

# ANALISA PENGARUH VARIASI SUDUT *MIXING CHAMBER INLET* TERHADAP *ENTRAINMENT RATIO* PADA *STEAM EJECTOR* DENGAN MENGGUNAKAN CFD

Bachtiar Setya Nugraha  
Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus

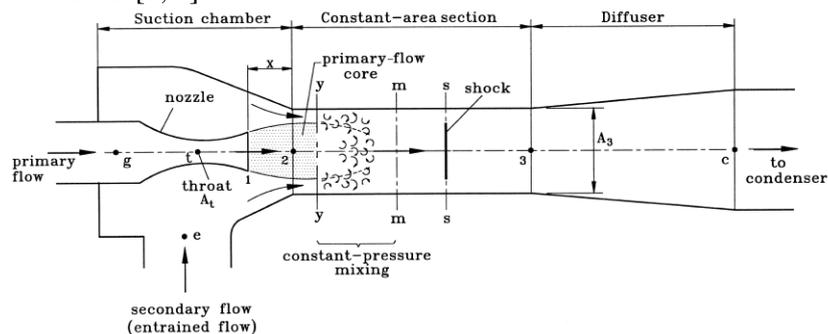
## Abstrak

*Computational Fluid Dynamics* adalah salah satu metode komputasi yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa masalah-masalah aliran fluida. Dalam penelitian ini *Computational Fluid Dynamics (CFD)* digunakan untuk menganalisa pengaruh variasi sudut *mixing chamber inlet* terhadap distribusi tekanan dan *entrainment* rasio pada *steam ejector*. Sudut *mixing chamber inlet* divariasikan :  $10^{\circ}, 15^{\circ}, 20^{\circ}$ . Tekanan yang melalui *Primary fluid* dan *Secondary fluid* dengan kondisi konstan. Metode yang digunakan adalah melakukan eksperimen yang akan mendapatkan data, selanjutnya data tersebut diolah untuk dijadikan acuan pada simulasi dengan menggunakan *CFD*. Sasaran yang ingin dicapai adalah untuk menentukan besar sudut *mixing chamber inlet* yang tepat pada distribusi tekanan dan *entrainment* rasio yang diinginkan. Dalam penelitian ini diharapkan semakin besar sudut *mixing chamber inlet*, nilai *entrainment ratio* semakin kecil. Sedang pada distribusi tekanan diharapkan Aliran bertekanan tinggi (*primary pressure* atau  *motive pressure*) masuk ke konvergen nosel dan mencapai kecepatan sonik pada *throat nozzle*. Kemudian kecepatan *primary flow* meningkat lebih dan mengembang saat melintas di *divergen nosel*. Pada ujung nosel kecepatan *primary flow* mencapai *supersonic* dan tekanan menjadi rendah. Gelombang aliran  *motive (jet core)* ini akan menarik *secondary flow* masuk ke *mixing chamber*, dimana *secondary flow* akan mengalami percepatan dan bercampur dengan *primary flow*. Energi kinetik dari *primary flow* ditransfer ke *secondary flow* di daerah *throat*. Kemudian saat masuk *diffuser* akan terjadi efek kompresi, energi kecepatan diubah menjadi energi tekanan sehingga kecepatan akan menurun dan tekanan pada *discharge pressure/back pressure* akan naik.

**Kata kunci:** *CFD, chamber inlet, sistem ejector, sudut mixing*

## Pendahuluan

Ejektor refrigerasi tampaknya menjadi sistem yang paling tepat untuk refrigerasi berskala besar pada sekarang ini, karena dapat memanfaatkan panas buangan dari boiler untuk menghasilkan siklus refrigerasi yang bermanfaat. Keuntungan yang utama dari sebuah ejektor refrigerasi adalah mempunyai konstruksi yang sederhana, mudah digunakan, tahan lama, dan tidak mudah mengalami korosi [1, 2].



Gambar 1.1 Skema Ejektor Refrigerasi [3]

Pada dasarnya ejektor terdiri dari empat bagian, yaitu: *primary nozzle, suction chamber, constant area section, diffuser*. Pada boiler, air dipanaskan sehingga menjadi *superheated vapor* yang bertekanan tinggi. Kemudian *superheated vapor (primary fluid)* mengalir melalui *primary nozzle* dan keluar mencapai kecepatan *supersonic*, karena tekanan statis disekitar *suction chamber* sangat rendah maka akan menarik *secondary fluid* dari evaporator. Kemudian akan bercampur dan mengalir melalui *constant area section* yang dengan sendirinya kecepatan akan menurun menjadi *subsonic*, dan tekanan akan meningkat menuju *diffuser* [4].

