

**PENGARUH VARIASI KONTUR *DIFFUSER* TERHADAP
EFISIENSI *EDUCTOR* PADA POMPA
DENGAN MENGGUNAKAN *FINITE VOLUME METHOD***

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

FERRY AGUS DWI PRIAMBODO

NIM. 0510623029-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2010

**PENGARUH VARIASI KONTUR *DIFFUSER* TERHADAP
EFISIENSI *EDUCTOR* PADA POMPA
DENGAN MENGGUNAKAN *FINITE VOLUME METHOD***

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

FERRY AGUS DWI PRIAMBODO

NIM. 0510623029-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Endi Sutikno, MT.
NIP. 19590411 198710 1 001

Prof. Dr .Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc.
NIP. 19490911 198403 1 001

**PENGARUH VARIASI KONTUR *DIFFUSER* TERHADAP
EFISIENSI *EDUCTOR* PADA POMPA
DENGAN MENGGUNAKAN *FINITE VOLUME METHOD***

Disusun oleh :

FERRY AGUS DWI PRIAMBODO

NIM. 0510623029-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 3 Agustus 2010

DOSEN PENGUJI

Penguji Skripsi I

Penguji Skripsi II

Ir. Saifuddin Baedowie
NIP. 19460703 197009 1 001

Dr.Ir. Pratikto, MMT.
NIP. 19461110 198103 1 001

Penguji Komprehensif

Ir. Tjuk Oerbandono, M. Sc, CSE.
NIP. 19661213 199802 1 001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001

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 Kontur Diffuser Terhadap Efisiensi Eductor Pada Pompa Dengan Menggunakan Finite Volume Method*”

Dalam kesempatan ini, penulis ingin memberikan ucapan terimakasih dan penghargaan kepada :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Anindito Punowidodo, ST. M Eng.,Dr.Eng, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Ir. Endi Sutikno, MT. selaku Dosen Pembimbing I, yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang sangat penting dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ir Rudy Soenoko MEng., Sc., selaku Dosen Pembimbing II, yang telah banyak memberikan bimbingan dan saran yang sangat membantu dalam penyusunan skripsi ini
5. Seluruh Staf Pengajar dan Administrasi Jurusan Teknik Mesin.
6. Terima kasih kepada Ayahku Abdullah Basuki dan Ibuku Sri Mulyaningsih atas doa, pengertian, dukungan serta semangat yang selalu diberikan.
7. Kakakku Fenny dan adikku Lia yang selalu memberikan semangat dan doa.
8. Ratna susilawati yang selalu menemani, memberikan dukungan serta doa.
9. Teman - teman seperjuangan skripsi Figur, Wowor, Ari, Biksu, Boy, Yudha terima kasih atas *sharing* ilmunya.
10. Teman - teman di Laboratorium Fluida, dan Laboratorium Rekayasa.
11. Serta pihak-pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu memperlancar dalam penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, semoga makalah ini bermanfaat dan mampu memberikan inspirasi untuk mengembangkan ide-ide yang brilian, serta kritik dan saran dari pembaca tetap menjadi harapan penulis.

Malang, Juli 2010

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
RINGKASAN	viii
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Penelitian Sebelumnya	3
2.2. Definisi dan Sifat – Sifat Fluida	4
2.3. Klasifikasi Aliran Fluida	4
2.4. Hukum Dasar dan Metode Analisa Aliran Fluida	7
2.4.1 Persamaan Konservasi Massa	7
2.4.2 Persamaan Konservasi Momentum	8
2.5. <i>Eductor</i>	9
2.5.1 Nosel	11
2.5.2 <i>Diffuser</i>	11
2.5.3 <i>Mixing Throat</i>	12
2.5.4 <i>Suction Chamber</i>	12
2.6. Persamaan Umum <i>Eductor</i>	13
2.7. Simulasi	15
2.7.1 Komputasi Dinamika Fluida.....	16
2.7.2 <i>Pre-processor</i>	17
2.7.3 <i>Solver</i>	18
2.7.4 <i>Post-processor</i>	18
2.7.5 Efisiensi <i>Eductor</i>	19
2.8. Hipotesa.....	19

III. METODOLOGI

3.1. Metode Penelitian 20

3.2. Variabel Penelitian 20

 3.2.1. Variabel Bebas 20

 3.2.2. Variabel Terikat 21

 3.2.3. Variabel Terkkontrol 22

3.3. Prosedur Penelitian 22

 3.3.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian 24

3.4. Prosedur Simulasi 25

 3.4.1 *Pre-processing* 25

 3.4.2 *Solver* 27

 3.4.3 *Post-processing* 28

 3.4.4 Diagram Alir Prosedur Simulasi 28

IV. PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Verifikasi Hasil Program 29

4.2. Data Hasil Pengujian 32

4.3. Contoh Perhitungan 35

4.4. Analisa Grafik 36

4.5. Pembahasan 38

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan 41

5.2. Saran 41

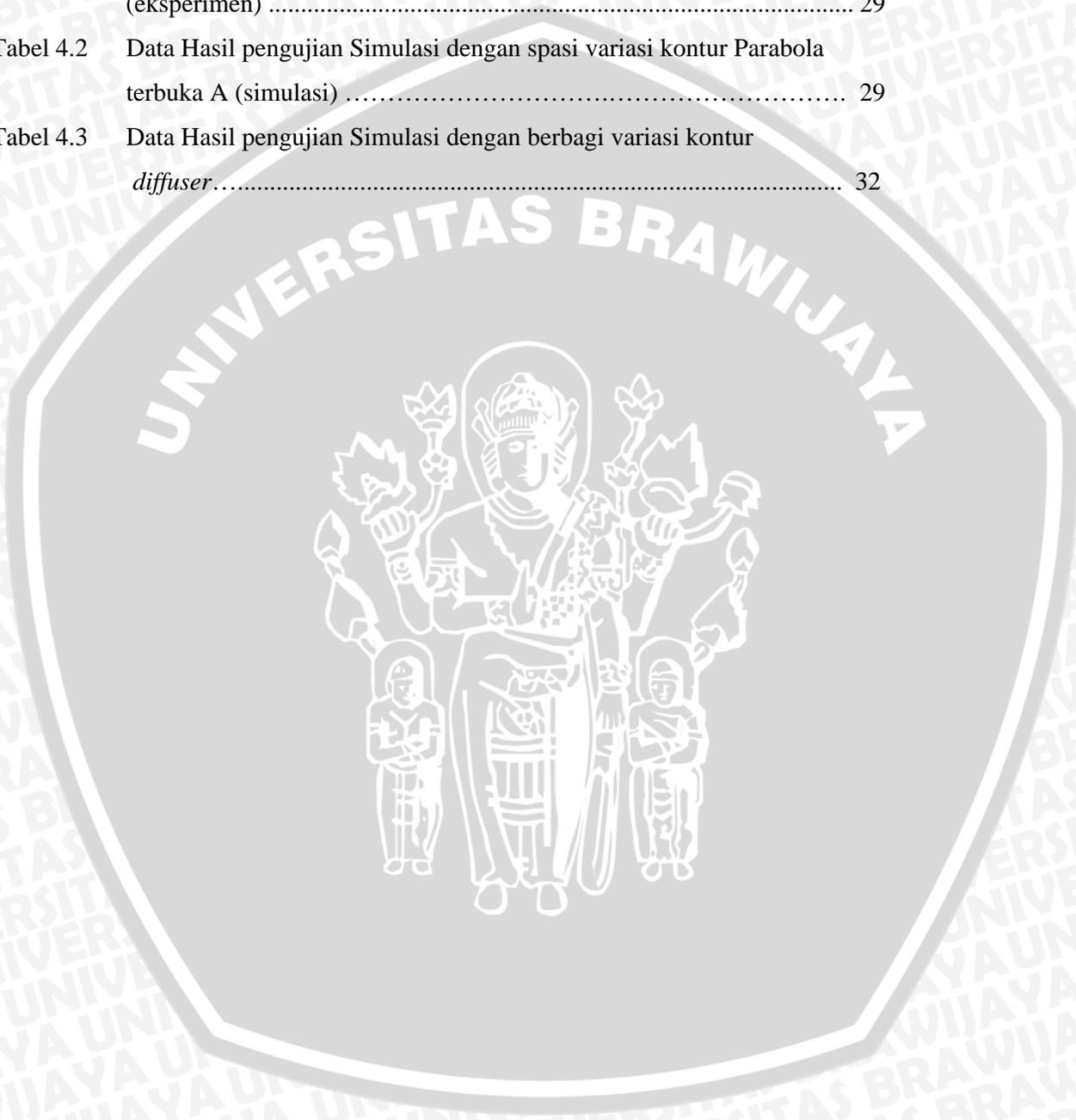
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

NO	JUDUL	HALAMAN
Tabel 4.1	Data Hasil pengujian dengan spasi nosel– <i>mixing throat</i> 16 mm (eksperimen)	29
Tabel 4.2	Data Hasil pengujian Simulasi dengan spasi variasi kontur Parabola terbuka A (simulasi)	29
Tabel 4.3	Data Hasil pengujian Simulasi dengan berbagi variasi kontur <i>diffuser</i>	32



DAFTAR GAMBAR

NO	JUDUL	HALAMAN
Gambar 2.1.	Klasifikasi mekanika fluida kontinum	5
Gambar 2.2.	Profil kecepatan dalam lapisan batas turbulen diatas plat rata	6
Gambar 2.3.	Differensial kontrol volume pada koordinat rectangular	7
Gambar 2.4.	(a) <i>Eductor</i> (b) Instalasi <i>Eductor</i>	10
Gambar 2.5.	Macam Diffuser	11
Gambar 2.6.	Detail <i>eductor</i>	12
Gambar 3.1.	Variasi kontur <i>diffuser</i>	21
Gambar 3.2.	Model <i>eductor</i> yang digunakan untuk proses simulasi	22
Gambar 3.3.	Dimensi model “ <i>suction chamber, mixing throat dan diffuser</i> ” untuk simulasi	23
Gambar 3.4.	Diagram alir penelitian	24
Gambar 3.5.	Domain fisik yang digunakan untuk simulasi	25
Gambar 3.6.	Domain fisik yang telah dilakukan <i>grid generation</i>	26
Gambar 3.7.	Domain fisik yang telah dilakukan diberi <i>Boundary Condition</i>	27
Gambar 3.8.	Diagram alir simulasi	28
Gambar 4.1.	Hubungan tekanan <i>primary flow</i> terhadap efisiensi <i>eductor</i>	30
Gambar 4.2.	Hubungan antara tekanan <i>primary flow</i> terhadap efisiensi <i>eductor</i> dengan variasi kontur <i>diffuser</i>	36

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Data pengujian dan hasil pengolahan pada <i>Stepped Diffuser</i>
Lampiran 2.	Data pengujian dan hasil pengolahan pada Parabola terbuka A Data
Lampiran 3.	pengujian dan hasil pengolahan pada Parabola terbuka B
Lampiran 4.	Data pengujian dan hasil pengolahan pada Parabola terbuka C
Lampiran 5.	Data pengujian dan hasil pengolahan pada Parabola terbuka D
Lampiran 6.	Data hasil Simulasi kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada <i>Stepped Diffuser</i>
Lampiran 7	Data hasil Simulasi kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada Parabola terbuka A
Lampiran 8	Data hasil Simulasi kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada Parabola terbuka B
Lampiran 9	Data hasil Simulasi kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada Parabola terbuka C
Lampiran 10	Data hasil Simulasi kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada Parabola terbuka D
Lampiran 11	Geometri <i>eductor</i> yang digunakan untuk proses simulasi
Lampiran 12	Form pilihan perintah pada program <i>ANSYS CFX 11.0</i>

RINGKASAN

Ferry A D P, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2010, *Pengaruh Variasi Kontur Diffuser Terhadap Efisiensi Eductor Pada Pompa Dengan Menggunakan Finite Volume Method*, Dosen Pembimbing : Ir. Endi Sutikno, MT. dan Prof. Dr. Ir. Rudi Soenoko, M.Eng. Sc.

Salah satu mesin konversi energi yang digunakan untuk memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat lainnya adalah pompa. Pada umumnya penggunaan pompa 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 jetpump*. Pompa ini merupakan kombinasi pompa sentrifugal dan *jetpump (eductor)*, dimana prinsip kerja dari *eductor* adalah memindahkan sebagian debit pompa dari aliran primer yang berkecepatan tinggi ke aliran sekunder yang berkecepatan rendah. Dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi bentuk kontur *diffuser* terhadap efisiensi *eductor* dengan metode simulasi.

Metode yang digunakan adalah metode numerik (simulasi) dengan memvariasikan bentuk kontur *diffuser* yaitu *Stepped diffuser* ($y = 11,75 ; 9,81 ; 7,88 ; 5,97 ; 4$), kontur parabola terbuka A ($y = 11,75 ; 11,19 ; 9,88 ; 7,31 ; 4$), kontur parabola terbuka B ($y = 11,75 ; 12,55 ; 11,88 ; 8,70 ; 4$), kontur parabola terbuka C ($y = 11,75 ; 13,92 ; 13,88 ; 10,08 ; 4$), kontur parabola terbuka D ($y = 11,75 ; 15,28 ; 15,88 ; 11,47 ; 4$).

Dari hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan maka didapatkan bahwa variasi bentuk kontur *diffuser* dapat mempengaruhi efisiensi yang dihasilkan oleh *eductor*. Variasi bentuk kontur *diffuser* parabola terbuka D ($y = 11,75 ; 15,28 ; 15,88 ; 11,47 ; 4$) memiliki nilai efisiensi yang paling tinggi dibandingkan dengan *eductor* dengan variasi kontur *diffuser* yang lain. Besarnya nilai efisiensi tersebut adalah 28,27 %

Kata Kunci : *diffuser*, efisiensi, *eductor*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu mesin konversi energi yang digunakan untuk memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat lainnya adalah pompa. Pada umumnya penggunaan pompa 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. 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 *centrifugal* dan *jet pump (eductor)*, dimana prinsip kerja dari *eductor* adalah memindahkan sebagian debit pompa dari aliran primer yang berkecepatan tinggi ke aliran sekunder yang berkecepatan rendah. Di dalam *eductor* terdapat suatu komponen yang bernama *diffuser* yang sangat berpengaruh pada efisiensi *eductor* tersebut. *Diffuser* merupakan suatu alat yang dapat memperbesar tekanan suatu fluida, dengan cara memperkecil kecepatan fluida tersebut.

Permasalahan yang dihadapi adalah nilai efisiensi dari *eductor* yang cukup rendah. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi dari *eductor*, salah satunya adalah faktor geometrisnya,. Agar dapat menghasilkan kerja yang maksimal diperlukan efisiensi *eductor* yang tinggi. Karenanya, faktor geometri yang mempengaruhi efisiensi *eductor* tersebut perlu diteliti lebih lanjut. Pada penelitian ini di fokuskan pada pengaruh variasi kontur *diffuser*.

Penelitian dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu dengan metode eksperimen dan metode numerik atau biasa dikenal dengan istilah *Computational Fluid Dynamic (CFD)*. 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 akurat serta dapat menjangkau pada semua titik yang dikehendaki.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah : bagaimana pengaruh variasi bentuk kontour *diffuser* terhadap efisiensi *eductor* menggunakan metode simulasi?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Simulasi dilakukan dalam tiga dimensi dengan menggunakan ANSYS
2. Fluida yang digunakan adalah fluida *incompressible* (air)
3. Aliran fluida diasumsikan dalam kondisi *steady*.
4. Diameter *inlet* maupun *outlet diffuser* konstan
5. Panjang *diffuser* konstan.
6. Variasi kontur *diffuser* yang digunakan adalah :
 - a) *Stepped* ($y = 11,75 ; 9,81 ; 7,88 ; 5,97 ; 4$)
 - b) Parabola terbuka ($y = 11,75 ; 11,19 ; 9,88 ; 7,31 ; 4$)
 - c) Parabola terbuka ($y = 11,75 ; 12,55 ; 11,88 ; 8,70 ; 4$)
 - d) Parabola terbuka ($y = 11,75 ; 13,92 ; 13,88 ; 10,08 ; 4$)
 - e) Parabola terbuka ($y = 11,75 ; 15,28 ; 15,88 ; 11,47 ; 4$)
7. Tekanan masuk pada saluran primer, yaitu 17118,45 Pa; 31833,45 Pa; 51453,45 Pa

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi bentuk kontur *diffuser* terhadap efisiensi *eductor* dengan metode simulasi.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai dasar penelitian selanjutnya mengenai *eductor*.
2. Meningkatkan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama mengenai *eductor*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Subchan (2005) melakukan penelitian eksperimental mengenai pengaruh variasi bukaan katup dan panjang *mixing throat* terhadap efisiensi *eductor* dengan memvariasikan panjang *mixing throat* 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, *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.

