

Analisis Numerik Pengaruh Variasi Jarak Nosel dan Kecepatan Udara Inlet terhadap Karakteristik Tekanan Pompa Vakum Jet Ejector Menggunakan CFD

A'rasy Fahrudin^{1*}, Lukman Hudi², Bambang Surono³, Mulyadi¹

¹Prodi Teknik Mesin, Fakultas Saintek, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Jl. Raya Gelam 250, Sidoarjo, Indonesia

²Prodi Teknologi Pangan, Fakultas Saintek, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Jl. Raya Gelam 250, Sidoarjo, Indonesia

³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro
Jl. Ki Hajar Dewantara 15 A Kota Metro, Lampung, Indonesia

*Corresponding author: arasy.fahrudin@umsida.ac.id

Abstract

This study aims to analyze the effect of variations in nozzle spacing and inlet air velocity on the vacuum pressure and flow velocity distribution in a jet ejector vacuum pump. The method used is a numerical simulation based on Computational Fluid Dynamics (CFD) to obtain a detailed picture of the fluid flow characteristics in the system. The variations in nozzle spacing studied include 14 mm, 16 mm, and 18 mm, while the inlet air velocity is varied at 10 m/s, 15 m/s, and 20 m/s. The simulation results show that increasing the nozzle spacing tends to reduce the pressure on the venturi, thereby increasing the vacuum effect, with optimal conditions obtained at a distance of 18 mm and an inlet velocity of 10 m/s. Under these conditions, the pressure in the tube reaches the lowest value compared to other variations. However, increasing the inlet air velocity actually causes an increase in pressure in the tube due to turbulence and backflow, thereby reducing or even eliminating the vacuum effect at velocities of 15 m/s and 20 m/s. Overall, the performance of a jet ejector is greatly influenced by a combination of geometric and operational parameters.

Keywords: Jet ejector; vacuum pressure; Computational Fluid Dynamics (CFD); nozzle distance; inlet velocity.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jarak nosel dan kecepatan udara inlet terhadap tekanan dan distribusi kecepatan aliran pada pompa vakum jet *ejector*. Metode yang digunakan adalah simulasi numerik menggunakan software *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk memperoleh distribusi tekanan dan aliran fluida di dalam sistem. Variasi jarak nosel yang divariasikan sebesar 14 mm, 16 mm, dan 18 mm, sedangkan kecepatan udara inlet divariasikan sebesar 10 m/s, 15 m/s, dan 20 m/s. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jarak nosel yang cukup jauh akan menurunkan tekanan venturi sehingga meningkatkan efek vakum, dengan kondisi optimal diperoleh pada jarak 18 mm dan kecepatan inlet 10 m/s. Pada kondisi ini, tekanan dalam tabung mencapai nilai terendah dibanding variasi lainnya. Namun, peningkatan kecepatan udara inlet justru menyebabkan kenaikan tekanan di dalam tabung akibat terjadinya turbulensi dan aliran balik, sehingga mengurangi bahkan menghilangkan efek vakum pada kecepatan 15 m/s dan 20 m/s. Penentuan parameter yang sesuai antara jarak nosel dan kecepatan inlet sangat penting untuk menghasilkan tekanan vakum yang optimal dan efisiensi sistem yang tinggi.

Kata kunci: Jet ejector; tekanan vakum; Computational Fluid Dynamics (CFD); jarak nosel; kecepatan inlet.

1. Pendahuluan

Pompa vakum jet *ejector* merupakan salah satu perangkat yang dapat digunakan dalam berbagai sektor industri karena konstruksinya yang sederhana, tidak memiliki bagian bergerak, serta membutuhkan biaya perawatan yang relatif rendah [1–5]. Prinsip kerja alat ini didasarkan pada pemanfaatan fluida berkecepatan tinggi yang keluar dari nosel untuk menciptakan daerah bertekanan rendah (vakum), sehingga mampu menghisap fluida sekunder dari lingkungan sekitarnya. Keunggulan ini menjadikan jet *ejector* banyak diaplikasikan pada sistem refrigerasi, industri kimia, pembangkit energi, hingga proses vakum lainnya.

