## PENGARUH VARIASI SUDUT *DIFFUSER* TERHADAP EFISIENSI *EDUCTOR* DENGAN MENGGUNAKAN METODE SIMULASI

### SKRIPSI KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

BRAMANTYA WISNU NIM. 0510623021-62

KEMENTRIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2010

### **KATA PENGANTAR**

Alhamdulillah, Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena hanya dengan limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pengaruh Variasi Sudut *Diffuser* terhadap Efisiensi *Eductor* dengan Menggunakan Metode Simulasi"

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat bagi mahasiswa jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini, terutama kepada :

- 1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Pembimbing I Skripsi atas bantuan saran dan nasihat dalam menyelesaikan skripsi ini.
- 2. Bapak Dr.Eng Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng selaku sekretaris jurusan mesin.
- 3. Bapak Ir. Made Gunadiarta. MT selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Konversi Energi.
- 4. Bapak Ir, Ari Wahjudi, MT. selaku Pembimbing II Skripsi atas bantuan, saran dan nasihat dalam mendampingi penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.
- 5. Seluruh Staf Pengajar dan Administrasi Jurusan Teknik Mesin.
- 6. Kedua orang tuaku Bapak Purwo Handoko, SP dan Ibu Arik Kusdinarlin, SP serta kakakku mas Angga, adekku Bima, dan dek Andik yang selalu memberikan semangat dan doa.
- 7. Kekasihku tercinta, Arselycha Dhinesia yang selalu mendampingi dalam menyelesaikan skripsi ini.

Dengan keterbatasan ilmu yang dimiliki penulis, tentunya skripsi ini banyak membutuhkan masukan. Untuk itu penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun guna perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Juli 2010

DAFTAR ISI	
KATA PENGANTAR	
DAFTAR ISI	
DAFTAR TABEL	
DAFTAR GAMBAR	1
DAFTAR GRAFIK	v
ABSTRAK	vi
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang     1.2. Rumusan Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	
1.5. Manfaat Penelitian	2
II. TINJAUAN PUSTAKA 2.1. Penelitian Sebelumnya	
2.2. Definisi dan Sifat – Sifat Fluida	
2.3. Klasifikasi Aliran Fluida	4
2.4. Hukum Dasar dan Metode Analisa Aliran Fluida	7
2.5. Analisa dengan Persamaan Differensial untuk Gerak Aliran Fluida	
2.5.1. Persamaan Konservasi Massa	
2.5.2. Persamaan Konservasi Momentum	
2.6. Eductor	13
2.6.1. Nosel	15
2.6.2. Diffuser	15
2.6.3. Mixing Throat	16
2.6.4. Suction Chamber	16
2.7. Persamaan-persamaan yang dipakai	
2.8. Metode Simulasi	
2.8.1KomputasiDinamikaFluida	
2.8.1.1Pre-processor	
2.8.1.2 <i>Solver</i>	
2.8.1.3Post-processor	
2.9. Hipotesa	28

ш	METODO	)I OGI	PENEL	ITIAN

		Penelitian	
		Penelitian	
		Variabel Bebas	
		Variabel Terikat	
		Variabel Kontrol	
		r Penelitian	
	3.3.1	Diagram Alir Prosedur Penelitian	33
3.4. I		r Simulasi	
	3.4.1	Pre-processingSolver	34
	3.4.2	Solver	36
	3.4.3	Post-processing	36
	3.4.4	Diagram Alir Prosedur Simulasi	37
	MBAHA		
		si Hasil Program	
		sil Simulasi	
		gan Data	
		Grafik	
4.5. I	Pembaha	asan RUSSURMA	45
		JLAN DAN SARAN	
5.1. H	Kesimpu	ılan	48
5.2. \$	Saran		48

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

# BRAWIJAY

### DAFTAR TABEL

NO	JUDUL	HALAMAN
Tabel 4.1	Hasil pengujian dengan panjang mixing throat (eksperimen)	39
Tabel 4.2	Hasil pengujian dengan panjang mixing throat (simulasi)	39
Tabel 4.3	Data hasil simulasi dengan variasi sudut diffuser	41
Tabel 4.4	Data hasil perhitungan efisiensi eductor dengan berbagai var	riasi
	sudut diffuser pada tekanan primary flow 51453.45 Pa	41
Tabel 4.5	Data perhitungan losses pada berbagai variasi sudut diffuser	
	pada tekanan <i>primary flow</i> 51453 45 Pa	42



## DAFTAR GAMBAR

NO	JUDUL HALAN	MAN
Gambar 2.1.	Klasifikasi mekanika fluida kontinum	5
Gambar 2.2.	Profil kecepatan dalam lapisan batas turbulen diatas plat rata	6
Gambar 2.3.	Elemen fluida untuk hukum konservasi	. 7
Gambar 2.4.	Differensial kontrol volume pada koordinat rectangular	8
Gambar 2.5.	Fluks massa yang melewati permukaan kontrol pada diferensial	
	rectangular kontrol volume	. 9
Gambar 2.6.	Tegangan dalam arah x pada elemen fluida	
Gambar 2.7.	(a) Eductor (b) Instalasi Eductor	14
Gambar 2.8.	Detail eductor	14
Gambar 2.9.	Macam diffuser	
Gambar 2.10.	Pendekatan forward differencing	22
Gambar 2.11.	Pendekatan backward differencing	
Gambar 2.12.	Pendekatan central differencing	23
Gambar 2.13.	Metode central differencing scheme	24
Gambar 2.14.	Metode up wind differencing scheme	25
Gambar 3.1.	Bentuk diffuser yang akan digunakan untuk simulasi	30
Gambar 3.2.	Model eductor yang digunakan untuk proses simulasi	31
Gambar 3.3.	Diagram alir prosedur penelitian	33
Gambar 3.4.	Model eductor yang akan disimulasikan	34
Gambar 3.5.	Model grid generation	35
Gambar 3.6.	Domain fisik yang telah dilakukan diberi boundary condition	35
Gambar 3.7.	Diagram alir prosedur simulasi	37

# BRAWIJAYA

### DAFTAR GRAFIK

NO	JUDUL	HALAMAN
Grafik 4.1	Grafik hubungan tekanan primary flow terhadap efisie	nsi <i>eductor</i> 40
Grafik 4.2	Grafik hubungan antara variasi sudut diffuser	
	terhadap tekanan delivery flow	44
Grafik 4.3	Grafik hubungan antara variasi sudut diffuser	
	terhadap head eductor	44
Grafik 4.4	Grafik hubungan antara variasi sudut diffuser	
	terhadap efisiensi eductor	45



### **ABSTRAK**

Bramantya Wisnu, 2010. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. **Pengaruh Variasi Sudut** *Diffuser* **Terhadap Efisiensi** *Eductor* **Dengan Menggunakan Metode Simulasi.** Dosen Pembimbing II: Ari Wahjudi.

Dalam memenuhi kebutuhan air seringkali digunakan pompa untuk memindahkan air dari satu tempat ke tempat lainnya. Adapun permasalahan yang dihadapi adalah terbatasnya kemampuan tinggi hisap pompa. Untuk mengatasi hal tersebut digunakanlah *centrifugal jetpump* yang merupakan kombinasi pompa sentrifugal dan *jetpump* (*eductor*). *Eductor* memiliki empat komponen utama yaitu: nozzle, suction chamber, mixing throat dan diffuser.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi variasi sudut *diffuser* terhadap efisiensi *eductor*. Metode penelitian yang digunakan adalah metode numeric (simulasi) dengan menggunakan software ANSYS CFX11, dimana variasi sudut *diffuser* yang digunakan adalah 13<sup>0</sup>, 14<sup>0</sup>, 15<sup>0</sup>, 16<sup>0</sup>, 17<sup>0</sup>, dan 18<sup>0</sup>.

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa sudut pada *diffuser* mempengaruhi nilai efisiensi *eductor* adapun efisiensi *eductor* tertinggi diperoleh pada *diffuser* dengan sudut  $16^0$ .

Kata kunci : diffuser, efisiensi, eductor, simulasi



### BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam kehidupan manusia tidak lepas dari sistem transportasi fluida. Pompa adalah salah satu mesin konversi energi yang digunakan untuk memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat lainnya. Penggunaan pompa pada umumnya adalah untuk mengangkat air pada kedalaman tertentu, adapun tingkat kritis tinggi hisap pompa adalah 10 m. Hal ini tentunya akan sulit bila diaplikasikan pada daerah – daerah dataran tinggi dimana sumber air tanah yang berada di kedalaman lebih dari 10 m. Untuk mengatasi hal ini pompa yang sesuai untuk digunakan adalah *centrifugal jet pump*. Pompa ini merupakan kombinasi pompa sentrifugal dan *jet pump* (*eductor*).

Eductor pada centrifugal jet pump memiliki prinsip kerja dimana sebagian debit pemompaan dikembalikan ke lubang hisap eductor yang berguna mendorong fluida ke atas di saluran hisap pompa centrifugal atau dengan kata lain, eductor adalah suatu alat yang mentransfer momentum dari aliran primer berkecepatan tinggi ke aliran sekunder berkecepatan rendah. Keuntungan mekanis yang didapatkan dari penambahan eductor adalah tidak adanya bagian yang bergerak berada di dalam sumur, dan pompa sentrifugal (dengan motornya) dapat diletakkan pada posisi yang diinginkan.

Eductor sendiri terdiri dari empat komponen utama yaitu, nozzle, suction chamber, mixing throat, dan diffuser. Karakteristik dari eductor sangat dipengaruhi oleh bentuk dan geometri dari bagian-bagian tersebut. Agar dapat menghasilkan kerja yang maksimal diperlukan efisiensi eductor yang tinggi. Karenanya, geometri yang mempengaruhi efisiensi eductor tersebut perlu diteliti lebih lanjut. Pada penelitian ini difokuskan pada pengaruh variasi sudut diffuser.

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari eductor, penelitian dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu dengan metode eksperimen dan metode numerik atau biasa dikenal dengan istilah Computational Fluid Dynamic (CFD). Penelitian sebelumnya "Pengaruh Spasi Nosel-Mixing Throat terhadap Efisiensi Jetpump" (Bahtiar, 2008) yang bertujuan untuk mengetahui berapa jarak spasi nosel-mixing throat yang dapat meningkatkan efisiensi jetpump. Penelitian ini dilakukan dengan cara eksperimen. Pada penelitian kali ini digunakan metode simulasi dengan Computational Fluid Dynamic (CFD) untuk mengetahui tekanan dan kecepatan aliran fluida sepanjang instalasi eductor, dari tekanan dan kecepatan aliran fluida tersebut

maka dapat dicari efisiensi *eductor*. CFD merupakan teknik studi dengan metode simulasi yang di dalamnya menggunakan pendekatan numerik. Adapun kelebihan dari CFD adalah hasil yang diperoleh lebih cepat dan dapat menjangkau pada semua titik yang dikehendaki. Penelitian ini dimaksudkan untuk mempelajari pengaruh bentuk *diffuser* terhadap efisiensi dari *eductor*.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi sudut *diffuser* terhadap efisiensi *eductor*?

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

- 1. Simulasi dilakukan dalam tiga dimensi dengan menggunakan ANSYS 11.0
- 2. Fluida yang digunakan adalah fluida incompressible ( air )
- 3. Aliran fluida diasumsikan dalam kondisi steady.
- 4. Variasi sudut diffuser yang digunakan adalah 13<sup>0</sup>,14<sup>0</sup>, 15<sup>0</sup>, 16<sup>0</sup>, 17<sup>0</sup>, 18<sup>0</sup>
- 5. Diameter inlet dan outlet diffuser konstan

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi sudut *diffuser* terhadap efisiensi *eductor* dengan metode numerik (simulasi).

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

- 1. Memberikan sumbangan terhadap desain *diffuser* pada *eductor* sehingga tercapai efisiensi yang optimal.
- 2. Sebagai dasar penelitian selanjutnya mengenai eductor.
- 3. Meningkatkan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama mengenai *eductor*.

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

• Pengaruh Variasi Bukaan Katup dan Panjang Mixing Throat terhadap Efisiensi *Eductor* (Subchan, 2005).

Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan memvariasikan panjang mixing thorat yaitu 30 mm, 40 mm, 50 mm dan 60 mm dengan diameter mixing throat konstan serta dengan memvariasikan bukaan katup sehingga diperoleh panjang optimum mixing throat yang akan menghasilkan efisiensi eductor tertinggi. Data-data yang diambil meliputi tekanan pada primary flow, secondary flow dan delivery flow.

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa efisiensi eductor tertinggi diperoleh pada panjang mixing throat 50 mm dan bukaan katup penuh selanjutnya panjang mixing throat 40 mm, 60 mm dan terakhir 30 mm. Panjang mixing throat 50 mm memiliki efisiensi eductor tertinggi karena fluida yang mengalir pada mixing throat mengalami proses penstabilan yang cukup, pada mixing throat dengan panjang 60 mm proses penstabilan aliran berlangsung lebih lama yang menyebabkan aliran fluida lebih stabil, akan tetapi *losses* yang disebabkan karena panjang mixing throat lebih besar sehingga efisiensi eductor tidak mencapai maksimal. Sebaliknya dengan panjang mixing throat kurang dari 50 mm *losses* yang disebabkan karena panjang *mixing throat* kecil, akan tetapi aliran keluar dari mixing throat kurang stabil jika dibandingkan dengan aliran keluar mixing throat dengan panjang 50 mm, oleh sebab itu efisiensi eductor yang dihasilkan tidak maksimal. Selain itu panjang mixing throat 50 mm memiliki aliran yang fully developed. Dengan losses yang sedikit tersebut maka pressure drop pada mixing throat juga akan rendah dan akhirnya efisiensi eductor pada panjang 50 mm paling tinggi dibandingkan panjang mixing throat lainnya.