Bahtiar (2008) melakukan penelitian eksperimental mengenai pengaruh spasi nosel – *mixing throat* terhadap efisiensi *jet pump* dengan memvariasikan jarak spasi nosel – *mixing throat* sebesar 13 mm, 14 mm, 15 mm, 16 mm, 17 mm dan 18 mm serta dengan memvariasikan debit air pada *primary flow* sebesar 4 L/menit, 5 L/menit, 6 L/menit, 7 L/menit dan 8 L/menit. Dari hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan maka didapatkan bahwa spasi *nozzle-mixing throat* dapat mempengaruhi efisiensi yang dihasilkan oleh *jet pump*. efisiensi *jet pump* tertinggi diperoleh pada spasi *nozzle-mixing throat* 16 mm (posisi ujung *nozzle* sejajar dengan permukaan sisi masuk *suction chamber*) dan debit *primary flow* 8 L/menit. Pada posisi ujung *nozzle* yang semakin

mendekati *mixing throat* yaitu 15 mm, 14 mm, dan 13 mm mengalami penurunan efisiensi begitu juga posisi ujung *nozzle* yang semakin menjauhi *mixing throat* yaitu 17 mm dan 18 mm. Pada spasi *nozzle-mixing throat* 16 mm mampu menghasilkan efisiensi maksimum karena pada posisi ini nilai *flow ratio* dan *head ratio* mencapai nilai yang optimum jika dibandingkan dengan posisi ujung *nozzle* yang semakin mendekati *mixing throat* dan posisi ujung *nozzle* yang semakin menjauhi *mixing throat*.

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.

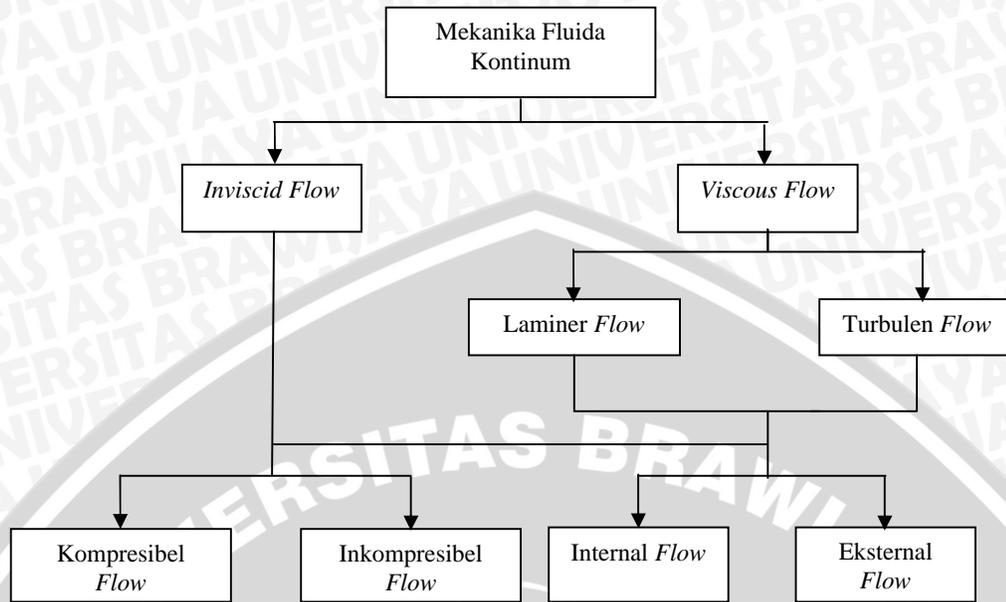
Viskositas adalah ukuran tahanan sebuah fluida terhadap deformasi atau perubahan bentuk. Newton menyatakan bahwa tegangan geser dalam sebuah fluida sebanding dengan laju perubahan kecepatan ruang yang normal terhadap arah aliran. Laju perubahan kecepatan ruang ini disebut gradien kecepatan, yang juga berarti laju deformasi sudut.

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.

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.

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.



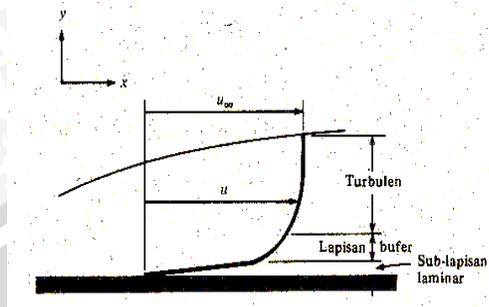
Gambar 2.1 Klasifikasi Mekanika Fluida Kontinum
 Sumber : W Fox, Robert, And T MacDonald, Alan; 1994 : 27

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. 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, 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 : J.P. Holman; 1995: 219

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

$$Re = \frac{\text{Gaya Inersia}}{\text{Gaya Viskos}} = \frac{\vec{V} \cdot d}{\nu} \quad (\text{Holman; 1995: 219}) \quad (2-1)$$

Keterangan :

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

d = Panjang karakteristik (m)

$\nu = \frac{\mu}{\rho} =$ Viskositas kinematik fluida (m^2/s)

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

- Perubahan luas penampang
- Kekasaran pada permukaan
- 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.

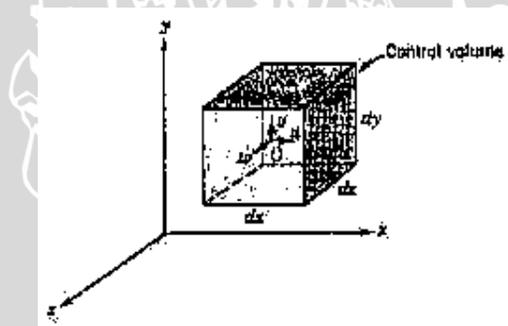
Selain itu, aliran fluida juga dapat digolongkan sebagai aliran *steady* dan *unsteady*; aliran satu, dua atau tiga dimensi serta aliran seragam atau tidak seragam. Aliran disebut *steady* jika kondisi-kondisi dalam medan aliran tidak bervariasi terhadap waktu, dan aliran disebut *unsteady* jika kondisi-kondisi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

2.4 Hukum Dasar dan Metode Analisa Aliran Fluida

2.4.1 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 rektanguler, bentuk *control volume* adalah kubus yang berhingga dengan panjang sisi dx , dy , dz seperti ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Differensial kontrol volume pada koordinat rektanguler
Sumber : W Fox, Robert, And T MacDonald, Alan., 1994 : 182

Massa jenis yang terletak pada pusat (O) dari kontrol volume dinyatakan dengan ρ dan *velocity* dinyatakan dengan persamaan $\vec{V} = \hat{i}u + \hat{j}v + \hat{k}w$.

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 :

$$\left[\begin{array}{l} \text{rata rata flux massa} \\ \text{yang keluar melewati} \\ \text{permukaan kontrol} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{rata rata perubahan massa} \\ \text{di dalam control volume} \end{array} \right] = 0$$

Maka konservasi massa dapat ditulis dengan

$$\nabla \cdot \rho \vec{V} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (\text{Fox; 1994: 184}) \quad (2-2)$$

Keterangan : ∇ (nabla) = operator divergensi

ρ = massa jenis fluida (m^3/kg)

\vec{V} = kecepatan aliran (m/s)

∂ = derivatif parsial

t = waktu (s)

2.4.2 Persamaan Konservasi Momentum

Dalam suatu kontrol volume, persamaan laju momentum dapat dinyatakan dengan menggunakan hukum II Newton yang menyatakan bahwa laju perubahan momentum pada suatu sistem sama dengan jumlah gaya-gaya yang bekerja pada sistem tersebut.

$$\vec{F} = \left(\frac{d\vec{P}}{dt} \right)_{\text{sistem}} \quad (\text{Fox; 1994: 207}) \quad (2-3)$$

Keterangan : \vec{F} = gaya (kg.m/s^2)

P = tekanan (Pa)

t = waktu (s)

Berikut ini adalah persamaan differensial gerak fluida, persamaan gerak ini disebut persamaan Navier-Stokes:

$$\begin{aligned} \rho \frac{Du}{Dt} &= \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{V} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] \\ \rho \frac{Dv}{Dt} &= \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(2 \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{V} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] \\ \rho \frac{Dw}{Dt} &= \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(2 \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{V} \right) \right] \end{aligned} \quad (\text{Fox; 1994: 209}) \quad (2-4)$$

Keterangan : ρ = massa jenis fluida (m^3/kg)

D = derivatif substansif

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

p = tekanan (Pa)

\vec{V} = kecepatan aliran (m/s)

Ada tiga komponen dari vektor kecepatan :

u = komponen dalam arah x

v = komponen dalam arah y

w = komponen dalam arah z

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

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

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \text{ (Fox; 1994: 210) (2-5)}$$

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

Keterangan : ρ = massa jenis fluida (m^3/kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

p = tekanan (Pa)

\vec{V} = kecepatan aliran (m/s)

∂ = derivatif parsial

Ada tiga komponen dari vektor kecepatan :

u = komponen dalam arah x

v = komponen dalam arah y

w = komponen dalam arah z

2.5 Eductor

Eductor adalah suatu alat yang mentransfer momentum dari aliran primer berkecepatan tinggi ke aliran sekunder berkecepatan rendah.

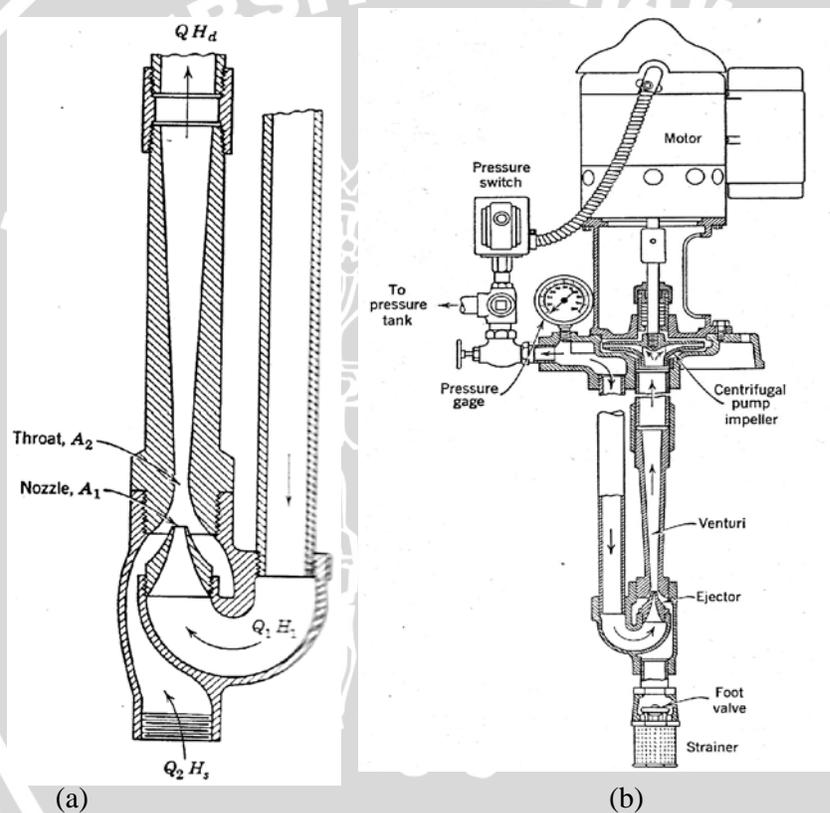
Eductor sendiri terdiri dari empat komponen utama yaitu nosel, *suction chamber*, *mixing throat*, dan *diffuser*.

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. Desain sederhana
3. Dapat ditempatkan di dalam air

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 2.4 : (a) *Eductor* (b) Instalasi *Eductor*
Sumber: Stepanoff, 1984 : 403-404

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)

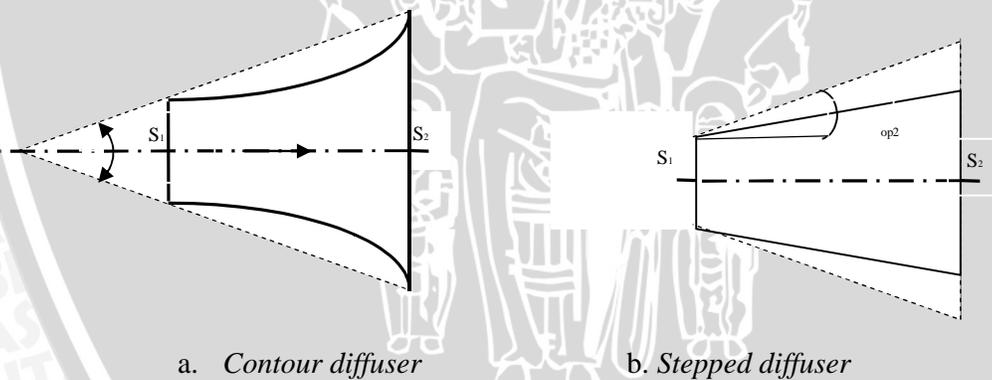
Fluida untuk *eductor* tipe ini adalah liquid untuk *primary flow* dan gas untuk *secondary flow*nya dan bisa juga sebaliknya. Komponen – komponen yang terdapat dalam *eductor* adalah sebagai berikut :

2.5.1. Nosel

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

2.5.2. Diffuser

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



Gambar 2.5 Macam Diffuser

Sumber : Nekrasov, Aeronautical Engineering. Hal 111

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*.

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.

2.5.3. *Mixing throat*

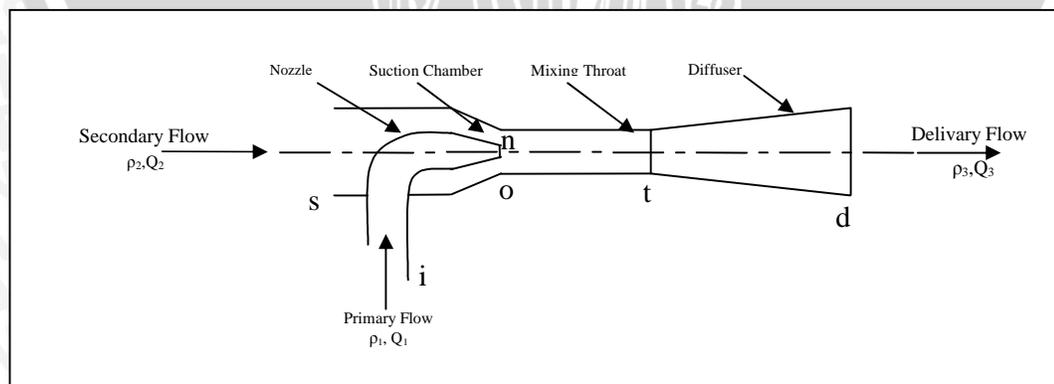
Mixing throat merupakan bagian dari *eductor* yang berfungsi sebagai tempat pencampuran fluida sekunder yang berkecepatan rendah dengan fluida primer yang berkecepatan tinggi. Dengan proses pencampuran ini diharapkan fluida yang tercampur menjadi homogen. Pada *mixing throat* ini terjadi juga proses penstabilan aliran sehingga aliran keluar *mixing throat* diharapkan menjadi stabil 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 menghubungkan Nosel dengan *diffuser*.

2.5.4. *Suction Chamber*

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



Gambar 2.6 Detail *Eductor*

2.6 Persamaan-persamaan yang dipakai

2.6.1 Kestimbangan energi dan massa

a. Persamaan kontinuitas

Persamaan kontinuitas menyatakan kestimbangan massa fluida yang *steady* dalam suatu aliran kecepatan V (m/s) dan luas saluran A (m²), yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$m = \rho \cdot V \cdot A \quad (\text{Fox; 1994: 114}) \quad (2-6)$$

Keterangan : ρ = massa jenis fluida (m³/kg)

V = kecepatan aliran (m/s)

A = luas penampang (m²)

Untuk fluida inkompresibel, harga ρ konstan di sepanjang saluran, sehingga persamaan ini sering dinyatakan dengan kapasitas Q (m³/s)

$$Q = V \cdot A \quad (\text{Fox; 1994: 114}) \quad (2-7)$$

Keterangan : Q = kapasitas (m³/s)

V = kecepatan aliran (m/s)

A = luas penampang (m²)

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 :

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z = 0 \quad (\text{Fox; 1994: 115}) \quad (2-8)$$

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

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

Z = energi elevasi (m)

2.6.2 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} (m²) dengan luas penampang *mixing throat* A_{th} (m²)

$$R = \frac{A_{no}}{A_{th}}, \quad (\text{Stepanoff; 1957: 404}) \quad (2-9)$$

b. Flow Rate Ratio

Flow rate ratio merupakan perbandingan debit aliran pada *primary flow* Q_1 (m³/s) dengan debit pada *secondary flow* Q_2 (m³/s).

$$M = Q_2/Q_1 \quad (\text{Stepanoff; 1957: 404}) \quad (2-10)$$

c. Pressure Ratio

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

$$N = \frac{(P_d - P_s)}{(P_i - P_d)} \quad (\text{Stepanoff; 1957: 404}) \quad (2-11)$$

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 $Q_1(P_i - P_d)$.

$$\eta = \frac{E_{output}}{E_{input}} = \frac{Q_2(P_d - P_s)}{Q_1(P_i - P_d)} \quad (\text{Stepanoff; 1957: 405}) \quad (2-12)$$

Keterangan: Q1: debit pada *primary flow* (m³/s)

Q2: debit pada *secondary flow* (m³/s)

e. Persamaan Parabola

Persamaan parabola yang digunakan adalah :

$$y = f(x) = ax^2 + by^2 + c \quad (\text{Stepanoff; 1957: 410}) \quad (2-13)$$

2.6.3. Losses pada diffuser

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

Kerugian energi dibagi menjadi dua, yaitu :

- *Mayor Losses*

Kerugian energi yang terjadi karena adanya gesekan sepanjang pipa saluran.

