01 1.256E-03 2.451E-04 7.478E-03 3.259E-02
31 8.958E-01 1.304E-03 1.318E-04 7.289E-03 3.235E-02
31 8.998E-01 1.236E-03 4.607E-04 8.595E-03 3.804E-02
31 1.200E+00 1.153E-03 2.095E-04 7.514E-03 3.348E-02
31 1.259E+00 1.162E-03 1.052E-04 7.508E-03 3.347E-02
NWKRTU = 31 NITER = 2936 STEP = 1.00E-03 TIME = 3.100E-02 S
.....RESIDU NORMALISASI .....
NWKRTU (P) (U) (V) (E) (D)
31 8.797E-01 1.108E-03 6.554E-05 7.583E-03 3.383E-02
32 1.077E+00 2.528E-03 9.316E-04 3.507E-03 1.666E-02
32 1.047E+00 2.385E-03 6.033E-04 2.803E-03 1.371E-02
32 1.077E+00 2.062E-03 2.874E-04 2.805E-03 1.111E-02
32 1.045E+00 1.929E-03 2.469E-04 2.705E-03 9.456E-03
32 1.200E+00 1.807E-03 3.575E-04 2.850E-03 9.849E-03
32 1.058E+00 1.662E-03 1.399E-04 2.566E-03 9.752E-03
32 1.080E+00 1.506E-03 9.237E-05 2.609E-03 1.030E-02
32 1.277E+00 1.463E-03 1.067E-04 2.653E-03 1.064E-02
32 1.142E+00 1.361E-03 2.208E-04 2.668E-03 1.080E-02
32 1.034E+00 1.321E-03 1.452E-04 2.690E-03 1.092E-02
32 1.251E+00 1.307E-03 1.437E-04 2.700E-03 1.118E-02
32 1.149E+00 1.289E-03 6.818E-05 2.772E-03 1.114E-02
32 1.161E+00 1.247E-03 1.487E-04 2.761E-03 1.106E-02
32 9.616E-01 1.235E-03 7.262E-05 2.720E-03 1.080E-02
32 1.167E+00 1.202E-03 1.314E-04 2.687E-03 1.067E-02

```



```

CFDSOF
NWRTU (P) (U) (V) (E) (D)
32 1.026E+00 1.160E-03 7.029E-05 2.567E-03 1.017E-02
32 9.989E-01 1.151E-03 7.404E-05 2.607E-03 1.036E-02
32 1.098E+00 1.145E-03 7.712E-05 2.610E-03 1.034E-02
32 1.105E+00 1.146E-03 1.077E-04 2.576E-03 1.020E-02
32 1.135E+00 1.148E-03 2.020E-04 2.442E-03 9.611E-03
32 1.077E+00 1.159E-03 4.250E-05 2.419E-03 9.521E-03
32 1.048E+00 1.156E-03 1.430E-04 2.447E-03 9.584E-03
32 9.916E-01 1.149E-03 1.150E-04 2.425E-03 9.504E-03
32 9.428E-01 1.151E-03 1.106E-04 2.284E-03 8.769E-03
32 8.021E-01 1.151E-03 6.131E-05 2.296E-03 8.046E-03
32 9.086E-01 1.144E-03 6.585E-05 2.104E-03 8.266E-03
32 8.613E-01 1.153E-03 5.424E-05 2.059E-03 7.768E-03
32 8.565E-01 1.160E-03 4.553E-05 1.989E-03 7.394E-03
32 8.920E-01 1.153E-03 4.430E-05 1.939E-03 7.144E-03
32 9.399E-01 1.150E-03 2.796E-05 1.977E-03 7.300E-03
32 8.590E-01 1.130E-03 1.698E-04 1.964E-03 7.262E-03
32 9.319E-01 1.127E-03 1.197E-04 1.961E-03 7.223E-03
32 9.493E-01 1.140E-03 7.499E-05 1.950E-03 7.277E-03
32 7.222E-01 1.133E-03 5.406E-05 1.950E-03 7.206E-03
32 7.522E-01 1.122E-03 5.300E-05 1.939E-03 7.153E-03
NWRTU = 32 NITER = 2976 STEP = 1.00E-03 TIME = 3.200E-02 S
.....RESIDU NORMALISASI .....
NWRTU (P) (U) (V) (E) (D)
32 8.125E-01 1.134E-03 3.883E-05 1.956E-03 7.250E-03
32 7.664E-01 1.127E-03 4.992E-05 1.959E-03 7.236E-03
32 8.096E-01 1.130E-03 3.952E-05 1.950E-03 7.237E-03
32 1.101E+00 1.132E-03 4.751E-05 1.936E-03 7.180E-03
32 1.044E+00 1.132E-03 6.467E-05 1.933E-03 7.150E-03
32 9.939E-01 1.135E-03 6.195E-05 1.952E-03 7.237E-03
32 1.086E+00 1.132E-03 3.207E-05 1.914E-03 7.085E-03
32 1.033E+00 1.129E-03 4.608E-05 1.905E-03 7.066E-03
32 1.126E+00 1.130E-03 3.292E-05 1.941E-03 7.215E-03
32 1.091E+00 1.138E-03 4.887E-05 1.954E-03 7.298E-03
32 1.041E+00 1.138E-03 4.052E-05 1.944E-03 7.293E-03
32 1.111E+00 1.139E-03 3.937E-05 1.933E-03 7.247E-03
32 9.510E-01 1.137E-03 3.488E-05 1.952E-03 7.317E-03
32 9.909E-01 1.140E-03 3.369E-05 1.939E-03 7.255E-03
32 9.502E-01 1.138E-03 5.304E-05 1.930E-03 7.220E-03
32 9.237E-01 1.134E-03 2.500E-05 1.923E-03 7.200E-03
32 8.019E-01 1.134E-03 3.807E-05 1.915E-03 7.152E-03
32 1.015E+00 1.129E-03 4.120E-05 1.910E-03 7.125E-03
32 7.657E-01 1.124E-03 3.868E-05 1.885E-03 7.014E-03
32 1.022E+00 1.128E-03 3.532E-05 1.890E-03 7.062E-03
NWRTU = 32 NITER = 2996 STEP = 1.00E-03 TIME = 3.200E-02 S
.....RESIDU NORMALISASI .....

```