### 2.2 Definisi dan Sifat-sifat Fluida

Fluida didefinisikan sebagai suatu zat yang akan secara terus-menerus berubah bentuk apabila dikenakan tegangan geser, walaupun tegangan geser tersebut sangat kecil. Fluida akan bergerak dan berubah bentuk secara terus-menerus selama tegangan geser itu bekerja. Makin besar laju deformasi fluida, makin besar pula tegangan geser yang terjadi pada fluida tersebut. Definisi fluida ini menyiratkan bahwa tegangan geser hanya ada jika fluida sedang mengalami deformasi dan tegangan geser hanya terjadi pada fluida viskos, seperti pada fluida aktual. Biasanya dalam dunia rekayasa fluida dianggap tidak viskos sehingga tidak terjadi tegangan geser meskipun fluida tersebut mengalami deformasi, fluida demikian disebut fluida ideal.

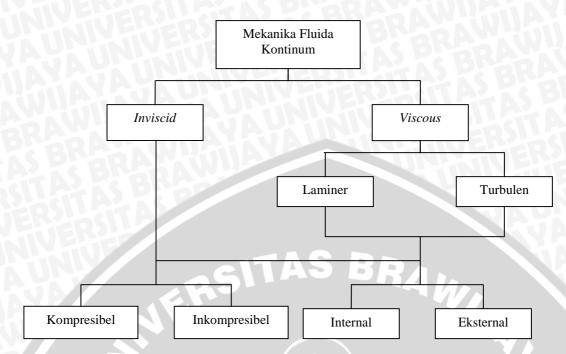
Kerapatan adalah ukuran untuk konsentrasi zat tersebut dan dinyatakan dalam massa per satuan volume, sifat ini ditentukan dengan cara menghitung perbandingan massa zat yang terkandung dalam suatu bagian tertentu terhadap volume bagian tersebut.

Kompresibilitas adalah ukuran perubahan kerapatan fluida akibat geseran viskos atau kompresi oleh suatu tekanan dari luar yang bekerja terhadap suatu volume fluida, dinyatakan dengan perbandingan tekanan yang bekerja dari luar dengan perubahan volume fluida tiap satuan volumenya.

Viskositas adalah ukuran tahanan sebuah fluida terhadap deformasi atau perubahan bentuk. Newton menyatakan bahwa tegangan geser dalam sebuah fluida sebanding dengan laju perubahan kecepatan ruang yang normal terhadap arah aliran. Laju perubahan kecepatan ruang ini disebut gradien kecepatan, yang juga berarti laju deformasi sudut. Viskositas tergantung oleh dua hal yaitu akibat dari gaya kohesi antar molekul – molekul zat itu sendiri. Zat cair memiliki molekul yang lebih rapat dari pada gas, gaya kohesinya cenderung lebih dominan sebagai penyebab viskositas. Sedangkan pada gas, dimana molekulnya lebih renggang dari pada zat cair, pertukaran momentumnya lebih dominan sebagai penyebab viskositas.

### 2.3 Klasifikasi Aliran Fluida

Banyak kriteria yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan aliran fluida dalam mekanika aliran fluida. Seperti dalam gambar 2-1 yang merupakan bagan klasifikasi mekanika fluida dilihat dari karakteristik fisik.



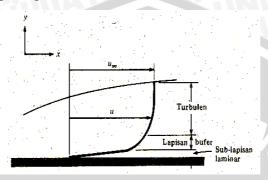
Gambar 2.1 Klasifikasi Mekanika Fluida Kontinum Sumber: W Fox, Robert, And T MacDonald, Alan. 1994: 27

Berdasarkan viskositasnya, aliran fluida dibedakan menjadi aliran *inviscid* dan aliran *viscous*. Aliran *inviscid* adalah aliran fluida dimana viskositasnya diasumsikan sama dengan nol. Aliran *inviscid* hanya merupakan pengidealan untuk penyederhanaan dalam analisa fluida. Sedangkan aliran *viscous* adalah aliran fluida yang viskositasnya tidak sama dengan nol.

Aliran dianggap mampu mampat atau kompresibel adalah aliran yang kerapatan fluidanya dapat dipengaruhi oleh perubahan tekanan, sedangkan yang disebut aliran tidak mampat atau inkompresibel jika perubahan kerapatan fluida akibat perubahan tekanan dapat diabaikan.

Berdasarkan pola alirannya fluida digolongkan menjadi dua yaitu aliran laminar dan aliran turbulen. Aliran laminar adalah aliran dimana fluida bergerak dalam bentuk lapisan-lapisan (lamina), dimana pertukaran momentum dan massa terjadi secara molekular dalam skala submikroskopis dari lapisan yang mempunyai kecepatan relatif tinggi menuju lapisan yang memiliki kecepatan lebih rendah. Pada aliran ini fluida mengikuti aliran yang lebih lancar secara kontinyu dengan kecepatan tetap, partikel – partikel fluida dalam lapisan tetap ada dalam urutan yang benar. Sedangkan aliran turbulen adalah aliran dimana partikel fluida bergerak secara acak dengan kecepatan yang berfluktuasi dan saling interaksi antar gumpalan fluida. Pada aliran turbulen tidak

terlihat adanya lapisan – lapisan (lamina) sehingga aliran fluida diasumsikan sebagai bongkahan fluida yang bergerak secara acak. Bongkahan-bongkahan fluida itu bergerak secara acak sehingga proses perpindahan momentum dan massa terjadi dalam skala makroskopik. Partikel-partikel bongkahan berperan sebagai pembawa energi dan memindahkan energi dengan cara bercampur dengan partikel-partikel lain fluida tersebut, seperti terlihat pada gambar 2-2.



Gambar 2.2. Profil kecepatan dalam lapisan batas turbulen diatas plat rata. Sumber: Holman; 1991: 219

Aliran diklasifikasikan sebagai aliran laminer atau aliran turbulen ditentukan berdasarkan pada bilangan Reynolds. Bilangan Reynolds merupakan parameter tak berdimensi yang menunjukan perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya viskos dari suatu fluida. Hal ini dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$Re = \frac{Gaya \text{ Inersia}}{Gaya \text{ Viskos}} = \frac{V \cdot d}{v}$$
 (Holman; 1991: 219) (2-1)

Dimana:

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

d = Panjang karakteristik (m)

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$
 = Viskositas kinematik fluida (m<sup>2</sup>/s)

Selain bilangan Reynolds terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya turbulensi pada suatu aliran yaitu :

- a. Kekasaran pada permukaan
- b. Perubahan luas penampang
- c. Hambatan pada aliran

Walaupun untuk tujuan analitik angka Reynold untuk transisi aliran pada aliran fluida yang mengalir didalam pipa bundar dianggap sebesar 2300, dalam situasi praktis nilai ini sangat bergantung pada kekasaran permukaan dan tingkat keturbulenan (*turbulence* 

*level*) arus bebas. Jika terdapat gangguan besar dalam aliran itu, transisi mungkin sudah mulai pada angka Reynold dibawah 2300, dan pada aliran tanpa fluktuasi (perubahan-perubahan kecepatan), transisi ini baru mulai pada angka Reynold 2300 lebih.

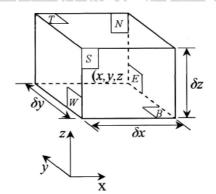
Selain itu, aliran fluida juga dapat digolongkan sebagai aliran *steady* dan *unsteady*; aliran satu, dua atau tiga dimensi serta aliran seragam atau tidak seragam. Aliran disebut *steady* jika kondisi-kondisi dalam medan aliran tidak bervariasi terhadap waktu, dan aliran disebut *unsteady* jika kondisi-kondisi dalam medan aliran bervariasi terhadap waktu.

### 2.4 Hukum Dasar dan Metode Analisa Aliran Fluida

Dalam menganalisa fluida ada beberapa hukum dasar yang digunakan yaitu:

- 1. Hukum Konservasi Massa : laju perubahan massa fluida pada suatu sistem sama dengan total laju aliran massa fluida yang masuk kedalam sistem tersebut.
- 2. Hukum ke II Newton : laju perubahan momentum pada suatu sistem sama dengan jumlah gaya-gaya yang bekerja pada sistem tersebut.

Fluida dianggap sebagai suatu yang bergerak terus menerus. Sifat dari fluida pada kondisi sifat makroskopik seperti kecepatan, tekanan, rapat jenis, dan temperatur merupakan fungsi ruang dan waktu, untuk analisa ini digunakan sebuah elemen kecil dari fluida dengan sisi  $\partial x$ ,  $\partial y$  dan  $\partial z$  seperti ditunjukan gambar 2.3 berikut :



Gambar 2.3 : Elemen fluida untuk hukum konversi Sumber : H.K. Versteeg and W. Malalasekera, 1995 : 11

Pada sisi masing – masing juga diberikan label *N,S,E,W,T,B*. Petunjuk arah positif dan negatif juga diberikan pada elemen tersebut. Pusat dari elemen tersebut terletak pada posisi (x, y, z). Semua properti dari fluida adalah fungsi ruang dan waktu,

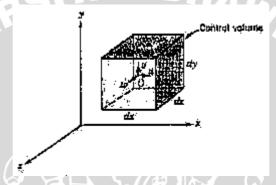
sehingga dapat dituliskan  $\rho(x,y,z,t)$ , T(x,y,z,t) dan  $\overrightarrow{V}(x,y,z,t)$  untuk rapat jenis, tekanan, temperatur, dan vektor kecepatan secara berturut – turut.

### 2.5 Analisa dengan Persamaan Differensial untuk Gerak Aliran Fluida

### 2.5.1 Konservasi massa

Pernyataan dari hukum konservasi massa menyatakan laju perubahan massa fluida pada suatu sistem sama dengan total laju aliran massa fluida yang masuk kedalam sistem tersebut.

Pada sistem koordinat rektangular, bentuk *control volume* adalah kubus yang berhingga dengan panjang sisi dx, dy, dz seperti ditunjukan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Differensial kontrol volume pada koordinat rektangular Sumber: W Fox, Robert, And T MacDonald, Alan., 1994: 182

Massa jenis yang terletak pada pusat (O) dari kontrol volume dinyatakan dengan  $\rho$  dan *velocity* dinyatakan dengan persamaan  $\vec{V} = \hat{i}u + \hat{j}u + \hat{k}w$ . Untuk mengevaluasi properties pada tiap permukaan dari *control volume* digunakan ekspansi Deret Taylor yang berpusat dari titik O, sebagai contoh pada sisi kanan, persamaannya adalah:

$$\rho\big)_{x+dx/2} = \rho + \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}\right) \frac{dx}{2} + \left(\frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2}\right) + \frac{1}{2!} \left(\frac{dx}{2}\right)^2 + \dots$$
 (2-2)

Dengan mengabaikan orde yang lebih tinggi dari Deret Taylor di atas, persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\rho\big|_{x+dx/2} = \rho + \left(\frac{\partial\rho}{\partial x}\right)\frac{dx}{2} \quad \text{dan} \quad u\big|_{x+dx/2} = u + \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\frac{dx}{2}$$
 (2-3)

Dimana  $\rho$ , u,  $\frac{\partial \rho}{\partial x}$ , dan  $\frac{\partial u}{\partial x}$  dievaluasi pada titik O. Selanjutnya persamaan yang ada pada permukaan kiri adalah :

$$\rho\Big|_{x-dx/2} = \rho + \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}\right) - \frac{dx}{2} = \rho - \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}\right) \frac{dx}{2}$$
 (2-4)

$$u)_{x-dx/2} = u + \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right) - \frac{dx}{2} = u - \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right) \left(\frac{dx}{2}\right)$$
 (2-5)

Dengan begitu pernyataan Hukum Konservasi Massa dapat dinyatakan sebagai berikut : rata – rata flux massa yang keluar melewati permukaan kontrol ditambah dengan rata – rata perubahan massa di dalam *control volume* adalah sama dengan nol. Atau dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

Untuk mengevaluasi suku pertama pada persamaan di atas, maka harus dengan mengevaluasi persamaan  $\int_{CS} \rho \vec{V} d\vec{A}$ . Kita harus membandingkan fluks massa yang melewati tiap – tiap permukaan dari permukaan kontrol, seperti yang ditunjukan pada gambar 2.5 berikut :

Surface 
$$\int \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$$
Left  $(-x) = -\left[\rho - \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}\right) \frac{dx}{2}\right] \left[u - \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right) \frac{dx}{2}\right] dy \ dz = -\rho u \ dy \ dz + \frac{1}{2} \left[u \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}\right) + \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\right] dx \ dy \ dz$ 
Right  $(+x) = \left[\rho + \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}\right) \frac{dx}{2}\right] \left[u + \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right) \frac{dx}{2}\right] dy \ dz = \rho u \ dy \ dz + \frac{1}{2} \left[u \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}\right) + \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\right] dx \ dy \ dz$ 
Bottom  $(-y) = -\left[\rho - \left(\frac{\partial \rho}{\partial y}\right) \frac{dy}{2}\right] \left[v - \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right) \frac{dy}{2}\right] dx \ dz = -\rho v \ dx \ dz + \frac{1}{2} \left[v \left(\frac{\partial \rho}{\partial y}\right) + \rho \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)\right] dx \ dy \ dz$ 
Top  $(+y) = \left[\rho + \left(\frac{\partial \rho}{\partial y}\right) \frac{dy}{2}\right] \left[v + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right) \frac{dy}{2}\right] dx \ dz = \rho v \ dx \ dz + \frac{1}{2} \left[v \left(\frac{\partial \rho}{\partial y}\right) + \rho \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)\right] dx \ dy \ dz$ 
Back  $(-z) = -\left[\rho - \left(\frac{\partial \rho}{\partial z}\right) \frac{dz}{2}\right] \left[w - \left(\frac{\partial w}{\partial z}\right) \frac{dz}{2}\right] dx \ dy = -\rho w \ dx \ dy + \frac{1}{2} \left[w \left(\frac{\partial \rho}{\partial z}\right) + \rho \left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)\right] dx \ dy \ dz$ 
Front  $(+z) = \left[\rho + \left(\frac{\partial \rho}{\partial z}\right) \frac{dz}{2}\right] \left[w + \left(\frac{\partial w}{\partial z}\right) \frac{dz}{2}\right] dx \ dy = \rho w \ dx \ dy + \frac{1}{2} \left[w \left(\frac{\partial \rho}{\partial z}\right) + \rho \left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)\right] dx \ dy \ dz$ 
Then,
$$\int_{CS} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} = \left[\left\{u \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}\right) + \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\right\} + \left\{v \left(\frac{\partial \rho}{\partial y}\right) + \rho \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)\right\} + \left\{w \left(\frac{\partial \rho}{\partial z}\right) + \rho \left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)\right\} dx \ dy \ dz$$
or

