

# ANALISIS *LOSSES* PIPA LURUS BERDIAMETER 40 cm PADA TEROWONGAN ANGIN LAPAN

Ahmad Jamaludin Fitroh

Peneliti Aerodinamika, Kedeputian Teknologi Dirgantara, LAPAN

e-mail: ahmad\_fitroh@yahoo.com

## ABSTRACT

One of LAPAN's programs is design and build the ramjet open tested wind tunnel. The length of pipe connecting between wind tunnel and storage tank was designed long enough so it was estimated there is big losses along the pipe. The object of this research is to calculation that losses, specially for the straight part only. The magnitude of the losses was gotten from simulation using software based on CFD theory. This research used two methods, i.e. based on pressure method and based on mass flow rate method. The simulation's result using based on mass flow rate method gave the higher losses for the straight pipe so that result was chosen as the final result. That result was processed become the losses as a function of mass flow rate. The higher mass flow rate will produce the bigger losses. At mass flow rate of 60 kg/s, the losses is 0.135 %/m and at 100 kg/s the losses is 0.299 %/m. The relation between both parameter is close to linier curve.

Key word: *Pipe, losses, CFD, wind tunnel*

## ABSTRAK

Salah satu program LAPAN adalah membuat terowongan angin uji ramjet terbuka. Pipa penghubung antara terowongan angin tersebut dengan tangki penyimpanan udara direncanakan cukup panjang sehingga diperkirakan terjadi *losses* yang cukup besar. Tujuan penelitian ini adalah menghitung *losses* tersebut, khususnya untuk pipa lurus saja. Besar *losses* diperoleh dari simulasi menggunakan salah satu piranti lunak berbasis *CFD*. Metode yang digunakan adalah *based on pressure* dan *based on mass flow rate*. Hasil simulasi menggunakan metode *based on mass flow rate* memberikan *losses* pada pipa lurus yang lebih besar sehingga dipilih sebagai hasil akhir. Hasil simulasi diolah menjadi hubungan antara laju aliran massa dan *losses*. Semakin besar laju aliran massa, maka *losses* nya juga semakin besar. Pada laju aliran massa 60 kg/det, *losses* nya sebesar 0,135 %/m dan pada laju aliran massa 100 kg/det *losses* nya 0,299 %/m. Hubungan antara kedua parameter tersebut cenderung linier.

Kata kunci: *Pipa, Kerugian, CFD, Terowongan angin*

## 1 PENDAHULUAN

Salah satu program LAPAN adalah membuat terowongan angin uji ramjet terbuka. Jarak antara terowongan angin tersebut dengan tangki penyimpanan udara direncanakan cukup jauh sehingga diperkirakan terjadi *losses* yang cukup besar.

Tujuan kegiatan ini adalah menghitung *losses* pipa penghubung antara tangki penyimpanan udara dengan terowongan angin uji ramjet terbuka. Data *losses* tersebut nantinya dapat digunakan untuk kondisi operasional terowongan angin tersebut.

Pipa penghubung antara tangki penyimpanan udara dan terowongan angin terdiri dua bagian, yaitu bagian pipa lurus dan bagian lekukan. Dalam penelitian ini pipa lurus saja yang dianalisis. Pipa tersebut mempunyai diameter dalam 40 cm [Ahmad Jamaludin Fitroh, 2008]. Permukaan bagian dalam pipa diasumsikan cukup halus.

## 2 METODE

Distribusi losses di sepanjang pipa diperoleh dari simulasi menggunakan salah satu piranti lunak berbasis CFD. Simulasi dilakukan menggunakan dua metode, yaitu *based on pressure* dan *based on mass flow rate*. Di antara kedua metode tersebut nantinya diambil yang memberikan losses paling besar.

Penampang pipa yang akan digunakan berbentuk lingkaran sempurna sehingga simulasi cukup dilakukan secara *axisymmetri* [Manual FLUENT]. Semua parameter aliran dianggap bersifat konstan. Model turbulensi yang digunakan adalah *k-epsilon standard*. Temperatur stagnasi diasumsikan sebesar 300 K [Ahmad Jamaludin Fitroh, 2008].

