

PENGARUH VARIASI TEKANAN *PRIMARY FLOW* DAN DIAMETER *EXIT NOZZLE* TERHADAP *SECONDARY FLOW* PADA KINERJA *EJECTOR FRESH WATER GENERATOR*

WA Putranto^{1*}, Khaeroman¹ dan Abdul Hamid²

¹Jurusan Teknik, Politeknik Maritim Negeri Indonesia

Jl. Pawiyatan Luhur I/ 1 Bendan Duwur, Semarang 50233.

²Program Studi Teknik Mesin, Universitas Maritim AMNI Semarang

Jl. Soekarno Hatta No.180, Palebon, Kec. Pedurungan, Kota Semarang, Jawa Tengah 50246

*Email: wahyu_ap@polimarin.ac.id

Abstrak

Ejector adalah salah satu komponen penting pada Fresh water generator (FWG) yang berfungsi untuk membuat ruangan evaporator menjadi vakum dengan aliran air laut yang melewati ejector tersebut. FWG adalah alat di kapal yang digunakan untuk merubah air laut menjadi air tawar. Prinsip kerja ejector adalah seperti pompa statis yang bekerja berdasarkan prinsip kevakuman. Semakin cepat vakum evaporator maka semakin cepat proses pembuatan air tawar dari air laut. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi primary flow 300, 400 kPa (3, 4 bar) dan diameter exit nozzle 5, 6, 7 mm pada ejector terhadap tekanan di secondary flow yaitu pada sisi isapan udara (vakum). Penelitian dilakukan dengan simulasi numerik software komersial CFD untuk memprediksi fenomena tekanan aliran fluida yang melewati exit nozzle dan secondary flow pada Ejector. Hasil simulasi menunjukkan ejector dengan primary flow 3 bar dan diameter exit nozzle 7 mm menghasilkan tekanan di exit nozzle sebesar 1,99 bar dan berdampak pada tekanan di secondary flow sebesar 0,51 bar. Sedangkan ejector dengan primary flow 4 bar dan diameter exit nozzle 7 mm menghasilkan tekanan di exit nozzle sebesar 2,57 bar berdampak pada secondary flow menghasilkan tekanan yang optimum sebesar 0,81 bar sehingga evaporator cepat vakum. Semakin cepat ruang evaporator vakum maka semakin cepat pula dimulainya proses pembuatan air laut menjadi air tawar pada alat FWG

Kata kunci: *Ejector FWG; tekanan; primary flow; diameter exit nozzle; secondary flow*

PENDAHULUAN

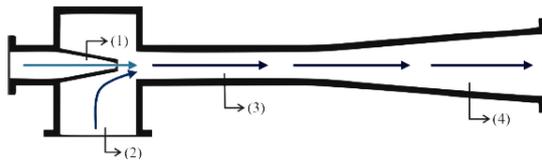
Ejector adalah perangkat yang banyak digunakan sebagai pompa, kompresor, mixer, pemanas atau perangkat transportasi di banyak industri (Sokolov, 1989; Tsegelsky, 2003; Vasiliev, 1971). *Ejector* atau pompa jet, adalah perangkat yang menggunakan momentum suatu motif cairan untuk menyedot cairan lain, yang disebut aliran sekunder. Performa *ejector* aksi pemompaan mereka dengan transfer energi dari kecepatan tinggi jet ke salah satu kecepatan rendah (Mallela, 2011).

Pada dasarnya, *ejector* memiliki dua saluran masuk dan pelepasan yang memungkinkan aliran utama mengalir ke dalam aliran bertekanan rendah sekunder. Kedua aliran dicampur di dalam perangkat dan dibuang pada beberapa tekanan menengah. Dengan demikian, pemompaan disediakan oleh *ejector* sebagai prinsip operasinya generasi vakum yang diperlukan untuk membuat hisap, melalui

percepatan aliran primer melalui nozzle (Tashtoush, 2019).

Di dunia maritim salah satu aplikasi penggunaan *ejector* adalah pada alat *fresh water generator* (FWG) yang digunakan untuk merubah air laut menjadi air tawar di atas kapal (Iing dkk, 2019).

