

PENGARUH VARIASI PANJANG CONSTANT AREA SECTION STEAM EJECTOR TERHADAP KINERJA SISTEM REFRIGERASI EJECTOR

Rahmansyah Nurcahyo¹, Muhammad Subri² dan Muh Amin³

Abstrak

Steam ejector refrigerasi merupakan sistem refrigerasi dengan memanfaatkan panas buang sebagai inputnya. *Steam ejector* berperan sebagai pengganti kompresor pada siklus kompresi uap. *Steam ejector* refrigerasi memiliki *COP* yang rendah, sehingga perlu dilakukan penelitian karakteristik dengan membuat desain geometri *steam ejector* untuk memperbaiki dan mengoptimalkan performansi sistem refrigerasi *steam ejector*. Kinerja *steam ejector* dapat dilihat dari besarnya nilai *entrainment ratio* yaitu perbandingan dari *flow rate secondary fluid* dengan *primary fluid*. Peningkatan nilai *entrainment ratio* pada *steam ejector* dapat meningkatkan nilai *COP* dari sistem refrigerasi tersebut. Pada penelitian ini dilakukan eksperimen dengan memodifikasi panjang *throat* dan variasi tekanan operasi pada boiler *steam ejector* dengan sudut *mixing chamber* konstan 7,5. Panjang *throat* yang digunakan adalah (2D, 3D, 4D, 5D) dengan variasi tekanan operasi pada boiler *steam ejector* yaitu 4,5, 3,5, 2,5 kg/cm^2 . *Orifice plate flowmeter* digunakan untuk mengukur laju aliran massa *primary flow*. Kondisi tekanan operasi pada boiler yang ditetapkan adalah 4,5, 3,5, 2,5 kg/cm^2 , diameter nosel dan posisi nosel primer 3 mm dan 75 mm dari saluran masuk *mixing chamber section*, temperatur air dan uap evaporator sebesar 97° dan 95° C, dan tekanan kondensor 75 sampai 100 mbar. Hasil pengujian menunjukkan performansi optimum diperoleh pada panjang *throat* 72 mm (4D) dengan tekanan operasi pada boiler 4,5 kg/cm^2 dengan 0,341011 dan *COP* sebesar 0,366059.

Kata kunci: *Steam Ejector, Sistem Refrigerasi, Entrainment Ratio, COP, Panjang Throat.*

PENDAHULUAN

Refrigerasi ejektor tampaknya menjadi sistem yang paling sesuai untuk pendinginan skala besar pada situasi krisis energi sekarang ini. Karena refrigerasi ejektor dapat memanfaatkan limbah panas tingkat rendah dari berbagai proses industri seperti sistem pembakaran, sistem pembangkit, dan proses-proses industri lainnya untuk menghasilkan proses refrigerasi atau proses pendinginan yang berguna. Sistem refrigerasi ejektor memiliki konstruksi sederhana, sedikit bagian yang bergerak, tidak memerlukan pelumas dan

¹Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS)

² Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS)

³ Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS)

seal sehingga secara ekonomis biaya perawatan dan operasionalnya sangat rendah dibanding siklus kompresi uap. Selain itu, air dapat digunakan sebagai fluida kerja sehingga sangat ramah lingkungan. Salah satu kelemahan *sistem refrigerasi steam ejector* adalah memiliki koefisien kinerja (COP) dan kapasitas pendinginannya rendah sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui karakteristik dan fenomena yang terjadi dari siklus refrigerasi sistem ejector ini sehingga dapat digunakan sebagai dasar menaikkan koefisien kinerja (COP) dan kapasitas pendinginan dari siklus ini. Jika masalah ini dapat diselesaikan, maka refrigerasi steam ejector akan menjadi pesaing serius terhadap jenis-jenis refrigerasi lainnya (**Chunnanond K, 2003**).

TINJAUAN PUSTAKA

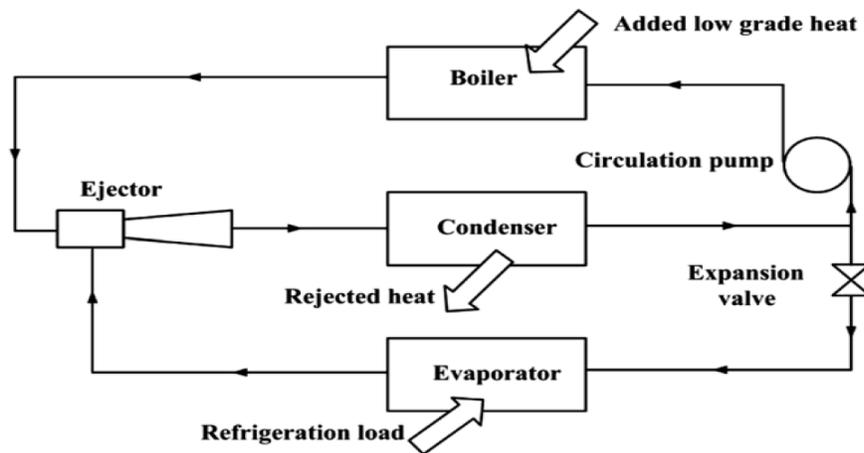
Steam ejector refrigerator pertama kali ditemukan oleh Charles Parsons sekitar awal 1901 untuk menghilangkan udara dari kondensor mesin uap (**Chunnanond K, 2003**). Kemudian ejector pertama kali digunakan oleh Maurice Leblance dalam sistem refrigerasi steam jet ejector. Sistem ini mengalami gelombang popularitas selama awal 1930-an untuk sistem pendingin udara pada gedung-gedung besar. Sistem refrigerasi steam jet digantikan oleh sistem yang menggunakan compressor mekanik (kompresi uap) pada saat itu, pengembangan dan penyempurnaan sistem refrigerasi jet hampir terhenti karena sebagian besar terkonsentrasi pada peningkatan sistem refrigerasi kompresi uap.

Prinsip Kerja *Steam Ejector Refrigerator*

Steam ejector refrigerator terdiri dari boiler, ejector, kondensor, evaporator, katup ekspansi, dan pompa. Siklus ini mirip dengan siklus sistem kompresi uap konvensional, dimana boiler, ejector, dan pompa digunakan sebagai pengganti kompresor dalam sistem kompresi uap. Prinsip kerja pada *Steam ejector refrigerator* seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Secara singkat, prosesnya berawal dari tekanan dan temperatur uap yang tinggi dihasilkan dari boiler (2) yang disebut dengan primary fluid atau motif fluid masuk ke ejector melalui primary nosel dalam sebuah ejector, dan menghasilkan kecepatan supersonic dan daerah tekanan yang sangat rendah pada ujung keluaran primary nosel (3). Tekanan rendah menyebabkan fluida refrigeran di evaporator menguap pada temperatur rendah lalu dihisap masuk ke ejector yang disebut dengan secondary fluid sehingga membuat

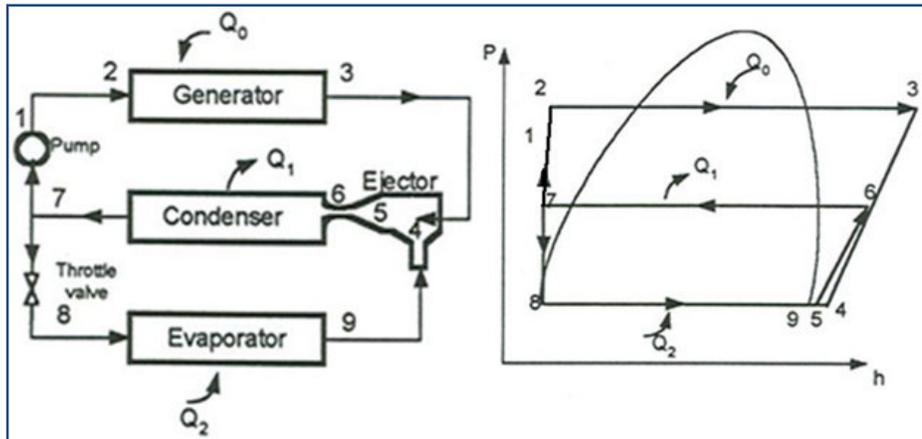
efek pendingin pada evaporator. Kalor yang diserap evaporator digunakan untuk menguapkan refrigeran adalah beban pendinginan atau efek refrigerasi dari sistem. Uap fluida sekunder yang dihisap dari evaporator bercampur dengan primary fluid dari boiler dalam ruang pencampuran ejector, kemudian uap primary dari boiler dan secondary fluid dari evaporator dibuang melalui diffuser ke kondensor (4), dimana uap terkondensasi menjadi cair (5). Refrigeran cair terakumulasi dalam kondensor kemudian dikembalikan disirkulasikan kembali ke boiler oleh pompa umpan (1) sedangkan sisanya diekspansi melalui katup ekspansi (*throttling valve*) ke evaporator (6), untuk melengkapi siklus (Chunnanond K, 2003).



