

## ANALISA PENGARUH VARIASI PANJANG *THROAT SECTION* TERHADAP *ENTRAINMENT RATIO* PADA *STEAM EJECTOR* DENGAN MENGGUNAKAN CFD

**Mohamad Fahriss**

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNISFAT

Jl. Sultan Fatah No. 83 Demak

E-mail: [mohamadfahriss@yahoo.co.id](mailto:mohamadfahriss@yahoo.co.id)

### Abstrak

*Steam ejector* pertama kali ditemukan oleh Le Blance dan Charles Parsons. *Steam ejector* bekerja dengan memanfaatkan panas buang dari sistem pembangkit daya, ruang pembakaran dan pada mesin industri untuk menghasilkan proses refrigerasi. *Steam ejector* terdiri empat bagian yaitu: divergen nosel (*primary nozzle*), ruang hisap (*suction chamber*), *constant area duct* atau *throat section* atau *mixing tube* dan *diffuser*. Kelemahan dari *steam ejector* refrigerasi adalah nilai performansi (*COP*) dan kapasitas pendinginan yang rendah. Maka berbagai eksperimen dari *steam ejector* dikembangkan untuk meningkatkan nilai *COP*. *Entrainment ratio* berpengaruh langsung terhadap nilai *COP* yang dihasilkan oleh sistem, bentuk geometri *steam ejector* dan kondisi operasi akan mempengaruhi nilai *entrainment ratio*.

*Computational fluid dynamics (CFD)* digunakan untuk memprediksi fenomena aliran dan performansi *steam ejector*. Simulasi dilakukan dengan memodifikasi panjang *throat section steam ejector* dan memvariasikan kondisi operasi tekanan dan temperatur dari *suction (evaporator)* dan  *motive (boiler)*. Panjang *throat section steam ejector* divariasikan dari 3 sampai 5 kali diameter *throat section*. Kondisi batas untuk setiap geometri memiliki nilai yang sama, yaitu: tekanan boiler ( *motive*)  $2,7 \times 10^2$  kPa, temperatur boiler  $130^\circ$  C, tekanan evaporator (*suction*) 1,5 kPa, temperatur evaporator  $15^\circ$  C, tekanan kondensor (*discharge*) 4 kPa, temperatur kondensor =  $45^\circ$  C. *Entrainment ratio* yang paling tinggi terdapat pada variasi jarak  $3D$ , dimana kondisi batas *temperature* dan tekanan sama ini memiliki bilangan *Mach* yang cukup untuk menarik aliran dari saluran *suction* dan mendorongnya keluar melalui *discharge*. Akan tetapi pada variasi  $5D$  nilai *entrainment ratio* negatif (-) akibat *back pressure* menuju saluran *suction*. Hal ini disebabkan tekanan *discharge* terlalu besar, sehingga untuk jarak *throat* sebesar  $5D$ , kecepatan dan momentum pada aliran  *motive* tidak cukup kuat mendorong aliran pada *diffuser ejector* untuk keluar menuju *condenser*.

**Kata kunci :** *COP, steam ejector, entrainment ratio, throat section*

### Pendahuluan

*Steam ejector* dimanfaatkan dalam siklus refrigerasi yang berfungsi menggantikan kompresor mekanik untuk memompa refrigeran bersirkulasi dalam sistem. *Steam ejector* terdiri dari empat bagian yaitu: sebuah konvergen dan divergen nosel (*primary nozzle*), ruang hisap (*suction chamber*), *constant area duct* atau *throat section* atau *mixing tube* dan sebuah *diffuser*. Prosesnya dimulai dengan uap bertekanan dan temperatur tinggi dari boiler (disebut dengan *primary fluid* atau  *motive fluid*) masuk ke *primary nozzle* dan keluar mencapai kecepatan *supersonic* sehingga akan menarik *secondary fluid* yang bertekanan dan temperatur rendah dari *suction chamber* bercampur di *mixing chamber*, kemudian kecepatannya akan turun menjadi subsonik seiring laju aliran ke *diffuser* dan tekanan akan meningkat. Jadi peran *steam ejector* disini adalah sebagai pengganti kompresor pada siklus kompresi uap yaitu menaikkan tekanan aliran dari evaporator melalui *suction chamber*.