Besarnya nilai *major losses* dapat dihitung dengan rumus :

$$h_{\text{mayor}} = \lambda \frac{LV^2}{D \cdot 2g} \quad (\text{Fox; 1994: 332}) \quad (2-14)$$

Keterangan : λ = 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/s²)

- *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

$$h_{\text{minor}} = k \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Fox; 1994: 336}) \quad (2-15)$$

Keterangan : k = koefisien *minor losses*

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

g = percepatan gravitasi (m/s²)

2.7 Simulasi

Simulasi adalah pemodelan dari sebuah sistem nyata dimana sistem tersebut dimodelkan dengan sebuah *software* yang ditulis dalam sebuah bahasa pemrograman. Simulasi yang dilakukan menggunakan *software ANSYS* yang berbasis *finite volume method*. *ANSYS* dapat digunakan untuk menganalisa permasalahan mekanika fluida dan perpindahan panas.

2.7.1 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 mempelajari 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* 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* dapat digunakan untuk menganalisa permasalahan mekanika fluida dan perpindahan panas. Di dalam penggunaan *ANSYS* terdapat tiga tahapan proses, yaitu *pre-processor*, *solver* dan *post-processor*.

2.7.2 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

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 jenis kondisi batas yang digunakan dalam persamaan diferensial jika variabel tergantung pada batas sistem ditentukan.

Dalam kasus persamaan diferensial biasa seperti:

$$\frac{d^2y}{dx^2} + 3y = 1$$

pada interval $[0,1]$ kondisi batas Dirichlet mengambil bentuk :

$$y(0) = \alpha_1$$

$$y(1) = \alpha_2 \text{ (wikipedia.org/wiki/dirichlet boundary condition_)} \text{ (2-16)}$$

Keterangan : d = derivatif parsial

x,y = koordinat *cartesius*

- *The Neuman Boundary Condition* adalah jenis kondisi batas yang digunakan dalam persamaan diferensial jika gradien normal dari variabel tergantung pada batas sistem.

Dalam persamaan diferensial misalnya seperti:

$$\frac{d^2y}{dx^2} + 3y = 1$$

pada interval $[0,1]$ kondisi batas Neumann mengambil bentuk :

$$\frac{dy}{dx}(0) = \alpha_1$$

$$\frac{dy}{dx}(1) = \alpha_2 \text{ (wikipedia.org/wiki/neuman boundary condition)} \text{ (2-17)}$$

Keterangan : d = derivatif parsial

x,y = koordinat *cartesius*

- *The Robin Boundary Condition* adalah jenis kondisi batas apabila kondisi batas yang ditentukan adalah kondisi laminar dari tipe *Dirichlet* dan *Neuman*.

Kondisi batas Robin adalah:

$$au + b \frac{\partial u}{\partial n} = g \quad \text{on } \partial \Omega$$

(wikipedia.org/wiki/the robin boundary condition) (2-18)

Keterangan : ∂ = derivatif parsial

a, b = konstanta

- *The Mixed Boundary Condition* merupakan gabungan dari tipe *Dirichlet* dan *Neuman*, adalah jenis kondisi batas yang digunakan pada suatu persamaan diferensial biasa atau persamaan diferensial parsial dengan menggunakan kondisi batas dari *Neuman dan Dirichlet*

Sebagai contoh dalam persamaan diferensial parsial kita dapat menggunakan kondisi batas *Dirichlet* pada Γ_1 dan kondisi batas *Neumann* pada Γ_2 :

$$\begin{aligned} u|_{\Gamma_1} &= u_0 \\ \frac{\partial u}{\partial n}|_{\Gamma_2} &= g \end{aligned} \quad (\text{wikipedia.org/wiki/the mixed boundary condition}) \quad (2-19)$$

Keterangan : ∂ = derivatif parsial

Γ = gamma

2.7.3 Solver

Secara metode numerik yang berbentuk dasar solver adalah sebagai berikut :

1 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 Integrasikan persamaan atur dalam kontrol volume.
- 2 Diskretisasi persamaan atur yang telah diintegrasikan menjadi persamaan aljabar.

Dalam persamaan atur terdapat suku konveksi dan difusi. Suku konveksi merupakan suku yang berbentuk turunan

2.7.4 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

2.7.5 Efisiensi Eductor

Efisiensi adalah perbandingan antara kerja yang dihasilkan dengan energi yang dikorbankan. Sedangkan efisiensi *eductor* merupakan perbandingan antara daya yang dikeluarkan yang digunakan untuk memompakan aliran sekunder yaitu $Q_2(P_d - P_s)$ dengan daya yang disuplai memompa aliran primer yaitu $Q_1(P_i - P_d)$.

$$\eta = \frac{E_{output}}{E_{input}} = \frac{Q_2(P_d - P_s)}{Q_1(P_i - P_d)} \quad (\text{Stepanoff; 1957: 405}) \quad (2-20)$$

Keterangan: Q1: debit pada *primary flow* (m³/s)
 Q2: debit pada *secondary flow* (m³/s)

Besarnya efisiensi sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai tekanan (P₃) yang mengalir pada *eductor*. Dimana nilai dari tekanan (P₃) sangat dipengaruhi oleh *losses* yang terjadi pada *educator*

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + Z_3 + H_{losses} \quad (\text{Fox; 1994: 115}) \quad (2-21)$$

$$\frac{P_3}{\gamma} = \frac{V_1^2 - V_3^2}{2g} - H_{losses} + \frac{P_1}{\gamma}$$

Sedangkan *losses* pada *eductor* dipengaruhi oleh kontur pada *diffuser*.

$$dh_f = \lambda t \frac{dl}{2r} + \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Nekrasov: 108}) \quad (2-22)$$

$$dl = \frac{dr}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

Kontur yang digunakan adalah parabola

$$f(x) = ax^2 + by^2 + c \quad (\text{Stepanoff; 1957: 410}) \quad (2-23)$$

$$\frac{dx^2}{dy^2} = \frac{2ax}{2by} = \frac{ax}{by} \longrightarrow \frac{dl}{dr} = \frac{al}{br}$$

Sehingga : $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{dr}{dl}$

Jadi adanya perubahan jari jari (r) yang membentuk sudut pada *diffuser* akan mempengaruhi efisiensi pada *educator*.

2.8 Hipotesa

Variasi kontur *diffuser* akan menyebabkan kecepatan pada aliran fluida berubah, hal ini akan mengakibatkan adanya perubahan tekanan yang berakibat meningkatnya *looses* pada *diffuser* sehingga akan mempengaruhi efisiensi pada *eductor*.

BAB III METODOLOGI

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penulisan ini adalah :

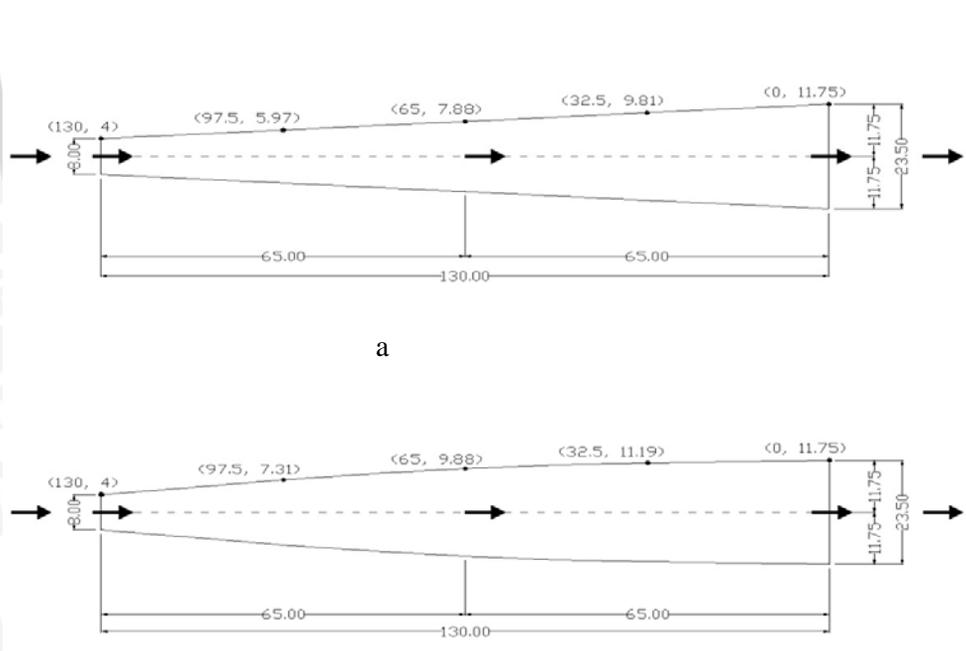
1. Metode studi literatur yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas dalam penulisan ini.
2. Metode komputasi untuk melakukan simulasi aliran fluida melalui *eductor* dengan variasi kontur *diffuser* dengan menggunakan *ANSYS CFX*.

3.2 Variabel Penelitian

3.2.1 Variabel Bebas (*independent variabel*)

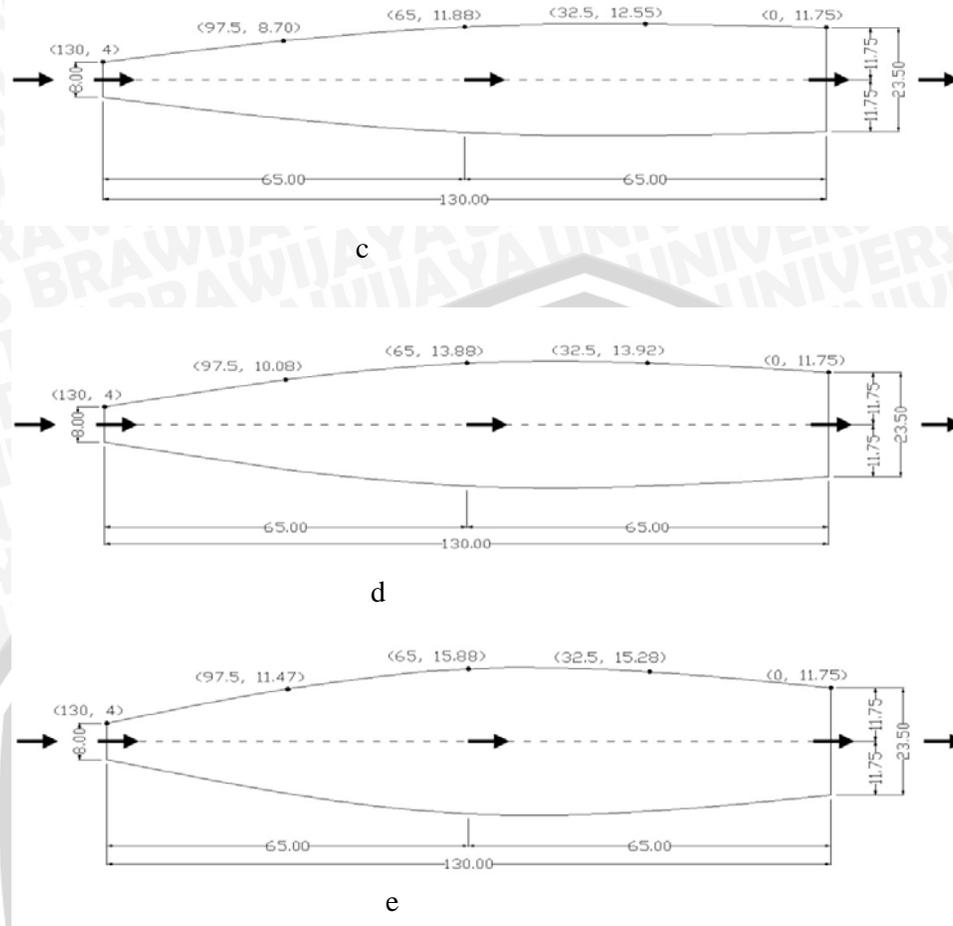
Merupakan variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan besarnya tidak dipengaruhi oleh variabel lainnya. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah :

1. Bentuk kontur *diffuser* yang digunakan pada *eductor*. Adapun bentuk *diffuser* yang digunakan adalah sebagai berikut :
Persamaan parabola yang digunakan adalah : $y = f(x) = ax^2 + by^2 + c$



a

b



Gambar 3.1. Variasi kontur *diffuser* (satuan dalam millimeter)

- a) *Stepped* ($y = 11,75 ; 9,81 ; 7,88 ; 5,97 ; 4$)
- b) Parabola terbuka A ($y = 11,75 ; 11,19 ; 9,88 ; 7,31 ; 4$)
- c) Parabola terbuka B ($y = 11,75 ; 12,55 ; 11,88 ; 8,70 ; 4$)
- d) Parabola terbuka C ($y = 11,75 ; 13,92 ; 13,88 ; 10,08 ; 4$)
- e) Parabola terbuka D ($y = 11,75 ; 15,28 ; 15,88 ; 11,47 ; 4$)

3.2.2 Variabel Terikat (*dependent variabel*)

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*.

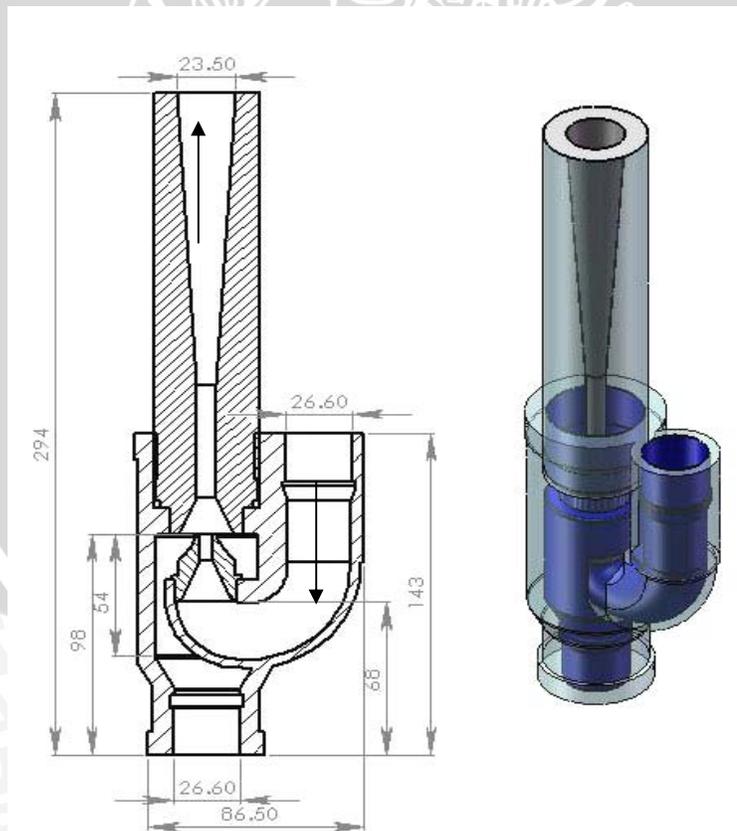
3.2.3 Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya tetap pada saat penelitian dilakukan. Variabel terkontrol yang digunakan adalah:

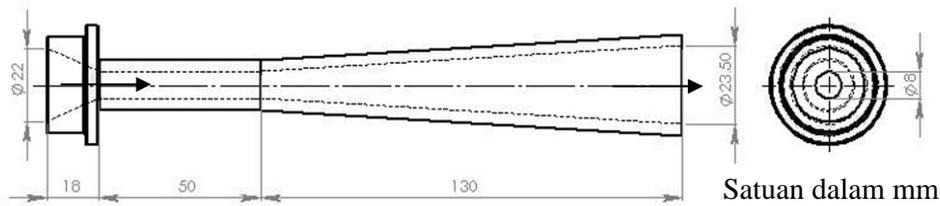
- Dimensi *eductor* kecuali bentuk kontur *diffuser* yang digunakan.
- Fluida yang digunakan adalah fluida *incompressible* (air) dengan temperatur 25°C
- Tekanan masuk pada saluran primer, yaitu 17118,45 Pa; 31833,45 Pa; 51453,45 Pa.
- Kedalaman pemasangan *eductor* 400 mm
- Diameter *inlet* maupun *outlet diffuser* konstan
- Aliran fluida diasumsikan dalam kondisi *steady*.
- Panjang *diffuser* konstan.

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



Gambar 3.3 Dimensi model “*suction chamber, mixing throat dan diffuser*” untuk simulasi

Ukuran *eductor* yang digunakan untuk proses simulasi dipilih sama besar dengan ukuran *eductor* yang digunakan pada penelitian sebelumnya.

Untuk menganalisis propertis aliran fluida pada *eductor* dengan variasi kontur *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 Spasi Nosel – *Mixing Throat* terhadap Efisiensi *Jet Pump* (Bahtiar, 2008) , *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 data hasil eksperimen. Jika hasil simulasi memiliki kecenderungan yang hampir sama maka proses simulasi bisa dianggap sudah benar.