Gambar 1. Siklus Sistem Refrigerasi Ejektor (Chunnanond K, 2003).

Analisa **Steam Ejector Refrigerator**

Analisa data yang digunakan dalam pengujian ini adalah menggunakan sistem *Steam Ejector Refrigerator* yang sebenarnya (nyata) untuk itu gambar 2 dan 3 memperlihatkan perbedaan siklus sistem refrigerasi ejektor (nyata) dengan siklus kompresi uap sebenarnya (nyata).



Gambar 2. Diagram P-h Sistem Refrigerasi Ejektor (Pianthong K, dkk., 2007)

Persamaan Matematika Ejektor Refrigeration System

Pada Gambar 2 merupakan P-h diagram *ejector refrigeration system*. Pada sistem refrigerasi ini, *ejector* berfungsi sebagai pengganti kompresor yaitu menaikkan tekanan serta mensirkulasikan refrigerant dari evaporator menuju kondenser. Dengan demikian bahwa *ejector* membawa atau mengambil uap refrigeran dari *evaporator*. Kemampuan *ejector* untuk mengambil uap refrigeran (*secondary flow*) dapat dinyatakan dengan *entrainment ratio* (ω) yaitu perbandingan antara laju aliran massa dari *evaporator* (*secondary flow* \dot{m}_s) dengan laju aliran massa dari *boiler* yang melalui *nozzle* (*primary flow* \dot{m}_p) (Pianthong K., dkk., 2007).

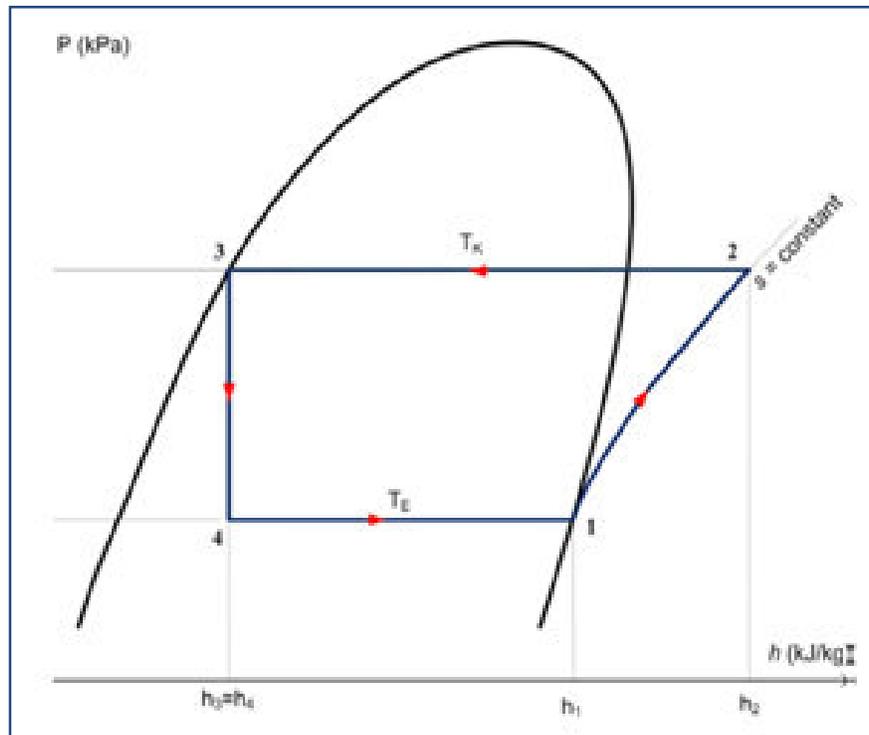
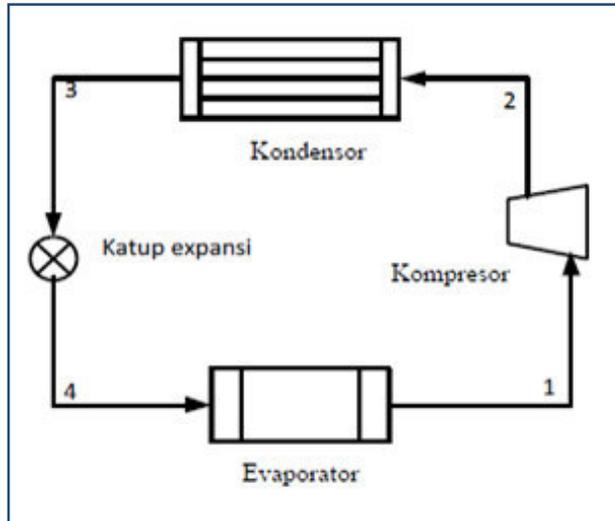
$$\omega = \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_p}$$

Kemudian COP dari sistem ini,

$$COP = \frac{\text{heat absorbed at the evaporator}}{\text{heat input at the boiler}} = \frac{Q_2}{Q_0}$$

$$COP = \frac{Q_2}{Q_0} = \frac{\dot{m}_s \cdot (h_{fg \text{ evap.}})}{\dot{m}_p \cdot (h_{fg \text{ b}})}$$

$$COP = \omega \frac{(h_{fg \text{ evap.}})}{(h_{fg \text{ b}})}$$



Gambar 3. Skema Siklus Kompresi Uap dan Diagram P – h
Siklus Kompresi Uap Ideal (Ambarita, dkk., 2010)

Jadi semakin besar nilai *entrainment ratio* maka dapat meningkatkan nilai kapasitas pendinginan sehingga nilai COP juga akan meningkat. Selain itu ada dua parameter lagi yang biasa digunakan untuk menunjukkan performa dari *ejector*, yaitu *compres-*

sion ratio dapat dilihat pada Persamaan 2.9 dan *expansion ratio* dapat dilihat pada Persamaan 2.10 (El-Desouky H., dkk., 2001).

