

PENYELESAIAN SISTEM PERSAMAAN
DIFFERENSIAL UNTUK PEMANASAN ALIRAN UDARA
DIDALAM RUANG ANNULUS DENGAN
MENGUNAKAN MODEL TURBULEN ALJABAR
SEDERHANA DAN METODA NUMERIK BEDA HINGGA
SECARA IMPLISIT DAN METODA TDMA

Oleh

ROSYIDA PERMATASARI

34 96 12244 7

TESIS

Diajukan untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi
Magister Teknik Program Studi Teknik Mesin



PROGRAM PASCA SARJANA BIDANG ILMU TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN KONVERSI ENERGI
JAKARTA

1998

**PENYELESAIAN SISTEM PERSAMAAN
DIFFERENSIAL UNTUK PEMANASAN ALIRAN UDARA
DIDALAM RUANG ANNULUS DENGAN
MENGUNAKAN MODEL TURBULEN ALJABAR
SEDERHANA DAN METODA NUMERIK BEDA HINGGA
SECARA IMPLISIT DAN METODA TDMA**

Oleh :

ROSYIDA PERMATASARI

34 96 12244 7

TESIS

Diajukan untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi
Magister Teknik Program Studi Teknik Mesin



PROGRAM PASCA SARJANA BIDANG ILMU TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN KONVERSI ENERGI

JAKARTA

1998

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis dengan judul :

**PENYELESAIAN SISTEM PERSAMAAN DIFFERENSIAL UNTUK
PEMANASAN ALIRAN UDARA DIDALAM RUANG ANNULUS
DENGAN MENGGUNAKAN MODEL TURBULEN ALJABAR SEDERHANA
DAN METODA NUMERIK BEDA HINGGA SECARA IMPLISIT
DAN METODA TDMA**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Magister Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Program Pascasarjana Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tesis yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapat gelar Magister di Lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya dalam penulisan karya ilmiah.

Jakarta, Desember 1998



Rosyida Permatasari

NPM : 3496122447

PERSETUJUAN

Tesis dengan judul :

**PENYELESAIAN SISTEM PERSAMAAN DIFFERENSIAL UNTUK
PEMANASAN ALIRAN UDARA DIDALAM RUANG ANNULUS
DENGAN MENGGUNAKAN MODEL TURBULEN ALJABAR SEDERHANA
DAN METODA NUMERIK BEDA HINGGA SECARA IMPLISIT
DAN METODA TDMA**

Disusun oleh : ROSYIDA PERMATASARI
Nomor Mahasiswa : 3496122447
Program Studi : Teknik Mesin
Kekhususan : Konversi Energi

Dibuat untuk melengkapi persyaratan kurikulum program
Magister Ilmu Bidang Teknik Pascasarjana Universitas Indonesia
guna memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Pascasarjana
Program Studi Teknik Mesin

Tesis ini dapat disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian Tesis.

Jakarta, 1998

Dosen Pembimbing II



(Ir. Engkos Ahmad Kosasih, MSc.)

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



(Dr. Ir. Raldi Artono Koestoer)



UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillahillobbil 'aalamin

Berkat rahmat Allah Tuhan Yang Maha Kuasa, segala puji bagi Mu Allah Tuhan semesta alam.

Salam sejahtera kami panjatkan selalu kepada rasul – Muhammad SAW beserta seluruh keluarga dan para sahabat, suri tauladan yang memberikan cahaya terang bagi umatnya di alam ini.

Sungguh, hanya dengan karunia, rahmat, kehendak dan ridho – Nya jugalah penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “ **PENYELESAIAN SISTEM PERSAMAAN DIFFERENSIAL UNTUK PEMANASAN ALIRAN UDARA DIDALAM RUANG ANNULUS DENGAN MENGGUNAKAN MODEL TURBULEN ALJABAR SEDERHANA DAN METODA NUMERIK BEDA HINGGA SECARA IMPLISIT DAN METODA TDMA** “.

Dengan terselesaikannya tesis ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Raldi Artono Koestoer , selaku dosen pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan sehingga tesis ini dapat diselesaikan.
2. Bapak Ir. Engkos Ahmad Kosasih, MSc. , selaku dosen pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktu dan memberikan bimbingan dan pengarahan sehingga tesis ini dapat diselesaikan.
3. Bapak Dr. Ir. Ahmad Indra S., yang juga telah meluangkan waktu dan memberikan kesempatan untuk berkonsultasi.
4. Suami, ayah, ibu dan anak - anak tercinta yang telah memberikan dorongan dan semangat bagi penulis.

Jakarta, Desember 1998

Penulis,

Rosyida Permatasari

N I M : 3496122447



ABSTRAK

Permodelan turbulen yang digunakan adalah model aljabar sederhana (model nol persamaan), yang disajikan dalam bentuk PDE. Persamaan – persamaan differensial yang diselesaikan adalah persamaan kontinuitas, momentum dan energi. Kemudian dengan metoda Beda Hingga secara implisit, persamaan – persamaan tersebut diubah kedalam persamaan numerik dan diselesaikan dengan metoda TDMA (Tridiagonal Matrices Algorithm) secara numerik.

Hasil akhir dari penyelesaian Sistem Persamaan Differensial akan diperoleh distribusi temperatur udara pada penampang melintang dengan jarak 0,61 m; 1,22 m dan 1,83 m dari sisi masuk ruang annulus

Dari hasil penelitian ini dapat dinyatakan bahwa kesesuaian antara data numerik dan data eksperimen yang cukup baik terjadi pada jarak dari sisi masuk ruang annulus sebesar 1,22 m .

Untuk penelitian selanjutnya dengan tema yang sama, sebaiknya hanya dilakukan pada jarak dari sisi masuk ruang annulus 1,22 m saja, meskipun metoda yang digunakan berbeda.



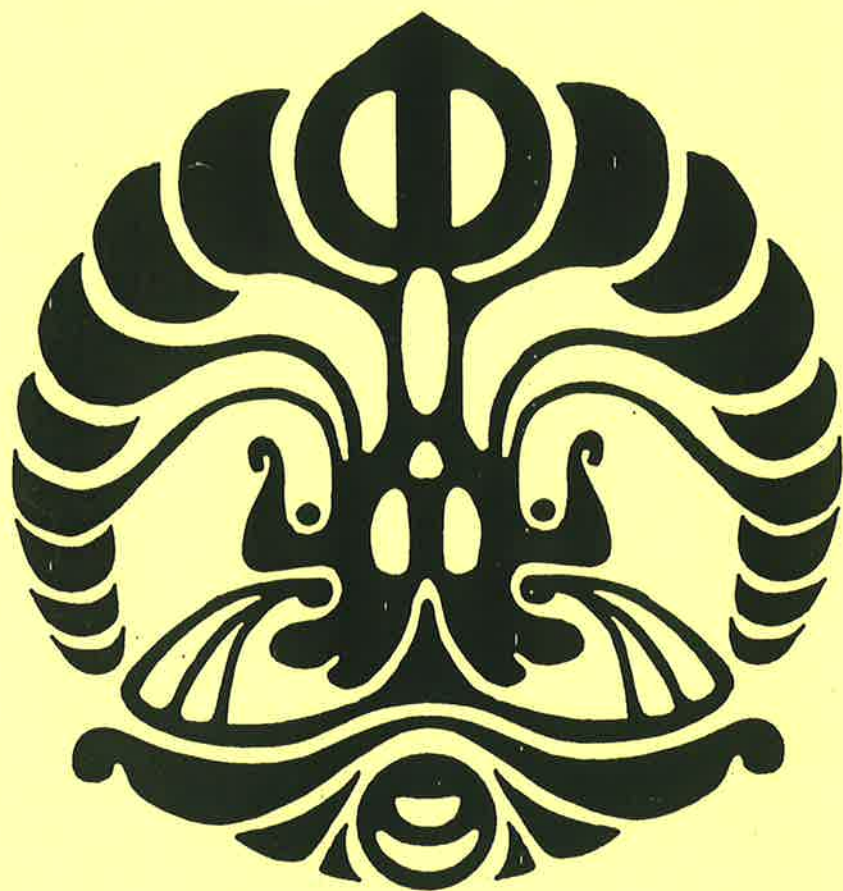
ABSTRACT

The mathematical model provides differential equations for : continuity, momentum, energy. The simultaneous solution of these equations by means of a finite difference solution in the form of implicit equation systems. By TDMA (*Tridiagonal Matrices Algorithm*), we will get the numerical solutions.

The result of this research, we can describe temperature distribution of air in the cross section at axial distances 0.61m, 1.22 m and 1.83 m from annular space inlet.

The comparison between numerical results and experimental data shows a good result, especially at distance 1.22 m or the fully developed region of the air flow.

Suggestion, the next research do only at distance 1.22 m from annular space inlet, although use different method.



DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul.....	i
Lembar Pernyataan Keaslian Tesis.....	ii
Lembar Persetujuan.....	iii
Ucapan Terima Kasih.....	iv
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR LAMBANG.....	viii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Tujuan Penelitian.....	2
I.3. Batasan Masalah.....	2
I.4. Ruang Lingkup.....	2
I.5. Metode Penelitian.....	4
I.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	
II.1. Aliran Simetris Sumbu Dua Dimensi.....	6
II.2. Aliran Turbulen Didalam Ruang Annulus.....	11
II.2.1. Persamaan Kontinuitas.....	13
II.2.2. Persamaan Momentum.....	13
II.2.3. Persamaan Energi.....	14
II.3. Viskositas Dan Konduktivitas Pusaran.....	15
II.4. Sifat – Sifat Udara.....	16
II.5. Metoda Beda Hingga.....	17
II.6. Metoda TDMA.....	18
BAB III KONDISI AWAL DAN KONDISI BATAS	
III.1. Kondisi Awal.....	21

III.2. Kondisi Batas.....	21
BAB IV PENYELESAIAN NUMERIK	
IV.1. Ruang Annulus.....	23
IV.2. Persamaan Kontinuitas.....	24
IV.3. Persamaan Momentum.....	25
IV.4. Persamaan Energi.....	28
IV.5. Viskositas dan Konduktivitas Pusaran.....	31
IV.6. Algoritma Perhitungan.....	31
IV.7. Analisa Data.....	32
BAB V KESIMPULAN.....	36
DAFTAR PUSTAKA.....	37
LAMPIRAN – LAMPIRAN :	
LAMPIRAN A.1	: Perbandingan Numerik dan Eksperimen jarak 0.61 m
LAMPIRAN A.2	: Perbandingan Numerik dan Eksperimen jarak 1.22 m
LAMPIRAN A.3	: Perbandingan Numerik dan Eksperimen jarak 1.83 m
LAMPIRAN B.1	: Perbandingan Numerik dan Eksperimen jarak 0.61 m
LAMPIRAN B.2	: Perbandingan Numerik dan Eksperimen jarak 1.22 m
LAMPIRAN B.3	: Perbandingan Numerik dan Eksperimen jarak 1.83 m
LAMPIRAN C.1	: Perbandingan Numerik dan Eksperimen jarak 0.61 m
LAMPIRAN C.2	: Perbandingan Numerik dan Eksperimen jarak 1.22 m
LAMPIRAN C.3	: Perbandingan Numerik dan Eksperimen jarak 1.83 m
LAMPIRAN D.1	: Perbandingan Numerik dan Eksperimen jarak 0.61 m
LAMPIRAN D.2	: Perbandingan Numerik dan Eksperimen jarak 1.22 m
LAMPIRAN D.3	: Perbandingan Numerik dan Eksperimen jarak 1.83 m
LAMPIRAN DATA A	: Perbandingan Data Numerik dan Data Eksperimen
LAMPIRAN DATA B	: Perbandingan Data Numerik dan Data Eksperimen
LAMPIRAN DATA C	: Perbandingan Data Numerik dan Data Eksperimen
LAMPIRAN DATA D	: Perbandingan Data Numerik dan Data Eksperimen

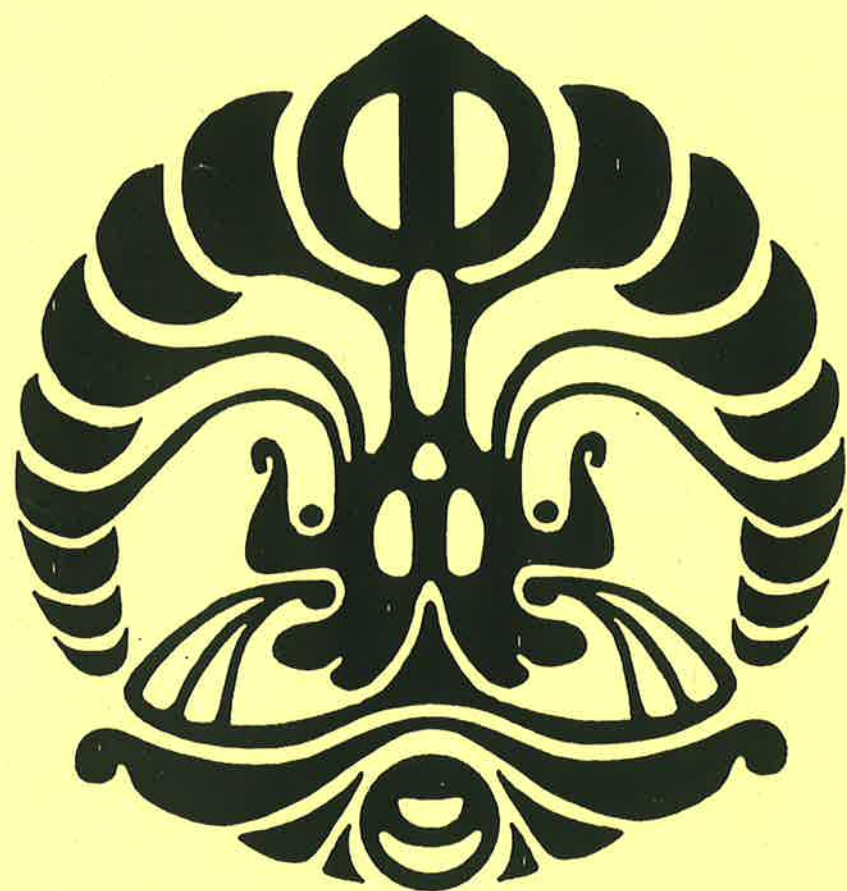
DAFTAR LAMBANG

Notasi	Besaran	Satuan
α	difusivitas termal	m^2 /s
B	besaran non geometris	-----
β	koefisien ekspansi	$1/K$
C_p	kalor jenis	$J/kg^{\circ}C$
Δr	jarak node radial	m
δ	tebal sub-lapisan laminar	m
E	energi aliran	J/kg
F	gaya	N
h	enthalpy	J J/kg
h	koefisien konveksi	$W/m^2 \text{ } ^{\circ} C$
κ	konstanta Von Karman	-----
k	konduktivitas termal	$W/m^{\circ} C$
k_T	konduktivitas termal pusaran	$W/m^{\circ} C$
L	panjang anulus	m
ι	panjang pencampuran	m
m	laju aliran massa	kg/s
μ	viskositas dinamik	Ns/m^2
μ_T	viskositas dinamik pusaran	Ns/m^2
Pr	bilangan Prandtl	-----
p	tekanan	N/m^2
Q	kalor	J
A	debit aliran	m^3/s
q	laju aliran kalor	W/m
r	jarak radial koordinat silinder	M
ρ	rapat massa	kg/m^3

T	temperatur	.....	$^{\circ}\text{C}$
τ	tegangan geser	.....	\text{N/m^2
θ	sudut koordinat silinder	.....	rad
U	kecepatan aliran aksial	.....	m/s
V	kecepatan aliran radial	.....	m/s
W	kerja	.....	J
x	jarak aksial koordinat silinder	.....	m
y	jarak dari dinding	.....	m

Subskrip

a	air	.....	----
d	dinding	.....	----
p	pusat silinder	.....	----
T	turbulen	.....	----
$[j,n]$	titik node	.....	----
jm	jumlah node radial	.....	----



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Hasil akhir dari penyelesaian Sistem Persamaan Differensial akan diperoleh distribusi temperatur udara pada ruang annulus pada konveksi paksa dari aliran turbulen.

Untuk memperoleh distribusi temperatur udara tersebut kita dapat menggunakan metoda numerik dan metoda eksperimen. Tetapi apabila kita menggunakan metoda eksperimen, akan menghabiskan biaya yang tidak sedikit walaupun cukup akurat sehingga beberapa peneliti beberapa tahun terakhir ini mulai menggunakan metoda numerik untuk memecahkan masalah – masalah konveksi.

Dari penelitian sebelumnya, yang dilakukan pada alat penukar kalor annulus; model aliran turbulen yang digunakan adalah model aljabar sederhana (*model nol persamaan*) dengan metoda Beda Hingga secara eksplisit, yang disajikan dalam bentuk Persamaan Differensial Parsial (PDE). Kemudian persamaan – persamaan tersebut diubah kedalam persamaan numerik dengan metoda Beda Hingga, dalam bentuk sistem persamaan eksplisit.

Ternyata hasil penelitian tersebut menghasilkan beberapa error yang menyebabkan kesalahan, dimana hasil numerik yang diperoleh kurang mendekati hasil eksperimen. Salah satu kemungkinan penyebabnya adalah model aliran turbulen yang digunakan pada penelitian tersebut.

Pada penelitian saat ini, penulis tetap mencoba menggunakan model aliran turbulen aljabar sederhana (*model nol persamaan*). Dan kemudian disajikan dalam bentuk PDE. Dengan metoda Beda Hingga persamaan – persamaan tersebut diubah kedalam persamaan numerik ; dalam bentuk implisit, dan diselesaikan dengan metoda TDMA (*Tridiagonal Matrices Algorithm*). Hasil akhir dari solusi numerik kemudian dibandingkan dengan data eksperimen.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

1. Menentukan distribusi temperatur udara pada ruang annulus.
2. Membandingkan hasil perhitungan metoda numerik dengan metoda eksperimen.
3. Membandingkan hasil penelitian yang didapat sekarang dengan hasil penelitian sebelumnya.

1.3 BATASAN MASALAH

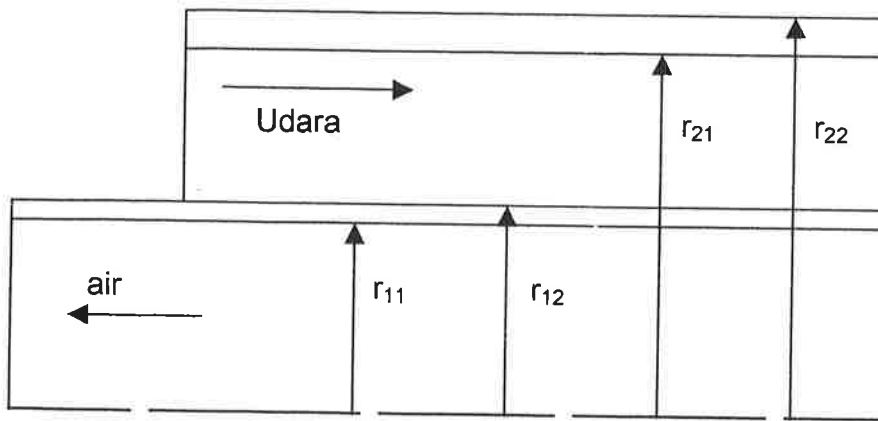
Beberapa pembatasan pada penelitian adalah sebagai berikut :

1. Fluida yang digunakan adalah air.
2. Kondisi aliran fluida pada saat masuk ruang annulus seragam pada arah radial.
3. Model aliran fluida adalah turbulen.
4. Gradien tekanan aliran fluida diasumsikan konstan.
5. Temperatur dinding luar silinder dalam ruang annulus dianggap konstan.
6. Seluruh dinding luar silinder luar berhubungan dengan udara bebas.
7. Tekanan udara didalam ruang annulus kurang lebih satu atmosfer sehingga sifat - sifat fluida diambil pada tekanan tersebut dan hanya merupakan fungsi dari temperatur.

1.4 RUANG LINGKUP

a. Ruang Annulus

Ruang annulus adalah ruang antara dua silinder yang koaksial. Dinding bagian luar dari silinder eksternal berhubungan dengan konveksi bebas dari atmosfer, dan dinding bagian dalam dari ruang annulus diasumsikan seragam distribusi temperaturnya. Aliran air panas dalam silinder bagian dalam dan aliran udara pendingin dalam silinder bagian luar (lihat gambar1.1). Dimana seluruh instrumen untuk pengukur aliran udara dipasang dalam ruang annulus.



Gambar 1.1. Ruang annulus [8]

Dimana : $r_{11} = 0,014 \text{ m}$
 $r_{12} = 0,015 \text{ m}$
 $r_{21} = 0,025 \text{ m}$
 $r_{22} = 0,030 \text{ m}$
 panjang ruang annulus = 2,44 m

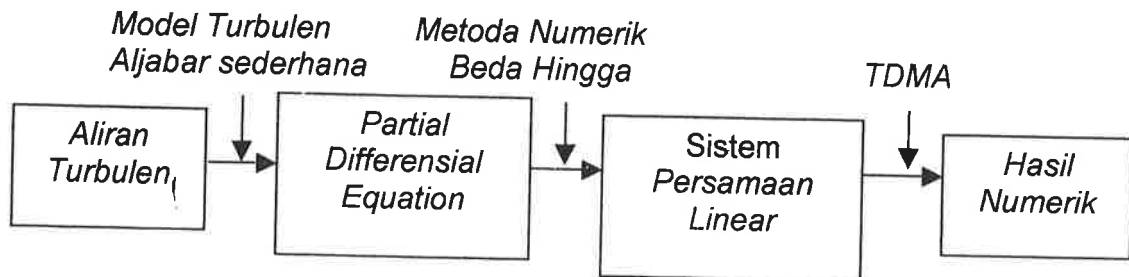
b. Data – data [8].