Kinerja pompa vakum jet *ejector* sangat dipengaruhi oleh parameter geometris dan operasional yang digunakan. Salah satu parameter geometris yang penting adalah jarak nosel terhadap ruang pencampuran (*mixing chamber*) [6–10]. Variasi jarak nosel dapat memengaruhi pola aliran, tingkat turbulensi, serta efisiensi pencampuran antara fluida primer dan sekunder. Apabila jarak nosel tidak optimal, maka proses transfer momentum tidak berlangsung secara efektif, sehingga tekanan vakum yang dihasilkan menjadi kurang maksimal.

Selain itu, parameter operasional seperti kecepatan udara inlet juga memiliki peran yang signifikan terhadap performa *ejector* [11,12]. Kecepatan fluida yang lebih tinggi cenderung meningkatkan energi kinetik fluida primer, yang pada kondisi tertentu dapat memperbesar kemampuan hisap. Namun demikian, peningkatan kecepatan udara berlebih malah akan menimbulkan kerugian energi akibat gesekan dan turbulensi berlebih, sehingga menurunkan kemampuan hisapnya.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji performa jet *ejector* dengan berbagai variasi parameter. Penelitian oleh Huang dan Liu menunjukkan bahwa desain nosel dan rasio luas penampang sangat memengaruhi efisiensi *ejector* [13,14]. Selanjutnya, penelitian oleh Marcia et al. menemukan bahwa posisi nosel yang optimal dapat meningkatkan rasio *entrainment* dan menurunkan tekanan vakum secara signifikan [15–17]. Selain itu,

studi oleh Tashtoush et al. menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) juga membuktikan bahwa variasi kecepatan inlet memiliki pengaruh langsung terhadap distribusi tekanan dan kecepatan aliran di dalam *ejector* [18–20]. Penelitian sebelumnya terutama berfokus pada geometri ruang pencampuran, rasio *entrainment*, dan konfigurasi nosel. Namun, pengaruh gabungan antara jarak antar-nosel dan kecepatan aliran masuk terhadap pembentukan vakum masih kurang mendapat perhatian.

Pompa vakum jet *ejector* dapat diaplikasikan pada sistem *freeze dryer* karena kemampuannya dalam menghasilkan tekanan vakum tanpa menggunakan komponen mekanis yang kompleks [21–23]. Dalam proses *freeze drying*, kondisi vakum sangat diperlukan untuk mempercepat sublimasi es menjadi uap tanpa melalui fase cair, sehingga kualitas produk tetap terjaga, terutama pada bahan pangan, farmasi, dan bioteknologi. Penggunaan jet *ejector* sebagai sumber vakum menawarkan keunggulan berupa konstruksi yang sederhana, tahan terhadap kondisi operasi yang ekstrem, serta biaya perawatan yang rendah dibandingkan pompa vakum konvensional.

Berdasarkan latar belakang tersebut, novelty penelitian ini adalah mengevaluasi interaksi jarak nosel dan kecepatan inlet terhadap distribusi tekanan menggunakan simulasi CFD tiga dimensi. Dengan memahami hubungan antara parameter geometris dan kecepatan tersebut, diharapkan dapat diperoleh setting yang optimal untuk meningkatkan performa dan efisiensi sistem. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi jet *ejector* yang lebih efektif dan aplikatif di berbagai bidang industri.

2. Metode

Metode penelitian dalam studi ini menggunakan pendekatan simulasi numerik berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk menganalisis pengaruh variasi jarak nosel dan kecepatan udara inlet terhadap tekanan vakum dan distribusi kecepatan aliran pada pompa vakum jet

ejector. Pendekatan CFD dipilih karena mampu memberikan gambaran detail mengenai karakteristik aliran fluida di dalam sistem, termasuk distribusi tekanan, kecepatan, serta fenomena turbulensi yang sulit diamati secara langsung melalui eksperimen.