$$CR = \frac{P_c}{P_e}$$

$$EXR = \frac{P_b}{P_e}$$

METODE PENELITIAN

Bahan

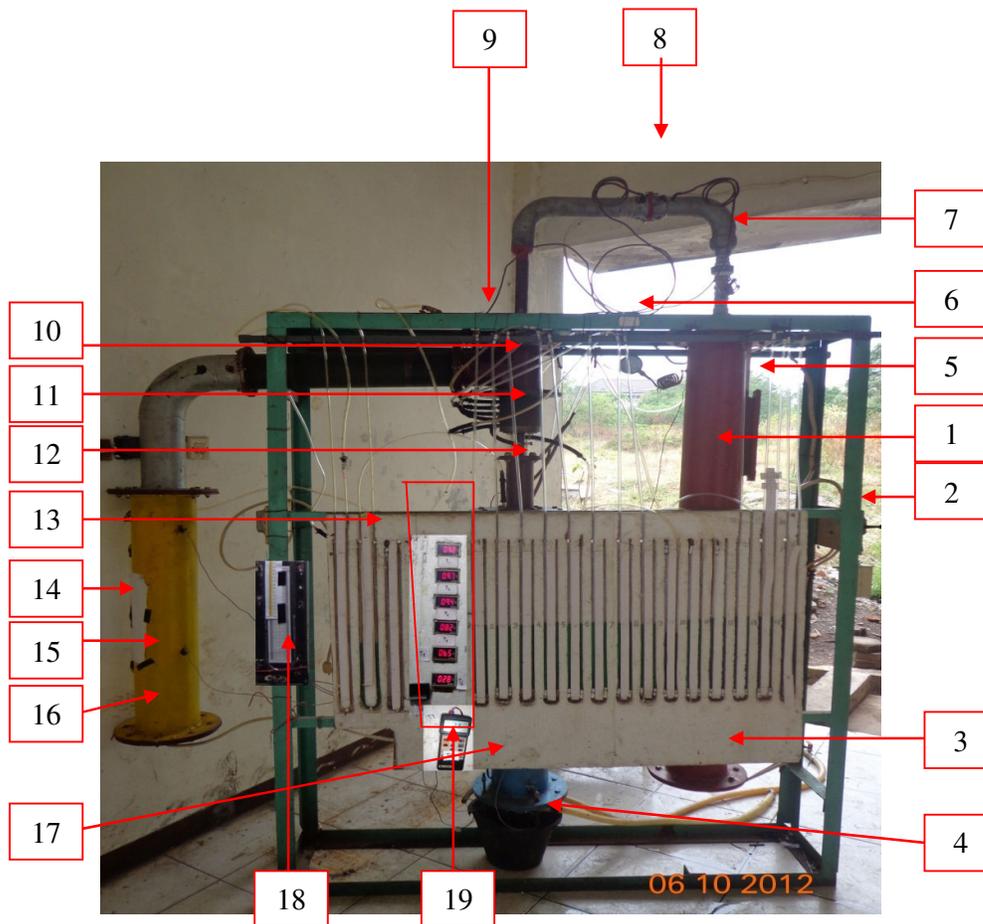
Bahan Utama yang digunakan adalah air.

Alat

Alat uji memiliki beberapa komponen utama yaitu *boiler*, *ejector* dan *condensor*, *evaporator*. Adapun komponen keseluruhan dari alat uji dapat ditunjukkan pada Gambar 4.

Cara Penelitian

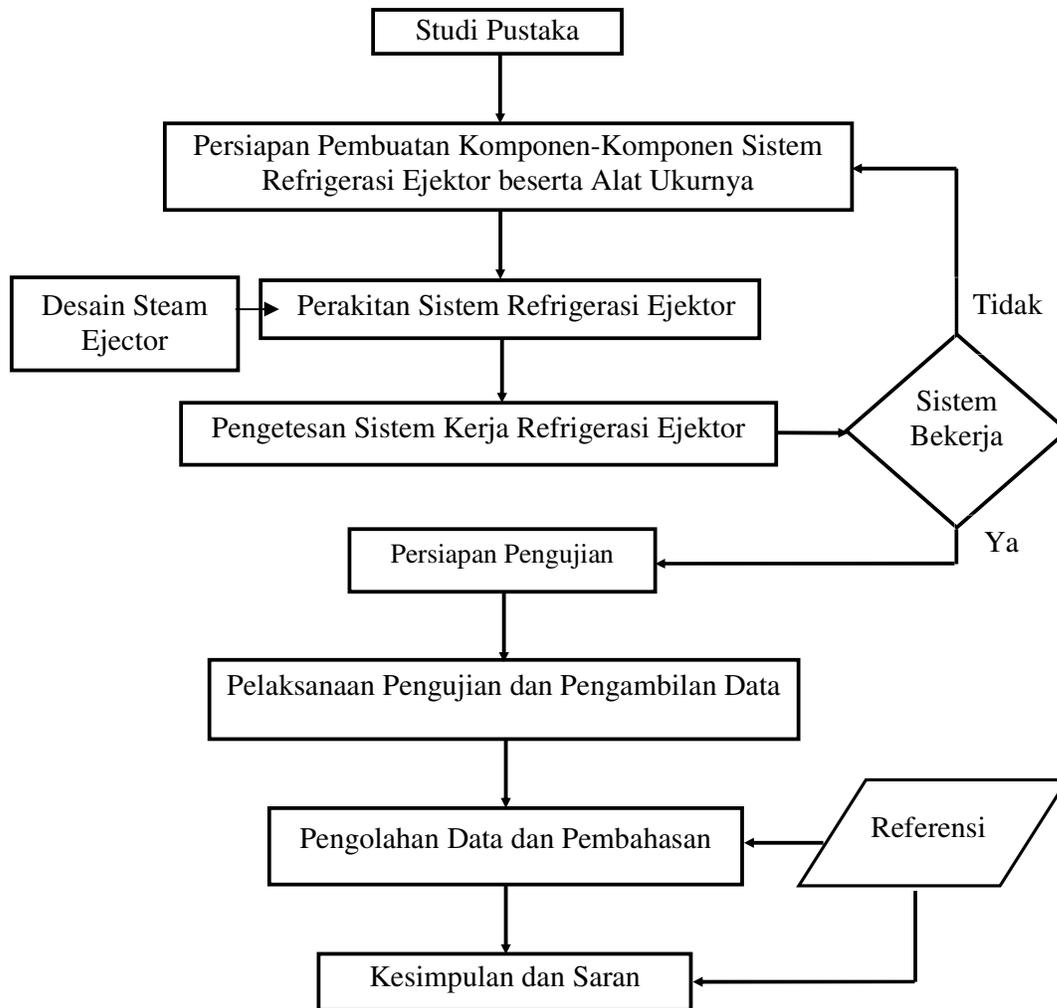
Pada suatu penelitian tidak lepas dari metodologi yang digunakan. Oleh sebab itu agar prosedur penelitian tertata dan terarah sesuai dengan tujuan yang diinginkan, diperlukan aliran proses penelitian yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Alat Uji *Steam Ejector Refrigeration*

Keterangan:

- | | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1. <i>Boiler</i> | 8. <i>Orifice Plate Flowmeter</i> | 15. <i>Evaporator</i> |
| 2. <i>Saklar water heater</i> | 9. <i>Ejector</i> | 16. <i>Water heater 6000Watt</i> |
| 3. <i>Water heater 9000Watt</i> | 10. <i>Mixing chamber</i> | 17. <i>Kondensor</i> |
| 4. <i>Reservoir</i> | 11. <i>Throath</i> | 18. <i>Manometer air raksa</i> |
| 5. <i>Gelas ukur boiler</i> | 12. <i>Subsonic diffuser</i> | 19. <i>Display temperatur</i> |
| 6. <i>Pressure Gauge</i> | 13. <i>Manometer air</i> | |
| 7. <i>Gate valve</i> | 14. <i>Gelas ukur evaporator</i> | |



Gambar 5. Diagram Alir Metodologi Penelitian.