Data – data yang akan digunakan adalah untuk satu macam bilangan Reynold , yaitu $Re = 9047,6$; dimana :

- ◆ DATA A : debit air = 200 l/h
 debit udara = 0,0101 m/s
 temperatur dinding dalam ruang annulus = 50 °C
- ◆ DATA B (: debit air = 200 l/h
 debit udara = 0,0101 m/s
 temperatur dinding dalam ruang annulus = 90 °C
- ◆ DATA C : debit air = 200 l/h
 debit udara = 0,01398 m/s
 temperatur dinding dalam ruang annulus = 50 °C
- ◆ DATA D : debit air = 200 l/h
 debit udara = 0,01398 m/s
 temperatur dinding dalam ruang annulus = 90 °C

Yang akan dicari distribusi temperaturnya adalah pada penampang – penampang melintang didalam ruang annulus dan jarak dari sisi masuk adalah 0,61 m; 1,22 m; dan 1,83 m.

I.5 METODE PENELITIAN



I.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan tesis ini terbagi dalam beberapa Bab, yaitu :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Menjelaskan tentang latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan untuk memberikan gambaran secara umum mengenai penulisan tesis ini.

BAB 2 : LANDASAN TEORI

Menjelaskan tentang tiga buah persamaan differensial parsial (PDE) didalam aliran simetris sumbu dua dimensi, aliran turbulen didalam ruang annulus, viskositas dan konduktivitas pusran, sifat – sifat udara, metoda beda hingga dan metoda TDMA.

BAB 3 : Menjelaskan tentang kondisi awal dan kondisi batas yang diambil untuk penyelesaian PDE nya.

BAB 4 : Menjelaskan tentang pembagian node – node didalam ruang annulus , pemecahan secara numerik dari PDE, algoritma perhitungan dan analisa data hasil numerik dan data eksperimen.

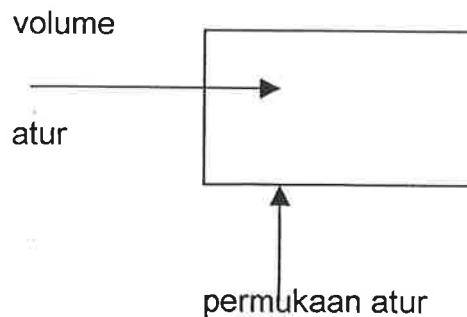
BAB 5 : Kesimpulan.



BAB II

LANDASAN TEORI

Dalam menyelesaikan masalah – masalah perpindahan kalor dan mekanika fluida , banyak digunakan unsur volume atur dimana aliran fluida dapat mengalir ke dalam dari satu sisi dan ke luar dari sisi lain volume atur tersebut, dan dibatasi oleh suatu permukaan atur.



Gambar 2.1. Volume atur dan Permukaan atur

Aliran turbulen didalam ruang annulus dianggap aliran simetris sumbu dua dimensi, dimana pada aliran tersebut tidak ada perubahan besaran fisik dalam arah tangensial $\left(\frac{\partial}{\partial \theta} = 0\right)$ dan kecepatan tangensialnya juga nol.

Dalam hal ini berlaku tiga hukum dasar untuk suatu sistem tunak termampatkan (*steady compressible flow*) ; dimana $\partial/\partial t \equiv 0$ dan semua besaran hanya merupakan fungsi posisi saja [10] , yakni :

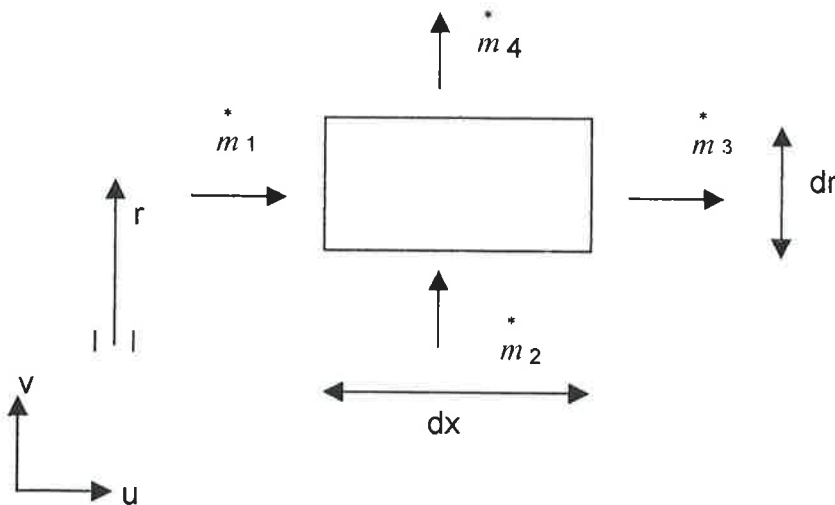
1. Hukum Kekekalan Massa (Persamaan Kontinuitas).
2. Hukum kedua Newton (Persamaan Momentum).
3. Hukum pertama Termodinamika (Persamaan Energi).

2.1 ALIRAN SIMETRIS SUMBU DUA DIMENSI

(A). Hukum Kekekalan Massa (Kontinuitas).

Jumlah aliran massa yang masuk ke dalam volume atur = Jumlah aliran massa yang meninggalkan volume atur

$$\dot{m} = \text{konstan} \dots\dots\dots(2-1)$$



Gambar 2.2. Volume atur dalam Aliran Simetri Sumbu

Dari gambar 2.2 terlihat bahwa :

- Massa yang memasuki sisi kiri volume atur (arah aksial), \dot{m}_1 :

$$\dot{m}_1 = \left(\rho u - \frac{\partial \rho u}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) 2 \pi r dr \dots\dots\dots(2-2)$$

- Massa yang memasuki sisi bawah (arah radial), \dot{m}_2 :

$$\dot{m}_2 = \left(r \rho v - \frac{\partial (r \rho v)}{\partial r} \frac{dr}{2} \right) 2 \pi dx \dots\dots\dots(2-3)$$

- Massa yang meninggalkan sisi kanan (arah aksial), \dot{m}_3 :

$$\dot{m}_3 = \left(\rho u + \frac{\partial \rho u}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) 2 \pi r dr \dots\dots\dots(2-4)$$

- Massa yang meninggalkan sisi atas (arah radial), \dot{m}_4 :

$$\dot{m}_4 = \left(r\rho v + \frac{\partial(r\rho v)}{\partial r} \frac{dr}{2} \right) 2\pi dx \quad \dots\dots\dots(2-5)$$

dengan : u : kecepatan aksial
r : kecepatan radial

Persamaan (2-2), (2-3), (2-4) dan (2-5) dimasukkan ke persamaan (2-1), sehingga diperoleh persamaan kontinuitas :

$$\dot{m}_4 + \dot{m}_3 - \dot{m}_2 - \dot{m}_1 = 0$$

$$r \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(r\rho v)}{\partial r} = 0$$

atau :

$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r\rho v)}{\partial r} = 0$
--

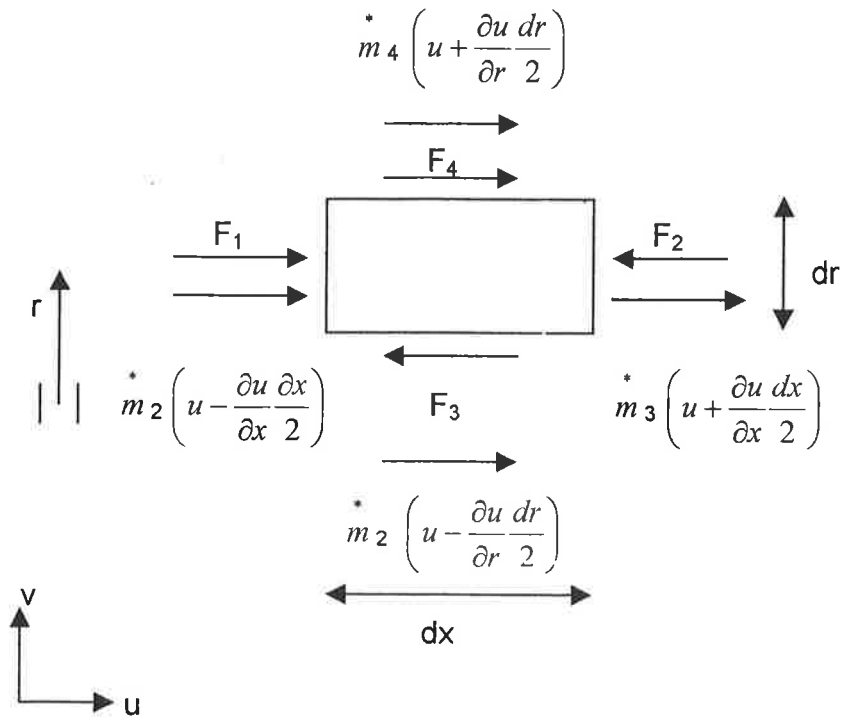
.....(2-6)

(B). Hukum Kekekalan Momentum.

Persamaan Momentum Linier :

Jumlah gaya-gaya tekan dan gaya-gaya luar yang beraksi pada permukaan atur	=	laju perubahan momentum fluida yang menembus permukaan atur
--	---	---

$$\Sigma F = \Sigma (\dot{m} v) \quad \dots\dots\dots(2-7)$$



Gambar 2.3. Gaya dan Momentum

Dari gambar 2.3. terlihat bahwa gaya-gaya yang bekerja pada volume atur dalam arah sumbu - x (arah aksial) adalah sebagai berikut :

- Gaya tekan pada sisi kiri volume atur, F_1 :

$$F_1 = \left(p - \frac{\partial p}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) 2\pi r dr \quad \dots\dots\dots(2-8)$$

- Gaya tekan pada sisi kanan, F_2 :

$$F_2 = - \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) 2\pi r dr \quad \dots\dots\dots(2-9)$$

- Gaya geser pada permukaan bawah, F_3 :

$$F_3 = - \left(r\tau - \frac{\partial(r\tau)}{\partial r} \frac{dr}{2} \right) 2\pi dx \quad \dots\dots\dots(2-10)$$

- Gaya geser pada permukaan atas, F_4 :

$$F_4 = \left(r\tau + \frac{\partial(r\tau)}{\partial r} \frac{dr}{2} \right) 2\pi dx \quad \dots\dots\dots(2-11)$$

dengan : p : tekanan

τ : tegangan geser

μ : viskositas dinamik

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial r}$$

- Jadi, dari persamaan (2-8) sampai dengan (2-11) diperoleh jumlah gaya – gaya aksial yang bekerja pada volume atur adalah :

$$\Sigma F_x = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = \left(-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r\tau)}{\partial r} \right) 2\pi r dx dr \dots\dots\dots(2-12)$$

- Dari gambar 2.3, juga dapat dilihat jumlah perubahan momentum dalam arah aksial (x) :

$$\begin{aligned} \Sigma \left(\dot{m}v \right)_x &= \dot{m}_4 \left(u + \frac{\partial u}{\partial r} \frac{dr}{2} \right) + \dot{m}_3 \left(u + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) - \\ &\quad \dot{m}_2 \left(u - \frac{\partial u}{\partial r} \frac{dr}{2} \right) - \dot{m}_1 \left(u - \frac{\partial u}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) \\ &= \left(r\rho v + \frac{\partial(r\rho v)}{\partial r} \frac{dr}{2} \right) 2\pi dx \left(u + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{dr}{2} \right) + \\ &\quad \left(\rho u + \frac{\partial \rho u}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) 2\pi r dr \left(u + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) - \\ &\quad \left(r\rho v - \frac{\partial(r\rho v)}{\partial r} \frac{dr}{2} \right) 2\pi dx \left(u - \frac{\partial u}{\partial r} \frac{dr}{2} \right) - \\ &\quad \left(\rho u - \frac{\partial \rho u}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) 2\pi r dr \left(u - \frac{\partial u}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) \\ &= \left(r\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + r\rho v \frac{\partial u}{\partial r} \right) 2\pi dx dr \\ &= \left(\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial r} \right) 2\pi dx dr \dots\dots\dots(2-13) \end{aligned}$$

- Dari persamaan (2-12) dan (2-13) diperoleh :

$$\Sigma F_x = \Sigma \left(\dot{m}v \right)_x$$

$$\left(-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r\tau)}{\partial r}\right) 2\pi r dx dr = \left(\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial r}\right) 2\pi r dx dr$$

atau :

$\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial r} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r\tau)}{\partial r}$(2-14)
---	---------------

(C). Persamaan Energi untuk Aliran Tunak (Steady).

Laju perpindahan panas pada permukaan atur	+	Laju kerja yang dilakukan pada permukaan atur	=	Perubahan entalpi fluida pada permukaan atur
--	---	---	---	--

Kerja yang dilakukan gaya – gaya permukaan merupakan hasil dari perkalian gaya – gaya yang bekerja dengan komponen kecepatannya :

- Kerja oleh tegangan geser pada permukaan bawah, F_{3u} :

$$- 2\pi \left(r\tau u - \frac{\partial(r\tau u)}{\partial r} \frac{dr}{2} \right) dx \quad \text{.....(2-15)}$$

- Kerja oleh tegangan geser pada permukaan atas, F_{4u} :

$$2\pi \left(r\tau u + \frac{\partial(r\tau u)}{\partial r} \frac{dr}{2} \right) dx \quad \text{.....(2-16)}$$

- Energi yang masuk, konveksi, di sisi sebelah kiri :

$$\left(E\rho u - \frac{\partial}{\partial x} (E\rho u) \frac{dx}{2} \right) 2\pi r dr \quad \text{.....(2-17)}$$

- Energi yang keluar, konveksi, di sisi sebelah kanan :

$$\left(E\rho u + \frac{\partial}{\partial x} (E\rho u) \frac{dx}{2} \right) 2\pi r dr \quad \text{.....(2-18)}$$

- Energi yang masuk, konveksi, di sisi sebelah bawah :

$$\left(E\rho v - \frac{\partial}{\partial x} (E\rho v) \frac{dr}{2} \right) 2\pi r dx \quad \text{.....(2-19)}$$

- Energi yang keluar, konveksi, di sisi sebelah atas :

$$\left(E\rho v + \frac{\partial}{\partial x} (E\rho v) \frac{dr}{2} \right) 2\pi r dx \quad \dots\dots\dots(2-20)$$

- Energi yang masuk, konduksi, di sisi sebelah bawah :

$$-\left(rk \frac{\partial T}{\partial r} - \frac{\partial}{\partial r} \left(rk \frac{\partial T}{\partial r} \right) \frac{dr}{2} \right) 2\pi dx \quad \dots\dots\dots(2-21)$$

- Energi yang keluar, konduksi, di sisi sebelah atas :

$$-\left(rk \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial r} \left(rk \frac{\partial T}{\partial r} \right) \frac{dr}{2} \right) 2\pi dx \quad \dots\dots\dots(2-22)$$

dengan k : konduktivitas termal
T : temperatur

Persamaan (2-15) sampai dengan persamaan (2-22) dimasukkan ke persamaan energi akan diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\sum(EnergiMasuk) + \sum(Kerja) = \sum(EnergiKeluar)$$

atau :

$$\frac{\partial}{\partial x} (\rho Eu) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\rho Ev) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\tau u) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(rk \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad \dots\dots\dots(2-23)$$

Karena : $E = C_p T + \frac{1}{2}(u^2 + v^2)$

C_p : panas spesifik pada tekanan tetap
T : temperatur

2.2 ALIRAN TURBULEN DIDALAM RUANG ANNULUS

Pada aliran turbulen , bongkah – bongkah makroskopik fluida bergerak kemana – mana didalam aliran tersebut. Untuk aliran simetri sumbu dua dimensi, dianggap gerakan makroskopik tersebut hanya dalam arah aksial dan radial saja. Dimana kecepatan aksial u berubah – ubah terhadap waktu dan kecepatan radial v menjadi tidak nol dan berubah – ubah juga.

Gerakan dari bongkah – bongkah makroskopik fluida tersebut mengangkut lebih banyak energi dan momentum, dibandingkan dengan pengangkutan mikroskopik oleh molekul – molekul pada aliran laminar. Sehingga ada kemungkinan bahwa gaya geser viskos (akibat adanya pengangkutan momentum) dan konduktivitas (akibat adanya perpindahan energi) pada aliran turbulen akan lebih besar dari gaya geser viskos pada aliran laminar. Maka timbullah viskositas pusaran dan konduktivitas pusaran.

Karena sifat – sifat pusaran tersebut dalam aliran batas berbeda – beda dan berfluktuasi, maka aliran yang benar – benar stasioner tidak akan pernah tercapai. Sehingga untuk mengatasi hal tersebut digunakan metode perata – ratahan terhadap semua besaran. Adapun jenis nilai rata – rata tersebut ada dua, yakni :

1. Rata – rata terhadap waktu , disebut rerata waktu :

$$\bar{B} = \frac{\int_0^T B dt}{T} \dots\dots\dots(2-24)$$

dimana : $B = \bar{B} + B'$ \dots\dots\dots(2-25)

dengan $B =$ besaran non geometris
 $B' =$ fluktuasi dari \bar{B}
 $t =$ variabel waktu
 $T =$ selang waktu

2. Rata – rata terhadap waktu dan massa, disebut rerata massa :

$$\tilde{B} = \frac{\overline{\rho B}}{\bar{\rho}} \dots\dots\dots(2-26)$$

dimana : $\tilde{B} = B + B''$ \dots\dots\dots(2-27)

dengan B'' fluktuasi dari \tilde{B}

Selain diatas berlaku pula rumus - rumus berikut :

$$\overline{fg'} = 0 \quad ; \quad \overline{fg''} = 0 \quad ; \quad \overline{f + g} = \bar{f} + \bar{g} \quad ; \quad \overline{(f)g} = \bar{f}\bar{g} \quad ;$$

$$\overline{\rho f''} = 0 \quad ; \quad \overline{f''} = -\frac{\overline{\rho' f'}}{\bar{\rho}} \quad \dots\dots\dots(2-28)$$

2.2.1 Persamaan Kontinuitas

Metoda perata – ratan pada persamaan kontinuitas :

- Untuk suku pertama :

$$\overline{\rho u} = \overline{(\rho + \rho')(u + u')}$$

Karena $\rho' \ll \bar{\rho}$ dan $u' \ll \bar{u}$ maka

$$\overline{\rho u} = \bar{\rho} \bar{u} \quad \dots\dots\dots(2-29)$$

- Untuk suku kedua :

$$\overline{\rho v} = \frac{\overline{\rho v}}{\rho} \bar{\rho} = \tilde{v} \bar{\rho} = \bar{\rho} \tilde{v} \quad \dots\dots\dots(2-30)$$

Sehingga persamaan kontinuitas (2-6) menjadi :

$$\boxed{\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r \rho v)}{\partial r} = 0} \quad \dots\dots\dots(2-31)$$

Besaran non geometris pada persamaan (2-29) adalah nilai rerata, sedangkan pada persamaan (2-30) v adalah rerata massa.

2.2.2 Persamaan Momentum

Dengan cara yang sama seperti pada persamaan kontinuitas, dimana yang perlu ditinjau hanyalah suku – suku yang mengandung v saja.

$$\begin{aligned} \overline{\rho v u} &= \overline{\rho v (\bar{u} + u')} \\ &= \overline{\rho v \bar{u}} + \overline{\rho v u'} \\ &= \bar{\rho} \tilde{v} \bar{u} + \overline{(\bar{\rho} + \rho') v u'} \\ &= \bar{\rho} \tilde{v} \bar{u} + \overline{\bar{\rho} v u'} + \overline{\rho' v u'} \\ &= \bar{\rho} \tilde{v} \bar{u} + \overline{\bar{\rho} v u'} \\ &= \bar{\rho} \tilde{v} \bar{u} + \overline{\bar{\rho} v u'} + \overline{\bar{\rho} v' u'} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \overline{\rho \tilde{v} u} + \overline{\rho v' u'} \\
&= \overline{\rho \tilde{v} u} + \overline{\rho v' u'} \quad \dots\dots\dots(2-32)
\end{aligned}$$

Persamaan (2-32) dimasukkan ke persamaan momentum, sehingga persamaan (2-14) menjadi :

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u^2) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho u v) = -\frac{dp}{dx} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \tau - r \overline{\rho u' v'})$$

Kemudian persamaan kontinuitas (2-31) dimasukkan kedalam persamaan diatas dan disederhanakan, diperoleh :

$$\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial r} = -\frac{dp}{dx} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \tau - r \overline{\rho u' v'}) \quad \dots\dots\dots(2-33)$$

Besaran non geometris pada persamaan diatas merupakan nilai rerata, sedangkan v merupakan rerata massa.

2.2.3 Persamaan Energi

Dengan cara yang sama, maka persamaan energi (2-23) dirata – ratakan untuk suku – suku yang mengandung v saja, yaitu :

$$\rho E v = \rho \left(C_p T + \frac{u^2}{2} + \frac{v^2}{2} \right) v \cong \rho \left(C_p T + \frac{u^2}{2} \right) v \quad \dots\dots\dots(2-34)$$

- Untuk suku $\rho C_p T v$,

$$\begin{aligned}
\overline{\rho C_p T v} &= \overline{\rho C_p T} v + \overline{\rho C_p (T v)'} \\
&= \overline{\rho C_p T} \tilde{v} + \overline{\rho C_p v' T'} \quad \dots\dots\dots(2-35)
\end{aligned}$$

- Untuk suku $\rho u^2 v$,

$$\begin{aligned}
\overline{\rho u^2 v} &= \overline{\rho u u v} + \overline{\rho u u' v'} \\
&= \overline{\rho u u} \tilde{v} + \overline{\rho u u' v'} \\
&= \overline{\rho u^2} \tilde{v} + \overline{\rho u u' v'} \quad \dots\dots\dots(2-36)
\end{aligned}$$

Kemudian persamaan (2-35) dan (2-36) dimasukkan kedalam persamaan energi, sehingga persamaan (2-23) menjadi :

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho E u) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho E v) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \tau u - r \rho u \overline{u'v'}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}\left(r k \frac{\partial T}{\partial r} - r \rho C_p \overline{T'v'}\right) \dots\dots\dots (2-37)$$

Persamaan momentum (2-33) disubstitusikan kedalam persamaan (2-37) dan disederhanakan, diperoleh :

$$\rho u C_p \frac{\partial T}{\partial x} + \rho v C_p \frac{\partial T}{\partial r} = -\beta T u \frac{dp}{dx} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}\left(r k \frac{\partial T}{\partial r} - r \rho C_p \overline{v'T'}\right) + \left(\tau - \rho \overline{u'v'}\right) \frac{\partial u}{\partial r} \dots\dots\dots (2-38)$$

dengan : β = koefisien ekspansi

Besaran non geometris pada persamaan diatas merupakan nilai rerata, sedangkan v merupakan rerata massa.