4. Simulasi variasi kontur *diffuser* .

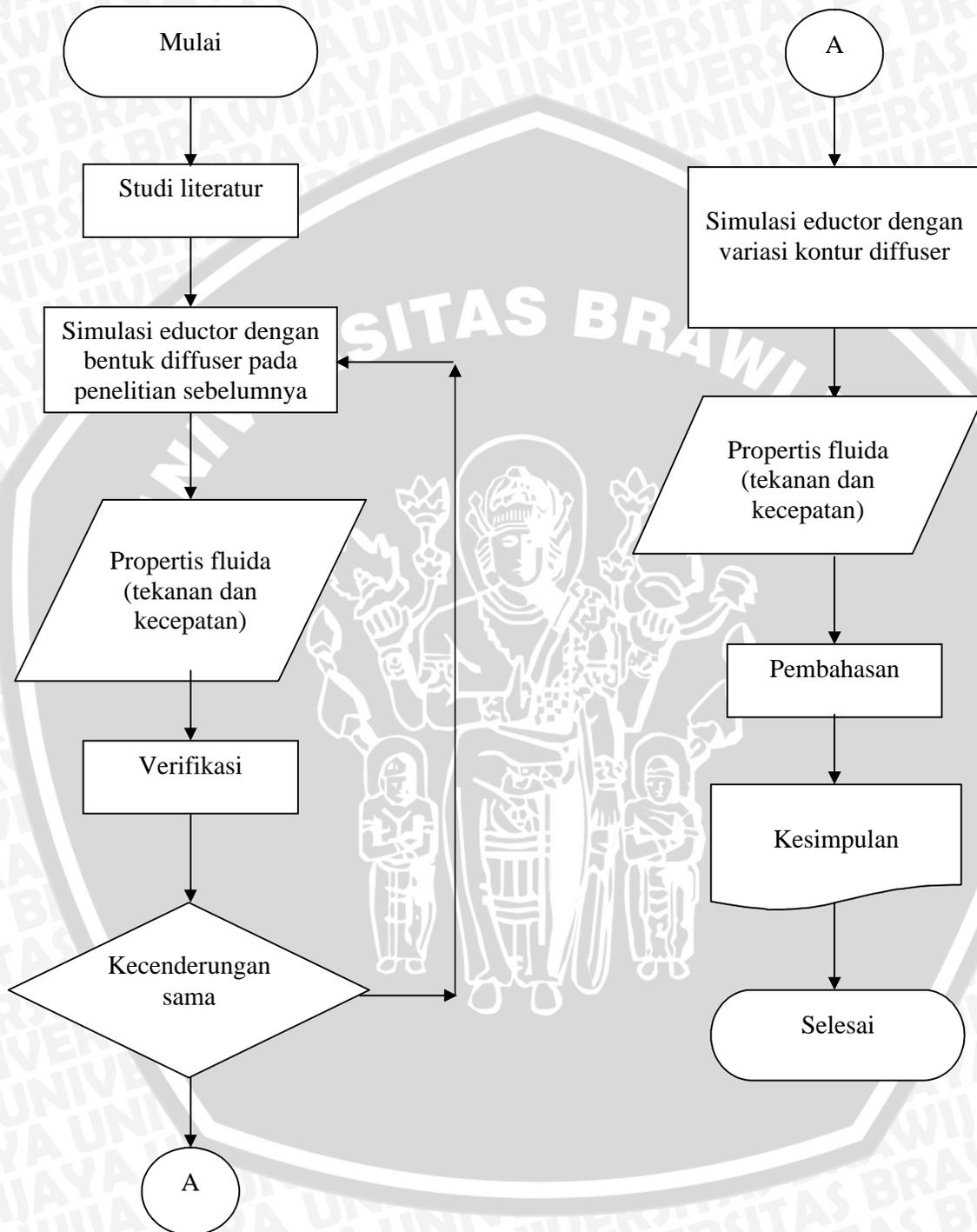
Setelah proses verifikasi selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan simulasi *eductor* dengan variasi kontur *diffuser* . Dari proses simulasi ini, maka dapat dihasilkan propertis aliran fluida (tekanan dan kecepatan) disepanjang *eductor*.

5. Pembahasan

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

6. Kesimpulan

3.3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4. Diagram alir penelitian

3.4. Prosedur Simulasi

Proses simulasi dengan menggunakan program *ANSYS CFX* 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 WORKBENCH* dan didefinisikan sebagai domain fisik dari objek yang akan disimulasikan. Adapun domain fisik yang digunakan sebagai simulasi adalah sebagai berikut :

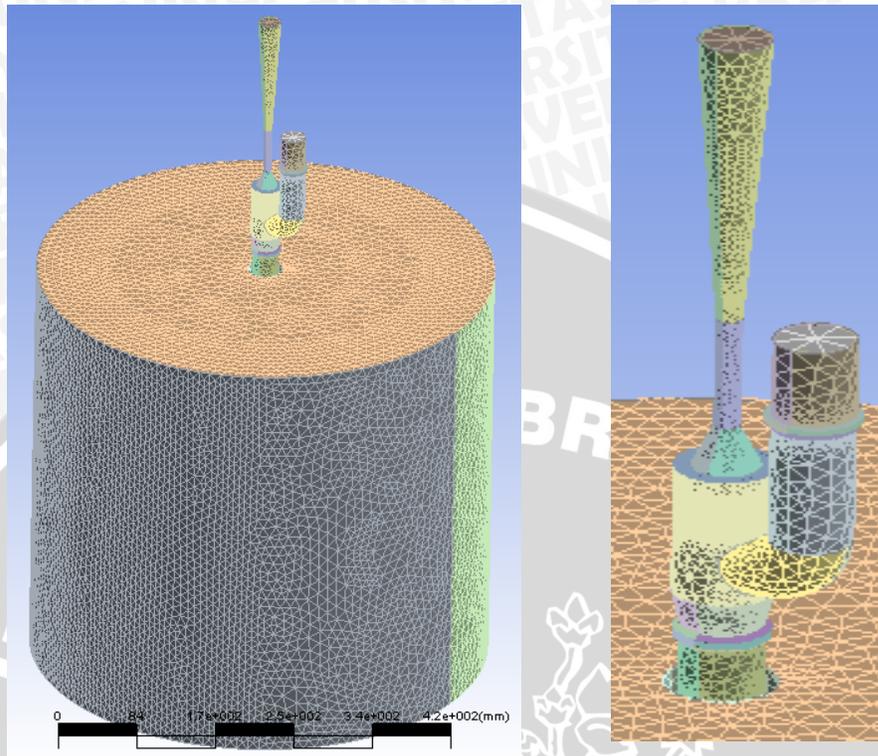


Gambar 3.5. Domain fisik yang digunakan untuk simulasi

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 CFX*

Bentuk domain yang telah dilakukan *grid generation* adalah sebagai berikut :



Gambar 3.6. Domain fisik yang telah dilakukan *grid generation*.

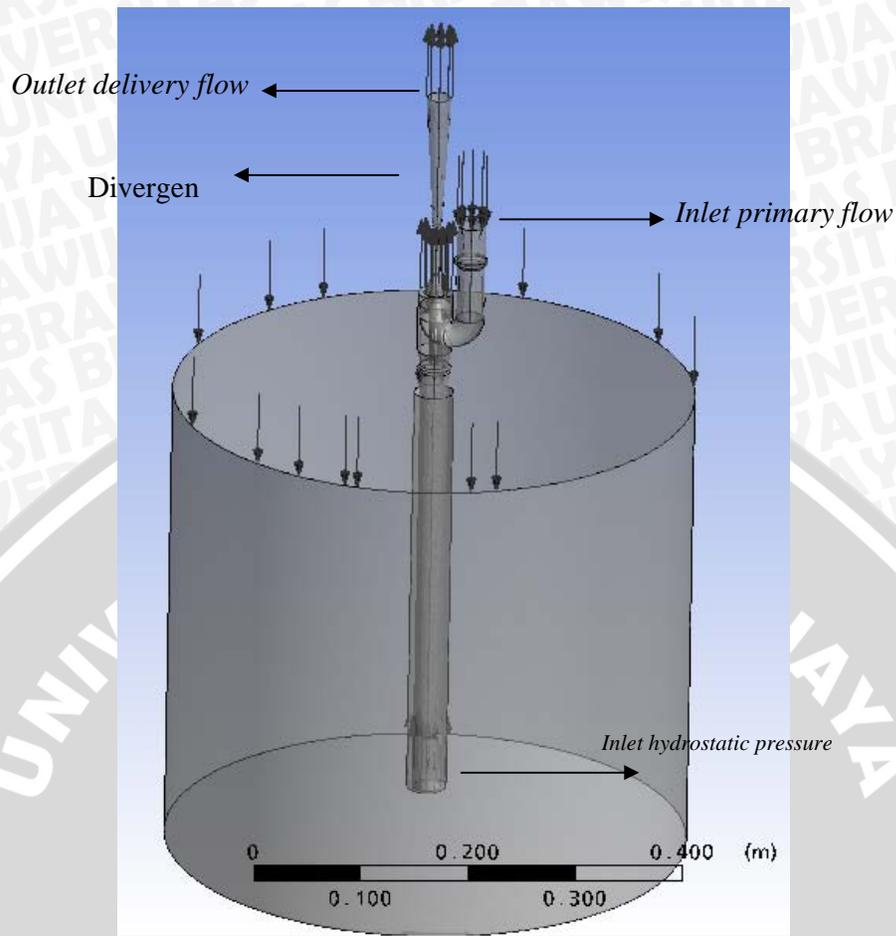
3. Menentukan persamaan atur.

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*. . Kondisi batas terdiri dari :

- Bagian sisi masuk *primary flow* diidentifikasi sebagai kondisi batas inlet.
- Bagian permukaan domain reservoir air diidentifikasi sebagai kondisi batas inlet dimana pada kondisi ini ditentukan tekanan yang bekerja pada permukaan air sebesar tekanan hidrostatisnya.
- Bagian tepi dan bawah dari domain simulasi diidentifikasi sebagai *wall*, dimana kecepatan aliran fluida pada dinding *eductor* adalah nol.
- Bagian sisi keluar *eductor* diidentifikasi sebagai *outlet*, dimana kondisi batas yang digunakan berupa persamaan $massflow\ out = primary\ massflow + secondary\ massflow$



Gambar 3.7. Domain fisik yang telah dilakukan diberi *Boundary Condition*.

5. Menentukan metode diskretisasi

Metode diskretisasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *upwind differencing scheme*.

3.4.2. Solver

1. Mendiskretisasi persamaan atur.

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

2. Menyelesaikan persamaan aljabar.

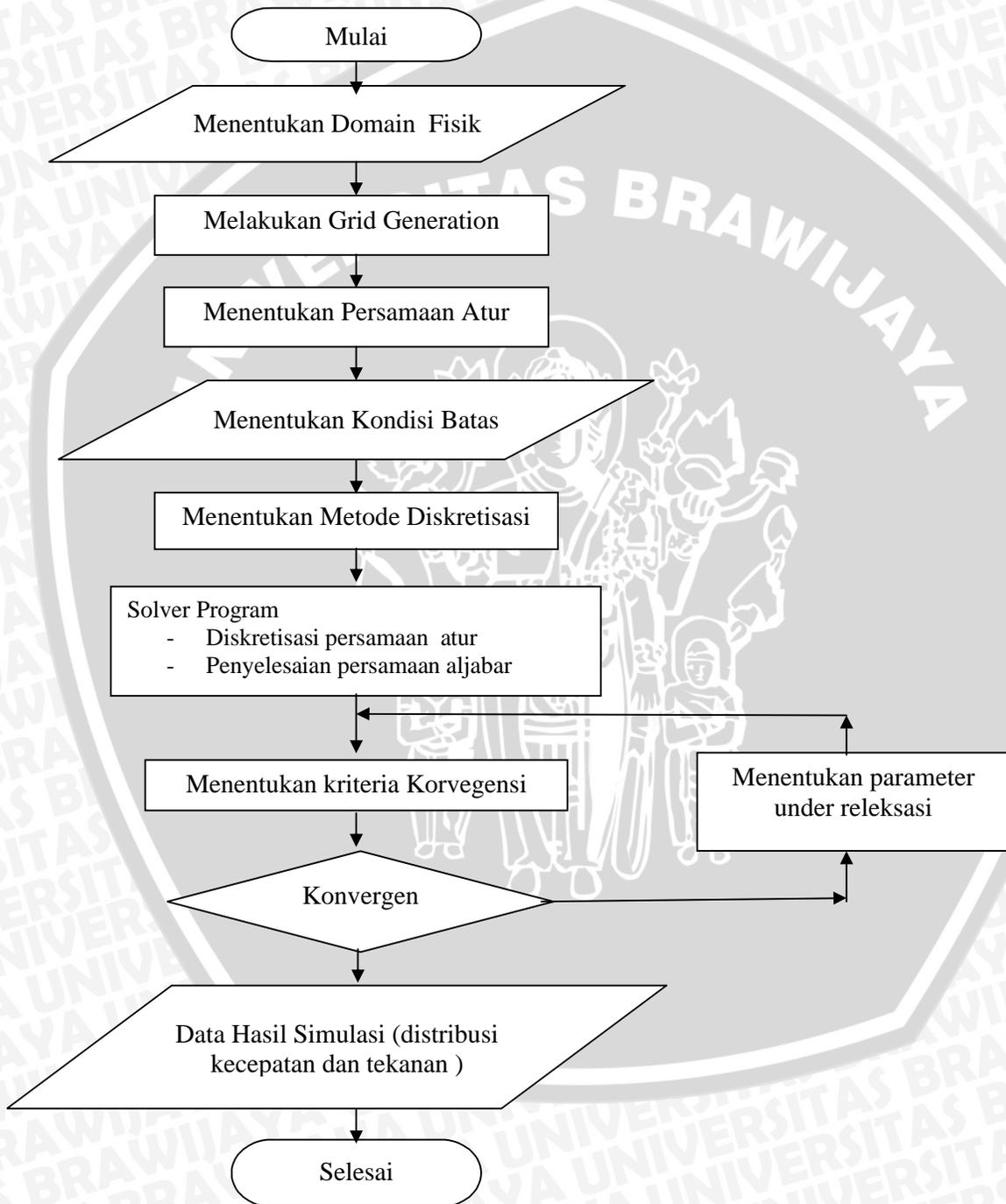
Penyelesaian persamaan aljabar dilakukan dengan menggunakan metode iterasi. Pada penyelesaian persamaan aljabar, dilakukan penentuan kriteria konvergensi. Suatu penyelesaian persamaan aljabar dapat dikatakan mencapai kondisi konvergen adalah ketika hasil dari iterasi ke n , $n+1$, $n+2$, ... memiliki kecenderungan yang sama.

3.4.3. Post Processing

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

3.4.4. Diagram Alir Simulasi

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



Gambar 3.8. Diagram alir simulasi

BAB IV

PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Verifikasi Hasil Program

Pada penelitian sebelumnya (Bahtiar; 2008) telah dilakukan eksperimen “Pengaruh Spasi Nosel – *Mixing Throat* terhadap Efisiensi *Jet Pump*”. Adapun variasi yang digunakan adalah spasi 13 mm, 14 mm, 15 mm, 16 mm, 17 mm dan 18 mm dan variasi debit air pada *primary flow* sebesar 4 L/menit, 5 L/menit, 6 L/menit, 7 L/menit dan 8 L/menit. Dari variasi tersebut yang digunakan sebagai data verifikasi adalah spasi 16mm. Adapun data yang dihasilkan dari eksperimen tersebut adalah sebagaimana terlihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data Hasil pengujian dengan spasi nosel–*mixing throat* 16 mm (eksperimen)

Pi (Pa)	Ps (Pa)	Pd (Pa)	Q1 (m3/s)	Q2 (m3/s)	Efisiensi (%)
17118,45	3644,07	6094,16	0,000104	6,16E-05	13,19
31833,45	3655,53	9868,5	0,000154	9,00E-05	16,58
51453,45	3676,97	15099,8	0,000201	0,000118	18,65

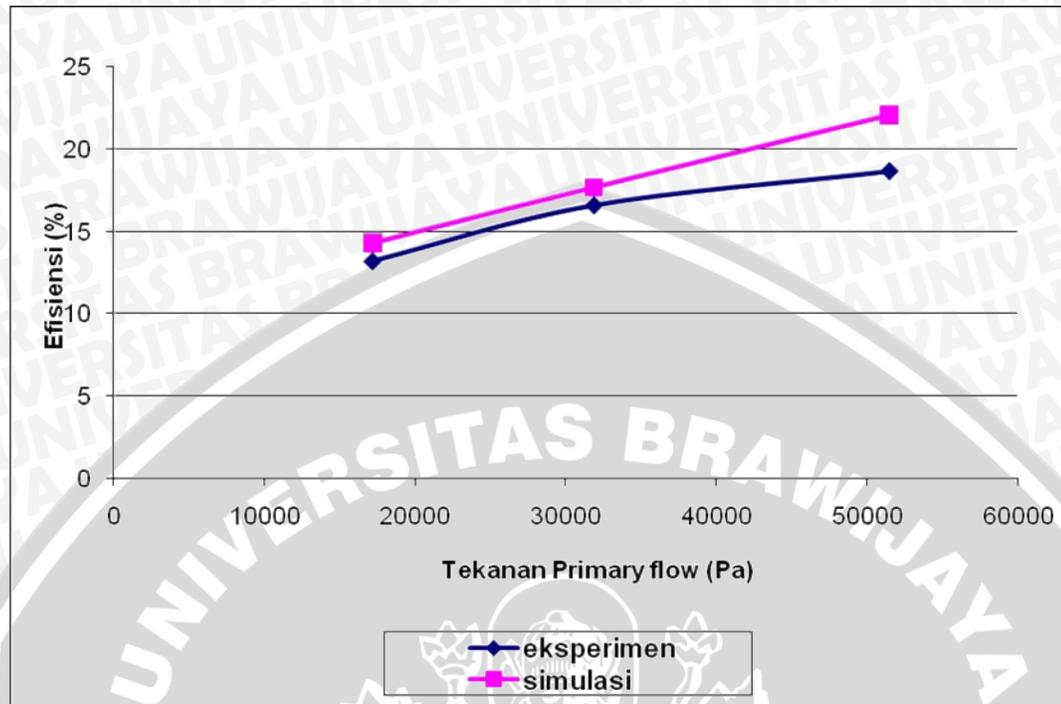
Dari variasi data yang digunakan pada metode eksperimen di atas maka dilakukan metode numerik untuk mensimulasikan properties aliran fluida pada *eductor*

