

20.617/H/04



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

TUGAS AKHIR
(KP. 1701)

**ANALISA CFD TERHADAP PENURUNAN
SUHU DAN TEKANAN DARI VACUUM UNIT
PADA SUATU SISTEM PEMBERSIH TANKER**



RSPe
620.106 4
Abd
a
2004

Oleh :

ABDURRAHMAN
NRP. 4196100050

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	11-8-2004
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	221208

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2004

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA CFD TERHADAP PENURUNAN SUHU DAN TEKANAN DARI VACUUM UNIT PADA SUATU SISTEM PEMBERSIH TANKER

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagai Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Perkapalan

Pada

Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Surabaya, Agustus 2004

Mengetahui dan Mengesahkan
Dosen Pembimbing



Ir. I. K. A. Pria Utama, M.Sc., Ph.D.

NIP. 132 007 645

**ANALISA CFD TERHADAP PENURUNAN SUHU
DAN TEKANAN DARI VACUUM UNIT PADA
SUATU SISTEM PEMBERSIH TANKER**

TUGAS AKHIR

Telah Direvisi Sesuai Dengan Hasil Ujian Tugas Akhir

Pada

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Surabaya, Agustus 2004

Mengetahui dan Mengesahkan

Dosen Pembimbing

Dosen Pembimbing



Ir. I. K. A. Pria Utama, M.Sc., Ph.D

NIP. 132 007 645

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi ALLAH SWT Penguasa Alam. Berkat rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir. Tugas Akhir ini merupakan sebagian dari upaya penerapan ilmu yang telah didapatkan di Jurusan Teknik Perkapalan ITS Surabaya sebagai prasyarat meraih gelar kesarjanaan.

Laporan ini dibuat berdasarkan hasil percobaan numerik menggunakan perangkat lunak Flotran CFD ANSYS 5.7 untuk menghitung perubahan tekanan dan suhu model dari vacuum unit pada suatu sistem pembersih tanker.

Terselesainya penulisan Tugas Akhir ini tentu tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. I.K.A. Pria Utama, MSc., PhD., selaku dosen pembimbing yang memberikan arahan, bimbingan, bantuan untuk penulisan tugas akhir ini.
2. Ir. Triwilaswandio W.P., M.Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS yang telah memberikan ijin penulisan ini.
3. Ir. Asjar Imron, MSc, PED selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan dan arahan demi kelancaran perkuliahan.
4. “Bapak”, “Mamah” dengan segalanya yang ada dan restu do’a-nya
5. Endang untuk tiap-tiap dorongan
6. ‘Eneng, ‘nu lucu, matak kangen
7. Metta dengan selalu ada
8. Faisal, Dody, Bambang, Binti dan Lusi untuk s’maa bantuan dan dorongan
9. Dan pihak-pihak lain yang juga tidak mungkin penulis sebutkan satu-persatu.

Demikian, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan penulis khususnya.

Surabaya, Juli 2004

Penulis

ABSTRAK

Suatu vacuum unit digunakan oleh PT. Dok dan Perkapalan Surabaya sebagai bagian dari suatu proses pembersihan yang digunakan pada ruang palka kapal tanker. Yang mana vacuum unit ini berfungsi sebagai ruang penghisap dengan menggunakan daya sembur dari sebuah kompresor.

Pada tugas akhir ini, mensimulasikan pergerakan fluida, menggambarkan aliran kecepatan, tingkat penurunan tekanan dan suhu yang terjadi pada vacuum unit.

Dapat terlihat proses penghisapan yang terjadi akibat semburan kompresor beserta kecepatan pada beberapa daerah vacuum unit, ditandai dengan warna-warna yang berbeda untuk tiap range kecepatan, sehingga dapat diketahui besarnya kecepatan hisap yang terjadi pada system dan seberapa besar kecepatan dan tekanan yang keluar meninggalkan vacuum unit melalui lubang pengeluaran.

Dengan memvariasikan panjang vacuum unit dan jumlah katup yang dipakai, dapat ditarik kesimpulan tentang perlunya katup-katup dan penempatannya berkaitan dengan hasil tingkat penurunan tekanan dan suhu yang terjadi. Pada percobaan tugas akhir ini digunakan tiga model panjang vacuum unit (1.5 m, 2.5 m, 3.5 m) dengan tiap model panjang menggunakan variasi 1,2 dan 3 buah katup, sehingga jumlah keseluruhan ada 9 buah. Penurunan tekanan yang terjadi di seluruh model pada lubang pengeluaran rata-rata telah mencapai 80%, secara umum makin bertambahnya jumlah katup maka tingkat penurunan tekanan akan makin meningkat, namun ada pula yang berlaku sebaliknya yaitu pada model 3 (3.5 m) dengan 3 katup, ini diakibatkan penempatan katup ketiga yang kurang tepat, sehingga tingkat penurunan tekanan pada 2 katup masih lebih besar.

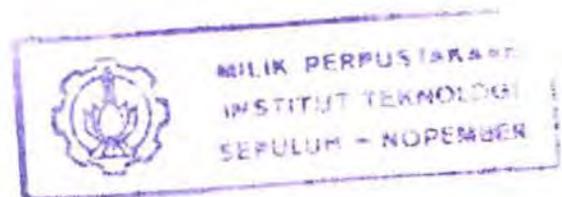
DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	I-1
1.2. Tujuan Penelitian	I-3
1.3. Pembatasan Masalah	I-3
1.4. Metodologi dan Analisa	I-3
1.5. Sistematika Penulisan	I-7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Efek perubahan luasan pada aliran	II-1
2.2. Mekanisme perpindahan panas	II-7
2.2.1 Mekanisme perpindahan	II-7
2.2.2 Proses perpindahan panas	II-10
BAB 3 CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS)	
3.1. Persamaan Dasar Dinamika Fluida dalam CFD	III- 1
3.2. Persamaan aliran viscous (Persamaan Navier-Stokes)	III-3
3.2.1. Persamaan Kontinuitas	III-3
3.2.2. Persamaan Momentum	III-7

3.3. ANSYS Flotran CFD 5.7	III-15
3.4. Pemodelan vacuum unit 2D	III-18
BAB 4 ANALISA HASIL	
4.1. Grid Independen	IV-1
4.2. Data dan waktu iterasi	IV-2
4.3. Hasil analisa tekanan dan perubahan suhu yang pada terjadi model vacuum unit	IV-4
4.4. Validasi Hasil	IV-27
BAB 5 KESIMPULAN	
5.1. Kesimpulan	V-1
5.2. Saran kedepan	V-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

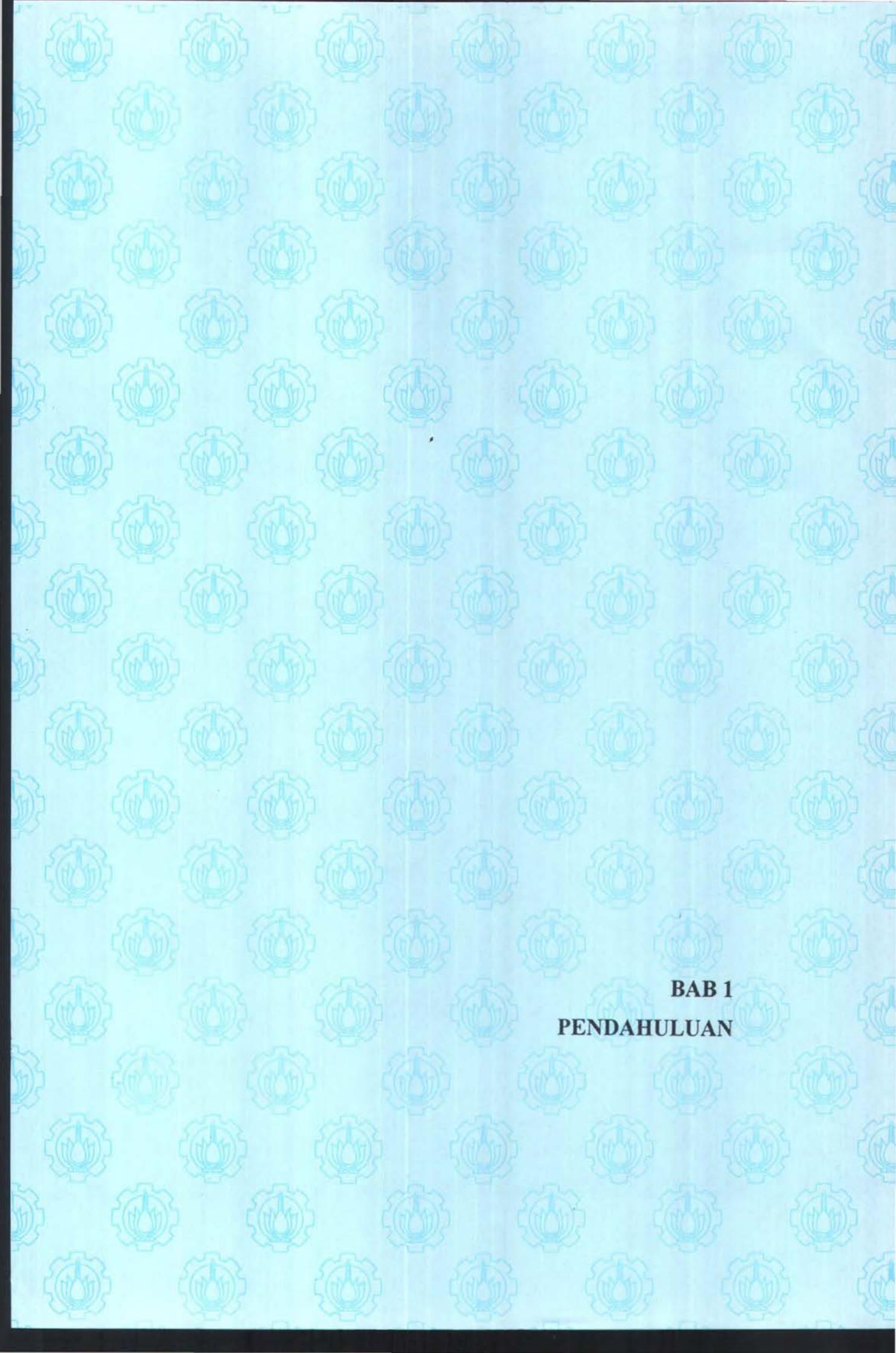
Gambar 1.1	Sistem pembuangan setelah proses sand blasting	I-2
Gambar 1.2	Sistem vacuum unit untuk sistem pembuangan setelah proses sand blasting	I-4
Gambar 1.3	Sistem pemodelan vacuum unit	I-5
Gambar 2.1	Perubahan aliran dalam suatu saluran dengan variabel luasan	II-1
Gambar 2.2	Efek perubahan luasan pada Angka Mach dan kecepatan; (a) Aliran Subsonic; (b) Aliran Subsonic	II-7
Gambar 2.3	Aliran panas yang melalui sebuah dinding	II-8
Gambar 3.1.	Model-model aliran. (a & b) pendekatan kontrol volume hingga, (c & d) pendekatan elemen fluida kecil tak hingga	III-3
Gambar 3.2.	Model elemen kecil tak hingga yang tetap dalam ruang	III-4
Gambar 3.3.	Gaya-gaya yang bekerja pada sumbu x pada elemen fluida kecil tak hingga yang bergerak.	III-7
Gambar 3.4.	(a) tegangan geser (berkaitan dengan tingkat perubahan deformasi) dan (b) tegangan normal (berkaitan dengan tingkat perubahan volume)	III-8
Gambar 3.5	Dimensi pemodelan vacuum unit	III-18
Gambar 3.6	Pemodelan vacuum unit dengan 3 variasi	III-19
Gambar 3.7	Gambar model meshing aplikasi ANSYS 5.7 dengan 1 katup	III-20
Gambar 3.8.	Meshing pada daerah belokan tinggi	III-20
Gambar 3.9.	Meshing pada daerah ujung depan sistem vacuum unit	III-21
Gambar 3.10.	Meshing pada daerah ujung belakang sistem vacuum unit	III-21
Gambar 4.1	Grafik pengaruh jumlah elemen dan kecepatan keluaran percobaan	IV-2
Gambar 4.2	Pengaruh jumlah elemen dan waktu percobaan	IV-3
Gambar 4.3.	Letak node-node yang diambil data suhu dan tekanannya	IV-5
Gambar 4.4.	Letak keluaran dari sistem yang diambil data kecepatannya	IV-5
Gambar 4.5.	Grafik tekanan pada suhu pada model 1 dengan 1 katup	IV-6

Gambar 4.6.	Grafik tekanan pada suhu pada model 1 dengan 2 katup	IV-7
Gambar 4.7.	Grafik tekanan pada suhu pada model 1 dengan 3 katup	IV-7
Gambar 4.8.	Grafik tekanan pada suhu pada model 2 dengan 1 katup	IV-8
Gambar 4.9.	Grafik tekanan pada suhu pada model 2 dengan 2 katup	IV-9
Gambar 4.10.	Grafik tekanan pada suhu pada model 2 dengan 3 katup	IV-10
Gambar 4.11.	Grafik tekanan pada suhu pada model 3 dengan 1 katup	IV-11
Gambar 4.12.	Grafik tekanan pada suhu pada model 3 dengan 2 katup	IV-11
Gambar 4.13.	Grafik tekanan pada suhu pada model 3 dengan 3 katup	IV-12
Gambar 4.14.	Grafik suhu pada model 1 dengan 1 katup	IV-13
Gambar 4.15.	Grafik suhu pada model 1 dengan 2 katup	IV-14
Gambar 4.16.	Grafik suhu pada model 1 dengan 3 katup	IV-14
Gambar 4.17.	Grafik suhu pada model 2 dengan 1 katup	IV-15
Gambar 4.18.	Grafik suhu pada model 2 dengan 2 katup	IV-16
Gambar 4.19.	Grafik suhu pada model 2 dengan 3 katup	IV-17
Gambar 4.20.	Grafik suhu pada model 3 dengan 1 katup	IV-18
Gambar 4.21.	Grafik suhu pada model 3 dengan 2 katup	IV-18
Gambar 4.22.	Grafik suhu pada model 3 dengan 3 katup	IV-19
Gambar 4.23.	Grafik kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup	IV-21
Gambar 4.24.	Grafik kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup	IV-21
Gambar 4.25.	Grafik kecepatan keluaran pada model 1 dengan 3 katup	IV-22
Gambar 4.26.	Grafik kecepatan keluaran pada model 2 dengan 1 katup	IV-23
Gambar 4.27.	Grafik kecepatan keluaran pada model 2 dengan 2 katup	IV-23
Gambar 4.28.	Grafik kecepatan keluaran pada model 2 dengan 3 katup	IV-24
Gambar 4.29.	Grafik kecepatan keluaran pada model 3 dengan 1 katup	IV-25
Gambar 4.30.	Grafik kecepatan keluaran pada model 3 dengan 2 katup	IV-25
Gambar 4.31.	Grafik kecepatan keluaran pada model 3 dengan 3 katup	IV-26
Gambar 4.32.	Grafik perbandingan keluaran perhitungan dengan CFD	IV-29

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Geometri pemodelan vacuum unit	III-19
Tabel 4.1	Grid Independen	IV-1
Tabel 4.2	Waktu pelaksanaan running program untuk 3 jumlah elemen yang berbeda	IV-3
Tabel 4.3	Data tekanan pada suhu pada model 1 dengan 1 katup	IV-6
Tabel 4.4	Tekanan pada suhu pada model 1 dengan 2 katup	IV-6
Tabel 4.5	Tekanan pada suhu pada model 1 dengan 3 katup	IV-7
Tabel 4.6	Data tekanan pada suhu pada model 2 dengan 1 katup	IV-8
Tabel 4.7	Data tekanan pada suhu pada model 2 dengan 2 katup	IV-9
Tabel 4.8	Data tekanan pada suhu pada model 2 dengan 3 katup	IV-9
Tabel 4.9	Data tekanan pada suhu pada model 3 dengan 1 katup	IV-10
Tabel 4.10.	Data tekanan pada suhu pada model 3 dengan 2 katup	IV-11
Tabel 4.11	Data tekanan pada suhu pada model 3 dengan 3 katup	IV-12
Tabel 4.12.	Data suhu pada model 1 dengan 1 katup	IV-13
Tabel 4.13	Data suhu pada model 1 dengan 2 katup	IV-13
Tabel 4.14.	Data suhu pada model 1 dengan 3 katup	IV-14
Tabel 4.15.	Data suhu pada model 2 dengan 1 katup	IV-15
Tabel 4.16.	Data suhu pada model 2 dengan 2 katup	IV-16
Tabel 4.17.	Data suhu pada model 2 dengan 3 katup	IV-16
Tabel 4.18.	Data suhu pada model 3 dengan 1 katup	IV-17
Tabel 4.19.	Data suhu pada model 3 dengan 2 katup	IV-18
Tabel 4.20.	Data suhu pada model 3 dengan 3 katup	IV-19
Tabel 4.21.	Data kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup	IV-20
Tabel 4.22.	Data kecepatan keluaran pada model 1 dengan 2 katup	IV-21
Tabel 4.23.	Data kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup	IV-22
Tabel 4.24.	Data kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup	IV-22
Tabel 4.25.	Data kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup	IV-23
Tabel 4.26.	Data kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup	IV-24

Tabel 4.27.	Data kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup	IV-24
Tabel 4.28.	Data kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup	IV-25
Tabel 4.29.	Data kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup	IV-26
Tabel 4.30.	Data kecepatan pada saluran dari sistem vacuum pot	IV-27
Tabel 4.31.	Hasil perhitungan dengan teori untuk suhu keluaran model 1	IV-28
Tabel 4.32.	Perbandingan output perhitungan dengan CFD	IV-28



BAB 1
PENDAHULUAN

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Proses sand blasting tentunya akan menghasilkan kondisi pasir yang harus dibuang dan selanjutnya perlu dipikirkan kondisi pembuangan yang efektif.

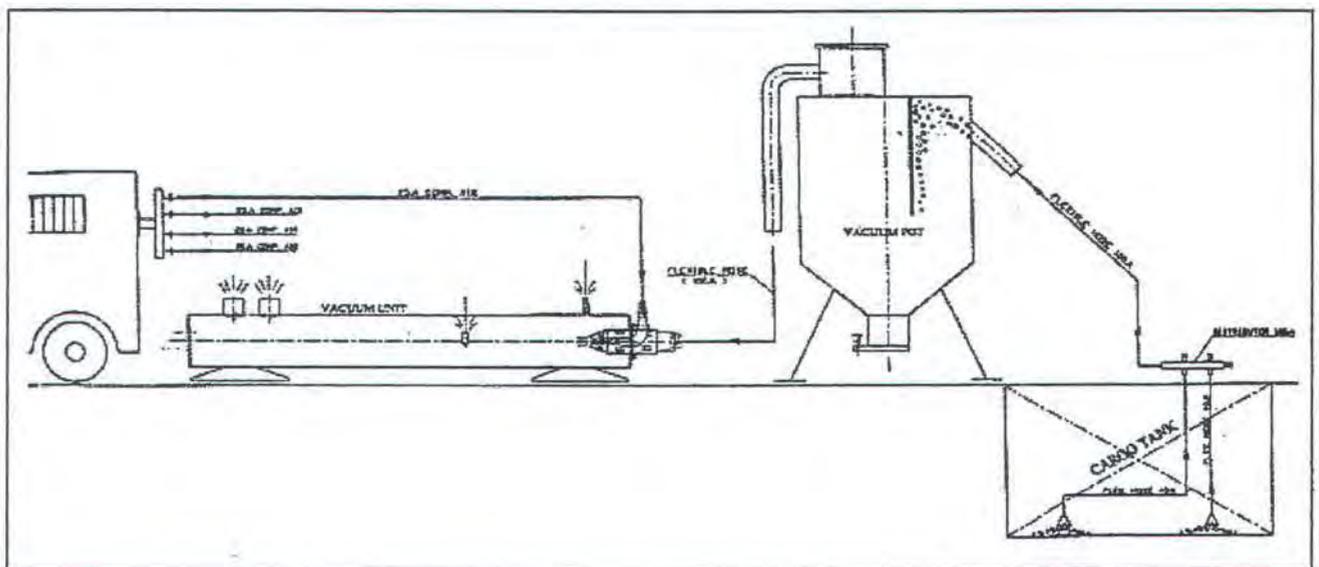
PT. Dok dan Perkapalan Surabaya memodelkan suatu system rangkaian vacuum unit yang bekerja untuk mengefektifkan pembuangan pasir setelah proses sand blasting. Peralatan tersebut dibantu dengan kompresor dengan tekanan tertentu dan diharapkan cukup untuk suplai pemasukan pasir kedalam vacuum pot. Diharapkan juga aliran fluida yang dihembuskan keluar tersebut aman ditinjau dari tekanan maupun temperature.

Dalam pembuatan system ini, PT. Dok Dan Perkapalan Surabaya mengadopsi system yang dimiliki oleh salah satu perusahaan di Singapura, Truba Juroang, yang bisanya selalu di sewa untuk keperluan – keperluan tertentu.

Mengingat cukup tingginya tingkat pemakaian system ini, dan menyadari akan mahalnya biaya sewa yang harus di keluarkan, maka PT. Dok Dan Perkapalan Surabaya berinisiatif untuk membuat prototype dari system vacuum unit milik Truba Jurong.

Namun dalam hal ini terjadi kerancuan untuk mengoptimalkan sistem dari segi bentuk/ukuran vacum unit. Hal ini dimungkinkan mengingat aliran fluida dalam sistem cukup kompleks yang dipengaruhi oleh belokan-belokan dan ukurannya. Bentuk yang semakin besar tentunya diharapkan akan semakin aman, meskipun belum tentu optimal karena akan menaikkan ongkos produksi dan perawatan tentunya. Untuk itu perlu dipikirkan kembali perencanaan dan beberapa alternatif untuk mengoptimalkan ukuran supaya kerja kompresor efektif dengan biaya produksi yang minimum (prinsip ekonomi)

Sebagai gambaran bentuk vacum unit yang telah dibuat PT. Dok dan Perkapalan Surabaya dapat dilihat pada gambar (1.1) berikut ini.



Gambar 1.1 Sistem pembuangan setelah proses sand blasting

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui perubahan tekanan dari fluida setelah melalui proses hembusan dari kompresor.
2. Untuk mengetahui perubahan suhu dari fluida setelah melalui proses hembusan dari kompresor.

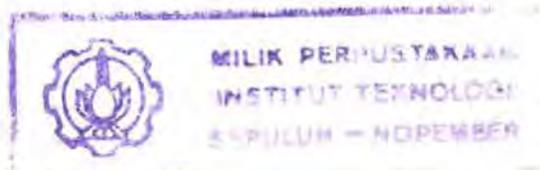
1.3. Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah diberikan untuk mempermudah analisa dimana pada penulisan ini untuk:

- ◆ Hanya meninjau Pemodelan CFD 2D pada vacuum unit, menggunakan ukuran sebenarnya.
- ◆ Jumlah pemodelan vacuum unit divariasikan berdasarkan pengambilan panjang ukuran sebenarnya dan 2 model modifikasi
- ◆ Penambahan model vacuum unit dimaksudkan untuk membandingkan dengan kondisi model yang direncanakan.
- ◆ Kecepatan sebagai input untuk sistem diasumsikan sama dengan output yang dihasilkan kompresor
- ◆ Domain aliran yang digunakan dalam simulasi adalah aliran internal.
- ◆ Perangkat lunak yang dipergunakan untuk Computational Fluid Dynamics adalah ANSYS Flotran CFD release 5.7.

1.4. Metodologi dan Analisa

Metode yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah:



a. Identifikasi masalah.

Menentukan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini, yaitu menganalisa besarnya tekanan dan kecepatan yang terjadi karena adanya kerja kompresor.