Gambar 2.5 : Fluks massa yang melewati permukaan kontrol pada Differensial Rectangular kontrol volume

Sumber: W Fox, Robert, And T MacDonald, Alan., 1994: 183

sehingga jumlah rata-rata fluks massa yang melewati permukaan kontrol adalah

$$\int \rho \vec{V} d\vec{A} = \left[ \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} \right] dx.dy.dz \quad \text{(Fox dan Mc Donald, 1994: 184)}$$
 (2-6)

Dan jumlah perubahan massa pada kontrol volume adalah

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} dx dy dz$$
 (2-7)

Sehingga sesuai dengan hukum konservasi massa pada system koordinat bujur sangkar adalah

$$\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \tag{2-8}$$

pada operasi vektor didefinisikan suatu vektor nabla  $\nabla$ , dimana

$$\nabla = \hat{i} \frac{\partial}{\partial x} + \hat{j} \frac{\partial}{\partial y} + \hat{k} \frac{\partial}{\partial z}$$
 (2-9)

Dengan 
$$\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = \nabla \rho \vec{V}$$

Maka konservasi massa dapat ditulis dengan

$$\nabla \cdot \vec{\rho}V + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \tag{2-10}$$

Pada aliran yang inkompresibel ( p konstan ) maka persamaan tersebut menjadi

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \tag{2-11}$$

### 2.5.2 Persamaan Konservasi Momentum

Dalam suatu kontrol volume, persamaan laju momentum dapat dinyatakan dengan menggunakan hukum II Newton yang menyatakan bahwa

$$\vec{F} = \left(\frac{d\vec{P}}{dt}\right)_{\text{sistem}},\tag{2-12}$$

dimana momentum linear pada sistem ( $\vec{P}$ ) dapat digambarkan dengan persamaan

$$\vec{P}_{sistem} = \int_{massa(sistem)} \vec{V} dm \tag{2-13}$$

dan untuk partikel massa sistem yang sangat kecil (dm) hukum kedua newton dapat

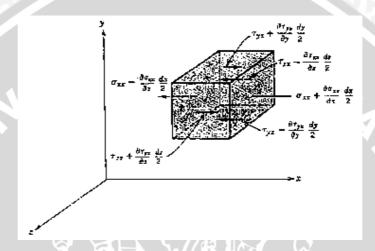
ditulis 
$$d\vec{F} = \left(dm.\frac{d\vec{V}}{dt}\right)_{\text{sistem}}$$
 (2-14)

persamaan percepatan suatu partikel fluida dari suatu massa (dm) yang bergerak pada suatu bidang kecepatan adalah :

$$\frac{D\vec{V}}{Dt} \equiv \vec{a}_p = u \frac{\partial \vec{V}}{\partial x} + v \frac{\partial \vec{V}}{\partial y} + w \frac{\partial \vec{V}}{\partial z} + \frac{\partial \vec{V}}{\partial t}$$
(2-15)

Selanjutnya persamaan 2-14 dan 2-15 disubstitusikan ke persamaan 2-12 didapatkan hukum II Newton sebagai persamaan vektor adalah :

$$\left(\frac{d\vec{P}}{dt}\right)_{\text{sistem}} = dm.\frac{d\vec{V}}{dt} = dm.\left(u\frac{\partial\vec{V}}{\partial x} + v\frac{\partial\vec{V}}{\partial y} + w\frac{\partial\vec{V}}{\partial z} + \frac{\partial\vec{V}}{\partial t}\right)$$
(2-16)



Gambar 2.6: Tegangan dalam arah *x* pada elemen fluida Sumber : W Fox, Robert, And T MacDonald, Alan., 1994 :207

Berdasarkan gambar 2.6 yang menunjukkan gaya-gaya yang bekerja pada suatu elemen fluida, untuk menggambarkan gaya permukaan (Fs) yang bekerja pada arah x  $(d\vec{F}s)$ , kita harus menjumlahkan gaya — gaya yang bekerja pada arah x, seperti yang dijelaskan pada persamaan berikut:

$$d\vec{F}s_{x} = \left(\sigma_{xx} + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} \frac{dx}{2}\right) dydz - \left(\sigma_{xx} - \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} \frac{dx}{2}\right) dydz$$

$$+ \left(\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \frac{dy}{2}\right) dxdz - \left(\sigma_{yx} - \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} \frac{dy}{2}\right) dxdz$$

$$+ \left(\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \frac{dz}{2}\right) dxdy - \left(\sigma_{zx} - \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \frac{dz}{2}\right) dxdy$$

$$(2-17)$$

Persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi :

$$d\vec{F}s_{x} = \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z}\right) dx dy dz$$
 (2-18)

Ketika gaya gravitasi bekerja sebagai gaya body ( $F_B$ ), maka gaya body per satuan massa adalah  $\vec{g}$ . Sehingga gaya yang bekerja pada arah x dapat dituliskan :

$$d\vec{F}_{x} = d\vec{F}_{Bx} + d\vec{F}_{Sx} = \left(\rho g_{x} + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z}\right) dx.dy.dz$$
 (2-19)

Dengan pengertian yang sama, gaya yang bekerja pada arah y dan z adalah :

$$d\vec{F}_{y} = d\vec{F}_{By} + d\vec{F}_{Sy} = \left(\rho g_{y} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z}\right) dx.dy.dz$$
 (2-20)

$$d\vec{F}_z = d\vec{F}_{Bz} + d\vec{F}_{Sz} = \left(\rho g_z + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z}\right) dx.dy.dz$$
 (2-21)

Untuk fluida newtonian, bentuk tegangan dapat dijabarkan dalam gradien dan properties fluida dalam koordinat rektangular

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \tag{2-22}$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left( \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \tag{2-23}$$

$$\tau_{zx} = \tau_{xz} = \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \tag{2-24}$$

$$\sigma_{xx} = -p - \frac{2}{3}\mu\nabla \cdot \vec{V} + 2\mu\frac{\partial u}{\partial x}$$
 (2-25)

$$\sigma_{yy} = -p - \frac{2}{3}\mu\nabla \vec{V} + 2\mu\frac{\partial v}{\partial y}$$
 (2-26)

$$\sigma_{zz} = -p - \frac{2}{3}\mu\nabla \cdot \vec{V} + 2\mu\frac{\partial w}{\partial z}$$
 (2-27)

Dimana p adalah tekanan termodinamik lokal

Jika persamaan ini diubah ke dalam persamaan differensial gerak fluida, didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( 2 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{V} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right]$$

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \rho g_{y} - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( 2 \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3} \nabla . \vec{V} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right]$$

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( 2 \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3} \nabla . \vec{V} \right) \right]$$

BRAWIJAYA

Persamaan gerak ini disebut persamaan Navier-Stokes. Persamaan ini dapat lebih disederhanakan lagi jika diaplikasikan pada fluida incompressible dengan viskositas yang konstan. Dengan kondisi tersebut persamaan dapat disederhanakan menjadi:

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$
(2-29)

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)$$
(2-30)

$$\rho \left( \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$
(2-31)

(Fox; 1994: 210)

### 2.6 Eductor

Eductor adalah suatu alat yang mentransfer momentum dari aliran primer berkecepatan tinggi ke aliran sekunder berkecepatan rendah, seperti ditunjukkan gambar 2.7.

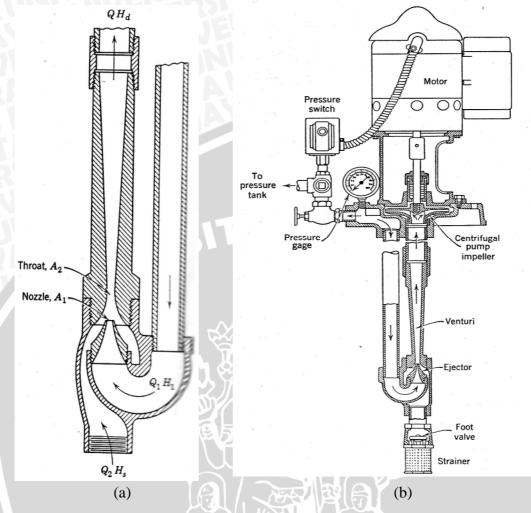
Eductor sendiri terdiri dari empat komponen utama yaitu nosel, suction chamber, mixing throat, dan diffuser seperti ditunjukkan gambar 2.8.

Dalam operasinya *eductor* tidak dapat bekerja sendiri, biasanya *eductor* merupakan bagian dari suatu instalasi pompa atau biasa disebut instalasi *jet pump*.

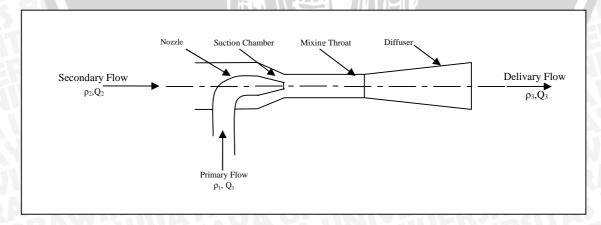
Eductor memiliki kelebihan-kelebihan yaitu:

- 1. Dapat digunakan untuk semua fluida
- 2. Dapat ditempatkan di dalam air
- 3. Desain sederhana

Namun *eductor* mempunyai kelemahan-kelemahan yaitu tidak dapat beroperasi sendiri, *eductor* hanya menjadi bagian dari instalasi *centrifugal jet pump* yaitu harus turut menyertakan pompa sentrifugal sebagai penggerak awal, selain itu debit yang dihasilkan berkurang bila dibandingkan dengan pompa sentrifugal karena sebagian debit hasil pemompaan dikembalikan ke *eductor* sebagai *primary flow* (energi input) pada *eductor*.



Gambar 2.7 : (a) *Eductor* (b) Instalasi *Eductor* Sumber : Stepanoff 1984 : 403-404



Gambar 2.8: Detail Eductor

Berdasarkan fluida kerjanya, eductor diklasifikasikan menjadi:

### 1. Liquid-Jet-Liquid (LJL)

Pada *eductor* tipe ini, baik *primary* maupun *secondary flow* fluidanya merupakan liquid.

### 2. Liquid-Jet-Gas-Liquid (LJGL)

Fluida untuk *eductor* tipe ini adalah liquid untuk *primary flow* dan gas untuk *secondary flow*nya dan bisa juga sebaliknya.

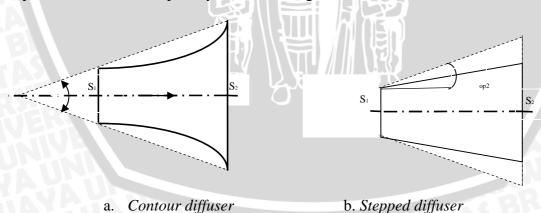
Komponen – komponen yang terdapat dalam *eductor* adalah sebagai berikut :

### 2.6.1. Nosel

Nosel adalah alat berbentuk pipa atau tabung dengan diameter masuk dan diameter keluar berbeda, yang didalamnya energi kinetik fluida yang mengalir bertambah akibat penurunan tekanan. Umumnya nosel digunakan untuk mengubah tekanan menjadi kecepatan.

### 2.6.2. Diffuser

Diffuser merupakan suatu alat yang dapat memperbesar tekanan suatu fluida, dengan cara memperkecil kecepatan fluida tersebut. Energy kinetic dari partikel-parikel fluida digunakan untuk meningkatkan tekanan fluida tersebut. Efisiensi dari diffuser dapat dilihat dari kemampuannya untuk meningkatkan tekanan dari suatu fluida.



Gambar 2.9 Macam Diffuser

Sumber: Nekrasov, Aeronautical Engineering. Hal111

Berdasarkan gambar 2.9 untuk *stepped diffuser* dalam penentuan geometrinya berdasarkan pada sudut *diffuser* tersebut. Sedangkan untuk *contour diffuser* penentuan geometrinya berdasarkan pada radius yang membentuk dinding *diffuser* tersebut.

Semakin besar perubahan luas permukaan gesek, maka semakin besar perubahan arah aliran fluida yang mengalir didalamnya. Semakin besar perubahan arah aliran maka semakin besar tumbukan antar partikel yang terjadi. Jumlah tumbukan antar partikel fluida inilah yang menyebabkan terjadinya turbulensi yang menyebabkan *losses*. Aliran turbulensi dapat dibuktikan dengan bilangan Reynolds

Pada instalasi *eductor*, *Diffuser* memiliki fungsi yang sangat penting karena meningkatkan tekanan fluida dengan mengurangi kecepatan fluida sehingga kemampuan *eductor* untuk melakukan hisapan pada *secondary flow* juga akan semakin besar.

### 2.6.3. Mixing throat

Mixing throat merupakan bagian dari eductor yang berfungsi sebagai tempat pencampuran fluida sekunder yang berkecepatan rendah dengan dengan fluida primer yang berkecepatan tinggi. Dengan proses pencampuran ini diharapkan fluida yang tercampur menjadi homogen. Pada mixing throat ini terjadi juga proses penstabilan aliran sehingga aliran keluar mixing throat diharapakan sestabil mungkin sebelum masuk diffuser.

Mixing throat sendiri harus memiliki panjang yang cukup sehingga proses mixing benar-benar sempurna, tetapi panjang mixing throat harus sependek mungkin agar kerugian akibat gesekan dapat diminimalisir.

Mixing throat sendiri berupa pipa lurus berpenampang lingkaran yang mengubungkan Nosel dengan diffuser.

### 2.6.4. Suction Chamber

Suction chamber merupakan bagian eductor yang berfungsi melewatkan aliran sekunder yang nantinya akan dicampur dengan aliran primer pada mixing throat.