```

CFDSOF
NMRTU = 32 NITER = 3036 STEP = 1.00E-03 TIME = 3.200E-02 S
.....RESIDU NORMALISASI .....
NMRTU (P) (U) (V) (E) (D)
32 8.364E-01 1.068E-03 2.449E-04 1.878E-03 7.213E-03
NMRTU = 32 NITER = 3036 STEP = 1.00E-03 TIME = 3.200E-02 S

PERINTAH YG TERSEDIA DI *AWAL*:
BACA-FILE-CASE BACA-CASE-DATA BACA-FILE-DATA MAHIR FILE-TERFORMAT INPUT-1 ITER-1 TPEL INPU
CETAK-FILE LIHAT-ALFA TULIS-FILE-CASE TULIS-CASE-DATA TULIS-FILE-DATA OPSI LIHAT-GRAFIS FILE-UNIVERSAL ESC
(*AWAL*)-
lg

PERINTAH YG TERSEDIA DI LIHAT-GRAFIS:
GRID GRID-PERMUKN GRID-ZONA OUTLINE OUTLINE-GEOMETRI TBH-TEKS SET-PARAMETER
RENTANG-LIHAT DRIVER HARD-COPY METAFILE PLAY-BACK KONTUR KONTUR-PENUH
PARAMETER-KONTUR ITEM-LABEL STREAKLINE PROFIL VEKTOR-KECEPATAN VEKTOR-DTETAPKN-USER PARAMETER-VEKT
PLOT-XY ATUR-LIHAT-GRFS KAPSI WARNA-MAP PILIH-VARNA BUKA-WINDOW TUTUP-WINDOW
SET-WINDOW ESC
(LIHAT-GRAFIS)-
lg
TIDAK DIREKAL ----V
LG

PERINTAH YG TERSEDIA DI LIHAT-GRAFIS:
GRID GRID-PERMUKN GRID-ZONA OUTLINE OUTLINE-GEOMETRI TBH-TEKS SET-PARAMETER
RENTANG-LIHAT DRIVER HARD-COPY METAFILE PLAY-BACK KONTUR KONTUR-PENUH
PARAMETER-KONTUR ITEM-LABEL STREAKLINE PROFIL VEKTOR-KECEPATAN VEKTOR-DTETAPKN-USER PARAMETER-VEKT
PLOT-XY ATUR-LIHAT-GRFS KAPSI WARNA-MAP PILIH-VARNA BUKA-WINDOW TUTUP-WINDOW
SET-WINDOW ESC
(LIHAT-GRAFIS)-
es