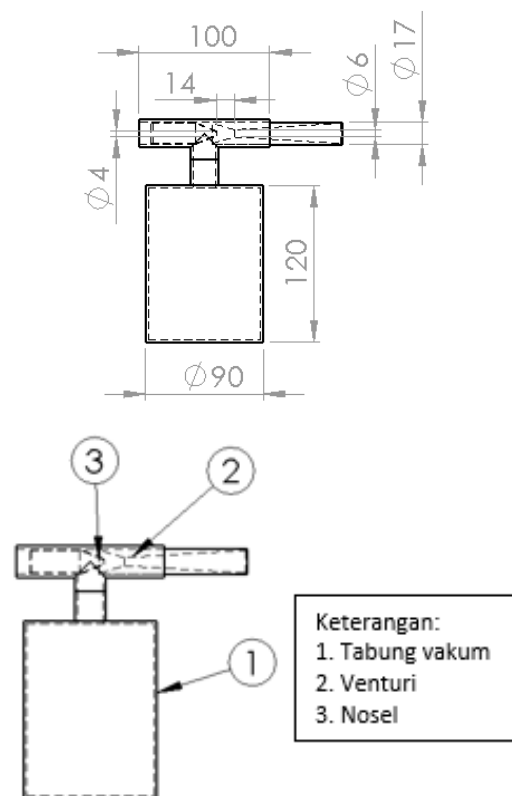
Tahapan penelitian diawali dengan pembuatan model geometris jet *ejector* yang meliputi nosel, ruang pencampuran (*mixing chamber*), dan diffuser. Kemudian simulasi numerik dilakukan dengan software *Solidwork Flow Simulation*. Variasi jarak nosel yang dikaji meliputi 14 mm, 16 mm, dan 18 mm. Variasi jarak ini dipilih untuk merepresentasikan perubahan kecil namun signifikan pada posisi nosel terhadap venturi tanpa mengubah geometri utama *ejector*. Rentang ini dipilih agar dapat diamati pengaruh jarak nosel terhadap pembentukan daerah tekanan rendah, proses *entrainment*, dan pencampuran fluida di ruang pencampuran. Jarak yang terlalu dekat menyebabkan jet primer belum berkembang secara optimal, sedangkan jarak yang terlalu jauh berpotensi meningkatkan kehilangan energi akibat difusi jet sebelum memasuki venturi.

Setelah proses *meshing*, dilakukan penentuan kondisi batas (*boundary conditions*) yang meliputi kecepatan udara inlet sebagai fluida primer, tekanan outlet, serta kondisi dinding sebagai no-slip condition. Variasi kecepatan udara inlet dimasukkan sebagai parameter utama dalam simulasi untuk menganalisis perubahan energi kinetik fluida terhadap kemampuan menghasilkan tekanan vakum. Kecepatan udara inlet divariasikan pada 10 m/s, 15 m/s, dan 20 m/s. Variasi kecepatan ini dipilih untuk merepresentasikan kondisi operasi dari kecepatan rendah, sedang, hingga tinggi yang masih dapat dihasilkan secara stabil oleh sistem pengujian.

Hasil simulasi berupa distribusi tekanan dan pola aliran dianalisis secara visual dan kuantitatif. Data tekanan vakum diambil pada titik tertentu di dalam ruang pencampuran. Tahap akhir penelitian dilakukan dengan membandingkan hasil

dari setiap variasi jarak nosel dan kecepatan udara inlet untuk menentukan konfigurasi yang menghasilkan performa optimal.