2.3. VISKOSITAS DAN KONDUKTIVITAS PUSARAN

Pada aliran turbulen, mekanisme pertukaran kalor dan momentum akibat bongkahan – bongkahan makroskopik fluida yang bergerak kemana – mana didalam aliran tersebut menimbulkan viskositas pusaran dan konduktivitas pusaran. Hal ini terlihat dengan adanya suku – suku tambahan pada persamaan momentum dan persamaan energi (persamaan 2-33 dan 2-38).

Menurut asumsi *Bousinesq* [1], suku – suku tambahan tersebut diubah menjadi sebagai berikut :

$$-\rho \overline{v'u'} = \mu_T \frac{\partial u}{\partial r} \dots\dots\dots (2-39)$$

$$-\rho C_p \overline{v'T'} = k_T \frac{\partial T}{\partial r} \dots\dots\dots (2-40)$$

Untuk permodelan *turbulen nol persamaan* (**persamaan aljabar sederhana**), terdapat besaran yang yang mempunyai pengaruh terhadap viskositas pusaran dan konduktivitas pusaran ; yakni *panjang pencampuran Prandtl* (l). Dimana panjang pencampuran Prandtl adalah jarak tempuh rata – rata dari bongkah turbulen fluida pada arah tegak lurus terhadap arah aliran rata – rata [7].

$$l = \kappa y \left(1 - e^{\left[\frac{-y(\tau_d |\rho_d|)^{0.5}}{\mu_d A} \right]} \right) \dots\dots\dots(2-41)$$

- dimana :
- κ = konstanta von Karman = 0,41
 - y = jarak dari dinding
 - τ_d = tegangan geser dekat dinding
 - ρ_d = rapat massa udara dekat dinding
 - μ_d = viskositas dekat dinding
 - A = konstanta damping = 26

Adapun persamaan viskositas puserannya adalah sebagai berikut :

$$\mu_T = \rho l^2 \left| \frac{\partial u}{\partial r} \right| \dots\dots\dots(2-42)$$

Sedangkan konduktivitas puserannya adalah sebagai berikut :

$$k_T = \frac{\mu_T C_p}{Pr_T} \dots\dots\dots(2-43)$$

- dimana :
- Pr_T = bilangan Prandtl puseran
 - = 1,5 dekat dinding ; (0,7 – 0,6) di luar dinding ;
 - tapi yang paling umum 0,9

2.4 SIFAT – SIFAT UDARA

Karena tekanan udara didalam ruang annulus sekitar satu atmosfer, maka sifat – sifat fluida diambil pada tekanan tersebut, dan hanya merupakan fungsi dari temperatur.

- ◆ Rapat Massa :

$$\rho = \frac{342}{T} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \dots\dots\dots(2-44)$$

- ◆ Kalor jenis pada tekanan tetap :

$$C_p = 985,9 + 0,066 T \quad (\text{J/kg/}^\circ\text{C}) \dots\dots\dots(2-45)$$

- ◆ Viskositas Dinamik :

$$\mu = (1,431 + 0,00184 T) \cdot 10^{-5} \quad (\text{kg/m/s}) \dots\dots\dots(2-46)$$

- ◆ Konduktivitas Termal :

$$k = (35 + 0,758 T) \cdot 10^{-4} \text{ (W/m/}^\circ\text{C)} \dots\dots\dots(2-47)$$

- ◆ Koefisien ekspansi :

$$\beta T \cong 1 \dots\dots\dots(2-48)$$

2.5 METODA BEDA HINGGA

Metoda Beda Hingga adalah salah satu metoda pendekatan untuk mendapatkan solusi numerik secara efisien dan akurat. Dimana model masalah tersebut biasanya dinyatakan dalam bentuk Persamaan Differensial, khususnya Persamaan Differensial Parsial (PDE).

Pendekatan yang dilakukan adalah dengan men-set nilai – nilai fungsi pada sejumlah titik – titik yang dipilih, yang disebut node – node. Makin kecil ukuran node – node tersebut, makin dapat diperkirakan kelakuan variabel – variabel yang diamati dan juga memperkecil kesalahan pemotongan (truncation error).

Adapun Metoda Beda Hingga yang digunakan adalah metoda implisit. Dimana metoda ini menggunakan satu titik pada level sebelumnya untuk menghitung penyelesaian pada tiga titik berikutnya.

Cara yang paling sering dipakai untuk pendekatan Beda Hingga adalah melalui ekspansi deret Taylor, sebagai berikut :

1. Ekspansi maju (*Forward Difference*)

$$U(x_0 + \Delta x, y_0) = U(x_0, y_0) + \left. \frac{\partial U}{\partial x} \right|_0 \Delta x + \left. \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right|_0 \frac{(\Delta x)^2}{2!} + \dots \dots\dots(2-49)$$

$$\left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{x_0, y_0} = \frac{U(x_0 + \Delta x, y_0) - U(x_0, y_0)}{\Delta x} - \left. \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right|_0 \frac{(\Delta x)^2}{2!} + \dots$$

atau :

$$\left. \frac{\partial U}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{U_{i+1,j} - U_{i,j}}{\Delta x} + O(\Delta x) \dots\dots\dots(2-50)$$

2. Ekspansi mundur (*Backward Difference*)

$$U(x_0 - \Delta x, y_0) = U(x_0, y_0) - \left. \frac{\partial U}{\partial x} \right|_0 \Delta x + \left. \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right|_0 \frac{(\Delta x)^2}{2!} - \dots \dots \dots (2-51)$$

$$\left. \frac{\partial U}{\partial x} \right|_{x_0, y_0} = \frac{U(x_0, y_0) - U(x_0 - \Delta x, y_0)}{\Delta x} + \left. \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right|_0 \frac{(\Delta x)^2}{2!} - \dots$$

atau :

$$\left. \frac{\partial U}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{U_{i,j} - U_{i-1,j}}{\Delta x} + O(\Delta x) \dots \dots \dots (2-52)$$

3. Ekspansi Pusat (*Central Difference*)

$$\left. \frac{\partial U}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{U_{i+1,j} - U_{i-1,j}}{2\Delta x} + O(\Delta x)^2 \dots \dots \dots (2-53)$$

dimana : $O(\Delta x)$ dan $O(\Delta x)^2$ adalah kesalahan akibat pemotongan (truncation error).

Sedangkan untuk turunan kedua diperoleh dari hasil eliminasi deret Taylor pada persamaan (2-51) dan (2-53) :

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = \frac{U_{i+1,j} - 2U_{i,j} + U_{i-1,j}}{\Delta x^2} + O(\Delta x)^2 \dots \dots \dots (2-54)$$

Dengan cara yang sama seperti diatas, kita dapatkan penurunan – penurunan untuk variabel - variabel V dan T .

2.6 METODA TDMA

TDMA (Tridiagonal Matrices Algorithm) atau biasa dikatakan Algoritma Thomas, adalah suatu algoritma untuk menyelesaikan sistem persamaan aljabar linier dimana matriks koefisiennya berupa matriks tiga diagonal.

Sistem persamaan tridiagonal ukuran besar biasanya muncul dalam masalah – masalah bilangan, khususnya dalam pemecahan masalah numerik dari persamaan – persamaan diferensial yang menggunakan metoda implisit.

Algoritma Thomas tersebut , penulis gunakan untuk mendapatkan nilai – nilai U (kecepatan aksial) pada tingkat ke $n+1$, dan nilai – nilai T (suhu udara) pada tingkat ke $n+1$.



BAB III

KONDISI AWAL DAN KONDISI BATAS

Untuk mendapatkan distribusi temperatur di dalam ruang annulus, terlebih dahulu kita harus menentukan kondisi awal dan kondisi batasnya

3.1 KONDISI AWAL

Kondisi awal adalah kondisi udara dan alirannya pada saat memasuki ruang annulus diasumsikan seragam, sehingga :

$$T(r) = t_1 = \text{temperatur udara pada sisi masuk} \dots\dots\dots(3-1)$$

$$U(r) = \frac{Q}{\pi(r_{21}^2 - r_{12}^2)} = \text{kecepatan aksial borongan} \dots\dots\dots(3-2)$$

dengan : Q = laju aliran air

$$V(r) = 0 \dots\dots\dots(3-3)$$

3.2 KONDISI BATAS

Kondisi batas adalah kondisi – kondisi pada dinding luar silinder dalam dan dinding dalam silinder luar, dimana :

◆ Kecepatan aksial dan radialnya (U dan V) adalah nol $\dots\dots\dots(3-4)$

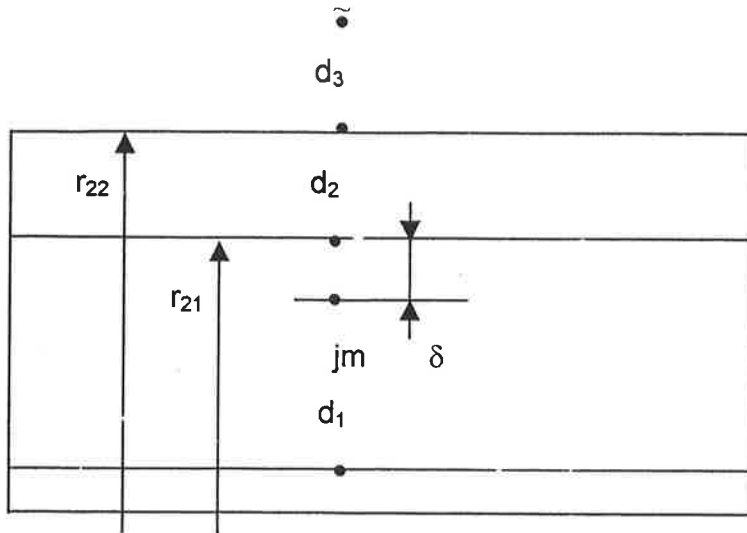
Sedangkan kondisi batas temperatur adalah sebagai berikut :

• Untuk dinding luar silinder dalam, $T_{d1} = 50^\circ\text{C}$ dan $90^\circ\text{C} \dots\dots\dots(3-5)$

• Untuk dinding dalam silinder luar, diperoleh dari rumus berikut [8]:

$$T_{d2} = T_{jm} - \frac{R_1(T_{jm} - T_\infty)}{R_1 + R_2 + R_3} \dots\dots\dots(3-6)$$

dengan asumsi bahwa arah aliran panas dari node - j_m ke udara atmosfer adalah radial (lihat gambar 3.1).



Gambar 3.1

dimana :

T_{jm} = temperatur node - j_m

T_{d1} = temperatur dinding dalam annulus = 50 °C dan 90 °C

T_{d2} = temperatur dinding luar annulus

T_{\sim} = temperatur udara atmospir

δ = jarak antara node- j_m dengan node- d_2

R_1 = tahanan termal antara node - j_m dan node - d_2

$$= \ln \frac{r_{21}}{r_{21} - \delta} \frac{\ln \frac{r_{21}}{r_{21} - \delta}}{2\pi k} \dots\dots\dots(3-7)$$

R_2 = tahanan termal antara node - d_2 dan node - d_3

$$= \ln \frac{r_{22}}{r_{21}} \frac{\ln \frac{r_{22}}{r_{21}}}{2\pi k_s} \dots\dots\dots(3-8)$$

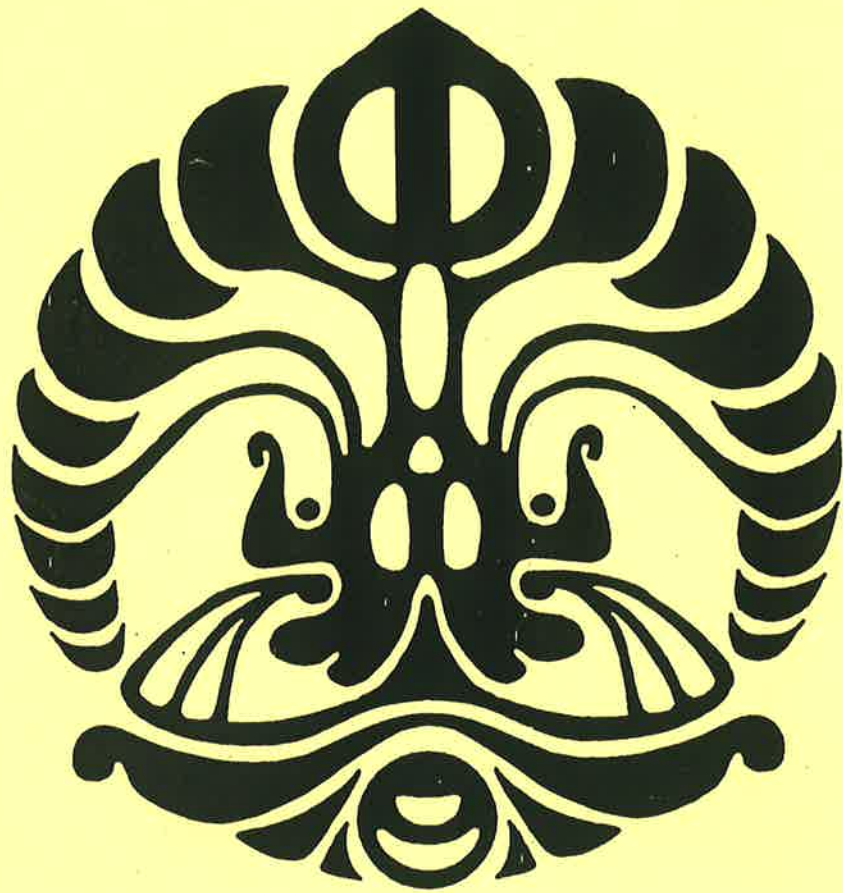
R_3 = tahanan termal antara node - d_3 dan atmospir

$$= \frac{1}{2\pi h r_{22}} \dots\dots\dots(3-9)$$

h = koefisien konveksi atmospir

k_s = konduktivitas termal dari silinder luar

k = konduktivitas termal dari node terdekat pada dinding



BAB IV

PENYELESAIAN NUMERIK

4.1 RUANG ANNULUS

Ruang annulus dibagi atas beberapa buah node dalam arah radial. Node – node ditandai dengan [j,n] dimana j menyatakan node searah radial, sedangkan n menyatakan node searah aksial. Jarak antar node tersebut dinyatakan dalam bentuk fungsi eksponensial, yakni :

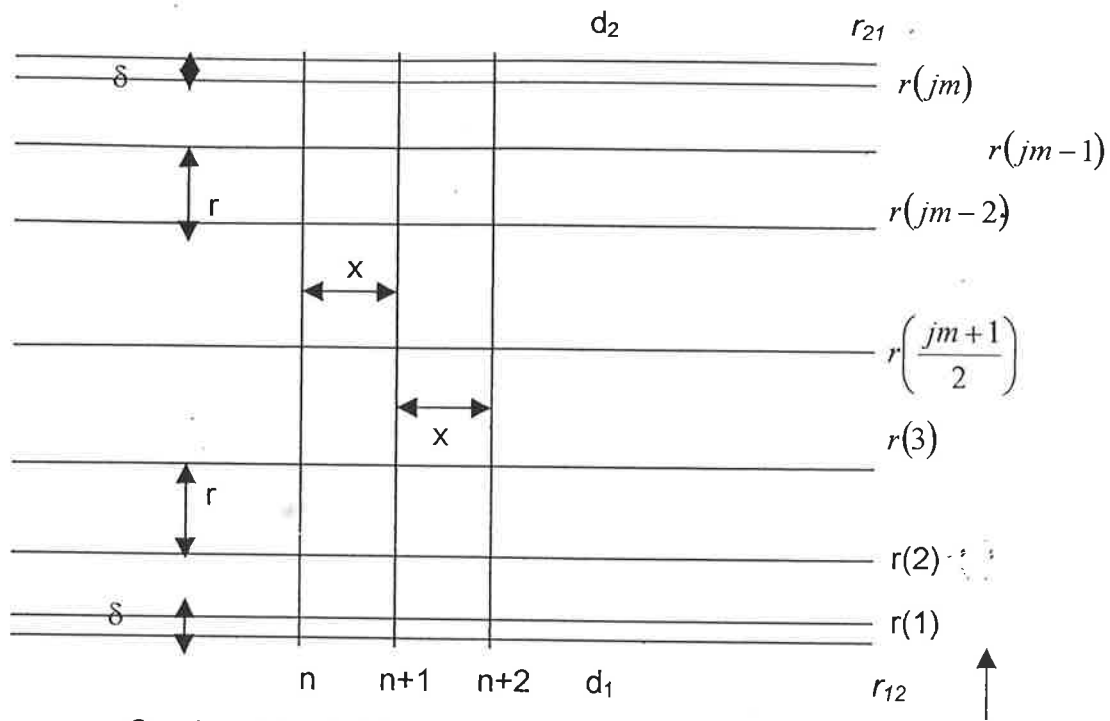
$$\Delta r(j) = e^{(j)} \quad ; \text{ untuk } j = 1 \dots j = \frac{jm+1}{2} \quad \dots\dots\dots(4-1)$$

Dimana jarak antar node untuk $j = \frac{jm+1}{2} + 1 \dots : j=jm$; simetri, dengan ketentuan sebagai berikut :

- $r(1) - r_{12} \quad (\Delta r_1 = \delta) \quad = r_{21} - r(jm) \quad (\Delta r(jm+1) = \delta)$
- $r(2) - r(1) \quad (\Delta r_2) \quad = r(jm) - r(jm-1) \quad (\Delta r(jm))$
-
-
-
- $r\left(\frac{jm+1}{2}\right) - r\left(\frac{jm+1}{2} - 1\right) \quad = r\left(\frac{jm+1}{2} + 1\right) - r\left(\frac{jm+1}{2}\right)$

Dan jarak antar node yang terpendek adalah δ .

Dengan menggunakan persamaan (4-1) , kita dapat menyelesaikan persamaan – persamaan pada bab-2, dengan pemecahan secara numeriknya.

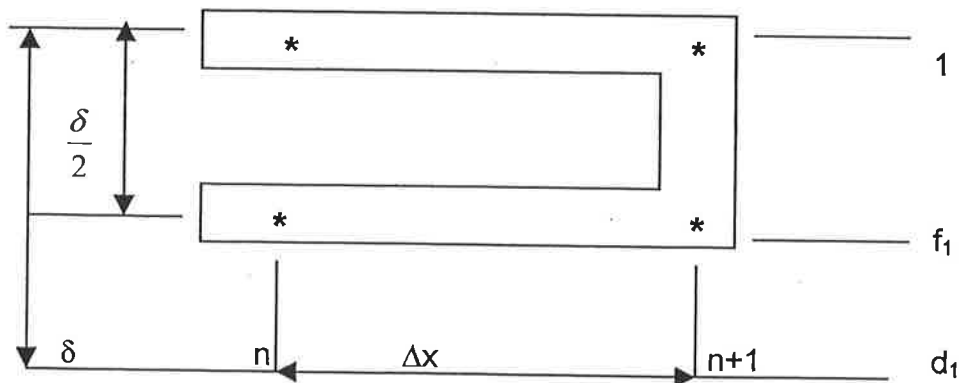


Gambar 4.1. Pembagian node – node didalam ruang annulus.