Dari hasil simulasi maka didapatkan data propertis aliran fluida pada *eductor* adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2. Data Hasil pengujian Simulasi dengan spasi variasi kontur Parabola terbuka A ($y = 11,75 ; 11,19 ; 9,88 ; 7,31 ; 4$)

Pi (Pa)	Ps (Pa)	Pd (Pa)	Q1 (m3/s)	Q2 (m3/s)	Efisiensi (%)
17118,5	3687,48	11236,6	0,00051	5,88E-05	14,77
31833,5	3743,01	20141,2	0,00055	6,96E-05	17,77
51453,5	3753,43	31186,5	0,0006	9,92E-05	22,51

Grafik 4.1. Hubungan tekanan *primary flow* terhadap efisiensi *eductor*



Gambar 4.1. Hubungan tekanan *primary flow* terhadap efisiensi *eductor*

Dari 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 penyelesaian persamaan diferensial menjadi persamaan aljabar dilakukan dengan menggunakan deret *taylor*, dimana dalam penyelesaian ini orde yang lebih tinggi pada deret *taylor* diabaikan karena memiliki nilai yang sangat kecil. Pemotongan orde yang lebih tinggi dari suatu penyelesaian dengan 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 menyebabkan volume keseluruhan dari domain yang akan disimulasi tidak terbagi secara sempurna. Ketidaktersempurnaan ini bisa diperkecil dengan memperkecil ukuran kontrol volume. 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 Pengujian

Tabel 4.3. Data Hasil pengujian Simulasi dengan berbagi variasi kontur *diffuser*\

Stepped ($y = 11,75 ; 9,81 ; 7,88 ; 5,97 ; 4$)

Pi (Pa)	Ps (Pa)	Pd (Pa)	Vi (m/s)	Vs (m/s)	Vd (m/s)	Q ₁ (m ³ /s)	Q ₂ (m ³ /s)
17118,5	3685,02	11212,5	0,40	0,38	0,52	0,000501	5,60E-05
31833,5	3707,38	20073,9	0,58	0,55	0,77	0,000547	6,94E-05
51453,5	3753,39	31020,5	0,76	0,72	1	0,000593	9,77E-05

Q ₃ (m ³ /s)	Q ₂ /Q ₁	Pd-Ps	Pi-Pd	(Pd-Ps)/(Pi-Pd)	efisiensi (%)	Head
5,57E-04	0,11	7527,48	5905,95	1,27	14,26	0,76
6,17E-04	0,12	16366,52	11759,6	1,39	17,65	1,67
6,90E-04	0,16	27317,11	20433	1,33	22,05	2,79

Parabola terbuka A ($y = 11,75 ; 11,19 ; 9,88 ; 7,31 ; 4$)

Pi (Pa)	Ps (Pa)	Pd (Pa)	Vi (m/s)	Vs (m/s)	Vd (m/s)	Q ₁ (m ³ /s)	Q ₂ (m ³ /s)
17118,5	3687,48	11236,6	0,40	0,37	0,52	0,000511	5,88E-05
31833,5	3743,01	20141,2	0,58	0,56	0,77	0,000549	6,96E-05
51453,5	3703,43	31186,5	0,76	0,72	1,00	0,000598	9,92E-05

Q_3 (m ³ /s)	Q_2/Q_1	Pd-Ps	Pi-Pd	(Pd-Ps)/(Pi-Pd)	efisiensi (%)	Head
5,70E-04	0,11	7549,12	5881,85	1,28	14,77	0,77
6,19E-04	0,12	16398,19	11692,3	1,40	17,77	1,67
6,97E-04	0,16	27483,07	20267	1,35	22,51	2,80

Parabola terbuka B (y = 11,75 ; 12,55 ; 11,88 ; 8,70 ; 4)

Pi (Pa)	Ps (Pa)	Pd (Pa)	Vi (m/s)	Vs (m/s)	Vd (m/s)	Q_1 (m ³ /s)	Q_2 (m ³ /s)
17118,5	3697,65	11280,4	0,40	0,37	0,52	0,000524	6,01E-05
31833,5	3751,49	20201,8	0,59	0,56	0,77	0,000548	7,33E-05
51453,5	3768,88	31553,8	0,77	0,72	1	0,000599	0,0001

Q_3 (m ³ /s)	Q_2/Q_1	Pd-Ps	Pi-Pd	(Pd-Ps)/(Pi-Pd)	efisiensi (%)	Head
5,84E-04	0,000164	7582,75	5838,05	1,29	14,90	0,77
6,21E-04	0,000237	16450,31	11631,7	1,41	18,91	1,68
7,02E-04	0,0003	27784,92	19899,7	1,39	24,07	2,84



Parabola terbuka C (y = 11,75 ; 13,92 ; 13,88 ; 10,08 ; 4)

Pi (Pa)	Ps (Pa)	Pd (Pa)	Vi (m/s)	Vs (m/s)	Vd (m/s)	Q ₁ (m ³ /s)	Q ₂ (m ³ /s)
17118,5	3713,9	11415,7	0,41	0,38	0,53	0,000537	6,26E-05
31833,5	3794,8	20253,7	0,59	0,56	0,77	0,000543	8,00E-05
51453,5	3713,5	31630,6	0,77	0,72	1	0,000601	0,00012

Q ₃ (m ³ /s)	Q ₂ /Q ₁	Pd-Ps	Pi-Pd	(Pd-Ps)/(Pi-Pd)	efisiensi (%)	Head
5,99E-04	0,11	7701,8	5702,75	1,35	15,75	0,78
6,23E-04	0,14	16458,9	11579,8	1,42	20,94	1,68
7,19E-04	0,19	27917,1	19822,9	1,40	27,72	2,85

Parabola terbuka D (y = 11,75 ; 15,28 ; 15,88 ; 11,47 ; 4)

Pi (Pa)	Ps (Pa)	Pd (Pa)	Vi (m/s)	Vs (m/s)	Vd (m/s)	Q ₁ (m ³ /s)	Q ₂ (m ³ /s)
17118,5	3738,07	11969,1	0,41	0,38	0,53	0,000544	6,64E-05
31833,5	3797,72	20713,6	0,59	0,57	0,77	000054	8,25E-05
51453,5	3797,88	31910,1	0,77	0,73	1	0,000601	0,00012

Q ₃ (m ³ /s)	Q ₂ /Q ₁	Pd-Ps	Pi-Pd	(Pd-Ps)/(Pi-Pd)	efisiensi (%)	Head
6,10E-04	0,12	8231,03	5149,35	1,59	19,5	0,84
6,22E-04	0,15	16915,88	11119,9	1,52	23,23	1,72
7,21E-04	0,2	28112,22	19543,4	1,43	28,27	2,87

4.3. Contoh Perhitungan

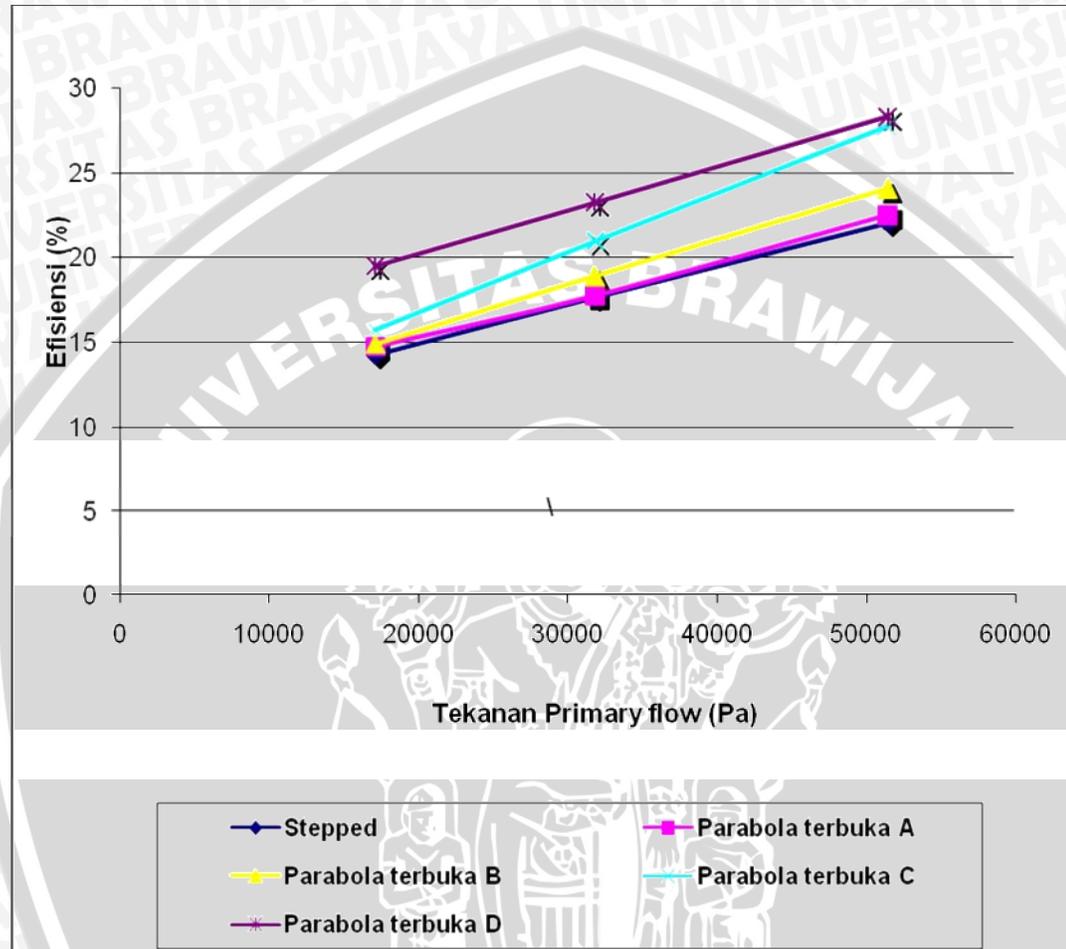
Contoh perhitungan diambil dari data tekanan *primary flow* 51453,45 Pa pada kontur parabola terbuka D (y = 117,5 ; 15,28 ; 15,88 ; 11,47 ; 4)

➤ Perhitungan efisiensi dan head *eductor* :

- Tekanan *Primary*, P_i = 51453,45 Pa
- Tekanan *Secondary*, P_s = 3797,88 Pa
- Tekanan *Delivery*, P_d = 31910,1 Pa
- Kecepatan *Primary*, v_i = 0,77 m/s
- Kecepatan *Secondary*, v_s = 0,73 m/s
- Kecepatan *Delivery*, v_d = 1 m/s
- Debit pada *primary flow*, Q_1 = 0,000601 m³/s
- Debit pada *secondary flow*, Q_2 = 0,00012 m³/s
- Debit pada *delivery flow*, Q_d = 0,000721 m³/s
- *Pressure Ratio*, N = $\frac{(P_d - P_s)}{(P_i - P_d)}$
= 1,43
- *Flow Rate Ratio*, M = $\frac{Q_2}{Q_1}$
= 0,2
- Efisiensi *eductor*, % = $(M \times N) \times 100\%$
= $\frac{Q_2}{Q_1} \times \frac{(P_d - P_s)}{(P_i - P_d)} \times 100\%$
= (0,2 x 1,43) x 100%
= 28.27 %
- *Head eductor*, h = $\frac{P_d - P_s}{\rho \cdot g}$
= 2.87 m

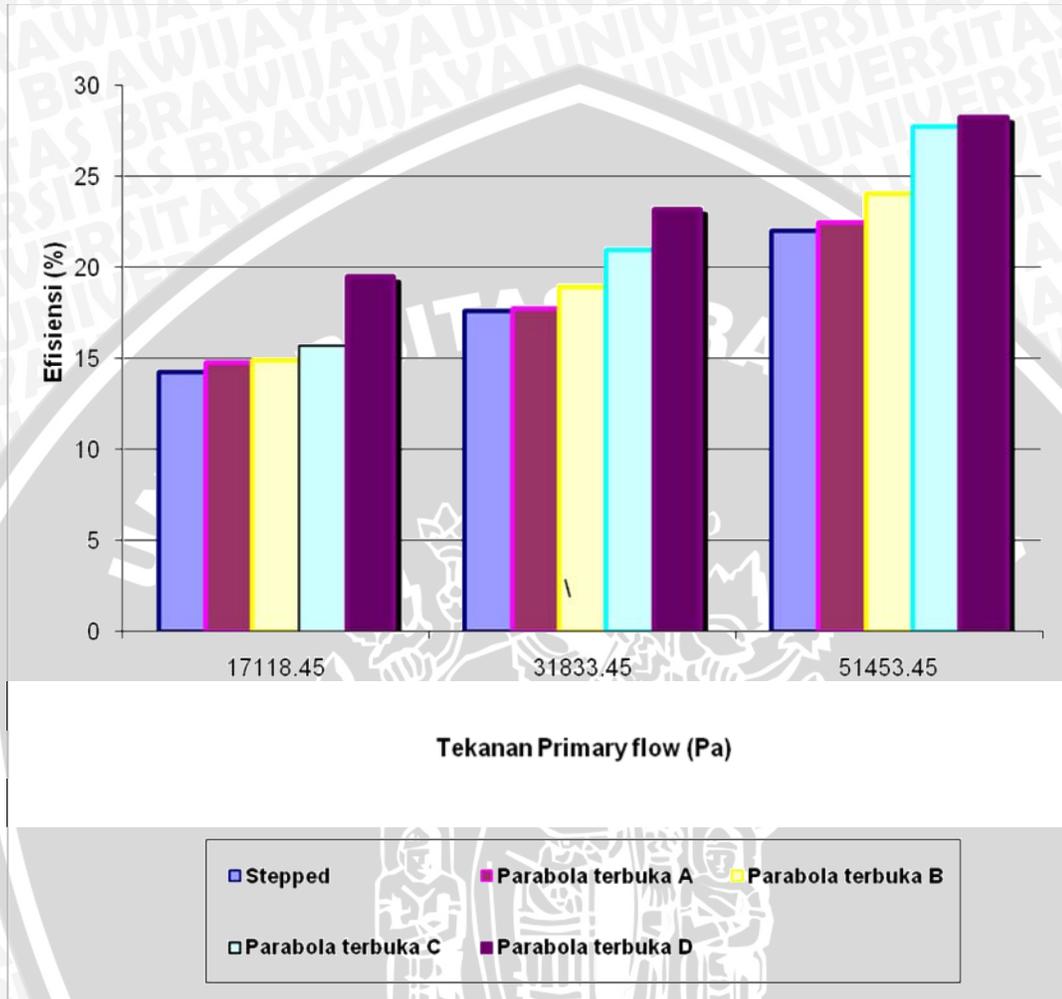
4.4. Analisa Grafik

Grafik 4.2 Menunjukkan hubungan antara tekanan *primary flow* terhadap efisiensi *eductor* dengan variasi kontur *diffuser*



Gambar 4.2 Hubungan antara tekanan *primary flow* terhadap efisiensi *eductor* dengan variasi kontur *diffuser*.

Grafik 4.3 Menunjukkan hubungan antara tekanan *primary flow* terhadap efisiensi *eductor* dengan variasi kontur *diffuser*



Gambar 4.3 Hubungan antara tekanan *primary flow* terhadap efisiensi *eductor* dengan variasi kontur *diffuser*.

4.5. Pembahasan Grafik

4.5.1 Pembahasan Grafik Pengaruh tekanan *primary flow* terhadap efisiensi *eductor* dengan variasi kontur *diffuser*.

Grafik 4.2 di atas menjelaskan hubungan antara tekanan *primary flow* terhadap efisiensi *eductor*, dimana efisiensi *eductor* akan meningkat seiring dengan bertambahnya debit pada *primary flow*. Adapun urutan besarnya tekanan *primary flow* dari yang paling rendah adalah variasi kontur *Stepped diffuser*, Parabola terbuka A, Parabola terbuka B, Parabola terbuka C, parabola terbuka D.

Pada tekanan *primary flow* yang sama yaitu sebesar 51453,45 Pa dihasilkan efisiensi *eductor* tertinggi sebesar 28,27 % pada *diffuser* dengan variasi kontur parabola terbuka D. Hal ini dikarenakan pada *diffuser* dengan variasi kontur parabola terbuka D semakin besar nilai tekanan pada *primary flow* maka debit air (Q_1) yang mengalir pada *primary flow* juga semakin besar. Semakin besar debit air yang mengalir maka semakin banyak pasokan air yang mengalir pada *eductor*, kecepatan (V_1) pada *primary flow* juga akan ikut meningkat seiring dengan bertambahnya debit air.

Peningkatan tekanan (P_1) yang terjadi pada *primary flow* menyebabkan tekanan pada *suction chamber* juga semakin meningkat. Dengan semakin meningkatnya tekanan pada *suction chamber* maka beda tekanan antara *suction chamber* dengan air pada *reservoir* semakin besar. Dengan semakin besarnya beda tekanan yang terjadi maka kecepatan air (V_2) yang terhisap menuju *suction chamber* juga akan semakin meningkat. Sesuai dengan rumusan debit fluida yang dinyatakan dengan $Q = V \cdot A$, maka dengan luasan *secondary flow* yang tetap (26,60 mm), dengan semakin besarnya kecepatan air yang mengalir pada *secondary flow* maka debit air yang mengalir juga akan semakin meningkat.

$$\text{Sesuai dengan rumusan } \textit{flowrate ratio} = \frac{Q_2}{Q_1},$$

maka dengan semakin besarnya debit (Q_2) pada *secondary flow* maka *flowrate ratio* juga akan semakin meningkat. *Flow rate ratio* merupakan perbandingan debit pada *primary flow* Q_1 (m^3/s) dengan debit pada *secondary flow* Q_2 (m^3/s).

