

Analisa Variasi Tekanan Fluida Primer, Tekanan *Discharge* dan Posisi Keluaran *Nozzle* (NXP) pada *Steam Ejector* Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD)

MSK Tony Suryo Utomo*, Susilo Adi Widyanto, Abibrojo Sekar
Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp +622474600
*E-mail: msktonysu@yahoo.co.id

Abstract

Numerical steam ejector simulation is performed by varying the pressure of the primary fluid, discharge output and nozzle exit position (NXP). The variation of primary fluid and discharge has been done to obtain the average value of steam ejector called entrainment ratio (ER), critical pressure and maximum discharge. The NXP treatment was performed to determine the best nozzle position of the steam with the highest ER ejector. The primary fluid pressure varied is 2.66 bar, 3.00 bar and 3.50 bar. Discharge pressure is varied from 0.20 bar to ejector. NXP varied from the -3 mm or -0.11 D_{en} to + 35 mm or 1.3 D_{en} positions. The modeled fluid is an ideal gas with the assumption that the fluid is in saturated steam condition. The turbulence modeling used $k-\epsilon$ to model flow with high Re values and may allow for more accurate results. Geometry modeling was made using CAD software Solidworks 2015, geometry exported to Ansys 16.2 and in meshing using y^+ adaption. The results indicate that the primary pressure causes a rise in critical pressure but entrainment ratio of the score decreases. The increase of the discharge pressure decreases the shock distance to the nozzle output. Shockwave is produced by dramatic increase in pressure as the flow goes from supersonic to subsonic. When the discharge pressure value got near to the critical pressure the weaker shockwave approached. NXP from positions of -3 mm to +35 mm indicates the position of NXP + 19 mm or 0.7 D_{en} shows the highest ER value, at the NXP -3 mm or -0.11 D_{en} the ER value is the lowest.

Keywords: Steam ejector, entrainment ratio, primary fluid pressure, discharge pressure, critical pressure

Abstrak

Dilakukan simulasi numerik *steam ejector* dengan memvariasikan tekanan dari fluida primer, tekanan *discharge* dan posisi keluaran *nozzle* (NXP). Perlakuan variasi tekanan fluida primer dan tekanan *discharge* dilakukan untuk mendapat nilai nilai performa *steam ejector* yang disebut *entrainment ratio* (ER), tekanan kritis (*critical pressure*) dan tekanan *discharge* maksimum. Perlakuan variasi NXP dilakukan untuk mengetahui posisi keluaran *nozzle* terbaik dari *steam ejector* dengan nilai ER yang paling tinggi. Tekanan fluida primer yang divariasikan yaitu 2.66 bar, 3.00 bar dan 3.50 bar. Tekanan *discharge* divariasikan dari 0.20 bar sampai *ejector* mengalami aliran balik. NXP yang divariasikan yaitu dari posisi -3 mm atau -0.11 D_{en} sampai + 35 mm atau 1.3 D_{en} . Hasil simulasi menunjukkan bahwa kenaikan tekanan fluida primer menyebabkan naiknya *critical pressure* tetapi membuat nilai *entrainment ratio* turun. Kenaikan tekanan *discharge* menyebabkan turunnya jarak *shockwave* ke posisi keluaran *nozzle*. *Shockwave* tercipta karena kenaikan tekanan yang signifikan secara cepat, saat tekanan *discharge* mendekati nilai *critical pressure* menunjukkan *shockwave* yang semakin lemah. Hasil variasi NXP dari posisi -3 mm ke +35 mm menunjukkan kenaikan dan penurunan dari *entrainment ratio*, posisi NXP + 19 mm atau 0.7 D_{en} menunjukkan nilai ER paling besar sedangkan posisi NXP -3 mm paling kecil. Fluida yang dimodelkan ialah gas ideal dengan asumsi fluida berada pada kondisi saturasi uap. Pemodelan aliran menggunakan $k-\epsilon$ *standard* untuk memodelkan aliran dengan nilai Re yang tinggi dan dapat menerapkan perlakuan dinding agar hasil yang didapat akurat. Pemodelan geometri dibuat dengan menggunakan *software* CAD yaitu Solidworks 2015, geometri diekspor ke Ansys 16.2 dan di *meshing* dengan perlakuan adaptasi y^+ .