Simulasi dilakukan terhadap panjang pipa yang berbeda, yaitu 5, 10, 20, dan 50 m. Masing – masing panjang pipa tersebut selanjutnya dihitung losses nya. Kemudian losses tersebut dibagi dengan panjang pipa masing-masing sehingga diperoleh losses per satuan panjang.

### 2.1 Metode Based On Pressure

Pangkal pipa diset sebagai *pressure inlet* sedangkan ujungnya diset sebagai *pressure outlet*. Tekanan pada *pressure inlet* dibuat konstan sedangkan pada *pressure outlet* dibuat bervariasi untuk mendapatkan variasi kecepatan aliran dan laju aliran massa [Manual FLUENT; Anderson, J.D. JR., 1984 & 1991; Saad, Michel A., 1985; Anderson, J. D., 2003].

Dalam perhitungan, yang dimaksud *pressure inlet* adalah tekanan total masuk pipa. Hubungan antara tekanan total ( $p_0$ ), tekanan statik ( $p$ ), dan kecepatan aliran ( $M$ ) pada kondisi kompresibel disajikan dalam persamaan (2-1). Notasi  $\gamma$  menyatakan spesifik panas aliran.

$$p_0 = p \left( 1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad (2-1)$$

*Pressure outlet* adalah tekanan statik aliran keluar pipa. Selama proses iterasi, tekanan statik aliran keluar pipa dibuat konstan sedangkan tekanan total dan kecepatan alirannya merupakan hasil perhitungan.

Dengan demikian dalam metode ini yang dibuat konstan adalah tekanan total aliran masuk dan tekanan statik aliran keluar pipa. Parameter lainnya merupakan hasil perhitungan.

### 2.2 Metode Based On Mass Flow Rate

Pangkal pipa diset sebagai *mass flow inlet* sedangkan ujungnya tetap diset sebagai *pressure outlet*. Laju massa pada *mass flow inlet* divariasikan, sedangkan tekanan pada *pressure outlet* dibuat konstan. Tekanan total aliran nantinya akan menyesuaikan [Mac Cormack, R.W., 1995].

*Mass flow inlet* adalah laju massa aliran masuk pipa. Definisi laju aliran massa disajikan dalam persamaan (2-2). Notasi  $\dot{m}$ ,  $\rho$ ,  $A$ , dan  $v$  masing-masing menyatakan laju aliran massa, kerapatan udara, luas penampang pipa, dan kecepatan aliran.

$$\dot{m} = \rho A v \quad (2-2)$$

Dalam metode ini, yang dibuat konstan adalah laju massa aliran masuk pipa. Berdasarkan hukum kekekalan massa, maka laju aliran keluar pipa juga konstan. Parameter lainnya merupakan hasil perhitungan.

### 3 GEOMETRI DAN DATA

Pipa penghubung antara tangki penyimpanan udara dan terowongan angin terdiri dari dua bagian, yaitu bagian pipa lurus dan bagian lekukan. Pipa lurusnya berjumlah beberapa buah dengan panjang yang berbeda. Diameter dalam pipa lurus tersebut konstan sebesar 40 cm.

### 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Based on Pressure

Tekanan udara di tangki penyimpanan atau di pangkal pipa diset sebesar 10 bar. Hasil simulasi disajikan dalam Tabel 4-1. Notasi  $p_2$ ,  $M_2$ ,  $\dot{m}$ ,  $p_{02}$  masing –masing menyatakan tekanan statik, bilangan Mach, laju massa, dan tekanan total aliran di ujung pipa. Notasi L menyatakan panjang pipa.

Tabel 4-1a: L = 5 m

$p_2$ (bar)	$M_2$	$\dot{m}$ (kg/det)	$p_{02}$ (bar)	losses	
				(%)	(%/m)
8,0	0,54	223	9,78	2,2	0,44
9,0	0,37	168	9,89	1,2	0,23
9,2	0,33	152	9,91	0,9	0,19
9,5	0,25	122	9,94	0,6	0,12
9,8	0,16	78	9,98	0,3	0,05
9,9	0,11	55	9,99	0,1	0,03