Dalam penelitian ini terdapat tiga proses pengambilan data pengujian yang dilakukan secara bersamaan yaitu (Subri M, 2012):

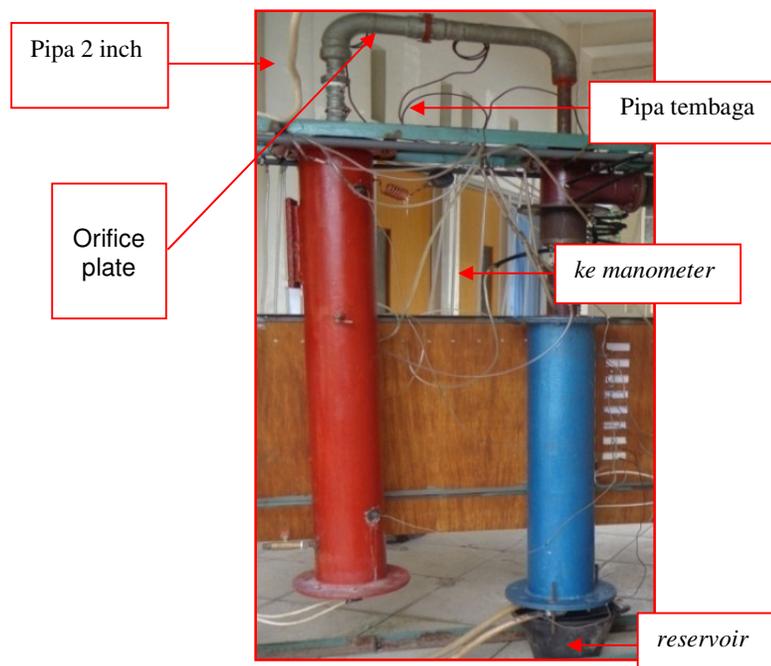
1. Proses pengambilan data untuk mengukur laju aliran massa dari *primary flow* eksperimental.
2. Proses pengambilan data untuk mengukur laju aliran massa dari *secondary flow* eksperimental.
3. Proses pengambilan data untuk mengukur distribusi tekanan statik sepanjang dinding ejektor.

Proses Pengujian

Dikarenakan *orifice plate flowmeter* tidak dapat mengukur laju aliran massa dari *primary flow* dan *secondary flow* secara bersamaan, maka pengukuran dilakukan secara bertahap yaitu:

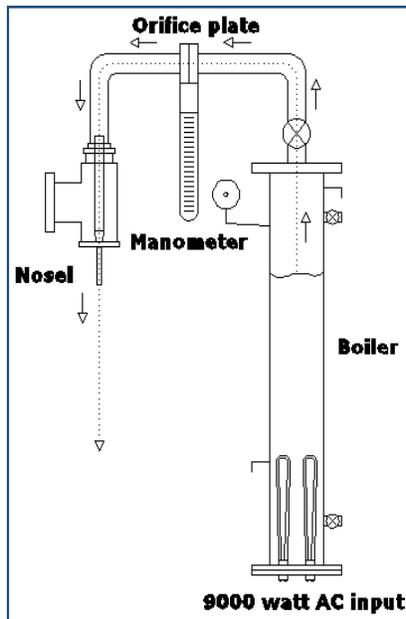
Proses Pengujian Laju Aliran Massa *Primary Flow*

Peralatan ini digunakan untuk mengukur laju aliran massa keluaran *nozzle* (*primary flow*) dari boiler yang terdiri dari pipa berdiameter 2 inch dengan panjang 1,5 meter yang dibagi dua dan disambungkan dengan *orifice plate flowmeter type D* dan *D/2 Taps* dengan $F1=0,4333$ dan $F2=0,47$ seperti pada Gambar 6. Diameter luar ($D1$) = 0,05 m dan diameter dalam ($D2$) = 0,0125 m. Pengukuran dilakukan dengan cara mengukur perbedaan tekanan aliran sebelum ($P1$) dan sesudah melewati *orifice plate* ($P2$). Pada titik (*tap*) sebelum dan sesudah pelat *orifice* diberikan *reservoir* untuk menampung uap air yang mengembun dan *reservoir* ini disambungkan pada pipa tembaga 4 mm guna mereduksi panas karena selanjutnya dari *orifice plate* akan dipasang *manometer* air raksa.



Gambar 6. *Primary Flow Measurement Device*.

Untuk mendapatkan laju aliran massa keluaran *nozzle* maka dibuat alat yang dinamakan *primary flow measurement device* dengan set – up alat seperti Gambar 7 yang mana di dalam sambungan pipa 2 inci dan bagian penutup *ejector* dipasang *nozzle*.



Gambar 7. Set – Up *Primary Flow Measurement*.

Prosedur pengujian pada tahap ini adalah :

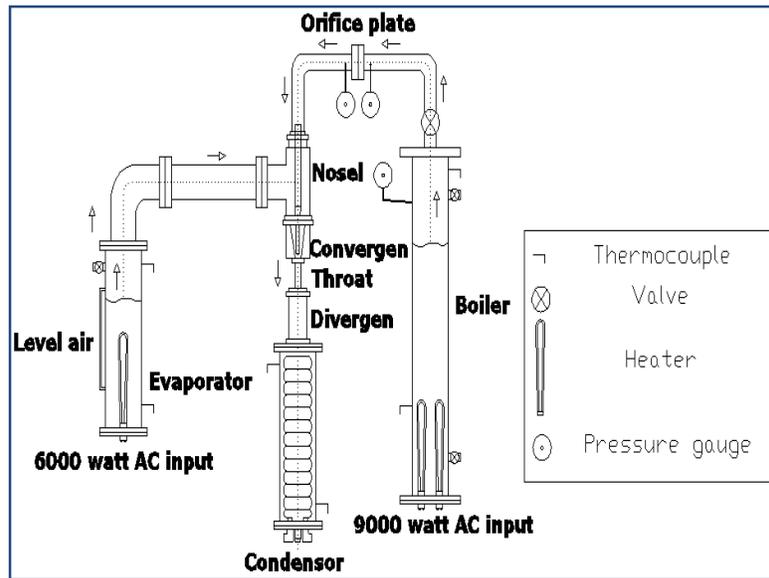
1. Setting alat seperti pada Gambar 6.
2. Posisikan saklar *heater boiler* on.
3. Tunggu sampai tekanan *boiler* mencapai 6 kg/cm^2 kemudian buka perlahan *gate valve* (usahakan tekanan boiler sama dengan tekanan motive sebelum masuk ke nosel primer pada tekanan $4,5, 3,5, 2,5 \text{ kg/cm}^2$).
4. Catat beda level air raksa pada *manometer* antara tekanan aliran sebelum (P1) dan sesudah melewati orifice flowmeter (P2) pada tekanan motive $4,5, 3,5, 2,5 \text{ kg/cm}^2$ dan temperatur boiler.
5. Lakukan pengukuran sebanyak 3 kali pada setiap tekanan yang ditentukan.

Proses Pengujian Laju Aliran Massa *Secondary Flow*

Gambar 8 merupakan set-up untuk melakukan pengujian tahap 2 (*secondary flow measurement*). Seperti yang ditunjukkan Gambar 8 dan 9 tujuan pada pengukuran kali ini adalah untuk mengukur laju aliran massa uap yang mengalir dari evaporator dihasilkan pada variasi sudut *mixing chamber* dan variasi tekanan operasi boiler pada steam ejektor dilakukan dengan cara mengukur beda ketinggian level air pada gelas ukur evaporator. Pada saat pengujian untuk mengetahui volume air dalam tabung evaporator dengan cara melihat pada gelas ukur dalam waktu tertentu.

Prosedur pengujian pada tahap ini adalah:

1. Setting alat.
2. Posisikan saklar *heater boiler* dan *evaporator* on.
3. Tunggu sampai tekanan *boiler* mencapai 6 kg/cm² dan suhu fluida dalam *evaporator* mencapai 97 ° C kemudian buka sedikit demi sedikit *gate valve* (usahakan konstan tekanan boiler pada tekanan 4,5, 3,5, 2,5 kg/cm² atau tekanan motive)
4. Catat temperatur boiler (T1 dan T2), temperatur evaporator (T3 dan T4), temperatur kondensor (T5 dan T6), dan temperatur *cooling water* (T7 dan T8). Dan catat beda level air pada *manometer* dan tekanan *evaporator* yang terbaca pada manometer air saat tekanan motive 4,5, 3,5, 2,5 kg/cm².
5. Catat beda level air pada manometer U untuk mengukur tekanan evaporator dan beda level air pada manometer U untuk mengukur tekanan kondensor.
6. Catat beda ketinggian level air pada tabung ukur evaporator untuk mengetahui perubahan volume air pada tabung evaporator.
7. Lakukan pengukuran sebanyak 3 kali pada setiap tekanan yang ditentukan.
8. Lakukan prosedur 1-5 dengan variasi panjang *throat* 2D (36 mm), 3D (54 mm), 4D (72 mm), 5D (90 mm) dan sudut *mixing chamber* 7,5° .