### 2.7 Persamaan-persamaan yang dipakai

### 1. Kesetimbangan energi dan massa

### a. Persamaan kontinuitas

Persamaan kontinuitas menyatakan kesetimbangan massa fluida yang stady dalam suatu aliran kecepatan (V) dan luas saluran (A), yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$m = \rho$$
. V. A (Fox; 1994: 114) (2-32)

dengan :  $\rho$  = massa jenis fluida (m<sup>3</sup>/kg)

V = kecepatan aliran (m/s)

A = luas penampang (m<sup>2</sup>)

Untuk fluida inkompresibel, harga  $\rho$  konstan di sepanjang saluran, sehingga persamaan ini sering dinyatakan dengan kapasitas (Q)

$$Q = V.A$$

Dengan :  $Q = \text{kapasitas } (m^3/s)$ 

V = kecepatan aliran (m/s)

A = luas penampang (m<sup>2</sup>)

### b. Persamaan Bernoulli

Persamaan bernoulli menyatakan hubungan antara energi tekanan, energi kecepatan, energi elevasi pada fluida dalam suatu saluran, dimana diasumsikan dalam kondisi steady flow, tidak ada gesekan, dan fluida dianggap inkompresibel. Persamaan Bernoulli ini merupakan penjumlahan ketiga energi tersebut yang besarnya konstan di sembarang penampang ditinjau tegak lurus arah aliran. Persamaan ini dirumuskan sebagai berikut

$$: \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z = 0$$
 (Fox; 1994: 115) (2-33)

Dengan :  $\frac{P}{\gamma}$  = energi tekanan (m)

$$\frac{V^2}{2g}$$
 = energi kecepatan (m)

Z = energi elevasi (m)

### 2. Persamaan umum eductor

Persamaan umum untuk *eductor* dituliskan dengan parameter-parameter sebagai berikut:

a. Rasio luas penampang Nosel dan mixing throat

Rasio luas penampang Nosel dan *mixing throat* merupakan perbandingan antara luas penampang Nosel  $(A_{no)}$  dengan luas penampang mixing throat  $(A_{th})$ 

$$R = \frac{A_{no}}{A_{th}}$$
, (Stepanoff; 1984: 404)

Dengan :  $A_{no}$  : luas penampang nosel (m<sup>2</sup>)

 $A_{th}$ : luas penampang mixing throat (m<sup>2</sup>)

### b. Flow Rate Ratio

Flow rate ratio merupakan perbandingan debit aliran pada primary flow  $(Q_1)$  dengan debit pada secondary flow  $(Q_2)$ .

$$M = Q_2/Q_1$$
 (Stepanoff; 1984: 404) (2-35)

Dengan :  $Q_1$  debit aliran primary flow (m<sup>3</sup>/s)

 $Q_2$ : debit aliran secondary flow (m<sup>3</sup>/s)

### c. Pressure Ratio

*Pressure Ratio* merupakan perbandingan tekanan yang dikeluarkan untuk menghisap fluida pada aliran sekunder dengan tekanan yang disuplai dari aliran primer.

$$N = \frac{(P_d - P_s)}{(P_i - P_d)}$$
 (Stepanoff; 1984: 404)

dimana P<sub>d</sub>: Tekanan delivery (N)

P<sub>s</sub>: Tekanan suction (N)

P<sub>i</sub>: Tekanan masuk (N)

### d. Efisiensi Eductor

Efisiensi *eductor* merupakan perbandingan antara daya yang dikeluarkan yang digunakan untuk memompakan aliran sekunder yaitu  $Q_2(P_d-P_s)$ dan daya yang disuplai memompa aliran primer yaitu  $Q_1(P_i-P_d)$ .

$$\eta = \frac{Eout}{Ein} = \frac{Q_2(P_d - P_s)}{Q_1(P_i - P_d)}$$
 (Stepanoff; 1984: 405)

dengan: Q1: aliran pada primary flow (m<sup>3</sup>/s)

Q2: debit pada secondary flow (m<sup>3</sup>/s)

### 3. Losses pada diffuser

Pada umumnya diffuser digunakan untuk mengubah kecepatan menjadi tekanan, pada proses tersebut akan terjadi losses.

Kerugian energi dibagi menjadi dua, yaitu:

### • Major Losses

Kerugian energi yang terjadi karena adanya gesekan sepanjang pipa saluran. Besarnya nilai major losses dapat dihitung dengan rumus :

$$h_{\text{mayor}} = \lambda \frac{L.V^2}{D.2g}$$
 (Fox; 1994: 332) (2-38)

dimana :  $\lambda$  = koefisien *major losses* 

L = panjang pipa (m)

D = diameter dalam pipa (m)

V = kecepatan rata-rata aliran dalam pipa (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

### Minor losses

Kerugian energi yang terjadi adanya perubahan arah aliran fluida dalam pipa. Biasanya dalam aliran fluida tersebut melewati katup, belokan, dan perubahan penampang. Besarnya nilai minor losses dapat dihitung dengan

$$h_{\text{minor}} = k \frac{V^2}{2g}$$
 (Fox; 1994: 332) (2-39)

dimana : k = koefisien minor losses

V = kecepatan rata-rata aliran dalam pipa (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

### 2.8 Komputasi Dinamika Fluida

Komputasi dinamika fluida adalah analitis dari sebuah sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas dan gejala yang berhubungan seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi berbasis komputer. Komputasi dinamika fluida mempunyai beberapa keuntungan dalam analisis desain suatu sistem fluida, yaitu :

- 1. Mengurangi waktu dan biaya untuk desain baru.
- 2. Kemampuan untuk mempelajari sistem yang tidak mungkin dilakukan secara eksperimen.
- 3. Kemampuan untuk memperlajari sistem di bawah kondisi penuh resiko dan di luar kemampuan batas normal manusia, seperti pada eksperimen yang berbahaya.
- 4. Tingkatan detail hasil yang tinggi.

Penyelesaian dengan komputasi dinamika fluida bisa dilakukan dengan menggunakan software ANSYS 11.0. ANSYS 11.0 adalah software yang berbasis finite volume method. Software ini mampu untuk mendiskretisasikan model dengan halus sehingga output yang dihasilkan dari analisa suatu permasalahan memiliki ketelitian yang tinggi. ANSYS 11.0 dapat digunakan untuk menganalisa permasalahan mekanika fluida dan perpindahan panas. Di dalam penggunaan ANSYS 11.0 terdapat tiga tahapan proses, yaitu pre-processor, solver dan post-processor.

### 2.8.1 Pre-Processor

*Pre-processor* terdiri atas masukan dari suatu problem kepada suatu program komputasi dinamika fluida. Adapun langkah – langkah dalam tahap *pre-processor* meliputi:

- 1. Menentukan domain fisik yang akan dibuat, yaitu dengan membuat gambar geometri yang akan disimulasikan.
- 2. Grid generation

Grid generation atau pembagian kisi adalah suatu cara pembagian suatu benda pada daerah tertentu menjadi beberapa kontrol volume yang lebih kecil.

3. Menentukan persamaan atur

Persamaan atur yang digunakan adalah persamaan konservasi massa dan persamaan momentum yang dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + div(\rho V)$$

Untuk Persamaan Momentum:

Persamaan momentum sumbu x:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

Persamaan momentum sumbu y:

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}$$

Persamaan momentum sumbu z :

$$\rho \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}$$

4. Menentukan Kondisi Batas (Boundary Conditions)

Kondisi Batas adalah syarat yang tergantung variabel atau turunan yang harus dipenuhi. Macam – macam tipe *boundary condition*:

- The Dirichlet Boundary Condition adalah jika variabel tergantung pada batas sistem ditentukan.
- The Neuman Boundary Condition adalah jika gradien normal dari variabel tergantung pada batas sistem.
- The Robin Boundary Condition adalah jika kondisi batas yang ditentukan adalah kondisi laminer dari tipe Dirichlet dan Neuman.
- The Mixed Boundary Condition merupakan gabungan dari tipe Dirichlet dan Neuman.

Tahap – tahap di atas merupakan langkah – langkah dari *pre-processor*, dimana solusi untuk sebuah problem aliran didefinisikan pada titik di dalam masing – masing sel. Akurasi dari solusi komputasi dinamika fluida diatur oleh jumlah sel dalam grid. Jumlah sel yang lebih banyak memberikan akurasi yang lebih baik.

### 2.8.2 Solver

Secara metode numerik yang berbentuk dasar solver adalah sebagai berikut :

### Diskretisasi

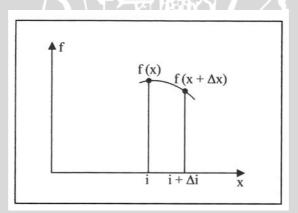
Diskretisasi merupakan langkah untuk mengubah persamaan atur yang telah ditentukan dalam pre-processor menjadi persamaan aljabar yang lebih sederhana. Dalam penelitian ini diskretisasi persamaan menggunakan metode finite volume. Diskretisasi persamaan atur menggunakan metode finite volume terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

- 1 Integrasi persamaan atur dalam kontrol volume.
- 2 Diskretisasi persamaan atur yang telah diintegrasi menjadi persamaan aljabar.

Dalam persamaan atur terdapat suku konveksi dan difusi. Suku konveksi merupakan suku yang berbentuk turunan. Suku difusi didiskretisasikan menggunakan forward differencing, central differencing, atau backward differencing.

Untuk forward differencing, turunan pertama suatu sifat f disatu titik I ditentukan berdasarkan nilai f di titik i dan di titik i + 1 seperti ditunjukkan gambar 2.10. Misalnya untuk menentukan turunan pertama f terhadap x, persamaannya adalah :

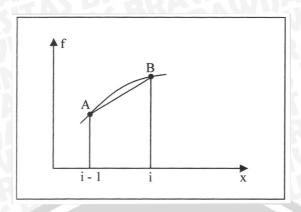
$$\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i} = \frac{f_{i+1} - f_{i}}{\Delta I} + O(\Delta I)$$



Gambar 2.10 Pendekatan forward differencing Sumber: Klaus A Hoffman. 1989, hal.20

Backward differencing, turunan pertama suatu sifat f di satu titik i ditentukan berdasarkan nilai f di titik i dan titik i -1 seperti ditunjukkan gambar 2.11. Untuk menentukan turunan pertama f terhadap x, persamaannya:

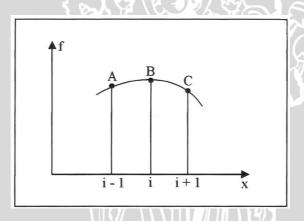
$$\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i} = \frac{f_{i} - f_{i-1}}{\Delta x} + \mathcal{O}(\Delta x)$$



Gambar 2.11 Pendekatan *backward differencing* Sumber: Klaus A Hoffman. 1989, hal.21

Central differencing, turunan pertama suatu sifat f di satu titik i ditentukan berdasarkan nilai f di titik i + 1 dan i - 1 seperti ditunjukkan gambar 2.12. Untuk menentukan turunan pertama terhadap x, persamaannya adalah :

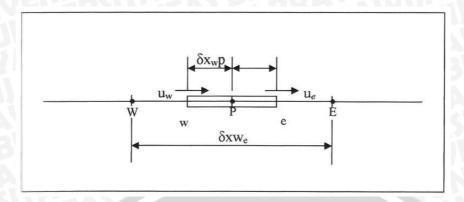
$$\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i} = \frac{f_{i+1} - f_{i-1}}{2\Delta x} + \mathcal{O}(\Delta x)^{2}$$



Gambar 2.12 Pendekatan *central differencing* Sumber: Klaus A Hoffman. 1989, hal.22

Metode yang dapat digunakan untuk mendiskretisasikan suku konveksi pada *ANSYS CFX*, yaitu :

• Central Differencing Scheme, adalah suatu metode diskretisasi yang menentukan suatu sifat di suatu permukaan kontrol volume dengan menggunakan interpolasi linier seperti ditunjukkan gambar 2.13.



Gambar 2.13 Metode *central differencing scheme* Sumber: H.K. Versteeg and W. Malalasekera, 1995 hal. 104

Jadi, gambar 2.13 diatas dapat ditentukan harga  $\phi$  pada setiap permukaan kontrol volume yaitu :

$$\phi_e = \frac{(\phi_p + \phi_E)}{2}$$

$$\phi_{w} = \frac{(\phi_{W} + \phi_{p})}{2}$$

Dengan persamaan diskretisasi yang digunakan adalah sebagai berikut :

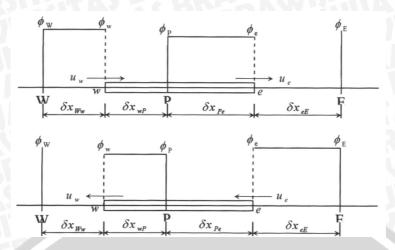
$$F_e \phi_e - F_w \phi_w = D_e (\phi_E - \phi_p) - D_w (\phi_p - \phi_w)$$

Maka persamaan diskretisasi untuk metode central differencing scheme adalah :

$$\frac{Fe}{2}(\phi_{P} + \phi_{E}) - \frac{Fw}{2}(\phi_{W} + \phi_{P}) = D_{e}(\phi_{E} - \phi_{p}) - D_{w}(\phi_{p} - \phi_{W})$$

Adapun kelebihan dari metode ini adalah lebih mudah dilakukan dan mempunyai ketelitian hasil yang relatif tinggi. Sedangkan kekurangannya adalah hasilnya tidak sesuai dengan fenomena fisik yang terjadi apabila suatu kasus mempunyai harga Pe ≥ 2, dimana Pe adalah harga kekuatan relatif dari konveksi terhadap difusi.

• *Upwind Differencing Scheme*, adalah suatu metode diskretisasi yang menentukan nilai suatu sifat φ pada permukaan kontrol volume sama dengan nilai sifat φ upstream. Hal ini ditunjukan pada gambar 2.14 berikut :



Gambar 2.14 Metode *up wind differencing scheme* Sumber: H.K. Versteeg and W. Malalasekera, 1995 hal. 115

Pada gambar 2.14, bila arah aliran ke kanan, dimana  $u_w > 0$ ,  $u_e > 0$  ( $F_w > 0$ ,  $F_e > 0$ ) maka  $\phi_e = \phi_P$  dan  $\phi_w = \phi_W$ .

