

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

**Bachtiar Setya Nugraha, ST**

Program Magister Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang

Program Studi Teknik Mesin Universitas Muria Kudus

Gondangmanis PO.Box 53-Bae, Kudus, telp 0291 4438229-443844, fax 0291 437198

E-mail: setyanugraha\_72@yahoo.co.id

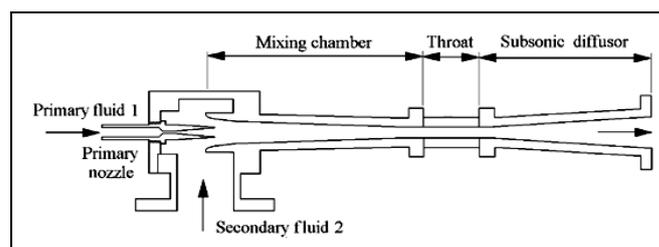
### Abstrak

Pada situasi krisis energi seperti sekarang ini *ejector refrigeration* dapat sebagai solusi yang tepat, karena *ejector* merupakan alat yang digunakan untuk menggerakkan fluida dengan jalan memanfaatkan aliran fluida lain. Fluida yang digunakan untuk mendorong aliran fluida lain disebut *primary fluid*, sedangkan fluida yang terdorong disebut fluida isap/*secondary fluid*. *Steam ejector* banyak digunakan pada industri misalnya pada proses pendinginan fluida, proses pevakuman dan sebagainya. Keuntungan dari *steam ejector* di banding sistem-sistem yang lain adalah *steam ejector* memerlukan sedikit sumber energi, umur komponen tahan lama, karena tidak ada komponen yang bergerak, ramah lingkungan, karena menggunakan fluida air. Adapun kelemahan *steam ejector* adalah COP yang dihasilkan rendah. *Entrainment ratio* akan mempengaruhi nilai COP pada sistem, bila menginginkan nilai COP tinggi maka harus meningkatkan *entrainment ratio* dan untuk meningkatkan nilai *entrainment ratio*, dengan memvariasi geometri *ejector*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi sudut *mixing chamber* terhadap *entrainment ratio* dan distribusi tekanan pada *steam ejector* dengan menggunakan CFD ( *Computational Fluid Dynamics* ) Geometri yang divariasikan adalah pada sudut *Mixing Chamber* yaitu:  $3,5^{\circ}, 5^{\circ}, 7^{\circ}$  dan  $13^{\circ}$ . Dari penelitian ini dihasilkan pada eksperimen nilai *entrainment ratio* ( $\omega$ ) paling tinggi pada sudut *mixing chamber*  $7^{\circ}$  menghasilkan *entrainment ratio* ( $\omega$ ) = 0,71 pada tekanan boiler 5 . Pada simulasi nilai *entrainment ratio* ( $\omega$ ) paling tinggi terjadi pada sudut *mixing chamber*  $7^{\circ}$  menghasilkan *entrainment ratio* ( $\omega$ ) = 3,32 pada tekanan boiler 5 . Semakin tinggi tekanan boiler, semakin tinggi kecepatan yang terjadi di sepanjang *ejector* maka semakin besar daerah vakum yang dihasilkan. Hal ini yang menyebabkan laju aliran massa *secondary flow* yang terhisap semakin banyak sehingga semakin besar nilai *entrainment ratio* yang dihasilkan. Pada Eksperimen Distribusi tekanan terjadi sepanjang *ejector* dan pada pengujian didapat nilai maximum pada titik 9 pada throat sebesar 104693 Pa yaitu pada sudut *mixing chamber*  $7^{\circ}$  pada tekanan boiler 5 . Pada simulasi distribusi tekanan terjadi sepanjang *ejector* dan pada pengujian didapat nilai maximum pada throat sebesar 101410,4 Pa yaitu pada sudut *mixing chamber*  $7^{\circ}$  pada tekanan boiler 5 .

**Kata kunci :** COP, *entrainment ratio*, *mixing chamber*, *steam ejector*

## 1. PENDAHULUAN

*Ejector* adalah alat yang digunakan untuk menggerakkan fluida dengan jalan memanfaatkan aliran fluida lain. Fluida yang digunakan untuk mendorong aliran fluida lain disebut *primary fluid*, sedangkan fluida yang terdorong disebut fluida isap/*secondary fluid* (R.F. Maria, 2001).