Kelemahan dari *steam ejector* refrigerasi adalah nilai performansi (*COP*) dan kapasitas pendinginan yang rendah. Karena *COP* yang dihasilkan rendah bila menggunakan *steam ejector* dalam suatu sistem refrigerasi atau pengkondisian udara bila dibandingkan menggunakan sistem konvensional (B.J. Huang, 1999), maka berbagai eksperimen dari *steam ejector* refrigerasi telah dikembangkan untuk meningkatkan nilai *COP*.

$$\text{Entrainment Ratio} = \frac{\text{mass of secondary flow}}{\text{mass of primary flow}}$$

*Entrainment ratio* berpengaruh langsung terhadap nilai *COP* yang dihasilkan oleh sistem, bentuk geometri *steam ejector* dan kondisi operasi akan mempengaruhi nilai *entrainment ratio* (K. Pianthong,

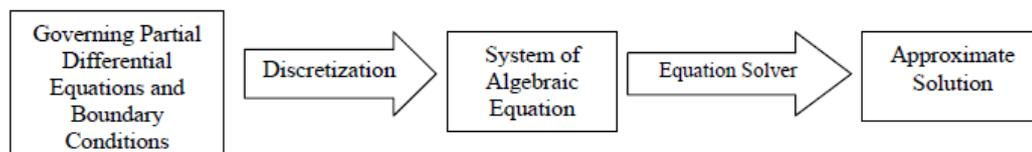
2007). Dalam kenyataan, sangat sulit untuk mendesain satu *steam ejector* dapat bekerja baik dalam semua kondisi operasi dan menguji coba semua bentuk *steam ejector*. Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) sangat berguna dalam mensimulasikan karakteristik aliran fluida didalam *ejector*. FLUENT 6.3.16 merupakan salah satu perangkat lunak komersial CFD yang cara kerjanya berdasarkan metoda volume hingga (*finite volume method*). Penggunaan perangkat lunak ini dapat memprediksi sesuatu dengan lebih cepat dan mudah serta biaya yang relatif lebih kecil dari eksperimental. Di samping itu juga dapat mengatasi kendala geometri yang rumit dan syarat-syarat batas yang merupakan penghambat metoda analitis (Tuakia, 2008). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari modifikasi panjang *throat section steam ejector* terhadap *entrainment ratio*.

## Metodologi

CFD digunakan sebagai alat untuk mensimulasikan aliran fluida, evaluasi proses, dan mendesain komponen. Perkembangan teknologi aplikasi yang semakin baik, dapat menggunakan berbagai simulasi untuk menyelesaikan permasalahan yang lebih rumit, dengan lebih banyak detail, dan hasil lebih tepat, salah satunya adalah simulasi CFD.

### FLUENT

FLUENT adalah program komputer untuk memodelkan aliran fluida dan perpindahan panas dalam geometri yang kompleks. FLUENT versi 6.3.16 merupakan salah satu jenis program CFD 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. Proses untuk memperoleh solusi perhitungan dalam FLUENT membutuhkan dua langkah, seperti diperlihatkan Gambar 1.