PERINTAH YG TERSEDIA DI *AWAL*:
BACA-FILE-CASE BACA-CASE-DATA BACA-FILE-DATA MAHIR FILE-TERFORMAT INPUT-1 ITER-1 TPEL INPU
CETAK-FILE LIHAT-ALFA TULIS-FILE-CASE TULIS-CASE-DATA TULIS-FILE-DATA OPSI LIHAT-GRAFIS FILE-UNIVERSAL ESC
(*AWAL*)-
lg

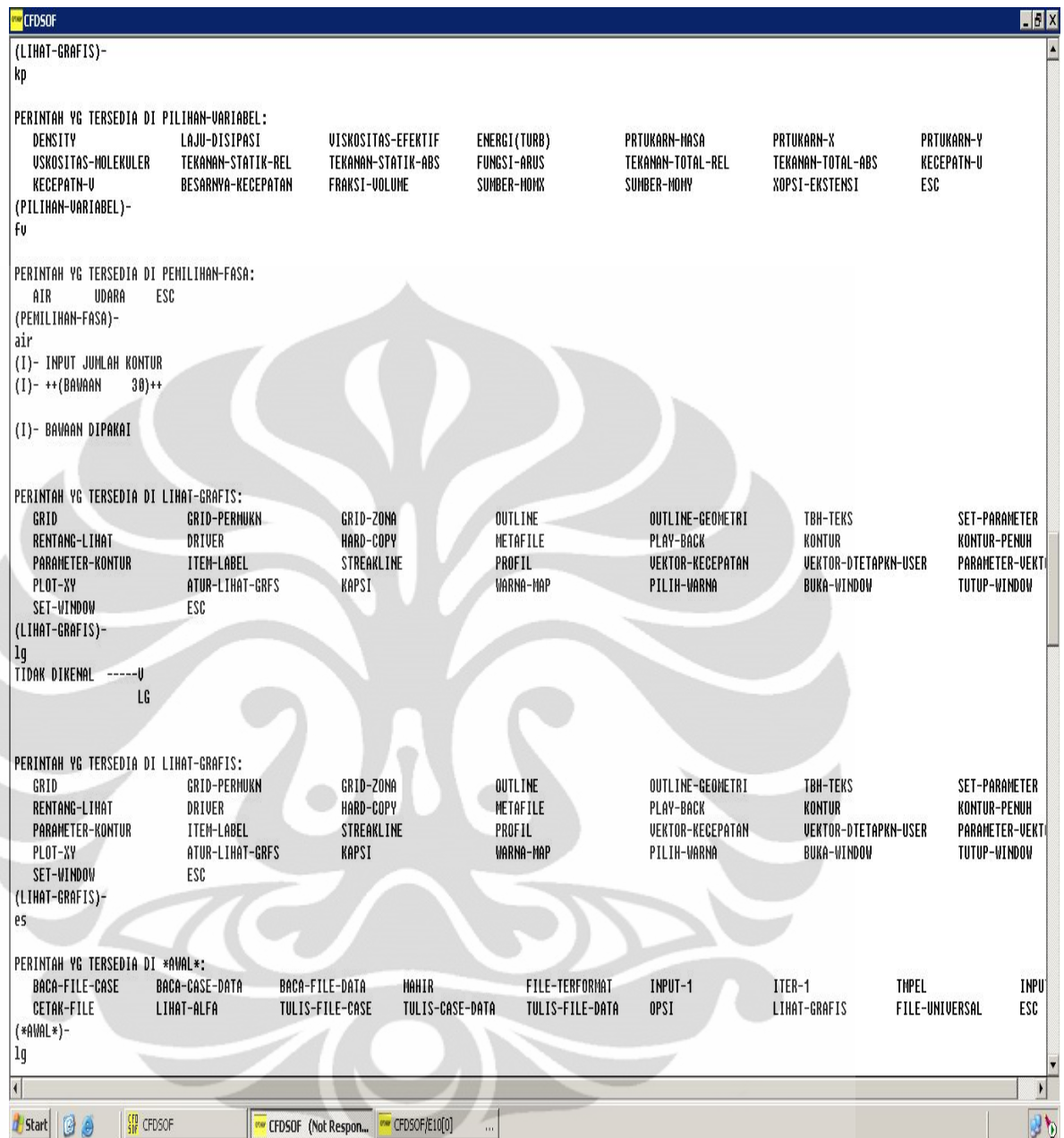
PERINTAH YG TERSEDIA DI LIHAT-GRAFIS:
GRID GRID-PERMUKN GRID-ZONA OUTLINE OUTLINE-GEOMETRI TBH-TEKS SET-PARAMETER
RENTANG-LIHAT DRIVER HARD-COPY METAFILE PLAY-BACK KONTUR KONTUR-PENUH
PARAMETER-KONTUR ITEM-LABEL STREAKLINE PROFIL VEKTOR-KECEPATAN VEKTOR-DTETAPKN-USER PARAMETER-VEKT
PLOT-XY ATUR-LIHAT-GRFS KAPSI WARNA-MAP PILIH-VARNA BUKA-WINDOW TUTUP-WINDOW
SET-WINDOW ESC
(LIHAT-GRAFIS)-

```