Gambar 1.1. *Ejector* (Mayer, A.J, 2006).

Gambar 1.1 menunjukkan skema dari *ejector*. *Ejector* terdiri dari empat bagian, yaitu *primary nozzle*, *mixing chamber*, *throat*, dan *diffuser*. Di dalam boiler, air dipanaskan sehingga menjadi uap *superheater* yang bertekanan tinggi. Kemudian uap *superheater* (*primary fluid*) mengalir melalui *primary nozzle* dan keluar dari *nozzle* mencapai kecepatan *supersonic*, karena tekanan statis pada *suction chamber* sangat rendah maka uap yang berada dalam evaporator yang disebut *secondary fluid* terhisap menuju *suction chamber*. Kemudian uap akan bercampur pada *mixing chamber* dengan tekanan yang konstan, dan mengalir melalui *constant area section* yang selanjutnya kecepatan menurun menjadi *subsonic*, seiring laju aliran ke *diffuser*, tekanan akan meningkat.

*Steam ejector* banyak digunakan pada industri misalnya pada proses pendinginan fluida, proses pevakuman dan sebagainya. Keuntungan dari *steam ejector* di banding sistem-sistem yang lain adalah *steam ejector* memerlukan sedikit sumber energi, umur komponen tahan lama karena tidak ada komponen yang bergerak, ramah lingkungan karena menggunakan fluida air. Adapun kelemahan *steam ejector* adalah COP yang dihasilkan rendah (Chunnanond K., 2003). *Entrainment ratio* mempengaruhi nilai COP pada sistem, bila menginginkan nilai COP tinggi maka *entrainment ratio* ditingkatkan dengan memvariasi geometri pada *ejector*.

Kecenderungan dalam industri saat ini adalah dibutuhkannya suatu model desain yang dapat ditampilkan secara *visual*. Hal ini disebabkan oleh kondisi persaingan global yang menuntut strategi usaha untuk memasarkan produk yang lebih cepat dan juga adanya suatu tingkat kebutuhan dalam mencari solusi yang lebih inovasi. Melalui visualisasi model desain komputerisasi dapat meningkatkan efisiensi proses perancangan,

*Computational Fluid Dynamics* adalah salah satu metode komputasi yang tepat, karena menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan, menganalisa masalah-masalah aliran fluida (Meyer,A.J., 2006). Dalam perancangan atau rekayasa pada aliran fluida, sebuah *software* diperlukan untuk mensimulasikan secara cepat dan tepat, meskipun alirannya sangat rumit untuk dianalisa, seperti halnya aliran turbulen.

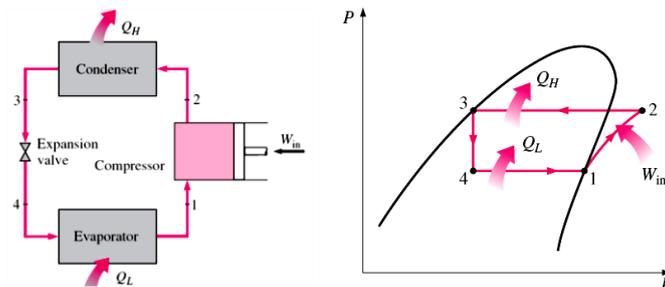
Pada penelitian ini CFD digunakan sebagai sarana untuk menganalisa pengaruh variasi sudut *mixing chamber inlet* terhadap *entrainment ratio* dan distribusi tekanan pada *steam ejector*, Alasan pemilihan variasi sudut *mixing chamber* dapat dijelaskan sebagai berikut: Gelombang aliran  *motive (jet core)* akan menarik *secondary flow* masuk ke *mixing chamber*, dimana *secondary flow* akan mengalami percepatan sehingga kecepatannya bertambah namun tekanan *secondary flow* akan berkurang, sehingga akan terjadi perbedaan laju aliran massa dari *secondary* dan *primary*. Dan karena *steam ejector* mempunyai beberapa bagian seperti, *primery nozzle*, *mixing chamber*, *thoat* dan *diffuser* dengan variasi sudut *mixing chamber* yang berpengaruh terhadap perbedaan laju aliran massa dari *secondary* dan *primary*, juga akan mempengaruhi distribusi tekanan pada bagian-bagian dari *steam ejector*.