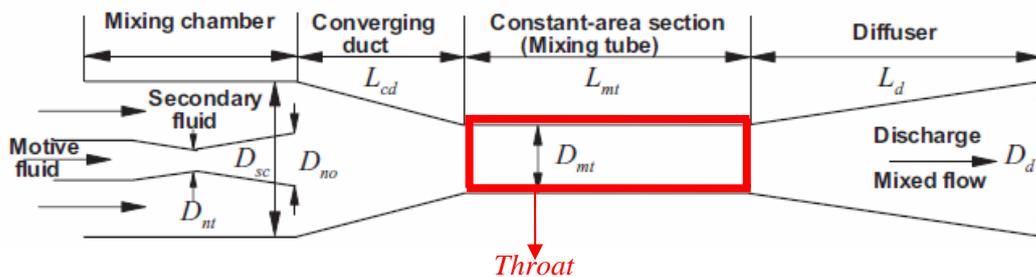
Gambar 1. Prosedur solusi perhitungan dalam FLUENT .

Secara lengkap langkah-langkah FLUENT dalam menyelesaikan suatu simulasi adalah sebagai berikut:

1. membuat geometri dan mesh pada model.
2. memilih solver yang tepat untuk model tersebut (2D atau 3D).
3. mengimpor mesh model (grid).
4. melakukan pemeriksaan pada mesh model.
5. memilih formulasi solver.
6. memilih persamaan dasar yang akan dipakai dalam analisa.
7. menentukan sifat material yang akan dipakai.
8. menentukan kondisi batas.
9. mengatur parameter kontrol solusi.
10. initialize the flow field.
11. melakukan perhitungan/iterasi.
12. menyimpan hasil iterasi.
13. Jika diperlukan, memperhalus grid kemudian melakukan iterasi ulang.

### Simulasi Numerik Fluent

Model dasar *steam ejector* yang digunakan dalam simulasi CFD ini diambil (E.Rusly, 2005). Variasi *steam ejector* yang dilakukan pada bagian panjang *throat*, variasi panjang *throat* berdasarkan kelipatan diameter *throat*. Bagian *throat section steam ejector* diperlihatkan Gambar. 2



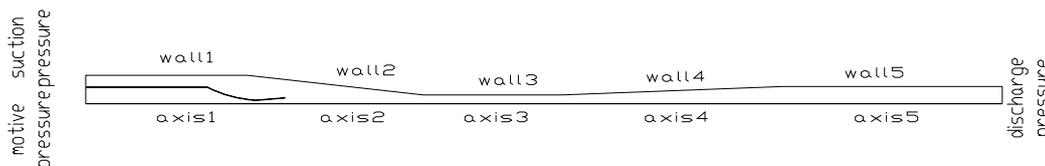
Gambar .2 Bagian *Throat Steam Ejector* yang divariasikan (I.S.Park, 2005)

Tabel .1 Variasi Panjang *Throat*.

Variasi throat	Panjang throat
3D	54 mm
4D	72 mm
5D	90 mm

Pembentukan Model dan Kondisi Batas

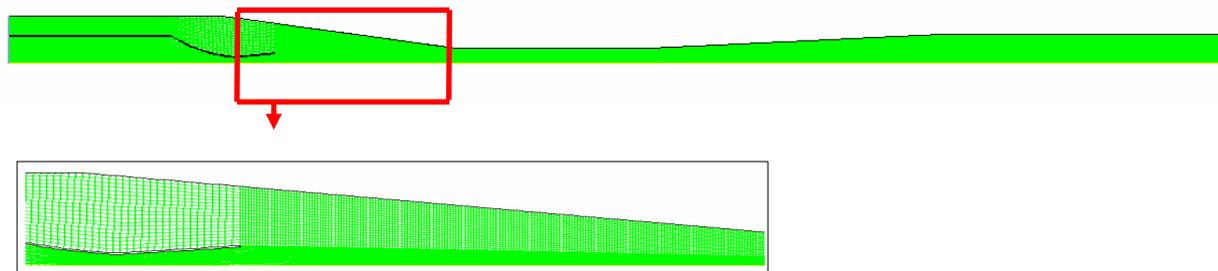
Pembentukan model *ejector* menggunakan bantuan GAMBIT, *ejector* dimodelkan secara dua dimensi dan cukup digambarkan dengan setengah bagian sumbu *axis*nya (simetri) seperti pada Gambar 3. Hal ini dilakukan untuk meringankan daya komputasi dan menghemat waktu iterasi.