```

CFDSOF
-----
NWKTU (P) (U) (V) (E) (D)
32 1.241E+00 1.128E-03 4.401E-05 1.872E-03 6.978E-03
32 1.199E+00 1.125E-03 3.342E-05 1.832E-03 6.797E-03
32 1.122E+00 1.127E-03 3.479E-05 1.870E-03 6.986E-03
32 1.218E+00 1.130E-03 4.049E-05 1.879E-03 7.053E-03
32 1.049E+00 1.132E-03 4.316E-05 1.881E-03 7.031E-03
32 1.006E+00 1.127E-03 5.567E-05 1.845E-03 6.805E-03
32 1.038E+00 1.130E-03 6.019E-05 1.867E-03 6.995E-03
32 1.106E+00 1.138E-03 8.139E-05 1.835E-03 6.854E-03
32 1.079E+00 1.137E-03 7.545E-05 1.845E-03 6.927E-03
32 1.106E+00 1.127E-03 1.317E-04 1.860E-03 7.006E-03
32 1.091E+00 1.123E-03 8.142E-05 1.848E-03 6.926E-03
32 1.076E+00 1.130E-03 7.937E-05 1.822E-03 6.855E-03
32 1.117E+00 1.111E-03 6.985E-05 1.797E-03 6.707E-03
32 1.100E+00 1.107E-03 5.960E-05 1.787E-03 6.679E-03
32 1.195E+00 1.108E-03 4.771E-05 1.782E-03 6.643E-03
32 8.146E-01 1.101E-03 5.172E-05 1.771E-03 6.603E-03
32 8.101E-01 1.112E-03 7.662E-05 1.755E-03 6.525E-03
32 7.657E-01 1.113E-03 4.504E-05 1.750E-03 6.511E-03
32 7.994E-01 1.095E-03 3.409E-05 1.738E-03 6.467E-03
32 7.906E-01 1.084E-03 6.837E-05 1.726E-03 6.439E-03
NWKTU = 32 NITER = 3016 STEP = 1.00E-03 TIME = 3.200E-02 S
-----
.....RESTIDU NORMALISASI .....
NWKTU (P) (U) (V) (E) (D)
32 8.152E-01 1.091E-03 4.650E-05 1.734E-03 6.460E-03
32 8.192E-01 1.080E-03 4.454E-05 1.723E-03 6.435E-03
32 8.218E-01 1.103E-03 9.495E-05 1.741E-03 6.457E-03
32 8.345E-01 1.098E-03 5.649E-05 1.740E-03 6.492E-03
32 7.653E-01 1.098E-03 5.843E-05 1.763E-03 6.593E-03
32 7.195E-01 1.095E-03 3.559E-05 1.728E-03 6.436E-03
32 7.292E-01 1.094E-03 8.167E-05 1.757E-03 6.584E-03
32 7.075E-01 1.073E-03 9.232E-05 1.741E-03 6.571E-03
32 8.616E-01 1.087E-03 5.249E-05 1.744E-03 6.546E-03
32 8.444E-01 1.067E-03 3.869E-05 1.740E-03 6.578E-03
32 8.790E-01 1.104E-03 1.411E-04 1.772E-03 6.652E-03
32 8.712E-01 1.083E-03 4.391E-05 1.735E-03 6.506E-03
32 9.350E-01 1.100E-03 9.241E-05 1.807E-03 6.851E-03
32 9.260E-01 1.084E-03 6.603E-05 1.795E-03 6.814E-03
32 9.589E-01 1.099E-03 7.679E-05 1.845E-03 7.039E-03
32 9.483E-01 1.051E-03 1.921E-04 1.768E-03 6.780E-03
32 8.522E-01 1.068E-03 1.217E-04 1.837E-03 7.111E-03
32 7.601E-01 1.053E-03 5.469E-05 1.870E-03 7.284E-03
32 9.222E-01 1.064E-03 4.607E-05 1.870E-03 7.244E-03
32 8.689E-01 1.044E-03 6.438E-05 1.862E-03 7.220E-03
NWKTU = 32 NITER = 3036 STEP = 1.00E-03 TIME = 3.200E-02 S
-----
.....RESTIDU NORMALISASI .....

```