Kata kunci: Steam ejector, entrainment ratio, kontur kecepatan, *critical pressure*

1. Pendahuluan

Steam ejector merupakan salah satu jenis dari pompa dinamik yang prinsipnya menciptakan ruang bertekanan rendah (vakum) oleh fluida penggerakannya (*motive fluid*) sehingga fluida sekunder yang berada pada tekanan lebih tinggi akan terhisap ke ruang vakum tersebut [1], salah satu fungsi *steam ejector* adalah untuk proses desalinasi. Desalinasi adalah proses pemurnian atau pengurangan garam terlarut di dalam air laut yang lebih besar dari 1000 ppm hingga 40.000 ppm menjadi air tawar dengan konsentrasi garam terlarut di bawah 1000 ppm [2]. *Thermal vapor compressor*

(TVC) atau *steam ejector* adalah salah satu komponen dari *desalination plant*, fungsinya yaitu untuk membuat kondisi vakum atau mengkestrasi uap pada proses desalinasi [3].

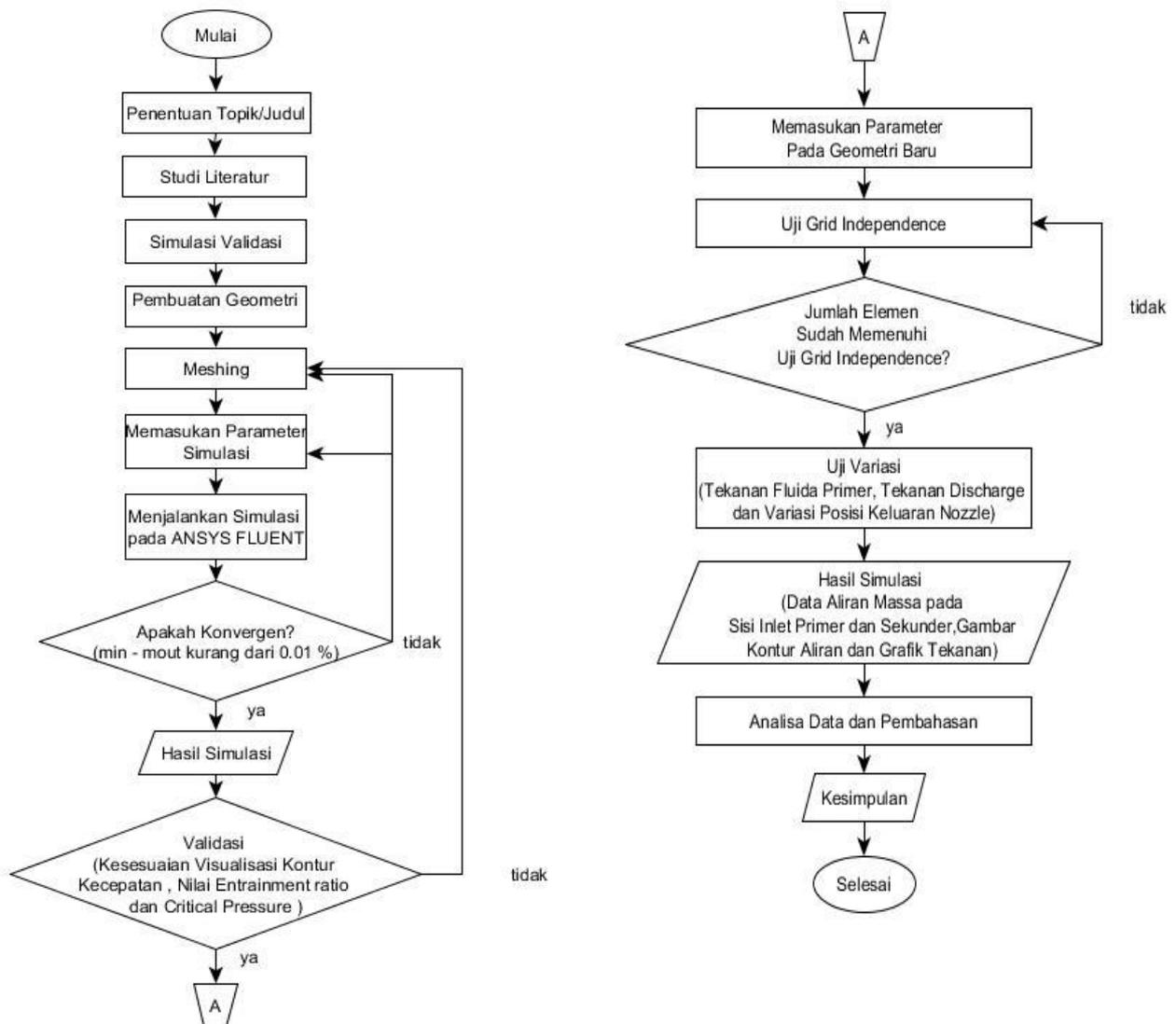
Keefektifan *steam ejector* bergantung pada nilai yang disebut *entrainment ratio* (ER) [4]. Penelitian – penelitian sudah dilakukan untuk melihat pengaruh geometri terhadap nilai ER menggunakan rumus empiris, ataupun melalui eksperimen sampai tahun 1990 [5]. Pada penelitian ini *steam ejector* dengan geometri baru dimodelkan dan disimulasikan menggunakan *software* CFD dengan memvariasikan terhadap tekanan fluida primer, tekanan *discharge* dan memvariasikan posisi keluaran *nozzle* (NXP). Penggunaan CFD pada penelitian ini dipilih karena memiliki beberapa keuntungan salah satunya yaitu dapat menunjukkan data aliran massa, kontur kecepatan dan distribusi tekanan dari *steam ejector* secara jelas. Penggunaan CFD ini akan membuat gambaran pengetahuan tentang suatu hal yang terjadi pada suatu proses atau sistem seperti fenomena aliran pada *steam ejector* menjadi semakin jelas. Keuntungan lain yang dapat diperoleh yaitu sangat memungkinkan untuk menganalisisnya.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan nilai - nilai performa dari *steam ejector* yang disebut dengan *entrainment ratio* (ER) dan tekanan kritis (*critical pressure*), sedangkan perlakuan variasi NXP untuk mengetahui posisi keluaran *nozzle* terbaik dari *steam ejector* dengan nilai ER yang paling tinggi.