Debit pada *delivery flow* merupakan penjumlahan dari debit *primary flow* (Q_1) dan debit *secondary flow* (Q_2), sehingga dengan semakin meningkatnya debit pada *secondary flow* (Q_2), maka debit pada *delivery flow* juga semakin meningkat. Peningkatan debit pada *delivery flow* juga akan menyebabkan tekanan (P_3) pada *delivery flow* akan semakin meningkat pula, karena dengan semakin meningkatnya debit maka energi yang dihasilkan pada *delivery flow* juga akan semakin meningkat yang selanjutnya akan diikuti dengan meningkatnya energi tekanan pada *delivery flow*.

Pada *diffuser* dengan variasi kontur parabola terbuka D memiliki tekanan *delivery flow* (P_3) paling tinggi bila dibandingkan dengan variasi kontur parabola terbuka yang lain yaitu sebesar 31710,1 Pa (*Stepped diffuser* sebesar 31020,5 Pa, Parabola terbuka A sebesar 31186,5 Pa, Parabola terbuka B sebesar 31553,8 Pa, Parabola terbuka C sebesar 31630,6 Pa).

Semakin meningkatnya nilai tekanan pada *delivery flow* menyebabkan beda tekanan antara *delivery flow* dengan *secondary flow* akan semakin besar. Sehingga jika dihubungkan dengan rumusan *pressure ratio* :

$$= \frac{(P_d - P_s)}{(P_i - P_d)},$$

maka semakin besarnya nilai tekanan pada *delivery flow* dengan tekanan *primary flow* yang tetap akan menyebabkan nilai *pressure ratio* semakin meningkat. *Pressure Ratio* merupakan perbandingan tekanan yang dihasilkan *eductor* dengan tekanan yang disuplai untuk menghisap fluida pada *secondary flow*.

Berdasarkan rumus efisiensi *eductor* :

$$\eta = \frac{Q_2(P_d - P_s)}{Q_1(P_i - P_d)}$$

maka dengan semakin meningkatnya nilai *flowrate ratio* dan *pressure ratio* maka efisiensi *eductor* akan semakin meningkat.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa data didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

Perubahan efisiensi *eductor* yang dihasilkan melalui metode eksperimen dan metode numerik memiliki kecenderungan yang hampir sama. *Eductor* dengan variasi kontur *diffuser* parabola terbuka D ($y = 11,75 ; 15,28 ; 15,88 ; 11,47 ; 4$) memiliki nilai efisiensi yang paling tinggi dibandingkan dengan *eductor* dengan variasi kontur *diffuser* yang lain. Besarnya nilai efisiensi tersebut adalah 28,27 %

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya dengan variasi radius inlet dan outlet dari salah satu variasi kontur *diffuser* yang digunakan pada penelitian ini.
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™, Texas.

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

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

www.en.wikipedia.org/wiki/diffuser

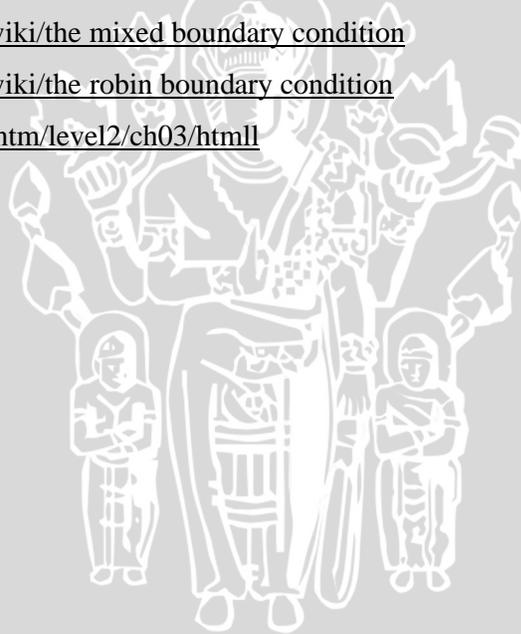
[www.en.wikipedia.org/wiki/dirichlet boundary condition](http://www.en.wikipedia.org/wiki/dirichlet%20boundary%20condition)

[www.en.wikipedia.org/wiki/neumann boundary condition](http://www.en.wikipedia.org/wiki/neumann%20boundary%20condition)

[www.en.wikipedia.org/wiki/the mixed boundary condition](http://www.en.wikipedia.org/wiki/the%20mixed%20boundary%20condition)

[www.en.wikipedia.org/wiki/the robin boundary condition](http://www.en.wikipedia.org/wiki/the%20robin%20boundary%20condition)

www.mrl.columbia.edu/ntm/level2/ch03/html



Lampiran 1

Tabel hasil perhitungan data

Stepped (y = 11,75 ; 9.81 ; 7,88 ; 5,97 ; 4)

Pi (Pa)	Ps (Pa)	Pd (Pa)	Vi (m/s)	Vs (m/s)	Vd (m/s)	Q ₁ (m ³ /s)	Q ₂ (m ³ /s)
17118,5	3685,02	11212,5	0,40	0,38	0,52	0,000501	5,60E-05
31833,5	3707,38	20073,9	0,58	0,55	0,77	0,000547	6,94E-05
51453,5	3753,39	31020,5	0,76	0,72	1	0,000593	9,77E-05

Q ₃ (m ³ /s)	Q ₂ /Q ₁	Pd-Ps	Pi-Pd	(Pd-Ps)/(Pi-Pd)	efisiensi (%)	Head
5,57E-04	0,11	7527,48	5905,95	1,27	14,26	0,76
6,17E-04	0,12	16366,52	11759,6	1,39	17,65	1,67
6,90E-04	0,16	27317,11	20433	1,33	22,05	2,79

Lampiran 2

Tabel hasil perhitungan data

Parabola terbuka A (y = 11,75 ; 11,19 ; 9.88 ; 7,31 ; 4)

Pi (Pa)	Ps (Pa)	Pd (Pa)	Vi (m/s)	Vs (m/s)	Vd (m/s)	Q₁ (m³/s)	Q₂ (m³/s)
17118,5	3687,48	11236,6	0,40	0,37	0,52	0,000511	5,88E-05
31833,5	3743,01	20141,2	0,58	0,56	0,77	0,000549	6,96E-05
51453,5	3703,43	31186,5	0,76	0,72	1,00	0,000598	9,92E-05

Q₃ (m³/s)	Q₂/Q₁	Pd-Ps	Pi-Pd	(Pd-Ps)/(Pi-Pd)	efisiensi (%)	Head
5,70E-04	0,11	7549,12	5881,85	1,28	14,77	0,77
6,19E-04	0,12	16398,19	11692,3	1,40	17,77	1,67
6,97E-04	0,16	27483,07	20267	1,35	22,51	2,80

Lampiran 3

Tabel hasil perhitungan data

Parabola terbuka B (y = 11,75 ; 12,55 ; 11,88 ; 8,70 ; 4)

Pi (Pa)	Ps (Pa)	Pd (Pa)	Vi (m/s)	Vs (m/s)	Vd (m/s)	Q₁ (m³/s)	Q₂ (m³/s)
17118,5	3697,65	11280,4	0,40	0,37	0,52	0,000524	6,01E-05
31833,5	3751,49	20201,8	0,59	0,56	0,77	0,000548	7,33E-05
51453,5	3768,88	31553,8	0,77	0,72	1	0,000599	0,0001

Q₃ (m³/s)	Q₂/Q₁	Pd-Ps	Pi-Pd	(Pd-Ps)/(Pi-Pd)	efisiensi (%)	Head
5,84E-04	0,000164	7582,75	5838,05	1,29	14,90	0,77
6,21E-04	0,000237	16450,31	11631,7	1,41	18,91	1,68
7,02E-04	0,0003	27784,92	19899,7	1,39	24,07	2,84

Lampiran 4

Tabel hasil perhitungan data

Parabola terbuka C ($y = 11.75 ; 13.92 ; 13.88 ; 10.08 ; 4$)

Pi (Pa)	Ps (Pa)	Pd (Pa)	Vi (m/s)	Vs (m/s)	Vd (m/s)	Q ₁ (m ³ /s)	Q ₂ (m ³ /s)
17118,5	3713,9	11415,7	0,41	0,38	0,53	0,000537	6,26E-05
31833,5	3794,8	20253,7	0,59	0,56	0,77	0,000543	8,00E-05
51453,5	3713,5	31630,6	0,77	0,72	1	0,000601	0,00012

Q ₃ (m ³ /s)	Q ₂ /Q ₁	Pd-Ps	Pi-Pd	(Pd-Ps)/(Pi-Pd)	efisiensi (%)	Head
5,99E-04	0,11	7701,8	5702,75	1,35	15,75	0,78
6,23E-04	0,14	16458,9	11579,8	1,42	20,94	1,68
7,19E-04	0,19	27917,1	19822,9	1,40	27,72	2,85

Lampiran 5

Tabel hasil perhitungan data

Parabola terbuka D (y = 11,75 ; 15,28 ; 15,88 ; 11,47 ; 4)

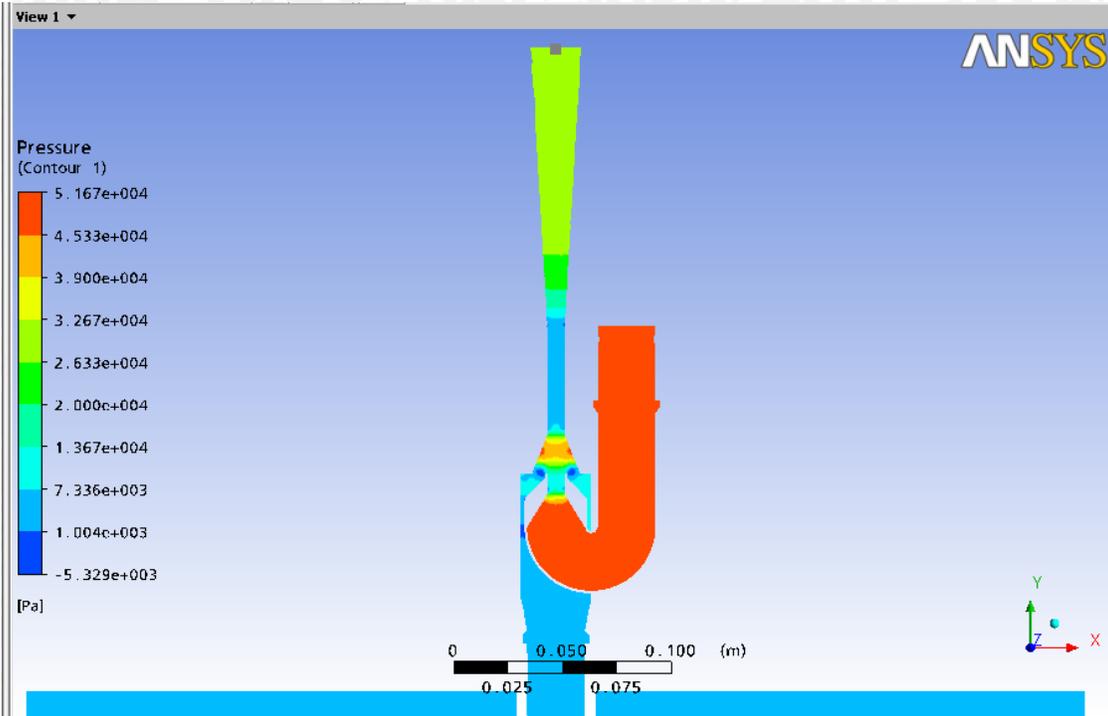
Pi (Pa)	Ps (Pa)	Pd (Pa)	Vi (m/s)	Vs (m/s)	Vd (m/s)	Q ₁ (m ³ /s)	Q ₂ (m ³ /s)
17118,5	3738,07	11969,1	0,41	0,38	0,53	0,000544	6,64E-05
31833,5	3797,72	20713,6	0,59	0,57	0,77	000054	8,25E-05
51453,5	3797,88	31910,1	0,77	0,73	1	0,000601	0,00012

Q ₃ (m ³ /s)	Q ₂ /Q ₁	Pd-Ps	Pi-Pd	(Pd-Ps)/(Pi-Pd)	efisiensi (%)	Head
6,10E-04	0,12	8231,03	5149,35	1,59	19,5	0,84
6,22E-04	0,15	16915,88	11119,9	1,52	23,23	1,72
7,21E-04	0,2	28112,22	19543,4	1,43	28,27	2,87

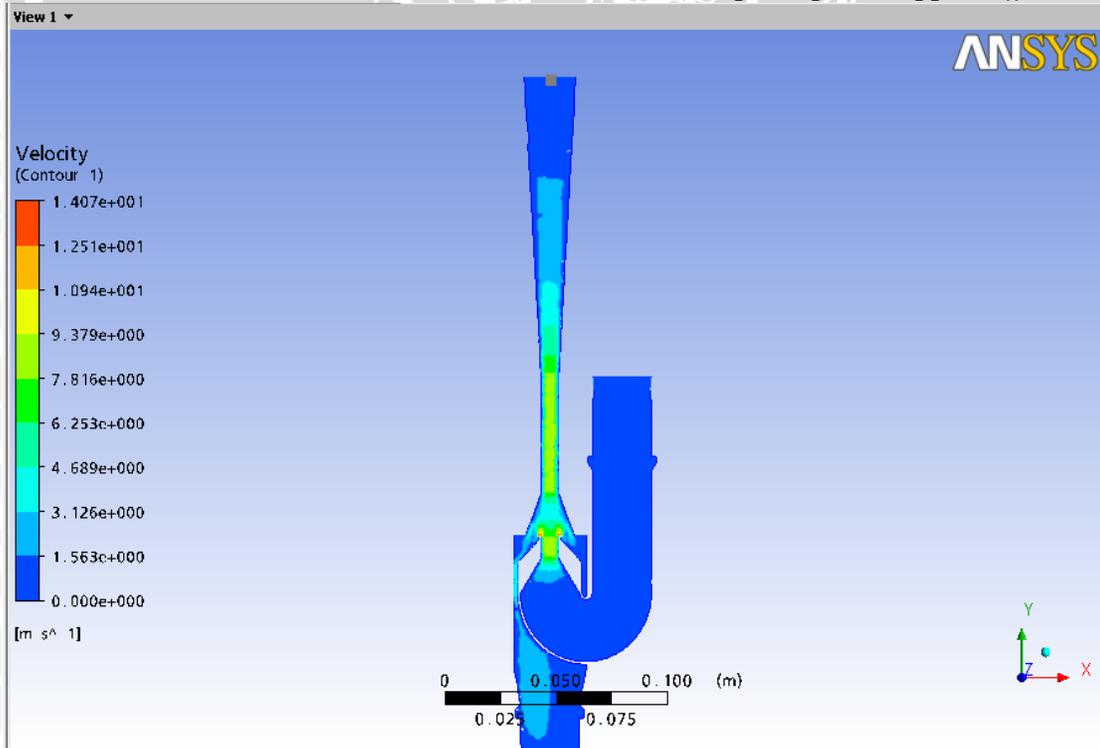
Lampiran 6

Kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada tekanan *primary flow* 51453.45 Pa

1. Stepped



Gambar hasil Simulasi kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada stepped *diffuser*.

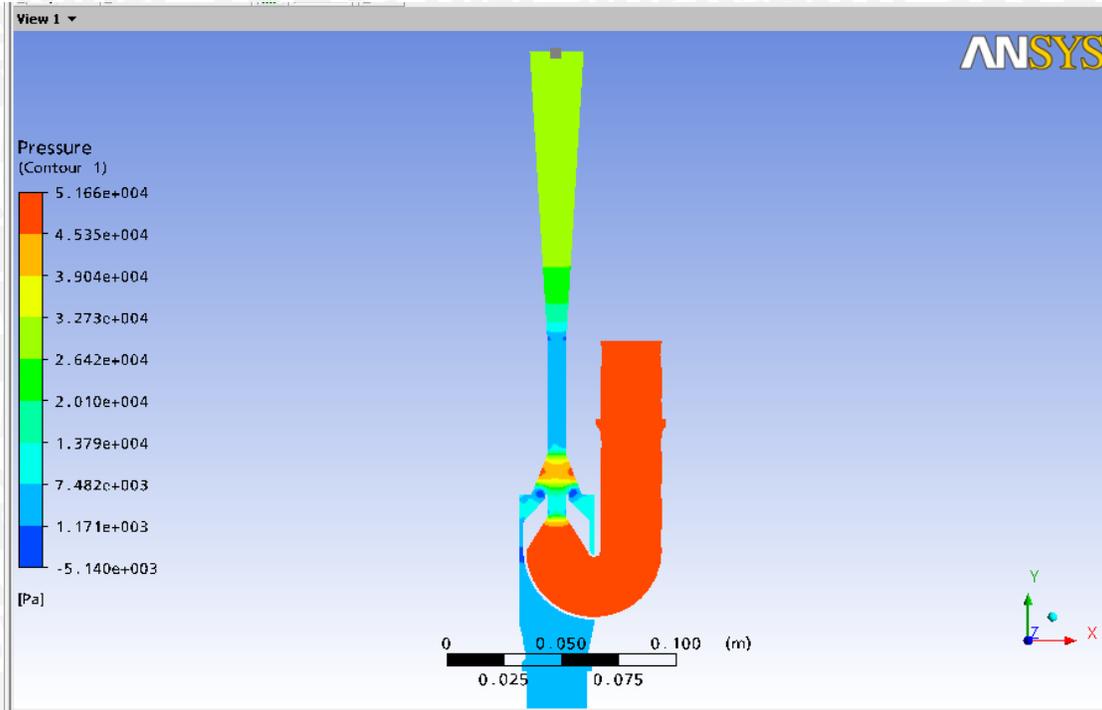


Gambar hasil Simulasi kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada stepped *diffuser*.