Gambar 3 *Ejector* Nosel.

Penggenerasian *Mesh*

*Mesh* dibuat dari entiti geometri yang paling rendah ke entiti paling tinggi. *Mesh* yang diperoleh pada kasus ini adalah 43.900 sel, 88.795 sisi, dan 44.896 nodal untuk semua model *ejector*. *Meshing* dilakukan mulai dari *mesh* garis dengan *successive ratio* = 1, dan *interval count* yang sesuai dengan tingkat ketelitian di masing-masing zona. Kemudian dilakukan *mesh* bidang dengan menggunakan elemen persegi panjang (*Quad*). Hasil penggenerasian *mesh* model *ejector*, dimana *meshing* pada daerah *jet flow* lebih rapat karena diperkirakan daerah *jet flow* memiliki gradient tekanan dan kecepatan yang tinggi. Setelah dilakukan pemeriksaan *mesh* diperoleh nilai kualitas *mesh* (*equi angel skew*) sebesar 0,519311, pemodelan memiliki *mesh* yang baik apabila nilai kualitas *mesh* tidak melebihi 0.9



Gambar 4. Grid *Quadrilateral* pada Domain.

*Solver* dan Model Viskos

Adapun *solver* yang digunakan adalah *coupled*, karena pada dasarnya *solver coupled* didesain untuk kasus fluida kompresibel dengan kecepatan tinggi. Model turbulen *k-epsilon* dan *k-omega*. Dari variasi ini akan diperoleh suatu keakuratan hasil yang berupa nilai laju aliran massa pada *primary flow* (motive), *secondary flow* (suction) dan juga *entrainment ratio* yang divalidasi dengan data (E.Rusly, 2005) .

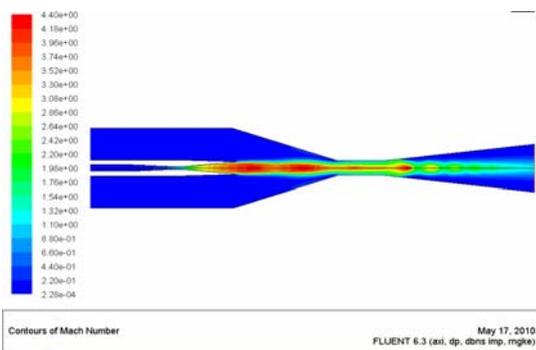
## Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi *ejector* dengan variasi panjang *throat section* dihasilkan bahwa panjang *throat section* 3D mempunyai nilai *entrainment ratio* yang paling baik.

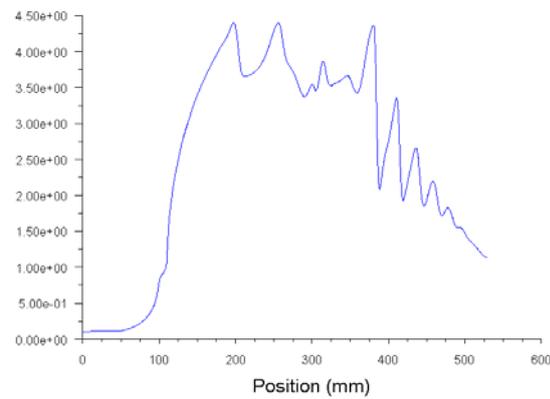
Tabel 2. Nilai *Entrainment ratio*

Variasi panjang throat	Suction mass flow rate (kg/s)	Motive mass flow rate (kg/s)	<i>Entrainment ratio</i> ( $\omega$ )
3D	0.00017313563	0.0038479	0.045
4D	0.00015465823	0.0038478	0.0402
5D	-0.023607916	0.010405545	-2.689