Pendekatan untuk pemodelan ejektor adalah menggunakan *computational fluid dynamic* (CFD) yang mampu menghasilkan rincian-rincian dari bidang aliran dan sifat-sifat fluida berdasarkan pada penyelesaian numerik. Jenis rincian aliran meliputi perpindahan panas, radiasi, turbulensi, dan lain-lain [5]. FLUENT adalah salah satu jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga (*finite volume method*). Penggunaan FLUENT sangat mudah, tersedia model yang realistis dengan berbagai pilihan *solver*, dan juga lebih efisien terhadap waktu dan biaya eksperimen [6].

*Ejector* dengan variasi sudut *mixing chamber inlet*:  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $38^{\circ}$  merupakan parameter dari penelitian, dengan tekanan pada *primary fluid* dan *secondary fluid* adalah konstan. Sedangkan Pembahasan hanya pada variasi sudut *mixing chamber inlet* terhadap *entrainment ratio*.

**Dasar Teori**

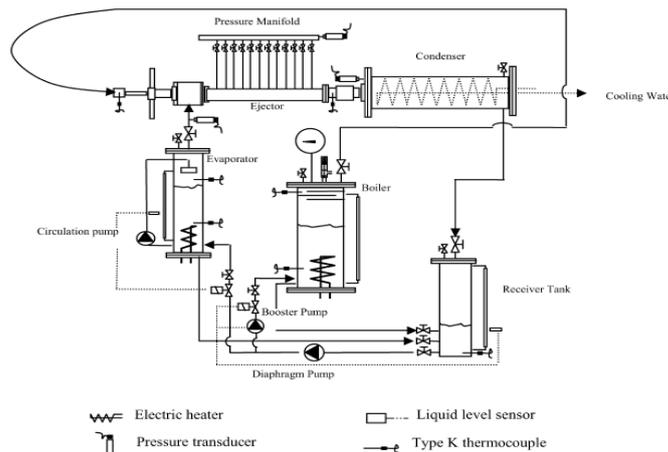
*Steam ejector*



Gambar 2.1. *Steam Ejector*

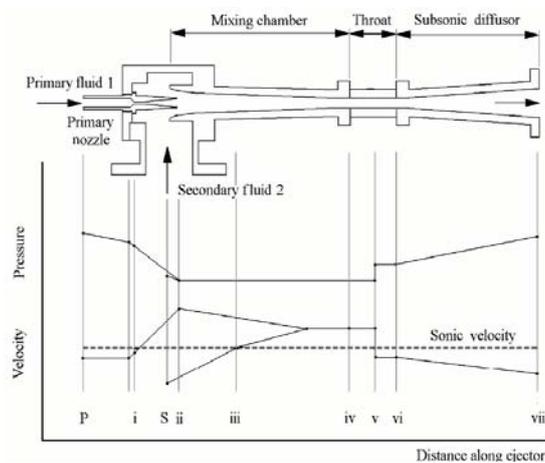
*Steam ejector* telah lama digunakan dalam proses industri karena geometrinya yang sederhana dan ketahanan pemakaian. Terdapat banyak pilihan kapasitas dari yang kapasitas kecil sampai kapasitas besar. Kelebihan yang dimiliki *steam ejector* apabila digunakan dalam suatu sistem :

Instalasi penelitian



Gambar 2.2. Instalasi penelitian

Profil tekanan dan kecepatan aliran dalam steam ejector



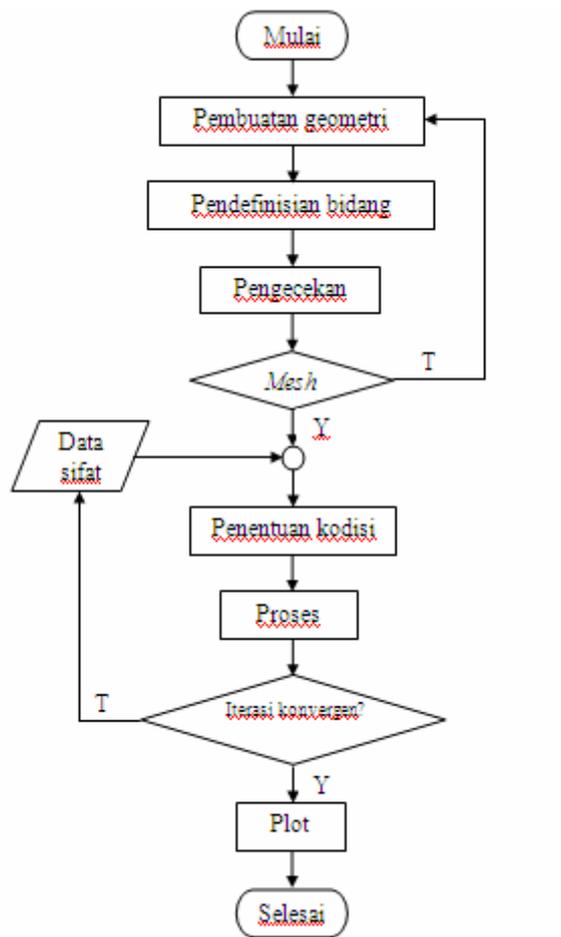
Gambar 2.3. Profil tekanan dan kecepatan aliran dalam steam ejector