```

CFDSOF
lg
PERINTAH YG TERSEDIA DI LIHAT-GRAFIS:
GRID          GRID-PERHUKN   GRID-ZONA      OUTLINE      OUTLINE-GEOMETRI  TBH-TEKS      SET-PARAMETER
RENTANG-LIHAT  DRIVER          HARD-COPY      METAFILE     PLAY-BACK         KONTUR        KONTUR-PENUH
PARAMETER-KONTUR  ITEM-LABEL     STREAKLINE     PROFIL       VEKTOR-KECEPATAN  VEKTOR-DTETAPKN-USER  PARAMETER-VEKT
PLOT-XY        ATUR-LIHAT-GRFS  KAPSI         WARNA-MAP   PILIH-WARNA      BUKA-WINDOW   TUTUP-WINDOW
SET-WINDOW     ESC

(LIHAT-GRAFIS)-
vk

PERINTAH YG TERSEDIA DI LIHAT-GRAFIS:
GRID          GRID-PERHUKN   GRID-ZONA      OUTLINE      OUTLINE-GEOMETRI  TBH-TEKS      SET-PARAMETER
RENTANG-LIHAT  DRIVER          HARD-COPY      METAFILE     PLAY-BACK         KONTUR        KONTUR-PENUH
PARAMETER-KONTUR  ITEM-LABEL     STREAKLINE     PROFIL       VEKTOR-KECEPATAN  VEKTOR-DTETAPKN-USER  PARAMETER-VEKT
PLOT-XY        ATUR-LIHAT-GRFS  KAPSI         WARNA-MAP   PILIH-WARNA      BUKA-WINDOW   TUTUP-WINDOW
SET-WINDOW     ESC

(LIHAT-GRAFIS)-
es

PERINTAH YG TERSEDIA DI *AWAL*:
BACA-FILE-CASE  BACA-CASE-DATA  BACA-FILE-DATA  MAHIR        FILE-TERFORMAT  INPUT-1        ITER-1        TNPFL        INPU
CETAK-FILE     LIHAT-ALFA      TULIS-FILE-CASE  TULIS-CASE-DATA  TULIS-FILE-DATA  OPSI          LIHAT-GRAFIS  FILE-UNIVERSAL  ESC