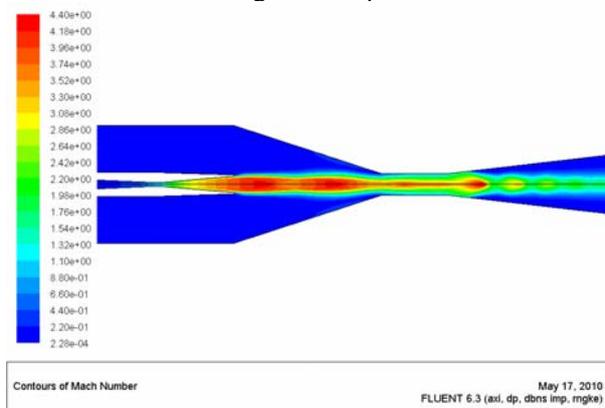
Dari grafik diatas menunjukkan bahwa nilai *entrainment ratio* paling optimal didapat pada *ejector* dengan panjang *throat section* tiga kali diameter *throat*.



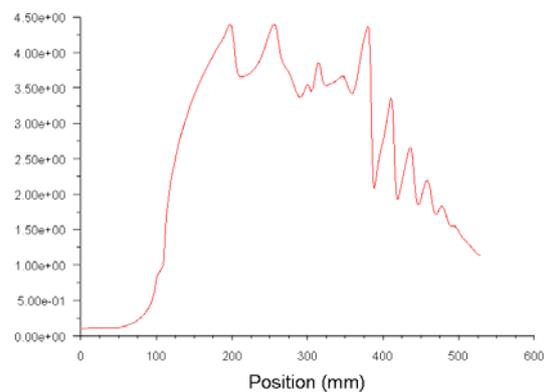
Gambar 5. Kontur bilangan Mach pada 3D



Gambar 6. Grafik Mach Number pada 3D

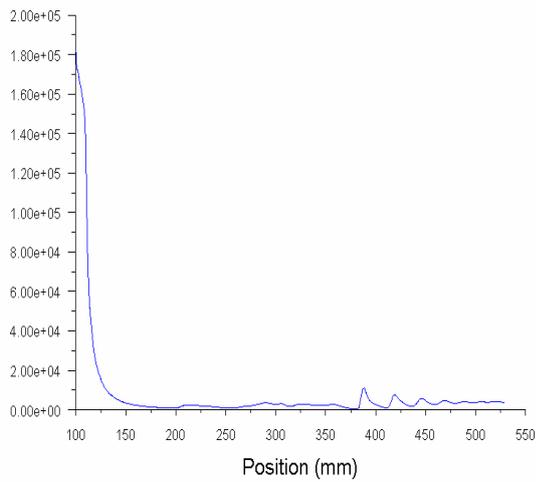


Gambar 7. Kontur bilangan Mach pada 4D

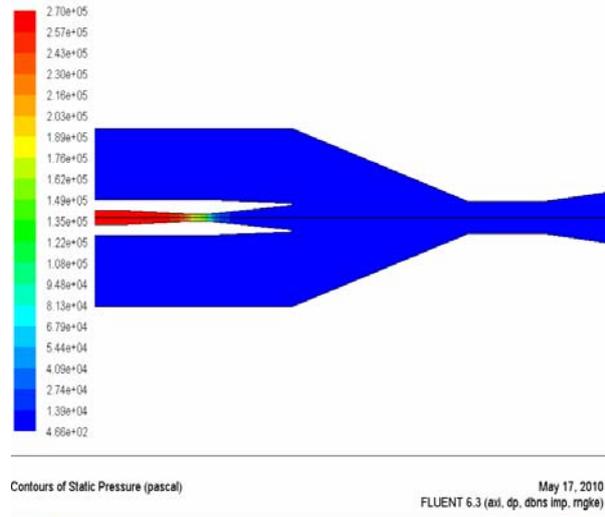


Gambar 8. Grafik Mach Number pada 4D

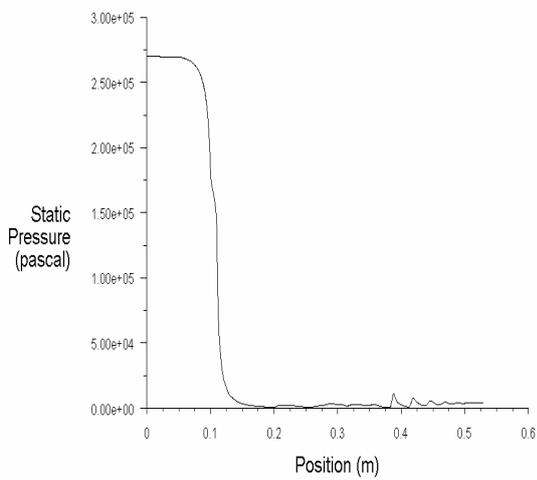
Gambar di atas menunjukkan bahwa untuk variasi 3D dan 4D memiliki *double choking*, *choking* pertama