Profil tekanan dan kecepatan aliran dalam *steam ejector* di tunjukkan pada Gambar 2.3. Aliran bertekanan tinggi (*primary pressure* atau *motive pressure*) masuk ke konvergen nosel dan mencapai kecepatan sonik pada *throat nozzle*. Kemudian kecepatan *primary flow* meningkat lebih dan mengembang saat melintas di divergen nosel. Pada ujung nosel kecepatan *primary flow* mencapai *supersonic* dan tekanan menjadi rendah. Gelombang aliran *motive (jet core)* ini akan menarik *secondary flow* (2) masuk ke *mixing chamber*, dimana *secondary flow* akan mengalami percepatan dan bercampur dengan *primary flow*. Energi kinetik dari *primary flow* ditransfer ke *secondary flow* di daerah *throat*. Kemudian saat masuk diffuser akan terjadi efek kompresi, energi kecepatan diubah menjadi energi tekanan sehingga kecepatan akan menurun dan tekanan pada *discharge pressure/back pressure* akan naik. Uap bertekanan tinggi ini akan menuju ke kondensator (3), untuk proses kondensasi melepas kalor. Kemudian sejumlah refrigerant kondensat tereksansi menuju evaporator melalui katup ekspansi (6), sementara sejumlah lainnya akan dipompa (4) menuju boiler (5).

## FLUENT

*Fluent* adalah program komputer yang memodelkan aliran fluida dan perpindahan panas dalam geometri yang kompleks [18]. FLUENT versi 6.2.16 merupakan salah satu jenis program *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*) yang menggunakan metode diskritisasi volume hingga. *Fluent* memiliki fleksibilitas *mesh*, sehingga kasus-kasus aliran fluida yang memiliki *mesh* tidak terstruktur akibat geometri benda yang rumit dapat diselesaikan dengan mudah. Selain itu, *Fluent* memungkinkan untuk penggenerasian *mesh* lebih halus atau lebih besar dari *mesh* yang sudah ada berdasarkan pemilihan solusi aliran.

## Metodologi

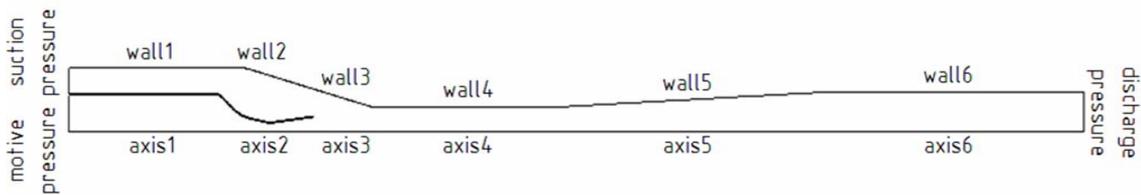


Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Simulasi FLUENT [6]

**Hasil Dan Pembahasan**

**Pembentukan Model dan Kondisi Batas**

Berbagai macam kondisi batas yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Tipe Kondisi Batas.

Variasi sudut *suction chamber converging*, dapat dilihat pada Gambar 3.3. Pada bagian ini, sudut *suction chamber converging* divariasi menjadi sudut 10°,15°,38°, dan diperhalus pada setiap sudutnya.

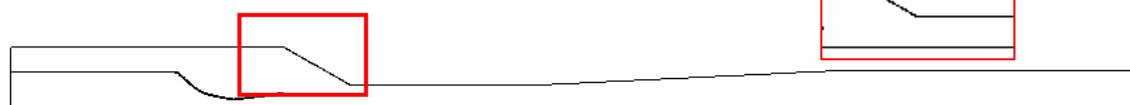


Gambar 4.2 Bagian *Ejector* yang Divariasi pada Sudutnya.