(*AWAL*)-
iter
(I)- BERAPA STEP WAKTU ?
(I)- ++(BAWAAN 3)++

(I)- BAWAAN DIPAKAI

(*)- PERHITUNGAN FASA FLUIDA
NMKTU = 33 NITER = 3037 STEP = 1.00E-03 TIME = 3.300E-02 S
.....RESIDU NORMALISASI .....
NMKTU  (P)  (U)  (U)  (E)  (D)
33  1.276E+00  5.178E-03  5.189E-03  6.285E-03  3.785E-02
33  4.859E+00  4.583E-03  9.416E-03  6.208E-03  3.742E-02
33  1.115E+01  4.208E-03  2.118E-02  6.041E-03  3.385E-02
33  2.935E+02  3.454E-03  1.091E-01  6.350E-03  5.093E-02
33  2.706E+02  4.893E-03  2.922E-01  7.088E-03  4.129E-02
33  4.178E+02  4.846E-03  2.310E+00  1.936E-02  1.187E-01
33  1.459E+02  6.820E-03  1.225E+00  1.887E-01  1.820E-01
33  6.894E+02  9.653E-03  1.997E+01  4.541E-01  4.088E-01
33  2.946E+03  8.833E-02  9.104E+01  9.842E-01  9.693E+00
33  2.266E+03  3.405E-03  1.085E+00  5.640E-01  1.050E+00
33  1.812E+03  8.833E-03  1.155E+00  4.676E-01  8.239E-01
33  3.190E+03  7.288E-03  9.028E-01  4.874E-01  7.197E-01

```

```

CFDSOF
33 1.812E+03 8.833E-03 1.155E+00 4.676E-01 8.239E-01
33 3.190E+03 7.288E-03 9.028E-01 4.874E-01 7.197E-01
33 1.519E+03 5.377E-03 8.408E+00 2.262E-01 3.436E-01
33 1.114E+03 7.020E-03 4.568E+00 2.381E-01 3.313E-01
33 1.159E+03 1.226E-02 6.004E+00 1.859E-01 2.738E-01
33 7.835E+02 8.035E-03 4.866E+00 1.263E-01 1.865E-01
33 6.245E+02 5.883E-03 4.239E+00 8.690E-02 1.276E-01
33 5.136E+02 8.765E-03 2.337E+00 4.258E-02 6.793E-02
33 6.220E+02 7.593E-03 3.005E+00 3.983E-02 5.793E-02
NWKU = 33 NITER = 3056 STEP = 1.00E-03 TIME = 3.300E-02 S
.....RESIDU NORMALISASI .....
NWKU (P) (U) (V) (E) (D)
33 4.454E+02 6.562E-03 2.120E+00 2.696E-02 3.689E-02
33 3.512E+02 7.765E-03 1.045E+00 2.138E-02 3.376E-02
33 2.786E+02 8.511E-03 1.524E+00 1.273E-02 2.012E-02
33 2.338E+02 9.748E-03 1.094E+00 9.520E-03 2.011E-02
33 1.980E+02 1.059E-02 7.742E-01 8.879E-03 2.004E-02
33 1.722E+02 1.035E-02 5.968E-01 7.925E-03 1.827E-02
33 1.583E+02 1.027E-02 7.304E-01 7.606E-03 1.744E-02
33 1.420E+02 1.001E-02 5.614E-01 7.527E-03 1.729E-02
33 1.270E+02 1.004E-02 7.230E-01 4.993E-03 1.004E-02
33 1.060E+02 9.428E-03 2.085E-01 6.276E-03 1.372E-02
33 9.163E+01 9.193E-03 5.637E-01 3.888E-03 8.861E-03
33 8.118E+01 8.514E-03 2.067E-01 5.159E-03 9.045E-03
33 7.601E+01 7.996E-03 4.986E-01 3.352E-03 4.983E-03
33 9.033E+01 7.369E-03 1.355E+00 3.493E-03 5.436E-03
33 5.436E+02 6.982E-03 4.034E+00 6.495E-03 5.053E-03
33 4.371E+02 3.034E-02 3.836E+00 3.219E-02 1.178E-01
33 2.861E+02 1.145E-02 1.203E+01 7.404E-02 6.003E-02
33 1.722E+02 1.997E-02 4.168E+00 6.565E-02 9.331E-02
33 1.466E+02 5.678E-02 2.032E+01 6.645E-02 6.274E-02
33 1.166E+02 5.466E-02 1.663E+01 1.020E-01 2.551E-01
NWKU = 33 NITER = 3076 STEP = 1.00E-03 TIME = 3.300E-02 S
.....RESIDU NORMALISASI .....
NWKU (P) (U) (V) (E) (D)
33 1.899E+02 2.763E-02 1.782E+01 6.448E-02 8.680E-02
33 6.495E+02 3.403E-02 3.217E+01 4.677E-02 1.011E-01
33 2.639E+03 2.018E-02 6.164E+01 5.826E-01 5.262E+00
33 9.053E+02 1.598E-02 3.267E+00 8.266E-02 2.501E-01
33 9.629E+02 3.713E-03 6.515E+00 2.219E-01 4.347E-01
33 1.287E+04 7.670E-02 2.582E+01 1.241E-01 2.285E-01
(*)- PERHITUNGAN DIVERGEN *GUGUR*
NWKU = 33 NITER = 3081 STEP = 1.00E-03 TIME = 3.300E-02 S