b: L = 10 m

$p_2$ (bar)	$M_2$	$\dot{m}$ (kg/det)	$p_{02}$ (bar)	losses	
				(%)	(%/m)
8,0	0,52	212	9,62	3,9	0,39
9,0	0,35	159	9,80	2,0	0,20
9,5	0,24	115	9,90	1,0	0,10
9,8	0,15	73	9,96	0,4	0,04
9,9	0,11	52	9,98	0,2	0,02

c: L = 20 m

$p_2$ (bar)	$M_2$	$\dot{m}$ (kg/det)	$p_{02}$ (bar)	losses	
				(%)	(%/m)
8,0	0,47	194	9,35	6,5	0,33
9,0	0,32	145	9,66	3,4	0,17
9,5	0,22	105	9,83	1,8	0,09
9,8	0,14	66	9,93	0,7	0,04
9,9	0,09	47	9,96	0,4	0,02

d: L = 50 m

$P_2$ (bar)	$M_2$	$\dot{m}$ (kg/det)	$p_{02}$ (bar)	losses	
				(%)	(%/m)
8,0	0,39	159	8,90	11,0	0,22
9,0	0,26	117	9,43	5,7	0,11
9,4	0,19	91	9,65	3,5	0,07
9,7	0,13	65	9,82	1,8	0,04
9,8	0,11	53	9,88	1,2	0,02

Hasil dalam tabel di atas menunjukkan bahwa semakin besar setting tekanan statik di *exit*, maka semakin kecil kecepatan alirannya karena udara dalam pipa menjadi semakin sulit mengalir. Untuk tekanan statik *exit* yang sama, semakin panjang pipanya maka kecepatan aliran udara sedikit semakin kecil karena *losses* akibat gesekan yang semakin banyak.

Untuk panjang pipa tertentu, semakin besar  $p_2$ , maka harga  $p_{02}$  yang dihasilkan juga semakin besar karena tekanan statik merupakan komponen dari tekanan total. Untuk setting  $p_2$  yang sama, semakin panjang pipa maka  $p_{02}$  yang dihasilkan menjadi semakin kecil karena pipa yang lebih panjang menyebabkan *losses* yang lebih besar.

Untuk panjang pipa tertentu, semakin besar  $p_2$  maka  $\dot{m}$  nya menjadi semakin kecil karena udara dalam pipa menjadi lebih sulit mengalir meskipun kerapatan udaranya meningkat. Untuk setting  $p_2$  yang sama, semakin panjang pipa maka  $\dot{m}$  yang dihasilkan menjadi lebih kecil karena  $p_{02}$  yang dihasilkan juga lebih kecil sehingga kecepatan aliran udaranya menjadi lebih kecil.

Untuk panjang pipa tertentu, semakin besar  $p_2$  menyebabkan *losses*nya menjadi semakin kecil karena semakin besar  $p_2$  menyebabkan kecepatan aliran semakin kecil sehingga *losses* akibat gesekan menjadi lebih kecil. Untuk setting  $p_2$  yang sama, semakin panjang pipa menghasilkan *losses* per satuan panjang yang semakin kecil karena distribusi *losses* di sepanjang pipa tidak seragam. Bagian pipa yang menyebabkan *losses* terbesar

dalam simulasi CFD ini adalah bagian mendekati *exit*.

Hasil – hasil tersebut selanjutnya diinterpolasi untuk mendapatkan distribusi laju aliran massa tertentu. Dalam hal ini dipilih 100, 90, 80, 70, dan 60 kg/det. Hasilnya disajikan dalam Tabel 4-2.

Tabel 4-2a:L = 5 m

$\dot{m}$ (kg/det)	losses (% / m)
100	0,086
90	0,070
80	0,054
70	0,045
60	0,034

b: L = 10 m

$\dot{m}$ (kg/det)	losses (% / m)
100	0,078
90	0,064
80	0,050
70	0,042
60	0,032

c: L = 20 m

$\dot{m}$ (kg/det)	losses (% / m)
100	0,079
90	0,066
80	0,053
70	0,040
60	0,031

d: L = 50 m

$\dot{m}$ (kg/det)	losses (% / m)
100	0,082
90	0,065
80	0,057
70	0,044
60	0,034

Hasil dalam tabel di atas menunjukkan bahwa semakin kecil  $\dot{m}$  maka losses pada pipa lurus juga semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan semakin kecil  $\dot{m}$  maka semakin kecil pula tekanan, kerapatan, dan kecepatan aliran sehingga secara tidak langsung menghasilkan koefisien gesek yang lebih kecil. Semakin kecil koefisien geseknya maka semakin kecil pula gaya gesek aliran terhadap permukaan sehingga losses nya juga menjadi lebih kecil.