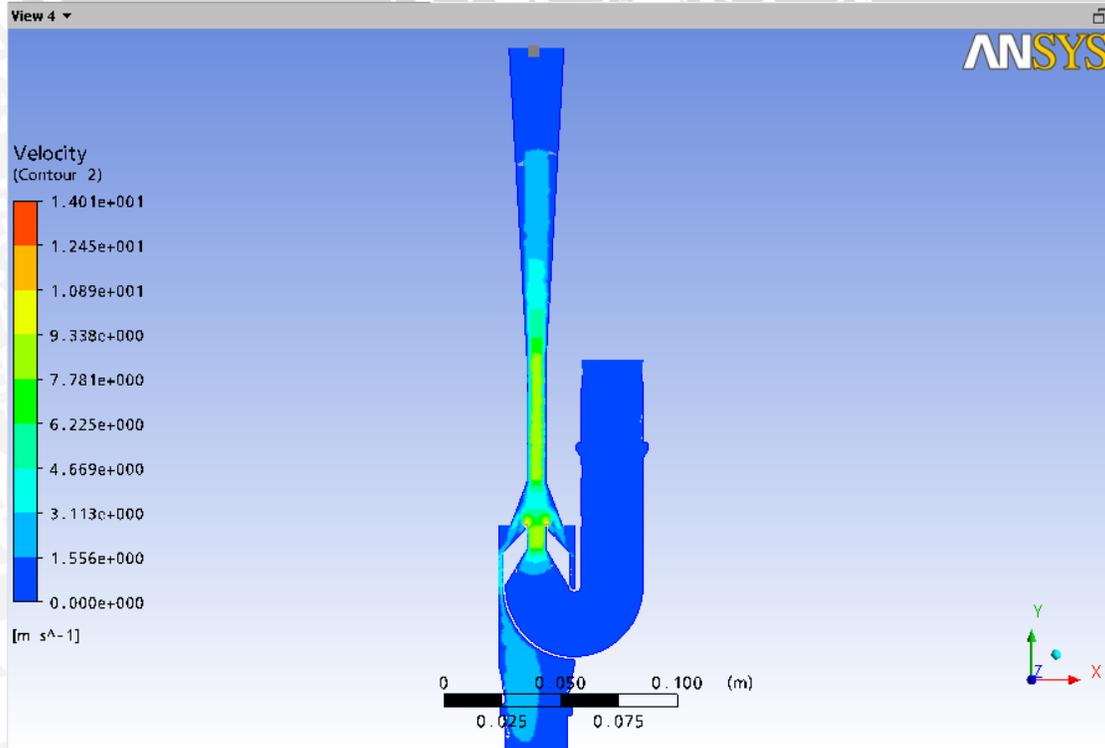
Lampiran 7

Kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada tekanan *primary flow* 51453.45 Pa

2. Parabola terbuka A

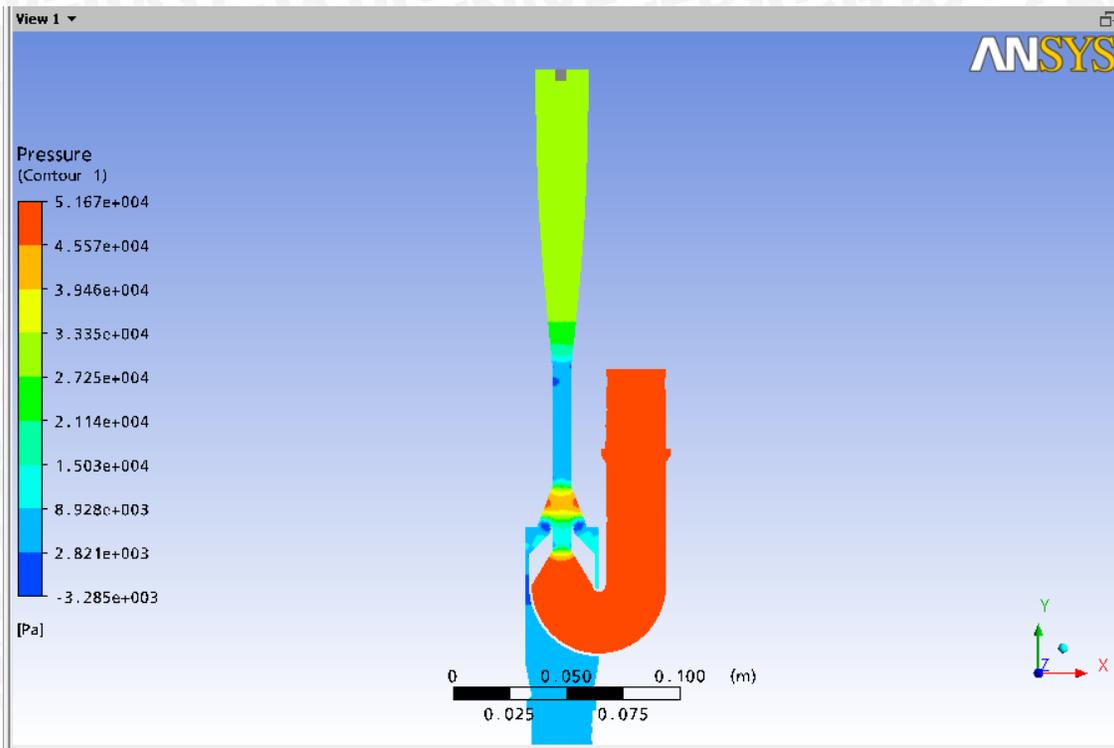


Gambar hasil Simulasi kontur distribusi tekanan dan kecepatan ada parabola terbuka A.

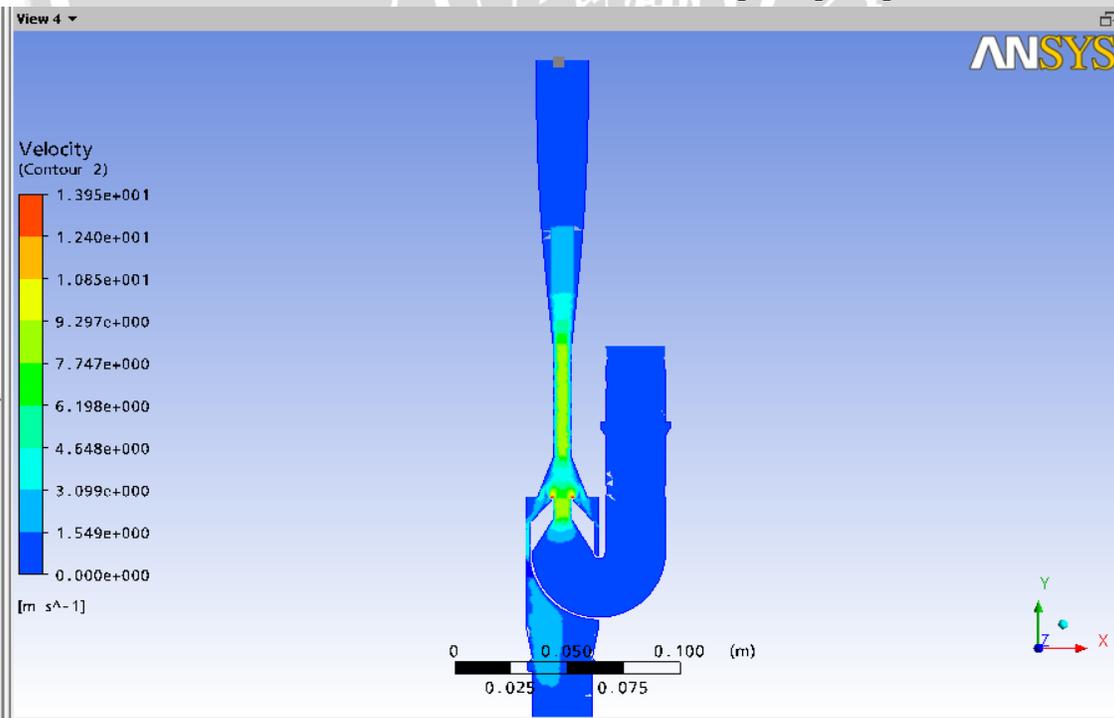


Gambar hasil Simulasi kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada parabola terbuka A.

Lampiran 8
Kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada tekanan *primary flow* 51453.45 Pa
3. Parabola terbuka B



Gambar hasil Simulasi kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada parabola terbuka B.

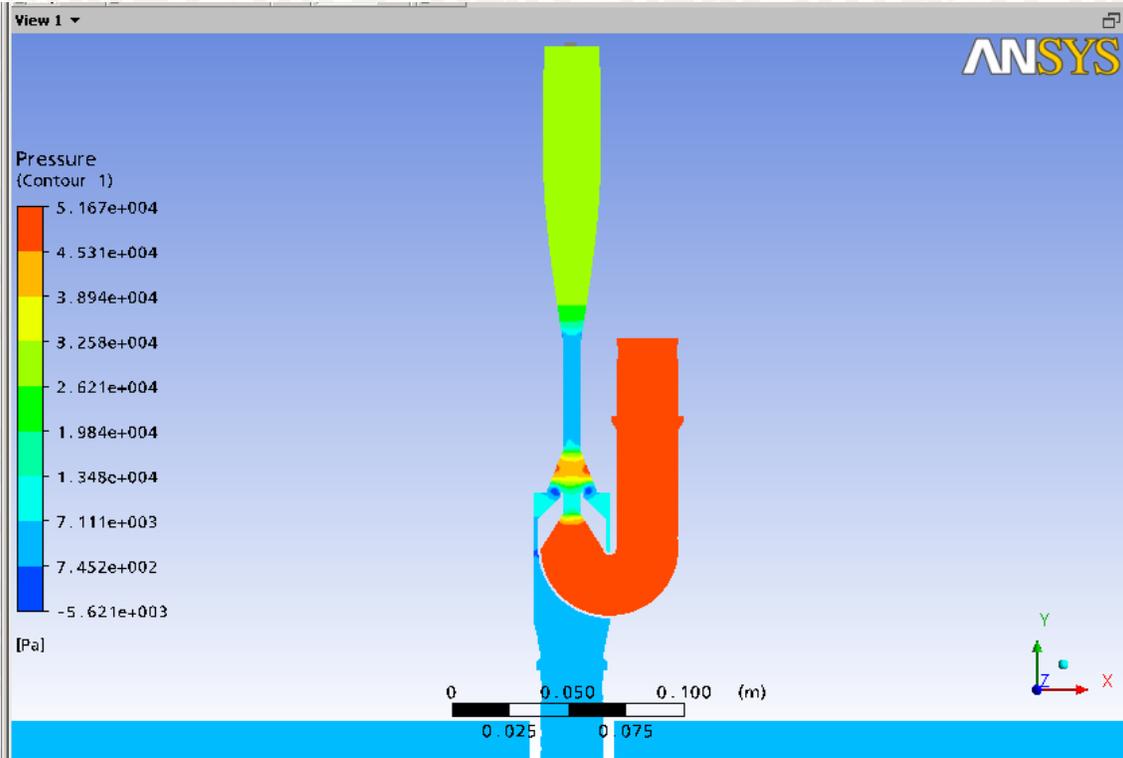


Gambar hasil Simulasi kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada parabola terbuka B.

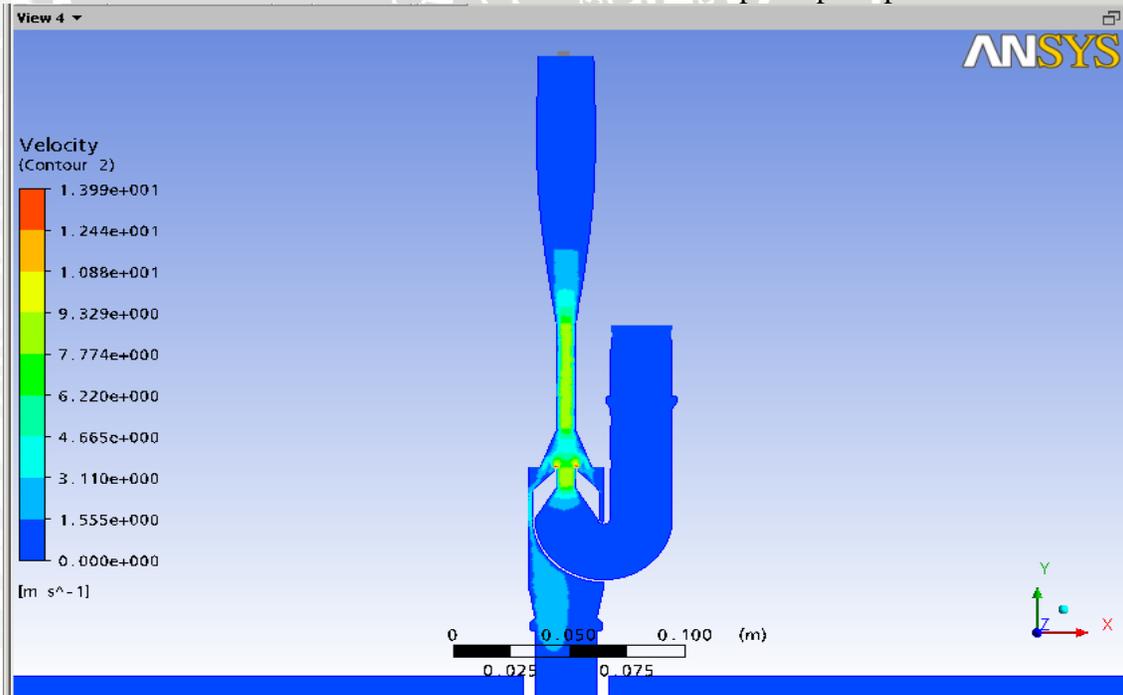
Lampiran 9

Kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada tekanan *primary flow* 51453.45 Pa

4. Parabola terbuka C



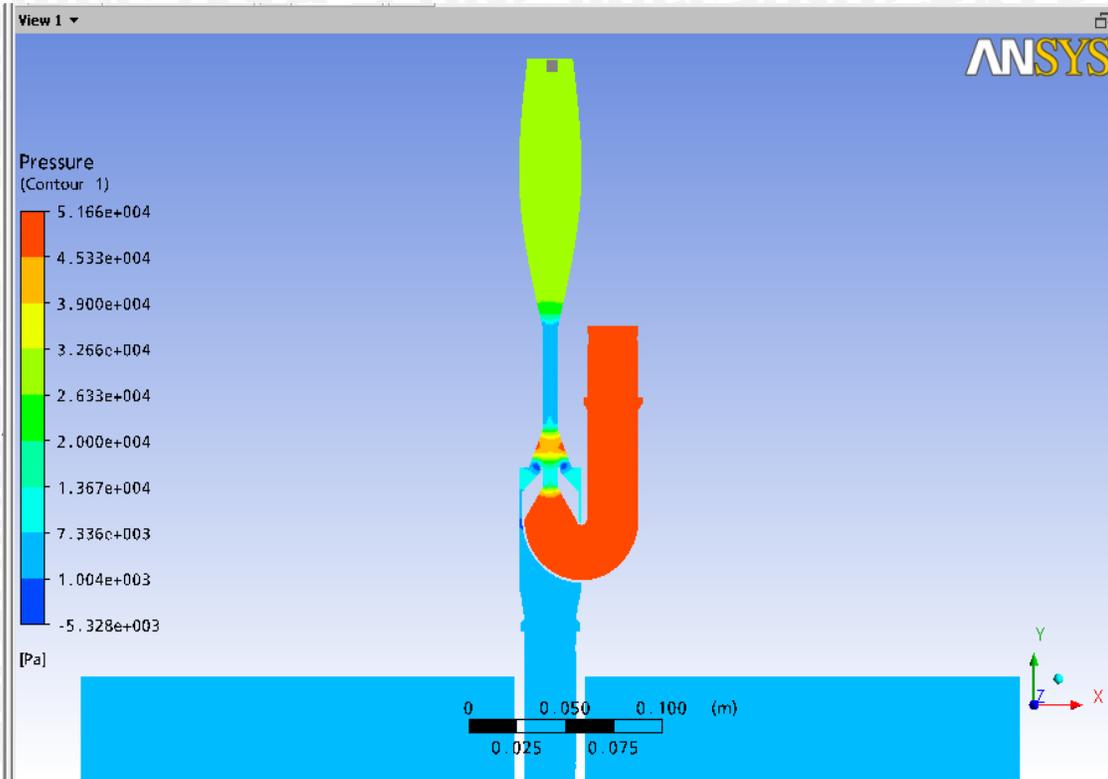
Gambar hasil Simulasi kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada parabola terbuka C



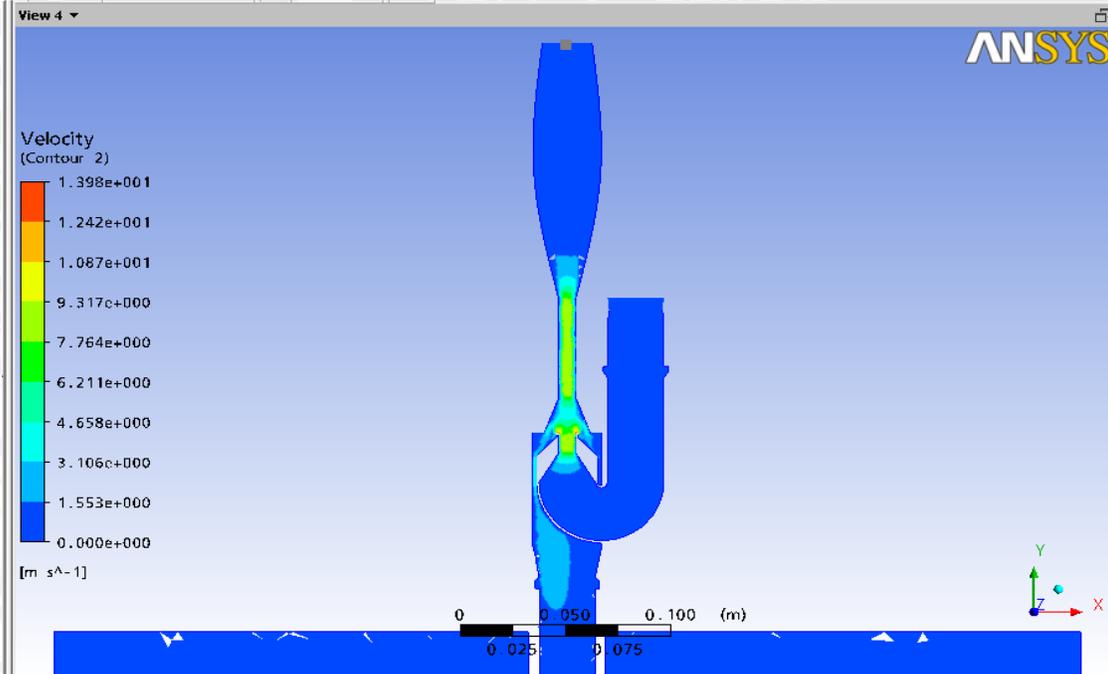
Gambar hasil Simulasi kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada parabola terbuka C.