PERINTAH YG TERSEDIA DI *AWAL*:
BACA-FILE-CASE BACA-CASE-DATA BACA-FILE-DATA MAHIR FILE-TERFORMAT INPUT-1 ITER-1 TIMEPEL INPU

```

```

CFDSOF
33 9.833E+01 7.369E-03 1.355E+00 3.493E-03 5.436E-03
33 5.436E+02 6.982E-03 4.034E+00 6.495E-03 5.853E-03
33 4.371E+02 3.034E-02 3.836E+00 3.219E-02 1.178E-01
33 2.861E+02 1.145E-02 1.203E+01 7.404E-02 6.003E-02
33 1.722E+02 1.997E-02 4.168E+00 6.565E-02 9.331E-02
33 1.466E+02 5.678E-02 2.032E+01 6.645E-02 6.274E-02
33 1.166E+02 5.466E-02 1.663E+01 1.020E-01 2.551E-01
NMKTU = 33 NITER = 3076 STEP = 1.00E-03 TIME = 3.300E-02 S
.....RESIDU NORMALISASI .....
NMKTU (P) (U) (V) (E) (D)
33 1.899E+02 2.763E-02 1.782E+01 6.448E-02 8.680E-02
33 6.495E+02 3.403E-02 3.217E+01 4.677E-02 1.011E-01
33 2.639E+03 2.018E-02 6.164E+01 5.826E-01 5.262E+00
33 9.853E+02 1.598E-02 3.267E+00 8.266E-02 2.581E-01
33 9.629E+02 3.713E-03 6.515E+00 2.219E-01 4.347E-01
33 1.287E+04 7.670E-02 2.582E+01 1.241E-01 2.285E-01
(*)- PERHITUNGAN DIVERGEN *GUGUR*
NMKTU = 33 NITER = 3081 STEP = 1.00E-03 TIME = 3.300E-02 S

PERINTAH YG TERSEDIA DI *ANAL*:
BACA-FILE-CASE BACA-CASE-DATA BACA-FILE-DATA MAHIR FILE-TERFORHAT INPUT-1 ITER-1 TMPEL INPU
CETAK-FILE LIHAT-ALFA TULIS-FILE-CASE TULIS-CASE-DATA TULIS-FILE-DATA OPSI LIHAT-GRAFIS FILE-UNIVERSAL ESC
(*ANAL*)-
es
(L)- VA keluar CFDSOF ?
(L)- Y=YA/N=TDK BAWAAN->N
(L)- BAWAAN DIPAKAI

PERINTAH YG TERSEDIA DI *ANAL*:
BACA-FILE-CASE BACA-CASE-DATA BACA-FILE-DATA MAHIR FILE-TERFORHAT INPUT-1 ITER-1 TMPEL INPU
CETAK-FILE LIHAT-ALFA TULIS-FILE-CASE TULIS-CASE-DATA TULIS-FILE-DATA OPSI LIHAT-GRAFIS FILE-UNIVERSAL ESC
(*ANAL*)-
bfc
INPUT NAMA UT CASE FILE (ENTER * UTK BATAL)
(S)- BAWAAN - DWIAGUS/SKRIPSIS17
dwiagus/skripsis18
(*)- DWIAGUS/SKRIPSIS18
(*)- ERROR: TD DPT MEMBACA CASE FILE

PERINTAH YG TERSEDIA DI *ANAL*:
BACA-FILE-CASE BACA-CASE-DATA BACA-FILE-DATA MAHIR FILE-TERFORHAT INPUT-1 ITER-1 TMPEL INPU
CETAK-FILE LIHAT-ALFA TULIS-FILE-CASE TULIS-CASE-DATA TULIS-FILE-DATA OPSI LIHAT-GRAFIS FILE-UNIVERSAL ESC
(*ANAL*)-

```