Selanjutnya hasil di atas disusun ulang dan dihitung rata – ratanya. Hasil tersebut disajikan dalam Tabel 4-3.

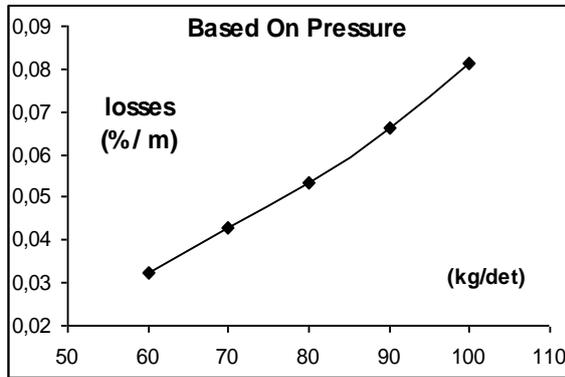
Tabel 4-3: NILAI RATA - RATA

$\dot{m}$ (kg/det)	L (m)	losses (% / m)	Rata-rata
100	5	0,086	0,081
	10	0,078	
	20	0,079	
	50	0,082	
90	5	0,070	0,066
	10	0,064	
	20	0,066	
	50	0,065	
80	5	0,054	0,053
	10	0,050	
	20	0,053	
	50	0,057	
70	5	0,045	0,043
	10	0,042	
	20	0,040	
	50	0,044	
60	5	0,034	0,033
	10	0,032	
	20	0,031	
	50	0,034	

Selanjutnya hasil rata - rata di atas disusun ulang untuk memperoleh hubungan antara laju aliran massa dan losses per satuan panjang. Hubungan tersebut disajikan dalam Tabel 4-4 dan Gambar 4-1.

Tabel 4-4: HASIL AKHIR METODE BASED ON PRESSURE

$\dot{m}$ (kg/det)	losses (%/m)
100	0,081
90	0,066
80	0,053
70	0,043
60	0,033



Gambar 4-1: Hasil akhir metode based on pressure

Gambar 4-1 menyajikan hubungan antara laju aliran massa dengan losses persatuan panjang menggunakan metode based on pressure. Dari kurva tersebut dapat dilihat bahwa pengoperasian menggunakan laju aliran massa yang lebih besar menyebabkan losses yang semakin besar pula.

#### 4.2 Based on Mass Flow Rate

Hasil simulasi menggunakan metode based on mass flow rate disajikan dalam Tabel 4-5. Dalam tabel tersebut hanya parameter laju aliran massa yang dijadikan masukan atau referensi perhitungan. Parameter lainnya merupakan hasil simulasi [MacCormack, R.W., 1995; Hirsch, C., 1990].

Tabel 4-5a: L = 5 m

$\dot{m}$ (kg/det)	$M_2$	$p_{02}$ (bar)	losses (% / m)
100	0,248	8,353	0.116
90	0,223	8,286	0.098
80	0,199	8,226	0.079
70	0,174	8,173	0.062
60	0,149	8,127	0.047

b: L = 10 m

$\dot{m}$ (kg/det)	$M_2$	$p_{02}$ (bar)	losses (% / m)
100	0,486	4,714	0,391
90	0,439	4,576	0,332
80	0,394	4,460	0,281
70	0,346	4,351	0,225
60	0,298	4,258	0,173

c: L = 20 m

$\dot{m}$ (kg/det)	$M_2$	$p_{02}$ (bar)	losses (% / m)
100	0,488	4,717	0,379
90	0,441	4,579	0,326
80	0,393	4,456	0,273
70	0,345	4,348	0,221
60	0,297	4,255	0,170

d: L = 50 m

$\dot{m}$ (kg/det)	$M_2$	$p_{02}$ (bar)	losses (% / m)
100	0,489	4,720	0,323
90	0,441	4,580	0,284
80	0,394	4,458	0,243
70	0,346	4,350	0,202
60	0,297	4,256	0,160