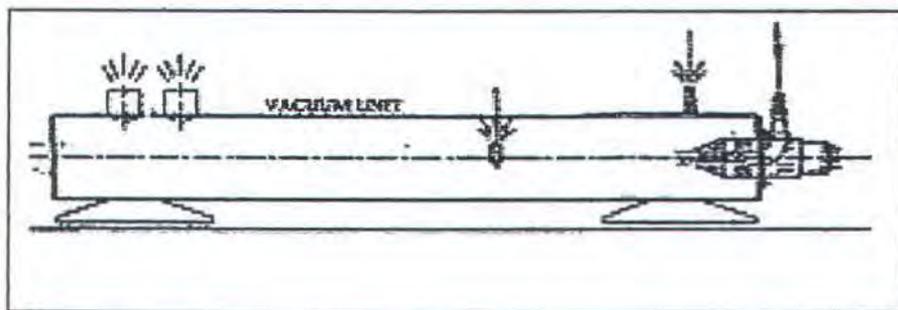
b. Studi Literatur

Penulisan tugas akhir berdasarkan literatur-literatur yang sesuai dengan permasalahan yang ada.

c. Solusi dengan CFD

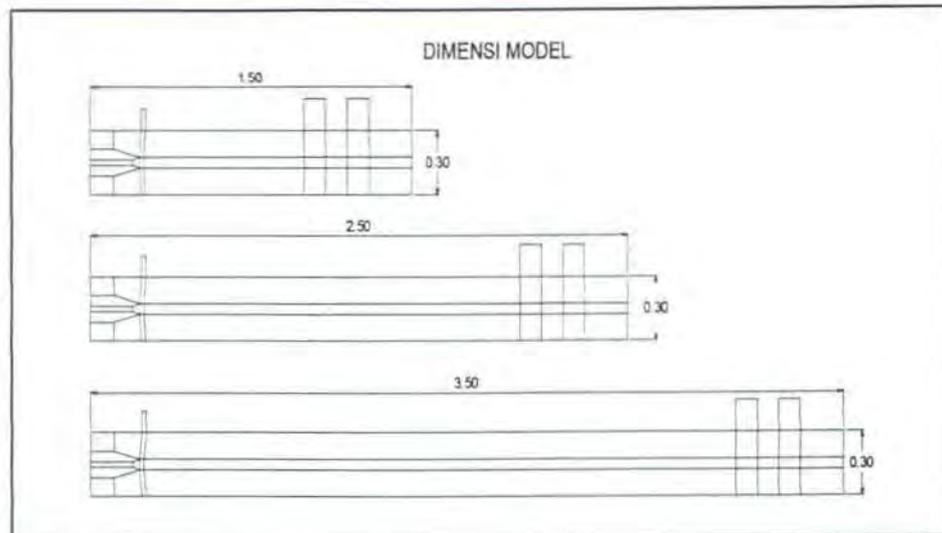
- ✓ Pemodelan. Dilakukan untuk mendekati kondisi model yang sebenarnya. Model yang akan dibuat adalah sistem buangan dari vacuum unit tersebut.

Sistem vacuum unit yang dimaksud pada gambar (1.2)



Gambar 1.2 Sistem vacuum unit untuk sistem pembuangan setelah proses sand blasting

Pada bagian percobaan akan dilakukan pemodelan hanya pada bagian sistem buang saja (vacuum unitnya). Dengan mengadopsi ukuran yang sebenarnya seperti yang terlihat pada gambar berikut (1.3)



Gambar 1.3 Sistem pemodelan vacuum unit

- ✓ Meshing. Proses pembagian model menjadi beberapa elemen untuk memperoleh acuan nodes yang terbebani oleh aliran. Pemilihan elemen menggunakan prinsip perbandingan geometri dan *spacing ratio* yang tetap untuk mendapatkan kerapatan yang sama untuk setiap pemodelan yang berbeda.
- ✓ Flotran Set-up. Melakukan pengesetan karakteristik fluida dalam hal ini udara yang dipengaruhi oleh kondisi temperatur, tekanan dan perbedaan dimensi. Pada bagian ini pula ditentukan jumlah iterasi yang akan dilakukan.
- ✓ Loads. Pemberian beban untuk masing-masing kondisi batas. Kecepatan dari kompresor sebagai input kecepatan dan temperatur dari aliran vacuum unit sand blasting. Sedangkan untuk katup diasumsikan serbagai saluran bebas sehingga kecepatan dan arah berasal dari perubahan sistemnya.

Untuk kondisi kompresor bekerja penuh

$$\text{Pressure from compressor work} = 100\% = 10 \text{ bar} \\ = 101971.6 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Gravity} = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Rho} = \text{density} / \text{gravity} = 47.35325178$$

$$V = \sqrt{\frac{2P}{\rho}} = 20.95295 \text{ m/s}$$

- ✓ Run. Model yang sudah di set tersebut di run untuk mendapatkan hasil yang diinginkan (data numerik yang dihasilkan)

d. Solusi Matematis dengan CFD

- Menghitung besarnya kecepatan dari vacuum unit sand blasting dengan pendekatan kecepatan awal yang diberikan
- Membuat kurva hubungan antara kecepatan awal dan kecepatan dari kompresor.
- Menganalisa kurva yang terjadi dari hubungan tersebut diatas.
- Menghitung besarnya waktu yang diperlukan untuk step running dari penyebaran temperatur (pendekatan ANSYS – Thermal).
- Menghitung besarnya output tekanan dan temperatur di 2 lokasi output

- e. Membandingkan hasil dengan formula yang ada. Hasil yang didapat dibandingkan dengan hasil yang didapatkan dari perhitungan menggunakan pendekatan formula yang ada.

1.5 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Berisi penjelasan mengenai latar belakang permasalahan, tujuan, pembatasan masalah dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori dasar yang berkenaan dengan permasalahan yang dibahas serta metode penyelesaian yang dipakai

BAB III CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS)

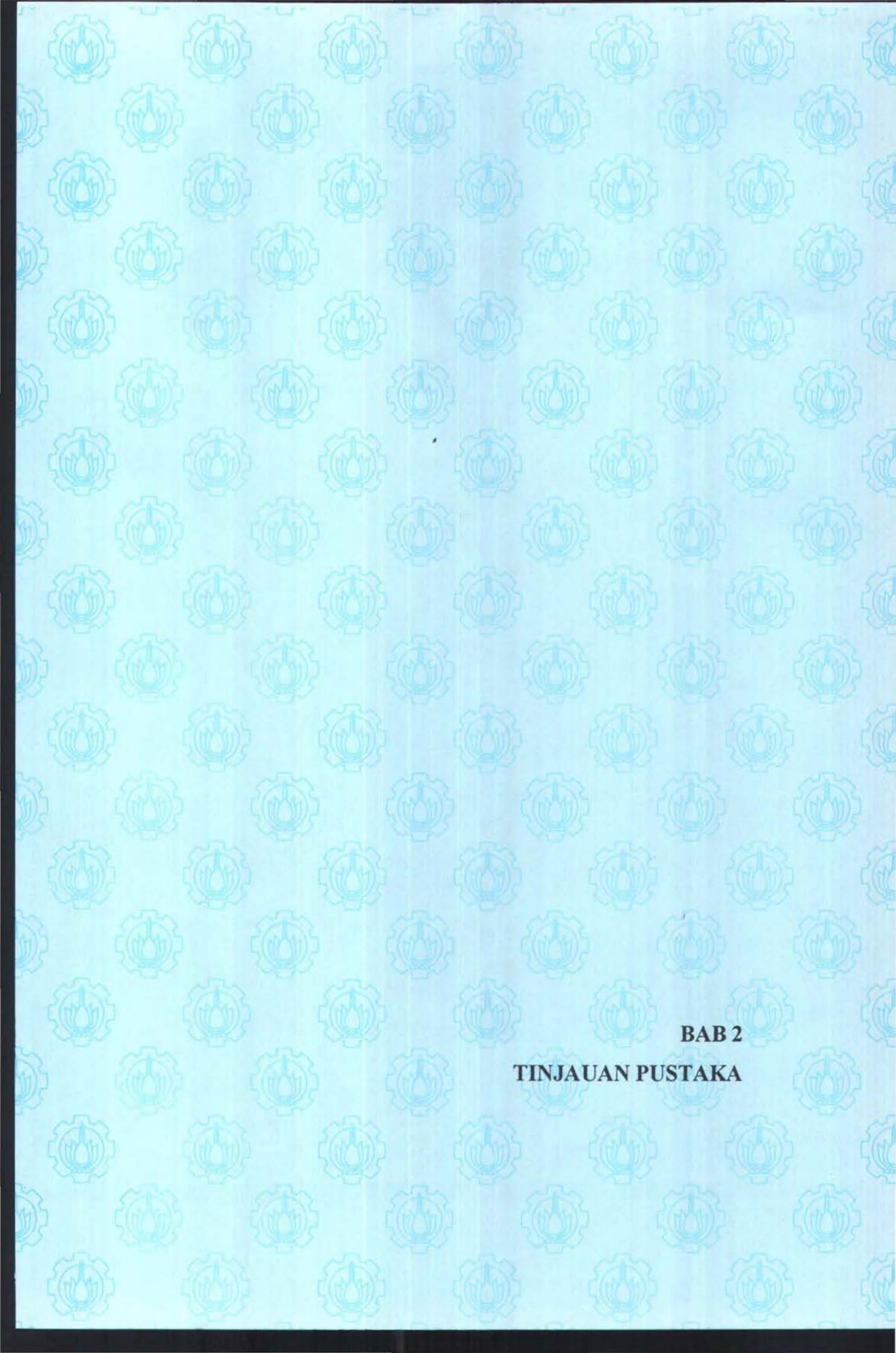
Menjelaskan teori dasar dalam CFD, bagian-bagian Flotran CFD ANSYS 5.7 dan pemodelan 2D vacuum unit.

BAB IV ANALISA HASIL

Berisi data-data eksperimen dan hasil yang didapatkan dari simulasi CFD beserta analisisnya.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dari penelitian dan saran-saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

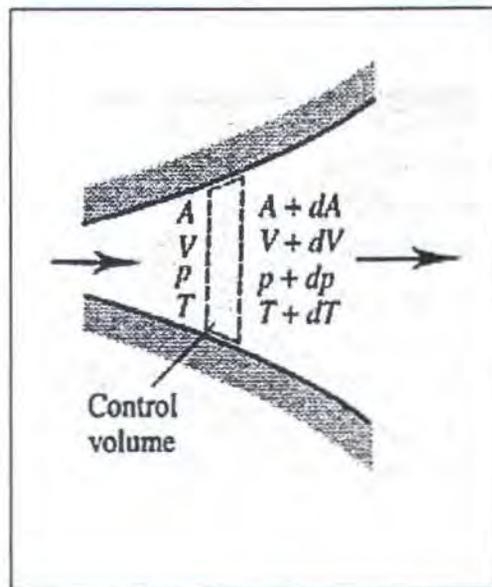
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Efek perubahan luasan pada aliran

Aliran suatu gas yang melalui saluran yang memiliki berbagai potongan luasan yang berbeda akan memiliki tekanan yang berbeda pula. Hal ini seringkali terjadi pada beberapa masalah teknis seperti aliran pada mesin roket dan bagian kemudi dari mesin turbo. (Oosthuizen and Carscallen, 1997)

Efek dari perubahan luasan yang kecil, dA , disamping variabel yang lain seperti V , p , T , dan ρ seperti terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Perubahan aliran dalam suatu saluran dengan variabel luasan

$$\rho AV = \text{mass flow rate} = \text{constant} \quad (2.1)$$

dimana A adalah luasan melintang dari suatu saluran pada suatu titik. Dengan mengaplikasikan persamaan tersebut pada aliran, akan menjadi :

$$\rho AV = (\rho + d\rho)(A + dA)(V + dV) \quad (2.2)$$

Selama $d\rho$, $d\rho$, dV dan dA diasumsikan kecil, persamaan ini akan menjadi ketelitian orde satu seperti kondisi dimana hasil dan luasan menjadi jumlah yang sangat kecil sehingga $d\rho \times dA$ diabaikan.:

$$\rho AV = AV d\rho + \rho V dA + \rho A dV \quad (2.3)$$

hasil ini dibagi dengan ρAV , menjadi

$$\frac{d\rho}{\rho} + \frac{dA}{A} + \frac{dV}{V} = 0 \quad (2.4)$$

dari persamaan energi diberikan:

$$cpT + \frac{V^2}{2} = \text{constant} \quad (2.5)$$

$$cpT + \frac{V^2}{2} = cp(T + dT) + \frac{(V + dV)^2}{2} \quad (2.6)$$

untuk akurasi order pertama didapatkan

$$cp dT + V dV = 0 \quad (2.7)$$

kita ketahui bahwa :

$$p = \rho RT \quad \text{dan} \quad p + dp = (\rho + d\rho)R(T + dT) \quad (2.8)$$

Kemudian kita kurangi dua persamaan diatas (2.8) dan dibagi dengan hasil dari persamaan pertama dari dua persamaan yang diberikan pada akurasi order pertama :

$$\frac{dp}{p} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dT}{T} \quad (2.9)$$

Selama persamaan aliran diasumsikan isentropic, mengikuti persamaan:

$$\frac{p}{p^\gamma} = \text{constant} \quad \text{dan} \quad \frac{p = dp}{(\rho + d\rho)^\gamma} = \text{constant} \quad (2.10)$$

Karena dp/p dan $d\rho/\rho$ diasumsikan kecil, maka persamaan kedua dari akurasi order pertama akan menjadi:

$$\frac{p}{p^\gamma} \left[1 + \frac{dp}{p} \right] = \text{constant} \quad (2.11)$$

$$\frac{p}{p^\gamma} \left[1 + \gamma \frac{d\rho}{\rho} \right] = \text{constant} \quad (2.12)$$

$$\frac{p}{p^\gamma} \left[1 + \frac{dp}{p} - \gamma \frac{d\rho}{\rho} \right] = \text{constant} \quad (2.13)$$

Dengan menggabungkan persamaan tersebut dengan persamaan pertama dan dimasukkan ke persamaan akurasi order satu maka:

$$\frac{dp}{p} = \gamma \frac{d\rho}{\rho} \quad (2.14)$$

Persamaan (2.4), (2.7), (2.9) dan (2.14) cukup untuk menggambarkan persamaan yang dimaksud dimana menggambarkan hubungan antara 4 variabel dp/p , dV/V , dT/T dan $d\rho/\rho$ dan fraksi perubahan luasan dA/A . Dari kombinasi persamaan (2.9) dan (2.14) diberikan:

$$\frac{dT}{T} = (\gamma - 1) \frac{d\rho}{\rho} \quad (2.15)$$

yang mana dapat disubstitusikan ke persamaan (2.7) menjadi:

$$(\gamma-1) \frac{d\rho}{\rho} + \frac{V^2}{cpT} \frac{dV}{V} = 0 \quad (2.16)$$

dimana:

$$\frac{V^2}{cpT} = \frac{V^2}{cp a^2} \gamma R = \gamma \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) M^2 = (\gamma-1) M^2 \quad (2.17)$$

Sehingga persamaan (2.17) dapat ditulis:

$$\frac{d\rho}{\rho} = -M^2 \frac{dV}{V} \quad (2.18)$$

Substitusikan persamaan ini ke persamaan (2.4) sehingga

$$\frac{dA}{A} = (M^2 - 1) \frac{dV}{V} \quad (2.19)$$

atau dapat ditulis menjadi

$$\frac{dA}{A} = (M^2 - 1) \frac{A}{V} \quad (2.20)$$

Karena A dan V positif, dapat disimpulkan dari dua persamaan diatas bahwa:

1. Jika $M < 1$, jika aliran subsonic, maka dA memiliki tanda berlawanan dengan dV, penurunan luasan mengakibatkan kenaikan kecepatan dan vise versa.
2. Jika $M > 1$, jika aliran supersonic, maka dA memiliki tanda yang sama dengan dV, penurunan luasan mengurangi kecepatan dan vise versa.
3. Jika $M = 1$ kemudian $dA/dV = 0$ dan A membesar secara ekstrim. Dari (1) dan (2) mengikuti $M = 1$, A harus minimum

Dari kesimpulan diatas bahwa efek dari variasi luasan pada variable aliran (2.19) menjadi:

$$\frac{dA}{A} = (M^2 - 1) \frac{dM}{M} \frac{1}{a} \frac{dV}{dM} \quad (2.21)$$

$V = M a$, maka :

$$\frac{dV}{V} = \frac{dM}{M} + \frac{da}{a} \quad (2.22)$$

Diketahui bahwa :

$$a = \sqrt{\gamma R T} \quad \text{dan} \quad a + da = \sqrt{\gamma R (T + dT)} \quad (2.23)$$

Persamaan kedua dari persamaan ini dimasukkan ke persamaan akurasi order pertama (2.7) menjadi:

$$a + da = \sqrt{\gamma R T} \left(1 + \frac{dT}{2T} \right) \quad (2.24)$$

didapatkan

$$\frac{da}{a} = \frac{1}{2} \frac{dT}{T} \quad (2.25)$$

Substitusikan persamaan ini kedalam persamaan (2.7) maka:

$$\frac{dT}{T} = -\frac{V^2}{cpT} \frac{dV}{V} = -(\gamma - 1) M^2 \frac{dV}{V} \quad (2.26)$$

$$\frac{da}{a} = -\left(\frac{\gamma - 1}{2} \right) M^2 \frac{dV}{V} \quad (2.27)$$

Substitusikan persamaan ini kedalam persamaan (2.23) maka:

$$\frac{dM}{M} = \frac{dV}{V} \left(1 + \left(\frac{\gamma - 1}{2} \right) M^2 \right) \quad (2.28)$$

Substitusikan persamaan ini kembali ke persamaan (2.21)

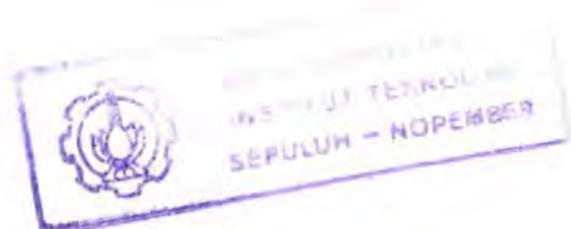
$$\frac{dA}{A} = \frac{(M^2 - 1) \frac{1}{a} \frac{V}{M} dM}{1 + \left(\frac{\gamma - 1}{2}\right) M^2} \quad (2.29)$$

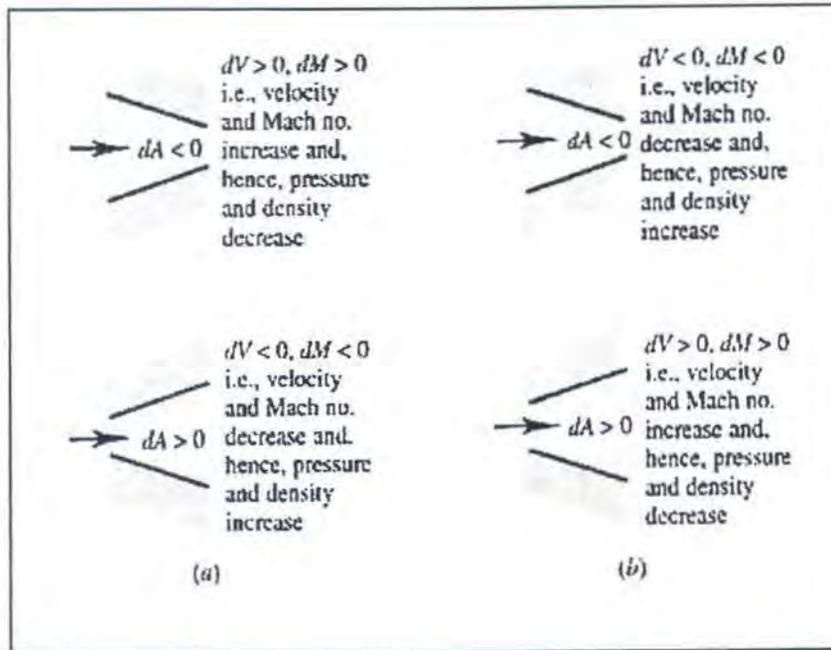
$$\frac{dA}{A} = \frac{(M^2 - 1) dM}{1 + \left(\frac{\gamma - 1}{2}\right) M^2} \quad (2.30)$$

Dari persamaan ini dapat diketahui bahwa:

1. Pada saat $M < 1$, dA memiliki tanda berlawanan dengan dM , A semakin naik, M semakin berkurang.
2. Pada saat $M > 1$, dA memiliki tanda yang sama dengan dM , A semakin naik, M semakin naik pula.
3. Pada saat $M = 1$, $dA = 0$, A minimum pada saat $M = 1$, dA menjadi 0 pada saat $dM = 0$, suatu nilai minimum pada suatu luasan dapat diasosiasikan dengan nilai maksimum atau minimum pada Mach Number.

Efek perubahan angka Mach dan kecepatan karena perbedaan luasan, dapat dilihat pada gambar (2.2) berikut ini





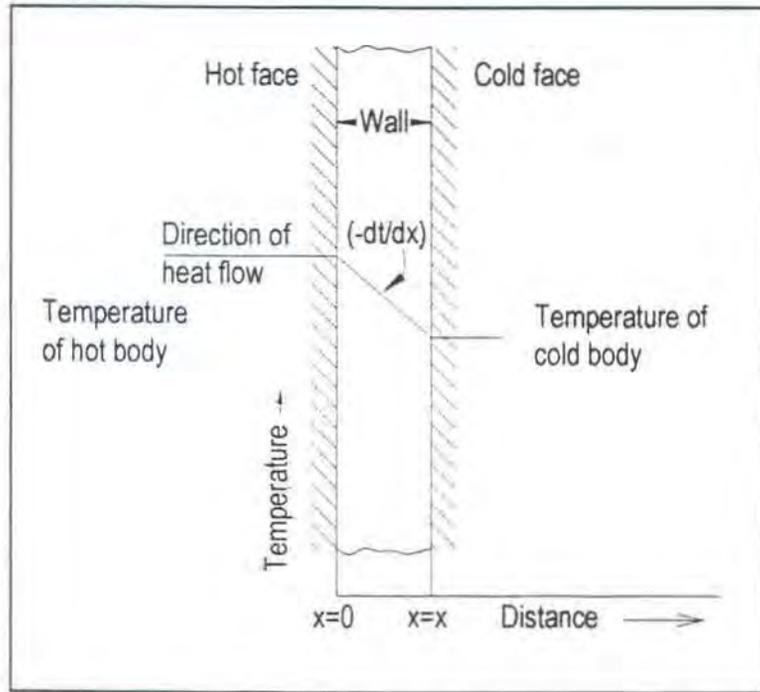
Gambar 2.2 Efek perubahan luasan pada Angka Mach dan kecepatan;
 (a) Aliran Subsonic; (b) Aliran Subsonic

2.2. Mekanisme perpindahan panas

Ada tiga cara suatu panas melalui suatu sumber ke penerima, meskipun pada aplikasi teknis yang sering terjadi adalah dua atau tiga kombinasi. Mereka adalah konduksi, konveksi dan radiasi. (*Kern, 1988*)

2.2.1. Mekanisme Perpindahan Panas

Konduksi merupakan perpindahan panas yang melalui material konstan seperti suatu dinding pada gambar (2.3). Arah panas mengalir ke arah kanan dari dinding jika permukaan dinding adalah isothermal dan body adalah homogen dan isotropic.



Gambar 2.3 Aliran panas yang melalui sebuah dinding

Asumsikan bahwa sumber panas berada di daerah kiri dinding dan penerima panas berada disebelah kanan dinding.

Bagian $-dt/dx$ disebut gradien temperatur dan memiliki tanda negatif jika temperatur didinding lebih tinggi untuk $x=0$ dan lebih rendah untuk $x=x$. Dengan kata lain, jumlah panas pada saat itu juga sebanding dengan luasan dan perbedaan temperatur dt , yang menggerakkan panas melalui dinding dengan ketebalan dx . Penempatan suatu nilai konstan k sebagai keunikan untuk menghantarkan perpindahan panas dan dikenal dengan konduktivitas thermal. Ini dihitung dengan percobaan dan dasarnya adalah persamaan (2.31).

Konduktivitas thermal dari suatu benda memiliki batasan yang lebar dari suatu nilai numerik tergantung dari kondisi benda tersebut secara relatif sebagai konduktor yang baik untuk panas seperti logam atau konduktor yang buruk seperti

asbestos. Bagian yang terakhir ini disebut isolator. Meskipun penghantaran panas biasanya diasosiasikan dengan penghantar panas suatu benda, namun bisa diaplikasikan dengan batasan tertentu untuk gas dan cair.