Dengan persamaan diskretisasi yang digunakan sebagai berikut

$$F_e\phi_e - F_w\phi_w = D_e(\phi_E - \phi_p) - D_w(\phi_p - \phi_W)$$

Maka persamaan diskretisasi menjadi untuk upwind differencing scheme:

$$F_e \phi_P - F_w \phi_W = D_e (\phi_E - \phi_P) - D_w (\phi_P - \phi_W)$$

Apabila arah aliran ke kiri, dimana  $u_w < 0$ ,  $u_e < 0$  ( $F_w < 0$ ,  $F_e < 0$ ) maka  $\phi_e = \phi_E$  dan

 $\phi_{\scriptscriptstyle W}=\phi_{\scriptscriptstyle P}$ . Persamaan diskretisasi menjadi :

$$F_e \phi_E - F_w \phi_P = D_e (\phi_E - \phi_P) - D_w (\phi_P - \phi_W)$$

Adapun kelebihan dari metode ini adalah pada teknik diskretisasinya yang lebih mudah dilakukan. Sedangkan kekurangannya adalah adanya penyimpangan terhadap hasil yang diperoleh apabila dibandingkan dengan hasil eksak yaitu cenderung lebih besar atau lebih kecil, tetapi trend grafik yang diperoleh masih sama.

Seperti yang dijelaskan pada uraian sebelumnya, persamaan atur yang digunakan adalah persamaan konservasi massa dan momentum. Adapun gambaran dari proses diskretisasi persamaan atur dapat dijelaskan sebagai berikut :

Sebelum proses diskretisasi, persamaan atur yang digunakan harus diintegrasi terlebih dahulu dengan teorema Divergensi Gauss.

$$\iiint_{T} div F(x, y, z) dV = \iint_{S} F . dA$$

Integrasi persamaan konservasi massa

$$\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

Untuk fluida *incompressible*  $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ 

Maka persamaan konservasi massa menjadi  $\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0$ 

Dengan teorema Divergensi Gauss

$$\iiint_{CV} \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = \int_{CV} \rho \frac{\partial u}{\partial x} dV + \int_{CV} \rho \frac{\partial v}{\partial y} dV + \int_{CV} \rho \frac{\partial w}{\partial z} dV$$

$$= \iint_{S} \rho u \, dy dz + \iint_{S} \rho v \, dx dz + \iint_{S} \rho w \, dx dy$$

$$= \iint_{S} \rho u \, dA + \iint_{S} \rho v \, dA + \iint_{S} \rho w \, dA$$

Kemudian diskretisasi persamaan tersebut menjadi

$$(\rho uA)_e - (\rho uA)_w + (\rho vA)_n - (\rho vA)_s + (\rho wA)_f - (\rho wA)_b = 0$$

Integrasi persamaan konservasi momentum untuk arah sumbu x

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

Dengan Asumsi:

- Aliran fluida steady  $\left(\frac{\partial u}{\partial t} = 0; \frac{\partial v}{\partial t} = 0\right)$
- Tidak ada *body force*  $(\rho g_x = 0; \rho g_y = 0; \rho g_z = 0)$
- Properti fluida konstan ( $\rho$  dan  $\mu$ )

Dengan menggunakan teorema Divergensi Gauss seperti yang digunakan pada persamaan konservasi massa, maka :

$$\int_{CV} \rho u \frac{\partial u}{\partial x} dV + \int_{CV} \rho v \frac{\partial u}{\partial y} dV + \int_{CV} \rho w \frac{\partial u}{\partial y} dV = \mu \left[ \int_{CV} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} dV + \int_{CV} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} dV + \int_{CV} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} dV \right] - \int_{CV} \frac{\partial p}{\partial x} dV$$

Sama dengan:

$$\iint_{S} \rho uu \ dA + \iint_{S} \rho vu \ dA + \iint_{S} \rho wu \ dA = \mu \left[ \iint_{S} \frac{\partial u}{\partial x} dA + \iint_{S} \frac{\partial u}{\partial y} dA + \iint_{S} \frac{\partial u}{\partial z} dA \right] - \iint_{S} \rho \ dA$$

Diskretisasi persamaan momentum yang telah diintegrasi dengan menggunakan metode central differencing:

$$(\rho uuA)_e - (\rho uuA)_w + (\rho uvA)_n - (\rho uvA)_s + (\rho uwA)_b - (\rho uwA)_f =$$

$$\mu \left[ A_e \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_e - A_w \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_w + A_n \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)_n - A_s \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)_s + A_b \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)_b - A_f \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)_f \right] - (p A)_e + (p A)_w$$

Sama dengan:

 $(\rho uuA)_e - (\rho uuA)_w + (\rho uvA)_n - (\rho uvA)_s + (\rho uwA)_b - (\rho uwA)_f =$ 

$$\mu A_{e} \frac{\left(u_{E} - u_{P}\right)}{\delta_{x P E}} - \mu A_{w} \frac{\left(u_{P} - u_{W}\right)}{\delta_{x W P}} + \mu A_{n} \frac{\left(u_{N} - u_{P}\right)}{\delta_{y P N}} - \mu A_{s} \frac{\left(u_{P} - u_{S}\right)}{\delta_{y S P}} + \mu A_{b} \frac{\left(u_{B} - u_{P}\right)}{\delta_{y P B}} - \mu A_{f} \frac{\left(u_{P} - u_{F}\right)}{\delta_{y F P}} - \left(p A\right)_{e} + \left(p A\right)_{w}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan berikut ke dalam persamaan di atas :

$$F = \rho u$$
;  $F = \rho v \operatorname{dan} D = \frac{\mu}{\delta_x} = \frac{\mu}{\delta_y} = \frac{\mu}{\delta_z}$ 

Maka persamaannya menjadi:

$$F_{e}u_{e} - F_{w}u_{w} + F_{n}u_{n} - F_{s}u_{s} + F_{b}u_{b} - F_{f}u_{f} = D_{e}(u_{E} - u_{P}) - D_{w}(u_{P} - u_{W}) + D_{n}(u_{N} - u_{P}) - D_{s}(u_{P} - u_{S}) + D_{b}(u_{B} - u_{P}) - D_{f}(u_{P} - u_{F}) - (pA)_{e} + (pA)_{w}$$

Dengan menggunakan metode *Upwind Differencing* yaitu:

- $u_w = u_W$
- $u_e = u_P$
- $u_n = u_N$
- $u_b = u_B$
- $u_f = u_P$

Maka persamaannya menjadi:

$$F_{e}u_{P} - F_{w}u_{W} + F_{n}u_{N} - F_{s}u_{P} + F_{b}u_{B} - F_{f}u_{P} = D_{e}(u_{E} - u_{P}) - D_{w}(u_{P} - u_{W}) + D_{n}(u_{N} - u_{P}) - D_{s}(u_{P} - u_{S}) + D_{b}(u_{B} - u_{P}) - D_{f}(u_{P} - u_{F}) - (pA)_{e} + (pA)_{w}$$

Dapat dikelompokkan sesuai letak arah kecepatannya menjadi :

$$(F_e - F_s + D_e - D_w - D_n + D_s - D_b - D_f) u_P = D_e u_E + (F_w + D_w) u_W + (D_n - F_n)u_N - D_s$$
  
 $u_S + (D_b - F_b)u_B + D_f u_F - (pA)_e + (pA)_w$ 

2. Solusi dari persamaan aljabar.

Dari hasil persamaan diskretisasi di atas, maka didapatkan persamaan aljabar untuk persamaan momentum pada arah sumbu x yaitu :

$$a_P u_P = a_E u_E + a_W u_W + a_N u_N - a_S u_S + a_B u_B - a_F u_F$$

Penyelesaian dari persamaan aljabar tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan metode iterasi, matrik substitusi atau metode lainnya.

### 2.8.3 Post-processor

Post-processor merupakan tahap akhir dari program komputasi dinamika fluida, dimana dalam post-processor mempunyai kemampuan dalam menampilkan grafik dan visualisasi data yang lengkap yang meliputi :

- 1. Domain, geometri dan gambaran grid.
- 2. Plot vektor
- 3. Plot permukaan

Pada ANSYS 11.0 visualisasi data dapat ditampilkan dalam bentuk 3 dimensi,

Ketiga unsur di atas merupakan langkah – langkah dalam pembuatan program komputasi dinamika fluida.

### 2.9 Hipotesa

Perubahan sudut diffuser pada eductor mempengaruhi pola aliran fluida dalam diffuser yang menyebabkan terjadinya losses sehingga terjadi perubahan tekanan dan efisiensi dari eductor.

# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penulisan ini adalah :

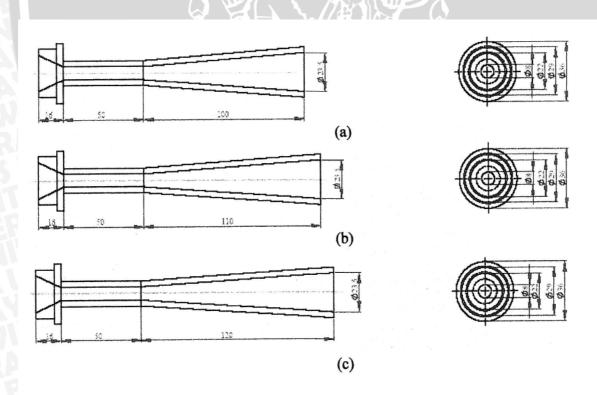
- 1. Metode studi literatur yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas dalam penulisan ini.
- 2. Metode komputasi untuk melakukan simulasi aliran fluida melalui *eductor* dengan variasi sudut *diffuser* dengan menggunakan *ANSYS 11.0*.

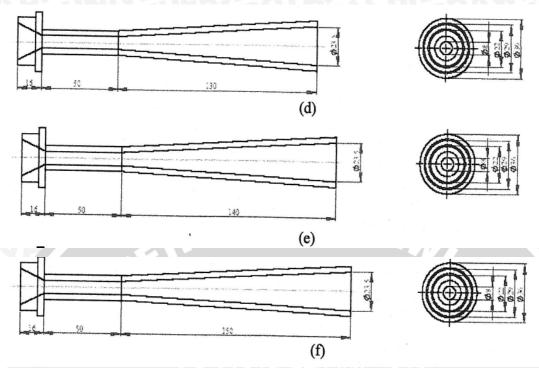
## 3.2 Variabel Penelitian

#### 3.2.1 Variabel Bebas

Merupakan variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan besarnya tidak dipengaruhi oleh variabel lainnya. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah :

1. Bentuk *diffuser* yang digunakan pada *eductor*. Adapun bentuk diffuser yang digunakan adalah sebagai berikut :





Gambar 3.1. Bentuk *diffuser* yang akan digunakan untuk simulasi (satuan dalam millimeter)

- a. Sudut diffuser 13<sup>0</sup>
- b. Sudut diffuser 14<sup>0</sup>
- c. Sudut diffuser 15<sup>0</sup>
- d. Sudut *diffuser* 16<sup>0</sup>
- e. Sudut *diffuser* 17<sup>0</sup>
- f. Sudut diffuser 18<sup>0</sup>

#### 3.2.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan oleh peneliti, melainkan bergantung pada nilai dari variabel bebasnya. Harga variabel terikat akan berubah terhadap variabel bebas jika terdapat hubungan diantara keduanya. Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Distribusi kecepatan pada eductor.
- Distribusi tekanan pada eductor.
- Efisiensi eductor.

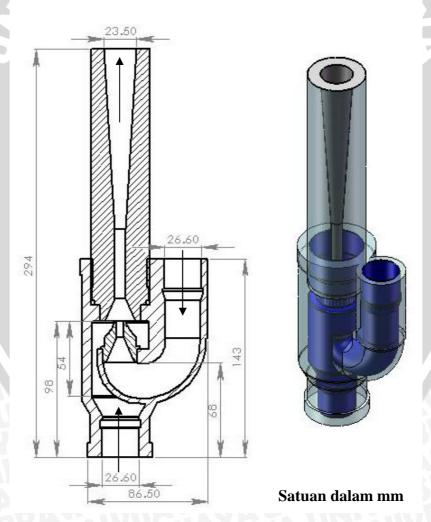
### 3.2.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang ikut berpengaruh yang dibuat sama pada setiap media penelitian dan terkendali. Variabel kontrol yang digunakan adalah:

- Dimensi *eductor* kecuali panjang diffuser yang digunakan.
- Tekanan masuk pada saluran primer, yaitu 51453,45 Pa
- Kedalaman pemasangan eductor 400 mm
- Temperatur Fluida yaitu 25<sup>o</sup>C
- Jarak *outlet nozzle inlet mixing throat*, yaitu 16 mm

#### 3.3 Prosedur Penelitian

Geometri *eductor* yang akan digunakan pada penelitian ini adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2 berikut :



Gambar 3.2. Model eductor yang digunakan untuk proses simulasi

Untuk menganalisis propertis aliran fluida pada *eductor* dengan variasi sudut *diffuser* menggunakan metode *computational fluid dynamic*, terdapat langkah-langkah berikut:

#### 1. Studi literatur

Mempelajari referensi mengenai dasar – dasar analisa fluida, *eductor* dan *computational fluid dynamic*.

2. Simulasi *eductor* dengan bentuk *diffuser* yang digunakan pada penelitian sebelumnya.

Pada penelitian sebelumnya, Pengaruh Variasi bukaan katup dan Panjang *Mixing Throat* terhadap Efsiensi *Eductor* (Subchan, 2005), *diffuser* yang digunakan adalah *stepped diffuser*. Dengan menggunakan bentuk *diffuser* ini, dilakukan simulasi *eductor* dan dihasilkan propertis aliran fluida (tekanan dan kecepatan).

#### 3. Verifikasi

Proses verifikasi ini adalah membandingkan data hasil simulasi *eductor* dengan sudut *diffuser* yang digunakan pada penelitian sebelumnya dengan data hasil eksperimen. Jika hasil simulasi memiliki kecenderungan yang hampir sama maka proses simulasi bisa dianggap sudah benar.