2. Metode penelitian

2.1. Diagram alir

Untuk memudahkan dalam melakukan penelitian ini maka dibuat diagram alir penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1. Pemodelan CFD

Geometri yang akan diteliti terlihat pada Tabel 1, dengan *properties* dari fluida ditunjukkan pada Tabel 2 dan pemodelan turbulensi menggunakan *k-epsilon standard*.

Tabel 1. Geometri *Steam Ejector* untuk Dianalisa

Model	Constant Pressure Mixing
Panjang Total	969.82 mm
<i>Inlet</i> Primer D	50 mm
<i>Inlet</i> Sekunder D	68.50 mm
Throat Ducting D	50 mm
Converging <i>inlet</i> D	59.23 mm
Throat Nozzle D	11.64 mm
Exit Nozzle D	26.94 mm

Tabel 2. *Properties* dari Fluida [4]

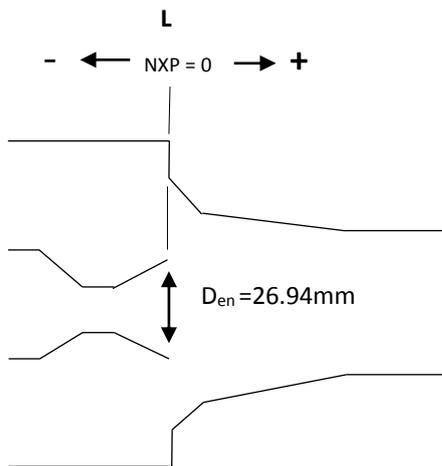
Property	Model
Density	<i>Ideal gas model</i>
<i>Cp</i> (specific heat)	2170 J/KgK
Conductivity	0.0276 W/mK
Viscosity	1.31619 x 10 ⁻⁵ kg/ms
Molecular weight	18.015 kg/kmol
Temperature	129.47°C

Variasi yang dilakukan terdiri dari variasi tekanan fluida primer, tekanan *discharge* dan posisi keluaran *nozzle* (NXP) berdasarkan Tabel 3. Hasil *meshing* ditunjukkan pada Gambar 3, dengan diterapkannya adaptasi perlakuan dinding *enhance wall treatment* dan sudah dilakukannya uji *grid independence*. Jumlah *mesh* setelah dilakukan adaptasi sebesar 65407 elemen dengan *skewness* maksimum 0.3733.

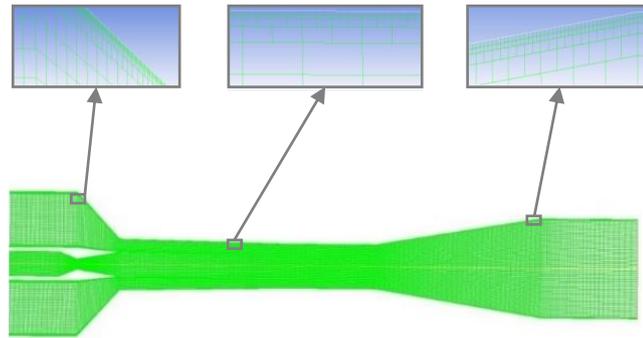
Tabel 3. Variasi yang Diujikan

Variasi yang dilakukan	Keterangan
Variasi Tekanan Fluida Primer	Variasi tekanan dilakukan dengan mengkondisikan variasi tekanan fluida primer pada tekanan 2.66 Bar, 3.00 Bar dan 3.50 Bar. Variasi tekanan <i>discharge</i> divariasikan dari tekanan 0.20 bar sampai mencapai kondisi <i>reversed flow</i> .