Sebuah *ejector* memiliki empat komponen dasar seperti dapat dilihat pada Gambar 1. *Nozzle* bertindak sebagai pengubah energi potensial menjadi energi kinetik dan menciptakan distribusi turbulensi tertentu dalam jet; hisapan ruang memasok cairan yang disuntikkan ke jet cairan daya; pencampuran bagian (*throat*) adalah tempat pencampuran dan pemerataan medan kecepatan dua arus terjadi; dan diffuser bertindak sebagai konverter aliran kinetik total menjadi energi potensial dengan mengurangi kecepatan secara bertahap (Livia, 2021)



Gambar 1. Diagram skema komponen ejector jet cair

- (1) nosel,
 (2) ruang hisap,
 (3) ruang pencampuran,
 (4) diffuser (Livia, 2021)

Ejector dibuat untuk menciptakan ruang hampa yang hampir sempurna dengan kemampuan hisap yang kuat. Konstruksi *ejector* dibuat dengan berbagai komponen untuk memaksimalkan kemampuannya. Konstruksi *ejector* secara umum terdapat pada Gambar 1. (Zhu dkk, 2013)

Ejector sebagai pompa memiliki karakteristik kemampuan hisap yang tinggi. Secara umum karakteristiknya dipengaruhi oleh geometri komponen yang terdiri dari tiga bagian utama yaitu: *nozzle*, ruang pencampur dan diffuser (Rizgar B. dkk. 2015)

Novi dan Syamsuri (2017) melakukan penelitian yang dilakukan secara simulasi numerik menggunakan *software* komersial CFD dengan *k-epsilon* untuk memprediksi fenomena aliran yang melewati *nozzle* pada *ejector converging-diverging* dengan memvariasikan diameter *exit nozzle* meliputi 3,5 mm; 4 mm; 5 mm; dan 5,5 mm. Hasil simulasi menunjukkan *steam ejector* dengan diameter *exit nozzle* terkecil 3,5 mm memberikan performansi yang optimum karena memiliki kecepatan tertinggi, maka tingkat vakum pada *mixing chamber* meningkat menyebabkan massa *secondary flow* bertambah dan nilai *entrainment ratio* semakin tinggi.

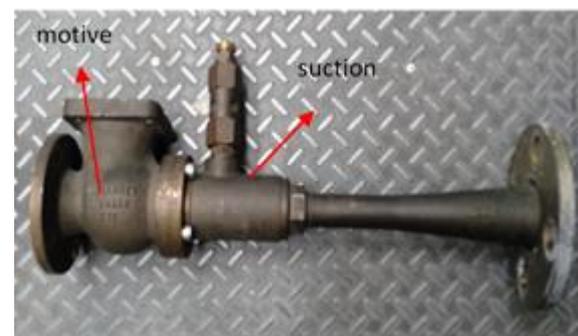
Susanto dkk (2020) melakukan penelitian eksperimental pengaruh variasi bukaan katup bypass *primary flow* dan diameter throat *nozzle* terhadap *entrainment ratio* *ejector*. Parameter pada penelitian ini adalah variasi bukaan katup Bypass ada 5 posisi bukaan, pada *primary flow* mengalir fluida sebanyak 30 liter, diameter throat *nozzle* 2, 3 dan 5 mm. Hasil eksperimen diperoleh bahwa laju aliran massa tertinggi terjadi pada *nozzle* 3 dengan miring geometri ukuran diameter *throat* 5 mm dan diameter ujung *nozzle* 10 mm. Laju aliran massa *nozzle* 3 pada *primary flow* 0.20689 Kg/s. Laju aliran massa

nozzle 3 pada *secondary flow* 0.01177 Kg/s. Nilai *entrainment ratio* tertinggi *nozzle* 1 terjadi saat bukaan katup Bypass $\frac{3}{4}$ dengan nilai 0.1393. Nilai *entrainment ratio* tertinggi *nozzle* 2 terjadi saat bukaan katup Bypass 1 atau tutup penuh dengan nilai 0.134. Nilai *entrainment ratio* tertinggi *nozzle* 3 terjadi saat bukaan katup Bypass $\frac{3}{4}$ dengan nilai 0.0619. Nilai *entrainment ratio* sangat dipengaruhi diameter *Throat Nozzle* dan kesesuaian tekanan *primary flow* masuk *ejector*.