4. Simulasi variasi sudut diffuser eductor.

Setelah proses verifikasi selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan simulasi *eductor* dengan variasi sudut *diffuser* nosel. Dari proses simulasi ini, maka dapat dihasilkan propertis aliran fluida ( tekanan dan kecepatan ) disepanjang *eductor*.

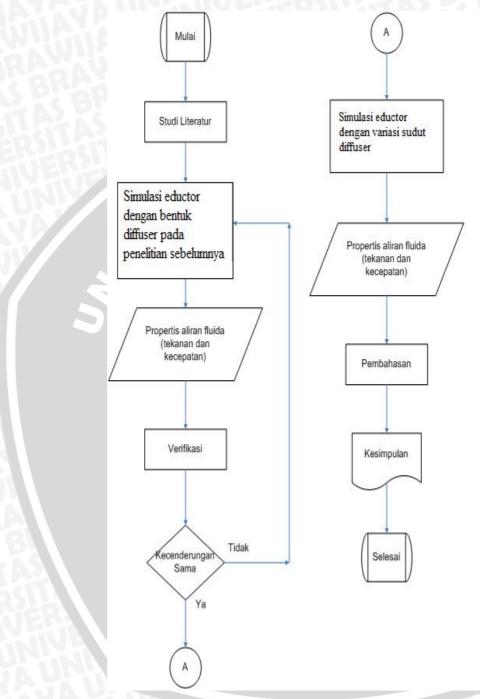
#### 5. Pembahasan

Propertis aliran fluida ( tekanan dan kecepatan ) yang dihasilkan dari proses simulasi variasi sudut *diffuser eductor* dianalisa dan dilakukan pembahasan.

#### 6. Kesimpulan

# 3.3.1. Diagram Alir Prosedur Penelitian

Keseluruhan Prosedur penelitian di atas dapat dijelaskan pada gambar berikut :



Gambar 3.3. Diagram alir prosedur penelitian

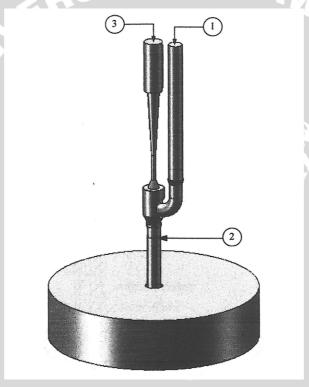
#### 3.4. Prosedur Simulasi

Proses simulasi dengan menggunakan program ANSYS 11.0 terdapat langkah – langkah sebagai berikut :

#### 3.4.1. Pre Processing

1. Menentukan domain fisik yang akan dibuat.

Geometri dari objek yang akan disimulasikan dibuat terlebih dahulu dengan menggunakan program *SOLID WORK*. Kemudian objek yang telah dibuat tersebut dimasukkan ke program *ANSYS 11.0* dan didefinisikan sebagai domain fisik dari objek yang akan disimulasikan. Untuk titik pengambilan data dapat dilihat pada gambar 3.4. pada gambar 3.4 ada penambahan pipa pada sisi *primary flow*, *secondary flow*, dan *delivery flow*.



Gambar 3.4 Model *Eductor* yang akan disimulasikan

### Keterangan gambar:

- 1. Titik pengambilan data untuk *primary flow*
- 2. Titik pengambilan data untuk secondary flow
- 3. Titik pengambilan data untuk delivery flow

### 2. Melakukan grid generation.

Pada penelitian ini model *grid generation* yang digunakan adalah bentuk *tetrahedra*. Bentuk *tetrahedra* biasa digunakan untuk geometri yang rumit, kelebihan dari bentuk ini adalah dapat menjangkau semua sudut dari geometri benda. Setelah dilakukan *grid generation* maka domain tersebut dimasukkan dalam program ANSYS 11.0.



Gambar 3.5 Model Grid Generatiion

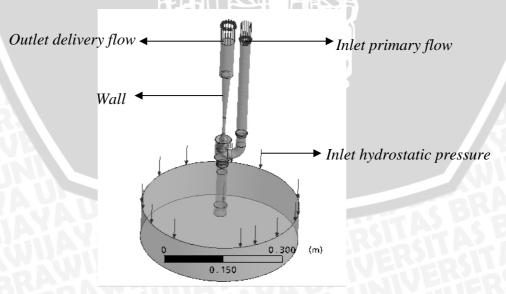
3. Menentukan persamaan atur.

Seperti yang telah disebutkan pada bab sebelumnya, persamaan yang digunakan sebagai persamaan atur adalah persamaan konservasi massa dan momentum.

4. Menentukan kondisi batas (Boundary Conditions).

Kondisi batas yang digunakan adalah kondisi batas tipe dirichlet boundary condition.

Input pada *primary flow* berupa tekanan statis sebesar 51453.45 Pa. Jarak permukaan air sumber dengan sisi *secondary flow* adalah 400 mm.



Gambar 3.6 Domain fisik yang telah dilakukan diberi Boundary Condition

5. Menentukan jumlah iterasi

Suatu penyelesaian persamaan aljabar dapat dikatakan mencapai kondisi konvergen adalah ketika hasil dari interasi ke n dan ke n+1 memiliki kecenderungan yang sama.

#### 3.4.2. Solver

1. Mendiskretisasi persamaan atur.

Diskretisasi persamaan atur pada penelitian kali ini menggunakan metode *upwind* differencing scheme.

2. Menyelesaikan persamaan aljabar.

Penyelesaian persamaan aljabar dilakukan dengan menggunakan metode iterasi.

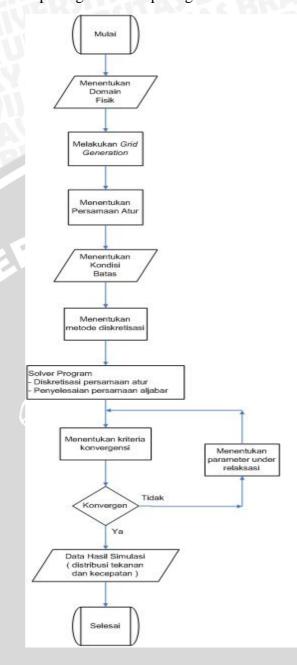
## 3.4.3. Post Processing

Menampilkan visualisasi data yang lengkap yang meliputi domain geometri, plot tekanan dan kecepatan.



### 3.4.4. Diagram Alir Prosedur Simulasi

Keseluruhan proses di atas dapat digambarkan pada gambar 3.5 berikut ini :



Gambar 3.4. Diagram alir prosedur simulasi

Pada penelitian ini, data yang akan diambil sebagai pembahasan adalah :

- Tekanan statis pada secondary flow
- Tekanan statis pada delivery flow
- Kecepatan fluida pada primary flow
- Kecepatan fluida pada secondary flow
- Kecepatan fluida pada delivery flow

Data tersebut digunakan untuk perhitungan efisiensi *eductor* dan disajikan dalam bentuk grafik. Grafik yang akan disajikan sebagai pembahasan pada penelitian ini adalah:

- 1. Grafik hubungan antara variasi sudut *diffuser* terhadap tekanan *delivery flow*.
- 2. Grafik hubungan antara variasi sudut diffuser terhadap head eductor.
- 3. Grafik hubungan antara variasi sudut diffuser terhadap efisiensi eductor.



# **BAB IV PEMBAHASAN**

### 4.1. Verifikasi Hasil Program

Pengaruh Variasi Bukaan Katup dan Panjang Mixing Throat terhadap Efisiensi Eductor (Subchan, 2005).

Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan memvariasikan panjang mixing thorat yaitu 30 mm, 40 mm, 50 mm dan 60 mm dengan diameter mixing throat konstan serta dengan memvariasikan bukaan katup . Dari variasi tersebut yang digunakan sebagai data verifikasi adalah panjang 50 mm yang ditunjukkan pada tabel 4.1 berikut:

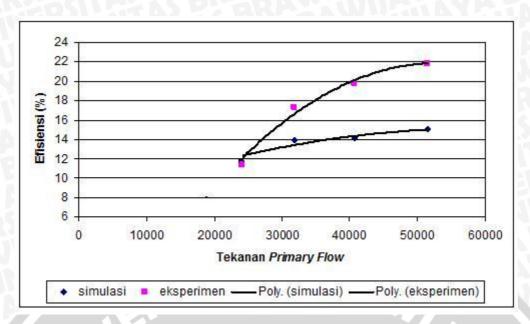
Tabel 4.1. Hasil pengujian dengan Panjang Mixing Throat (eksperimen)

Pi (Pa)	Ps (Pa)	Pd (Pa)	$Q1 (m^3/s)$	$Q2 (m^3/s)$	Efisiensi (%)
23985.45	198,91105	2427,36	8,33333E-05	9,16667E-05	11,37064481
31833.45	-314,7584	3968,3684	0,0001	0,0001125	17,29231506
51453.45	-828,4279	7307,22	0,000133333	0,000158333	21,88427387
40662.45	-571,5932	5509,3768	0,000116667	0,000133333	19,76976513

Sedangkan data yang dihasilkan dengan metode numerik ( simulasi ) adalah sebagaimana terlihat pada tabel 4.2 (diambil data pada variasi tekanan 51453.45 Pa)

Tabel 4.2. Hasil pengujian dengan Panjang Mixing Throat (simulasi)

Pi (Pa)	Ps (Pa)	Pd (Pa)	Q1 (m3/s)	Q2 ( m3/s )	Efisiensi(%)
23985.45	3649.11	7196.68	0.0001289	7.1737E-05	11.76
31833.45	3648.9	9429.56	0.0001538	8.328E-05	13.968
51453.45	3642.26	14283.1	0.0001966	0.00010318	15.022
40662.45	3647.29	11785.2	0.0001764	8.8526E-05	14.143



Grafik 4.1. Grafik hubungan tekanan primary flow terhadap efisiensi eductor

Dari kedua grafik di atas dapat dilihat bahwa hasil eksperimen dan hasil simulasi memiliki kecenderungan yang sama. Efisiensi *eductor* akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya tekanan pada *primary flow*. Dengan demikian prosedur dan rangkaian program yang dibuat adalah valid dan layak digunakan sebagai alat simulator penelitian.

Dari data hasil eksperimen dan simulasi terlihat bahwa terdapat perbedaan nilai diantara kedua metode tersebut, adapun beberapa hal yang dapat menyebabkan perbedaan adalah sebagai berikut :

#### 1. Kesalahan pembulatan ( *Round of error* )

Kesalahan pembulatan terjadi karena dengan tidak diperhitungkannya beberapa angka terakhir. Suatu proses pembulatan memungkinkan angka terakhir suatu data bertambah satu atau tetap, hal ini tentunya akan mempengaruhi hasil yang diperoleh.

#### 2. Kesalahan pemotongan (*Truncation error*)

Dalam metode numerik diskretisasi persamaan atur dilakukan dengan menggunakan deret taylor, dimana dalam diskretisasi ini orde yang lebih tinggi pada deret taylor diabaikan karena memiliki nilai yang sangat kecil. Pemotongan orde yang lebih tinggi dalam deret taylor akan mempengaruhi hasil dari simulasi.

#### 3. Ukuran Kontrol Volume

Bentuk kontrol volume yang digunakan pada simulasi ini adalah bentuk *tetrahedra* dan prisma. Pembagian kontrol volume ini mempengaruhi ketelitian hasil simulasi. Semakin kecil ukuran kontrol volume yang digunakan maka hasil

simulasi akan semakin akurat, namun banyaknya pembagian kontrol volume ini terkendala oleh kapasitas memori yang digunakan.

#### 4.2. Data Hasil Simulasi

Data yang diambil adalah data dari simulasi *eductor* dengan variasi sudut  $diffuser: 13^{0}, 14^{0}, 15^{0}, 16^{0}, 17^{0}, 18^{0}$ . Untuk setiap *eductor* dengan variasi sudut diffuser juga dilakukan pengambilan data dengan variasi tekanan *primary flow* (P<sub>i</sub>): 51453.45 Pa,. Adapun data hasil percobaan ditampilkan pada tabel 4.3 berikut ini:

Diambil data pada tekanan primary flow 515453.45 Pa

Tabel 4.3 Data Hasil simulasi dengan variasi sudut diffuser

Sudut	P <sub>i</sub> (Pa)	P <sub>s</sub> (Pa)	P <sub>d</sub> (Pa)	$V_i (m^3/s)$	$V_s (m^3/s)$	$V_d (m^3/s)$
Diffuser						
$13^{0}$	51453.45	3653.1	15784.8	0.3536	0.187	0.312
$14^{0}$	51453.45	3645.4	16349.1	0.3537	0.192	0.315
$15^{0}$	51453.45	3633.2	16689.6	0.3539	0.195	0.317
$16^{0}$	51453.45	3664.26	17074.4	0.3541	0.199	0.316
$17^{0}$	51453.45	3641.5	16554.8	0.3539	0.189	0.315
$18^{0}$	51453.45	3654.87	16112.4	0.3537	0.186	0.313

Tabel 4.4. Data hasil perhitungan efisiensi eductor dengan berbagai variasi sudut diffuser pada tekanan primary flow 51453.45 Pa

Sudut	P <sub>s</sub> (Pa)	P <sub>d</sub> (Pa)	$Q_1 (m^3/s)$	$Q_2 (m^3/s)$	Efisiensi (%)	Head
Diffuser		Y				(m)
13 <sup>0</sup>	3653.1	15784.8	0.0001964	0.000104	17.847	1.236
$14^{0}$	3645.4	16349.1	0.0001965	0.000107	19.644	1.299
$15^{0}$	3633.2	16689.6	0.0001966	0.000108	20.694	1.335
$16^{0}$	3664.26	17074.4	0.0001966	0.000111	21.993	1.376
$17^{0}$	3641.5	16554.8	0.0001966	0.000107	20.176	1.320
$18^{0}$	3654.87	16112.4	0.0001965	0.000105	18.836	1.274