Gambar 1 menunjukkan desain pompa vakum jet *ejector* yang terdiri dari tiga komponen utama, yaitu tabung vakum, venturi, dan nosel, lengkap dengan ukuran geometrinya. Tabung vakum (1) berbentuk silinder dengan diameter $\varnothing 90$ mm dan tinggi 120 mm yang berfungsi sebagai ruang yang akan divakumkan. Venturi (2) terletak secara horizontal dengan diameter $\varnothing 17$ mm dan panjang total 100 mm, yang berfungsi sebagai ruang pencampuran sekaligus daerah penyempitan (*throat*) untuk menghasilkan penurunan tekanan. Throat memiliki diameter sebesar $\varnothing 6$ mm. Pada bagian atas tabung terhubung dengan sistem *ejector* dengan nosel (3) berdiameter $\varnothing 4$ mm.



Gambar 1. Desain pompa vakum jet *ejector* yang akan disimulasikan

Prinsip kerja alat ini adalah ketika udara bertekanan masuk melalui nosel dengan kecepatan tinggi, maka fluida tersebut akan mengalami percepatan saat memasuki venturi. Pada bagian

penyempitan venturi, kecepatan meningkat dan tekanan menurun sesuai prinsip Bernoulli, sehingga menciptakan daerah bertekanan rendah yang mampu menghisap udara dari tabung vakum. Namun, ketika kecepatan aliran meningkat hingga mencapai bilangan *Mach* (Ma) lebih dari 0.3, perubahan densitas udara menjadi signifikan sehingga asumsi aliran inkompresibel pada persamaan Bernoulli tidak lagi sepenuhnya berlaku. Variasi jarak nosel memengaruhi proses entrainment dan *mixing*, yaitu pencampuran momentum antara fluida primer dan sekunder melalui pembentukan *shear layer*, yang menentukan distribusi tekanan dan kecepatan hisap.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi dengan jarak nosel 14 mm dan kecepatan udara inlet 10 m/s

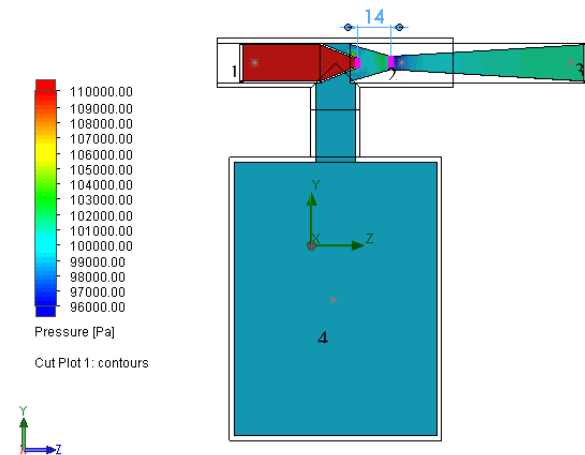
Gambar 2 menunjukkan distribusi tekanan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 14 mm dan kecepatan inlet 10 m/s. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa tekanan pada tabung cukup rendah di bawah tekanan atmosfer, sehingga didapatkan tekanan vakum. Tekanan tertinggi terjadi di dalam nosel, sedangkan tekanan terendah berada di daerah penyempitan pada venturi. Nilai tekanan dan kecepatan pada masing-masing titik 1, 2, 3, dan 4 ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai tekanan dan kecepatan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 14 mm dan kecepatan udara inlet 10 m/s.

X [m]	Y [m]	Z [m]	Pressure [Pa]	Velocity [m/s]
-0.003	0.077	-0.024	143125.87	9.987
-0.003	0.077	0.038	97524.01	103.47
-0.003	0.077	0.11	101303.23	21.345
-0.003	-0.023	0.009	98961.8	0.165

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa tekanan pada daerah penyempitan *venture* mencapai 97524.01 Pa, yang berada di bawah tekanan atmosfer sehingga dapat memberikan efek vakum terhadap udara di dalam tabung. Tekanan di dalam tabung mencapai 98961.8 Pa juga berada di bawah