Variasi Posisi Keluaran Nozzle (NXP)



Variasi posisi keluaran nozzle (NXP) dilakukan dengan dengan memvariasikan NXP di titik -3 sampai + 35 mm.



Gambar 2. Hasil *meshing* dan adaptasi y^+ .

3. Hasil dan Pembahasan

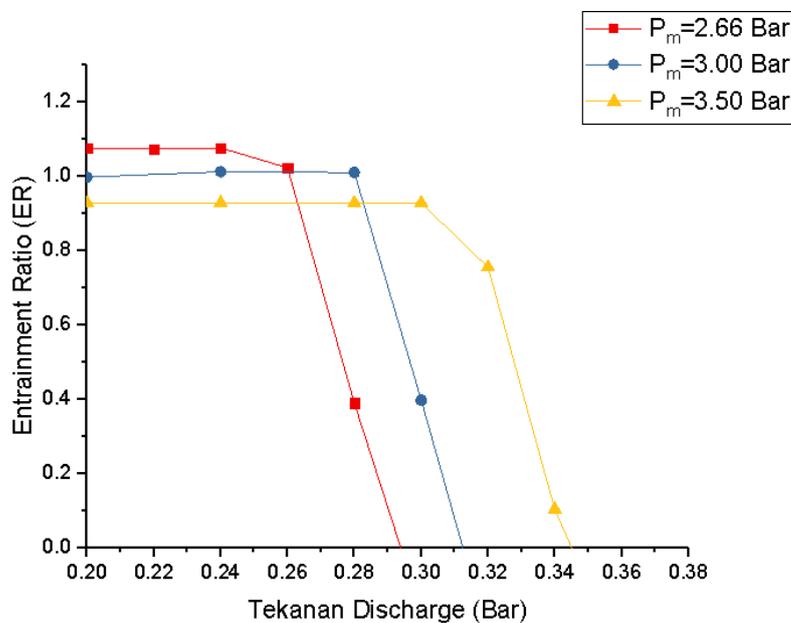
3.1 Hasil Variasi Tekanan Fluida Primer dan Tekanan *Discharge*

Pada kasus ini tekanan fluida primer divariasikan pada 2.66, 3.00 dan 3.50 bar, tekanan fluida sekunder dijadikan tetap pada 0.16 bar sementara tekanan *discharge* divariasikan dari 0.20 bar sampai ke kondisi *reversed flow* dan posisi keluaran *nozzle* diletakkan pada posisi NXP 0.

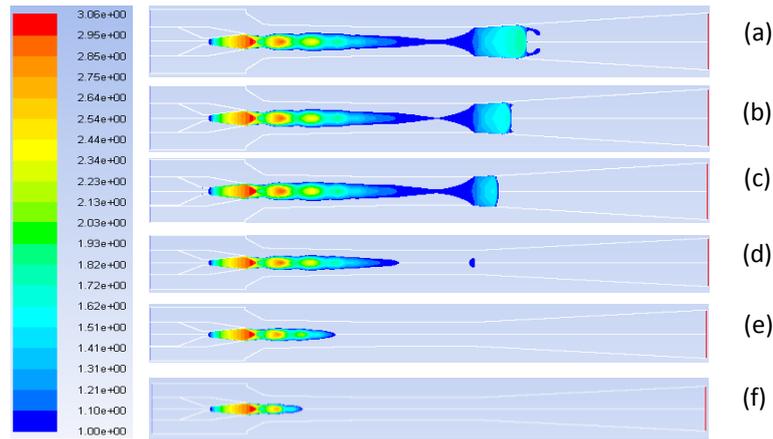
Gambar 3 menunjukkan pengaruh variasi tekanan *discharge* terhadap nilai *entrainment ratio*. Saat tekanan *discharge* 0.2 sampai 0.24 bar, aliran dianggap masih berada pada kondisi *choked flow*, sedangkan tekanan 0.26 sampai 0.28 bar aliran berada pada kondisi *unchoked flow*. *Critical pressure* dianggap berada pada tekanan *discharge* 0.24 bar. Saat tekanan fluida primer sebesar 3.00 bar, tekanan *discharge* 0.2 sampai 0.28 bar dianggap masih berada pada kondisi *choked flow*, sedangkan tekanan 0.30 bar aliran berada pada kondisi *unchoked flow*. Pada tekanan fluida primer sebesar 3.50 bar, tekanan *discharge* 0.2 sampai 0.30 bar dianggap masih berada pada kondisi *choked flow*, sedangkan tekanan 0.32 dan 0.34 bar aliran berada pada kondisi *unchoked flow*.