Konveksi adalah perpindahan panas antara bagian panas dan dingin relatif pada fluida campuran. Tujuannya agar kaleng cairan dapat ditempatkan jauh dari panas yang menyala. Cairan pada dasar kaleng menjadi panas daripada sebelum mengambil dari pemuaian panas. Cairan yang berdekatan dengan dasar kaleng menyebarkan ke bagian atas tersebut, menghubungkan bagian panas dengan mencampurkan seperti penyebaran.

Penyebaran panas dari suatu cairan panas di dasar kaleng hingga sisa isinya adalah alami atau konveksi bebas. Jika terjadi pergolakan lain, seperti menghasilkan suatu pusaran, ini merupakan gaya konveksi. Tipe perpindahan panas ini digambarkan dengan persamaan yang disadur dari bentuk persamaan konduksi dan dinyatakan dengan:

$$dQ = h A dt \quad (2.31)$$

Nilai konstanta h adalah kondisi yang dipengaruhi oleh kondisi alami suatu cairan dan ulekan yang menyertainya dan harus dievaluasi dengan percobaan. Ini disebut juga koefisien perpindahan panas. Pada saat persamaan (2.48) ditulis dalam bentuk integral, $Q = h A \Delta t$, disebut dengan Hukum Newton dari pendinginan.

Radiasi mempengaruhi perpindahan energi pemancaran dari sumber ke penerima panas. Pada saat radiasi mempengaruhi sumber dan penerima panas,

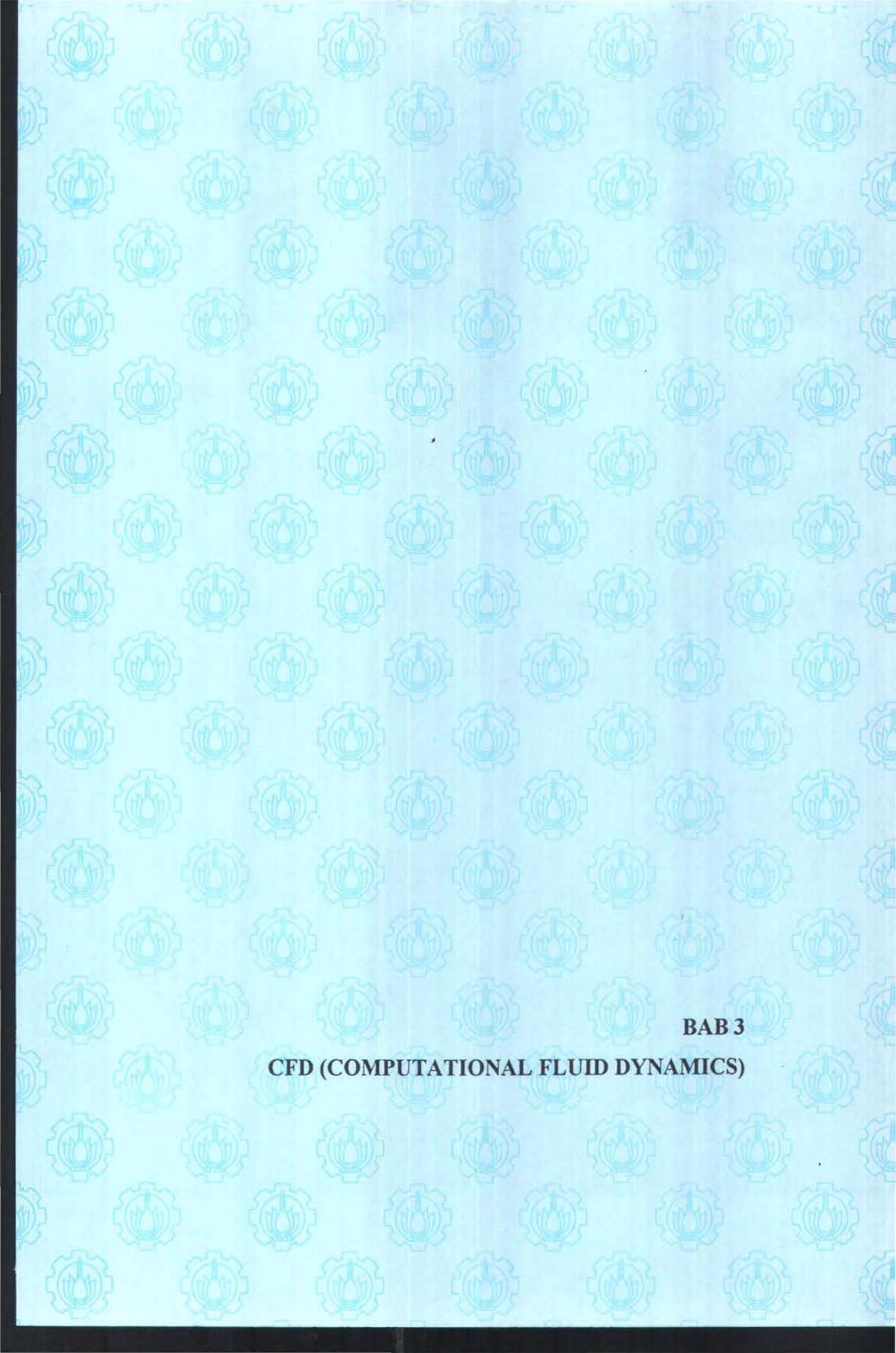
bagian energi diabsorpsi oleh penerima dan sebagian dipantulkannya. Atas dasar ini Hukum kedua Termodinamika Boltzman menyatakan besaran suatu sumber mengeluarkan panas adalah:

$$dQ = \sigma \varepsilon dAT^4 \quad (2.32)$$

Ini dikenal sebagai hukum Power keempat yang mana T adalah temperatur. σ adalah suatu bentuk konstan, tetapi ε sebagai faktor keunikan radiasi dan disebut dengan emissivitas. Emissivitas seperti halnya konduktivitas panas, k atau koefisien perpindahan panas h, harus dapat ditentukan dengan percobaan.

2.2.2 Proses perpindahan Panas

Perpindahan panas digambarkan sebagai studi terhadap angka dimana ditukarnya panas pada sumber dan penerima panas yang biasanya bekerja secara sendiri-sendiri. Proses perpindahan panas berlaku dengan angka pertukaran panas seperti yang terjadi pada peralatan teknik dan proses kimia. Pendekatan ini membawa pada fokus yang lebih baik untuk keperluan temperatur suatu sumber dan penerima panas, dimana setelah itu gaya yang menghantarkan perpindahan panas tersebut dapat diketahui. Suatu masalah biasa pada proses perpindahan panas dikonsentrasikan pada jumlah panas yang dipindahkan karena kondisi alami suatu benda, potensial yang menghantarkan, perluasan dan perencanaan pemisahan permukaan sumber dan penerima, dan jumlah energi mekanis yang dikeluarkan untuk memfasilitasi perpindahan tersebut. Selama perpindahan panas mempengaruhi pertukaran dalam sistem, kehilangan panas oleh suatu benda akan sama dengan panas yang diserap oleh yang lain dengan batasan sistem yang sama.



BAB 3

CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS)

BAB 3

CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS)

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan pendekatan ilmu sains dalam penyelesaian numerik permasalahan dinamika fluida. CFD adalah pendekatan ketiga dalam studi dan pengembangan bidang dinamika fluida selain pendekatan teori dan eksperimen murni. (ANDERSON Jr, JD, 1995. *Computational Fluid Dynamics*)

Pada abad ketujuh belas, dasar-dasar dinamika fluida eksperimental diperkenalkan di Inggris dan Perancis. Pada abad kedelapan belas dan kesembilan belas memperlihatkan pengembangan dinamika fluida secara teoritis. Kemudian sepanjang abad kedua puluh studi dan praktik dalam dinamika fluida melibatkan penggunaan teori murni disisi lainnya. Hal ini terjadi hingga awal tahun 1960-an. Pada akhirnya di tahun 1970 dikembangkan CFD dengan berbagai keterbatasan. Namun seiring dengan perkembangan, CFD modern bisa diterapkan dalam semua disiplin ilmu yang berhubungan dengan analisa aliran fluida.

Pada saat ini, terdapat banyak perangkat lunak CFD yang dapat digunakan dalam analisa fluida diantaranya FLUENT, CFX, Ansys Flotran CFD dan lainnya. Pada percobaan ini digunakan software ANSYS CFD release 5.7.

3.1 Persamaan Dasar Dinamika Fluida dalam CFD

Pada dasarnya semua jenis CFD didasarkan pada persamaan dasar (governing equations) dinamika fluida, yaitu persamaan kontinuitas,

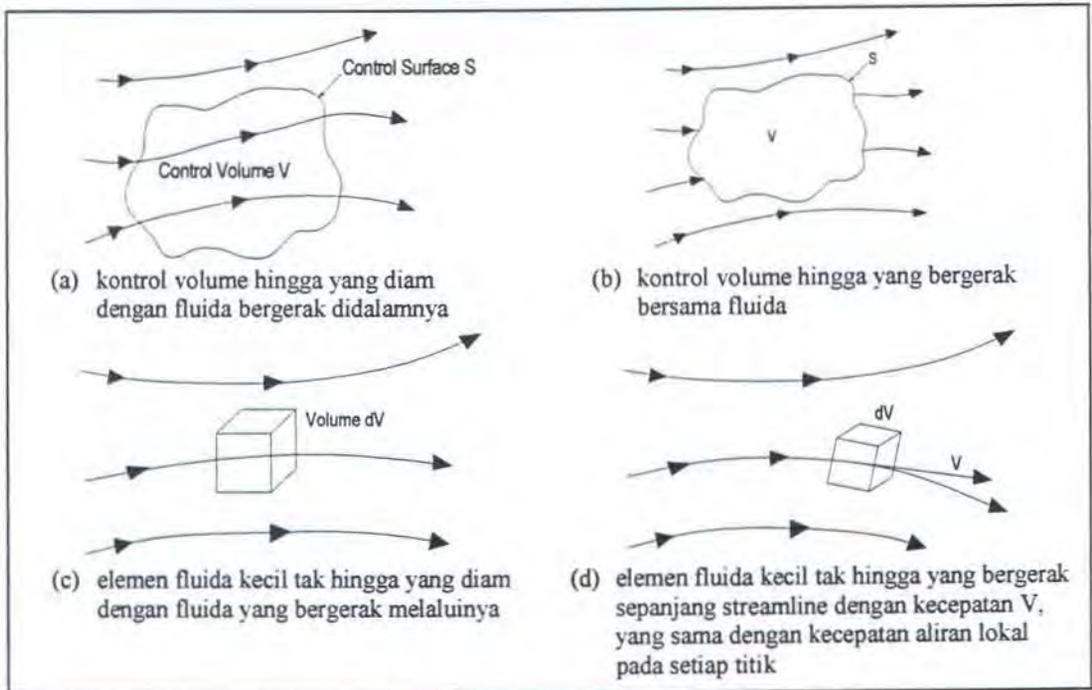
momentum dan energi. Persamaan-persamaan ini merupakan pernyataan matematis untuk tiga prinsip dasar fisika:

1. Hukum kekekalan massa (The conservation of mass)
2. Hukum kedua Newton (Newton's second law of motion)
3. Hukum kekekalan energi.

Untuk mendapatkan persamaan dasar gerak fluida, filosofi berikut ini selalu diikuti:

1. Memilih prinsip dasar fisika dasar dari hukum-hukum fisika (hukum kekekalan massa, hukum kedua Newton dan hukum kekekalan energi)
2. Menerapkan prinsip-prinsip fisika dalam model aliran.
3. Dari penerapan ini, diuraikan persamaan matematis yang meliputi prinsip-prinsip dasar fisika.

Untuk menghasilkan model aliran dapat digunakan metode kontrol volume dan metode elemen fluida seperti pada Gambar 3.1. Dari penurunan model (a) dan (c) akan didapatkan persamaan yang disebut conservation form, sedangkan dari penurunan model (b) dan (d) akan didapatkan persamaan yang disebut non conservation form. Hasil dari keempat model ini pada dasarnya akan menghasilkan persamaan yang sama, hanya dalam bentuk manipulasi matematis yang berbeda.



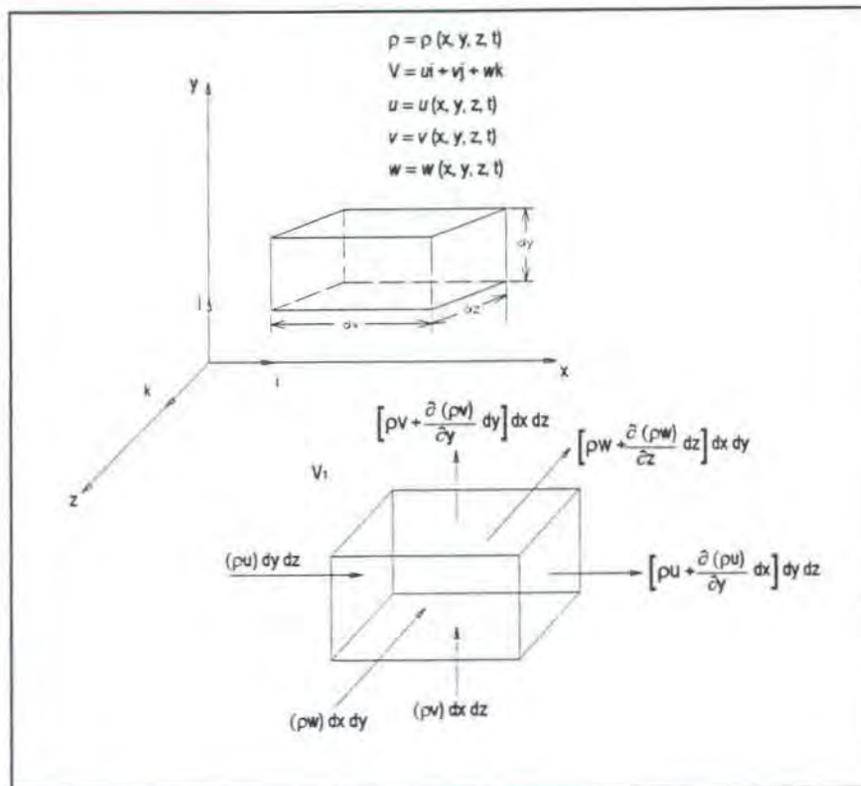
Gambar 3.1. Model-model aliran. (a & b) pendekatan kontrol volume hingga, (c & d) pendekatan elemen fluida kecil tak hingga

3.2. Persamaan aliran viscous (Persamaan Navier-Stokes)

Aliran viscous merupakan persamaan aliran yang mengikutkan persamaan aliran yang mengikutkan fenomena pemindahan gesekan/friction, konduksi/hantaran panas dan atau difusi/penyebaran massa.

3.2.1 Persamaan Kontinuitas

Pada gambar 3.1c diperlihatkan elemen kecil tak-hingga (infinitesimal fluid elemen) yang tetap dalam ruang dengan fluida yang bergerak disekitarnya. Model aliran ini secara detail terlihat pada Gambar 3.2. Dalam hal ini digunakan sistem koordinat cartesian, dengan kecepatan dan densitas merupakan fungsi dari bidang (x,y,z) dan waktu t . Elemen ini mempunyai sisi dx , dy dan dz .



Gambar 3.2. Model elemen kecil tak hingga yang tetap dalam ruang

Gambar 3.2. memperlihatkan aliran massa yang melalui elemen tetap ini. Pada permukaan kiri dan kanan (elemen yang tegak lurus terhadap sumbu x) luasan pada permukaan ini adalah $dy dz$. Aliran massa permukaan kiri adalah $(\rho u) dy dz$. Karena kecepatan dan densitas merupakan fungsi dari lokasinya di dalam ruang, maka nilai aliran massa yang melewati permukaan kanan akan berbeda dari nilai besaran massa yang melalui permukaan kiri dengan perbedaan aliran massa sebesar $[\delta(\rho u) / \delta x] dx$. Karenanya, aliran massa melalui permukaan kanan dapat dinyatakan sebagai $\{\rho u + [\delta(\rho u) / \delta x] dx\} dy dz$. Dengan cara yang sama, aliran massa yang melalui permukaan bawah dan atas, yang tegak lurus terhadap sumbu

y , adalah $(\rho v) dx dz$ dan $\{\rho v + [\delta(\rho v) / \delta x] dx\} dy dz$. Sedangkan aliran massa yang melalui permukaan depan dan belakang, yang tegak lurus terhadap sumbu z , adalah $\{\rho w + [\delta(\rho w) / \delta x] dx\} dy dz$.

Sesuai konvensi bahwa u , v , dan w bernilai positif pada arah sumbu x , y , dan z . Maka arah panah pada Gambar 3.2. menunjukkan kontribusi aliran massa masuk dan keluar melalui sisi-sisi elemen tetap. Aliran keluar massa dengan nilai positif akan didapatkan sebagai:

Aliran keluar-bersih (net outflow) dalam arah x :

$$\left[\rho u + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} dx \right] dy dz - (\rho u) dy dz = \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} dx dy dz \quad (3.1)$$

Aliran Keluar-bersih dalam arah y :

$$\left[\rho v + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} dy \right] dx dz - (\rho v) dx dz = \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} dx dy dz \quad (3.2)$$

Aliran keluar-bersih dalam arah sumbu z :

$$\left[\rho w + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} dz \right] dx dy - (\rho w) dx dy = \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} dx dy dz \quad (3.3)$$

Maka aliran massa-bersih yang keluar dari elemen adalah :

$$\text{Aliran massa bersih} = \left[\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho z)}{\partial z} \right] dx dy dz \quad (3.4)$$

Massa total fluida elemen kecil tak-hingga adalah $\rho (dx dy dz)$, maka peningkatan massa dalam ukuran waktu (*time rate*) tertentu dalam elemen adalah :

$$\text{Peningkatan massa terhadap waktu} = \frac{\partial \rho}{\partial t} (dx dy dz) \quad (3.5)$$

Prinsip fisika menyatakan bahwa massa adalah kekal (*mass is conserve*), saat diterapkan untuk elemen-tetap dalam Gambar. 3.2 bisa digambarkan dalam pernyataan berikut : aliran massa-bersih yang keluar dari elemen harus sama dengan *pengurangan* massa dalam elemen dalam ukuran waktu tersebut.

Menandai pengurangan massa dengan besaran negatif, pernyataan ini bisa dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$\left[\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho z)}{\partial z} \right] dx dy dz = - \frac{\partial \rho}{\partial t} (dx dy dz) \quad (3.6)$$

atau

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \left[\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho z)}{\partial z} \right] = 0 \quad (3.7)$$

Pada persamaan 2.23, variabel dalam kurung merupakan $\nabla \cdot (\rho V)$, maka persamaan 3.7 menjadi :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0 \quad (3.8)$$

Dalam koordinat Cartesian, operator vektor ∇ didefinisikan sebagai :

$$\nabla = i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z} \quad (3.9)$$

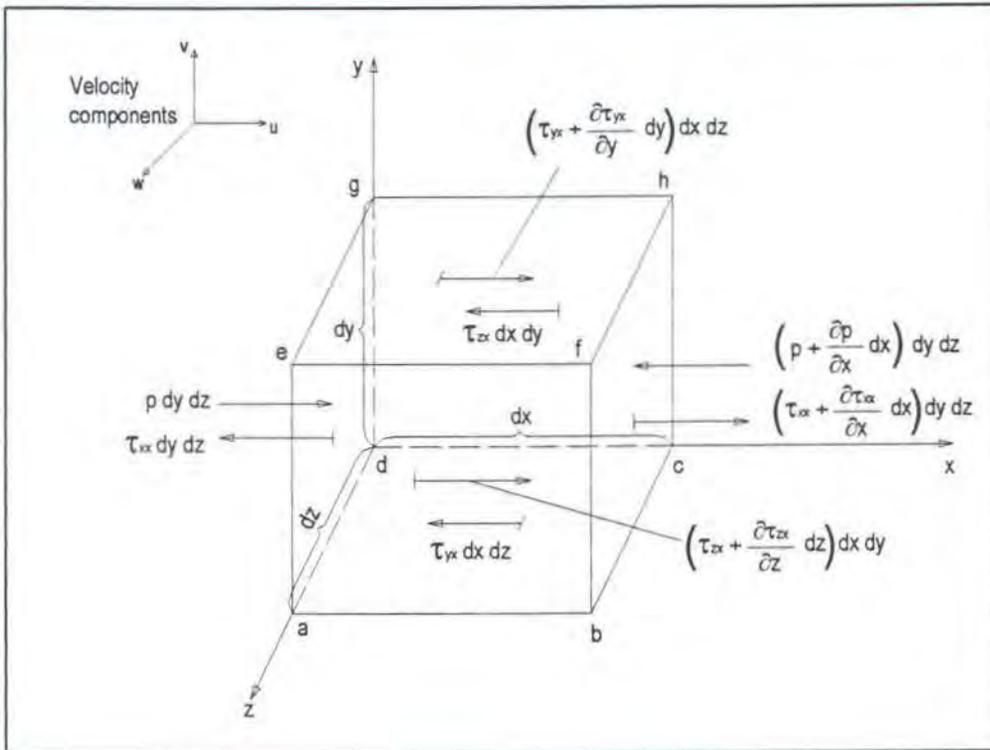
V adalah vektor kecepatan dalam koordinat Cartesian

$$\mathbf{V} = u\mathbf{i} + v\mathbf{j} + w\mathbf{k} \quad (3.10)$$

$\nabla \cdot V$ disebut sebagai *convective derivative*, yang secara fisik merupakan ukuran waktu terjadinya perubahan karena pergerakan elemen fluida dari suatu lokasi ke lokasi lainnya dalam bidang aliran, yang kondisinya relatif berbeda.

3.2.2 Persamaan Momentum

Dalam bagian ini, diterapkan prinsip dasar fisika yang lain kedalam model aliran, yaitu hukum Newton kedua. Seperti pada bagian A, disini digunakan model elemen fluida kecil tak hingga dengan fluida bergerak disekelilingnya. Model ini diperlihatkan dengan lebih jelas pada gambar berikut:



Gambar 3.3. Gaya-gaya yang bekerja pada sumbu x pada elemen fluida kecil tak hingga yang bergerak.

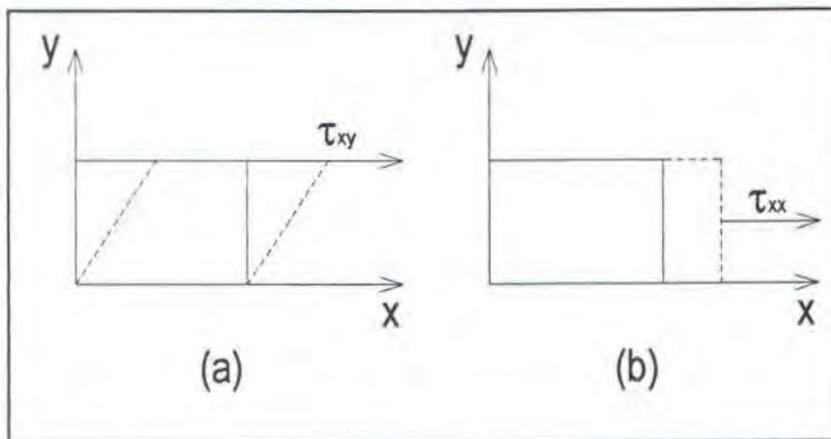
Hukum kedua Newton dalam arah x dapat ditulis sebagai berikut:

$$F_x = m a_x \quad (3.11)$$

F_x dan a_x adalah komponen skalar arah x untuk gaya dan percepatan.

Pada elemen fluida yang bergerak akan timbul gaya, dimana sumber gaya tersebut adalah:

1. Gaya badan (body forces), yang akan berlaku langsung pada volume massa dari elemen fluida. Gaya-gaya ini “berlaku pada jarak tertentu”, contohnya adalah gaya gravitasi, listrik dan magnetik.
2. Gaya permukaan, yang berlaku langsung pada permukaan fluida. Gaya permukaan timbul karena adanya distribusi tekanan yang berlaku pada permukaan, disebabkan oleh fluida luar yang mengelilingi elemen fluida, dan distribusi tegangan geser dan normal yang berlaku pada permukaan, juga disebabkan oleh fluida luar yang “mendorong” permukaan dalam bentuk gesekan.