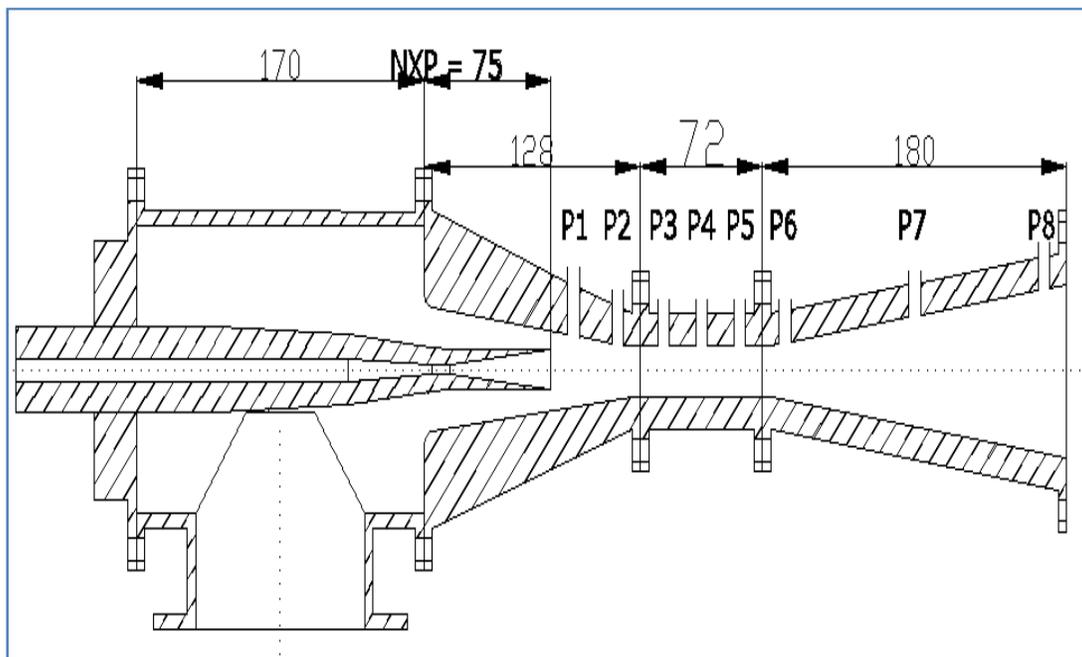
Gambar 8. Set – Up *Secondary Flow Measurement*.



Gambar 9. *Secondary flow Measurement Device*

Proses Pengujian Distribusi Tekanan Sepanjang Steam Ejektor

Proses pengujian distribusi tekanan statik sepanjang dinding ejektor yang ditunjukkan pada Gambar 10 dilakukan untuk mengetahui besarnya tekanan aliran yang terjadi sepanjang ejektor diukur melalui primary nosel ($NXP = 75$) sebelum titik P1 sampai pada ujung bagian divergen titik P8. Pengukuran tekanan sepanjang ejektor dilakukan pada variasi panjang throat ($2D$, $3D$, $4D$, $5D$) dan variasi tekanan motive ($4,5$, $3,5$, $2,5 \text{ kg/cm}^2$) dengan sudut *mixing chamber* $7,5^\circ$. Pembagian titik distribusi tekanan sepanjang ejektor ditunjukkan pada gambar 9. Posisi titik P1 dan P2 adalah tekanannya konstan, sementara pada titik P3 sampai P8 akan berubah tergantung variasi sudut mixing chamber. Tekanan pada setiap titik sepanjang ejektor diukur menggunakan manometer U.

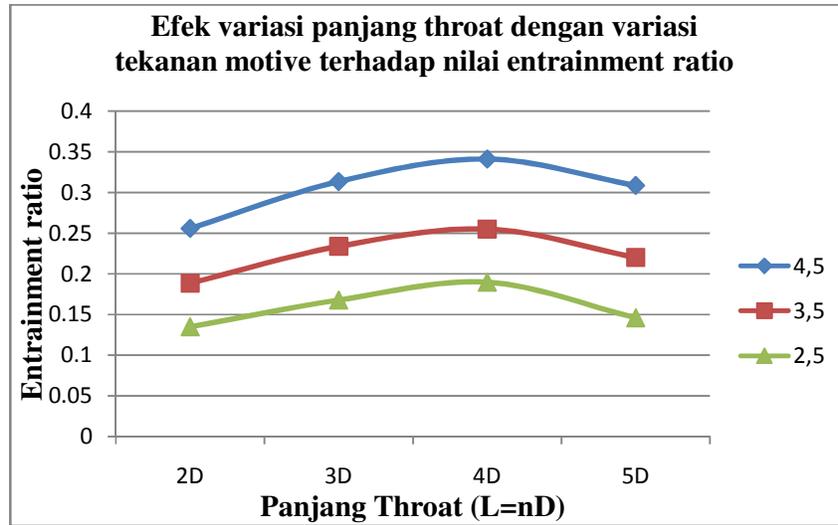


Gambar 10. Pembagian Titik Distribusi Tekanan Sepanjang Steam Ejektor.

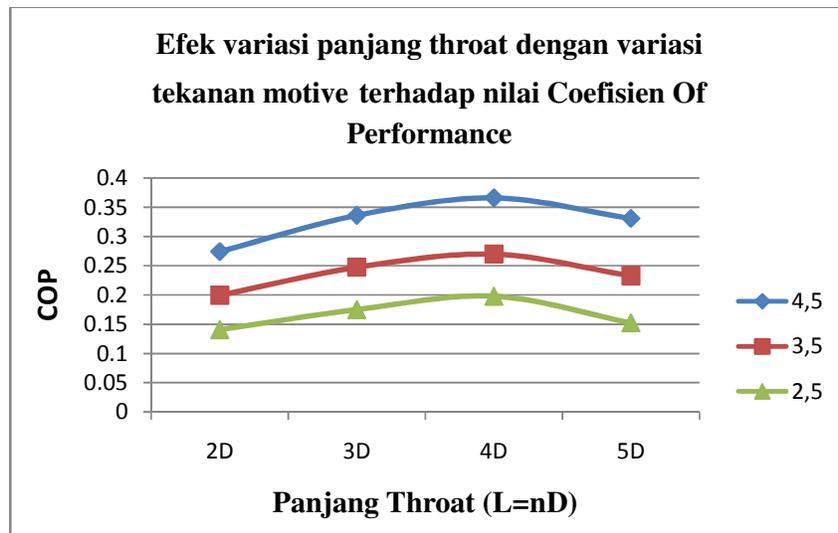
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada uraian berikut akan dijelaskan hasil eksperimen steam ejector refrigeration dengan memvariasikan panjang throat dan tekanan motive. dengan sudut mixing chamber konstan pada $7,5^\circ$. Pengolahan data ditampilkan dalam grafik disertai garis tren (*trend line*). Pengaruh Variasi Panjang *Throat* dan Variasi Tekanan Motive terhadap Nilai *Entrainment Ratio* dan Nilai *Coeffisien Of Performance*.