4.2 PERSAMAAN KONTINUITAS

Dari persamaan kontinuitas diperoleh kecepatan dalam arah radial (v) pada tingkat ke $[n+1]$. Yang bergantung pada kecepatan aksial u dan rapat massa ρ pada tingkat ke $[n]$ dan tingkat $[n+1]$ dengan asumsi kecepatan radial dekat dinding adalah nol. Dengan menggunakan metoda beda hingga, dari persamaan (2-31) diperoleh persamaan – persamaan berikut :

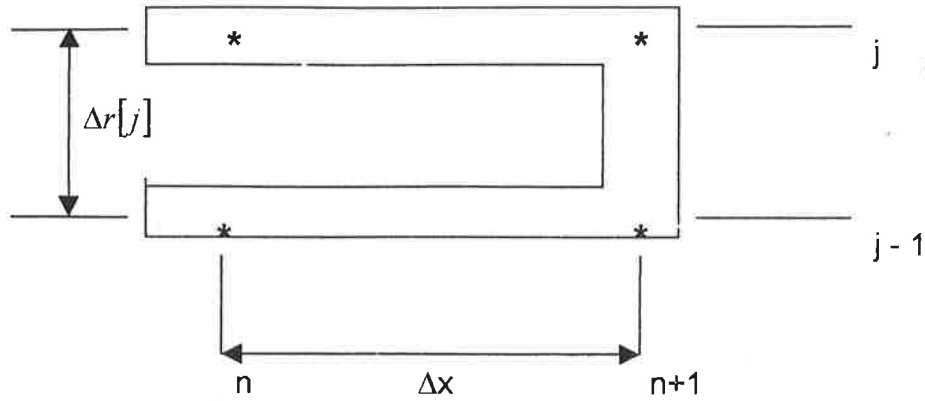
Untuk $j = 1$



Gambar 4.2.

$$v_{[1,n+1]} = 0 - \frac{\left(\frac{\delta}{2}\right)\left(r_{12} + \frac{\delta}{2}\right)}{2\Delta x(r_{12} + \delta)\rho_{[1,n+1]}} (\rho_{[1,n+1]}u_{[1,n+1]} - \rho_{[1,n]}u_{[1,n]}) \dots \dots (4-2)$$

Untuk $j = 2$ sampai dengan $j = jm$



Gambar 4.3.

$$v[j, n+1] = v[j-1, n+1] \frac{(r[j-1]\rho[j-1, n+1])}{r[j]\rho[j, n+1]} - \frac{\Delta r[j] \left(r[j] - \frac{\Delta r[j]}{2} \right)}{2\Delta x r[j]\rho[j, n+1]} * \\ \{ \rho[j, n+1]\mu[j, n+1] - \rho[j, n]\mu[j, n] + \rho[j-1, n+1]\mu[j-1, n+1] - \rho[j-1, n]\mu[j-1, n] \} \\ \dots\dots\dots(4-3)$$

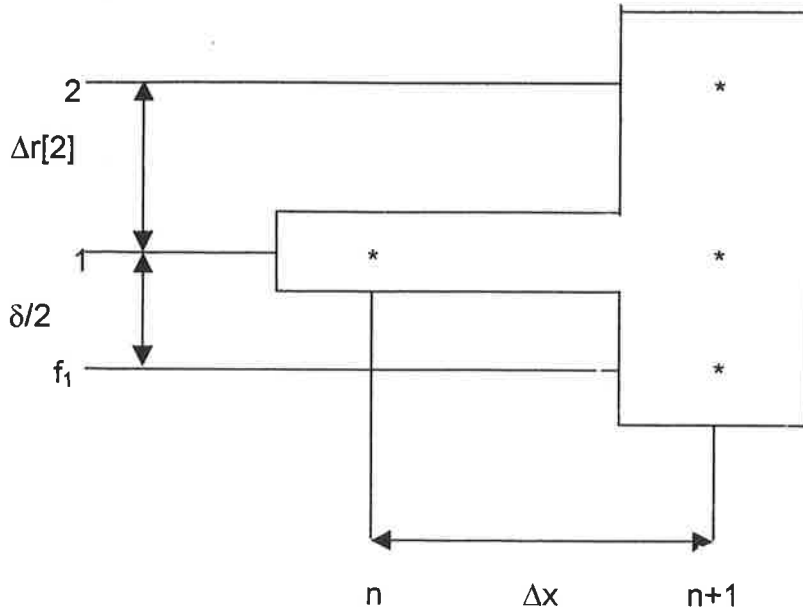
4.3 PERSAMAAN MOMENTUM

Dari persamaan momentum diperoleh kecepatan dalam arah aksial (u) pada tingkat ke $[n+1]$. Yang bergantung pada data tingkat ke $[j-1, n+1]$ dan data pada tingkat ke $[j, n]$.

Viskositas, μ , dalam persamaan ini adalah viskositas total akibat adanya gerakan makroskopik dan gerakan mikroskopik.

Dengan menggunakan metoda beda hingga secara implisit, dari persamaan (2-33) diperoleh persamaan – persamaan berikut :

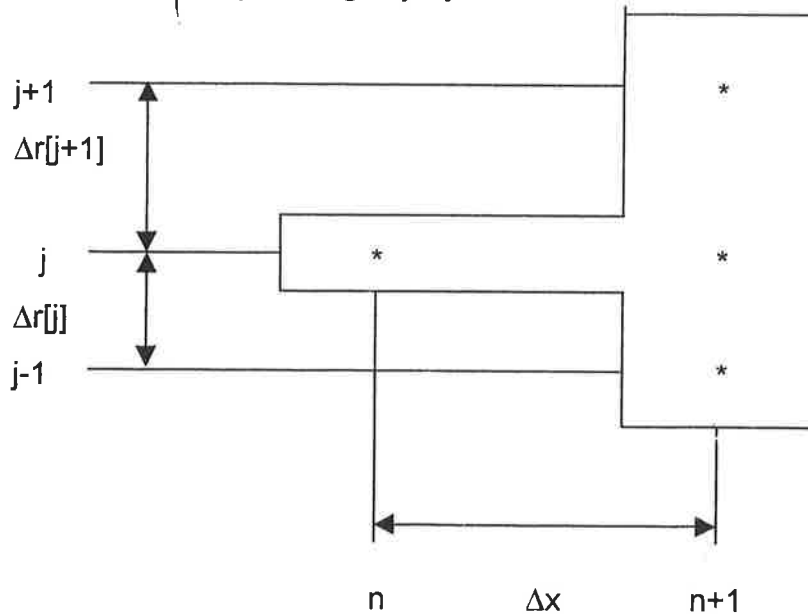
Untuk $j = 1$



Gambar 4.4

$$U_1^{n+1} \left\{ \frac{\rho_1^n U_1^n}{\Delta x} + \frac{4\mu_1^n}{\Delta r[2]\delta} \right\} + U_2^{n+1} \left\{ \frac{1}{\Delta r[2] + \frac{\delta}{2}} \left(\rho_1^n V_1^n - \frac{2\mu_1^n}{\Delta r[2]} - \frac{\mu_2^n - \mu_{f1}^n}{\Delta r[2] + \frac{\delta}{2}} - \frac{\mu_1^n}{r_{i2} + \delta} \right) \right\} = - \left(\frac{dp}{dx} \right)^n + \frac{\rho_1^n U_1^n U_1^n}{\Delta x} \dots\dots\dots (4-4)$$

Untuk $j = 2$ sampai dengan $j = jm - 1$

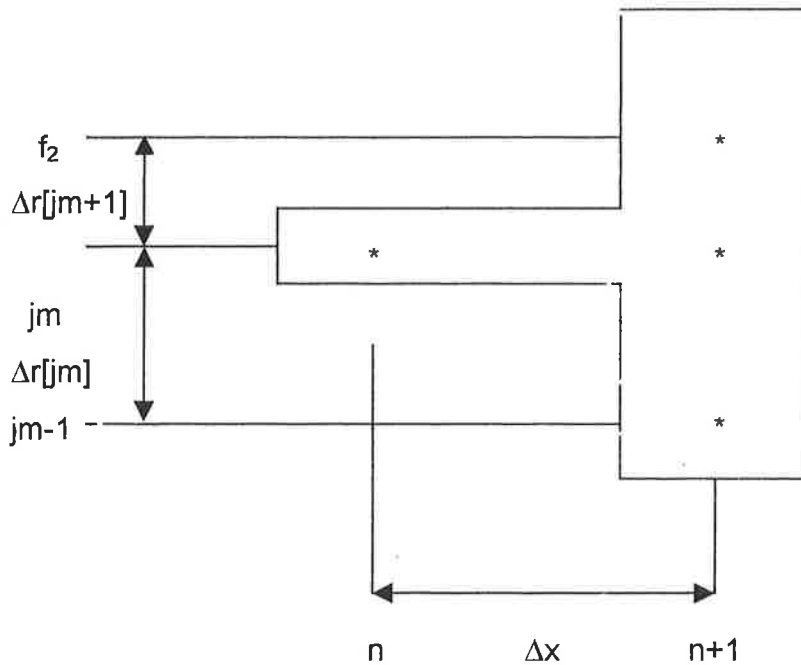


Gambar 4.5

$$\begin{aligned}
& U_{j-1}^{n+1} \left\{ \frac{1}{\Delta r[j] + \Delta r[j+1]} \left(-\rho_j^n V_j^n - \frac{2\mu_j^n}{\Delta r[j]} + \frac{\mu_{j+1}^n - \mu_{j-1}^n}{\Delta r[j] + \Delta r[j+1]} + \frac{\mu_j^n}{r_j} \right) \right\} + \\
& U_j^{n+1} \left\{ \frac{\rho_j^n U_j^n}{\Delta x} + \frac{2\mu_j^n}{\Delta r[j] \Delta r[j+1]} \right\} + \\
& U_{j+1}^{n+1} \left\{ \frac{1}{\Delta r[j] + \Delta r[j+1]} \left(\rho_j^n V_j^n - \frac{2\mu_j^n}{\Delta r[j+1]} - \frac{\mu_{j+1}^n - \mu_{j-1}^n}{\Delta r[j] + \Delta r[j+1]} - \frac{\mu_j^n}{r_j} \right) \right\} = \\
& - \left(\frac{dp}{dx} \right)^n + \frac{\rho_j^n U_j^n U_j^n}{\Delta x}
\end{aligned}$$

.....(4-5)

Untuk $j = jm$



Gambar 4.6

$$\begin{aligned}
& U_{jm}^{n+1} \left\{ \frac{\rho_{jm}^n U_{jm}^n}{\Delta x} + \frac{4\mu_{jm}^n}{\Delta r[jm] \delta} \right\} + U_{jm-1}^{n+1} \left\{ \frac{1}{\Delta r[jm] + \frac{\delta}{2}} \left(-\rho_{jm}^n V_{jm}^n - \frac{2\mu_{jm}^n}{\Delta r[jm]} + \frac{\mu_{f2}^n - \mu_{jm-1}^n}{\Delta r[jm] + \frac{\delta}{2}} + \frac{\mu_{jm}^n}{r_{21} - \delta} \right) \right\} = \\
& - \left(\frac{dp}{dx} \right)^n + \frac{\rho_{jm}^n U_{jm}^n U_{jm}^n}{\Delta x}
\end{aligned}$$

.....(4-6)

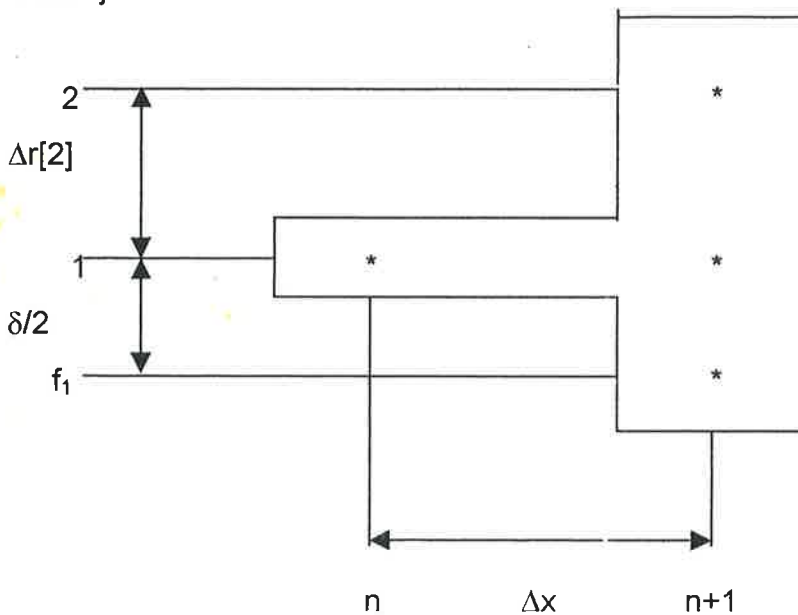
4.4 PERSAMAAN ENERGI

Dari persamaan energi diperoleh temperatur udara (T) pada tingkat ke [$j, n+1$]. Yang bergantung pada data tingkat ke [$j-1, n+1$] dan data pada tingkat ke [j, n].

Viskositas (μ) dan konduktivitas (k) dalam persamaan ini adalah viskositas total dan konduktivitas total akibat adanya gerakan makroskopik dan gerakan mikroskopik.

Dengan menggunakan metoda beda hingga, dari persamaan (2 - 38) diperoleh persamaan – persamaan berikut :

Untuk $j = 1$



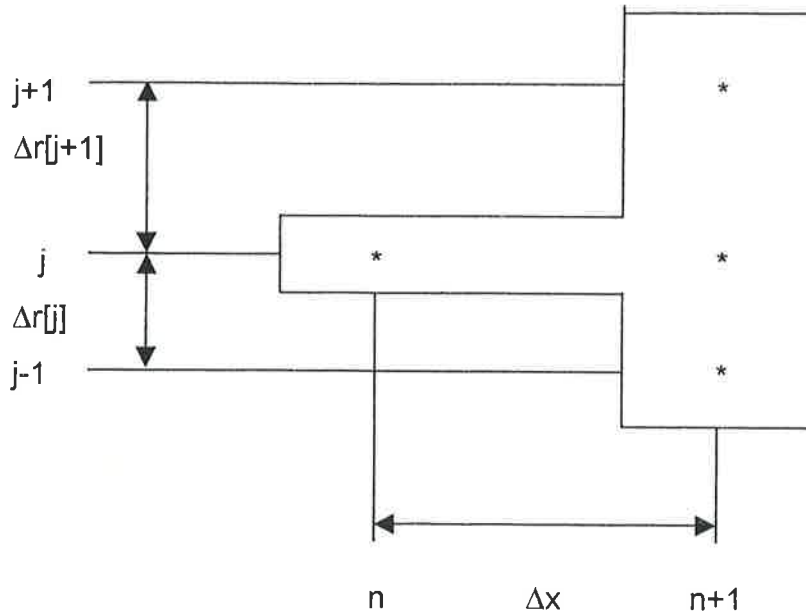
Gambar 4.7

$$T_1^{n+1} \left\{ \frac{\rho_1^n U_1^n C_{p1}^n}{\Delta x} + \frac{4k_1^n}{\Delta r[2]\delta} \right\} + T_2^{n+1} \left\{ \frac{1}{\Delta r[2] + \frac{\delta}{2}} \left(\rho_1^n V_1^n C_{p1}^n - \frac{2k_1^n}{\Delta r[2]} - \frac{k_2^n - k_{f1}^n}{\Delta r[2] + \frac{\delta}{2}} - \frac{k_1^n}{r_{i2} + \delta} \right) \right\} =$$

$$U_1^n \left\{ \frac{\mu_1}{\frac{\delta}{2}} \frac{U_2^n}{\Delta r[2] + \frac{\delta}{2}} + \left(\frac{dp}{dx} \right)^n + \frac{\rho_1^n C_{p1}^n T_1^n}{\Delta x} \right\} - T_{f1}^{n+1} \left\{ -\frac{1}{\Delta r[2] + \frac{\delta}{2}} \left(\rho_1^n V_1^n C_{p1}^n + \frac{2k_1^n}{\delta} - \frac{k_2^n - k_{f1}^n}{\Delta r[2] + \frac{\delta}{2}} - \frac{k_1^n}{r_{i2} + \delta} \right) \right\}$$

.....(4-7)

Untuk $j = 2$ sampai dengan $j = j_m - 1$

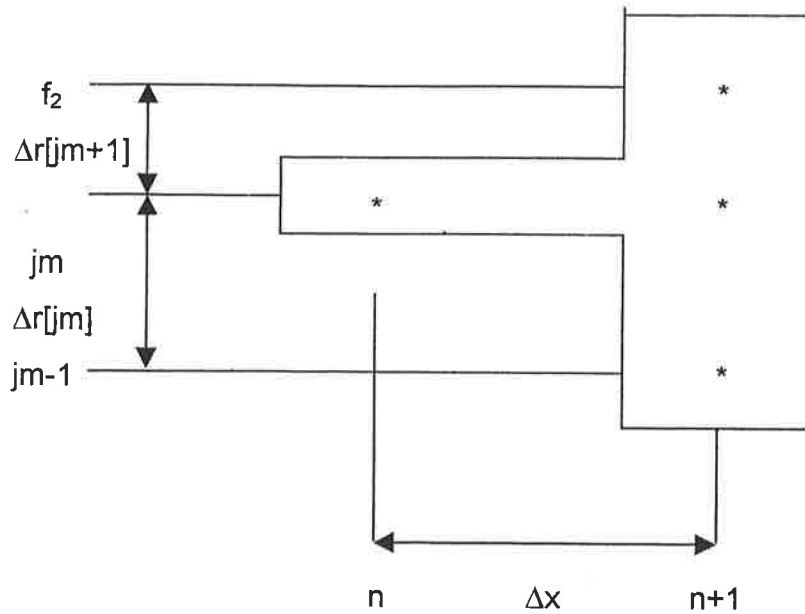


Gambar 4.8

$$\begin{aligned}
 & T_{j-1}^{n+1} \left\{ \frac{1}{\Delta r[j] + \Delta r[j+1]} \left(\rho_j^n V_j^n C_{pj}^n + \frac{2k_j^n}{\Delta r[j]} - \frac{k_{j+1}^n - k_{j-1}^n}{\Delta r[j] + \Delta r[j+1]} - \frac{k_j^n}{r_j} \right) \right\} + \\
 & T_j^{n+1} \left\{ \frac{\rho_j^n U_j^n C_{pj}^n}{\Delta x} + \frac{2k_j^n}{\Delta r[j] \Delta r[j+1]} \right\} + \\
 & T_{j+1}^{n+1} \left\{ \frac{1}{\Delta r[j] + \Delta r[j+1]} \left(\rho_j^n V_j^n C_{pj}^n - \frac{2k_j^n}{\Delta r[j+1]} - \frac{k_{j+1}^n - k_{j-1}^n}{\Delta r[j] + \Delta r[j+1]} - \frac{k_j^n}{r_j} \right) \right\} = \\
 & U_j^n \left\{ \left(\frac{dp}{dx} \right)^n + \frac{\rho_j^n T_j^n C_{pj}^n}{\Delta x} \right\} + \mu_j^n \left(\frac{U_{j+1}^n - U_{j-1}^n}{\Delta r[j] + \Delta r[j+1]} \right)^2
 \end{aligned}$$

.....(4-8)

Untuk $j = jm$



Gambar 4.9

$$\begin{aligned}
 & T_{jm}^{n+1} \left\{ \frac{\rho_{jm}^n U_{jm}^n C_{pjm}^n}{\Delta x} + \frac{4k_{jm}^n}{\Delta r[jm]\delta} \right\} + \\
 & T_{jm-1}^{n+1} \left\{ -\frac{1}{\Delta r[jm] + \frac{\delta}{2}} \left(\rho_{jm}^n V_{jm}^n C_{pjm}^n + \frac{2k_{jm}^n}{\Delta r[jm]} - \frac{k_{f2}^n - k_{jm-1}^n}{\Delta r[jm] + \frac{\delta}{2}} - \frac{k_{jm}^n}{r_{21} - \delta} \right) \right\} = \\
 & U_{jm}^n \left\{ \frac{\mu_{jm}^n}{\delta} \frac{U_{jm-1}^n}{\Delta r[jm] + \frac{\delta}{2}} + \left(\frac{dp}{dx} \right)^n + \frac{\rho_{jm}^n C_{pjm}^n T_{jm}^n}{\Delta x} \right\} - T_{f2}^{n+1} \left\{ \frac{1}{\Delta r[jm] + \frac{\delta}{2}} \left(\rho_{jm}^n V_{jm}^n C_{pjm}^n - \frac{2k_{jm}^n}{\delta} - \right. \right. \\
 & \left. \left. \frac{k_{f2}^n - k_{jm-1}^n}{\Delta r[jm] + \frac{\delta}{2}} - \frac{k_{jm}^n}{r_{21} - \delta} \right) \right\}
 \end{aligned}
 \tag{4-9}$$

4.5 VISKOSITAS DAN KONDUKTIVITAS PUSARAN

Untuk mendapatkan nilai viskositas dan konduktivitas pusaran, maka sebelumnya kita harus menghitung nilai – nilai sebagai berikut :

- Jarak dari dinding :

$$y = \delta \quad \dots\dots\dots \text{untuk } j = 1$$

$$y = \delta \quad \dots\dots\dots \text{untuk } j = jm$$

$$y = \sum_1^j \Delta r[j] \dots\dots\dots \text{untuk } j \leq \frac{jm+1}{2} \text{ dan } j > 1$$

$$y = \sum_{j+1}^{jm+1} \Delta r[j] \dots\dots\dots \text{untuk } j > \frac{jm+1}{2} \text{ dan } j < jm$$

- Tegangan geser di dinding :

$$\tau_{a1} = \mu_{f1} \frac{u[1,n]}{\frac{\delta}{2}} \dots\dots\dots \text{untuk } j < \frac{jm+1}{2}$$

$$\tau_{a2} = \mu_{f2} \frac{u[jm,n]}{\frac{\delta}{2}} \dots\dots\dots \text{untuk } j > \frac{jm+1}{2}$$

- Gradien kecepatan u

$$\frac{\partial u}{\partial r} = \frac{u[1,n]}{\frac{\delta}{2}} \dots\dots\dots \text{untuk } j = 1$$

$$\frac{\partial u}{\partial r} = \frac{-u[jm,n]}{\frac{\delta}{2}} \dots\dots\dots \text{untuk } j = jm$$

$$\frac{\partial u}{\partial r} = \frac{u[j+1,n] - u[j-1,n]}{\Delta r[j]} \dots\dots\dots \text{untuk } 2 \leq j \leq jm-1$$

4.6 ALGORITMA PERHITUNGAN

Untuk menyelesaikan sistem persamaan – persamaan diferensial sebelumnya, sehingga akhirnya kita memperoleh distribusi temperatur udara didalam ruang anulus, maka diperlukan langkah – langkah perhitungan sebagai berikut :

1. Tentukan keadaan awal.
2. Tentukan sifat-sifat fluida sebagai fungsi temperatur.
3. Hitung viskositas dan konduktivitas pusaran.