Dari Gambar 3 tersebut dapat dilihat bahwa nilai *entrainment ratio* paling besar saat kondisi *choked flow* adalah pada saat tekanan fluida primer sebesar 2.66 bar, sementara tekanan fluida primer 3.50 bar *entrainment ratio* yang dihasilkan paling kecil. Namun *critical pressure* paling besar adalah saat tekanan fluida primer 3.50 bar, sementara *critical pressure* paling kecil adalah saat 2.66 bar.

Gambar 5 menunjukkan perbedaan kontur aliran yang dihasilkan dengan memvariasikan tekanan *discharge* dengan tekanan fluida primer sebesar 2.66 bar. Tekanan *discharge* 0.20 bar memiliki *shock train* yang paling panjang dan jarak *shock wave* yang paling jauh diukur dari posisi keluaran *nozzle*. Seiring dengan penambahan tekanan *discharge* sampai pada tekanan 0.32 bar panjang *shock train* tersebut semakin pendek begitupula dengan jarak posisi keluaran *nozzle* ke *shock wave*. Tekanan *discharge* 0.26, 0.28 dan 0.32 bar menunjukkan *shockwave* yang tidak terbentuk dan menunjukkan bahwa aliran berada pada kondisi *unchoked flow* dan *reversed flow*.

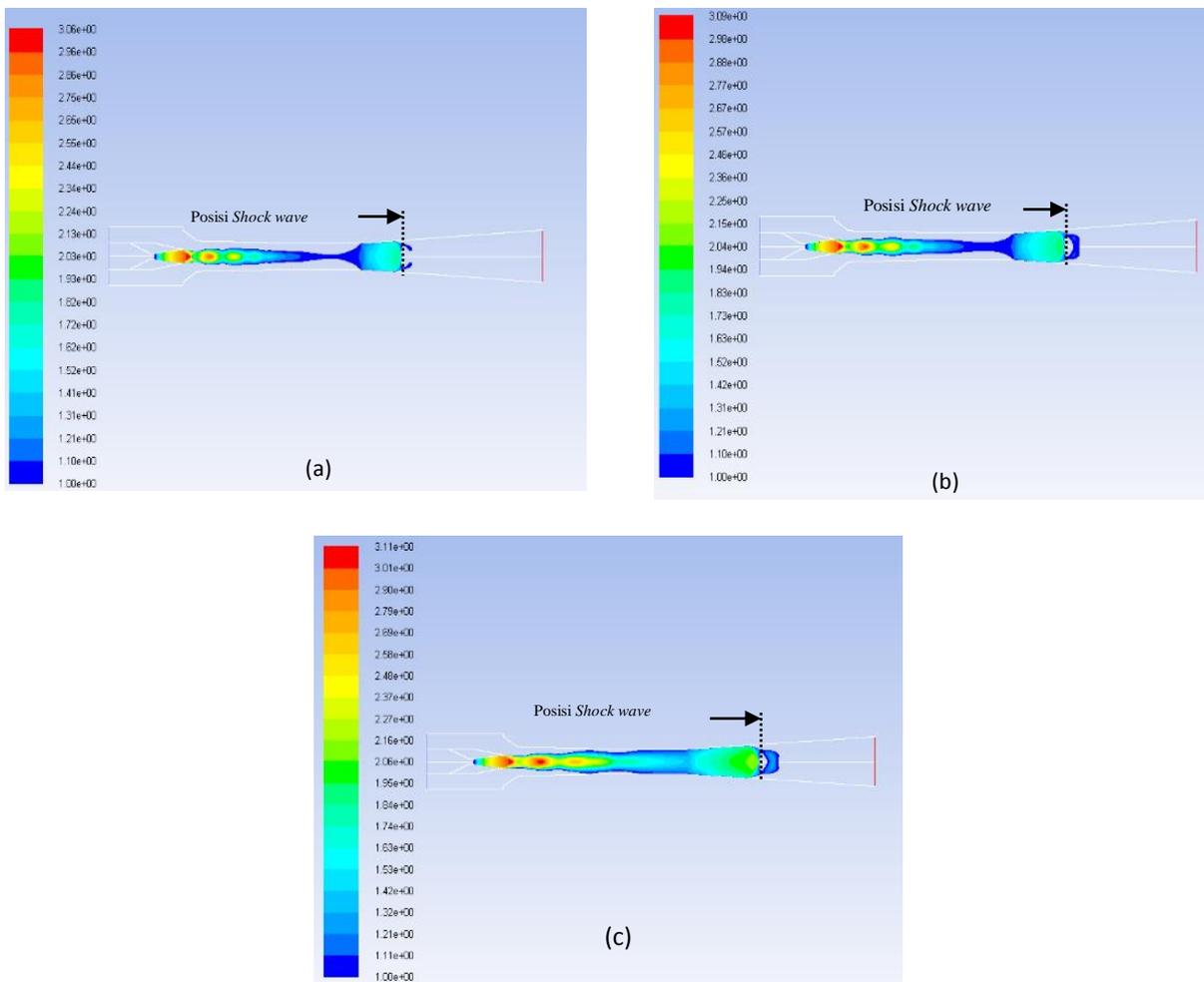


Gambar 3. Pengaruh variasi tekanan *discharge* terhadap nilai *entrainment ratio*.