Kegunaan *ejector* pada FWG adalah membuat ruangan evaporator menjadi vakum dalam waktu singkat agar proses desalinasi segera terjadi. Untuk itu perlu dilakukan penelitian-penelitian lebih lanjut agar *ejector* pada FWG dapat bekerja optimum. Pada penelitian ini *ejector* FWG akan di redesain Parameter yang diteliti adalah tekanan masuk (*primary flow*) pada *motive* adalah 300, 400 kPa (3, 4 bar) kemudian divariasikan juga ukuran diameter *exit nozzle* adalah 5, 6, dan 7 mm. Di analisa pengaruhnya tekanan masuk terhadap tekanan pada diameter exit nosel dan tekanan pada *secondary flow*.

METODOLOGI

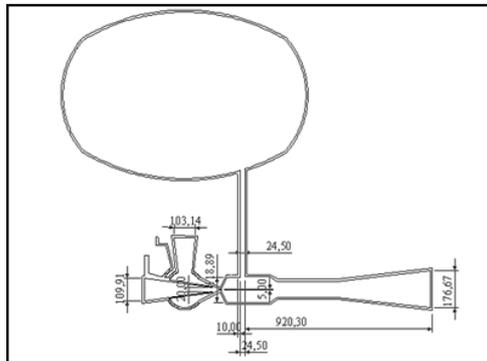
Pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan re-desain *ejector* FWG di laboratorium *real engine*. Gambar 2 adalah gambar *ejector* FWG.



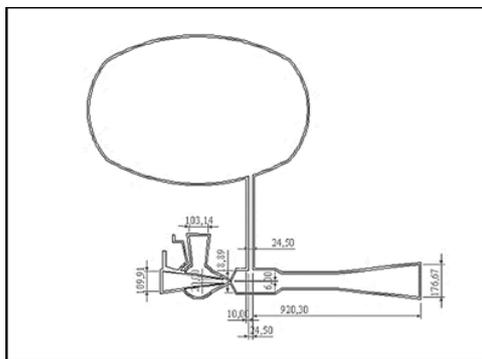
Gambar 2. Ejector

Penelitian ini dilakukan dengan metode numerik 2 dimensi yang menggunakan *software* CFD komersial. Model *ejector* yang digunakan dalam simulasi ini adalah model *ejector (base model)* berdasarkan dimensi *ejector* aslinya.

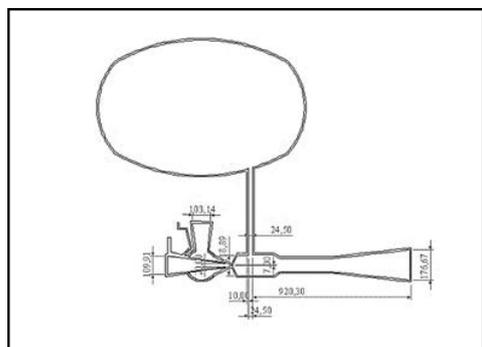
Adapun parameter pada penelitian ini tekanan masuk pada *motive (primary flow)* adalah konstan sebesar 300, 400 kPa (3, 4 bar). Variasi diameter *exit nozzle* (5, 6, dan 7 mm). Lama pengujian adalah 60 detik.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Sketsa ejector diameter Nozzle
(a) 5 mm, (b) 6 mm, (c) 7 mm

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu:

a. Pembuatan model *Ejector*

Pada awal penelitian ini adalah pembuatan gambar *ejector* FWG dan dilanjutkan dengan penggambaran di *software* CAD (*solid Work*) seperti pada gambar 3.

Gambar *ejector* kemudian di redesain geometrinya yaitu diameter *exit nozzle* dibuat dengan tiga variasi ukuran (5, 6 dan 7 mm). Panjang *throat* 5 mm. Jarak antara ujung *nozzle* dengan pipa aliran keluar dibuat dengan posisi tetap. Ujung *nozzle* berada pada posisi 3 mm masuk ke dalam pipa saluran keluar diukur dari posisi ujung bagian dalam. Gambar redesain *ejector* bisa dilihat pada gambar 3.

b. Pengujian dengan *software* CFD

Pada tahap ini menggunakan *software* CFD komersial Fluent yang dimulai dengan memasukkan data hasil *meshing*. *Laminar model* pada penelitian ini menggunakan *k-epsilon* RNG dengan fluida yang dipakai adalah H_2O . Untuk *properties density* (ρ) = 998,2 kg/m³; *viscosity* = 0,001003 kg.m.s, Kalor spesifik = 4182 (J/kg.K); *Konduktivitas termal* (k) = 0,6 (W/m K); dan *Massa molekul* (M_m) = 18,0152 (kg/kmol).