Sudut 10°



Sudut 15°



Sudut 38°



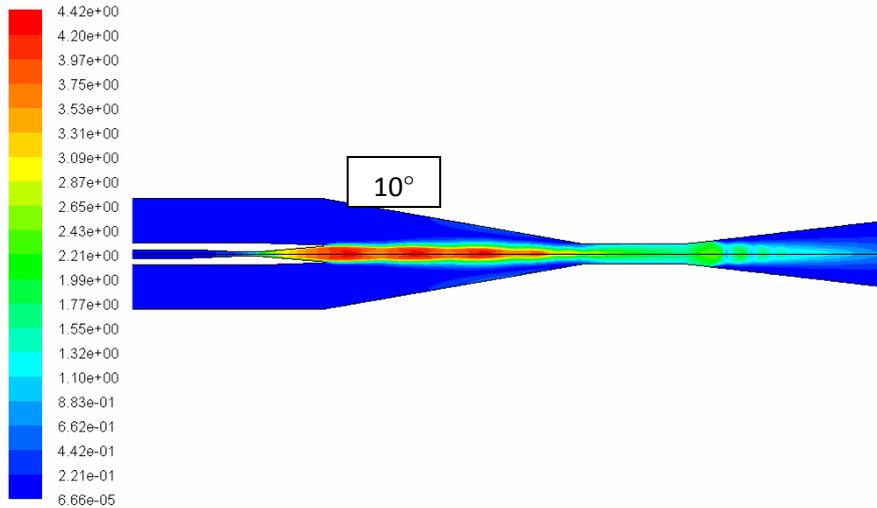
Gambar 4.3 *Ejector* dengan variasi sudut 10°,15°,38°

**Pendefinisian Material**

Material didefinisikan sebagai fluida kompresibel dengan spesifikasi sebagai berikut :

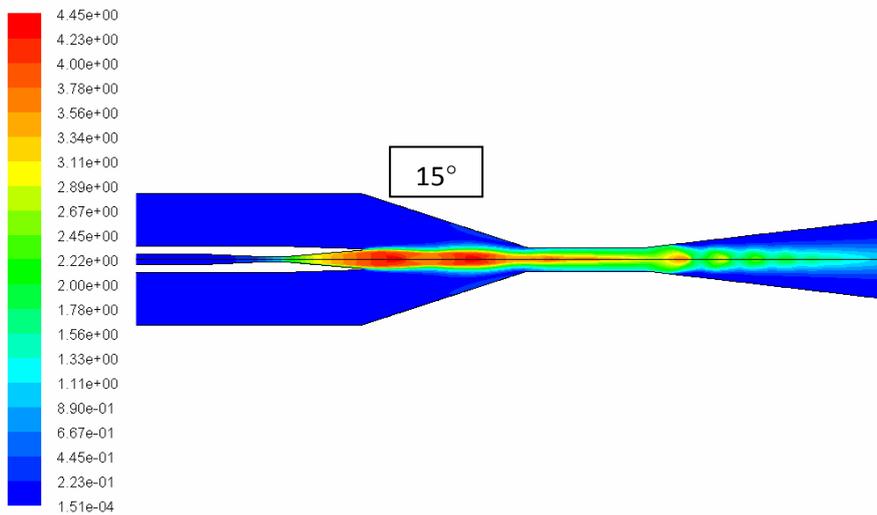
- ✚ Jenis fluida = refrigeran R141b (CH<sub>3</sub>CCl<sub>2</sub>F)
- ✚ Densitas ( $\rho$ ) = ideal gas
- ✚ Kalor spesifik = 874,8233 (J/kgK)
- ✚ Konduktivitas termal (k) = 0,01234767 (W/mK)
- ✚ Viskositas = 0,000101765 (poise)
- ✚ Massa molekul (Mm) = 117 (kg/kgmol)

$\vartheta$	Pm = 272.000Pa (130°C) Ps = 1.500Pa (15°C)	Primary flow (kg/s)	Secondary flow (kg/s)	$\omega$
10°	4000 (45°C)	0,003848902	-0,000483512	-0,125623442
15°	4000 (45°C)	0,003848820	0,000149186	0,038761451
38°	4000 (45°C)	0,003843685	-0,000238203	-0,061972528