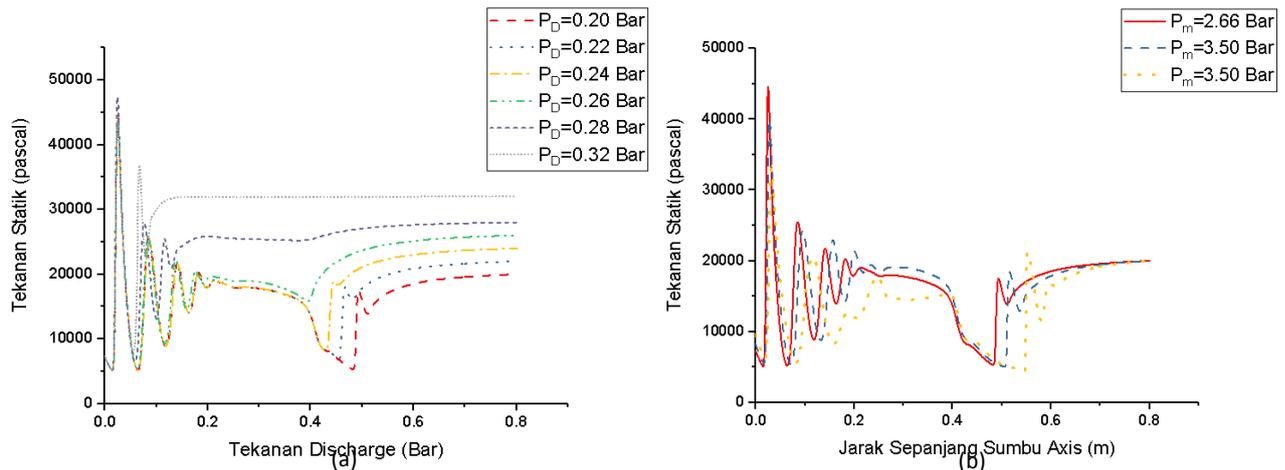
Gambar 4. Kontur kecepatan (*mach number*) tekanan fluida primer 2.66 bar dengan variasi tekanan *discharge* (a) 0.20 Bar (b) 0.22 Bar (c) 0.24 Bar (d) 0.26 Bar (e) 0.28 Bar (f) 0.32 Bar.

Gambar 5 (a), (b) dan (c) menunjukkan kontur kecepatan ≥ 1 *mach* pada variasi tekanan fluida primer dengan tekanan fluida sekunder konstan pada 0.16 bar dan tekanan *discharge* konstan pada 0.20 bar. Terlihat bahwa *shock train* memanjang seiring dengan penambahan dari tekanan fluida primer, Gambar 5 (a) tekanan fluida primer sebesar 2.66 bar memiliki panjang *shock train* paling pendek sedangkan Gambar 5 (b) tekanan fluida primer sebesar 3.50 bar memiliki *shock train* paling panjang.



Gambar 5. Kontur kecepatan (*mach number*) dengan tekanan tekanan *discharge* 0.20 bar. (a) Tekanan fluida primer 2.66 bar (b) Tekanan fluida primer 3.00 bar (c) Tekanan fluida primer 3.50 bar.

Gambar 6(a) menunjukkan distribusi tekanan sepanjang sumbu *axis* dari posisi keluaran *nozzle* hingga posisi *outlet* dengan tekanan fluida primer sebesar 2.66 bar, tekanan fluida sekunder 0.16 bar dan divariasikan dengan tekanan discharge. Aliran fluida pada tekanan discharge 0.32, 0.28 dan 0.26 berada pada keadaan *choked flow* dan menunjukkan adanya shockwave yang kuat. Pada kondisi ini nilai *entrainment ratio* paling tinggi.

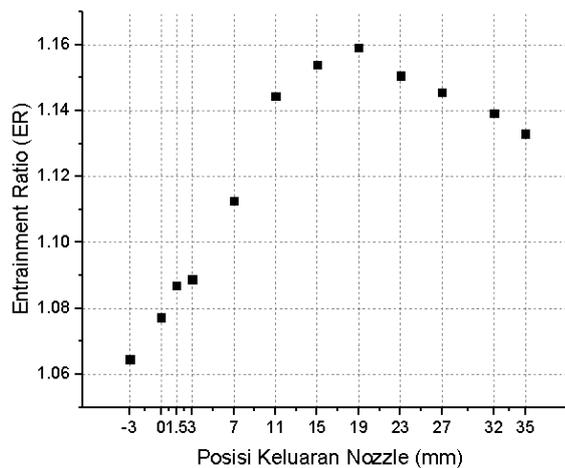


Gambar 6. Grafik distribusi tekanan (a) pengaruh variasi tekanan discharge sepanjang sumbu *axis*. (b) pengaruh variasi tekanan fluida primer sepanjang sumbu *axis* dengan $P_d = 0.20$ bar, $P_s = 0.16$ bar.