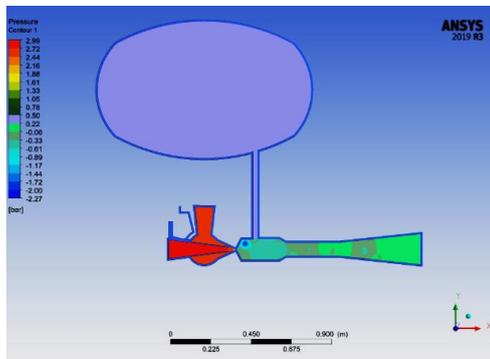
Batasan yang terjadi pada aliran yang melewati benda uji berupa *pressure inlet* 4 bar dan *pressure outlet* 1 bar. Untuk *Gauge Total Pressure*: 0,986923 atm, Sedangkan Untuk *pressure suction* sebesar 4 bar dan temperaturnya 30°C. Kemudian untuk *pressure discharge* pada panel yang berbeda yakni memakai kondisi batas *pressure outlet* dan *Gauge pressure* sebesar 1 bar pada temperatur 30°C. Solusi yang digunakan dalam simulasi ini adalah *second order* dengan kriteria konvergen sebesar 10⁻⁵ pada kondisi *transient*. Karena *transient*, maka menggunakan time step 600 kali dengan number of time step 600, time step size 0,1 detik. Maks iterations/ time step 20.

Tahap selanjutnya adalah pengambilan data hasil pengujian. Pada tahap ini dilakukan proses menampilkan hasil dan analisa hasil pengujian yang diperoleh. Adapun data yang akan diambil antara lain kontur *pressure* pada *primary flow*, diameter *exit nozzle*, *secondary flow*.

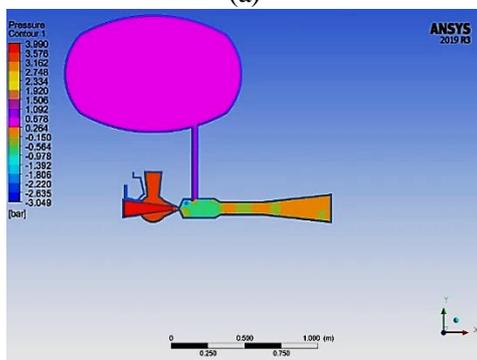
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa pada penelitian ini adalah mengetahui pengaruh tekanan *primary flow*

dan variasi diameter *exit nozzle* terhadap *secondary flow* yang dapat memberikan performansi paling optimal pada proses vakum evaporator. Data-data yang ditampilkan berupa kontur *pressure* pada *primary flow*, *diameter exit nosel* dan *secondary flow*. Pengaruh *primary flow* (3 dan 4 bar) dan diameter *exit nozzle* 5 mm terhadap tekanan statis di *secondary flow* dapat dilihat pada gambar 4.



(a)



(b)

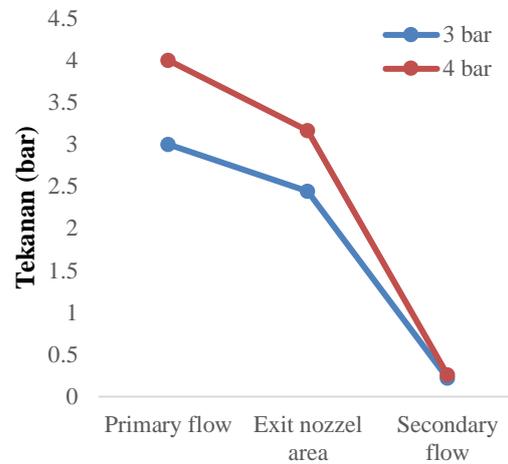
Gambar 4. Diameter exit Nozzle 5 mm dengan tekanan *primary flow* (a) 3 bar (b) 4 bar.