Gambar 3.4. (a) tegangan geser (berkaitan dengan tingkat perubahan deformasi) dan (b) tegangan normal (berkaitan dengan tingkat perubahan volume)

Gaya badan perunit massa pada elemen fluida ditandai sebagai f , dan f_x sebagai f_x sebagai komponen gaya badan perunit massa yang searah sumbu x . Volume adalah $(dx dy dz)$, sehingga:

$$\text{Gaya badan pada elemen fluida searah sumbu } x = \rho f_x (dx dy dz) \quad (3.12)$$

Tegangan normal dan geser dalam fluida terkait dengan tingkat perubahan (terhadap waktu) dari deformasi elemen fluida, seperti terlihat dalam gambar 3.4 (hanya untuk bidang xy). Tegangan geser, ditandai dengan τ_{xy} , berkaitan dengan deformasi pergeseran, sedangkan tegangan normal (τ_{xx}) berkaitan dengan tingkat perubahan volume dari elemen fluida. Sebagai hasilnya, baik tegangan geser maupun tegangan normal tergantung pada tingkat perubahan kecepatan dalam aliran. Dalam kebanyakan aliran viscous, tegangan normal seperti (τ_{xx}) jauh lebih kecil daripada tegangan geser dan seringkali diabaikan. Tegangan normal menjadi penting saat gradien kecepatan normal (misalnya $\partial x/\partial y$) nilainya sangat besar, seperti dalam gelombang kejut.

Gaya-gaya permukaan dalam arah- x diperlihatkan dalam Gambar 3.3. Disini diberlakukan konvensi bahwa τ_{ij} menandai tegangan dalam arah j dan berlaku dalam bidang tegak lurus terhadap sumbu i . Pada permukaan $abcd$, gaya satu-satunya dalam arah x berhubungan dengan tegangan geser, yaitu $\tau_{yz} dx dz$. Permukaan $efgh$ merupakan jarak dy diatas permukaan $abcd$, sehingga gaya geser pada arah x di permukaan $efgh$ adalah $[\tau_{yz} + (\delta\tau_{yx} / \delta y) dy] dx dz$ dengan arah ke kanan (positif terhadap arah- x). Perlu ditekankan bahwa arah tegangan geser pada permukaan $abcd$ dan $efgh$ dipermukaan bawah, yaitu τ_{yx} arahnya ke kiri (negatif sumbu x), sedangkan pada permukaan atas, $\tau_{yz} + (\delta\tau_{yx} / \delta y) dy$ arahnya kekanan. Arah-arrah ini konsisten dengan konvensi bahwa nilai-nilai positif meningkat pada keseluruhan tiga komponen kecepatan, u , v , dan w terjadi pada arah positif sumbu. Sebagai contoh, dalam Gambar 3.3, u meningkat dalam arah y -positif. Kemudian,

pada permukaan $efgh$, u sedikit lebih tinggi diatas permukaan daripada di permukaan, hal ini menyebabkan aksi penarikan (tugging) yang mencoba untuk mendorong elemen fluida ke arah x-positif. Sebaliknya, pada permukaan $abcd$, u sedikit di bawah permukaan daripada di permukaan, hal ini menyebabkan aksi pergeseran pada elemen fluida, yang terjadi pada arah x-negatif.

Arah-arrah dari seluruh tegangan viscous diperlihatkan dalam Gambar 3.3, termasuk τ_{xx} , bisa disusun dengan cara yang sama. Khusus di permukaan $dcgh$, τ_{zx} berlaku pada arah x-negatif, sedangkan pada permukaan $abfe$, $\tau_{zx} + (\delta\tau_{zx}/\delta z)dz$ berlaku pada arah x-positif. Dipermukaan $adhe$, yang tegak lurus terhadap sumbu x , gaya satu-satunya pada arah-x adalah gaya tekan $p dy dz$, yang selalu beraksi pada arah ke dalam elemen fluida, dan $\tau_{xx} dy dz$, yang menuju ke arah x-negatif. Pada Gambar 3.3, alasan kenapa τ_{xx} berada dalam permukaan $adhe$ adalah sebagai “engsel kiri” (left hinges) pada konvensi yang telah disepakati sebelumnya sebagai arah penambahan kecepatan. Disini sesuai konvensi, peningkatan positif dalam u adalah menuju ke arah x-positif. Karenanya, nilai u pada permukaan kiri $adhe$ lebih kecil daripada nilai u pada permukaan itu sendiri. Sebagai hasilnya, aksi viscous pada tegangan normal berlaku sebagai suatu “hisapan” pada permukaan $adhe$, yaitu ada aksi pergeseran ke arah kiri yang ingin memperlambat gerak elemen fluida. Kebalikannya, pada permukaan $bcgf$, gaya tekan $[p + (\delta p/\delta x) dx] dy$ ditekan kedalam pada elemen fluida (dalam arah x-negatif), dan karena nilai u pada sisi kanan permukaan $bcgf$ lebih besar daripada nilai u di permukaan, terjadi “pengisapan” karena tegangan normal viscous yang mencoba untuk mendorong elemen ke kanan (dalam arah x-positif) dengan gaya setara

dengan $[\tau_{xx} + \delta\tau_{xx} / \delta x] dx] dy dz$. Dengan kerangka pikir seperti diatas, untuk elemen fluida yang bergerak ditulis:

Gaya permukaan bersih dalam arah x :

$$\left[\rho - \left(\rho + \frac{\partial \rho}{\partial x} dx \right) \right] dydz + \left[\left(\tau_{xx} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} dx \right) - \tau_{xx} \right] dydz + \quad (3.13)$$

$$\left[\left(\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy \right) - \tau_{yx} \right] dx dz + \left[\left(\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz \right) - \tau_{zx} \right] dx dy \quad (3.14)$$

Gaya total dalam arah x , F_x , diberikan oleh penjumlahan persamaan 3.13 dan 3.14, didapatkan :

$$F_x = \left[-\frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right] dx dy dz + \rho f_x dx dy dz \quad (3.15)$$

Massa elemen fluida yaitu :

$$m = \rho dx dy dz \quad (3.16)$$

Percepatan elemen fluida adalah tingkat perubahan waktu dari kecepatan.

Karenanya, komponen percepatan dalam arah $-x$ (a_x), secara sederhana merupakan perubahan u terhadap waktu sejak kita mengikuti elemen fluida yang bergerak. Tingkat perubahan terhadap waktu ini diberikan oleh *derivative* dasar sebagai berikut :

$$a_x = \frac{Du}{Dt} \quad (3.17)$$

Dengan menggunakan persamaan 3.11, 3.15, 3.16, dan 3.16, maka didapatkan :

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_x \quad (3.18)$$

yang merupakan komponen x dari persamaan momentum untuk aliran *viscous*.

Dengan cara yang sama, komponen y dan z bisa didapatkan sebagai berikut :

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_y \quad (3.19)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_z \quad (3.20)$$

Persamaan 3.18, 3.19, dan 3.20 merupakan persamaan partial differential yang didapatkan langsung dari penerapan prinsip fisika dasar terhadap elemen fluida kecil tak-hingga. Karena elemen fluida ini bergerak dengan fluida, maka persamaan 3.18 sampai 3.20 merupakan bentuk nonconservation. Persamaan-persamaan ini merupakan persamaan skalar dan disebut sebagai persamaan Navier-Stokes.

Persamaan Navier-Stokes bisa didapatkan dalam bentuk conservative sebagai berikut. Sisi kiri persamaan 3.18 ditulis dalam bentuk derivative dasar :

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho \nabla \cdot \nabla u \quad (3.21)$$

Juga diketahui bentuk derivatif berikut : $\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} = \rho \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial t}$, maka

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = \rho \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} - u \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (3.22)$$

Menggunakan identitas vektor untuk men-divergen-kan hasil skala dikalikan dengan vektor, didapatkan $\nabla \cdot (\rho u \mathbf{V}) = u \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) + (\rho \mathbf{V}) \cdot \nabla u$ atau dapat ditulis sebagai :

$$\rho \mathbf{V} \cdot \nabla u = \nabla \cdot (\rho u \mathbf{V}) - u \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) \quad (3.23)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 3.22 dan 3.23 kedalam persamaan 3.21,

didapatkan :
$$\rho \frac{Du}{Dv} = \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} - u \frac{\partial \rho}{\partial t} - u \nabla \cdot (\rho V) + \nabla \cdot (\rho u V)$$

$$\rho \frac{Du}{Dv} = \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} - u \left[\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) \right] + \nabla \cdot (\rho u V) \quad (3.24)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 3.8 kedalam persamaan 3.24, didapatkan :

$$\rho \frac{Du}{Dv} = \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u V) \quad (3.25)$$

Substitusi persamaan 3.25 ke 3.18 menghasilkan :

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u V) = - \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_x \quad (3.26)$$

Dengan cara yang sama persamaan 3.19 dan 3.20 menjadi :

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u V) = - \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_y \quad (3.27)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u V) = - \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_z \quad (3.28)$$

Persamaan 3.26 sampai 3.28 adalah persamaan Navier-Stokes dalam bentuk *conservation*.

Pada akhir abad 17, Isaac Newton menyatakan bahwa tegangan geser pada fluida adalah proposional terhadap tingkat waktu regangan (strain), yaitu gradien kecepatan. Beberapa fluida disebut fluida *newtonian* (fluida yang nilai τ -nya tidak proporsional terhadap gradien kecepatan adalah fluida non-newtonian, darah contohnya). Dalam kebanyakan praktik aerodinamika, fluida bisa diasumsikan sebagai newtonian. Untuk fluida ini, Stokes mendapatkan :

$$\tau_{xx} = \lambda(\nabla \cdot V) + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \quad (3.29)$$

$$\tau_{yy} = \lambda(\nabla \cdot V) + 2\mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (3.30)$$

$$\tau_{zz} = \lambda(\nabla \cdot V) + 2\mu \frac{\partial u}{\partial z} \quad (3.31)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left[\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right] \quad (3.32)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left[\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial x} \right] \quad (3.33)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left[\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z} \right] \quad (3.34)$$

Untuk μ adalah koefisien viskositas molekul λ adalah koefisien viskositas kedua. Stokes membuat hipotesis bahwa $\lambda = -(2/3)\mu$, Yang seringkali digunakan tapi belum didefinisikan dengan jelas hingga sekarang.

Substitusi persamaan 3.29 ~ 3.34 ke persamaan 3.26 ~ 3.28 didapatkan persamaan lengkap Navier~Stokes sebagai berikut

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \nabla \cdot V + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \\ \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \rho f_x \end{aligned} \quad (3.35)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \\ \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\lambda \nabla \cdot V + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] + \rho f_y \end{aligned} \quad (3.36)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u w)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} + \frac{\partial(\rho v w)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \nabla \cdot \mathbf{v} + 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] + \rho f_z \quad (3.37)$$

3.3. ANSYS Flotran CFD 5.7

Dalam penyelesaian pemodelan ini menggunakan ANSYS Flotran CFD release 5.7 yang terdiri dari 3 tahap, yaitu Preprocessor, Solution (Flow Solver), dan General Postprocessor.

A. Preprocessor

Pada tahapan ini dilakukan langkah utama sebagai berikut:

1. Element Type : pemilihan type elemen fluida yang akan dilakukan, yaitu elemen Fluid 141 untuk permasalahan yang diselesaikan dengan pendekatan elemen dua dimensi dan Fluid 142 untuk tiga dimensi.
2. Modelling : pendefinisian geometri dari model yang dibuat dengan domain fluida yang sesuai dengan kebutuhan.
3. Meshing : membagi model dan domain fluida yang telah dibuat menjadi sejumlah elemen, penentuan tingkat kerapatannya, dan penentuan bentuk elemen serta sifat meshing.

B. Solution

Pada tahap ini terdiri dari dua input utama yaitu masukan untuk kondisi batas dan properties dari model (flotran setup)

I. Loads

Menentukan harga kecepatan dan tekanan pada batas-batas model dan domain fluida yang telah dibuat.

2. Flotran Set up

- a. Solution options : - steady state atau transient
- b. Execution control : penentuan jumlah iterasi dan tingkat konvergensi.
- c. Additional output : hasil tambahan yang ingin diketahui besarnya. Misalnya koefisien tekanan dan tegangan geser.
- d. Penentuan sifat-sifat fluida yaitu density dan viscosity.
- e. Flow environment : penentuan acuan tekanan.

3. Run Flotran

Setelah semua input dimasukkan, maka pemodelan untuk simulasi ini dijalankan (proses running). Selama proses running berlangsung semua informasi iterasi ditampilkan oleh ANSYS output secara kontinyu. Iterasi akan berhenti sampai mencapai jumlah iterasi yang ditentukan atau sampai mencapai tingkat konvergensi yang telah ditentukan.

C. General Postproc

Hasil dari proses running merupakan data-data numerik dari kecepatan dan tekanan pada tiap-tiap nodal. Hasil-hasil tersebut bisa ditampilkan dalam bentuk visualisasi dan animasi. Additional output (hasil tambahan) juga bisa didapatkan sesuai dengan yang diminta pada tahap solution.

Tahap Validasi

1. Konvergensi

Pada proses iterasi perhitungan akan selalu dikontrol dengan persamaan pengendali. Proses dikatakan baik jika variabel-variabelnya tidak mengalami perubahan yang besar atau grafik iterasi berfluktuasi secara stabil.

2. Grid Independence

Banyaknya elemen yang kita gunakan dalam perhitungan akan menentukan keakuratan hasil yang diperoleh. Tetapi tidak selamanya dengan jumlah elemen yang banyak akan menambah keakuratan hasil perhitungan. Dengan demikian pengguna dituntut untuk dapat menentukan jumlah elemen yang optimum, agar waktu dan memori komputer yang terpakai tidak terlalu besar.

3. Verifikasi dengan teori atau data lain

Hasil perhitungan dengan pendekatan CFD dibandingkan dengan teori atau data lain yang sudah ada untuk mengetahui tingkat keakurasiannya.

Verifikasi memberikan dua hasil:

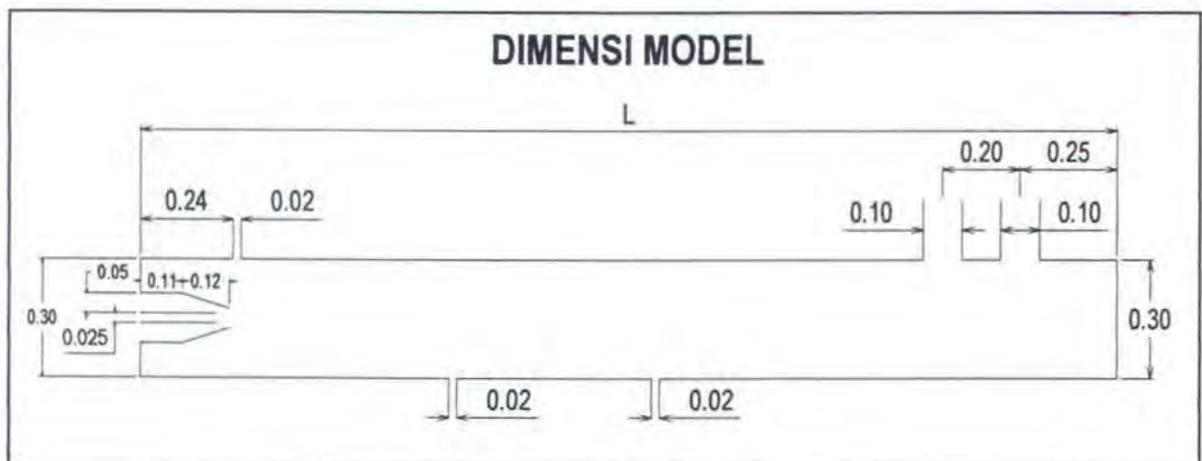
- Menunjukkan kualitas suatu hasil (tanpa kesalahan pengetesan);
- Menunjukkan kualitas model secara teori (bentuk eksperimen dari suatu kondisi batas)

3.4 Pemodelan vacuum unit 2D

Permasalahan ini adalah analisa transfer udara sisa dalam vacuum unit dengan pendekatan 2D dari hasil pembuangan proses sand blasting yang biasanya dilakukan pada lambung kapal tanker. Distribusi udara dalam vacuum unit diharapkan dapat mengurangi kecepatan udara yang keluar mengingat kecepatan yang dihasilkan dari proses cukup tinggi. Begitu pula temperatur yang dihasilkan diperkirakan kurang aman karena masih panas. Langkah pembuatan model yaitu:

1. Tahap Preprocessor

- Type Element : FLUID 141
- Geometri: Pemodelan dilakukan bertahap dengan pembagian area yang dianggap perlu atau dibuat untuk mempermudah proses meshing, mengingat adanya boundary condition pada bagian dalam sistem. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3. berikut ini.



Gambar 3.5 Dimensi pemodelan vacuum unit

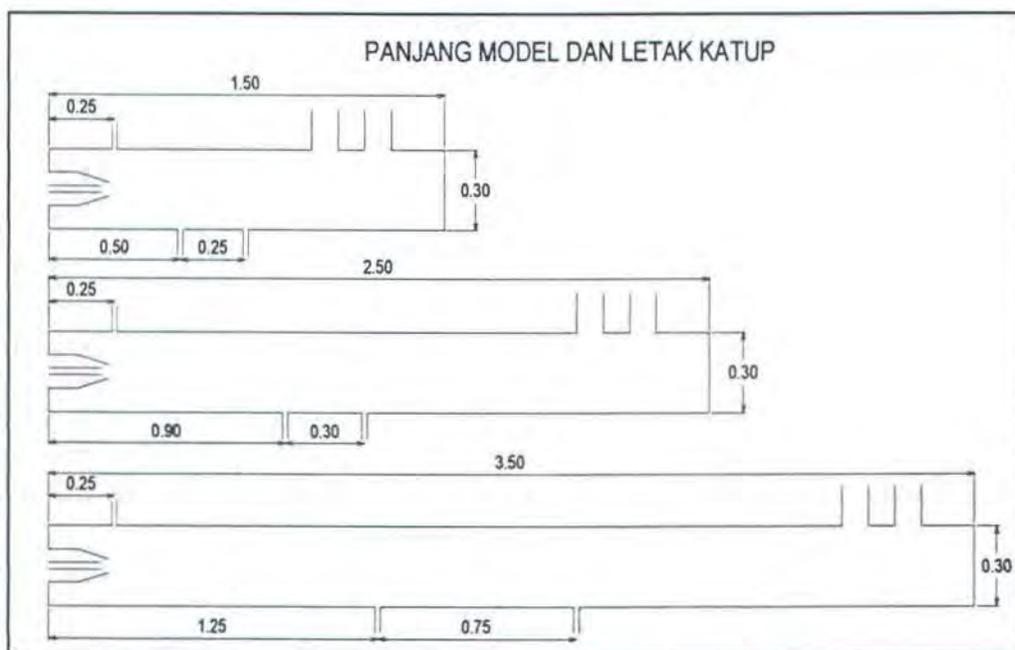
Kemudian untuk variasi model ini berdasarkan panjang model dan dapat dilihat pada Tabel 3.1

Model	Lebar (B) [m]	Panjang (L) [m]
1	0.3	1.5
2*	0.3	2.5
3	0.3	3.5

*Panjang model sebenarnya

Tabel 3.1. Geometri pemodelan vacuum unit

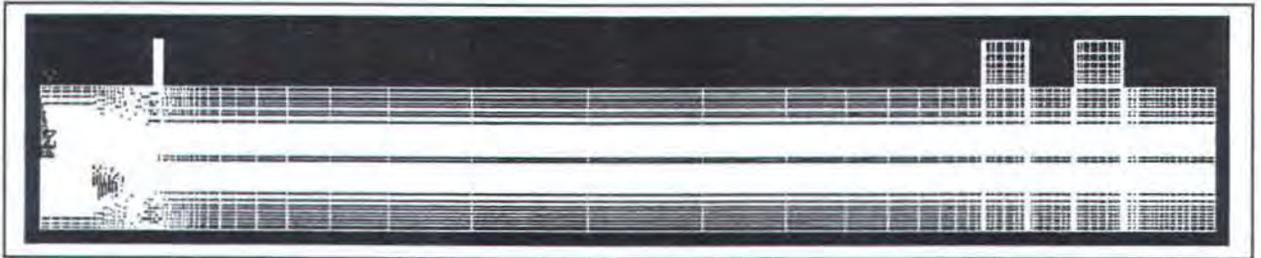
Ukuran panjang model 1 merupakan pengurangan 1 m dari panjang model sebenarnya. Dan model 3, penambahan dari model sebenarnya.



Gambar 3.6 Pemodelan vacuum unit dengan 3 variasi

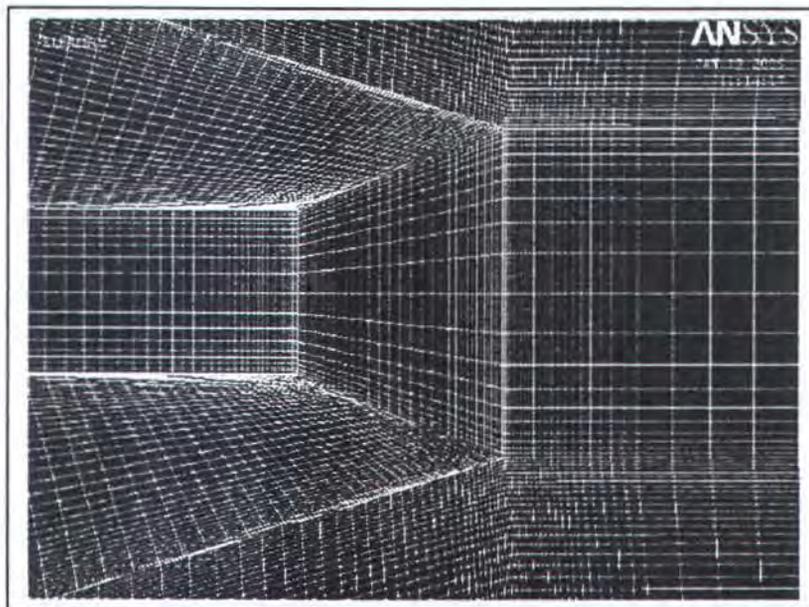
Percobaan dilakukan dengan variasi panjang dan jumlah katup untuk menunjukkan ada atau tidaknya pengaruh keberadaan katup terhadap hasil perconbaan.

- Meshing, yaitu membagi geometri model dengan elemen-elemen seperti pada metode elemen hingga.

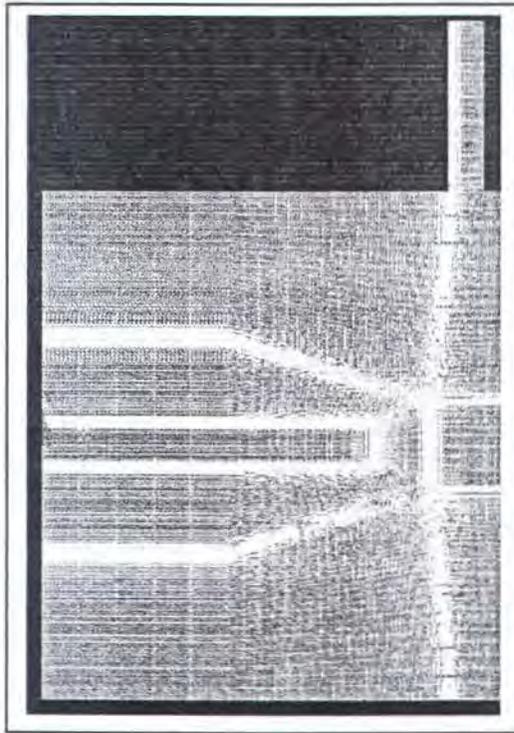


Gambar 3.7 Gambar model meshing aplikasi ANSYS 5.7 dengan 1 katup

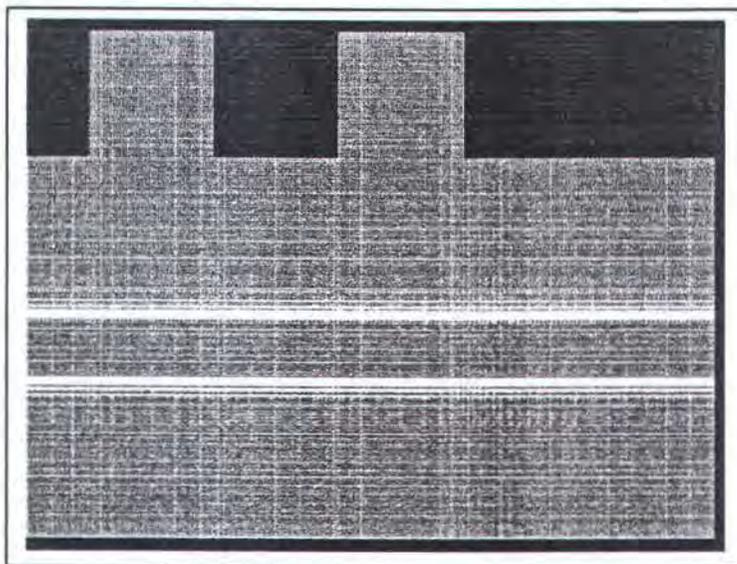
Bentuk elemen yang digunakan kotak dengan pembagian yang semakin mengecil terutama untuk daerah-daerah belokan supaya mendapatkan ketelitian dititik-titik tersebut tinggi. (dapat dilihat pada Gambar 3.10, gambar 3.11 dan gambar 3.12).