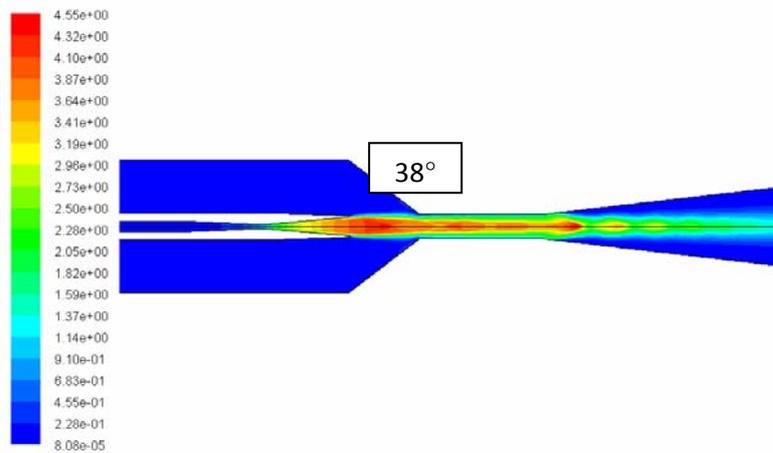
Contours of Mach Number

May 25, 2010  
FLUENT 6.3 (axi, dp, dbns imp, rngke)



Contours of Mach Number

May 25, 2010  
FLUENT 6.3 (axi, dp, dbns imp, rngke)



Contours of Mach Number

May 25, 2010  
FLUENT 6.3 (axi, dp, dbns imp, rngke)

## Kesimpulan

Simulasi pada sudut  $15^\circ$  didapatkan nilai *entrainment ratio* sebesar 0,038761451, sedangkan pada sudut  $10^\circ$  dan  $38^\circ$  mempunyai nilai yang negatif. Hal tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor, pada sudut  $10^\circ$  terlihat bahwa *mixing chamber area* terlalu besar sehingga *jet core* terbentuk hanya pada *mixing chamber*. Tekanan dan temperatur *primary flow* tidak terlalu besar untuk menarik *secondary flow* pada *constant area section*, sehingga arah *secondary flow* berbalik menuju *suction inlet*. Sedangkan pada sudut  $38^\circ$ , *mixing chamber area* terlalu kecil yang menyebabkan *primary flow* menarik dari *secondary flow* semakin kecil sehingga *entrainment ratio* yang dihasilkan semakin kecil.

## Daftar Pustaka

- [1] B.J. Huang, J.M. Chang, C.P. Wang, V.A. Patrenko, *A 1-D analysis of ejector performance*, International Journal of Refrigeration 22 (1999) 354–364.
- [2] T. Sriveerakul, et al., *Performance prediction of steam ejector using computational Fluid dynamics: Part 1. Validation of the CFD results*, International Journal of Thermal Sciences (2006), doi: 10.1016/j.ijthermalsci.
- [3] T. Sriveerakul, et al., *Performance prediction of steam ejector using computational Fluid dynamics: Part 2. Flow structure of a steam ejector influenced by operating pressures and geometries*, International Journal of Thermal Sciences (2006), doi: 10.1016/j.ijthermalsci.
- [4] Z.Yinhai, et al, *Simplified ejector model for control and optimization*, a School of Electrical and Electronic Engineering, Nanyang Technological University, Singapore 639798, Singapore School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, PR China.
- [5] R.F Maria, *Calculation of Injector Characteristics Using A Commercial CFD Code* The Institute of Thermal Turbomachines and Powerplants Vienna University of Technology (2001)
- [6] A.J Meyer, *Steam Jet Ejector Cooling Powered By Low Grade Waste Or Solar Heat*, Thesis presented in partial fulfillment of the requirements for the degree of Msc Eng in Mechanical Engineering Stellenbosch University.
- [7] Wilbert F Stoecker, Jerold W Jones, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Erlangga, 1996.
- [8] Moran M.J, Shapiro H.N, *Termodinamika Teknik*, Jilid 1, Erlangga, Jakarta, 2004.
- [9] Çengel Yunus A, Michael A. Boles, *Thermodynamics An Engineering Approach*, 5th 1ed, McGraw-Hill.
- [10] Kanjanapon Chunnanond, Satha Aphornratana, *An experimental investigation of a steam ejector refrigerator: the analysis of the pressure profile along the ejector*, Thammasat University, 2003.
- [11] E. Rusly, Lu Aye, W.W.S. Charters, A. Ooi, *CFD analysis ejector in a combined ejector cooling system*, Int J Refrigeraion 28, 2005.
- [12] Tech-Ejector, *Ejector Refrigeration System*, 1999.