Lampiran 10

Kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada tekanan *primary flow* 51453.45 Pa
Parabola terbuka D



Gambar hasil Simulasi kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada parabola terbuka D.



Gambar hasil Simulasi kontur distribusi tekanan dan kecepatan pada parabola terbuka D

LAMPIRAN C

Form pilihan perintah pada program ANSYS CFX 11.0

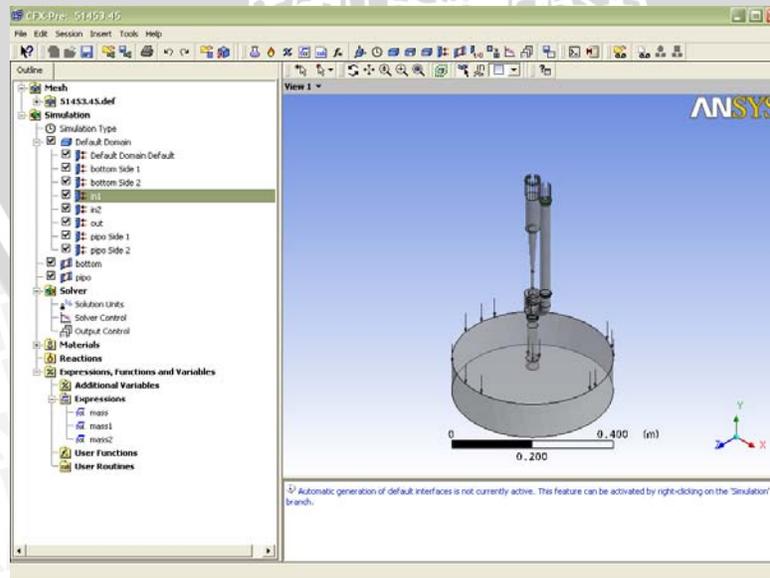
1. Membuka program ANSYS 11.0

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

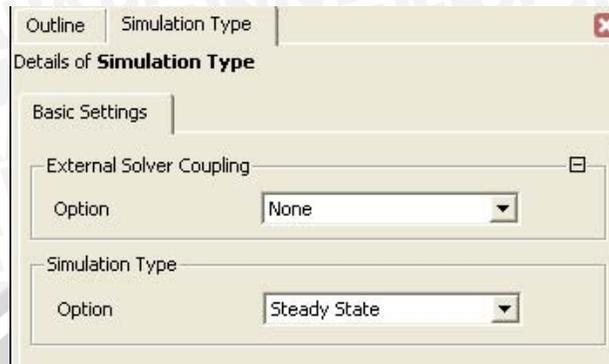


Gambar tampilan awal ANSYS CFX 11

Setelah itu akan muncul tampilan seperti dibawah.

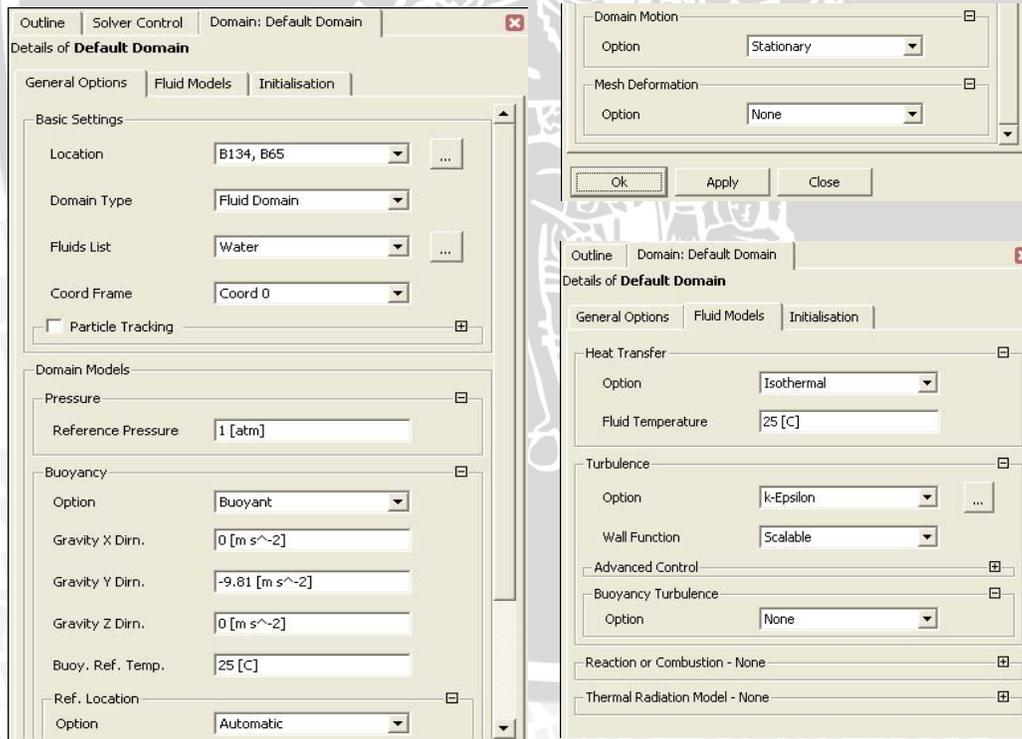


- Menentukan tipe simulasi yang digunakan. Klik pada ikon  Tipe simulasi yang digunakan adalah *steady state*.



Gambar tampilan untuk menentukan tipe simulasi

- Menentukan kondisi sistem yang akan disimulasikan. Klik ikon  kemudian tentukan pilihan kondisi sesuai dengan yang terlihat pada gambar di bawah ini.



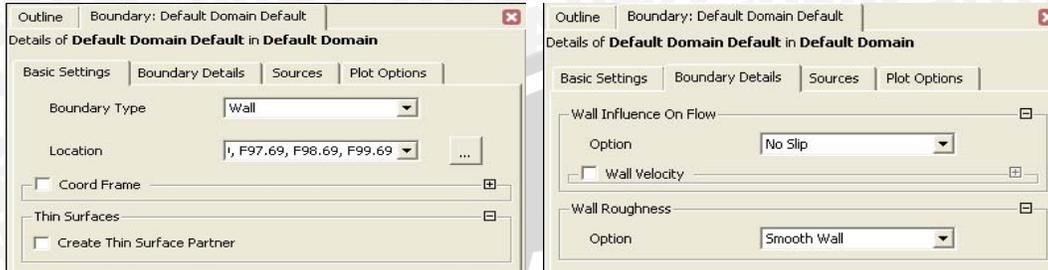
Gambar tampilan untuk menentukan kondisi sistem

4. Menentukan kondisi batas.

Klik ikon 

Kondisi batas yang digunakan dalam simulasi ini adalah :

- *Wall*

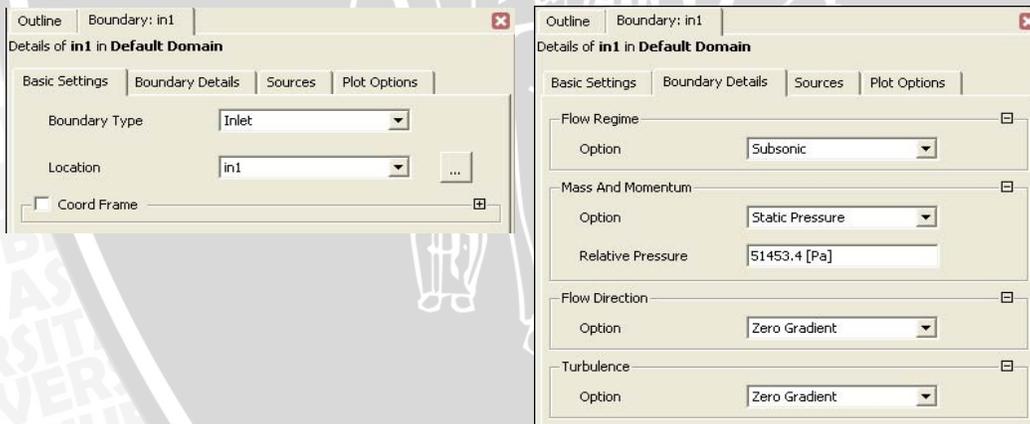


Gambar tampilan untuk kondisi batas *Wall*

- *Inlet*

Untuk inlet ada 2 kondisi batas yang digunakan yaitu :

- in1 menggunakan tekanan statik 51453.45 Pa seperti yang terlihat pada gambar dibawah.
- in2 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*

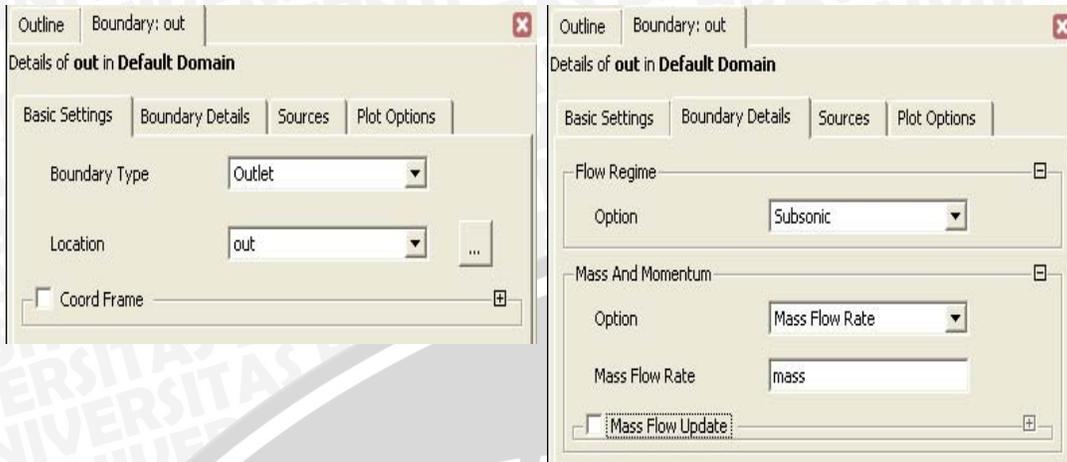
- *Outlet*

Kondisi batas yang digunakan adalah *mass flow*.

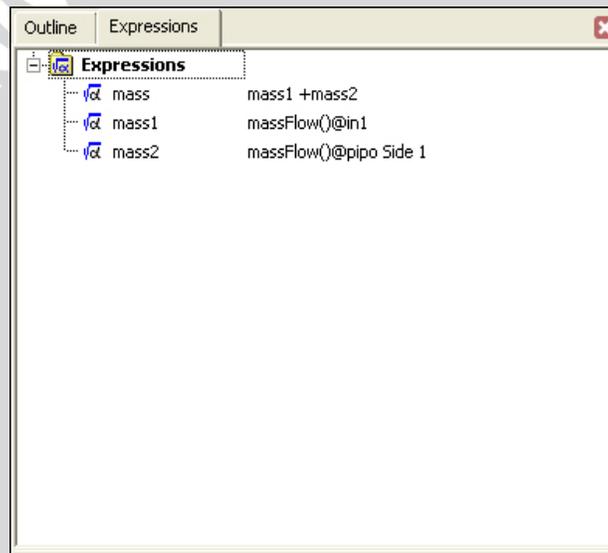
$$\text{Mass flow outlet} = \text{mass flow in1} + \text{mass flow pipe secondary.}$$

Untuk menentukan nilai dari mass flow outlet digunakan *expressions*.

Lebih jelas dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



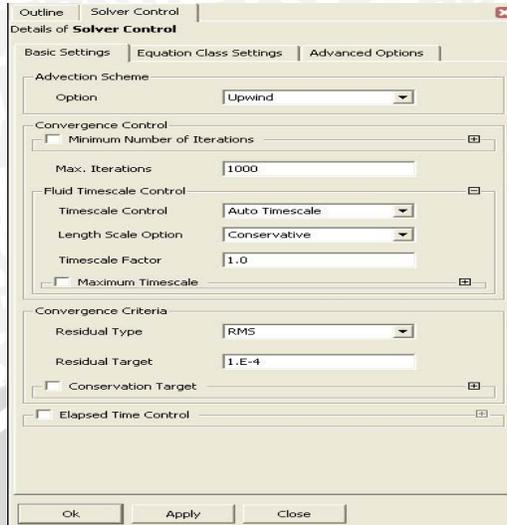
Gambar tampilan untuk kondisi batas Wall



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.

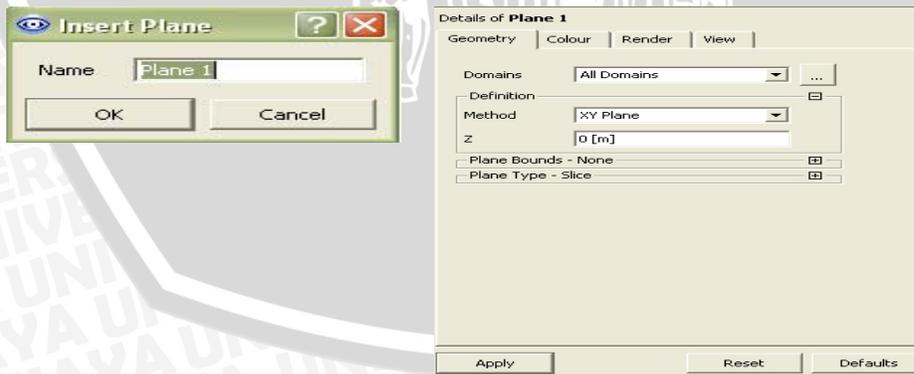
Klik ikon  untuk menjalankan *solver*.

7. *Post processing*

Untuk melihat hasil simulasi klik “yes” pada gambar di atas. Kemudian untuk melihat kontur tekanan static dan kecepatan dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

- Membuat plane untuk mempermudah kita melihat hasil simulasi.

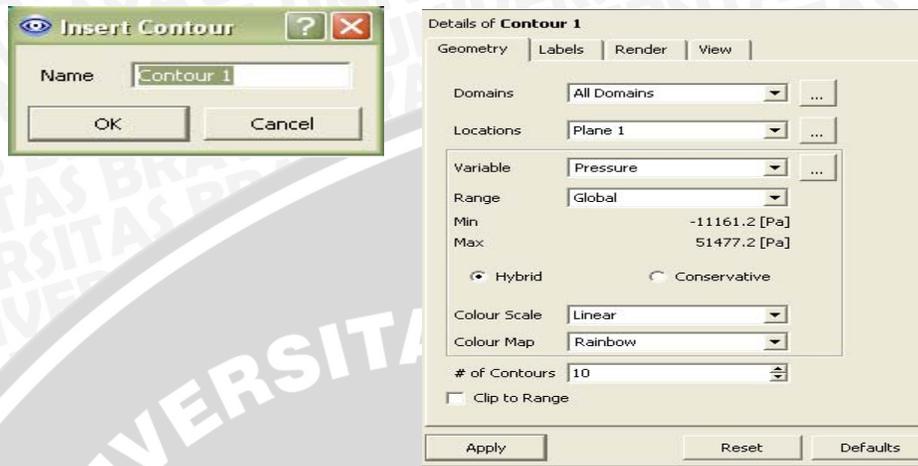
Klik ikon  kemudian pilih plane. Akan muncul tampilan seperti di bawah ini.



Gambar tampilan untuk untuk membuat *Plane*

- Membuat kontur

Klik ikon  akan muncul tampilan seperti di bawah ini. Kemudian tekan *OK*. Untuk menampilkan kontur tekanan statik pilih *pressure* pada *variable*, untuk kecepatan pilih *velocity*.



Gambar tampilan untuk menampilkan kontur

8. Menampilkan nilai pada koordinat yang diinginkan.

Klik ikon  akan muncul tampilan seperti dibawah ini.



Gambar tampilan untuk mengetahui nilai