Dengan variasi sudut *mixing chamber* akan mempengaruhi besar kecilnya laju aliran massa dari *secondary* dan *primary*, sehingga akan berpengaruh juga terhadap besar kecilnya *entrainment ratio* sekaligus berpengaruh pada distribusi tekanan pada masing-masing bagian pada *steam ejector*.

## 2. DASAR TEORI

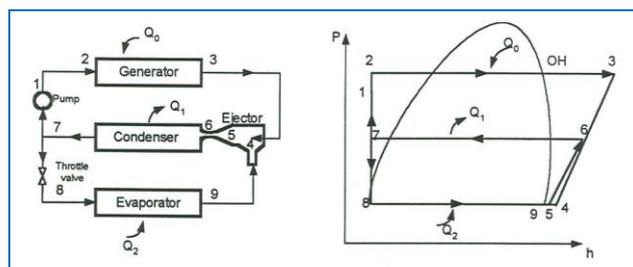
Dalam sistem refrigerasi daur kompresi uap setiap komponen-komponen sistem bekerja secara serempak dan simultan. Komponen-komponen utama sistem refrigerasi daur kompresi uap terdiri dari:

1. Kompresor
2. Kondensor
3. Katup ekspansi
4. Evaporator



Gambar 2.1. Skema siklus dan diagram siklus kompresi uap (Çengel, 2005)

### 2.1. Performa *Ejector Refrigeration System*

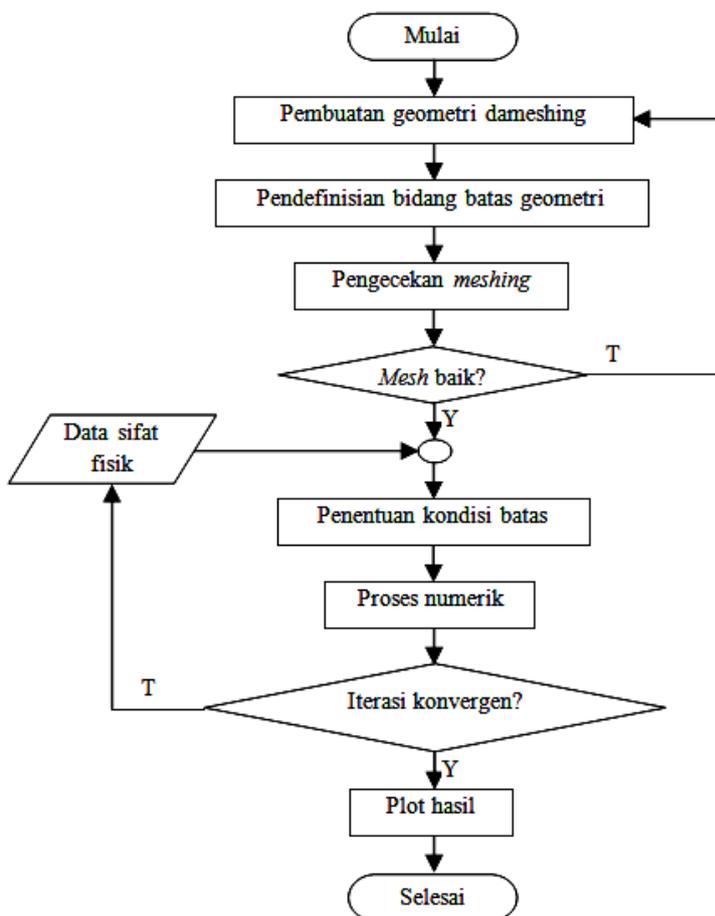


Gambar 2.2. P-h diagram *ejector refrigeration system* (K. Pianthong, 2007).

Gambar 2.2 merupakan P-h diagram *ejector refrigeration system*. *Ejector* berfungsi sebagai pengganti kompresor yaitu menaikkan tekanan serta mensirkulasikan refrigerant dari evaporator menuju kondenser. Dengan demikian berarti bahwa *ejector* membawa atau mengambil uap refrigeran dari evaporator. Kemampuan *ejector* untuk mengambil uap refrigeran (*secondary flow*) dapat dinyatakan dengan *entrainment ratio* ( $\omega$ ) yaitu perbandingan antara laju aliran massa dari evaporator (*secondary flow*  $m_s$ ) dengan laju aliran massa dari boiler yang melalui nozzle (*primary flow*  $m_p$ ) (K. Pianthong, 2007),