Setelah dilakukan simulasi menggunakan *software* Ansys dengan *primary flow* sebesar 300, 400 kPa (3 dan 4 bar) pada diameter *exit nozzle* 5 mm maka didapatkan data-data tekanan fluida pada *primary flow*, *exit nozzle* dan *secondary flow* terlihat pada gambar 4 di atas.

Tabel 1. Kontur *pressure* pada diameter *exit nozzle* 5 mm

Ø <i>exit nozzle</i>	<i>Pressure (bar)</i>		
	<i>Primary flow</i>	<i>Exit nozzle area</i>	<i>Secondary flow</i>
5 mm	3	2,44	0,22
5 mm	4	3,16	0,26

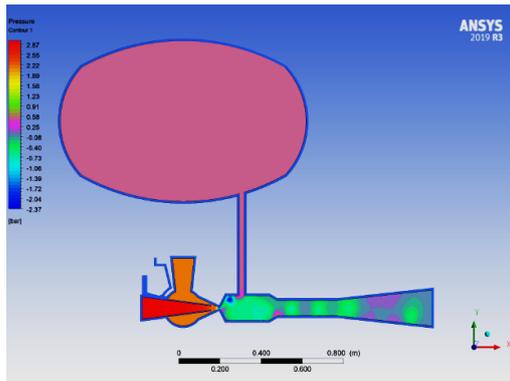
Untuk melihat perubahan tekanan fluida yang terjadi pada diameter *exit nozzle* 5 mm terhadap tekanan di *secondary flow* ditunjukkan pada tabel 1.



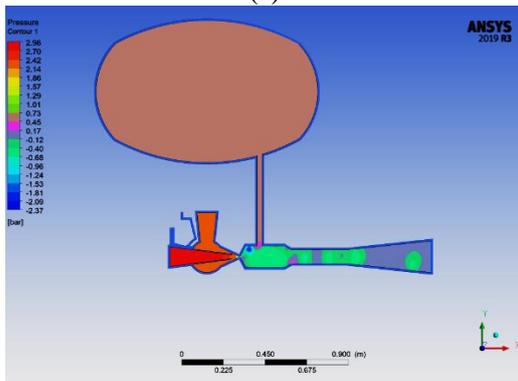
Gambar 5. Tekanan pada *primary flow*, *exit nozzle* dan *secondary flow* pada *exit nozzle* 5 mm

Proses pengujian distribusi tekanan statik fluida pada *exit nozzle* 5 mm dilakukan untuk mengetahui besarnya tekanan aliran yang terjadi pada *secondary flow*. Pada gambar 5 bisa dilihat perubahan nilai tekanan pada *secondary flow* belum signifikan. Pengaruh *primary flow* (3 dan 4 bar) dan diameter *exit nozzle* 6 mm terhadap tekanan statis di *secondary flow*. Setelah dilakukan simulasi menggunakan *software* Ansys dengan tekanan *primary flow* sebesar 300, 400 kPa (3, 4 bar) pada diameter *exit nozzle* 6 mm maka didapatkan data-data tekanan fluida pada *primary flow*, *exit nozzle* dan *secondary flow* terlihat pada gambar 6 berikut ini. Perubahan tekanan fluida yang terjadi pada diameter *exit nozzle* 6 mm terhadap tekanan di *secondary flow* ditunjukkan pada tabel 2.

Proses pengujian distribusi tekanan statik fluida pada *exit nozzle* 6 mm dilakukan untuk mengetahui besarnya tekanan aliran yang terjadi di *secondary flow*. Pada gambar 7 bisa dilihat perubahan nilai tekanan pada *secondary flow* belum optimum.