Data Perhitungan losses pada diffuser

Diambil pada tekanan primary flow 51453.45 Pa

Tabel 4.5. Data perhitungan *losses* pada berbagai variasi sudut *diffuser* pada tekanan *primary flow* 51453.45 Pa

Sudut			TINE TO	TULLEY	30811	
Diffuser	P <sub>in</sub> (Pa)	P <sub>out</sub> (Pa)	$V_{in}$ (m/s)	$V_{out}$ (m/s)	$Z_{out}(m)$	Losses (m)
$13^{0}$	51174.4	2913.29	0.767321	9.8463	0.03	0.029594
$14^{0}$	51145.2	3265.86	0.750732	9.7788	0.03	0.027139
$15^{0}$	51272.6	3304.47	0.610307	9.7440	0.03	0.025393
$16^{0}$	51270.2	3648.21	0.643231	9.6641	0.03	0.013082
$17^{0}$	51235.1	3499.58	0.660875	9.6394	0.03	0.038245
$18^{0}$	51284.8	3402.51	0.529301	9.6294	0.03	0.045281

# 4.3. Perhitungan data

Contoh perhitungan diambil dari data dengan sudut *diffuser* 13<sup>0</sup>:

Perhitungan losses pada diffuser

Tekanan inlet, Pin = 51174.4 Pa

Tekanan *outlet*, Pout = 2913.29 Pa

Kecepatan *inlet*, Vin = 0.767321 m/s

Kecepatan *outlet*, Vout = 9.8463 m/s

Zin = 0 ( sebagai titik acuan / datum )

Zout = 0.03 m

Energi *inlet*, Ein 
$$= \frac{P_{in}}{\rho \cdot g} + \frac{v_{in}^{-2}}{2g} + z_{in}$$

$$= \frac{51174.4}{\rho \cdot g} + \frac{0.767321}{2g} + 0$$

$$= 5.251 \text{ m}$$

Energi *outlet*, Eout = 
$$\frac{P_{out}}{\rho . g} + \frac{v_{out}^{2}}{2g} + z_{out}$$
  
=  $\frac{2913.29}{\rho . g} + \frac{9.8463}{2g} + 0.03$   
= 5.221 m

$$Losses = Ein - Eout$$
  
= 0.029594 m

## > Perhitungan head dan Efisiensi eductor:

Tekanan *Primary*, Pi = 51453.45 Pa

Tekanan Secondary, Ps = 3653.1 Pa

Tekanan Delivery, Pd = 15784.8 Pa

Kecepatan *Primary*,  $v_i = 0.3536$  m/s

Kecepatan Secondary,  $v_s = 0.187 \text{ m/s}$ 

Kecepatan Delivery,  $v_d = 0.312 \text{ m/s}$ 

Debit  $Q_1 = 0.0001964 \text{ m}^3/\text{s}$ 

Debit  $Q_2 = 0.000104 \text{ m}^3/\text{s}$ 

Pressure Ratio, N = 
$$\frac{(Pd - Ps)}{(Pi - Pd)}$$
  
=  $\frac{(15784.8 - 3653.1)}{(51453.45 - 15784.8)}$   
= 0.3401

Flow Rate Ratio, 
$$M = \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$= \frac{0.000104}{0.0001964}$$

$$= 0.52475$$

• Efisiensi *eductor* : 
$$\eta = (MxN) x 100\%$$

$$= \frac{Q_2}{Q_1} \times \frac{(Pd - Ps)}{(Pi - Pd)} \times 100\%$$

$$= (0.52475 \times 0, 3401) \times 100\%$$

$$= 17.84 \%$$

BRAWIUAL

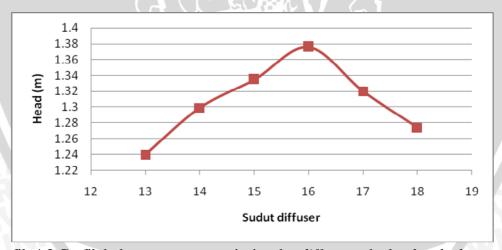
• Head eductor: 
$$h = \frac{P_d - P_s}{\rho \bullet g}$$
$$= \frac{15784.8 - 3653.1}{1000 \bullet 9.81} = 1.236 \text{ m}$$

#### 4.4. Analisa Grafik



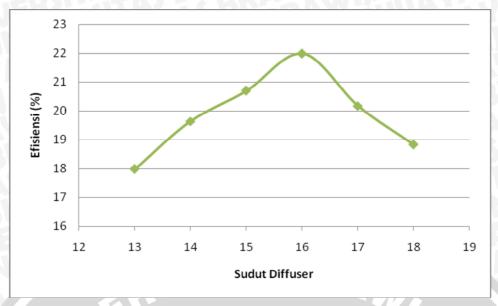
Grafik 4.2 Grafik hubungan antara variasi sudut diffuser terhadap tekanan delivery flow

Grafik 4.2 menunjukkan hubungan variasi sudut *diffuser* terhadap tekanan *delivery*. Pada grafik terlihat bahwa tekanan *secondary* memiliki kecenderungan naik sampai titik tertentu kemudian turun lagi seiring bertambah besarnya sudut *diffuser*. Tekanan *delivery* tertinggi sebesar 17074.4 Pa dicapai pada sudut *diffuser* 16<sup>0</sup> sedangkan tekanan *delivery* terendah sebesar 15784.8 Pa pada sudut *diffuser* 13<sup>0</sup>.



Grafik 4.3 Grafik hubungan antara variasi sudut diffuser terhadap head eductor

Grafik 4.3 menunjukkan hubungan antara variasi sudut *diffuser* terhadap *eductor*. Pada grafik tersebut terlihat bahwa *head eductor* memiliki kecenderungan naik sampai titik tertentu kemudian turun lagi seiring dengan besarnya sudut *diffuser*. Head *eductor* tertinggi sebesar 1.376 m dicapai pada sudut *diffuser* 16<sup>0</sup> dan head *eductor* terendah sebesar 1.240 m dicapai pada sudut 13<sup>0</sup>.



Grafik 4.4 Hubungan antara variasi sudut diffuser terhadap efisiensi eductor

Grafik 4.4 menunjukkan hubungan antara variasi sudut *diffuser* terhadap efisiensi *eductor*. Pada grafik terlihat bahwa efisiensi *eductor* memiliki kecenderungan naik sampai titik tertentu kemudian turun lagi seiring bertambah besarnya sudut *diffuser*. Efisiensi *eductor* tertinggi sebesar 21.993% dicapai pada sudut *diffuser* 16<sup>0</sup> dan efisiensi *eductor* terendah sebesar 17.847% dicapai pada sudut *diffuser* 13<sup>0</sup>.

#### 4.5 Pembahasan

Secara umum efisiensi eductor dipengaruhi oleh flow ratio dan pressure ratio. Nilai dari flow ratio dan pressure ratio dipengaruhi oleh tekanan pada suction chamber. Tekanan pada suction chamber dipengaruhi oleh kecepatan aliran air keluar nozzle. Jika tekanan di daerah suction chamber semakin rendah maka perbedaan tekanan antara tekanan secondary dan tekanan suction chamber akan semakin besar sehingga kemampuan eductor untuk mengangkat air dari sisi secondary akan semakin besar. Dengan debit air secondary yang besar maka flow ratio akan mengalami kenaikan. Sedangkan, pressure ratio dipengaruhi oleh perbedaan tekanan antara tekanan delivery dan tekanan secondary. Tekanan delivery dipengaruhi oleh keseragaman aliran dan kestabilan aliran pada proses pencampuran dari primary dan secondary. Sehingga dengan semakin seragam dan stabilnya aliran menyebabkan tekanan delivery yang dihasilkan semakin tinggi. Sedangkan tekanan hisap secondary dipengaruhi oleh adanya perbedaan antara air dalam reservoir dan suction chamber, dengan semakin besar perbedaan tekanan tersebut menunjukkan tekanan hisap pada secondary semakin

rendah. Sehingga dengan tekanan *delivery* yang tinggi dan tekanan hisap *secondary* yang rendah maka akan menghasilkan *pressure ratio* yang tinggi. Jadi perubahan nilai *flow ratio* dan *pressure ratio* menyebabkan perubahan nilai efisiensi *eductor*.

Dari grafik 4.4. menunjukkan bahwa dengan semakin besarnya sudut *diffuser* maka efisiensi akan memiliki kecenderungan naik sampai titik tertentu kemudian turun. Kenaikan efisinsi terjadi pada sudut *diffuser* 13<sup>0</sup>-16<sup>0</sup> sedangkan penurunan efisiensi terjadi pada sudut *diffuser* 17<sup>0</sup>-18<sup>0</sup>, efisiensi tertinggi pada sudut *diffuser* 16<sup>0</sup> yaitu 21.993%.

Dengan demikian semakin besar sudut *diffuser* kemampuan untuk merubah energi kecepatan menjadi energi tekanan akan semakin menigkat, hal ini menunjukkan pencampuran antara fluida *secondary flow* dan *primary flow* juga semakin meningkat. Pencampuran tersebut sebagai hasil dari keseimbangan antara perubahan sudut *diffuser* dan panjang *diffuser* sehingga dihasilkan *friction losses* pada *diffuser* yang kecil. Walau demikian dengan semakin bertambahnya sudut *diffuser* (>16<sup>0</sup>) akan terjadi penurunan kemampuan *diffuser* untuk merubah energi kecepatan menjadi energi tekanan, hal ini menyebabkan *losses* yang terjadi meningkat.

Dengan semakin menigkatnya kemampuan diffuser maka akan menyebabkan meningkatnya tekanan delivery. Dengan tekanan delivery yang semakin besar maka perbedaan tekanan antara secondary dan delivery semakin besar pula. Hal ini akan meyebabkan head yang dihasilkan oleh eductor semakin meningkat. Kenaikan head eductor juga dipengaruhi oleh kenaikan debit secondary, akibat dari kenaikan head akan menyebabkan efisiensi eductor juga meningkat.

Penurunan efisiensi yang terjadi setelah sudut diffuser 16<sup>0</sup> diakibatkan karena adanya losses yang semakin besar dan tidak diimbangi dengan meningkatnya kemampuan eductor untuk merubah kecepatan menjadi energi tekanan. Losses yang semakin besar ini diakibatkan oleh semakin besarnya gesekan yang terjadi antara air dan dinding diffuser dengan bertambah besarnya sudut diffuser dengan diameter yang sama. Menurunnya tekanan delivery akan menyebabkan perbedaan tekanan antara tekanan delivery dan tekanan suction akan menurun juga. Menurunnya perbedaan tekanan ini mengakibatkan head eductor juga menurun, penurunan head ini akan mengakibatkan

penurunan efisiensi *eductor* sesuai dengan rumus 
$$\eta = \frac{Q_2}{Q_1} \times \frac{(Pd - Ps)}{(Pi - Pd)} \times 100\%$$
.

# BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

## 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa data didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- 1. Perubahan efisiensi *eductor* yang dihasilkan melalui metode eksperimen dan metode numerik memiliki kecenderungan yang hampir sama.
- 2. Perubahan sudut *diffuser* pada e*ductor* mempengaruhi nilai efisiensi dari *eductor*. Efisiensi paling tinggi dihasilkan oleh sudut *diffuser* 16<sup>0</sup> sebesar 21.993%.

#### 5.2. Saran

- 1. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya, yaitu dengan meneliti bagian dari eductor yang lainnya.
- 2. Pada penelitian selanjutnya perlu digunakan *boundary condition* sesuai dengan keadaan diaplikasi yang sebenarnya.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

Fox, Robert W. dan Alan T. Mc Donald; 1994: Introduction to Fluid Mechanics; Fourth Edition; Jhon Wiley & Sons. Inc, New York.

Hoffman, Klaus A; 1989: Computation Fluid Dynamics for Engineers; Engineering Education System<sup>TM</sup>, Texas.

Holman, J. P; 1991: Perpindahan Kalor; Edisi Keenam; Erlangga, Jakarta.

Karassik, Igor J; 1986: *Pump Handbook*; Third Edition; Mc Graw Hill, New York.

Malalasekera, W. dan Versteeg, H. K; 1995: An Introduction to Computation Fluid Dynamics; Longman, Loughborough.

Nekrasov, B; 1969: Hydraulics For Aeronautical Engineers; Mir Publishers, Moscow.

Stepanoff, A. J; 1957: Centrifugal and Axial Flow Pumps; Jhon Wiley & Sons. Inc, New York.

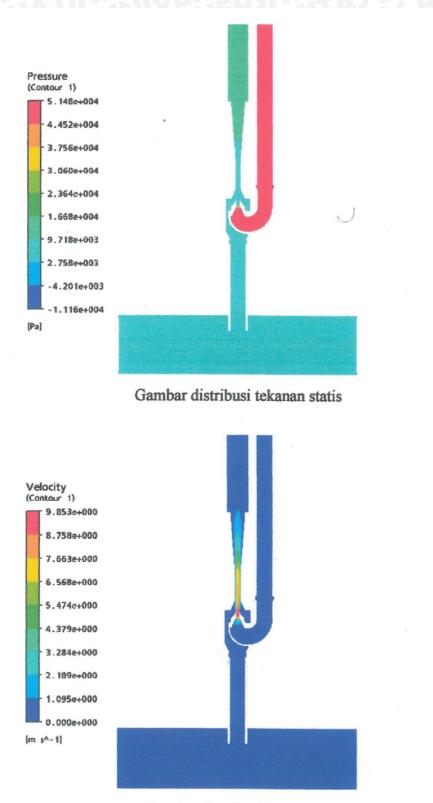
Streeter, Victor L. dan Wylie, E. Benjamin; 1991: Fluid Mechanics; Second Edition; Mc Graw Hill Book Company, New York.

Subchan; 2005: Pengaruh Variasi Bukaan Katup dan Panjang Mixing Throat terhadap Efisiensi Eductor, Universitas Brawijaya, Malang.