Hasil dalam Tabel 4-5 menunjukkan bahwa semakin besar  $\dot{m}$ , maka semakin besar pula  $M_2$  karena kecepatan aliran merupakan komponen dari laju aliran massa seperti pada persamaan (2-2). Dari persamaan tersebut juga dapat dilihat bahwa semakin besar  $\dot{m}$  maka semakin besar pula  $\rho$ . Kenaikan kerapatan udara akan diikuti dengan kenaikan tekanan statiknya sesuai dengan persamaan (4-1). Notasi  $p$ ,

R, dan T masing-masing menyatakan tekanan, properti udara, dan temperatur. Berdasarkan persamaan (2-1), maka kenaikan  $p$  akan diikuti dengan kenaikan  $p_0$ . Dengan demikian kenaikan  $\dot{m}$  secara tidak langsung menyebabkan kenaikan  $p_{02}$ . Dengan tekanan total inlet,  $p_{01}$  yang sama, maka semakin besar  $p_{02}$  memberikan arti bahwa semakin kecil losses yang dihasilkan. Untuk  $\dot{m}$  yang sama, semakin panjang pipa lurus maka semakin kecil losses per satuan panjangnya. Hal tersebut dikarenakan distribusi losses tidak seragam di sepanjang pipa. Bagian pipa yang menyebabkan losses terbesar adalah bagian mendekati exit.

Selanjutnya hasil di atas disusun ulang dan dihitung rata-ratanya. Hasil tersebut disajikan dalam Tabel 4-6.

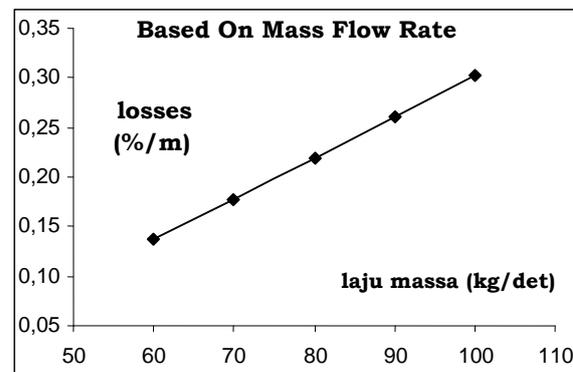
Tabel 4-6: NILAI RATA-RATA

$\dot{m}$ (kg/det)	L (m)	losses (%/m)	Rata-rata
100	5	0,116	0,302
	10	0,391	
	20	0,379	
	50	0,323	
90	5	0,098	0,260
	10	0,332	
	20	0,326	
	50	0,284	
80	5	0,079	0,219
	10	0,281	
	20	0,273	
	50	0,243	
70	5	0,062	0,178
	10	0,225	
	20	0,221	
	50	0,202	
60	5	0,047	0,137
	10	0,173	
	20	0,170	
	50	0,160	

Hasil rata-rata pada Tabel 4-6 disusun ulang untuk memperoleh hubungan antara laju aliran massa dan losses per satuan panjang. Hubungan tersebut disajikan dalam Tabel 4-7 dan Gambar 4-2.

Tabel 4-7: HASIL AKHIR METODE BASED ON MASS FLOW

$\dot{m}$ (kg/det)	losses (%/m)
100	0,299
90	0,258
80	0,217
70	0,176
60	0,135



Gambar 4-2 : Hasil akhir metode based on mass flow

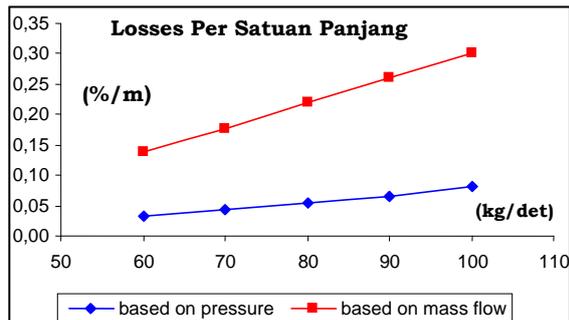
Pola hubungan antara laju aliran massa dan losses per satuan panjang dari metode based on mass flow rate pada Gambar 4-2 serupa dengan hasil yang diperoleh menggunakan metode sebelumnya pada Gambar 4-1. Perbedaannya terletak pada besar losses. Metode ini memberikan losses yang lebih besar daripada metode sebelumnya.