Gambar 3.8. Meshing pada daerah belokan tinggi



Gambar 3.9. Meshing pada daerah ujung depan sistem vacuum unit



Gambar 3.10. Meshing pada daerah ujung belakang sistem vacuum unit

- Loads, pemberian kondisi batas dengan harga tertentu yaitu untuk harga kecepatan atau tekanan pada batas-batas geometri.

Pada batas inflow dan side,

Dinding inlet, p = tekanan dari kompresor = 10 bar dan tekanan dari vacuum pot 1 atm = 1.01325 bar

Dinding aliran langsung selain inlet dan outlet = 0 m/s

Dinding untuk katup pressure = 0

Dinding outlet, pressure = 0

▪ Flotran Set-up

- Solution options : steady state, thermal, turbulent, incompressible.

Dipilih aliran turbulent karena kecepatan yang dipakai cukup tinggi sehingga aliran cenderung untuk terjadi turbulent

- Execution control : $P = 0.001$

- Additional output : Hasil output tambahan yang diinginkan. Semakin banyak output tambahan yang dipilih akan semakin lama pula waktu untuk proses iterasi.

- Fluid properties = gas (udara)

- Run, model yang sudah di set tersebut di run untuk mendapatkan hasil (output berupa data-data numerik, untuk menghitung kecepatan, tekanan dan perubahan temperatur). Hasil berupa kecepatan dan perubahan temperatur.

- General PostProcessor

Pada bagian ini, akan diambil hasil running berdasarkan step yang mana yang akan diambil. Untuk percobaan ini diambil step yang terakhir (last step) untuk mendapatkan besarnya tekanan dan temperatur pada beberapa node yang diambil.

BAB 4
ANALISA HASIL



BAB 4

ANALISA HASIL

4.1. Grid Independence

Tujuan dari proses grid independence, yaitu untuk mendapatkan jumlah elemen hingga dalam bentuk mapped atau free yang efektif, yaitu data yang dihasilkan mempunyai keakurasian yang baik serta jumlah elemen terpakai efisien, yaitu tidak memakan waktu yang lama dalam proses iterasi dan tidak membutuhkan space harddisk yang sangat besar.

Pengujian dilakukan dengan berbagai variasi jumlah elemen antara lain 4950, 18900, 33075. Elemen-elemen ini memiliki perbandingan pembagian elemen yang linier dan different ratio yang tetap sehingga besar penyebaran node pada setiap pemodelan tetap.

Hasil pengujian grid independence disajikan dalam tabel (4.1) dan gambar (4.1) berikut ini:

	jumlah elemen [n]			Ratio [%]	
	4950	18900	33075	4950 ~ 18900	18900 ~ 33075
V_1 [m/s]	6.7283	13.9142	13.6544	106.802	-1.867
V_2 [m/s]	6.4070	11.4856	11.3595	79.268	-1.10
$V_{campuran}$ [m/s]	3.2035	5.7428	5.6797	79.27	-1.098

Tabel 4.1. Grid Independence



Gambar 4.1 Grafik pengaruh jumlah elemen dan kecepatan keluaran percobaan

Dari Tabel 4.1 dan Gambar 4.1 diatas menunjukkan, bahwa elemen dengan jumlah 18900 memiliki perbedaan hasil output kecepatan dengan penambahan jumlah elemen 33075. Hal ini ditandai dengan besar slope yang kecil yaitu sebesar -1.867 %. Hal ini tidak terjadi pada elemen yang sebelumnya yang cenderung terjadi slope yang lebih besar (79 %).

4.2. Data dan waktu iterasi

Proses running dilakukan dengan menggunakan fasilitas komputer dengan spesifikasi yaitu Processor Pentium 4-1.6 GHz, kapasitas hard disk 40 GB dengan space hard disk yang masih kosong ± 23 GB dan memori sebesar 256 MB.

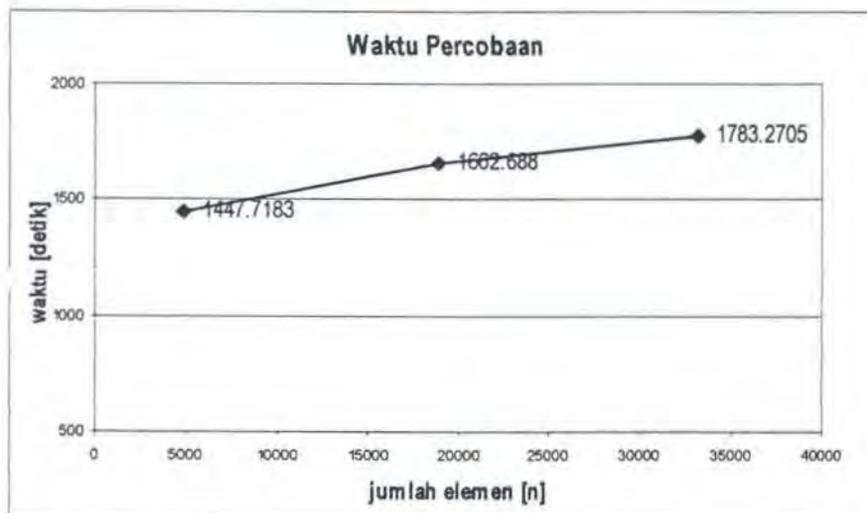
Proses running berhenti dengan tingkat konvergensi $10^{-3} \sim 10^{-5}$ atau iterasi telah mengalami kestabilan. Model yang menggunakan jumlah elemen yang semakin besar akan membutuhkan waktu running yang lama. Walaupun pada kondisi ini semakin besar jumlah elemen terpakai semakin banyak pula node yang

dihasilkan untuk pengambilan data yang diinginkan. Hal ini juga akan mempengaruhi tingkat ketelitian percobaan numerik tersebut. Namun untuk proses running dengan jumlah elemen yang besar akan membutuhkan waktu yang cukup lama. Untuk itu, kita harus mengambil nilai efektif dari proses tersebut dengan mengoptimalkan jumlah elemen namun tidak mengurangi hasil yang didapat.

Dari hasil running program dengan jumlah elemen 33075 yaitu 1.0275 kali lebih lama daripada jumlah elemen 18900, dengan hasil yang cenderung sama. Sehingga model dengan jumlah elemen 18900 yang digunakan untuk *running* berikutnya dengan variasi kecepatan yang berbeda.

	jumlah elemen		
	4950	18900	33075
CPU time (s)	1447.718	1662.688	1783.271

Tabel 4.2 Waktu pelaksanaan running program untuk 3 jumlah elemen yang berbeda



Gambar 4.2 Pengaruh jumlah elemen dan waktu percobaan

4.3. Hasil analisa perubahan tekanan dan suhu yang terjadi pada model vacuum unit.

Dari hasil running CFD didapatkan hasil berupa kecepatan terhadap sumbu x dan sumbu y pada masing-masing node di dinding yang dicari. Untuk mencari masing-masing besarnya kecepatan masing-masing node diambil resultannya (kecepatan adalah besaran vektor). Sehingga untuk mengetahui besar dan arah kecepatan, kita menggunakan resultan V_x dan V_y

$$V_x = \sqrt{V_{x_1}^2 + V_{x_2}^2 + \dots + V_{x_n}^2} \quad (4.1)$$

$$V_y = \sqrt{V_{y_1}^2 + V_{y_2}^2 + \dots + V_{y_n}^2} \quad (4.2)$$

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (4.3)$$

dan arah kecepatan

$$\alpha = \text{Arc Tan} \left(\frac{V_y}{V_x} \right) \quad (4.4)$$

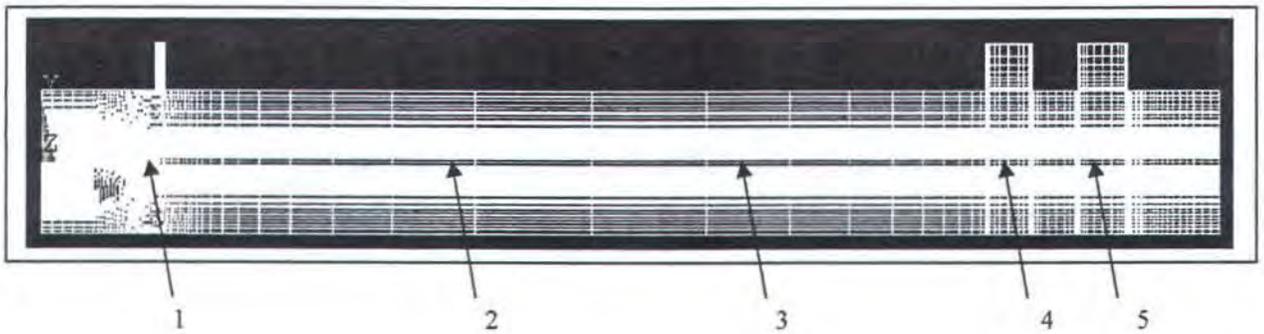
Output yang diambil dalam sistem ini adalah node-node yang berada di tengah model (5 node) dan 2 dinding output yang besarnya tekanan dan suhu diukur dan diambil adalah rata-rata dari nilai keduanya. Demikian juga kecepatan pada node di saluran dari vacuum pot ke vacuum unit

$$P = \frac{\sum_{n=1}^n P}{n} \quad (4.5)$$

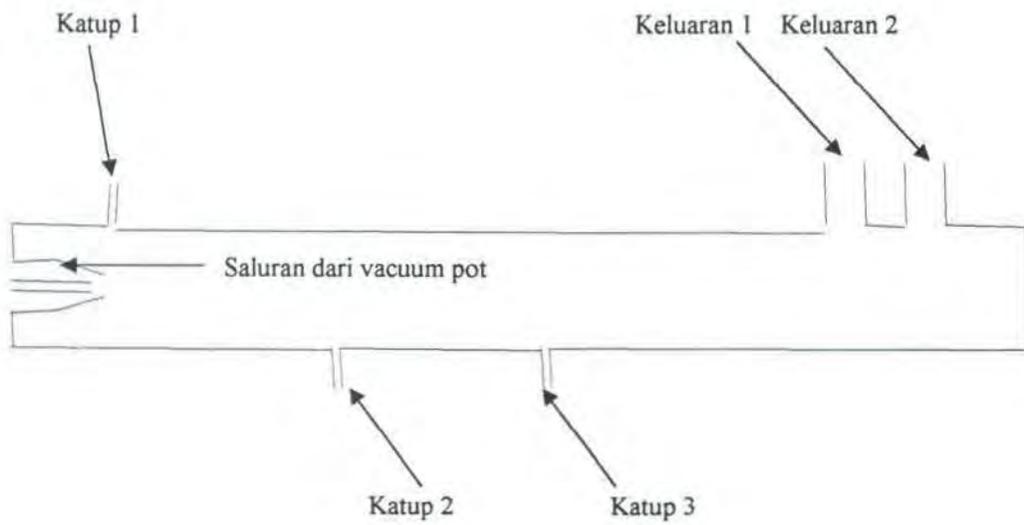
$$T = \frac{\sum_{n=1}^n T}{n} \quad (4.6)$$

Hasil percobaan numerik dengan CFD

Data tekanan maupun suhu diambil terhadap beberapa node sesuai anak panah yang dipilih seperti yang terlihat pada gambar (4.3) berikut :



Gambar 4.3. Letak node-node dalam sistem yang diambil data tekanan dan suhunya



Gambar 4.4. Letak keluaran dari sistem yang diambil data kecepatannya

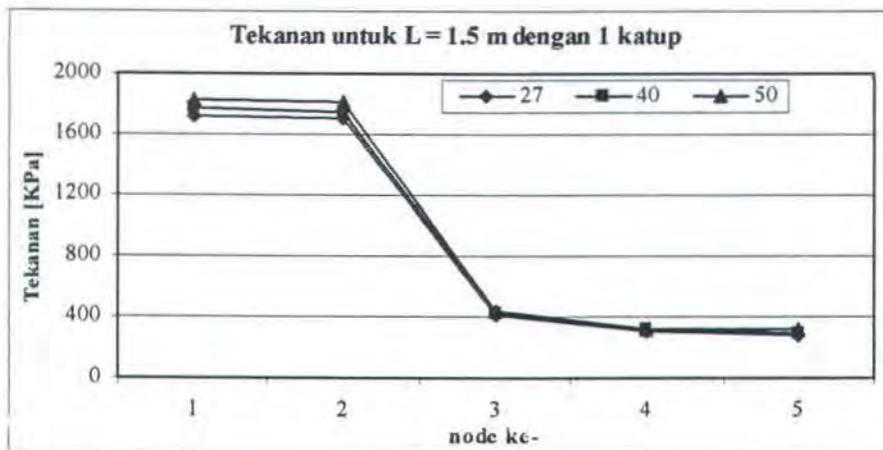
TEKANAN DALAM SISTEM

Model 1, L = 1.5 m

Dengan jumlah katup = 1

Node	Node ke	Tekanan pada suhu [KPa]		
		27	40	50
42848	1	1717.597	1766.720	1833.302
39499	2	1702.122	1747.841	1813.472
33730	3	408.271	430.669	445.417
44747	4	300.868	315.490	326.393
49046	5	286.156	298.993	315.706

Tabel 4.3. Data tekanan pada suhu pada model 1 dengan 1 katup

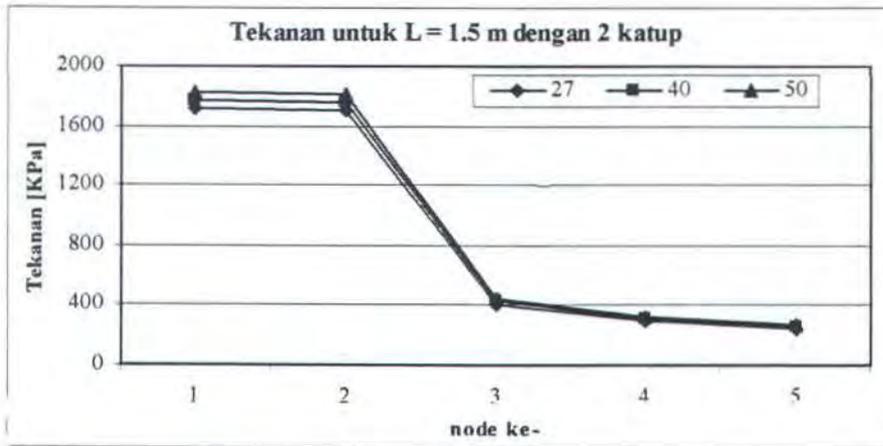


Gambar 4.5. Grafik tekanan pada suhu pada model 1 dengan, 1 katup

Dengan jumlah katup = 2

Node	Node ke	Tekanan pada suhu [KPa]		
		27	40	50
42848	1	1714.979	1764.028	1830.508
39499	2	1705.643	1751.457	1817.223
33730	3	410.360	432.872	447.696
44728	4	301.447	316.098	327.022
49046	5	245.822	256.850	271.207

Tabel 4.4. Tekanan pada suhu pada model 1 dengan 2 katup

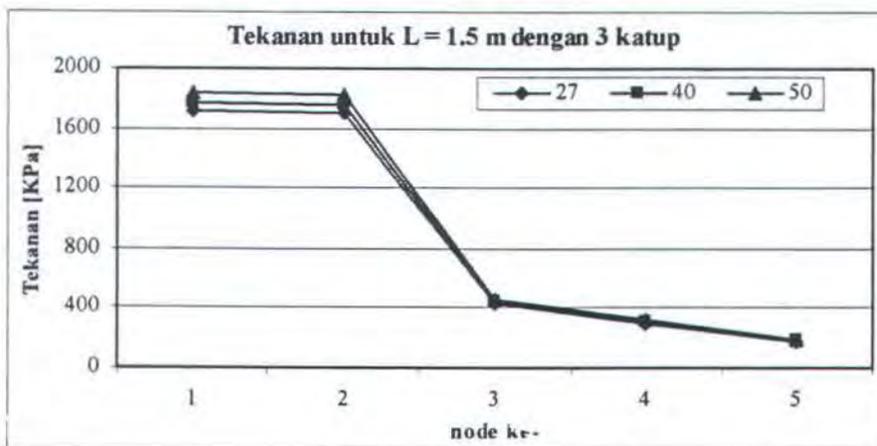


Gambar 4.6. Grafik tekanan pada suhu pada model 1 dengan, 2 katup.

Dengan jumlah katup = 3

Node	Node ke	Tekanan pada suhu [KPa]		
		27	40	50
42848	1	1717.724	1766.851	1833.437
39499	2	1706.300	1752.132	1817.923
33730	3	426.658	450.064	465.477
44747	4	302.224	316.912	327.864
49046	5	176.236	184.142	194.434

Tabel 4.5. Tekanan pada suhu pada model 1 dengan 3 katup



Gambar 4.7. Grafik tekanan pada suhu pada model 1 dengan 3 katup

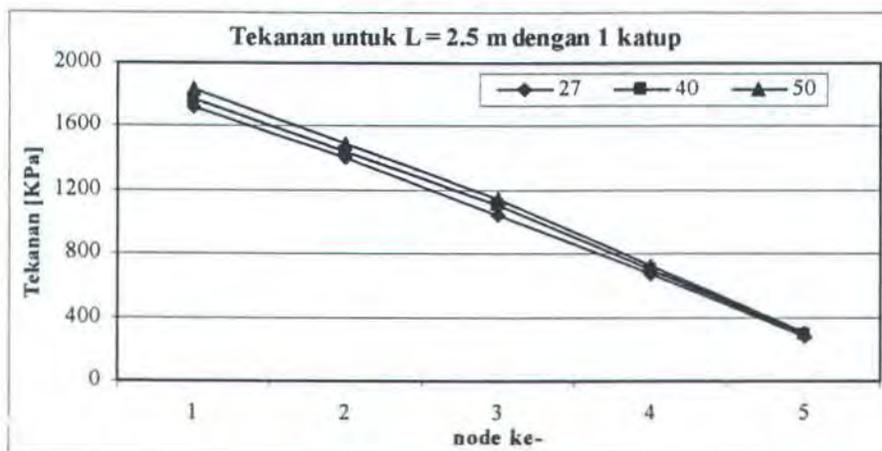
Untuk model 1 dengan 2 katup terjadi penurunan tekanan pada node mendekati ujung sebesar 14% dibanding dengan 1 katup. Pemakaian dengan 3 katup penurunan sebesar 28% dibanding dengan 2 katup.

Model 2, L = 2.5 m

Dengan jumlah katup = 1

Node	Node ke	Tekanan pada suhu [KPa]		
		27	40	50
17680	1	1716.961	1766.066	1832.623
18693	2	1398.210	1435.766	1489.678
19207	3	1047.053	1104.494	1142.318
18903	4	673.777	706.522	730.939
8376	5	278.982	291.497	307.791

Tabel 4.6. Data tekanan pada suhu pada model 2 dengan 1 katup

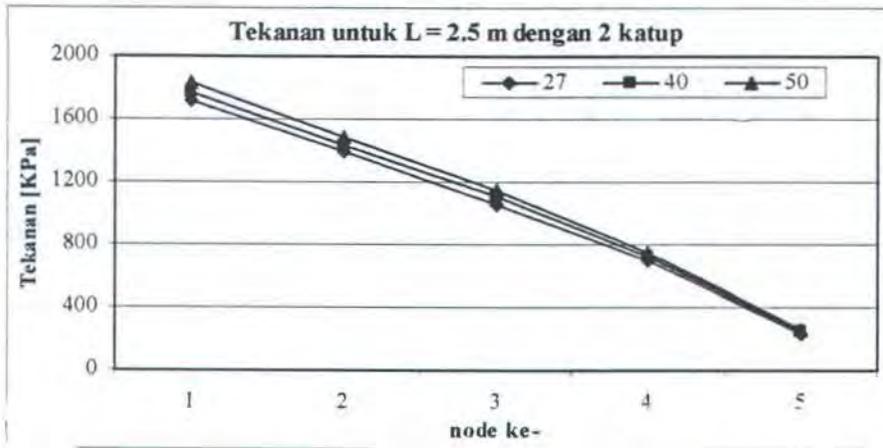


Gambar 4.8. Grafik tekanan pada suhu pada model 2 dengan 1 katup

Dengan jumlah katup = 2

Node	Node ke	Tekanan pada suhu [KPa]		
		27	40	50
17680	1	1715.944	1765.020	1831.538
18693	2	1388.546	1425.843	1479.383
19207	3	1053.580	1111.380	1149.440
18902	4	694.621	728.380	753.552
8471	5	238.278	248.967	262.883

Tabel 47. Data tekanan pada suhu pada model 2 dengan 2 katup



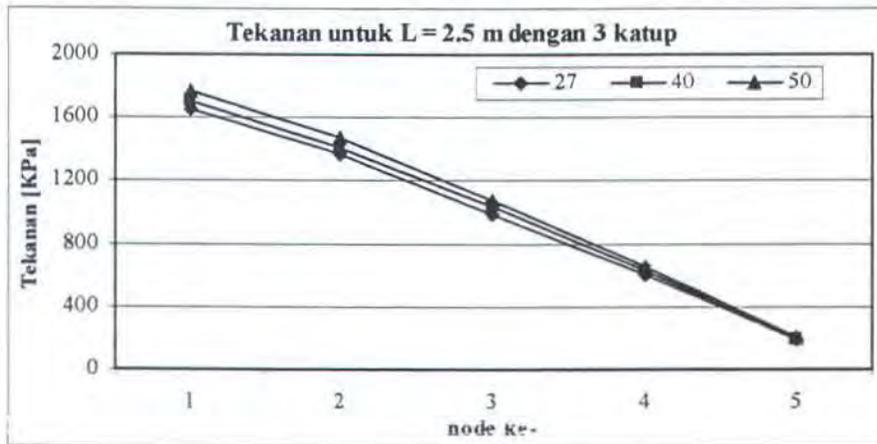
Gambar 4.9. Grafik tekanan pada suhu pada model 2 dengan 2 katup

Dengan jumlah katup = 3

Node	Node ke	Tekanan pada suhu [KPa]		
		27	40	50
42848	1	1655.769	1703.124	1767.309
53558	2	1378.128	1415.145	1468.283
57076	3	984.889	1038.920	1074.498
57709	4	600.677	629.870	651.638
33730	5	189.564	198.068	209.140

Tabel 4.8. Data tekanan pada suhu pada model 2 dengan 3 katup

Untuk model 2 dengan 2 katup terjadi penurunan tekanan pada node mendekati ujung sebesar 14% dibanding dengan 1 katup. Dengan 3 katup penurunan sebesar 20% dibanding dengan 2 katup.