$$\omega = \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_p} \tag{2.1}$$

### 3. METODOLOGI



Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Simulasi

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Kondisi Batas

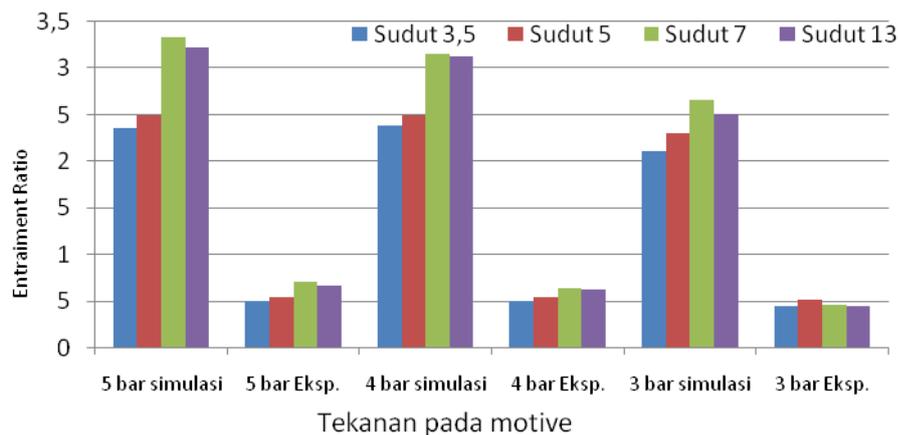
1	Tipe meshing	Quad
2	Tipe element	Sub map
3	Jumlah mesh	12.351
4	Qualitas meshing	0,604 (0-0,85)
5	Motive Suction Discharge	Pressure inlet : 300.000, 400.000, 500.000 Pa Pressure inlet : sesuai tabel Pressure outlet : 101325 Pa

### 4.2. Material

Name	Water vapor
Material Type	Fluid
Density (kg/m <sup>3</sup> )	Ideal Gas
Cp (J/kg-k)	2014
Thermal Conductivity (W/m-k)	0,0261
Viscosity(kg/m-s)	1.34e-05

**Tabel 4. 1. Hasil Entrainment Ratio Simulasi dan Eksperimen.**

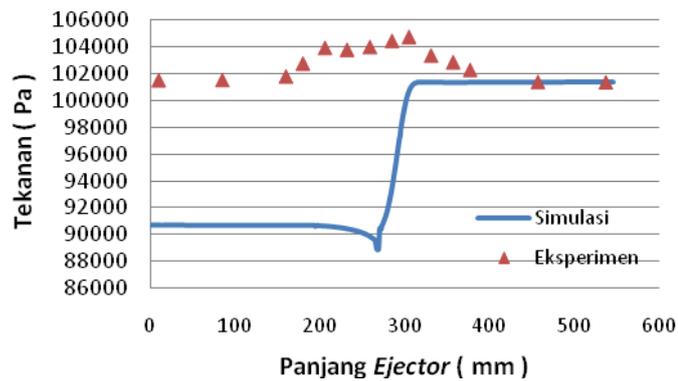
Variasi sudut Mixing chamber	Tekanan motive (bar )					
	5 bar simulasi	5 bar Eksp.	4 bar simulasi	4 bar Eksp.	3 bar simulasi	3 bar Eksp.
3,5 <sup>0</sup>	2,356783186	0,50543807	2,37983122	0,496243229	2,108872452	0,443908022
5 <sup>0</sup>	2,48836111	0,53670695	2,486030377	0,536781408	2,306128533	0,519076098
7 <sup>0</sup>	3,324303168	0,70574018	3,146691115	0,643019395	2,652623175	0,559063724
13 <sup>0</sup>	3,214501491	0,66344411	3,118724253	0,623973441	2,511208714	0,453908022



Gambar 4.1. Diagram perbandingan hasil *entrainment ratio* simulasi dengan eksperimen.

Data hasil perolehan perbandingan *entrainment ratio* simulasi dan eksperimen dapat dilihat pada Tabel 4.1, dan bentuk diagram dapat dilihat pada Gambar 7.1 yaitu dapat dijelaskan bahwa nilai *entrainment ratio* pada simulasi dan eksperimen yang terbesar adalah sama yaitu pada tekanan motive 5 bar dengan sudut *mixing chamber* 7<sup>0</sup>. Sedangkan nilai *entrainment ratio* pada simulasi yang terkecil yaitu pada tekanan motive 3 bar dengan sudut 3,5<sup>0</sup>, dan nilai *entrainment ratio* pada eksperimen yang terkecil yaitu pada tekanan *motive* 3 bar dengan sudut 3,5<sup>0</sup>.