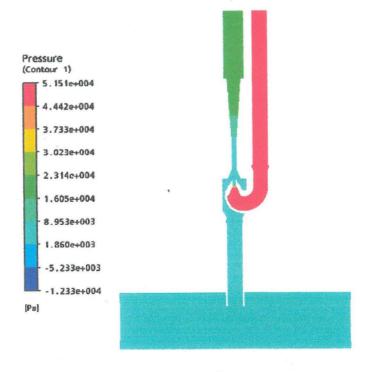
White, F. M; 1994: Mekanika Fluida; Edisi Keempat; Erlangga, Jakarta.

Lampiran A

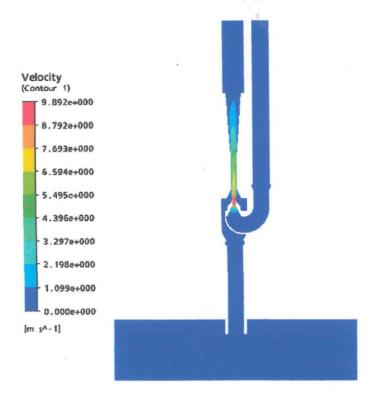
Distribusi tekanan dan kecepatan pada tekanan primary flow 51453.45 Pa Gambar hasil simulasi sudut  $diffuser 13^0$ 



# Gambar hasil simulasi sudut $\it diffuser~14^0$

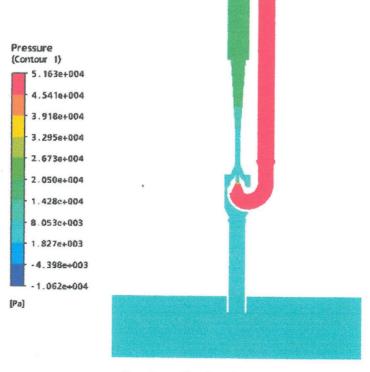


# Gambar distribusi tekanan statis

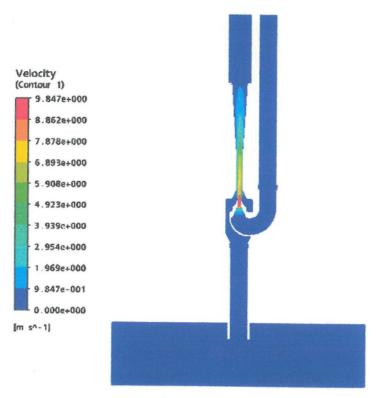


Gambar distribusi kecepatan

# Gambar hasil simulasi sudut $diffuser~15^0$

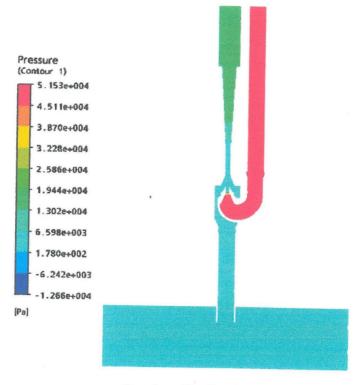


Gambar distribusi tekanan statis

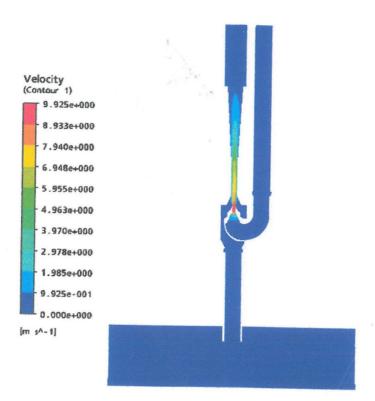


Gambar distribusi kecepatan

# Gambar hasil simulasi sudut $diffuser~16^0$

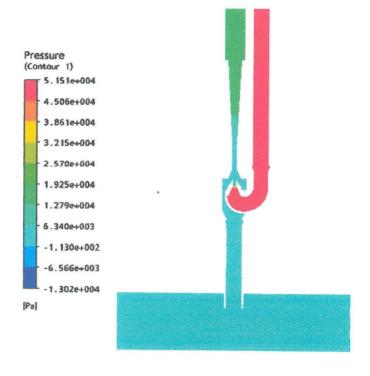


Gambar distribusi tekanan statis

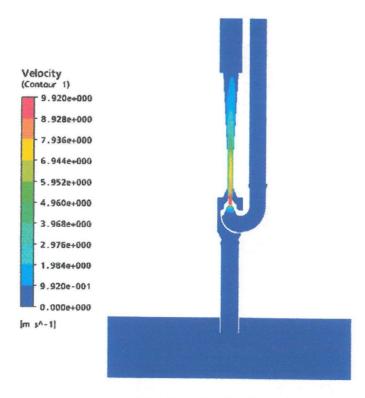


Gambar distribusi kecepatan

# Gambar hasil simulasi sudut $diffuser~17^0$

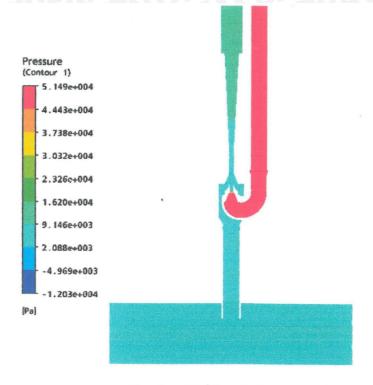


## Gambar distribusi tekanan statis

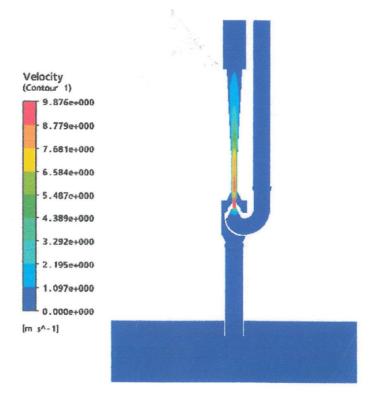


Gambar distribusi kecepatan

# Gambar hasil simulasi sudut $diffuser~18^0$



Gambar distribusi tekanan statis

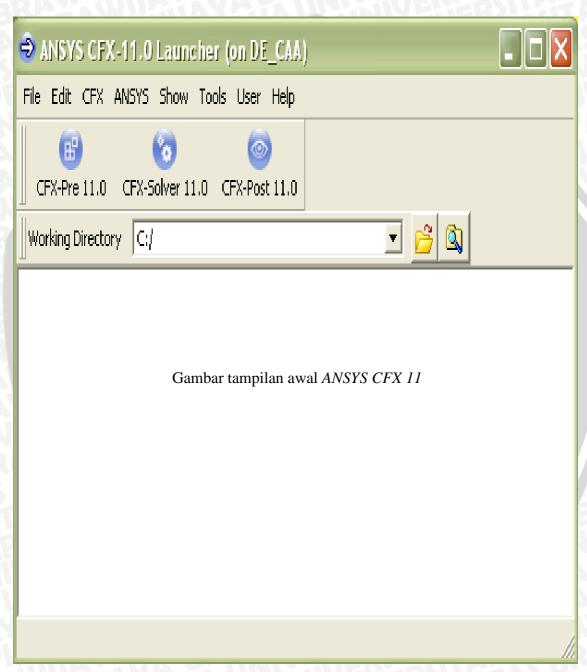


Gambar distribusi kecepatan

# Lampiran B

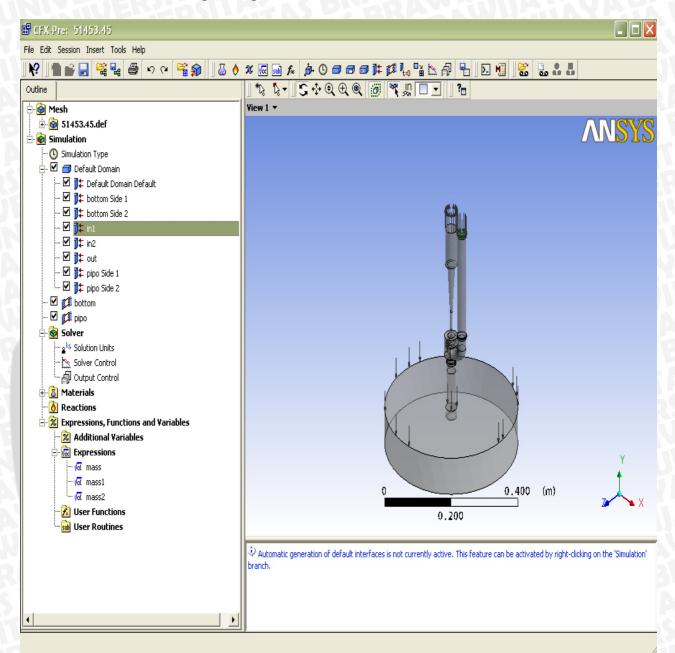
## Form pilihan perintah pada program ANSYS CFX 11.0

Membuka program ANSYS 11.0
 Akan muncul tampilan seperti gambar dibawah. Kemudian klik CFX-Pre 11.0
 untuk masuk pada Pre Processing.





Setelah itu akan muncul tampilan seperti dibawah.



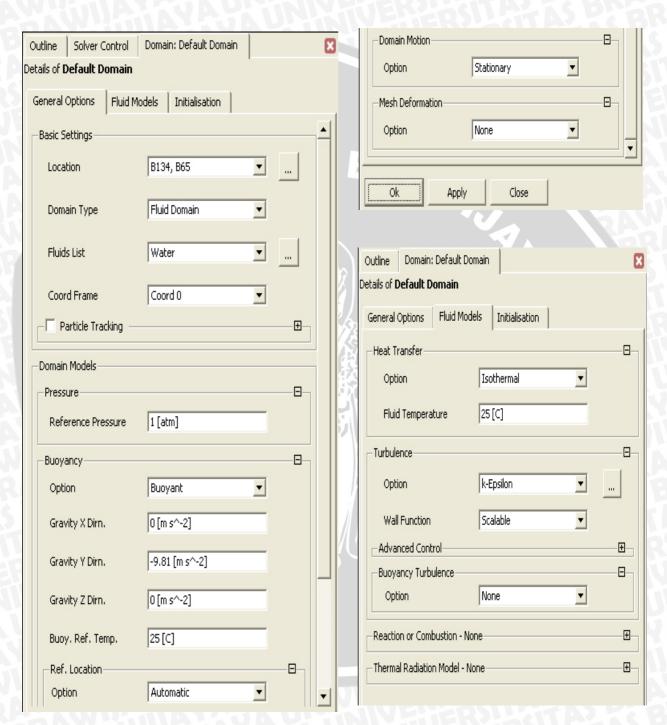
Gambar pre processing

2. Menentukan tipe simulasi yang digunakan. Klik pada ikon Tipe simulasi yang digunakan adalah *steady state*.



3. Menentukan kondisi sistem yang akan disimulasikan.

Klik ikon kemudian tentukan pilihan kondisi sesuai dengan yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar tampilan untuk menentukan kondisi sistem

Menentukan kondisi batas. 4.

> Klik 1 ikon

Kondisi batas yang digunakan dalam simulasi ini adalah :

• Wall



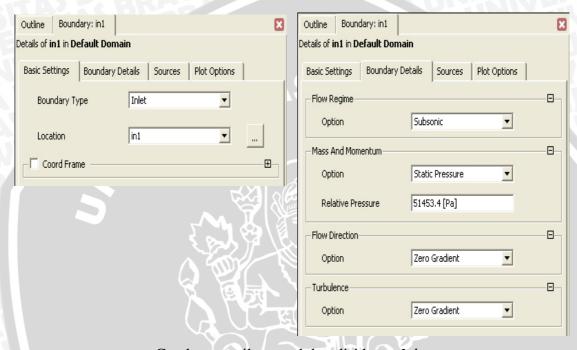
Gambar tampilan untuk kondisi batas Wall



#### Inlet

Untuk inlet ada 2 kondisi batas yang digunakan yaitu:

- a. in1 menggunakan tekanan statik 51453.45 Pa seperti yang terlihat pada gambar dibawah.
- b. in 2 menggunakan tekanan statik yang nilainya sama dengan tekanan hidrostatik yang bekerja pada sisi *secondary eductor* sebesar 3671.4 Pa.



Gambar tampilan untuk kondisi batas Inlet

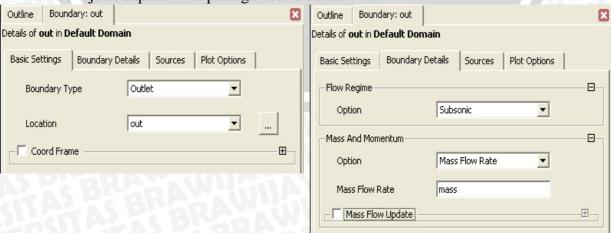
Outlet

Kondisi batas yang digunakan adalah mass flow.

 $Mass\ flow\ outlet = mass\ flow\ in 1 + mass\ flow\ pipe\ secondary.$ 

Untuk menentukan nilai dari mass flow outlet digunakan expressions.

Lebih jelas dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



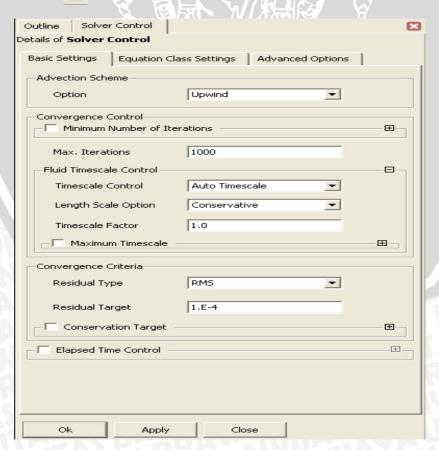
Gambar tampilan untuk kondisi batas Wall



Gambar tampilan expressions

5. Menentukan metode diskretisasi.

Klik ikon kemudian pilih metode upwind dengan maksimum iterasi 1000.



Gambar tampilan untuk menentukan metode deskretisasi

6. Solver program.

> untuk menjalankan solver. Jika proses solver telah konvergen Klik ikon akan ada tampilan seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar tampilan konvergen

Post processing 7.

Untuk melihat hasil simulasi klik "yes" pada gambar di atas.

8. Menampilkan nilai pada koordinat yang diinginkan. akan muncul tampilan seperti dibawah ini. Klik ikon



Gambar tampilan untuk mengetahui nilai