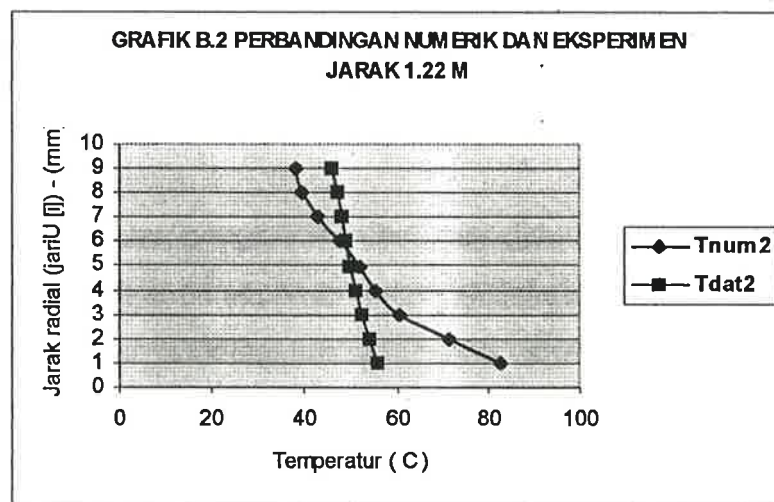
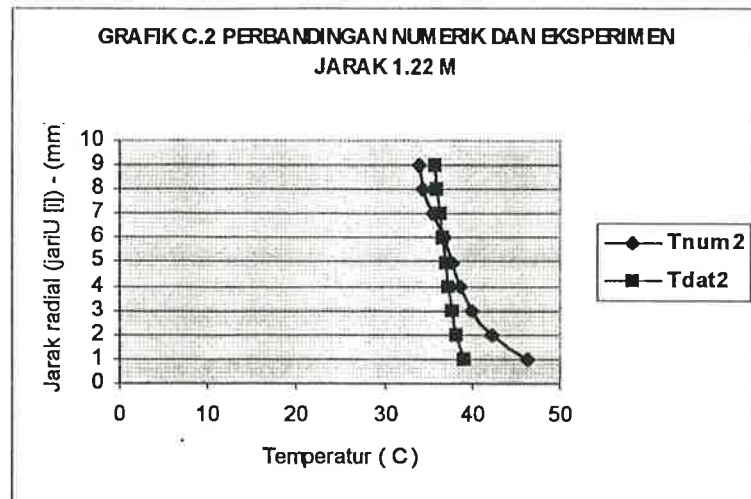
4. Gradien tekanan diasumsikan konstan sepanjang arah aksial .
5. Hitung kecepatan aksial U pada tingkat ke $[n+1]$ dengan menggunakan metoda TDMA.
6. Hitung temperatur T pada tingkat ke $[n+1]$ dengan menggunakan metoda TDMA.
7. Hitung kecepatan radial V pada tingkat ke $[n+1]$
8. Lakukan kembali perhitungan untuk menentukan keadaan pada tingkat berikutnya, yaitu mulai dari langkah (2).

4.7 ANALISA DATA

Grafik perbandingan data hasil perhitungan numerik dan data eksperimen dapat dilihat pada lampiran A.1 – A.3 ; B.1 – B.3 ; C.1 – C.3 ; D.1 – D.3, dimana :

- ◆ Grafik A.1 – A.3 memperlihatkan perbandingan data numerik dan data eksperimen untuk $T_{d1} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ dan debit udara 0.0101 m/s, dengan sisi masuk dari ruang annulus 0,61; 1,22 dan 1,83. Dan pada jarak dari sisi masuk sebesar 1.22 m, kesesuaian antara data hasil numerik dan data eksperimen adalah yang paling baik.
- ◆ Grafik B.1 – B.3 memperlihatkan perbandingan data numerik dan data eksperimen untuk $T_{d1} = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ dan debit udara 0.0101 m/s, dengan sisi masuk dari ruang annulus 0,61; 1,22 dan 1,83. Dan pada jarak dari sisi masuk sebesar 1.22 m, kesesuaian antara data hasil numerik dan data eksperimen adalah yang paling baik.
- ◆ Grafik C.1 – C.3 memperlihatkan perbandingan data numerik dan data eksperimen untuk $T_{d1} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ dan debit udara 0.01398 m/s, dengan sisi masuk dari ruang annulus 0,61; 1,22 dan 1,83. Dan pada jarak dari sisi masuk sebesar 1.22 m, kesesuaian antara data hasil numerik dan data eksperimen adalah yang paling baik.
- ◆ Grafik D.1 – D.3 memperlihatkan perbandingan data numerik dan data eksperimen untuk $T_{d1} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ dan debit udara 0.01398 m/s, dengan sisi masuk dari ruang annulus 0,61; 1,22 dan 1,83. Dan pada jarak dari sisi masuk sebesar 1.22 m, kesesuaian antara data hasil numerik dan data eksperimen adalah yang paling baik.

Dari seluruh grafik hasil tersebut, terlihat bahwa kesesuaian antara data numerik dan data eksperimen yang paling baik terjadi pada jarak dari sisi masuk ruang annulus sebesar 1.22 m terutama pada grafik C.2, dimana penyimpangan antara temperatur data numerik yang diperoleh dengan data eksperimen adalah yang paling kecil. Sementara itu penyimpangan antara data numerik dan data eksperimen yang paling besar terlihat pada grafik B.2



Pada keseluruhan grafik, data numerik yang diperoleh memperlihatkan terjadinya perpindahan kalor konduksi radial sebagai berikut :

1. Pada sisi masuk $\left(\frac{\partial T}{\partial r}\right) = 0$ yang berarti konduksi kalor arah radial sama dengan nol. Sementara gradien temperatur antara dinding dalam dengan

lapisan udara didekatnya lebih besar sehingga konduksi kalor yang terjadi juga lebih besar dari yang sebenarnya.

2. Pada daerah dekat sisi masuk, $\left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)$ yang terjadi lebih besar dari data sebenarnya yang berarti konduksi kalornya juga lebih besar. Sehingga menyebabkan temperatur udara lebih cepat naik untuk daerah berikutnya
3. Pada daerah radial yang semakin besar, $\left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)$ terlihat semakin kecil.

Sehingga konduksi kalornya pun semakin kecil.

Secara keseluruhan $\left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)$ untuk masing – masing jarak aksial memperlihatkan perubahan yang tidak terlalu besar. Sehingga laju aliran kalor konduksi radial dapat dikatakan cukup kecil.

Sedangkan untuk daerah yang makin jauh dari sisi masuk ruang annulus, $\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)$ dalam arah aksial, juga memperlihatkan perubahan yang semakin kecil. Sehingga laju aliran kalor konveksinya semakin kecil.

Adapun penyimpangan – penyimpangan yang terjadi pada perhitungan numerik dapat disebabkan oleh beberapa kesalahan sebagai berikut :

1. Kesalahan data eksperimental, yang relatif lebih kecil dibandingkan kesalahan lainnya.
2. Kesalahan akibat pengambilan asumsi – asumsi, dimana :
 - ◆ Gradien tekanan sepanjang arah aksial diasumsikan konstan.
 - ◆ Temperatur dinding dalam ruang annulus yang diasumsikan konstan sepanjang arah aksial silinder. Padahal dari hasil eksperimen sebelumnya menunjukkan bahwa temperatur dinding tersebut mempunyai variasi temperatur walaupun cukup kecil.
 - ◆ Kondisi awal masuk ruang annulus (kecepatan dan temperatur) diasumsikan seragam dalam arah radial.
3. Kesalahan akibat model persamaan pendekatan aliran turbulen dan metoda penyelesaian yang digunakan. Dengan tetap menggunakan model turbulen aljabar sederhana dengan metoda beda hingga secara implisit dan TDMA, ternyata hasil yang diperoleh berbeda dari hasil penelitian yang sebelumnya yang menggunakan metoda beda hingga

secara eksplisit . Untuk metoda Beda Hingga secara implisit tidak ada syarat stabilitas dan jarak antar tingkat ke-n dan tingkat ke-n+1 (Δx) yang diambil cukup besar yakni 0,1 m.

4. Kesalahan numerik, dimana kesalahan ini selalu muncul dalam perhitungan numerik. Hal ini disebabkan oleh dua hal, yakni :
 - a) Kesalahan akibat pembulatan (round – off error).
 - b) Kesalahan pemotongan (truncation error) .
5. Perbedaan parameter perbandingan yang digunakan. Sebaiknya parameter yang dibandingkan antar penelitian sama, misalkan hanya untuk jarak dari sisi masuk ruang annulus sebesar 1,22 m saja.



BAB V

KESIMPULAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari penyelesaian Sistem Persamaan Differensial dengan menggunakan metoda Beda Hingga secara implisit dan diselesaikan dengan metoda TDMA secara numerik, dapat diperoleh distribusi temperatur udara pada ruang annulus.
2. Perbandingan antara data hasil perhitungan numerik yang diperoleh dengan data hasil eksperimen menghasilkan kesesuaian data yang cukup baik, pada jarak dari sisi masuk ruang annulus sebesar 1,22 m. Terutama pada temperatur dinding dalam ruang annulus sebesar 50 °C dan debit udara 0,01398 m/s.
3. Perbandingan data numerik yang diperoleh dari penggunaan metoda yang digunakan yakni metoda Beda Hingga secara implisit dan TDMA dengan metoda Beda Hingga secara eksplisit dari penelitian sebelumnya, memperlihatkan bahwa hasil numerik metoda Beda Hingga secara eksplisit mempunyai kesesuaian data yang lebih baik dengan data eksperimen.

5.2 SARAN

Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya jika ingin melakukan tema penelitian yang sama hanya dilakukan pada jarak dari sisi masuk ruang annulus sebesar 1,22 m saja, walaupun metoda yang digunakan berbeda.

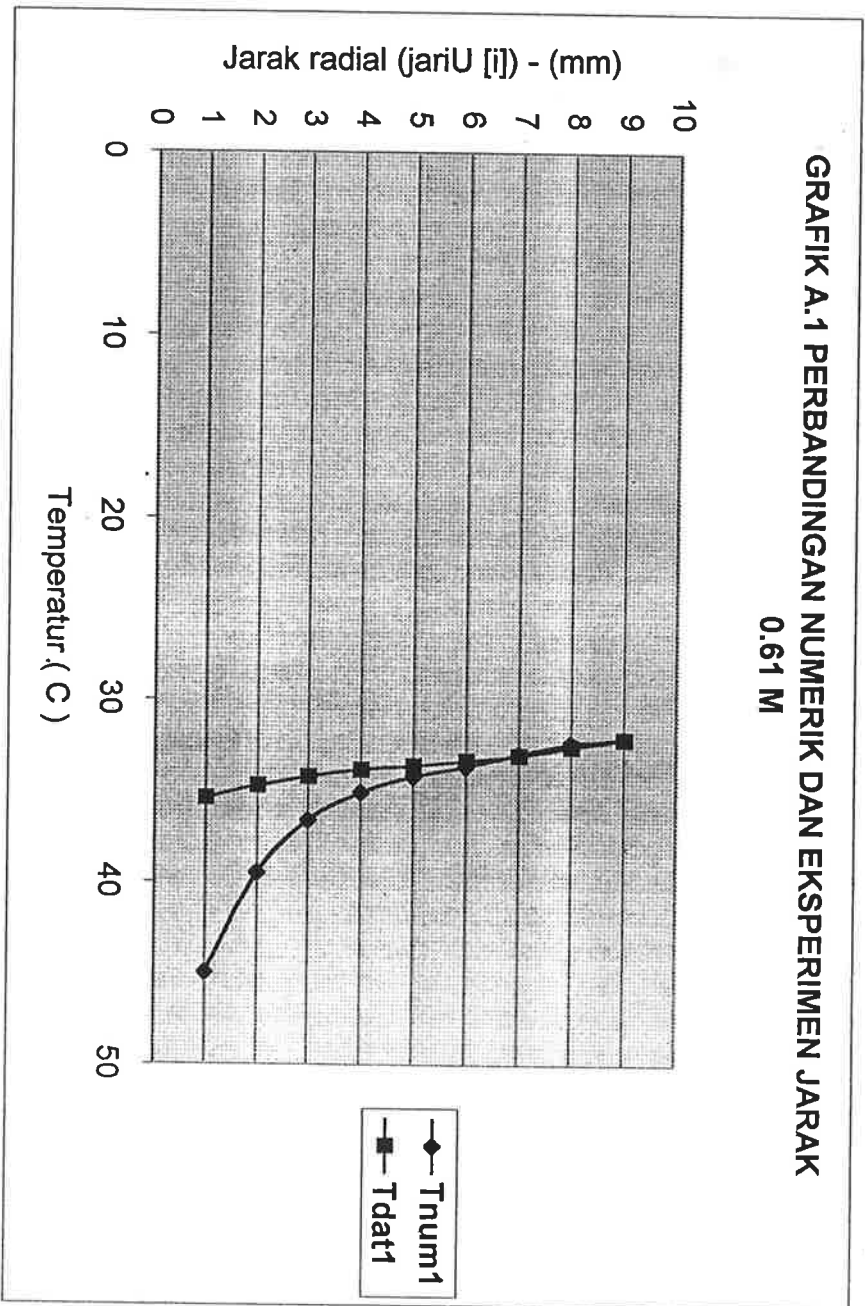


DAFTAR PUSTAKA

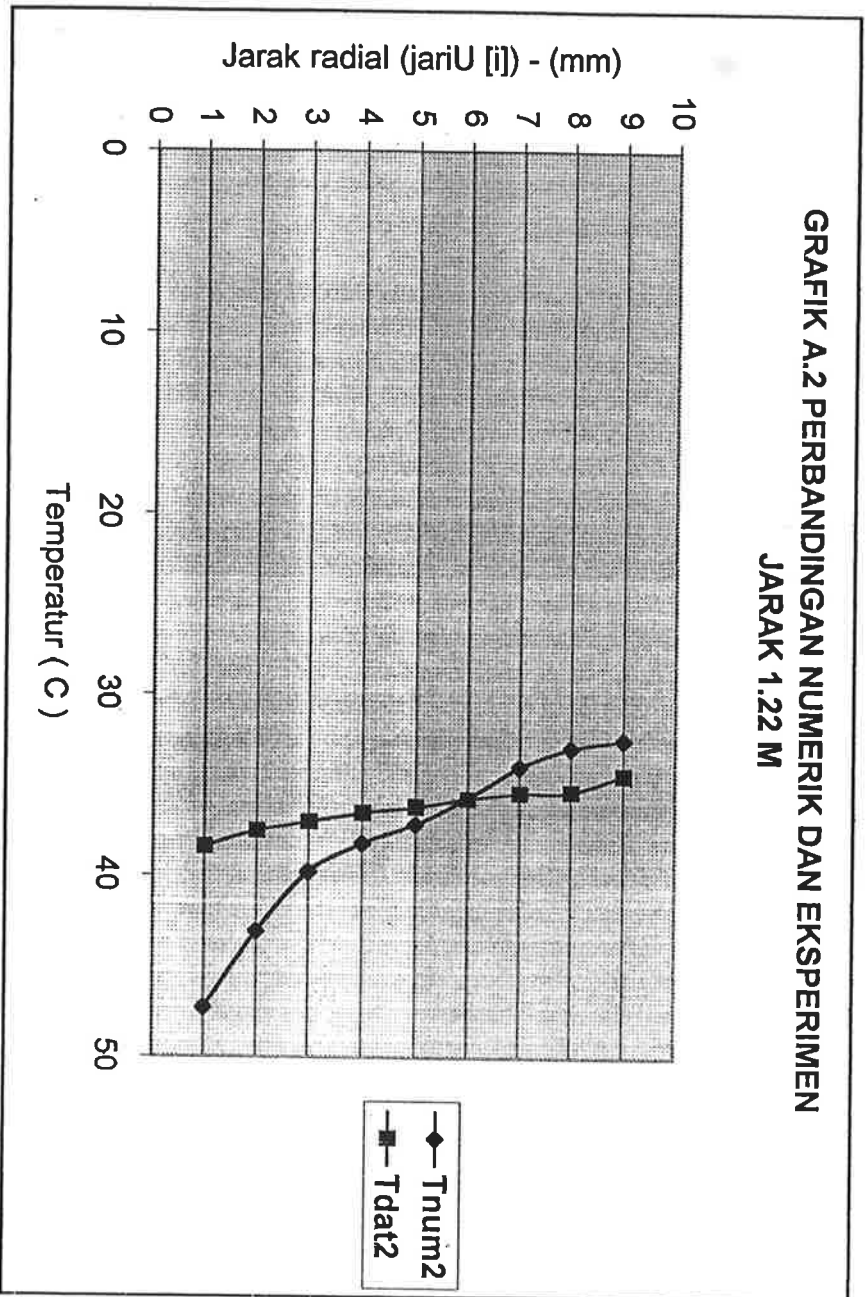
1. Anderson, Dale A., Tannchil J.C and Pletcher R., 1984, " *Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer*," Mc. Graw Hill Book Company, London
2. Botha, J.F., 1983, " *Fundamental Concepts in The Numerical Solutions of Differential Equations* " , A Wiley – Interscience Publication John Wiley & Sons.
3. Burmeister L.C., 1976, " *Convective Heat Transfer*," John Wiley and Sons, Singapore.
4. Chapra S.C. and Raymond P.C., 1985, " *Numerical Method for Engineers*," Mc. Graw Hill Book Company, New York.
5. H.K, Versteeg and W, Malalasehera, 1995, " *Computaional Fluid Dynamics*." Longman Scientific and Technical, Malaysia.
6. Hoffman, Joe D., 1993, " *Numerical Methods For Engineer And Scientists* " ; McGraw – Hill International Editions.
7. Holman, J. P., 1991, " *Perpindahan Kalor .*" Edisi Keenam, Terjemahan, Penerbit Erlangga, Jakarta.
8. Kosasih, Engkos. A. and Koester, Raldi A., 1993 " *Determination of Air Temperatur Distribution in Annular Space Using Finite Difference Method*." ASME Journal, Book No. Go813A.
9. Patankar, Suhas V., 1980 *Numerical Heat Transfer And Fluid Flow*," Hemisphere Publishing Corporation, New York
10. White, Frank M., 1994, " *Mekanika Fluida*." Edisi Kedua Jilid 1, Terjemahan, Penerbit Erlangga, Jakarta.



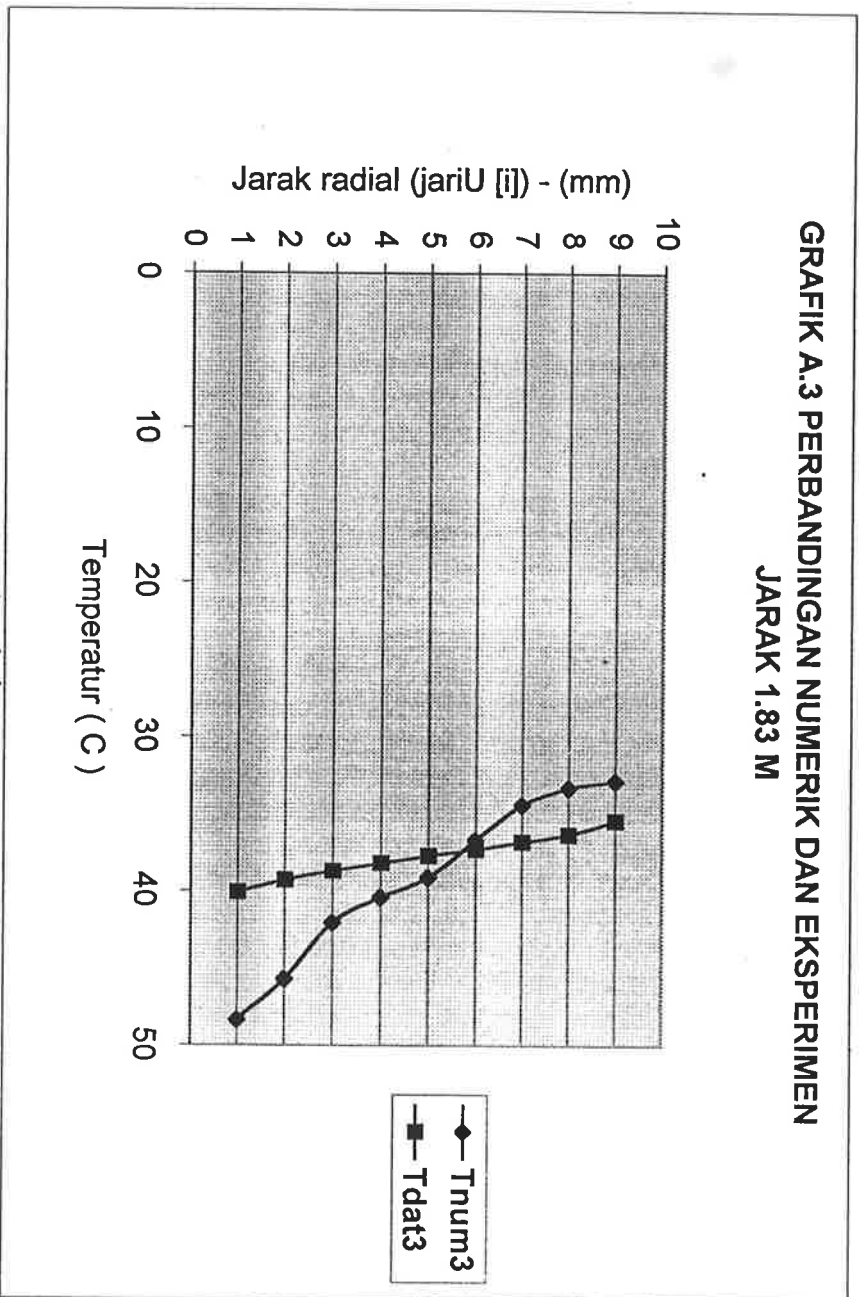
GRAFIK A.1 PERBANDINGAN NUMERIK DAN EKSPERIMEN JARAK
0.61 M