terjadi pada bagian keluar *nosel* dan *choking* kedua terjadi pada bagian *throat ejector*. *Double choking* menimbulkan efek laju aliran massa pada *motive* dan *suction* stabil hingga mencapai titik kritis atau kondisi kritis (batas kondisi kerja *ejector* dapat bekerja optimal). Di bawah ini ditunjukkan kontur tekanan untuk setiap variasi *ejector*.



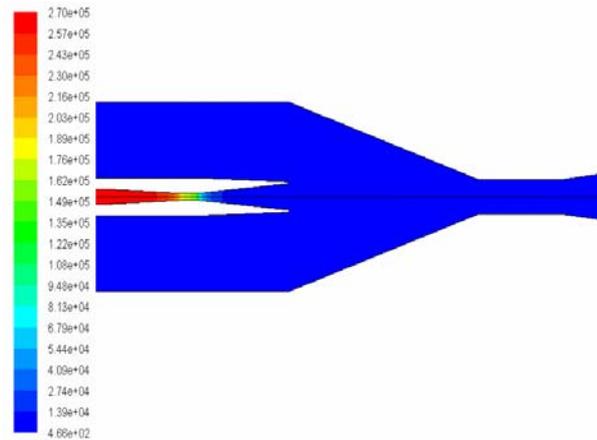
Gambar 9. Grafik tekanan statistik pada 3D



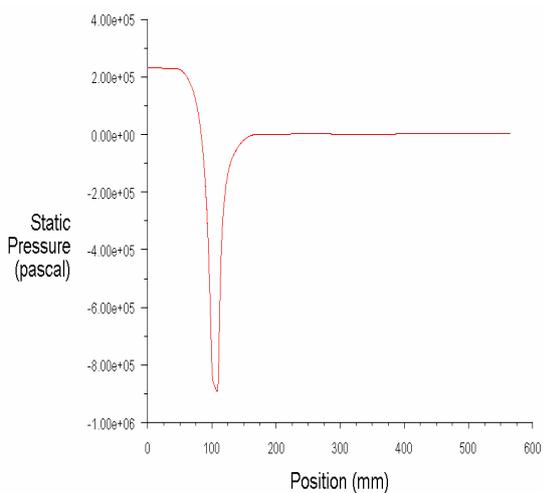
Gambar 10. Kontur tekanan statistik pada 3D



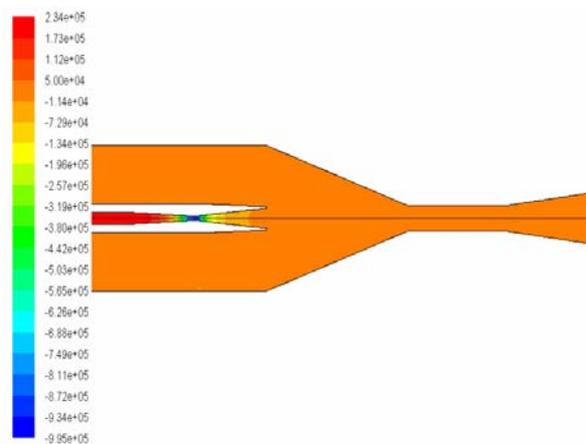
Gambar 11. Grafik tekanan statistik pada 4D