### 4.3 Analisis Hasil

Hasil losses dari kedua metode yang digunakan selanjutnya dibandingkan. Untuk setiap laju aliran massa yang sama, metode based on mass flow rate menghasilkan losses yang lebih besar seperti pada Tabel 4-8 dan Gambar 4-3.

Tabel 4-8: PERBANDINGAN HASIL

$\dot{m}$ (kg/det)	losses (%/m)	
	based on pressure	based on mass flow
100	0,081	0,299
90	0,066	0,258
80	0,053	0,217
70	0,043	0,176
60	0,033	0,135



Gambar 4-3 : Perbandingan hasil

Tabel 4-8 dan Gambar 4-3 menunjukkan bahwa metode *based on mass flow rate* memberikan losses per satuan panjang yang lebih besar. Untuk mengantisipasi penyebab losses yang tidak terdeteksi, maka dalam pengerjaan ini dipilih hasil dari metode yang memberikan losses yang lebih besar, yaitu hasil simulasi menggunakan metode *based on mass flow rate*. Dengan kata lain hasil akhir dari pengerjaan ini terdapat dalam Tabel 4-7 dan Gambar 4-2.

## 5 KESIMPULAN

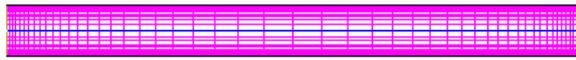
Telah diperoleh hubungan antara laju aliran massa dan losses pada pipa lurus berdiameter 40 cm. Semakin besar laju aliran massa, maka losses nya juga semakin besar. Pada laju aliran massa 60 kg/det, losses nya sebesar 0,135 %/m dan pada laju aliran massa 100 kg/det losses nya 0,299 %/m. Hubungan antara kedua parameter tersebut cenderung linier.

## DAFTAR RUJUKAN

- Ahmad Jamaludin Fitroh, 2008. *Desain Geometri dan Aerodinamika Terowongan Angin Ramjet Uji Terbuka*, Laporan Kerja Akhir, LAPAN.
- Anderson, J.D. JR., 1984 & 1991. *Fundamentals of Aerodynamics, Second Edition*, Mc. GrawHill, Inc.
- Anderson, J.D., 1995. *Computational Fluid Dynamics ; The Basic with Application*, McGraw-Hill.
- Anderson, J.D., 2003. *Modern Compressible Flow with Historical Prospective*, Second Edition, New York, McGraw-Hill.
- Hirsch, C., 1990. *Numerical Computation of Internal and External Flows*, Vol. 2, John Wiley & Sons.
- Hoffmann, K.A., and Chiang, S.T., 1993. *Computational Fluid Dynamics for Engineers*, Vol. II, Engineering Education Systems, Wichita, Kansas, USA.
- Hoffmann, K.A., and Chiang, S.T., 1993. *Computational Fluid Dynamics for Engineers*, Vol. I, Engineering Education Systems, Wichita, Kansas, USA.
- MacCormack, R.W., 1995. *Numerical Computation of Compressible Viscous Flow*, AA214 Course Notes, Department of Aeronautics and Astronautics, Stanford University, Stanford, CA. Manual FLUENT
- Saad, Michel A., 1985. *Compressible Fluid Flow*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Thompson, J.F., Warsi, Z.U.A., and Mastine, W.C., 1985. *Numerical Grid Generation ; Foundations and Applications*, Elsevier Science Publishing Co., Inc.
- White, F.M., 1991. *Viscous Fluid Flow*, Second Edition, McGraw-Hill, New York.