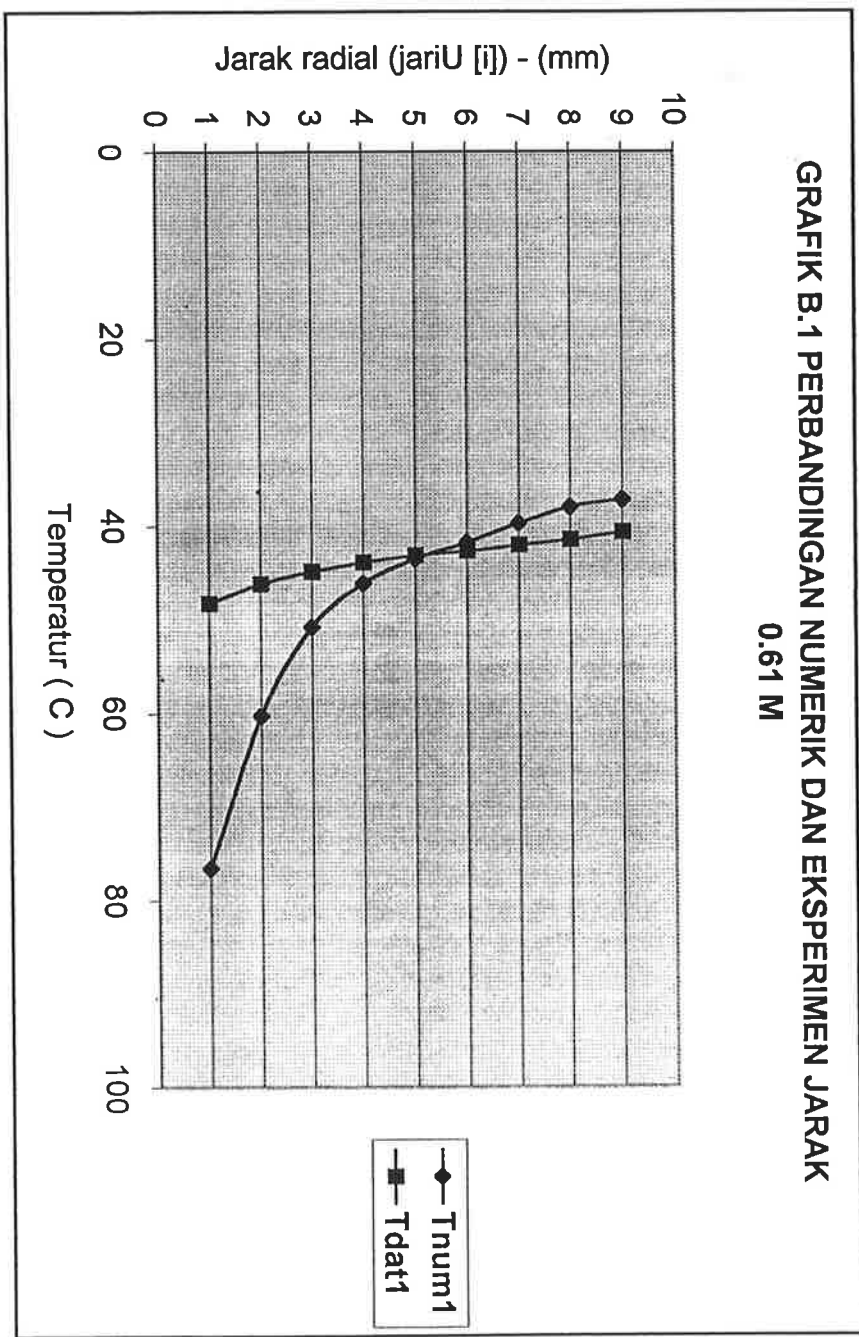
GRAFIK A.2 PERBANDINGAN NUMERIK DAN EKSPERIMEN
JARAK 1.22 M



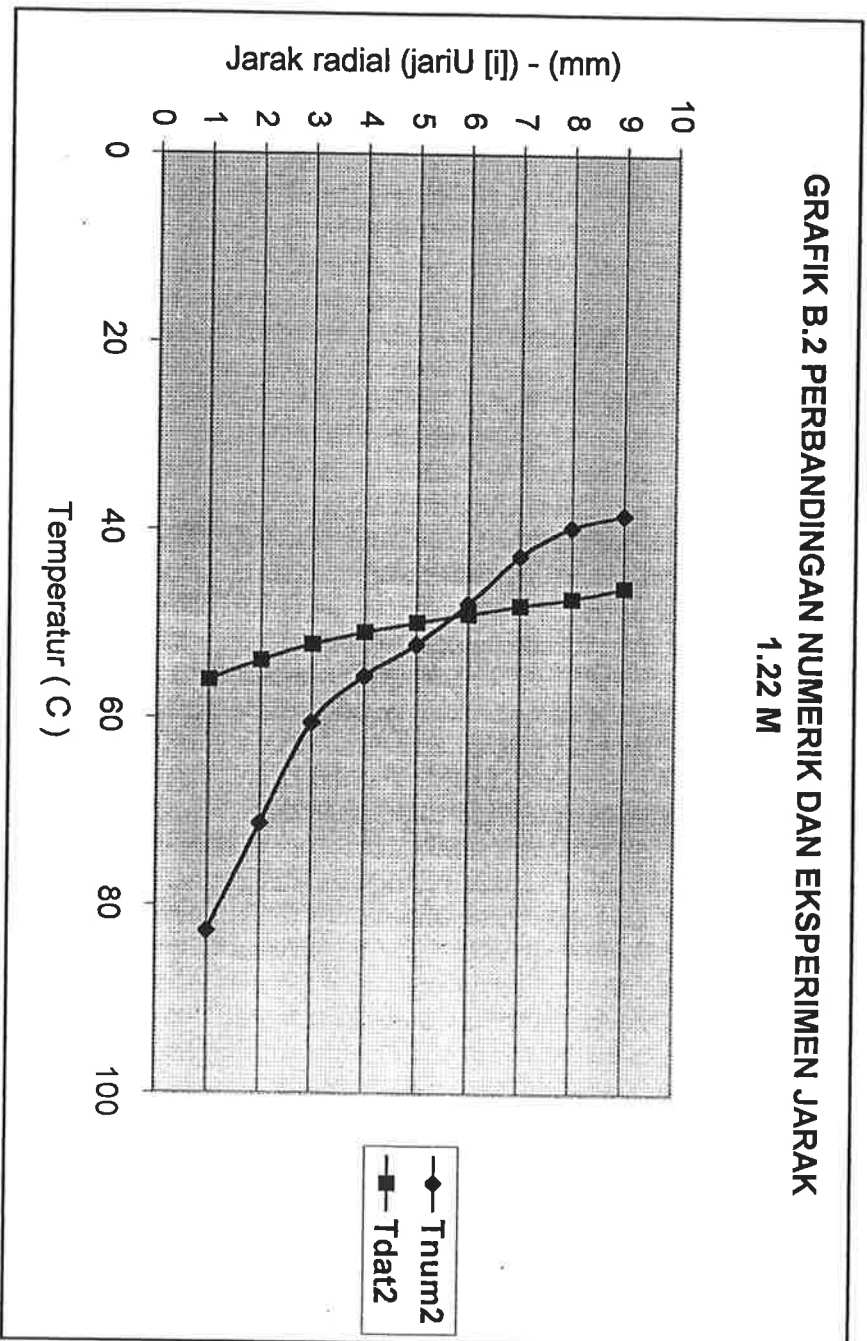
**GRAFIK A.3 PERBANDINGAN NUMERIK DAN EKSPERIMEN
JARAK 1.83 M**



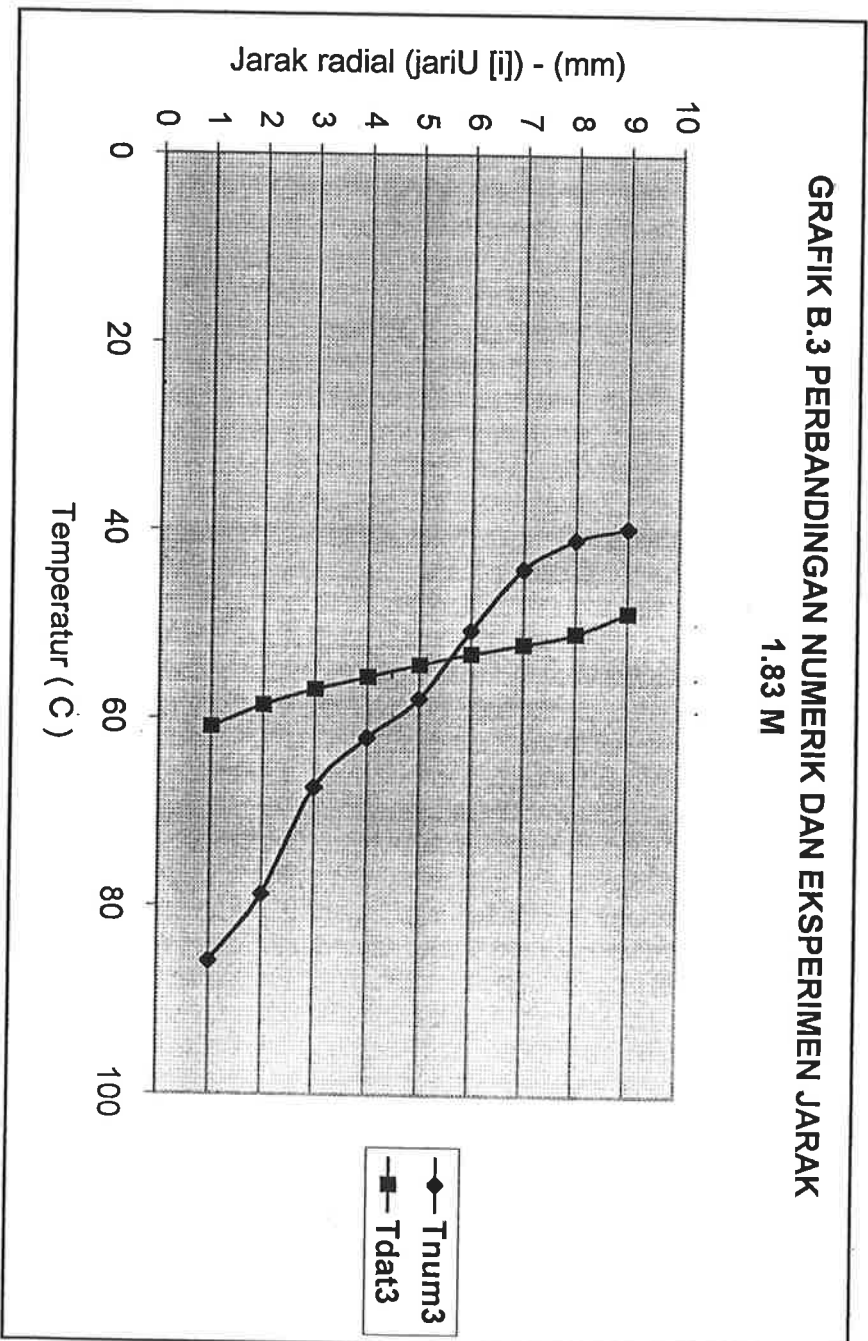
GRAFIK B.1 PERBANDINGAN NUMERIK DAN EKSPERIMEN JARAK
0.61 M



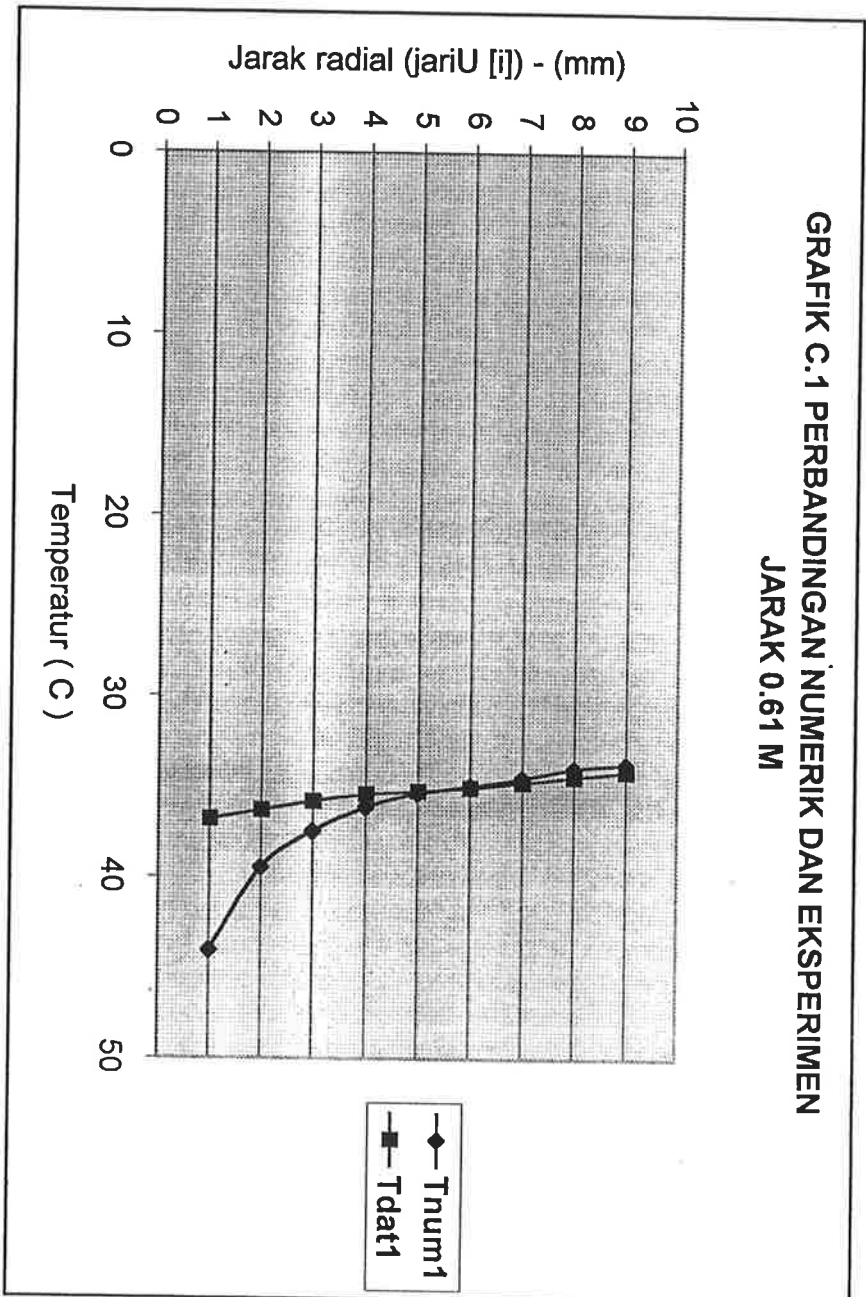
**GRAFIK B.2 PERBANDINGAN NUMERIK DAN EKSPERIMEN JARAK
1.22 M**



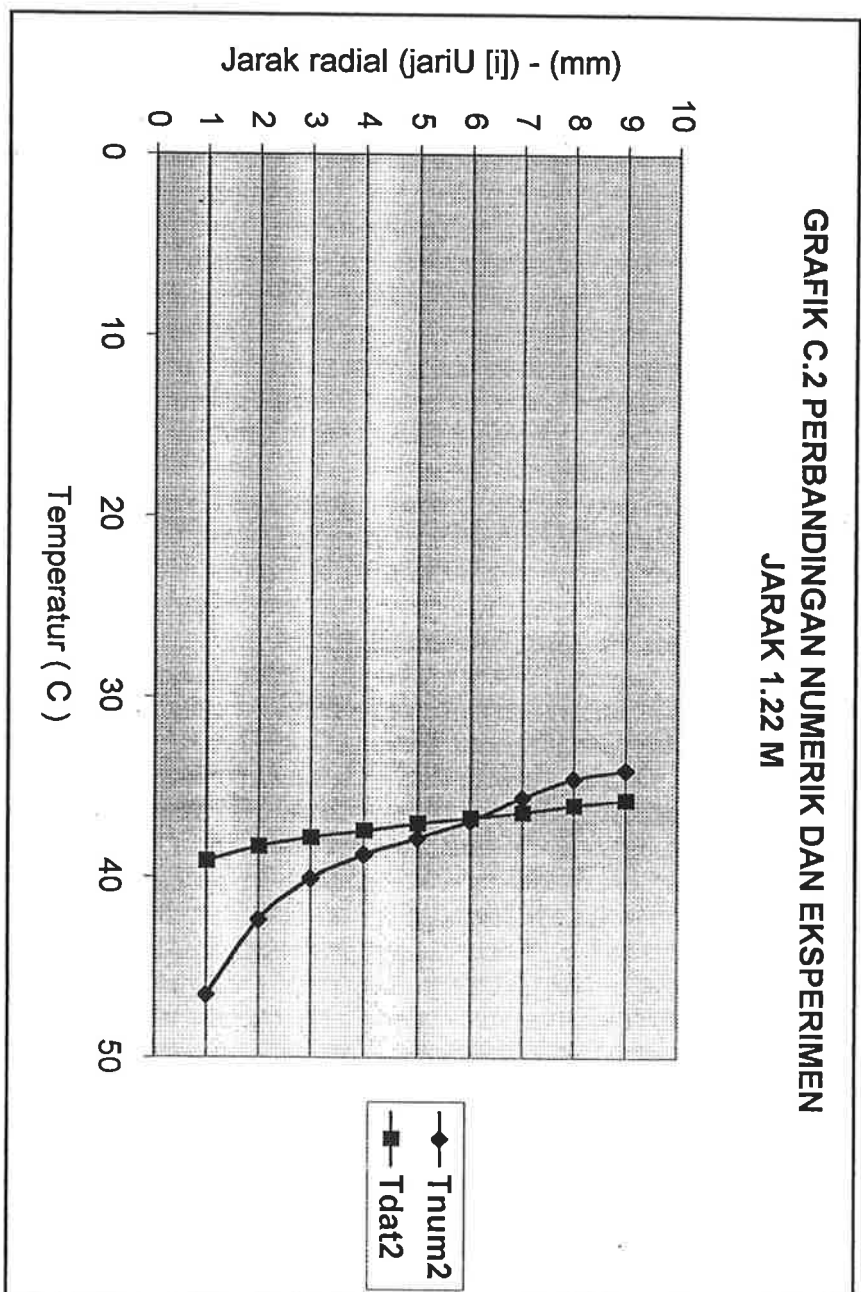
GRAFIK B.3 PERBANDINGAN NUMERIK DAN EKSPERIMEN JARAK
1.83 M



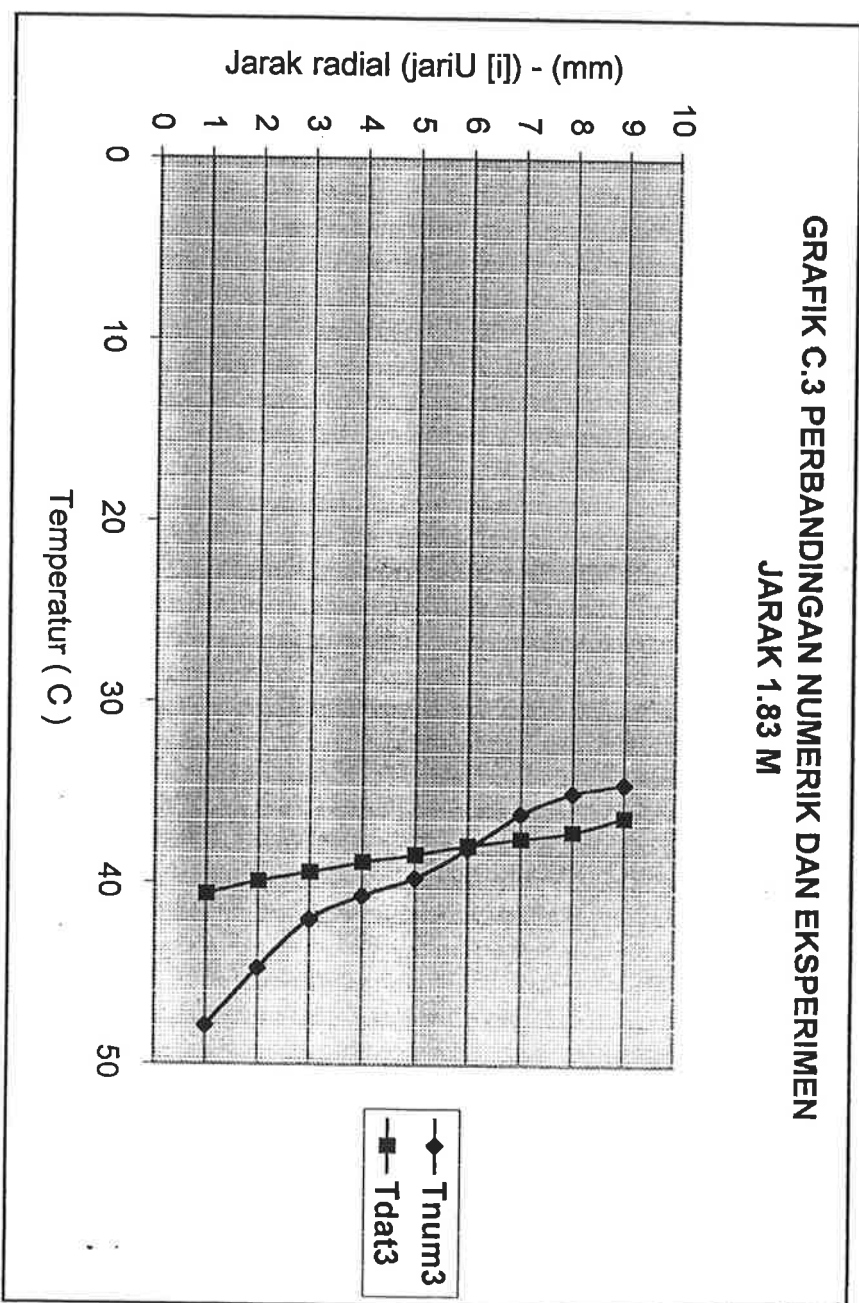
GRAFIK C.1 PERBANDINGAN NUMERIK DAN EKSPERIMEN
JARAK 0.61 M