Gambar 6(b) menunjukkan grafik distribusi tekanan dari pengaruh variasi tekanan fluida primer sepanjang sumbu *axis* hingga sisi outlet dengan tekanan discharge 0.20 bar dan tekanan fluida sekunder 0.16 bar. Gambar tersebut menunjukkan bahwa kenaikan tekanan fluida primer membuat jarak *shock train* semakin panjang. Kenaikan tekanan fluida primer juga membuat *shock wave* semakin kuat dan menyebabkan nilai *entrainment ratio* naik [4]. Tekanan fluida primer 3.50 bar memiliki *shock wave* yang paling kuat.

3.2 Hasil Variasi Posisi Keluaran Nozzle (NXP)

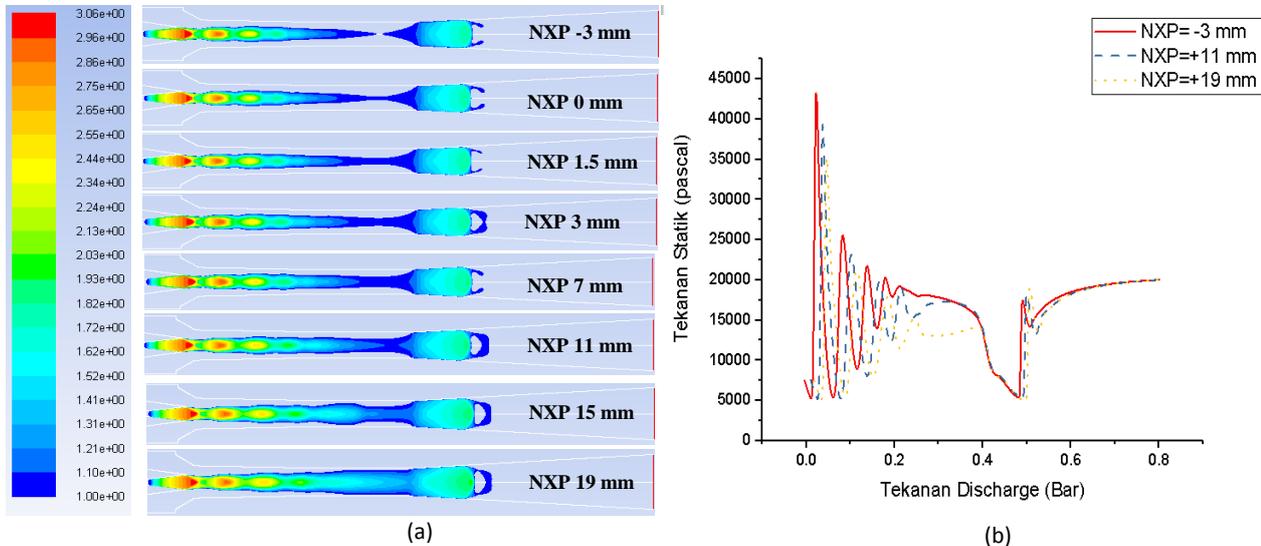
Pada variasi posisi keluaran *nozzle* (NXP) posisi *nozzle* divariasikan dari posisi -3 mm sampai +35 mm, tekanan fluida primer dipertahankan sebesar 2.66 bar tekanan fluida sekunder 0.16 bar dan tekanan discharge sebesar 0.20 bar. Gambar 7 menunjukkan grafik ER terhadap hasil variasi posisi keluaran *nozzle* (NXP). Dapat dilihat bahwa aliran massa bervariasi tergantung dari NXP, dari data tersebut dapat dilihat nilai ER (*entrainment ratio*). NXP 19 mm mempunyai nilai ER yang paling besar sedangkan NXP -1.5 mempunyai nilai ER yang paling kecil.



Gambar 7. Nilai *entrainment ratio* dari hasil posisi keluaran *nozzle*.

Gambar 8(a) menunjukkan kontur kecepatan $M \geq 1$ dari variasi posisi keluaran *nozzle* dengan tekanan fluida primer sebesar 2.66 bar, tekanan fluida sekunder 0.16 bar dan tekanan discharge 0.20 bar. Dapat dilihat bahwa NXP -3 mm dengan nilai ER yang paling rendah mempunyai panjang *shock train* yang paling pendek sedangkan NXP +19 mm memiliki *shock train* yang paling panjang.