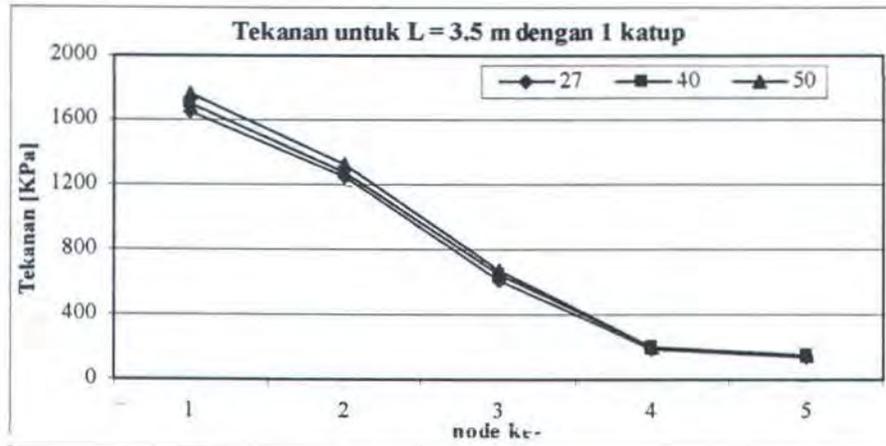
Gambar 4.10. Grafik tekanan pada suhu pada model 2 dengan 3 katup

Model 3, L = 3.5 m

Dengan jumlah katup = 1

Node	Node ke	Tekanan [KPa]		
		27	40	50
58882	1	1649.167	1696.333	1760.262
57076	2	1244.939	1278.378	1326.380
57709	3	617.567	651.447	673.756
33635	4	187.612	196.730	203.529
42848	5	140.905	147.226	155.456

Tabel 4.9. Data tekanan pada suhu pada model 3 dengan 1 katup

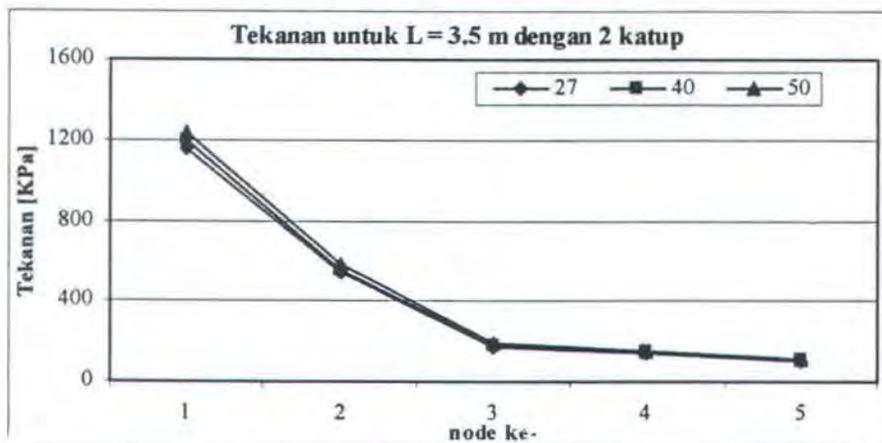


Gambar 4.11. Grafik tekanan pada suhu pada model 3 dengan 1 katup

Dengan jumlah katup = 2

Node	Node ke	Tekanan pada suhu [KPa]		
		27	40	50
58901	1	1162.108	1195.344	1240.393
57076	2	543.208	557.798	578.743
57709	3	174.294	183.856	190.152
33635	4	142.759	149.697	154.871
42848	5	101.325	105.870	111.788

Tabel 4.10. Data tekanan pada suhu pada model 3 dengan 2 katup

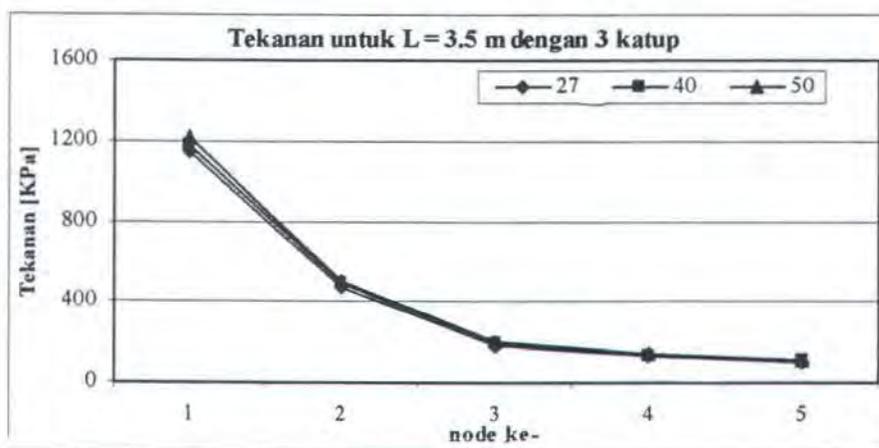


Gambar 4.12. Grafik tekanan pada suhu pada model 3 dengan 2 katup

Dengan jumlah katup = 3

Node	Node ke	Tekanan pada suhu [KPa]		
		27	40	50
42848	1	1649.167	1696.333	1760.262
58882	2	1244.939	1278.378	1326.380
57076	3	617.567	651.447	673.756
57709	4	187.612	196.730	203.529
33635	5	140.905	147.226	155.456

Tabel 4.11. Data tekanan pada suhu pada model 3 dengan 3 katup



Gambar 4.13. Grafik tekanan pada suhu pada model 3 dengan 3 katup

Untuk model 3, untuk 2 katup terjadi penurunan tekanan pada node mendekati ujung sebesar 28% dibanding dengan 1 katup, namun pada 3 katup kenaikan tekanan sebesar 28% dibanding dengan 2 katup.

Pada model 1, 2 dan 3 nampak adanya penurunan tekanan pada node-node yang mulai mendekati ujung keluaran dari sistem baik menggunakan 1, 2 dan 3 katup. Namun untuk jumlah katup yang lebih banyak menunjukkan penurunan slope yang cukup tinggi walaupun suhu yang dipakai adalah suhu kamar (27°C), 40°C , 50°C .

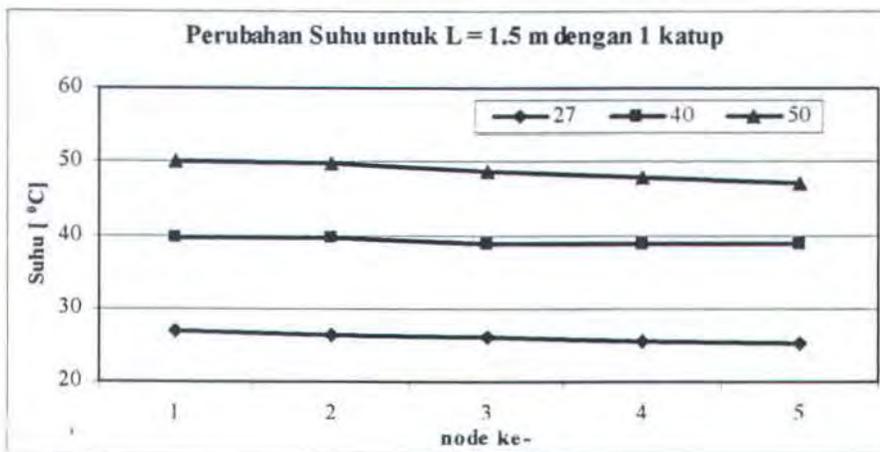
PERUBAHAN SUHU

Model 1, L = 1.5 m

Dengan jumlah katup = 1

Node	Node ke	Suhu [$^{\circ}$ C]		
		27	40	50
42848	1	26.995	39.544	49.987
39499	2	26.300	39.456	49.754
33730	3	25.995	38.846	48.786
44747	4	25.401	38.874	47.874
49046	5	25.225	38.843	46.998

Tabel 4.12. Data suhu pada model 1 dengan 1 katup

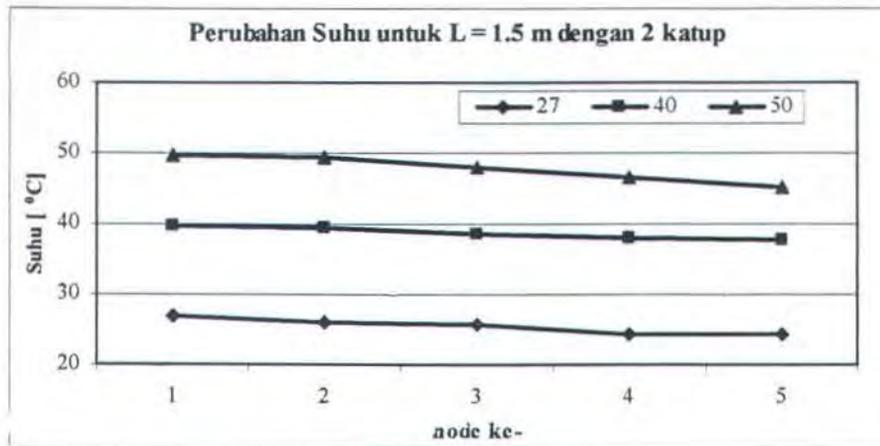


Gambar 4.14. Grafik suhu pada model 1 dengan 1 katup

Dengan jumlah katup = 2

Node	Node ke	Suhu [$^{\circ}$ C]		
		27	40	50
42848	1	26.995	39.854	49.854
39499	2	26.100	39.542	49.542
33730	3	25.752	38.634	47.876
44747	4	24.326	37.885	46.546
49046	5	24.259	37.731	45.057

Tabel 4.13. Data suhu pada model 1 dengan 2 katup

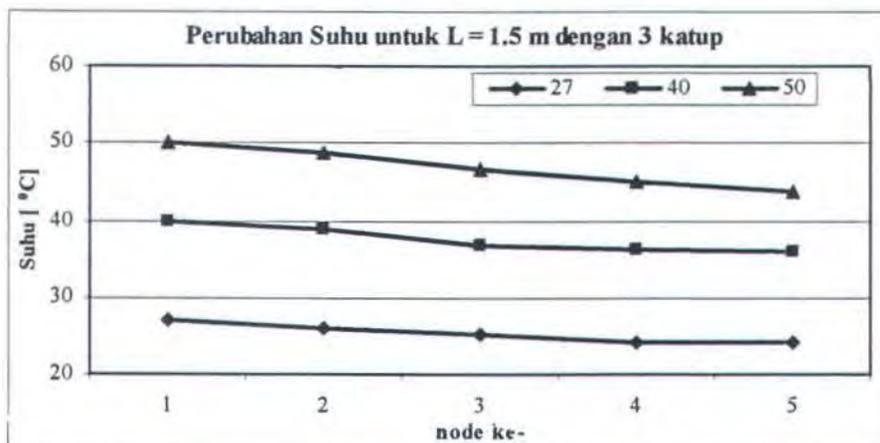


Gambar 4.15. Grafik suhu pada model 1 dengan 2 katup

Dengan jumlah katup = 3

Node	Node ke	Suhu [°C]		
		27	40	50
42848	1	26.994	39.852	49.956
39499	2	25.954	38.845	48.845
33730	3	25.154	36.750	46.750
44747	4	24.222	36.120	45.120
49046	5	24.111	35.891	43.891

Tabel 4.14. Data suhu pada model 1 dengan 3 katup



Gambar 4.16. Grafik suhu pada model 1 dengan 3 katup

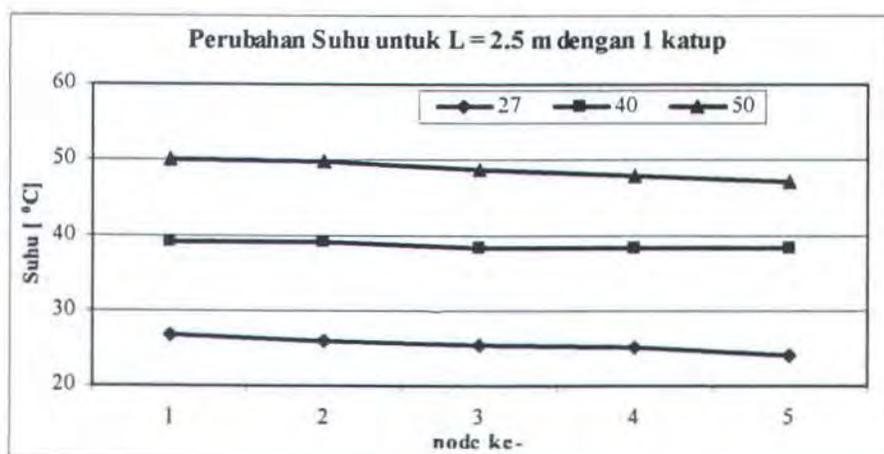
Untuk model 1, untuk 2 katup terjadi penurunan suhu pada node mendekati ujung sebesar 3.5% dibanding dengan 1 katup, pada 3 katup penurunan sebesar 4% dibanding dengan 2 katup.

Model 2, L = 2.5 m

Dengan jumlah katup = 1

Node	Node ke	Suhu [$^{\circ}$ C]		
		27	40	50
42848	1	26.822	39.082	49.987
39499	2	26.002	38.995	49.754
33730	3	25.483	38.386	48.786
44747	4	25.090	38.414	47.874
49046	5	24.013	38.383	46.998

Tabel 4.15. Data suhu pada model 2 dengan 1 katup



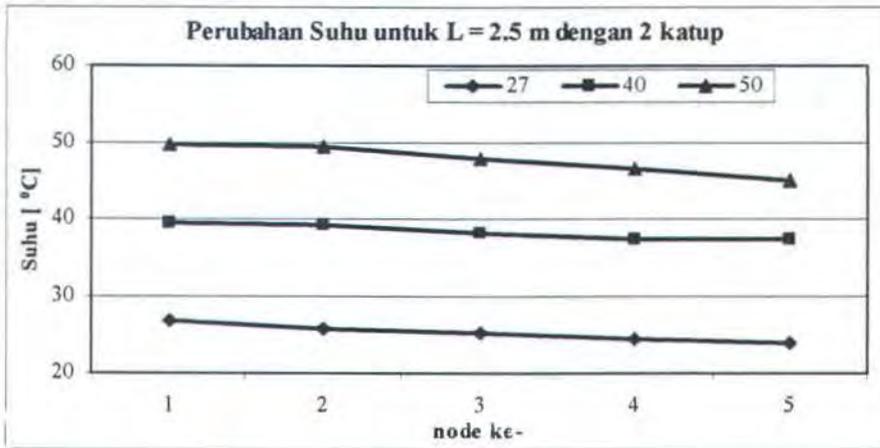
Gambar 4.17. Grafik suhu pada model 2 dengan 1 katup



Dengan jumlah katup = 2

Node	Node ke	Suhu [$^{\circ}$ C]		
		27	40	50
42848	1	26.822	39.392	49.854
39499	2	25.907	39.081	49.542
33730	3	25.220	38.174	47.876
44747	4	24.452	37.426	46.546
49046	5	23.999	37.272	45.057

Tabel 4.16. Data suhu pada model 2 dengan 2 katup

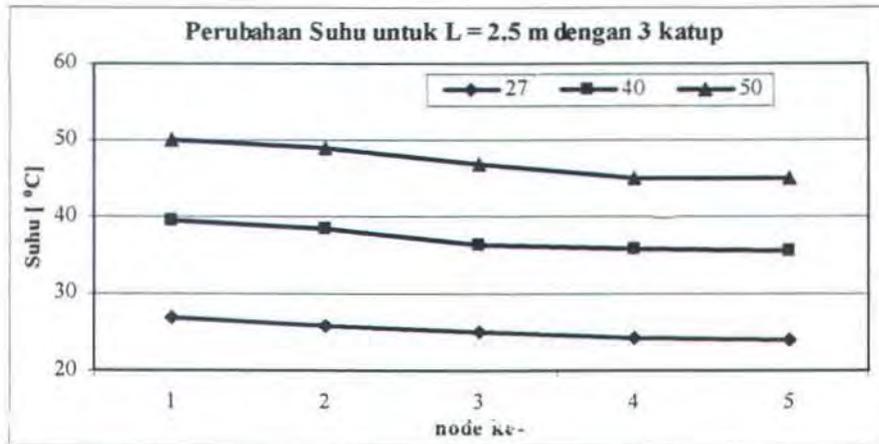


Gambar 4.18. Grafik suhu pada model 2 dengan 2 katup

Dengan jumlah katup = 3

Node	Node ke	Suhu [$^{\circ}$ C]		
		27	40	50
42848	1	26.720	39.390	49.956
39499	2	25.695	38.385	48.845
33730	3	25.013	36.293	46.750
44747	4	24.246	35.663	45.120
49046	5	23.995	35.435	44.891

Tabel 4.17. Data suhu pada model 2 dengan 3 katup



Gambar 4.19. Grafik suhu pada model 2 dengan 3 katup

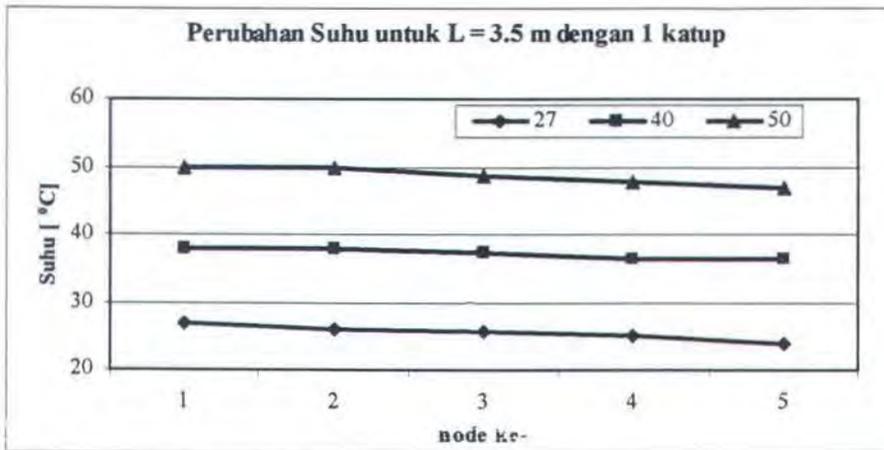
Untuk model 2, untuk 2 katup terjadi penurunan suhu pada node mendekati ujung sebesar 3% dibanding dengan 1 katup, pada 3 katup penurunan sebesar 2% dibanding dengan 2 katup.

Model 3, L = 3.5 m

Dengan jumlah katup = 1

Node	Node ke	Suhu [$^{\circ}$ C]		
		27	40	50
42848	1	26.743	38.001	49.987
39499	2	26.111	37.914	49.754
33730	3	25.681	37.311	48.786
44747	4	24.991	36.339	47.874
49046	5	24.016	36.308	46.998

Tabel 4.18. Data suhu pada model 3 dengan 1 katup

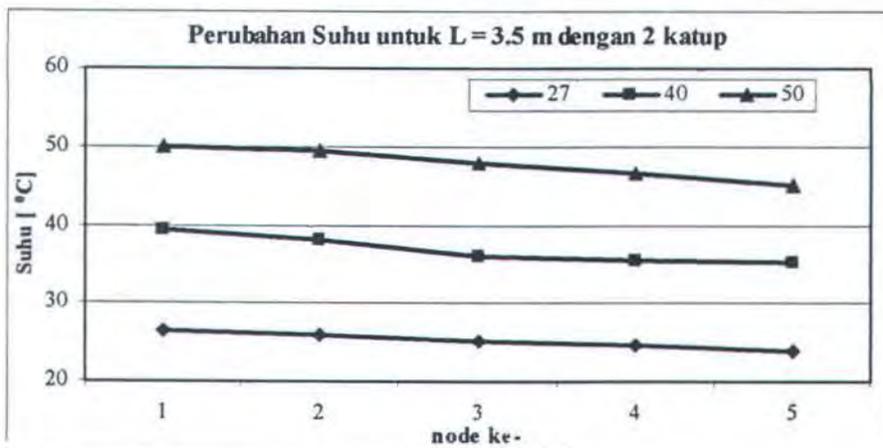


Gambar 4.20. Grafik suhu pada model 3 dengan 1 katup

Dengan jumlah katup = 2

Node	Node ke	Suhu [°C]		
		27	40	50
42848	1	26.422	39.308	49.854
39499	2	25.945	37.999	49.542
33730	3	25.276	36.101	47.876
44747	4	24.756	35.361	46.546
49046	5	23.825	35.209	45.057

Tabel 4.19. Data suhu pada model 3 dengan 2 katup

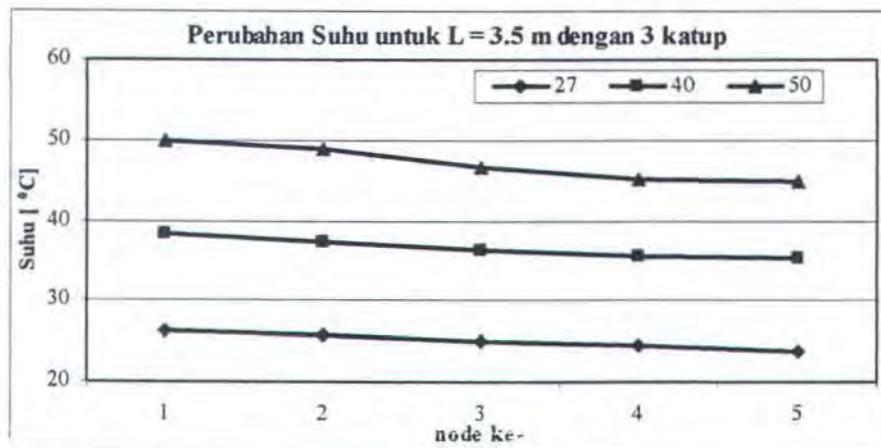


Gambar 4.21. Grafik suhu pada model 3 dengan 2 katup

Dengan jumlah katup = 3

Node	Node ke	Suhu [$^{\circ}\text{C}$]		
		27	40	50
42848	1	26.216	38.305	49.956
39499	2	25.711	37.310	48.845
33730	3	25.059	36.239	46.750
44747	4	24.502	35.615	45.120
49046	5	23.771	35.389	44.891

Tabel 4.20. Data suhu pada model 3 dengan 3 katup



Gambar 4.22. Grafik suhu pada model 3 dengan 3 katup

Untuk model 3, untuk 2 katup terjadi penurunan suhu pada node mendekati ujung sebesar 3% dibanding dengan 1 katup, namun pada 3 katup terjadi kenaikan suhu sebesar 0.3% dibanding dengan 2 katup.

Seperti halnya pada penurunan tekanan pada model 1, 2 dan 3 nampak adanya penurunan suhu pada node-node yang mulai mendekati ujung keluaran dari sistem baik menggunakan 1, 2 dan 3 katup. Namun untuk jumlah katup yang lebih banyak menunjukkan penurunan slope yang cukup tinggi walaupun suhu yang dipakai adalah suhu kamar (27°C), 40°C , 50°C .

Penurunan tekanan maupun suhu ini tentunya akan mempengaruhi keluaran tekanan maupun suhu dari sistem. Hal ini menunjukkan adanya pendinginan (penurunan suhu) dan penurunan tekanan dalam sistem yang bekerja dari sistem vacuum unit.

Hal yang membedakan dan terlihat cukup jelas pada karakteristik perubahan panjang model yang dimodifikasi terlihat bahwa untuk model yang lebih besar, penurunan suhu lebih tinggi. Hal ini dapat diakibatkan oleh besarnya waktu pendinginan gas lebih lama (jarak yang ditempuh lebih panjang). Untuk model 3 yang memiliki panjang terbesar terlihat slope yang lebih pendek (horizontal) dibandingkan model 2 dan model 1 baik untuk hasil output suhu maupun tekanan. Untuk model dengan jumlah katup yang semakin kecil menunjukkan adanya penurunan suhu maupun tekanan walaupun besar slopenya tidak sebesar model dengan jumlah katup yang lebih banyak. Namun hal ini menunjukkan adanya pengaruh ada dan tidak adanya katup. Hal ini dapat dilihat pada tabel (4.3) hingga tabel (4.20), dan gambar (4.5) hingga (4.22).