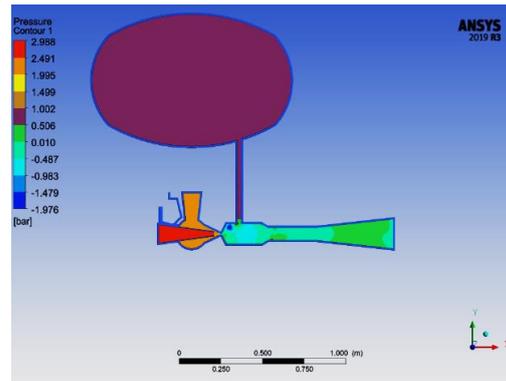


(a)

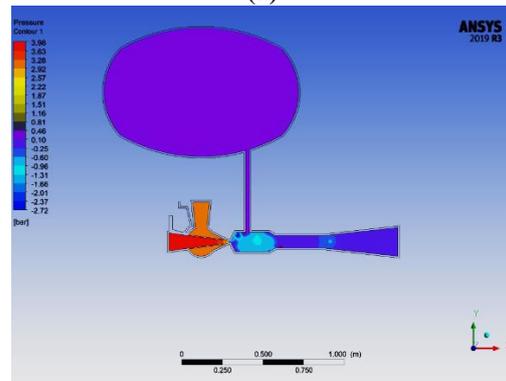


(b)

Gambar 6. Diameter exit nozzle 6 mm dengan tekanan primary flow (a) 3 bar (b) 4 bar.



(a)

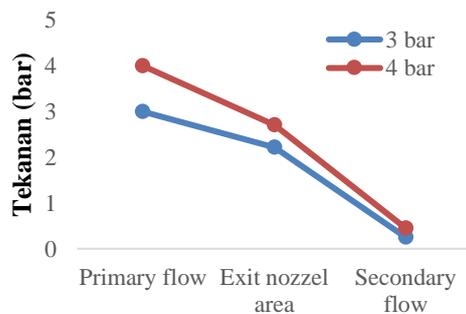


(b)

Gambar 8. Diameter exit nozzle 7 mm dengan tekanan primary flow (a) 3 bar (b) 4 bar.

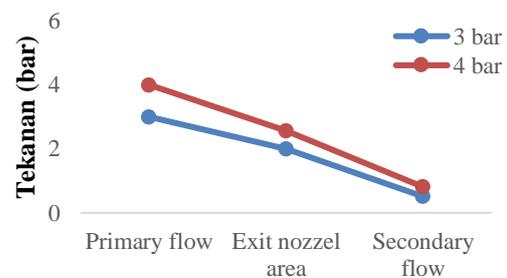
Tabel 2. Kontur pressure pada diameter exit nozzle 6 mm

Ø exit nozzle	Pressure (bar)		
	Primary flow	Ø exit nozzle	Secondary flow
6 mm	3	2,22	0,25
6 mm	4	2,71	0,45



Gambar 7. Tekanan pada primary flow, exit nozzle dan secondary flow pada exit nozzle 6 mm.

Setelah dilakukan simulasi menggunakan software Ansys dengan tekanan primary flow sebesar 300, 400 kPa (3, 4 bar) pada diameter exit nozzle 7 mm maka didapatkan data-data tekanan fluida pada primary flow, exit nozzle dan secondary flow terlihat pada gambar 8. Untuk melihat perubahan tekanan fluida yang terjadi pada diameter exit nozzle 6 mm terhadap tekanan di secondary flow ditunjukkan pada tabel 3.



Gambar 9. Tekanan pada primary flow, exit nozzle dan secondary flow pada exit nozzle 7 mm

Tabel 3. Kontur *pressure* pada diameter *exit nozzle* 7 mm

Ø <i>exit nozzle</i>	<i>Pressure (bar)</i>		
	<i>Primary flow</i>	<i>Exit nozzle area</i>	<i>Secondary flow</i>
7 mm	3	1,99	0,51
7 mm	4	2,57	0,81

Proses pengujian distribusi tekanan statik fluida pada *exit nozzle* 7 mm dilakukan untuk mengetahui besarnya tekanan aliran yang terjadi pada *secondary flow*. Pada gambar 9 bisa dilihat perubahan nilai tekanan pada *secondary flow* sudah optimum.

Tekanan statis fluida diukur pada posisi *primary flow*, bagian luar *exit nozzle* dan bagian luar *secondary flow*. Nilai tekanan tertinggi di *secondary flow* sebesar 0,81 bar pada *primary flow* 4 bar dengan diameter *exit nozzle* 7 mm.