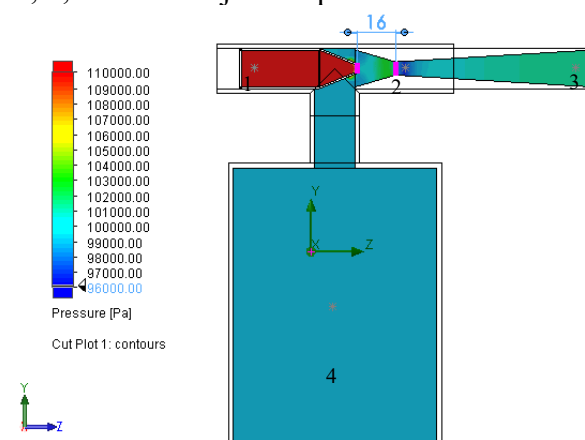
tekanan udara atmosfer. Sedangkan tekanan nosel mencapai 143125.87 Pa.



Gambar 2. Distribusi tekanan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 14 mm dan kecepatan udara inlet 10 m/s.

Hasil simulasi dengan jarak nosel 16 mm dan kecepatan udara inlet 10 m/s

Gambar 3 menunjukkan distribusi tekanan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 16 mm dan kecepatan inlet 10 m/s. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa tekanan pada tabung cukup rendah di bawah tekanan atmosfer, sehingga didapatkan tekanan vakum. Tekanan tertinggi terjadi di dalam nosel, sedangkan tekanan terendah berada di daerah penyempitan pada venturi. Distribusi tekanan masih menunjukkan kemiripan dengan jarak nosel 14 mm. Nilai tekanan dan kecepatan pada masing-masing titik 1, 2, 3, dan 4 ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 3. Distribusi tekanan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 16 mm dan kecepatan udara inlet 10 m/s.

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa tekanan pada daerah penyempitan venturi mencapai 96897.98 Pa, yang lebih rendah dibanding jarak nosel 14 mm dan memberikan efek vakum terhadap udara di dalam tabung. Hal ini dikarenakan jarak yang sedikit lebih jauh akan mengurangi tekanan akibat kecepatan di daerah penyempitan venturi. Tekanan di dalam tabung mencapai 99053.27 Pa, meski berada di bawah tekanan udara atmosfer tetapi sedikit lebih tinggi dibanding jarak nosel 14 mm. Hal ini dapat terjadi akibat tumbukan antara udara dari nosel yang mengenai permukaan miring dengan udara dari tabung.

Tabel 2. Nilai tekanan dan kecepatan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 16 mm dan kecepatan udara inlet 10 m/s.

X [m]	Y [m]	Z [m]	Pressure [Pa]	Velocity [m/s]
-0.003	0.077	-0.028	146270.99	9.829
-0.003	0.077	0.04	96897.98	101.14
-0.003	0.077	0.112	101303.76	23.968
-0.003	-0.023	0.009	99053.27	0.009

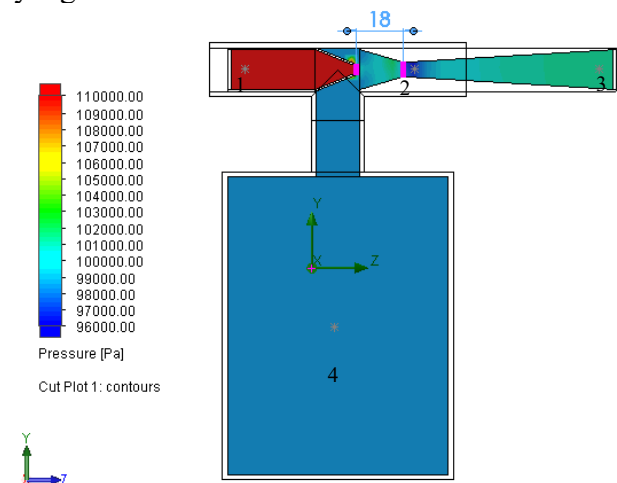
Hasil simulasi dengan jarak nosel 18 mm dan kecepatan udara inlet 10 m/s

Gambar 4 menunjukkan distribusi tekanan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 18 mm dan kecepatan inlet 10 m/s. Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa tekanan pada tabung cukup rendah di bawah tekanan atmosfer, sehingga didapatkan tekanan vakum. Distribusi tekanan juga menunjukkan kemiripan dengan jarak nosel 14 mm dan 16 mm. Nilai tekanan dan kecepatan pada masing-masing titik 1, 2, 3, dan 4 ditunjukkan pada Tabel 3.