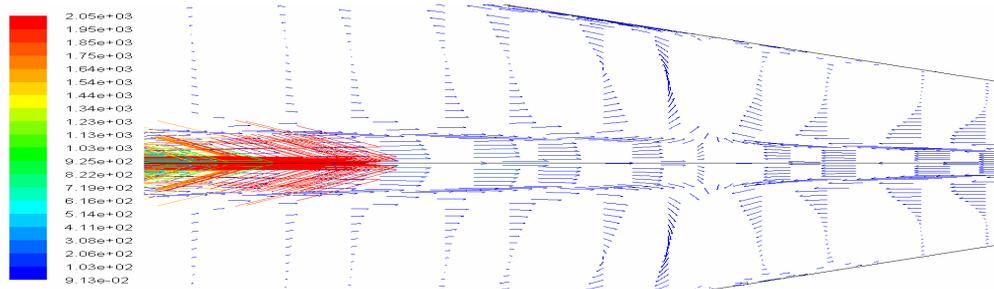
Gambar 12. Kontur tekanan statistik pada 4D



Gambar 13. Grafik tekanan statistik pada 5D



Gambar 14. Kontur tekanan statistik pada 5D



Gambar 15. Kontur arah kecepatan untuk variasi 5D

Dari gambar di atas terlihat arah aliran dari throat kembali ke bagian sisi masuk *ejector* yang memiliki tekanan lebih rendah (*suction*). Untuk variasi panjang throat 5D memiliki karakteristik *single choking* karena *choking* hanya terjadi pada saat aliran  *motive* keluar dari  *nosel*. Ini menunjukkan bahwa untuk kondisi batas temperature dan tekanan pada percobaan ini kurang optimal untuk menghasilkan nilai COP dan *entrainment ratio* yang optimal.

### Kesimpulan

Nilai *entrainment ratio* yang paling tinggi terdapat pada variasi jarak 3D. Untuk kondisi batas temperature dan tekanan yang sama pada jarak 3D memiliki bilangan Mach yang cukup untuk menarik aliran dari saluran *suction* (evaporator) dan mendorongnya keluar melalui *discharge*. Untuk variasi 5D memiliki nilai *entrainment ratio* yang negative yang menunjukkan bahwa terjadi tekanan balik (*back pressure*) menuju saluran *suction*. Hal ini disebabkan oleh tekanan *discharge* (kondenser) terlalu besar, sehingga untuk jarak throat sebesar 5D, kecepatan dan momentum pada aliran  *motive* tidak cukup kuat mendorong aliran pada *diffuser ejector* untuk keluar menuju *condenser*.

### 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.
- E. Rusly, Lu Aye, W.W.S. Charters, A. Ooi, 2005, *CFD analysis ejector in a combined ejector cooling system*, *Int J Refrigeraion* 28.
- 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,.
- K. Pianthong, Wirapan Seehanam, 2007, *Investigation And Improvement of Ejector Refrigeration System Using CFD technique*.
- Moran M.J, Shaparo H.N, 2004, *Thermodinamika Teknik*, Jilid 1, Erlangga, Jakarta,.
- Somsak Watanawanavet, 2005, *Optimization of High-Effeciency Jet Ejector By Computational Fluid Dynamics Software*,.
- Thermodynamics An Engineering Approach, 5th 1ed, McGraw-Hill.
- Tuakia, Firman, 2008, *Dasar-dasar CFD Menggunakan FLUENT*, Informatika, Bandung.
- White, Frank M, 1988, *Mekanika Fluida Edisi Keempat*, Erlangga, Jakarta.
- Wilbert F Stoecker, 1996, *Jerold W Jones, Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Erlangga.