Peningkatan nilai tekanan statis fluida di bagian luar *secondary flow* adalah seiring dengan bertambahnya ukuran diameter *exit nozzle* yang ditunjukkan pada gambar 5, 7 dan 9. Ini dapat terjadi karena adanya pengaruh perubahan luas penampang venturi, dimana menurut persamaan Bernoulli dikatakan bahwa makin luas sebuah penampang venturi maka makin besar tekanannya (Munson dkk,2004).

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang telah dibahas mengenai pengaruh tekanan *primary flow* (3, 4 bar) dan variasi diameter *exit nozzle* (5, 6 dan 7 mm) terhadap performa tekanan *secondary flow* pada *ejector* dan karakteristik aliran yang melewatinya maka

- Pada tekanan *primary flow* 3, 4 bar dan variasi diameter *exit nozzle* 5 mm terhadap performa tekanan *secondary flow* berturut turut nilainya 0,22 dan 0,26 bar, terjadi peningkatan nilai tekanan di *secondary flow* tetapi masih belum signifikan.
- Pada tekanan *primary flow* 3, 4 bar dan variasi diameter *exit nozzle* 6 mm terhadap performa tekanan *secondary flow* berturut turut nilainya 0,25 dan 0,45 bar, terjadi peningkatan nilai tekanan di *secondary flow* tetapi Monsun masih belum optimum.
- Pada tekanan *primary flow* 3, 4 bar dan variasi diameter *exit nozzle* 7 mm terhadap

performa tekanan *secondary flow* berturut-turut nilainya 0,51 dan 0,81 bar, terjadi peningkatan nilai tekanan di *secondary flow* yang optimum.

- Parameter yang optimum untuk mempercepat proses vakum pada evaporator adalah tekanan *primary flow* 4 bar dengan diameter *exit nozzle* 7 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- B.M. Tashtoush, M.A. Al-Nimr, M.A. Khasawneh. (2019). A comprehensive review of ejector design, performance, and applications, *Appl. Energy* 240 138–172.
- E.Y. Sokolov, N.M. Zinger. (1989). *Inkjet Devices*, third ed., Energoatomisdat, Moscow.
- Iing M, Abdurahman, Haris R., (2019), Studi Kinerja Fresh Water Generator Di Kapal AHTS PETEKA 5401, *Jurnal Sains Indah R, N dan Syamsuri dan Rianata P, R.* (2017). Simulasi Numerik Aliran Melewati *Nozzle* Pada *Ejector Converging-Diverging* dengan Variasi Diameter *Exit Nozzle*. Surabaya, Institut Teknologi Adhi Tama. REM Jurnal2.
- James R. Lines. (1997). *Understanding Ejector systems necessary to troubleshoot vacuum distillation. Oil and gas journal*
- Livia Bueno Reis, Rafael dos Santos Gioria. (2021) Optimization of liquid jet ejector geometry and its impact on flow fields *Applied Thermal Engineering* 194, 117-132
- R. Mallela, D. Chatterjee. (2011). Numerical investigation of the effect of geometry on the performance of a jet pump, *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.* 225 (7), 1614–1625.
- Rizgar B, Well and Ibrahim J, and Molan, M. 2015. *Effect of Nozzle Diameter on Steam Ejector Performance*. Kurdistan, Iraq. *University of Salahaddin*.
- Susanto, Muhammad Subri dan Muh.Amin. (2020). Pengaruh Variasi Buka-an Katup *Bypass Primary flow* Dan Diameter *Throat Nozzle* Terhadap *Entrainment Ratio Ejector*. Seminar

- Nasional Teknologi Industri Hijau 3, 109-119.
- V.G. Tsegelsky. (2003). Two-Phase Jet Devices, Publishing House at N.E. Bauman Moscow State Technical University, Moscow,.
- Y.N. Vasiliev. (1971). Theory of a Two-Phase Gas-Liquid Ejector with Cylindrical Mixing Chamber, Shoulder machines and inkjet devices. 5, 175–261.
- Zhu, Yin Hai, Jiang, Peixue. (2013). *Experimental and Numerical Investigation of the Effect of Shock Wave Characteristic on the Ejector Performance*. International Journal of Refrigerant. 40, 31- 42,.