Pengaruh variasi panjang *throat*, variasi tekanan operasi boiler/tekanan motive (4,5, 3,5, 2,5) dengan sudut *mixing chamber* $7,5^\circ$ dapat dilihat pada Gambar 11 dan 12. Perubahan panjang *throat* dan tekanan motive dengan sudut *mixing chamber* $7,5^\circ$ juga mempengaruhi nilai *entrainment ratio steam ejector*, perubahan nilai *entrainment ratio* juga mempengaruhi nilai *coefisien of performance* pada kinerja sistem refrigerasi steam ejector.



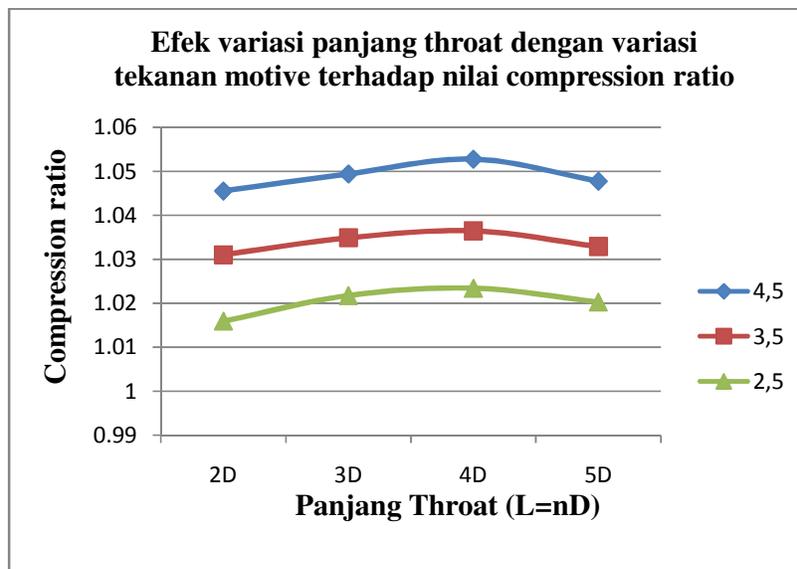
Gambar 11. Pengaruh Variasi Panjang *Throat* dan Variasi Tekanan Motive terhadap Nilai *Entrainment Ratio*.



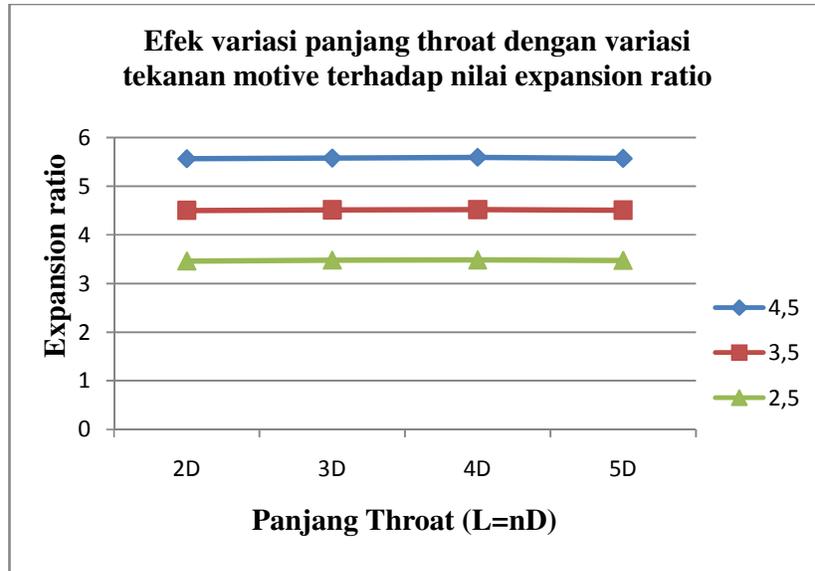
Gambar 12. Grafik Menunjukkan Pengaruh Variasi Panjang *Throat* dan Variasi Tekanan Motive terhadap Nilai *Coefisien Of Performance*

Pengaruh Variasi Panjang *Throat* dan Variasi Tekanan Motive terhadap Nilai *Compression Ratio* dan Nilai *Expansion Ratio*.

Gambar 13. pada grafik menunjukkan pengaruh variasi panjang *throat* dan tekanan motive (4,5, 3,5, 2,5) dengan sudut *mixing chamber* 7,5° pada nilai *compression ratio* yaitu perbandingan tekanan absolut yang terjadi pada kondensor dengan tekanan vakum absolut yang terhisap pada evaporator. Semakin tinggi tekanan vakum yang terjadi pada evaporator menyebabkan *compression ratio* meningkat. Gambar 14. pada grafik menunjukkan pengaruh variasi panjang *throat* dan tekanan motive dengan sudut *mixing chamber* 7,5° pada nilai *expansion ratio* yaitu perbandingan tekanan motive *absolute* pada boiler dengan tekanan vakum *absolute* yang terhisap pada evaporator. Semakin tinggi tekanan vakum yang terjadi pada evaporator menyebabkan *expansion ratio* dan kinerja ejektor meningkat.



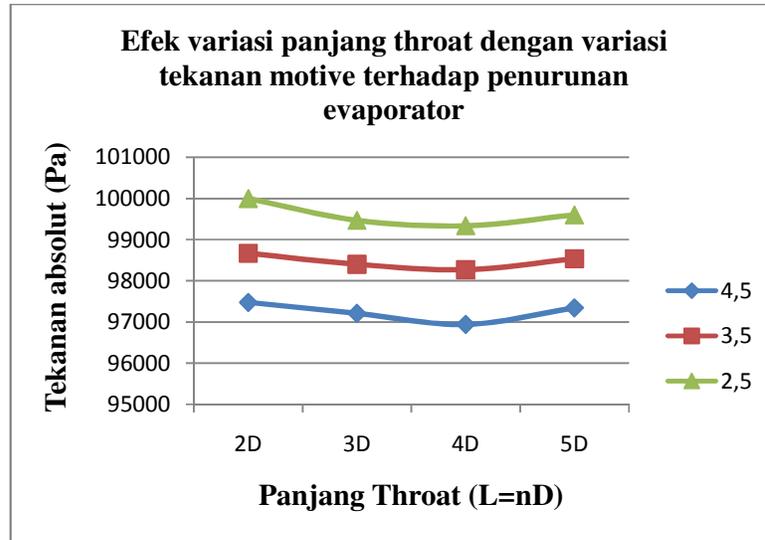
Gambar 13. Pengaruh Variasi Panjang *Throat* dan Variasi Tekanan Motive terhadap Nilai *Compression Ratio*.



Gambar 14. Pengaruh Panjang *Throat* dan Variasi Tekanan Motive terhadap Nilai *Expansion Ratio*.

Pengaruh Variasi Panjang *Throat* dan Variasi Tekanan Motive terhadap Penurunan Tekanan Evaporator.

Gambar 15. pada grafik terlihat bahwa variasi panjang *throat* dan variasi tekanan motive (4,5, 3,5, 2,5) dengan sudut *mixing chamber* $7,5^\circ$ mempengaruhi penurunan tekanan yang terjadi pada evaporator. Pada saat panjang *throat* 72 mm (4D) dengan sudut *mixing chamber* yang sama pada tekanan motive $4,5 \text{ kg/cm}^2$, tekanan vakum yang dihasilkan di evaporator lebih besar yaitu 96943,31 Pa dan nilai *entrainment ratio* yang dihasilkan lebih optimal yaitu 0,341011 dan terendah pada panjang *throat* 36 mm (2D) dengan sudut *mixing chamber* sama dan tekanan motive $2,5 \text{ kg/cm}^2$ sebesar 99997,22 Pa dengan *entrainment ratio* sebesar 0,135031. Sehingga tekanan vakum yang dihasilkan semakin besar di evaporator maka akan meningkatkan nilai *entrainment ratio* yang dihasilkan.