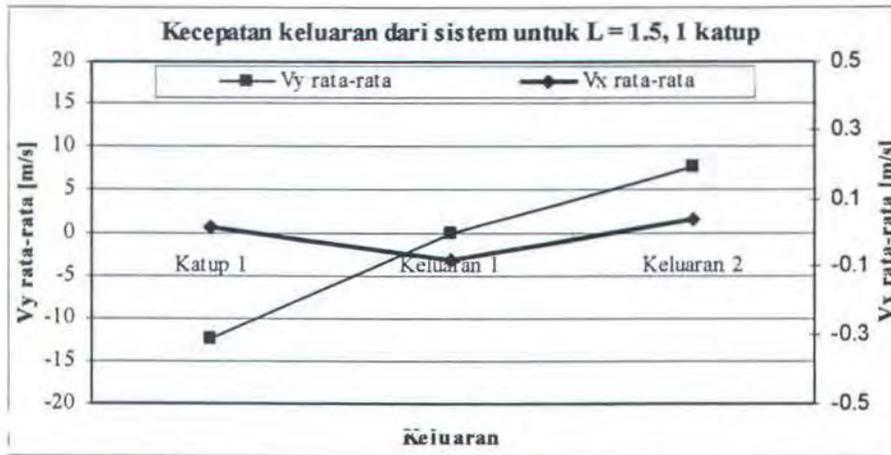
KECEPATAN KELUARAN

Model 1, L = 1.5 m

Dengan jumlah katup = 1

Keluaran	Vx rata-rata [m/s]	Vy rata-rata [m/s]	Tekanan [KPa]
Katup 1	0.0119	-12.5234	493.5211
Keluaran 1	-0.0803	0.0000	133.1162
Keluaran 2	0.0413	7.6511	247.8705

Tabel 4.21. Data kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup

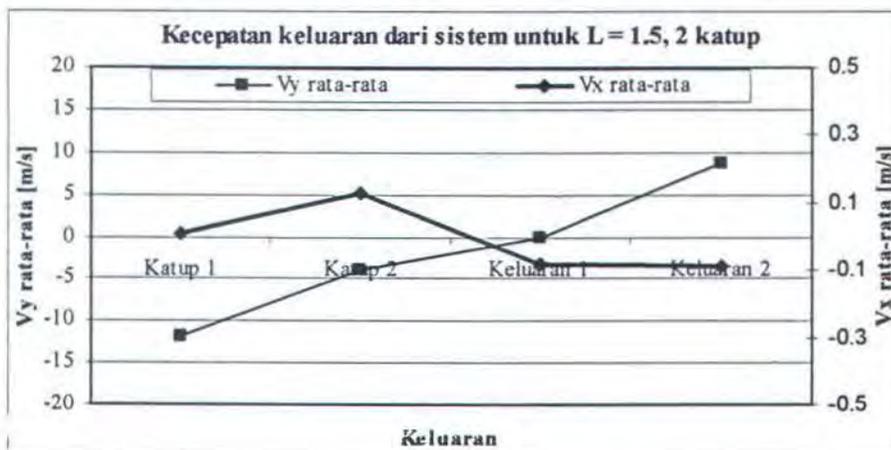


Gambar 4.23 Grafik kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup

Dengan jumlah katup = 2

Keluaran	Vx rata-rata [m/s]	Vy rata-rata [m/s]	Tekanan [KPa]
Katup 1	0.0085	-11.8307	451.3378
Katup 2	0.1275	-3.9736	140.8533
Keluaran 1	-0.0783	0.0000	111.9684
Keluaran 2	-0.0864	8.8253	296.1481

Tabel 4.22. Data kecepatan keluaran pada model 1 dengan 2 katup

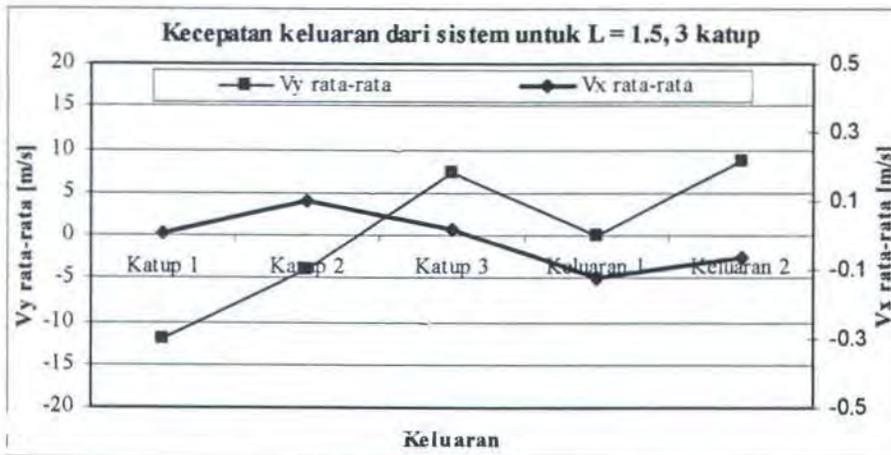


Gambar 4.24. Grafik kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup

Dengan jumlah katup = 3

Keluaran	Vx rata-rata [m/s]	Vy rata-rata [m/s]	Tekanan [KPa]
Katup 1	0.0047	-12.1137	468.2831
Katup 2	0.1021	-4.0146	141.6551
Katup 3	0.0167	7.3786	237.4743
Keluaran 1	-0.1231	0.0000	136.8490
Keluaran 2	-0.0667	8.7391	292.4734

Tabel 4.23. Data kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup



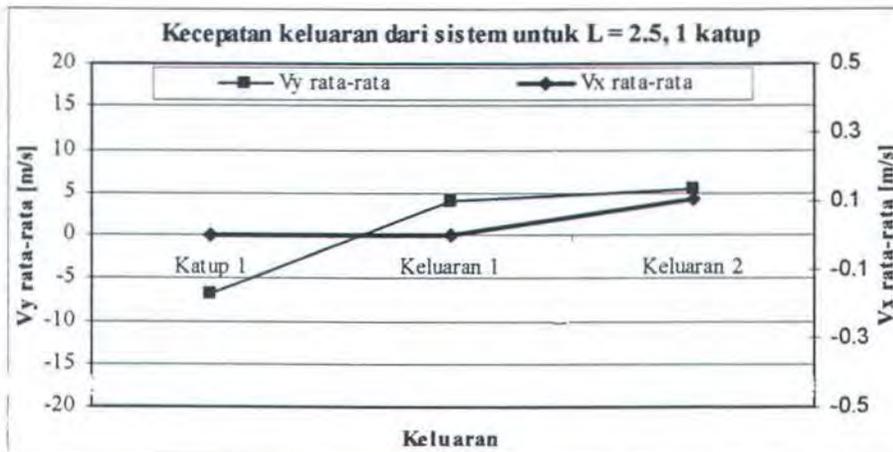
Gambar 4.25 Grafik kecepatan keluaran pada model 1 dengan 3 katup

Model 2, L = 2.5 m

Dengan jumlah katup = 1

Keluaran	Vx rata-rata [m/s]	Vy rata-rata [m/s]	Tekanan [KPa]
Katup 1	-0.0016	-6.7156	214.1040
Keluaran 1	-0.0008	3.9784	178.1661
Keluaran 2	0.1046	5.3397	186.1796

Tabel 4.24. Data kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup

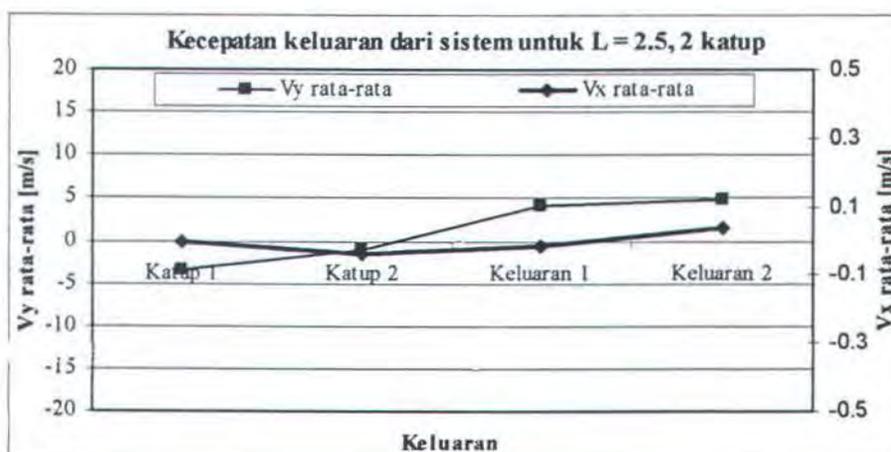


Gambar 4.26 Grafik kecepatan keluaran pada model 2 dengan 1 katup

Dengan jumlah katup = 2

Keluaran	Vx rata-rata [m/s]	Vy rata-rata [m/s]	Tekanan [KPa]
Katup 1	0.0000	-3.4359	130.8475
Katup 2	-0.0367	-1.1571	104.6777
Keluaran 1	-0.0150	4.1999	171.3673
Keluaran 2	0.0360	4.7384	187.8335

Tabel 4.25. Data kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup

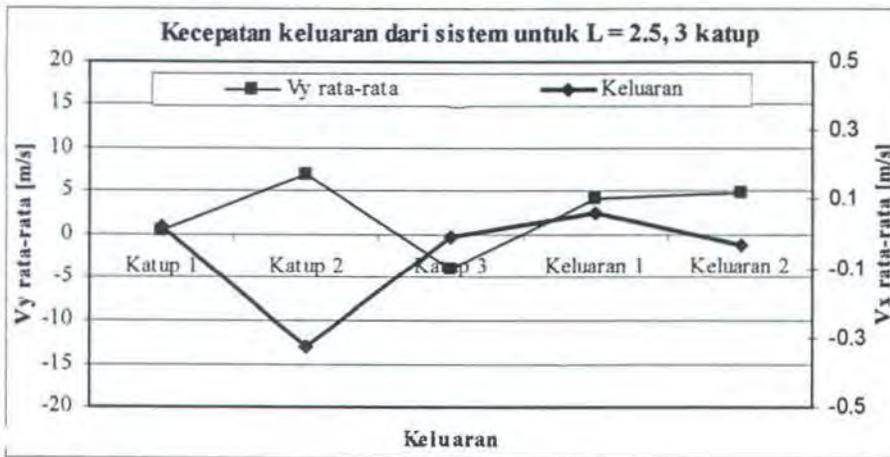


Gambar 4.27 Grafik kecepatan keluaran pada model 2 dengan 2 katup

Dengan jumlah katup = 3

Keluaran	Vx rata-rata [m/s]	Vy rata-rata [m/s]	Tekanan [KPa]
Katup 1	0.0193	0.2658	102.1353
Katup 2	-0.3250	6.9570	101.3250
Katup 3	-0.0080	-4.1655	101.3250
Keluaran 1	0.0623	4.1220	143.8508
Keluaran 2	-0.0318	4.8697	160.6386

Tabel 4.26. Data kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup



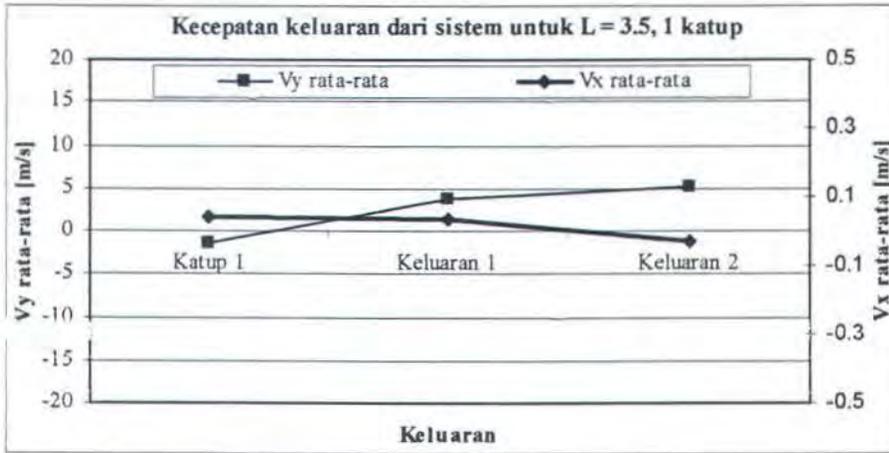
Gambar 4.28 Grafik kecepatan keluaran pada model 2 dengan 3 katup

Model 3, L = 3.5 m

Dengan jumlah katup = 1

Keluaran	Vx rata-rata [m/s]	Vy rata-rata [m/s]	Tekanan [KPa]
Katup 1	0.0413	-1.4314	106.4557
Keluaran 1	0.0379	3.7834	143.3253
Keluaran 2	-0.0281	5.0832	165.9606

Tabel 4.27. Data kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup

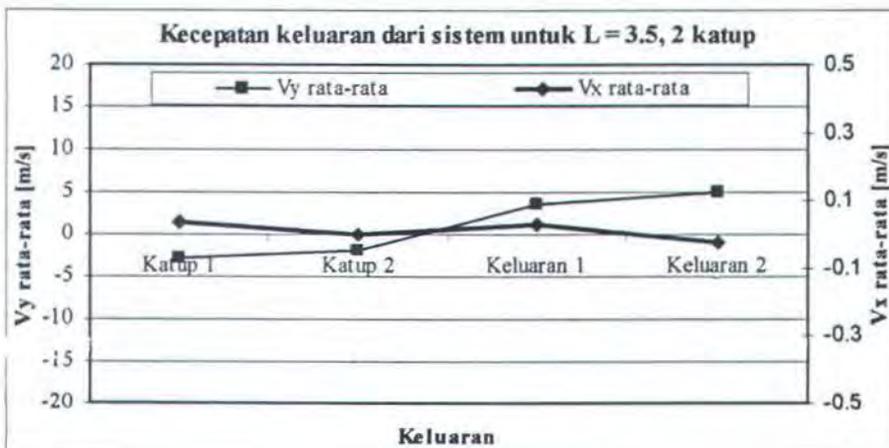


Gambar 4.29 Grafik kecepatan keluaran pada model 3 dengan 1 katup

Dengan jumlah katup = 2

Keluaran	Vx rata-rata [m/s]	Vy rata-rata [m/s]	Tekanan [KPa]
Katup 1	0.0348	-2.8348	121.4245
Katup 2	0.0008	-1.9862	101.3250
Keluaran 1	0.0321	3.6450	141.1702
Keluaran 2	-0.0260	5.0065	164.0194

Tabel 4.28. Data kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup

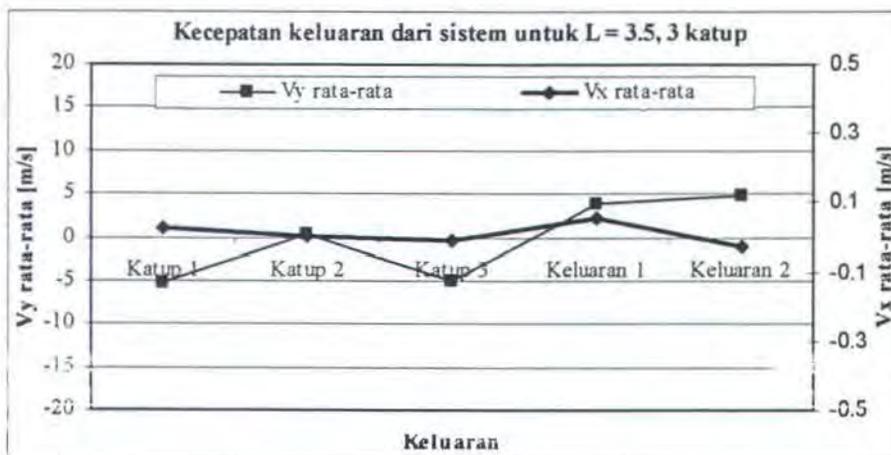


Gambar 4.30 Grafik kecepatan keluaran pada model 3 dengan 2 katup

Dengan jumlah katup = 3

Keluaran	Vx rata-rata [m/s]	Vy rata-rata [m/s]	Tekanan [KPa]
Katup 1	0.0238	-5.1869	168.6053
Katup 2	0.0004	0.3029	101.3250
Katup 3	-0.0093	-5.0355	101.3250
Keluaran 1	0.0536	3.8501	138.4573
Keluaran 2	-0.0263	4.8403	159.9236

Tabel 4.29. Data kecepatan keluaran pada model 1 dengan 1 katup



Gambar 4.31 Grafik kecepatan keluaran pada model 3 dengan 3 katup

Untuk model 1,2 dan 3 penurunan tekanan yang terjadi sangat signifikan berkisar 80%.

Pada kecepatan keluaran bagian katup 1 memiliki kecenderungan untuk masuk yang berarti sistem bersifat menghisap udara dari luar. Hal ini ditunjukkan dengan arah kecepatan negatif (arah fluida ke bawah, masuk ke dalam sistem), sementara letak katup 1 berada pada permukaan atas dari sistem.

Pada kecepatan keluaran bagian katup 2 memiliki kecenderungan untuk keluar yang berarti sistem bersifat menghembuskan udara keluar. Hal ini

ditunjukkan dengan arah kecepatan negatif (arah fluida ke bawah, keluar dari sistem), sementara letak katup 2 berada pada permukaan bawah dari sistem.

Pada kecepatan keluaran bagian katup 3 memiliki kecenderungan untuk masuk yang berarti sistem bersifat menghisap udara dari luar. Hal ini ditunjukkan dengan arah kecepatan positif (arah fluida keatas, masuk kedalam sistem), sementara letak katup 3 berada pada permukaan bawah dari sistem.

KECEPATAN DARI SALURAN VACUUM POT

Kecepatan pada saluran ini diambil pada titik bagian tengah dari panjang saluran. Data ini diambil untuk menunjukkan terjadi kecepatan positif terhadap sumbu x sebagai fungsi ikut terhisapnya fluida dari sistem vacuum pot karena kerja vacuum unit dengan input 20.95295 m/s.

L [m]	Node	Vx [m/s]	Vy [m/s]	Vsum [m/s]
1.5	25156	6.7093	-0.58177	6.7345
2.5	25156	6.7079	-0.58187	6.7331
3.5	25156	6.7092	-0.58181	6.7344

Tabel 30. Data kecepatan pada saluran dari sistem vacuum pot

4.4. Validasi Hasil

Validasi dilakukan dengan membandingkan dari formula pendekatan persamaan diameter (hubungannya dengan luasan) pada sistem. Validasi hasil dinyatakan dengan koreksi kesalahan dan kecenderungan kurva yang terjadi pada percobaan dengan menggunakan ANSYS 5.7.

$$c_i = \sqrt{k RT_i} \quad (\text{Fox and McDonald, 1994})$$

Karena properties yang dipakai adalah gas ideal, maka untuk $k = 1.4$, $R = 287$ Nm/kgK.

$$T_0 = T \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right) \rightarrow T = \frac{T_0}{\left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right)}$$

Besarnya suhu output dalam Kelvin dan Celcius, dapat dilihat pada tabel (4.14) berikut ini:

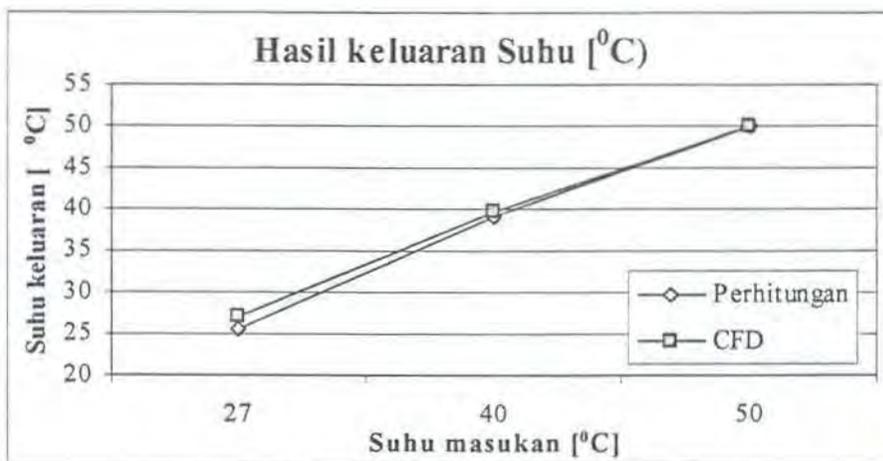
T [°C]	Keluaran suhu [°C]
27	26.995
40	39.544
50	49.987

Tabel 4.31. Hasil perhitungan dengan teori untuk suhu keluaran model 1

$$\text{Koreksi} = \frac{\text{Hasil perhitungan} - \text{Hasil CFD}}{\text{Hasil CFD}} \times 100\%$$

T	Perhitungan	CFD	error = %
27	25.6184	26.995	-5.373
40	38.9912	39.8515	-1.418
50	50.0148	49.956	0.056

Tabel 4.32. Perbandingan output perhitungan dengan CFD



Gambar 4.32. Grafik perbandingan keluaran perhitungan dengan CFD

Pada hasil diatas menunjukkan validasi dengan hasil CFD maksimal 5.373 %. Hasil validasi sebaiknya memiliki error sekecil mungkin, supaya hasil yang didapat mendekati teori sebenarnya. Hal ini dimungkinkan beberapa faktor seperti meshing elemen, ketelitian fluid properties dan penetapan Mach Number.

4.5. Fungsi & Ukuran Katup

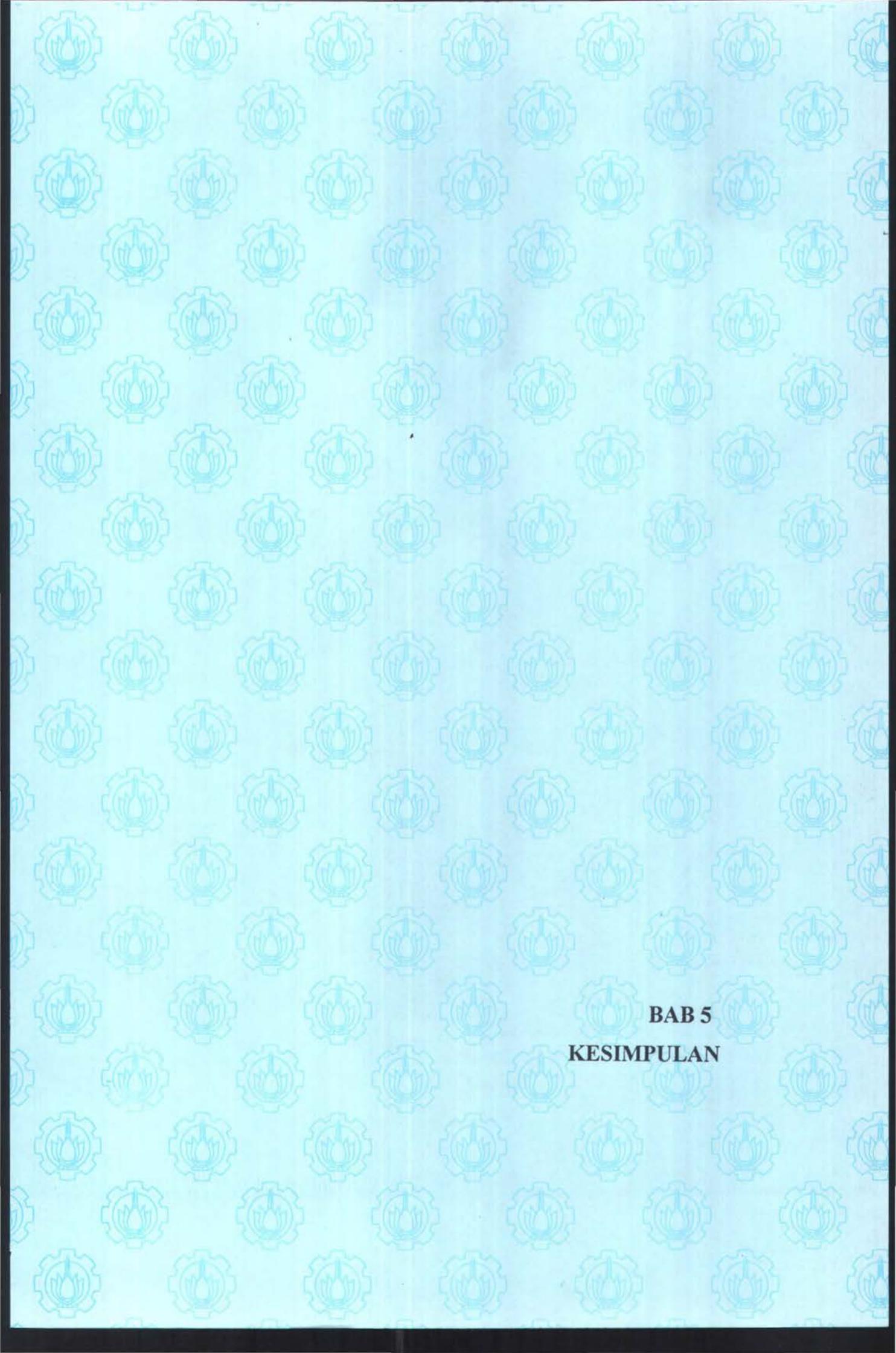
Keberadaan Katup pada vacum unit yang dikembangkan oleh P.T. Dok dan Perkapalan Surabaya memang memiliki pengaruh yang cukup signifikan, disamping jumlah katup juga penempatan katup harus cermat.