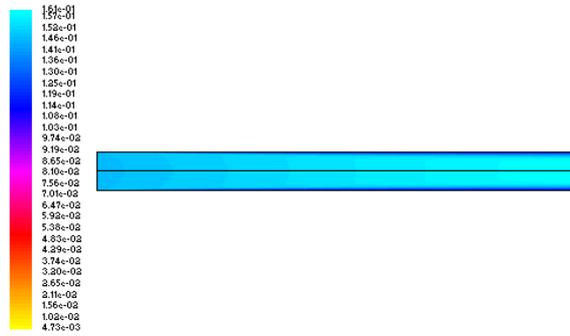
**LAMPIRAN**

**Bentuk Mesh**

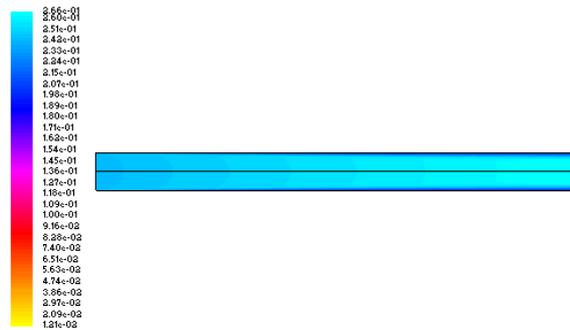


$L = 5 \text{ m}$

**Distribusi Kecepatan (Mach)**

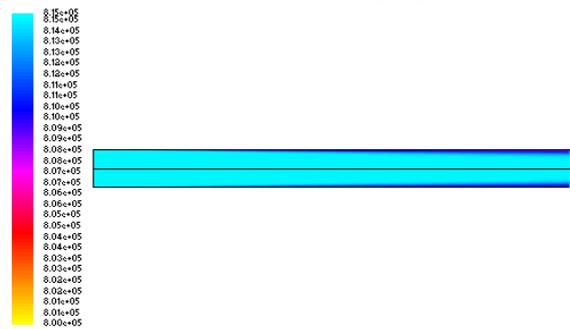


$L = 5 \text{ m}, \dot{m} = 60 \text{ kg/det}$

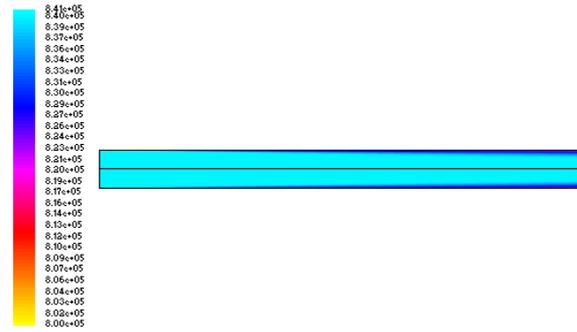


$L = 5 \text{ m}, \dot{m} = 100 \text{ kg/det}$

**Distribusi Tekanan Total (Pa)**

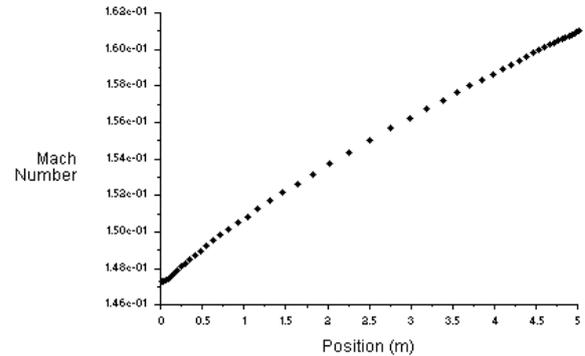


$L = 5 \text{ m}, \dot{m} = 60 \text{ kg/det}$

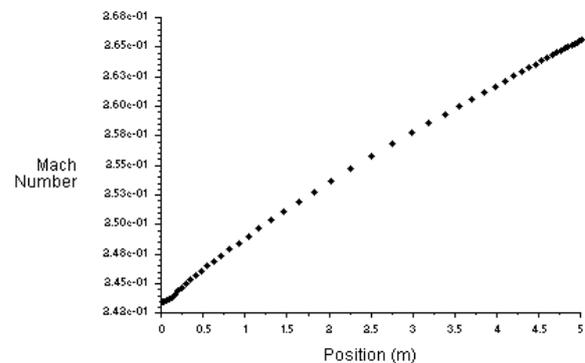


$L = 5 \text{ m}, \dot{m} = 60 \text{ kg/det}$

**Plot Kecepatan di Sumbu (Mach)**



$L = 5 \text{ m}, \dot{m} = 60 \text{ kg/det}$



$L = 5 \text{ m}, \dot{m} = 100 \text{ kg/det}$