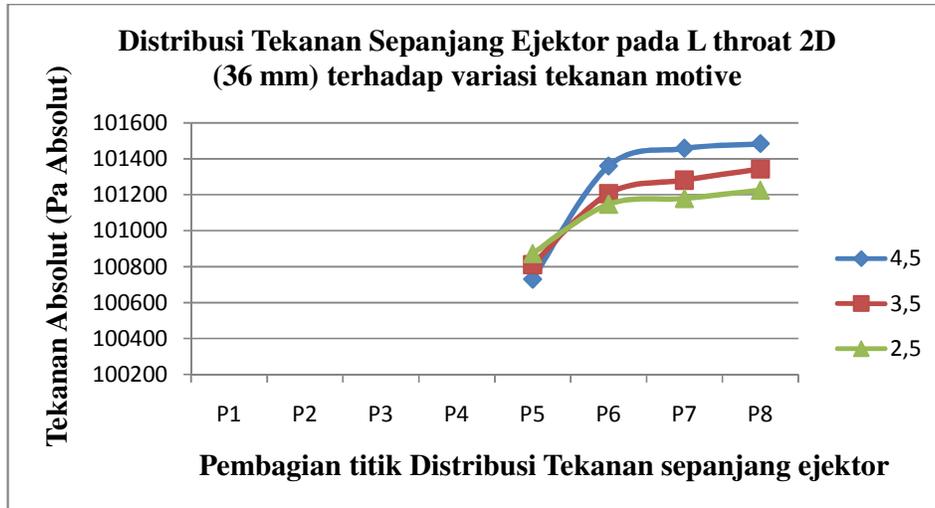


Gambar 15. Pengaruh Variasi Panjang *Throat* dan Variasi Tekanan Motive terhadap Penurunan Tekanan Evaporator.

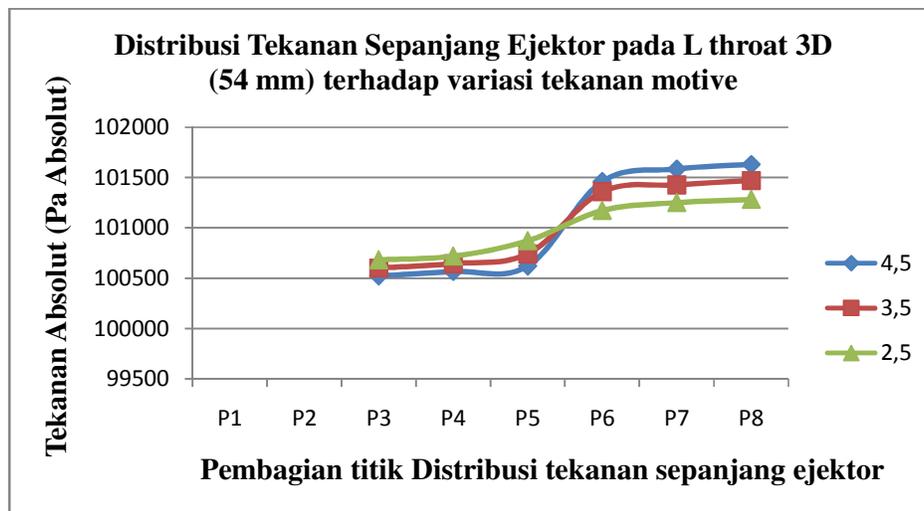
Distribusi Tekanan Sepanjang *Steam* Ejektor

Gambar 16, 17, 18 dan 19 pada grafik menunjukkan distribusi tekanan sepanjang ejektor dengan variasi panjang throat pada tekanan motive 4.5, 3.5, dan 2.5 kg/cm². Angka 0 (nol) pada pusat sumbu menunjukkan posisi keluaran nosel (NXP). Pada titik P1 dan P2 dari ujung nosel. Karena keterbatasan alat pengukuran sehingga tekanan sepanjang ejektor menggunakan manometer air. Tekanan pada daerah ini tidak dapat terukur dengan manometer air karena tingginya daerah vakum yang terjadi pada daerah ini menyebabkan fluida (air) pada manometer terhisap masuk dalam konvergensi saluran.

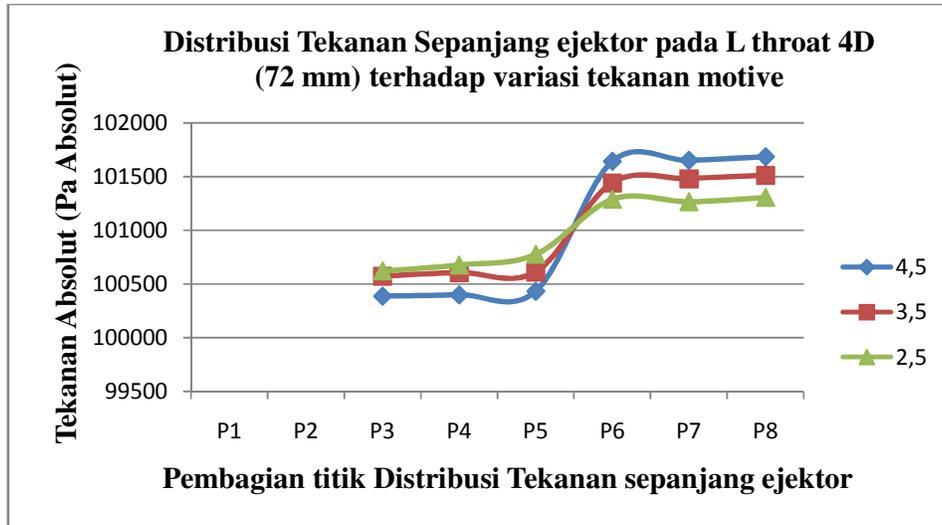
Tekanan pada dinding hanya terukur di titik P3 dari ujung posisi nosel. Pada kondisi ini tekanan dinding mulai meningkat di tengah daerah *throat* pada titik P3 dari ujung keluaran nosel. Disini terjadi tekanan vakum menyebabkan tekanan pada dinding *throat* lebih rendah kemudian tekanan meningkat sebelum masuk daerah *diffuser* sampai pada daerah awal *diffuser* pada titik P6 dan tekanan terus meningkat sampai daerah keluaran *diffuser* dan mendekati daerah kondensor pada titik P8 dari posisi ujung keluaran nosel. Distribusi tekanan menunjukkan *trend* yang sama pada variasi sudut *mixing chamber* dan tekanan motive.



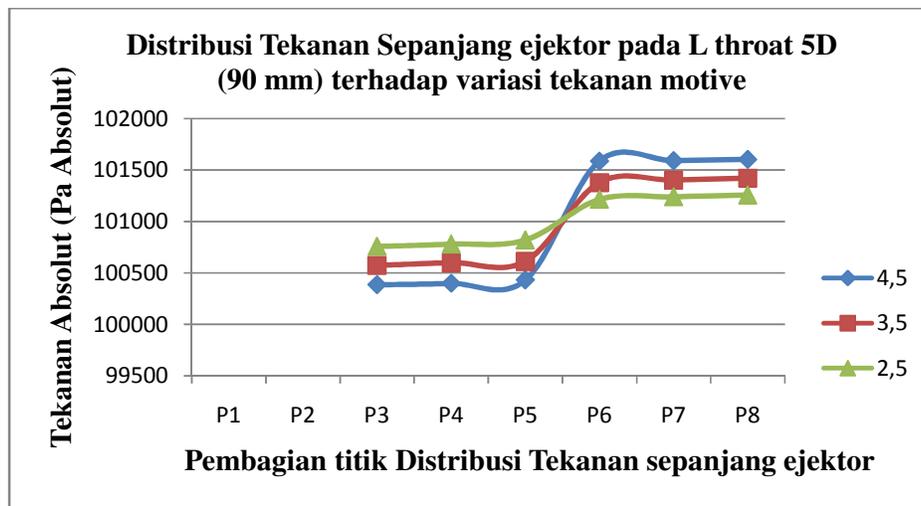
Gambar 16. Distribusi Tekanan Di Sepanjang Ejektor Pada Variasi Panjang *Throat* 2D (36 Mm) Dan Sudut *Mixing Chamber* 7,5°.