Fungsi katup pada vacum unit ini adalah untuk membantu proses penurunan tekanan, dimana fluida dapat berinteraksi dengan lingkungan luar, sehingga aliran fluida di dalam vacum unit akan cenderung lebih stabil (mengurangi ulekan – ulekan yang terjadi) dibandingkan dengan tanpa menggunakan katup. Dalam prosesnya katup merupakan jalan keluar / masuk fluida (udara) dari vacum unit. Untuk fungsi keluar atau masuk udara, itu tergantung dari aliran fluida yang

mengalir dan letak katup itu sendiri, apakah berada pada daerah yang memiliki kecenderungan fluida untuk keluar / masuk, kecenderungan ini dapat terlihat dengan memodelkan pada Ansys.

Ukuran katup dibuat kecil dimungkinkan karena tingkat tekanan di dalam vacum unit dibuat sehingga dapat menghasilkan daya hisap pada saluran dari vacum pot, jika katup dibuat lebar dikhawatirkan tekanan dalam vacum unit tidak dapat mencapai tingkat yang memungkinkan untuk penghisapan fluida dari vacum pot.

Dari hasil percobaan pada model 2 dengan 1 katup, yaitu model dari vacum unit yang telah dibuat oleh P.T. Dok Dan Perkapalan Surabaya, ternyata dapat ditingkatkan effisiensinya dengan penambahan katup seperti pada model 2 dengan 3 katup (gambar 3.6, dengan panjang 2.5 meter). Hal ini dapat dilihat secara visualisasi dengan video untuk model 2 dengan 3 katup, ternyata kecepatan pada saluran vacum pot lebih tinggi dibandingkan dengan model 2 dengan 2 katup.



BAB 5
KESIMPULAN

BAB 5

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari pemodelan yang dilakukan dengan perangkat lunak Flotran CFD ANSYS 5.7 melalui pendekatan aliran dua dimensi (2D) untuk pendekatan model vacuum unit dan simulasi ukuran panjang model dengan berbagai variasi temperatur menunjukkan bahwa:

1. Untuk input tekanan yang diberikan kompresor sebesar 20 bar dan tekanan dalam ruang oleh vacuum pot 1.01325 bar untuk masing-masing model terjadi penurunan tekanan dalam sistem pada daerah-daerah yang ditinjau hingga mendekati ujung terjadi penurunan untuk $L=1.5$ m sebesar 68.5% untuk 1 katup, 72.9% untuk 2 katup, 80.6% untuk 3 katup dan untuk $L=2.5$ m sebesar 59.3% untuk 1 katup, 73.8% untuk 2 katup, 79.1% untuk 3 katup. Sementara untuk $L=3.5$ m terjadi penurunan sebesar 84.5% untuk 1 katup, 88.9% untuk 2 katup 88.9% untuk 3 katup.
2. Untuk input temperatur yang divariasikan dari suhu ruangan (27°C), 40°C dan 50°C untuk masing-masing model terjadi penurunan temperatur dalam sistem pada daerah-daerah yang ditinjau hingga mendekati ujung terjadi penurunan untuk $L=1.5$ m rata-rata 1.978°C untuk 1 katup, 3.318°C untuk 2 katup, 4.369°C untuk 3 katup dan untuk $L=2.5$ m sebesar 2.536°C untuk 1 katup, 3.557°C untuk 2 katup, 4.226°C

- untuk 3 katup. Sementara untuk $L=3.5$ m terjadi penurunan sebesar 3.226°C untuk 1 katup, 4.363°C untuk 2 katup 4.316°C untuk 3 katup.
3. Semakin panjang model yang divariasasi slope penurunan tekanan dan temperatur semakin rendah.
 4. Arah kecepatan pada katup menunjukkan pemasukan atau pengeluaran udara dari sistem.
 5. Besar dan arah kecepatan dari pipa aliran vacuum pot menunjukkan terhisapnya aliran fluida dari vacuum pot karena pergerakan fluida dari sistem vacuum unit.
 6. Untuk semua model dalam percobaan ini menghasilkan penurunan tekanan pada katup keluaran sebesar 80%, ini berarti semua model dari percobaan ini telah memenuhi syarat penurunan tekanan.
 7. Penempatan katup harus memperhatikan pola aliran didekat dinding setempat untuk mengoptimalkan fungsi dari katup.
 8. untuk model 1, model yang paling efisien adalah model dengan 2 katup, dimana dengan adanya katup kedua dapat memperbaiki bentuk aliran dan mengurangi ulekan dan tekanan yang terjadi pada dinding bagian bawah. Sedangkan dengan 3 katup, seakan – akan katup kedua dan ketiga tidak berfungsi. Ini disebabkan oleh peletakan katup yang tidak pada tempatnya.
 9. untuk model 2, model variasi dari vacuum unit milik P.T. Dok Dan Perkapalan Surabaya, maka model yang paling efisien adalah model dengan 3 katup, dimana kecepatan hisap yang dihasilkan pada saluran

- dari vacuum pot, lebih tinggi dari model 2 dengan 1 atau 2 katup, dan katup- katup pada model 2 dengan 3 katup, semuanya dapat berfungsi.
10. Untuk model 3, model dengan variasi katup yang paling efisien adalah model dengan 3 katup, dapat terlihat dengan jelas pada visualisasi video, bahwa kecepatan hisap saluran vacuum pot, lebih tinggi dibandingkan dengan model lainnya, juga semua katup-katup dapat berfungsi.

5.2. Saran kedepan

Dalam penelitian yang dilakukan menunjukkan kecenderungan penurunan tekanan dan temperatur dimana besarnya temperatur yang diberikan bukan percobaan yang sebenarnya dilapangan sehingga untuk memperoleh nilai pasti dari sistem. Untuk kelembaban udara campuran minyak dan udara sebaiknya didapatkan dari kondisi riil lapangan untuk keakuratan hasil.

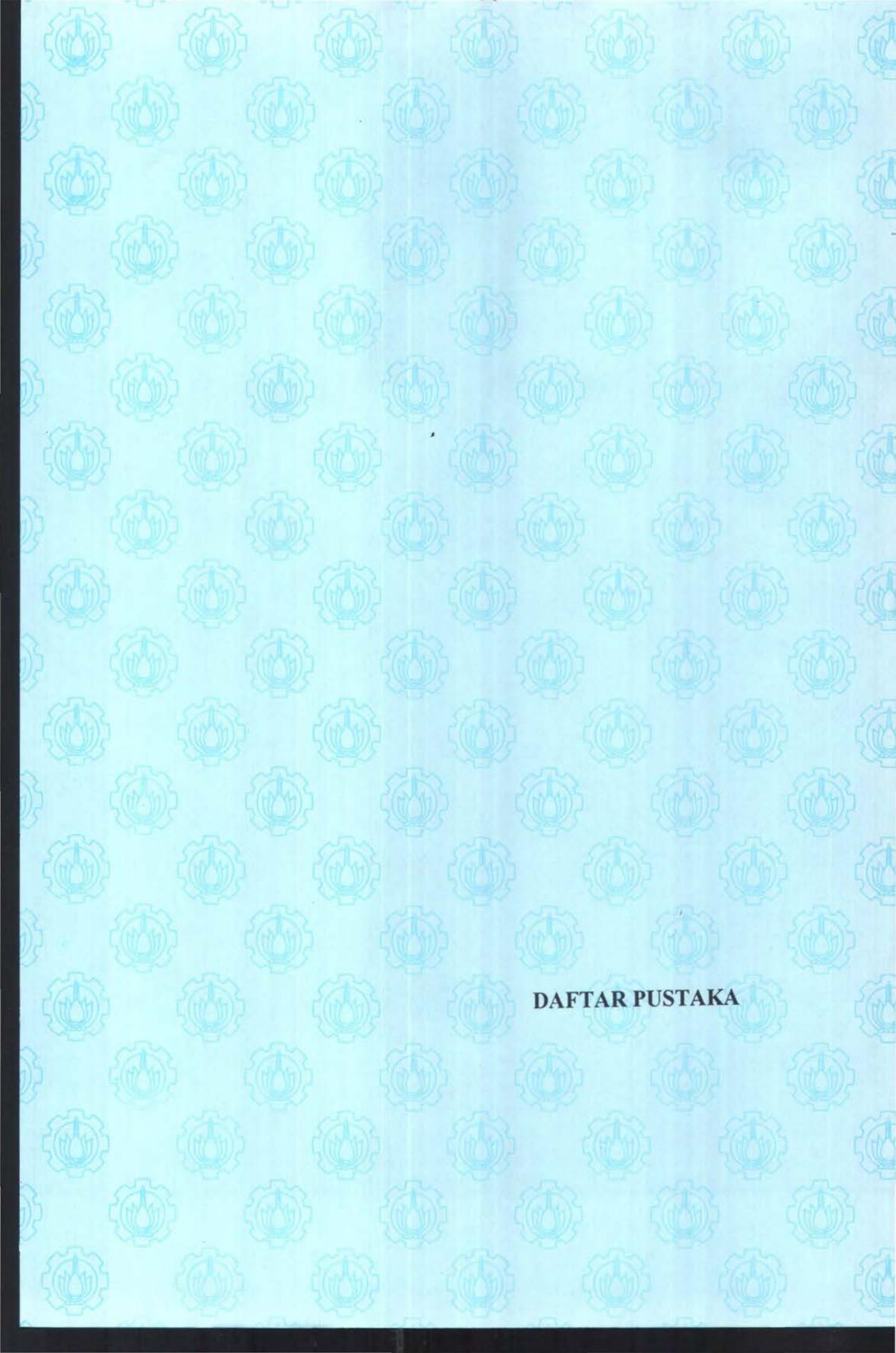
Peletakan dan jarak daya hisap terhadap material hisapan sebaiknya dipertimbangkan mengingat daya hisap pompa mempunyai nilai maksimum jarak hisap.

Peletakan katup perlu ditinjau untuk optimalnya fungsi katup mengingat kecenderungan pola aliran di dekat dinding masing-masing tempat berbeda (Apakah katup tersebut sebagai fungsi keluar atau masuk atau bahkan mungkin tidak menimbulkan pengaruh yang berarti terhadap penurunan tekanan dan temperatur)

Kecenderungan penurunan slope baik tekanan maupun temperatur terjadi tidak smooth line, hal ini dapat diakibatkan oleh beberapa faktor misalnya tidak melibatkannya kemungkinan terjadi ulekan aliran baik dari perencanaan belokan

(dimensi), meshing yang kurang baik dan faktor lain seperti perubahan struktur relatif molekul gas.

Untuk menetapkan letak katup-katup agar model vacuum unit dapat menghasilkan daya hisap yang paling optimal diperlukan suatu penelitian tersendiri.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

ANDERSON Jr, JD, 1995. **Computational Fluid Dynamics**. The Basic with Applications. McGraw-hill International Editions, Singapore, 1995.

Binder, Raymond C., **Fluid Mechanics**, Fifth Edition, Prentice Hall of Canada, LTD., Toronto, 1973

Currie, I.G., **Fundamental Mechanics of Fluids**, Second edition, McGraw-hill International Editions, Singapore, 1993

Fox, R.W. and McDonald A.T., **Introduction of Fluid Mechanics**, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1994

Geankoplis. C.J., **Transport Process and Unit Operations**, Third Edition, Prentice Hall, India, 1993

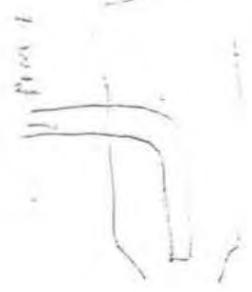
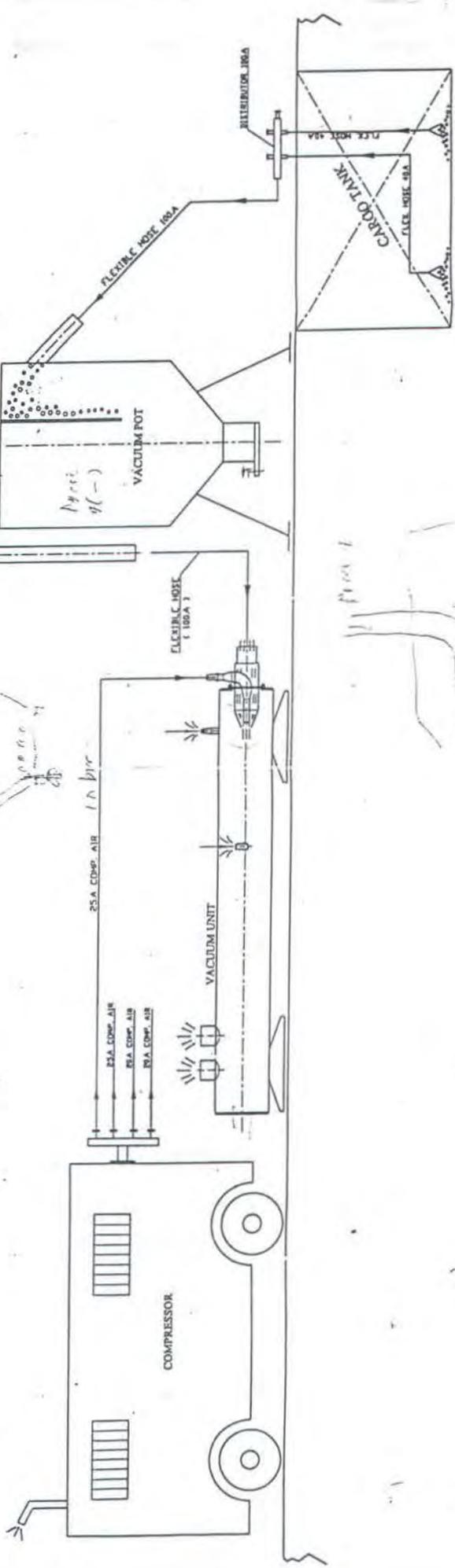
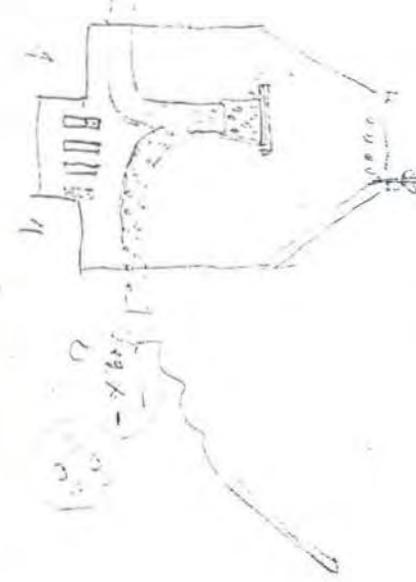
Himmelblau. David M, **Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering**, Fifth Edition, Prentice-Hall International Inc, Singapore, 1989

Kern, Donald. Q., **Process Heat Transfer**, McGraw-hill Book Company, Singapore, 1988

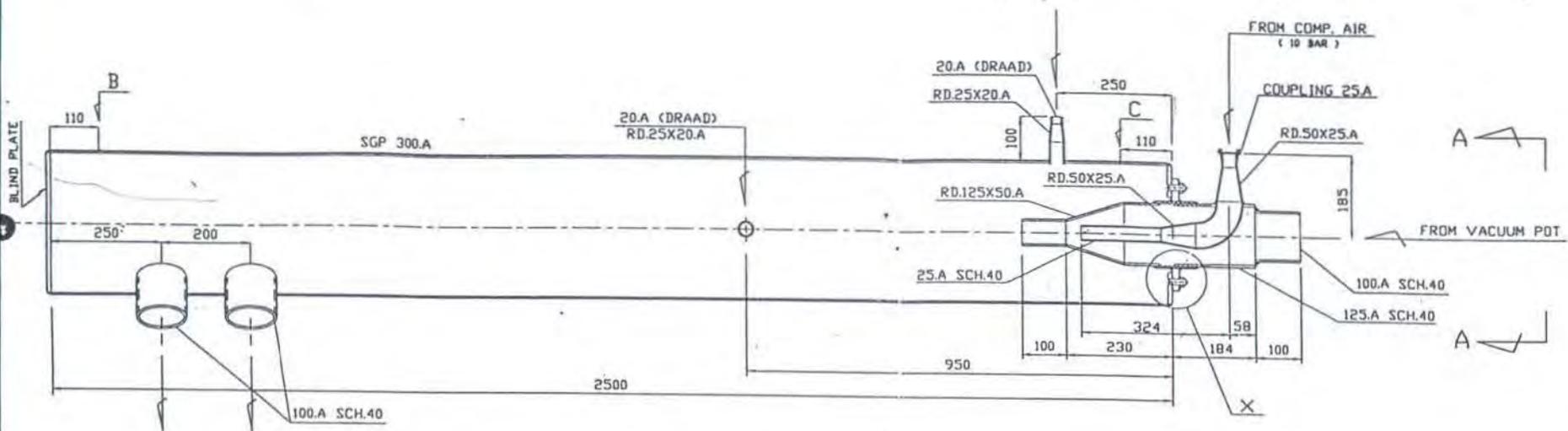
Oosthuizen, Patrick H. Carscallen, William E. **Compressible Fluid Flow**, McGraw-hill International Editions, Singapore, 1997

DIAGRAM OF VACUUM UNIT

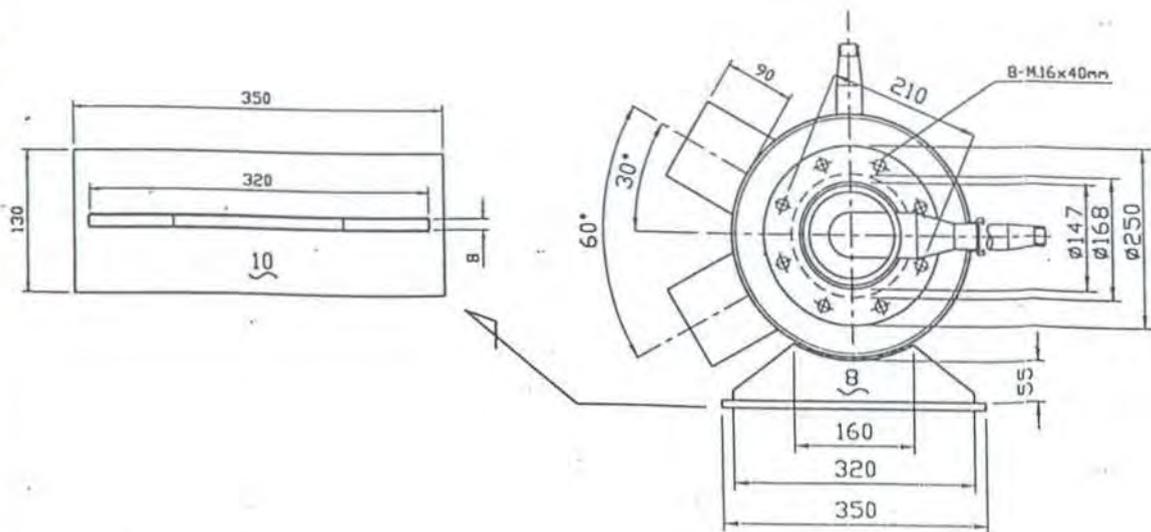
*from compressor air
10 feet*



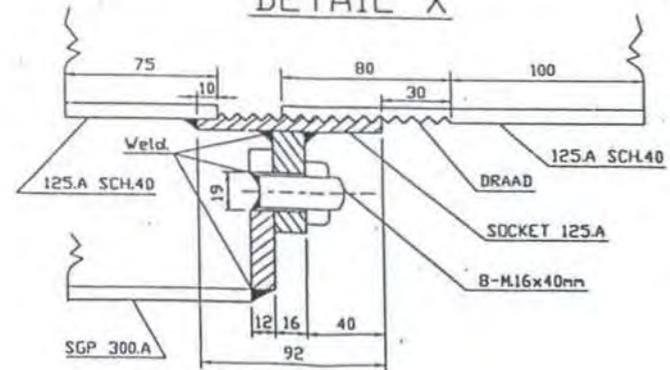
VACUUM UNIT



VIEW A-A

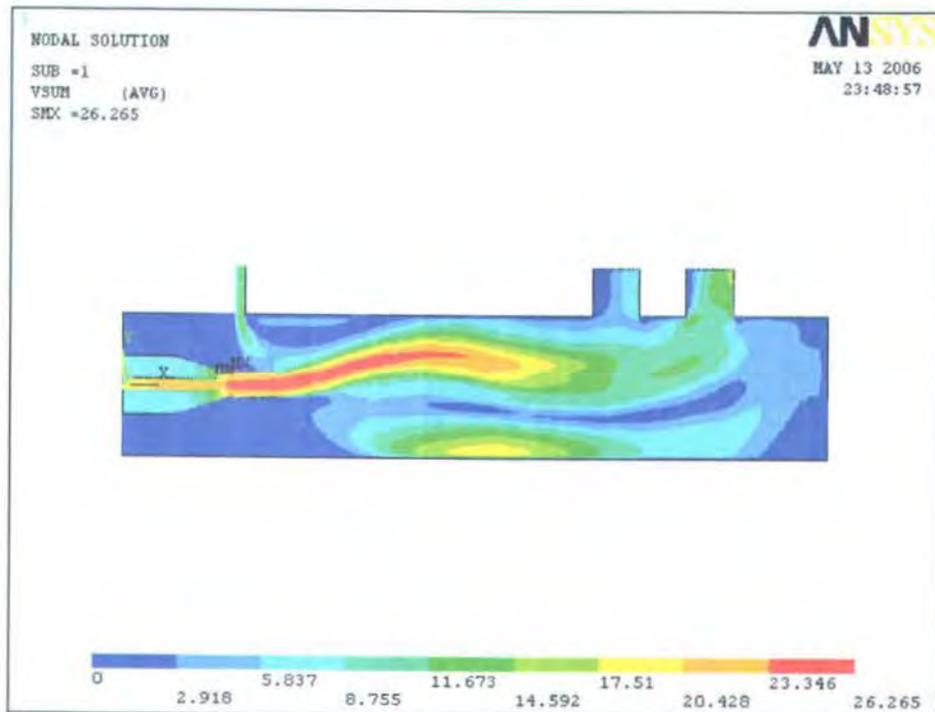


DETAIL X

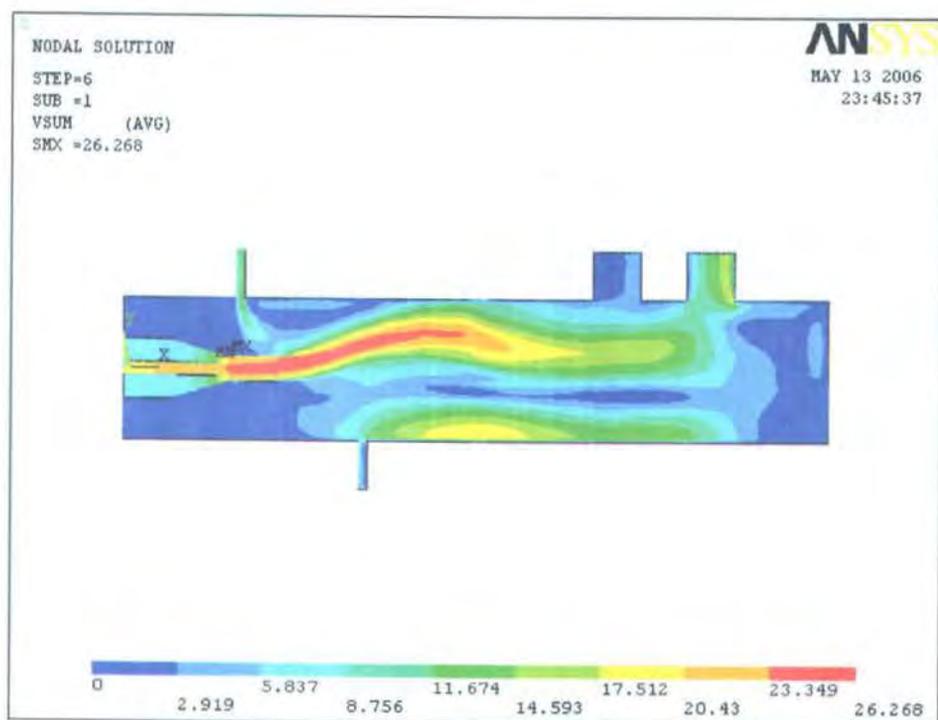


KETERANGAN :

- DI BUAT KAN 1 BUAH
- LETAK PONDASI PADA POSISI B & C



Pola kecepatan aliran pada model 1 dengan 1 valve



Pola kecepatan aliran pada model 1 dengan 2 valve