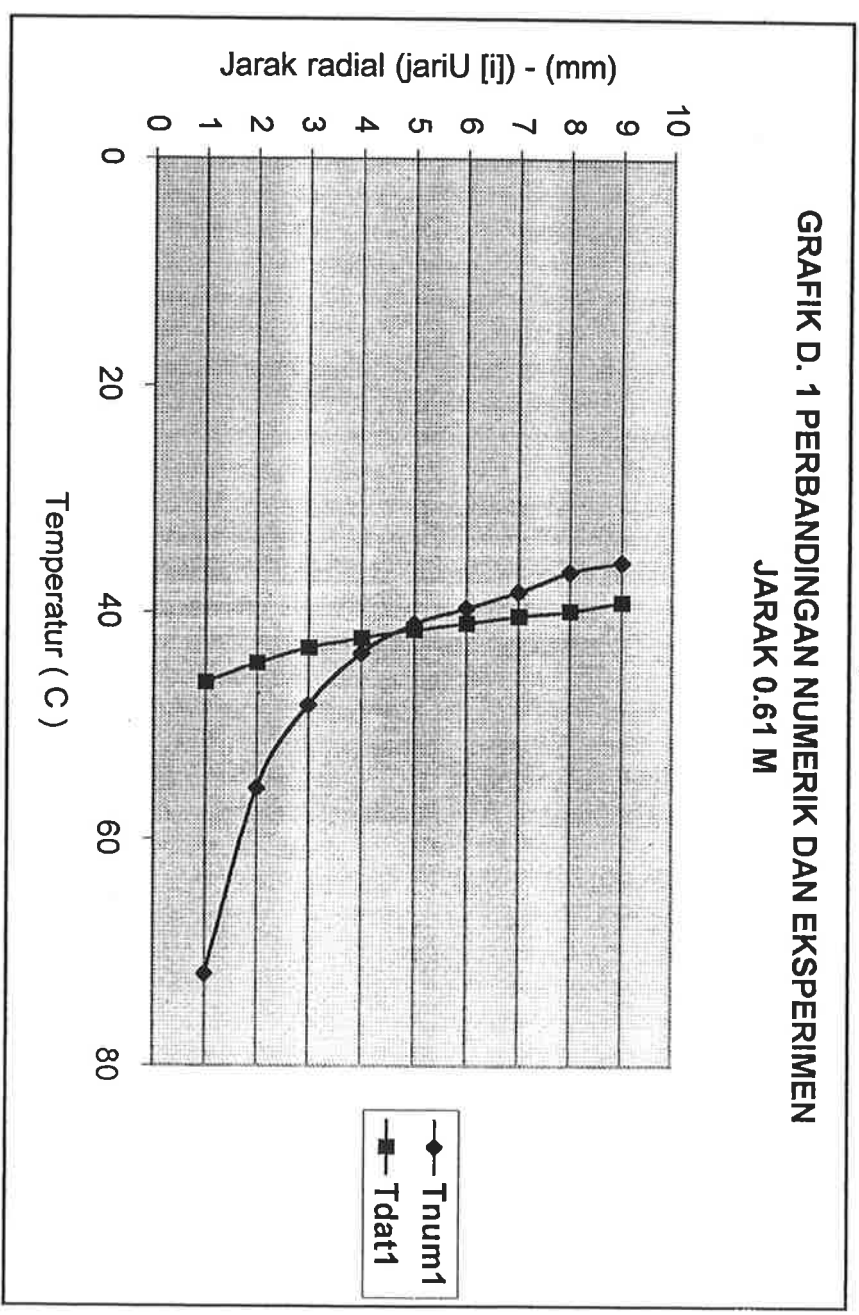
GRAFIK C.2 PERBANDINGAN NUMERIK DAN EKSPERIMEN
JARAK 1.22 M



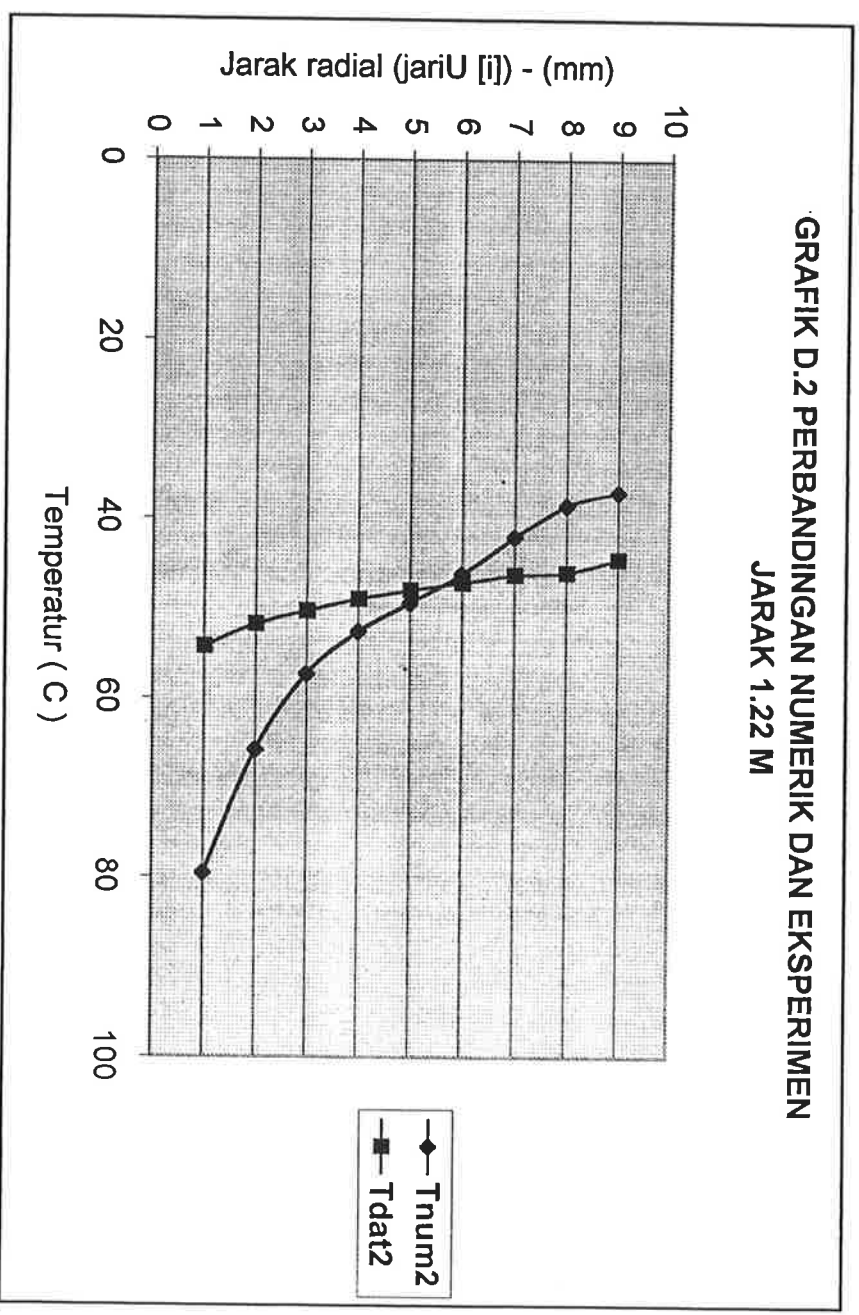
GRAFIK C.3 PERBANDINGAN NUMERIK DAN EKSPERIMEN
 JARAK 1.83 M



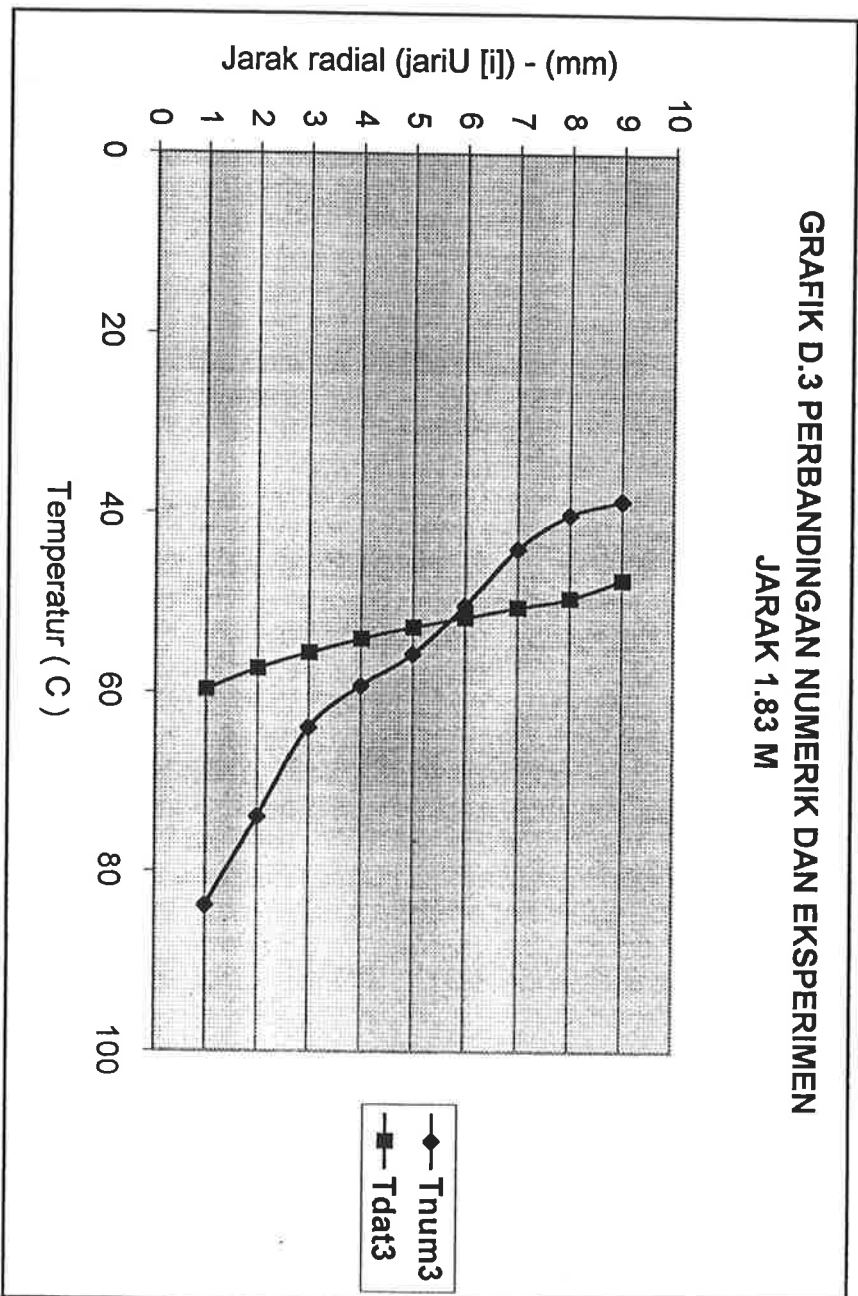
**GRAFIK D. 1 PERBANDINGAN NUMERIK DAN EKSPERIMEN
JARAK 0.61 M**



GRAFIK D.2 PERBANDINGAN NUMERIK DAN EKSPERIMEN
 JARAK 1.22 M



**GRAFIK D.3 PERBANDINGAN NUMERIK DAN EKSPERIMEN
JARAK 1.83 M**



DATA A

PERBANDINGAN DATA NUMERIK DAN DATA EKSPERIMEN

Satuan m, k, s, C	27
Suhu lingkungan	32
Suhu udara masuk	50
Suhu dinding dalam ruang annulus	0.0101
Debit udara	0.000055555
Debit air	6.5
Koefisien konveksi lingkungan	0.78
Konduktivitas silinder ²	

Jarak radial	Tnum1	Tdat1	Tnum2	Tdat2	Tnum3	Tdat3
1	44,96	35,40	47,28	38,40	48,38	40,10
2	39,49	34,70	43,07	37,50	45,69	39,30
3	36,63	34,20	39,77	37,00	42,03	38,70
4	35,07	33,80	38,21	36,50	40,40	38,20
5	34,20	33,60	37,13	36,20	39,12	37,70
6	33,61	33,30	35,70	35,70	36,70	37,30
7	32,93	33,00	33,96	35,40	34,42	36,80
8	32,34	32,50	32,88	35,30	33,30	36,30
9	32,07	32,10	32,43	34,40	32,85	35,40

DATA B

PERBANDINGAN DATA NUMERIK DAN DATA EKSPERIMEN

Satuan m, k, s, C	27
Suhu lingkungan	36.9
Suhu udara masuk	90
Suhu dinding dalam ruang annulus	0.0101
Debit udara	0.000055555
Debit air	6.5
Koefisien konveksi lingkungan	0.78
Konduktivitas silinder ²	0.78

Jarak radial	Tnum1	Tdat1	Tnum2	Tdat2	Tnum3	Tdat3
1	76,56	48,20	82,73	56,00	85,85	60,90
2	60,22	46,10	71,30	53,90	78,74	58,60
3	50,74	44,80	60,49	52,20	67,34	56,90
4	46,05	43,80	55,55	50,90	62,01	55,50
5	43,43	43,10	52,16	49,80	57,80	54,20
6	41,70	42,60	47,83	48,90	50,53	53,00
7	39,67	42,00	42,70	48,00	43,99	52,00
8	37,92	41,40	39,57	47,20	40,83	50,80
9	37,15	40,60	38,29	46,00	39,57	48,60

DATA C

PERBANDINGAN DATA NUMERIK DAN DATA EKSPERIMEN

Satuan m, k, s, C	27
Suhu lingkungan	33.6
Suhu udara masuk	50
Suhu dinding dalam ruang annulus	0.01398
Debit udara	0.000055555
Debit air	6.5
Koefisien konveksi lingkungan	0.78
Konduktivitas silinder ²	

Jarak radial	Tnum1	Tdat1	Tnum2	Tdat2	Tnum3	Tdat3
1	44,05	36,80	46,49	39,10	47,87	40,60
2	39,46	36,30	42,36	38,30	44,69	39,90
3	37,47	35,80	40,07	37,80	42,00	39,40
4	36,09	35,40	38,73	37,40	40,68	38,80
5	35,33	35,20	37,83	37,00	39,69	38,40
6	34,91	35,00	36,86	36,70	38,09	37,90
7	34,46	34,70	35,58	36,40	36,13	37,50
8	33,93	34,40	34,50	36,00	34,95	37,10
9	33,66	34,10	34,02	35,70	34,46	36,30

DATA D

PERBANDINGAN DATA NUMERIK DAN DATA EKSPERIMEN

Satuan m, k, s, C	27
Suhu lingkungan	35.2
Suhu udara masuk	90
Suhu dinding dalam ruang annulus	0.01398
Debit udara	0.000055555
Debit air	6.5
Koefisien konveksi lingkungan	0.78
Konduktivitas silinder ²	

Jarak radial	Tnum1	Tdat1	Tnum2	Tdat2	Tnum3	Tdat3
1	71,86	46,20	79,57	54,3	83,79	59,7
2	55,54	44,50	65,80	51,8	73,89	57,4
3	48,19	43,10	57,30	50,3	63,97	55,6
4	43,53	42,20	52,54	48,9	59,22	54
5	40,97	41,50	49,35	47,9	55,65	52,7
6	39,59	40,90	46,15	47,1	50,29	51,6
7	38,13	40,30	41,97	46,2	43,92	50,5
8	36,39	39,80	38,47	45,9	40,14	49,4
9	35,54	39,00	36,94	44,4	38,58	47,4

Option Explicit

Public Const PI = 3.14

Public Const jm = 11

Public Const pm = 0.6

Public Const pd = 1.5

Public suhd1 As Double

Public Const deltax = 0.1

' type

Type larik1 ' larik1 = array[1..jm] of real;

el(1 To jm) As Double

End Type

Type larik2 ' larik2 = array[1..jm+1, 1..3] of real;

el(1 To jm + 1, 1 To 3) As Double

End Type

Type larik3 ' larik3 = array[1..jm-2, 1..3] of real;

el(1 To jm - 2, 1 To 3) As Double

End Type

Type larik4 ' larik4 = array[0..jm+1] of real;

el(0 To jm + 1) As Double

End Type

'var

Public suhuU As larik1

Public suhuuak As larik1

Public deltar As larik4

Public vist As larik1

Public TempNum As larik2

Public TempDat As larik3

Public jariU As larik4

Public skecu As larik1

Public skecuak As larik1

Public skecv As larik1

Public skecvak As larik1

Public skonT As larik1

Public Test As larik1

Public ll As larik1

Public dd As larik1

Public uu As larik1

Public bb As larik1

Public skonvL As Double

Public delt As Double

Public suAm As Double

Public skecub As Double

Public suUm As Double

Public suAk As Double

Public debA As Double

Public debU As Double
Public jari12 As Double
Public jari21 As Double
Public jari11 As Double
Public jari22 As Double
Public pjgA As Double
Public suhu As Double
Public jarak As Double
Public suhb As Double
Public jar As Double
Public suLing As Double
Public geserd1 As Double
Public geserd2 As Double
Public Red As Double
Public visd1 As Double
Public visd2 As Double
Public gradp As Double
Public gradp1 As Double
Public rapd1 As Double
Public rapd2 As Double
Public suhd2 As Double
Public suhd2ak As Double
Public mass As Double
Public skonK As Double

Public kar As Byte
Public j As Byte
Public n As Long
Public sk1a As Byte
Public sk2a As Byte
Public sk1 As Byte
Public sk2 As Byte

Sub jariUd(ByVal jari12 As Double, ByVal jari21 As Double)

Dim j As Byte

Dim faktorp As Double
Dim fak As Double

jariU.el(0) = jari12
jariU.el(jm + 1) = jari21

fak = 0

For j = 1 To (jm + 1) \ 2
fak = fak + exp(j)
Next

faktorp = (jari21 - jari12) / (2 * fak)

```
For j = 1 To (jm + 1) \ 2
    deltar.el(j) = exp(j) * faktorp
    deltar.el(jm + 2 - j) = deltar.el(j)
Next
```

```
For j = 1 To (jm + 1) \ 2
    jariU.el(j) = (jariU.el(j - 1) + deltar.el(j))
    jariU.el(jm + 1 - j) = (jariU.el(jm + 2 - j) - deltar.el(j))
Next
```

End Sub

```
Function square(ex As Double)
    square = (ex ^ 2)
End Function
```

```
Function rapU(suhu As Double) As Double
    rapU = 342# / (suhu + 273)
End Function
```

```
Function skaljenU(suhu As Double) As Double
    skaljenU = 985.9 + 0.066 * (273 + suhu)
End Function
```

```
Function visU(suhu As Double) As Double
    visU = (1.431 + 0.00184 * (273 + suhu)) * 0.00001
End Function
```

```
Function skonU(suhu As Double) As Double
    skonU = (35 + 0.758 * (273 + suhu)) * 0.0001
End Function
```

```
Sub turbulen(psuhuU As Iarik1, ByVal suhd1 As Double, ByVal suhd2ak _
    As Double, pdeltaR As Iarik4, pskecu As Iarik1, ByVal n As Long)
```

```
    Dim suhuU As Iarik1
    Dim skecu As Iarik1
    Dim deltar As Iarik4
```

```
    Dim suh1 As Double
    Dim suhjm As Double
    Dim suhb As Double
    Dim susa As Double
    Dim susi As Double
    Dim visd1 As Double
    Dim visd2 As Double
    Dim rapd1 As Double
    Dim rapd2 As Double
    Dim ap As Double
    Dim pr As Double
```

```

Dim suhj As Double
Dim ypos As Double
Dim l As Double
Dim jarakd1 As Double
Dim jarakd2 As Double

```

```

Dim j As Byte
suhuU = psuhuU
skecu = pskecu
deltar = pdeltaR

```

```

suh1 = suhuU.el(1)
suhjm = suhuU.el(jm)
suhb = suhuU.el((jm - 1) \ 2)
susa = (suh1 + suhd1) / 2
susi = (suhjm + suhd2ak) / 2
visd1 = visU(susa)
visd2 = visU(susi)
rapd1 = rapU(susa)
rapd2 = rapU(susi)
delt = deltar.el(1)
geserd1 = Abs( visd1 * skecu.el(1) / deltar)
geserd2 = Abs( visd2 * skecu.el(jm) / deltar)
ap = (pd - pm) * 4 / ((jm - 1) ^ 2)

```

```

For j = 1 To jm
  If j < (jm + 1) \ 2 Then
    If j = 1 Then
      ypos = deltar * Sqr(geserd1 * rapd1) / visd1
      l = 0.41 * deltar * (1 - Exp(-ypos / 26))
    Else
      ypos = (jariU.el(j) - jari12) * Sqr(geserd1 * rapd1) / visd1
      l = 0.41 * (jariU.el(j) - jari12) * (1 - Exp(-ypos / 26))
    End If
  Else
    If j = jm Then
      ypos = deltar * Sqr(geserd2 * rapd2) / visd2
      l = 0.41 * deltar * (1 - Exp(-ypos / 26))
    Else
      ypos = (jari21 - jariU.el(j)) * Sqr(geserd2 * rapd2) / visd2
      l = 0.41 * (jari21 - jariU.el(j)) * (1 - Exp(-ypos / 26))
    End If
  End If

```

```

suhj = suhuU.el(j)
If j = 1 Then vist.el(j) = rapd1 * l ^ 2 * Abs(skecu.el(2) / (deltar.el(2) +
  deltar))
If j = jm Then vist.el(j) = rapd2 * l ^ 2 * Abs(skecu.el(jm - 1) _
  / (deltar.el(jm) + deltar))
If (j > 1) And (j < jm) Then vist.el(j) = rapU(suhj) * l ^ 2 * _

```

$$\text{Abs}((\text{skecu.el}(j + 1) - \text{skecu.el}(j - 1)) / (\text{deltar.el}(j) + \text{deltar.el}(j + 1)))$$

pr = ap * (j - 1) * (j - jm) + pd
skonT.el(j) = skaljenU(suhj) * vist.el(j) / pr
vist.el(j) = vist.el(j) + visU(suhj)
skonT.el(j) = skonT.el(j) + skonU(suhj)

Next

End Sub

Sub momentum(ByVal gradp As Double, ByVal deltax As Double, pdeltaR _
As larik4, ByVal jar12 As Double, ByVal jari21 As Double, _
ByVal suhd1 As Double, ByVal suhd2ak As Double, psuhuUak As _
larik1, pvist As larik1, pskecuak As larik1, pjariU As larik4, _
pskecvak As larik1, ByVal n As Long)

Dim suhuuak As larik1
Dim vist As larik1
Dim skecuak As larik1
Dim jariU As larik4
Dim skecvak As larik1
Dim deltar As larik4