Gambar 8(b) menunjukkan distribusi tekanan sepanjang sumbu *axis* dari posisi keluaran *nozzle* (NXP) hingga mencapai sisi *outlet* dengan tekanan fluida primer sebesar 2.66 bar, tekanan discharge 0.20 bar dan tekanan fluida sekunder 0.16 bar. NXP -3, 11 dan 19 mm dipilih untuk ditampilkan kedalam grafik karena nilai *entrainment ratio* (ER) pada 3 posisi ini terdapat nilai ER yang paling kecil hingga paling besar. Gambar 8(b) menunjukkan perbedaan grafik yang tidak signifikan, ini disebabkan karena perbedaan nilai *entrainment ratio* yang kecil. NXP +19 mm dengan nilai ER paling tinggi memiliki *shock train* paling panjang sedangkan NXP -3 mm dengan nilai ER paling rendah memiliki *shock train* paling pendek. *Shock wave* paling kuat ditunjukkan pada NXP +19, sedangkan NXP -3 mm menunjukkan *shock wave* yang paling lemah.



Gambar 8. (a) Grafik kontur kecepatan (*mach number*) dari efek variasi posisi keluaran *nozzle* (b) Grafik distribusi tekanan pengaruh variasi posisi keluaran *nozzle* (NXP).

4 Kesimpulan

Hasil variasi tekanan fluida primer dengan tekanan *discharge* dan sekunder konstan pada Gambar 3 menunjukkan bahwa kenaikan tekanan fluida primer membuat nilai *entrainment ratio* (ER) semakin kecil, kenaikan tekanan fluida primer membuat *critical pressure* semakin tinggi dan *shock train* semakin panjang. Pada Gambar 5 ditunjukkan bahwa kenaikan fluida primer membuat *shock wave* semakin kuat. *Critical pressure* pada tekanan fluida primer 2.66 bar dianggap pada tekanan *discharge* 0.24 bar, tekanan fluida primer 3.00 bar dianggap pada tekanan *discharge* 0.28 dan tekanan fluida primer 3.50 bar dianggap pada tekanan *discharge* 0.30 bar.

Hasil variasi tekanan *discharge* dengan tekanan fluida primer dan fluida sekunder konstan yang ditunjukkan pada Gambar 4 menunjukkan *shock train* akan semakin memendek seiring dengan penambahan tekanan *discharge*. Penambahan tekanan *discharge* menyebabkan jarak *shockwave* ke keluaran *nozzle* semakin pendek.

Hasil variasi posisi keluaran *nozzle* (NXP) pada Gambar 7 menunjukkan kenaikan nilai *entrainment ratio* (ER) dari NXP -3 mm sampai NXP +19 mm, setelah itu nilai ER turun seiring bertambahnya nilai NXP. NXP +19 mm memiliki nilai ER yang paling tinggi sedangkan NXP -3 mm memiliki nilai ER yang paling rendah. Dari kontur kecepatan ditunjukkan bahwa NXP +19 mm dengan nilai *entrainment ratio* paling besar memiliki *shock train* paling panjang dengan *shock wave* paling kuat dan NXP -3 mm dengan nilai *entrainment ratio* paling rendah memiliki *shock train* paling pendek dengan *shock wave* paling lemah, ini berarti *shock wave* yang lebih kuat mengindikasikan nilai *entrainment ratio* yang lebih besar.

Daftar Pustaka

- [1] Prabowo H., 2011, "Analisa Perubahan Variasi Tekanan Inlet Nozzle dan Posisi Nozzle Terhadap Nilai Entrainment Ratio Pada Steam Ejector Menggunakan Metode CFD". Tugas Akhir, Universitas Indonesia, Hal. 7.
- [2] Geni R., Sumijanto S., 1999, "Perancangan Sistik Pemurnian Air Laut Menjadi Air Tawar Berdasarkan Metoda Desalinasi Multistage Flash Distillation (Msf)". Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir-IV.
- [3] Park I., Choi D., Ha JS., 2005, "Design and application of thermal vapor compressor for multi-effect desalination plant". Journal of Desalination, Vol. 182, No. 1, Hal. 199-208.
- [4] Ji M., Utomo T., Woo J., Lee Y., Jeong H., Chung H., 2010, "CFD Investigation On The Flow Structure Inside Thermo Vapor Compressor". Journal of Energy, Vol. 35, No. 6, Hal. 2694 – 2702.
- [5] Jaber M., Dandachi D., 1990, "Steam Air Ejector Performance and its Dimensional Parameters". A Doctoral Thesis, Loughborough University, Hal. 57.