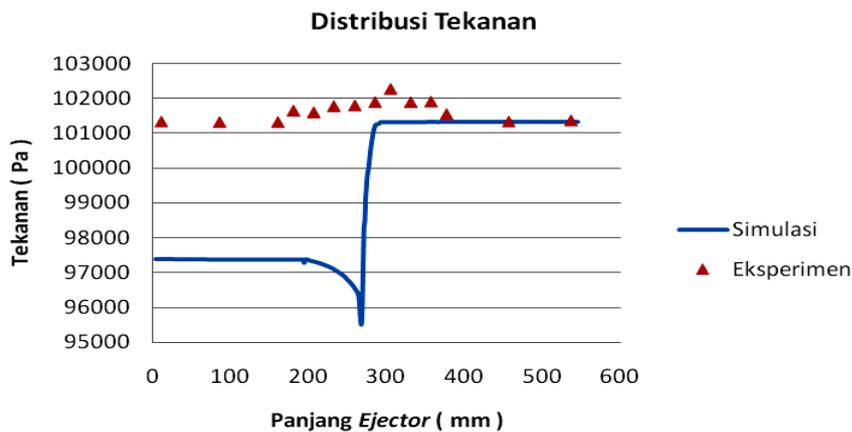


Gambar 2.4. Distribusi Tekanan Pada *Ejector* Sudut 7 Dengan Tekanan 5 bar

Pada distribusi tekanan 5 bar, sudut *mixing chamber* 7<sup>0</sup> hasil eksperimen menunjukkan distribusi tekanan pada 10 mm / Titik 1, 85 mm / Titik 2 dan 160 mm / Titik 3 tekanan hampir berimbang yaitu 101505 Pa, 101521 Pa, 101783 Pa. Hal ini karena pengaruh tekanan pada bagian tersebut sangat kecil.

Menuju 180 mm / Titik 4 sebesar 102731 Pa tekanan sudah mengalami kenaikan, hingga didapat **tekanan maksimal pada 305 mm / Titik 9** yang berada pada *throat*. Pada titik ini memiliki nilai tekanan maksimum sebesar 104693,1 Pa seperti terlihat pada Tabel 7.4. Ini terjadi karena pada titik tersebut merupakan titik vakum terendah sehingga tekanan hisapnya semakin besar.

Selanjutnya grafik menunjukkan terjadinya penurunan hingga nilai yang didapat sama dengan tekanan atmosfer yaitu di mulai posisi 377 mm / Titik 12 hingga posisi 537 mm / Titik 14 pada tekanan 102257 Pa sampai tekanan 101341 Pa yang berada pada sisi *diffuser*.



Gambar 2.5. Distribusi Tekanan Pada *Ejector* Sudut 3.5 Dengan Tekanan 3 bar

Pada distribusi tekanan 3 bar, sudut *mixing chamber* 3,5<sup>0</sup> hasil eksperimen menunjukkan distribusi tekanan pada posisi 10 mm / Titik 1, 85 mm / Titik 2 dan 160 mm / Titik 3 tekanan hampir berimbang yaitu 101341 Pa, 101325 Pa. Hal ini karena pengaruh tekanan pada bagian tersebut kecil.

Menuju posisi 180 mm / Titik 4 tekanan sudah mengalami kenaikan, hingga didapat **tekanan maksimal pada posisi 305 mm / Titik 9** yang berada pada *throat*. Pada titik ini memiliki nilai tekanan maksimum sebesar **102273 Pa** dengan hasil lebih rendah dari distribusi tekanan pada tekanan  *motive* 5 bar, sudut *mixing chamber* 7<sup>0</sup> yaitu sebesar 104693 Pa.

Dan selanjutnya grafik menunjukkan terjadinya penurunan hingga nilai yang terjadi hampir sama dengan tekanan atmosfer yang terjadi mulai 357 mm / Titik 11 hingga 537 mm / Titik 14 yaitu dari tekanan 101913 Pa sampai pada tekanan 101374 Pa yang berada pada sisi *diffuser*.