Dim j As Byte

Dim bantu1 As Double
Dim bantu2 As Double
Dim bantu3 As Double
Dim bantu4a As Double
Dim bantu4 As Double
Dim suhmin As Double
Dim suh1 As Double
Dim suhjm As Double
Dim suhj As Double
Dim suf1 As Double
Dim suf2 As Double

suhuUak = psuhuUak
vist = pvist
skecuak = pskecuak
jariU = pjariU
skecvak = pskecvak
deltar = pdeltaR

suh1 = suhuuak.el(1)
suf1 = (suhuUak.el(1) + suhd1) / 2
suhjm = suhuuak.el(jm)
suf2 = (suhuUak.el(jm) + suhd2ak) / 2

dd.el(1) = (rapU(suh1) * skecuak.el(1) / deltax) + (4 * vist.el(1) / _

```

(delt * deltar.el(2)))
uu.el(1) = (rapU(suh1) * skecvak.el(1) - (2 * vist.el(1) / deltar.el(2)) -
- ((vist.el(2) - visU(suf1)) / (deltar.el(2) + delt / 2)) - (vist.el(1) -
/ (jari12 + delt))) / (deltar.el(2) + delt / 2)
bb.el(1) = -gradp + (rapU(suh1) * (skecuak.el(1) ^ 2)) / deltax

```

```
ll.el(1) = 0
```

```
For j = 2 To jm - 1
```

```

suhj = suhuuak.el(j)
ll.el(j) = (-rapU(suhj) * skecvak.el(j) - (2 * vist.el(j) / deltar.el(j)) +
((vist.el(j + 1) - vist.el(j - 1)) / (deltar.el(j) + deltar.el(j + 1))) + (vist.el(j) -
/ jariU.el(j))) / (deltar.el(j) + deltar.el(j + 1))
dd.el(j) = (rapU(suhj) * skecuak.el(j) / deltax) + (2 * vist.el(j) /
(deltar.el(j) * deltar.el(j + 1)))
uu.el(j) = (rapU(suhj) * skecvak.el(j) - (2 * vist.el(j) / deltar.el(j + 1)) -
- ((vist.el(j + 1) - vist.el(j - 1)) / (deltar.el(j) + deltar.el(j + 1))) -
- (vist.el(j) / jariU.el(j))) / (deltar.el(j) + deltar.el(j + 1))
bb.el(j) = -gradp + (rapU(suhj) * (skecuak.el(j) ^ 2)) / deltax

```

```
Next
```

```

uu.el(jm) = 0
dd.el(jm) = (rapU(suhjm) * skecuak.el(jm) / deltax) + (4 * vist.el(jm) /
(delt * deltar.el(jm)))
ll.el(jm) = (-rapU(suhjm) * skecvak.el(jm) - (2 * vist.el(jm) / deltar.el(jm)) -
+ ((visU(suf2) - vist.el(jm - 1)) / (deltar.el(jm) + delt / 2)) -
+ (vist.el(jm) / (jari21 - delt))) / (deltar.el(jm) + delt / 2)
bb.el(jm) = -gradp + (rapU(suhjm) * (skecuak.el(jm) ^ 2)) / deltax

```

```
TDMA ll, dd, uu, jm, bb, skecu
```

```
End Sub
```

```
Sub TDMA(ll As larik1, dd As larik1, uu As larik1, jm As Integer, bb As
larik1, xx As larik1)
```

```
Dim ii As Integer
```

```
Dim li As Double
```

```
For ii = 2 To jm
```

```
li = ll.el(ii) / dd.el(ii - 1)
```

```
dd.el(ii) = dd.el(ii) - li * uu.el(ii - 1)
```

```
ll.el(ii) = li
```

```
bb.el(ii) = bb.el(ii) - li * bb.el(ii - 1)
```

```
Next
```

```
xx.el(jm) = bb.el(jm) / dd.el(jm)
```

```
For ii = jm - 1 To 1 Step -1
```

```
xx.el(ii) = (bb.el(ii) - uu.el(ii) * xx.el(ii + 1)) / dd.el(ii)
```

```
Next
```

End Sub

Sub Energi(ByVal suhd1 As Double, ByVal suLing As Double, ByVal _
skonK As Double, ByVal skonvL As Double, ByVal deltax _
As Double, ByVal geserd1 As Double, ByVal geserd2 _
As Double, ByVal suhd2ak As Double, pdeltaR As larik4, _
ByVal gradp As Double, ByVal jari12 As Double, ByVal jari21 _
As Double, psuhuUak As larik1, suhuU As larik1, pskecvak _
As larik1, pskecuak As larik1, pjariU As larik4, pvist As _
larik1, pskonT As larik1, ByVal n As Long)

Dim suhuuak As larik1
Dim skecvak As larik1
Dim skecuak As larik1
Dim jariU As larik4
Dim vist As larik1
Dim skonT As larik1
Dim deltar As larik4

Dim j As Byte

Dim bantu1 As Double
Dim bantu2 As Double
Dim bantu3a As Double
Dim suhj As Double
Dim bantu3 As Double
Dim bantu4 As Double
Dim bantu5 As Double
Dim skonm As Double
Dim skonf1 As Double
Dim skonf2 As Double
Dim suh1 As Double
Dim suhjm As Double
Dim tahan1 As Double
Dim tahan2 As Double
Dim tahan3 As Double

suhuUak = psuhuUak
skecvak = pskecvak
skecuak = pskecuak
jariU = pjariU
vist = pvist
skonT = pskonT
deltar = pdeltaR

suh1 = suhuuak.el(1)
suhjm = suhuuak.el(jm)
suf1 = (suhuUak.el(1) + suhd1) / 2
suf2 = (suhuUak.el(jm) + suhd2ak) / 2

$$\text{skonf1} = (35 + 0.758 * (273 + \text{suf1})) * 0.0001$$

$$\text{skonf2} = (35 + 0.758 * (273 + \text{suf2})) * 0.0001$$

$$\text{dd.el}(1) = (\text{rapU}(\text{suh1}) * \text{skecuak.el}(1) * \text{skaljenU}(\text{suh1}) / \text{deltax}) + (4 * \text{skonT.el}(1) / (\text{delt} * \text{deltar.el}(2)))$$

$$\text{uu.el}(1) = (\text{rapU}(\text{suh1}) * \text{skecvak.el}(1) * \text{skaljenU}(\text{suh1}) - (2 * \text{skonT.el}(1) / \text{deltar.el}(2)) - ((\text{skonT.el}(2) - \text{skonf1}) / (\text{deltar.el}(2) + \text{delt} / 2)) - (\text{skonT.el}(1) / (\text{jari12} + \text{delt}))) / (\text{deltar.el}(2) + \text{delt} / 2)$$

$$\text{bb.el}(1) = -\text{skecuak.el}(1) * (-\text{gradp} - (\text{rapU}(\text{suh1}) * \text{skaljenU}(\text{suh1}) * \text{suhuuak.el}(1)) / \text{deltax} - (2 * \text{vist.el}(1) * \text{skecuak.el}(2) / (\text{delt} * (\text{deltar.el}(2) + \text{delt} / 2)))) + \text{suf1} * (\text{rapU}(\text{suh1}) * \text{skecvak.el}(1) * \text{skaljenU}(\text{suh1}) + (4 * \text{skonT.el}(1) / \text{delt}) - ((\text{skonT.el}(2) - \text{skonf1}) / (\text{deltar.el}(2) + \text{delt} / 2)) - (\text{skonT.el}(1) / (\text{jari12} + \text{delt}))) / (\text{deltar.el}(2) + \text{delt} / 2)$$

$$\text{ll.el}(1) = 0$$

For j = 2 To jm - 1

$$\text{suhj} = \text{suhuuak.el}(j)$$

$$\text{ll.el}(j) = -(\text{rapU}(\text{suhj}) * \text{skecvak.el}(j) * \text{skaljenU}(\text{suhj}) + (2 * \text{skonT.el}(j) / \text{deltar.el}(j)) - ((\text{skonT.el}(j + 1) - \text{skonT.el}(j - 1)) / (\text{deltar.el}(j) + \text{deltar.el}(j + 1))) - (\text{skonT.el}(j) / \text{jariU.el}(j))) / (\text{deltar.el}(j) + \text{deltar.el}(j + 1))$$

$$\text{dd.el}(j) = (\text{rapU}(\text{suhj}) * \text{skecuak.el}(j) * \text{skaljenU}(\text{suhj}) / \text{deltax}) + (2 * \text{skonT.el}(j) / (\text{deltar.el}(j) * \text{deltar.el}(j + 1)))$$

$$\text{uu.el}(j) = (\text{rapU}(\text{suhj}) * \text{skecvak.el}(j) * \text{skaljenU}(\text{suhj}) - (2 * \text{skonT.el}(j) / \text{deltar.el}(j + 1)) - ((\text{skonT.el}(j + 1) - \text{skonT.el}(j - 1)) / (\text{deltar.el}(j) + \text{deltar.el}(j + 1))) - (\text{skonT.el}(j) / \text{jariU.el}(j))) / (\text{deltar.el}(j) + \text{deltar.el}(j + 1))$$

$$\text{bb.el}(j) = \text{skecuak.el}(j) * (\text{gradp} + (\text{rapU}(\text{suhj}) * \text{skaljenU}(\text{suhj}) * \text{suhuuak.el}(j)) / \text{deltax}) + \text{vist.el}(j) * \text{square}((\text{skecuak.el}(j + 1) - \text{skecuak.el}(j - 1)) / (\text{deltar.el}(j) + \text{deltar.el}(j + 1)))$$

Next

$$\text{uu.el}(jm) = 0$$

$$\text{dd.el}(jm) = (\text{rapU}(\text{suhjm}) * \text{skecuak.el}(jm) * \text{skaljenU}(\text{suhjm}) / \text{deltax}) + (4 * \text{skonT.el}(jm) / (\text{delt} * \text{deltar.el}(jm)))$$

$$\text{ll.el}(jm) = -(\text{rapU}(\text{suhjm}) * \text{skecvak.el}(jm) * \text{skaljenU}(\text{suhjm}) + (2 * \text{skonT.el}(jm) / \text{deltar.el}(jm)) - (\text{skonf2} - \text{skonT.el}(jm - 1)) / (\text{deltar.el}(jm) + \text{delt} / 2) - (\text{skonT.el}(jm) / (\text{jari21} - \text{delt}))) / (\text{deltar.el}(jm) + \text{delt} / 2)$$

$$\text{bb.el}(jm) = \text{skecuak.el}(jm) * (\text{gradp} + (\text{rapU}(\text{suhjm}) * \text{skaljenU}(\text{suhjm}) * \text{suhuuak.el}(jm)) / \text{deltax} + (2 * \text{vist.el}(jm) * \text{skecuak.el}(jm - 1) / (\text{delt} * (\text{deltar.el}(jm) + \text{delt} / 2)))) - \text{suf2} * (\text{rapU}(\text{suhjm}) * \text{skecvak.el}(jm) * \text{skaljenU}(\text{suhjm}) - (4 * \text{skonT.el}(jm) / \text{delt}) - ((\text{skonf2} - \text{skonT.el}(jm - 1)) / (\text{deltar.el}(jm) + \text{delt} / 2)) - (\text{skonT.el}(jm) / (\text{jari21} - \text{delt}))) / (\text{deltar.el}(jm) + \text{delt} / 2)$$

TDMA ll, dd, uu, jm, bb, suhuU

```

tahan1 = (Log(jari21 / (jari21 - delt))) / (2 * PI * skonf2)
tahan2 = (Log(jari22 / jari21)) / (2 * PI * skonK)
tahan3 = 1 / (2 * PI * jari22 * skonvL)
suhd2 = suhuu.el(jm) - (tahan1 * (suhuu.el(jm) - suLing) / (tahan1 +
    tahan2 + tahan3))

```

End Sub

```

Sub skontinyu(pdeltar As larik4, ByVal deltax As Double, psuhuU As larik1, _
    psuhuUak As larik1, pskecu As larik1, pskecuak As larik1, pjariU _
    As larik4, ByVal n As Long)

```

```

Dim suhuU As larik1
Dim suhuuak As larik1
Dim skecu As larik1
Dim skecuak As larik1
Dim jariU As larik4
Dim deltar As larik4

```

Dim j As Byte

```

Dim bantu1 As Double
Dim bantu2 As Double
Dim suhj As Double
Dim suhAk As Double
Dim suhmin As Double
Dim suhminAk As Double
Dim suh1 As Double
Dim suhA1 As Double

```

```

suhuU = psuhuU
suhuuak = psuhuUak
skecu = pskecu
skecuak = pskecuak
jariU = pjariU
deltar = pdeltar

```

```

suh1 = suhuU.el(1)
suhA1 = suhuuak.el(1)
skecv.el(1) = (delt / 2) * (0 - rapU(suh1) * skecu.el(1) + rapU(suhA1) _
    * skecuak.el(1) * (jari12 + delt / 2)) / (2 * deltax * rapU(suh1) _
    * (jari12 + delt))

```

```

For j = 2 To jm
    suhj = suhuU.el(j)
    suhAk = suhuuak.el(j)
    suhmin = suhuU.el(j - 1)
    suhminAk = suhuuak.el(j - 1)

```

$$\text{bantu1} = (\text{deltar.el}(j) * (\text{jariU.el}(j) - \text{deltar.el}(j) / 2) * \text{rapU}(\text{suhj}) * \text{skecu.el}(j) - \text{rapU}(\text{suhAk}) * \text{skecuak.el}(j) + \text{rapU}(\text{suhmin}) * \text{skecu.el}(j - 1) - \text{rapU}(\text{suhminAk}) * \text{skecuak.el}(j - 1))) / (2 * \text{deltax} * \text{rapU}(\text{suhj}))$$

$$\text{bantu2} = (\text{jariU.el}(j - 1) * \text{rapU}(\text{suhmin}) * \text{skecv.el}(j - 1)) / (\text{jariU.el}(j) * \text{rapU}(\text{suhj}))$$

$$\text{skecv.el}(j) = \text{bantu2} - \text{bantu1}$$

Next

End Sub

Sub program_utama()

Dim j As Byte

Dim tahan1 As Double

Dim tahan2 As Double

Dim tahan3 As Double

Dim suhj As Double

Dim skonf2 As Double

Dim suf1 As Double

Dim suf2 As Double

Dim skecub As Double

Dim suhb As Double

Dim delt As Double

Dim suhd2 As Double

Dim jarak As Double

Dim jar As Double

Dim mass As Double

n = 1

jarak = 0

jariUd jari12, jari21

skecub = debU / (PI * ((jari21 ^ 2) - (jari12 ^ 2)))

For j = 1 To jm

skecu.el(j) = skecub

suhuU.el(j) = suUm

skecv.el(j) = 0

skecuak.el(j) = 0

suhuuak.el(j) = 0

Next

suhb = suhuU.el(5)

delt = deltar.el(1)

mass = rapU(suhb) * debU

While jarak < 1.84

Red = 9047.6

turbulen suhuU, suhd1, suhd2ak, deltar, skecu, n

jar = jarak

jarak = jarak + deltax

suhd2ak = suhd2

For j = 1 To jm

 skecuak.el(j) = skecu.el(j)

 skecvak.el(j) = skecv.el(j)

 suhuuak.el(j) = suhuU.el(j)

Next

gradp = -0.01415

momentum gradp, deltax, deltar, jari12, jari21, suhd1, suhd2ak, _
 suhuuak, vist, skecuak, jariU, skecvak, n

Energi suhd1, suLing, skonK, skonvL, deltax, geserd1, _
 geserd2, suhd2ak, deltar, gradp, jari12, jari21, suhuuak, _
 suhuU, skecvak, skecuak, jariU, vist, skonT, n, suf1, suf2, _
 suhd2

skontinyu deltar, deltax, suhuU, suhuuak, skecu, skecuak, jariU, n

If (jarak > 0.61) And (jar < 0.61) Then

 TempNum.el(1, 1) = suhd1

For j = 2 To (jm + 1)

 TempNum.el(j, 1) = suhuuak.el(j - 1) + (0.61 - jar) / deltax * _
 (suhuU.el(j - 1) - suhuuak.el(j - 1))

Next

End If

If (jarak > 1.22) And (jar < 1.22) Then

 TempNum.el(1, 2) = suhd1

For j = 2 To (jm + 1)

 TempNum.el(j, 2) = suhuuak.el(j - 1) + (1.22 - jar) / deltax * _
 (suhuU.el(j - 1) - suhuuak.el(j - 1))

Next

End If

If (jarak > 1.83) And (jar < 1.83) Then

 TempNum.el(1, 3) = suhd1

For j = 2 To (jm + 1)

 TempNum.el(j, 3) = suhuuak.el(j - 1) + (1.83 - jar) / deltax * _
 (suhuU.el(j - 1) - suhuuak.el(j - 1))

Next

End If

n = n + 1

Wend

If kar = 1 Then

TempDat.el(1, 1) = 35.4: TempDat.el(2, 1) = 34.7: TempDat.el(3, 1) = 34.2
TempDat.el(4, 1) = 33.8: TempDat.el(5, 1) = 33.6: TempDat.el(6, 1) = 33.3
TempDat.el(7, 1) = 33#: TempDat.el(8, 1) = 32.5: TempDat.el(9, 1) = 32.1

TempDat.el(1, 2) = 38.4: TempDat.el(2, 2) = 37.5: TempDat.el(3, 2) = 37#
TempDat.el(4, 2) = 36.5: TempDat.el(5, 2) = 36.2: TempDat.el(6, 2) = 35.7
TempDat.el(7, 2) = 35.4: TempDat.el(8, 2) = 35.3: TempDat.el(9, 2) = 34.4

TempDat.el(1, 3) = 40.1: TempDat.el(2, 3) = 39.3: TempDat.el(3, 3) = 38.7
TempDat.el(4, 3) = 38.2: TempDat.el(5, 3) = 37.7: TempDat.el(6, 3) = 37.3
TempDat.el(7, 3) = 36.8: TempDat.el(8, 3) = 36.3: TempDat.el(9, 3) = 35.4

End If

If kar = 2 Then

TempDat.el(1, 1) = 48.2: TempDat.el(2, 1) = 46.1: TempDat.el(3, 1) = 44.8
TempDat.el(4, 1) = 43.8: TempDat.el(5, 1) = 43.1: TempDat.el(6, 1) = 42.6
TempDat.el(7, 1) = 42#: TempDat.el(8, 1) = 41.4: TempDat.el(9, 1) = 40.6

TempDat.el(1, 2) = 56#: TempDat.el(2, 2) = 53.9: TempDat.el(3, 2) = 52.2
TempDat.el(4, 2) = 50.9: TempDat.el(5, 2) = 49.8: TempDat.el(6, 2) = 48.9
TempDat.el(7, 2) = 48#: TempDat.el(8, 2) = 47.2: TempDat.el(9, 2) = 46#

TempDat.el(1, 3) = 60.9: TempDat.el(2, 3) = 58.6: TempDat.el(3, 3) = 56.9
TempDat.el(4, 3) = 55.5: TempDat.el(5, 3) = 54.2: TempDat.el(6, 3) = 53#
TempDat.el(7, 3) = 52#: TempDat.el(8, 3) = 50.8: TempDat.el(9, 3) = 48.6

End If

If kar = 3 Then

TempDat.el(1, 1) = 36.8: TempDat.el(2, 1) = 36.3: TempDat.el(3, 1) = 35.8
TempDat.el(4, 1) = 35.4: TempDat.el(5, 1) = 35.2: TempDat.el(6, 1) = 35#
TempDat.el(7, 1) = 34.7: TempDat.el(8, 1) = 34.4: TempDat.el(9, 1) = 34.1

TempDat.el(1, 2) = 39.1: TempDat.el(2, 2) = 38.3: TempDat.el(3, 2) = 37.8
TempDat.el(4, 2) = 37.4: TempDat.el(5, 2) = 37#: TempDat.el(6, 2) = 36.7
TempDat.el(7, 2) = 36.4: TempDat.el(8, 2) = 36#: TempDat.el(9, 2) = 35.7

TempDat.el(1, 3) = 40.6: TempDat.el(2, 3) = 39.9: TempDat.el(3, 3) = 39.4
TempDat.el(4, 3) = 38.8: TempDat.el(5, 3) = 38.4: TempDat.el(6, 3) = 37.9
TempDat.el(7, 3) = 37.5: TempDat.el(8, 3) = 37.1: TempDat.el(9, 3) = 36.3

End If

If kar = 4 Then

TempDat.el(1, 1) = 46.2: TempDat.el(2, 1) = 44.5: TempDat.el(3, 1) = 43.1
TempDat.el(4, 1) = 42.2: TempDat.el(5, 1) = 41.5: TempDat.el(6, 1) = 40.9
TempDat.el(7, 1) = 40.3: TempDat.el(8, 1) = 39.8: TempDat.el(9, 1) = 39#

TempDat.el(1, 2) = 54.3: TempDat.el(2, 2) = 51.8: TempDat.el(3, 2) = 50.3
TempDat.el(4, 2) = 48.9: TempDat.el(5, 2) = 47.9: TempDat.el(6, 2) = 47.1
TempDat.el(7, 2) = 46.2: TempDat.el(8, 2) = 45.9: TempDat.el(9, 2) = 44.4

TempDat.el(1, 3) = 59.7: TempDat.el(2, 3) = 57.4: TempDat.el(3, 3) = 55.6
TempDat.el(4, 3) = 54#: TempDat.el(5, 3) = 52.7: TempDat.el(6, 3) = 51.6
TempDat.el(7, 3) = 50.5: TempDat.el(8, 3) = 49.4: TempDat.el(9, 3) = 47.4

End If

End Sub

Sub bacaDataMan()

Dim j As Byte

Dim skonU As Double

Dim sk2 As Double

suLing = 27

suUm = 33.6

suAm = 50.5

suAk = 50.2

kar = 3

debU = 0.01398

debA = 0.000055555

jari11 = 0.014

jari12 = 0.015

jari21 = 0.025

jari22 = 0.03

skonvL = 6.5

skonK = 0.78

pjgA = 2.44

suhd1 = 90

End Sub

Sub main()

mdiMain.Show

bacaDataMan

program_utama

frmTabel.Show

frmGrafik.Show

End Sub