Gambar 17. Distribusi Tekanan Di Sepanjang Ejektor Pada Variasi Panjang *Throat* 3D (54 Mm) Dan Sudut *Mixing Chamber* 7,5°.



Gambar 18. Distribusi Tekanan Di Sepanjang Ejektor Pada Variasi Panjang *Throat* 4D (72 Mm) Dan Sudut *Mixing Chamber* 7,5°.



Gambar 19. Distribusi Tekanan Di Sepanjang Ejektor Pada Variasi Panjang *Throat* 5D (90 Mm) Dan Sudut *Mixing Chamber* 7,5°.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian dengan menggunakan alat uji sistem refrigerasi *steam ejector* skala laboratorium dengan variasi panjang *throat* dan tekanan motive (4,5; 3,5; dan 2,5) dengan sudut *mixing chamber* 7,5°, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *entrainment ratio* dari refrigerasi *steam ejector* dipengaruhi oleh besarnya panjang *throat* dan tekanan motive, hal ini ditunjukkan dengan terjadinya perubahan *entrainment ratio* dan koefisien kinerja yang signifikan pada setiap variasi panjang *throat* dan tekanan motive.
2. Semakin rendah variasi panjang *throat* 36 mm (2D) dan semakin tinggi tekanan motive menyebabkan nilai *entrainment ratio* dan koefisien kinerja sistem refrigerasi *steam ejector* cenderung mengalami peningkatan sampai pada panjang *throat* tertentu, kemudian menurun dengan mengacu pada peningkatan panjang *throat* dan menurunnya tekanan motive.
3. Semakin tinggi tekanan motive menyebabkan perubahan nilai *entrainment ratio* dan koefisien kinerja sistem refrigerasi *steam ejector* tergantung dengan besarnya panjang *throat*.
4. Nilai *entrainment ratio* dan koefisien kinerja sistem optimal (COP) masing-masing 0,341011 dan 0,366059 diperoleh pada panjang *throat* 72 mm (4D) dan tekanan motive 4,5 kg/cm² dengan sudut *mixing chamber* 7,5°. Dan daerah terendah pada panjang *throat* 36 mm (2D) dengan tekanan motive dan sudut *mixing chamber* yang sama, nilai masing 0,255821 dan 0,274193.
5. Semakin tinggi nilai *entrainment ratio* dan koefisien kinerja pada sistem refrigerasi *steam ejector* menyebabkan tekanan vakum yang terjadi pada evaporator semakin meningkat sehingga nilai *expansion ratio* dan *compression ratio* mengalami peningkatan.
6. Semakin tinggi nilai *entrainment ratio* dan koefisien kinerja pada sistem refrigerasi *steam ejector* menyebabkan tekanan absolute pada evaporator semakin tinggi pada panjang *throat* 72 mm (4D) dengan tekanan motive 4,5 kg/cm² dan sudut *mixing chamber* 7,5° sebesar 96943,31 Pa (abs), terendah pada panjang *throat* 36 mm (2D) dengan tekanan motive 2,5 kg/cm² dan sudut *mixing chamber* yang sama sebesar 99997,22Pa (abs).
7. Nilai *expansion ratio* dan *compression ratio* optimal masing-masing 5,594249 dan 1,052758 diperoleh pada panjang *throat* 72 mm (4D) dengan tekanan motive 4,5 kg/cm² dan sudut *mixing chamber* 7,5°.
8. Profil distribusi tekanan sepanjang ejector mempunyai trend yang sama pada semua variasi panjang *throat* dan tekanan motive, yaitu mulai dari posisi keluaran nosel di

daerah *mixing chamber* sampai daerah *throat section* terjadi tekanan vakum dan hampir konstan kemudian meningkat secara signifikan setelah keluar daerah *throat section* dan masuk ke daerah *diffuser*.

SARAN

1. Untuk mengetahui karakteristik lainnya dari sistem perlu divariasikan juga panjang dari *throat* dan diameter dari *throat nozzle*.
2. Untuk meningkatkan keamanan sebaiknya ditambahkan juga *pressure relief valve* pada *boiler* guna menghindari tekanan *boiler* yang terlampaui tinggi.
3. Untuk penelitian lebih lanjut diperlukan pula variasi pengaruh tekanan *condenser* sehingga dapat diketahui tekanan *condenser* kritis dan tekanan *condenser* optimum terhadap performansi sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarita, Himsar., (2010), *Materi kuliah teknik pendingin*, Departemen teknik mesin FT USU (Universitas Sumatra Utara).
- Changel, (2005), *Thermodynamics an engineering approach, 5 th led*, McGraw-Hill.
- Chunnanond K.S, Aphornratana, (2003), *An experimental investigation of a steam ejector refrigeration the analysis of the pressure profile along the ejector*, Thammasat University Thailand.
- Darwis Tampubolon/Robert Samosir., (2005), *Pemahaman tentang Sistem Refrigerasi*, Staf Pengajar Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan.
- El-desouky, Hisham., (2001), *Evaluation of steam jet ejector*, Kuwait.
- Hans Dieter Baehr., Karl Stephan, (2006), *Heat and Mass Transfer*, Institut for Thermodynamic, Hanover University.
- Huang B.J, Chang J.M, C.P. Wang and V.A. Petrenko, (1999), *A 1-D analysis of ejector performance*, *Int. J. Refrigeration*, 22, 354-364.
- Mengenal Komponen-komponen utama sebuah sistem refrigerasi mekanik*, Inti Pratama Teknik., 2009.
- Meyer J., (2006), *Steam jet ejector cooling powered by low grade waste or solar heat*, Stellenbosch University, Belanda.
- Moran, M. J., Shapiro, H. N., (2004). *Fundamental Of Engineering Thermodynamic 5th Edition*, State University.
- Nguyen. V.M., (2000), *Development of a solar-powered passive ejector cooling system*, Nottingham NG7 2RD UK.
- Perry, Robert H. and Green, Don W, Perry's., (1984). *Chemical Engineers' Handbook (Sixth Edition ed.)*, McGraw hill, ISBN 0-07-049479-7.

- Pianthong K, Wirapan Soehanan, M. Behnia, T. Sriveerakul, S. Aphornratana., (2007), *Investigation and improvement of ejector refrigeration system using CFD technique*, Ubun Ratchatany Thailand.
- Priyo, Dkk., (2010), *Analisa pengaruh sudut mixing chamber terhadap unjuk kerja steam ejector pada sistem refrigerasi dengan menggunakan CFD*, Universitas Diponegoro.
- Somsak Watanawanavet, 2005, "*Optimization of A High-Efficiency Jet Ejector by Computational Fluid Dynamics Software*," Master Thesis, Chemical Engineering., Texas A dan M University.
- Subri M., (2012), *Kaji experimental pengaruh bentuk geometri sudut converging duct dan panjang constant area section pada performa sistem refrigerasi steam ejector*, Master Thesis, Mechanical engineering, Universitas Diponegoro.
- Triyono Apido, Dkk., (2010), *Kaji eksperimental pengaruh panjang throat section ejector terhadap unjuk kerja steam ejector refrigeration*, Universitas Diponegoro.
- White, Frank M, (1988), *Mekanika fluida edisi keempat*, Erlangga, Jakarta.

PENULIS:

1. RAHMANSYAH NURCAHYO
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS)
Jl. Kasipah 12 Semarang
2. MUHAMMAD SUBRI
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS)
Jl. Kasipah 12 Semarang
3. MUH AMIN
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS)
Jl. Kasipah 12 Semarang
e-mail: amin.unimus@gmail.com