## 5. KESIMPULAN

1. Pada Sudut *mixing chamber* mempengaruhi nilai *entrainment ratio* dari sistem refrigerasi yang terjadi karena pengaruh luasan constant area *nozzle*.
2. Pada Sudut *mixing chamber* mempengaruhi nilai *entrainment ratio* dari sistem refrigerasi yang terjadi karena berpengaruh terhadap laju aliran massa *secondary* yang terhisap.
3. Pada Eksperimen Nilai *entrainment ratio* ( $\omega$ ) paling tinggi terjadi pada sudut *mixing chamber*  $7^\circ$  menghasilkan *entrainment ratio* ( $\omega$ ) = 0,71 pada tekanan *boiler* 5 bar.
4. Pada Simulasi Nilai *entrainment ratio* ( $\omega$ ) paling tinggi terjadi pada sudut *mixing chamber*  $7^\circ$  menghasilkan *entrainment ratio* ( $\omega$ ) = 3,32 pada tekanan *boiler* 5 bar .
5. Pada Eksperimen Distribusi tekanan terjadi sepanjang *ejector* dan pada pengujian didapat nilai maximum pada titik 9 pada *throat* sebesar 104693 Pa yaitu pada sudut *mixing chamber*  $7^\circ$  pada tekanan *boiler* 5 bar.
6. Pada Simulasi Distribusi tekanan terjadi sepanjang *ejector* dan pada pengujian didapat nilai maximum pada titik 10 pada *throat* sebesar 101410,4 Pa yaitu pada sudut *mixing chamber*  $7^\circ$  pada tekanan *boiler* 5 bar.

## DAFTAR PUSTAKA

- B.J. Huang, J.M. Chang, C.P. Wang and V.A. Petrenko, (1999) "A 1-D analysis of ejector performance, *Int. J. Refrigeration*, 22, 354-364.
- Çengel Yunus A, Michael A. Boles, (2005), "Thermodynamics An Engineering Approach", 5th 1ed, McGraw-Hill.
- Dalimunthe, Indra S, (2004), "Pengantar Teknik Refrigerasi", Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- E. Rusly, Lu Aye, W.W.S. Charters, A. Ooi, 2005, "CFD analysis ejector in a combined ejector cooling system", *International Journal of Refrigeration* 28.
- Fox Robert W, Alan T. McDonald, (1999), "Introduction to Fluid Mechanics", 4ed, John Wiley and Sons.
- FLUENT, Inc, (1998), "Manual FLUENT Documentation", FLUENT, Inc.
- Jacobus Meyer Adriaan, (2006), "Steam Jet Ejector Cooling Powered By Low Grade Waste or Solar Heat", Stellenbosch University.
- James R. Lines, Graham Corp, (2004), "Understanding Ejector System Necessary to Troubleshoot Vacuum Distillation".
- Kanjanapon Chunnanond, Satha Aphornratana, (2003), "An experimental investigation of a steam ejector refrigerator: the analysis of the pressure profile along the ejector", Thammasat University, Thailand.
- K. Pianthong, Wirapan Seehanam, M. Behnia, T. Sriveerakul, S. Aphornratana, , (2007), "Investigation And Improvement of Ejector Refrigeration System Using CFD technique", Ubon Ratchatany University, Thailand.
- Schutte & Koerting, (2000), "Steam Jet Ejectors".
- Somsak Watanawanavet, (2005), "Optimization of High-Efficiency Jet Ejector By Computational Fluid Dynamics Software".
- Shenyi Wu, BEng, MSc, (1999), "Investigation of Ejector Re-Compression Absorption Refrigeration Cycle", University of Nottingham.
- Tuakia, Firman, (2008), "Dasar-dasar CFD Menggunakan FLUENT", Informatika, Bandung.
- Victor L. Steeter, (1990), "Mekanika Fluida", Erlangga, Jakarta.
- Wirapan Seehanam, Kulachate Pianthong, Masud Behnia, K. Chunnanond, S. Aphornratana, (2007), "Simulation on performance of CPM and CRMC Steam Ejectors Using CFD Technique", Ubon Ratchatany University, Thailand.
- Wilbert F Stoecker, Jerold W Jones, (1996), "Refrigerasi dan Pengkondisian Udara", Erlangga.
- White, Frank M, (1988), "Mekanika Fluida Edisi Keempat", Erlangga, Jakarta.