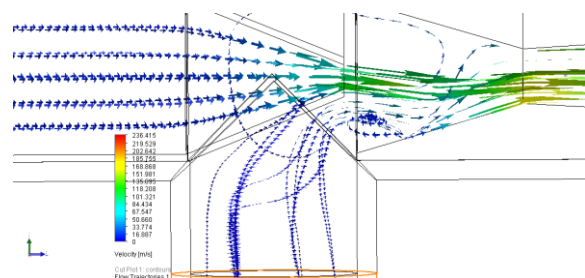
Tabel 3. Nilai tekanan dan kecepatan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 18 mm dan kecepatan udara inlet 10 m/s.

X [m]	Y [m]	Z [m]	Pressure [Pa]	Velocity [m/s]
-0.003	0.077	-0.026	156086.96	9.854
-0.003	0.077	0.04	96648.64	113.115
-0.003	0.077	0.112	101299.3	19.637
-0.003	-0.023	0.009	98471.67	0.0007098

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa tekanan pada daerah penyempitan venturi mencapai 96648.64 Pa, merupakan tekanan yang paling rendah dibanding jarak nosel 14 mm dan 16 mm. Hal ini dikarenakan semakin jarak nosel semakin kecil tekanan akibat kecepatan yang terbentuk di daerah penyempitan venturi. Tekanan di dalam tabung mencapai 98471.67 Pa juga merupakan tekanan terendah dibanding jarak nosel 14 mm dan 16 mm. Hal ini dikarenakan jarak yang cukup jauh memberikan ruang sirkulasi antara udara inlet dan udara dari tabung untuk menuju venturi, disamping karena tekanan venturi yang lebih rendah.



Gambar 4. Distribusi tekanan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 18 mm dan kecepatan udara inlet 10 m/s.



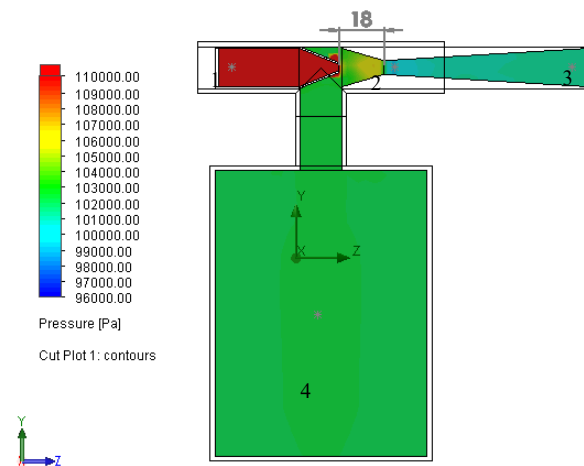
Gambar 5. Vektor kecepatan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 18 mm dan kecepatan udara inlet 10 m/s.

Gambar 5 menunjukkan vektor kecepatan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 18 mm dan kecepatan udara inlet 10 m/s. Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa pada kecepatan udara yang cukup dan jarak nosel yang memadai akan menghasilkan

aliran hisap dari tabung menuju venturi yang menghasilkan tekanan vakum. Jarak yang cukup memberikan ruang yang cukup bagi udara yang menumbuk dinding venturi untuk berputar kembali bersama-sama dengan udara dari tabung menuju outlet.

Hasil simulasi dengan jarak nosel 18 mm dan kecepatan udara inlet 15 m/s

Gambar 6 menunjukkan distribusi tekanan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 18 mm dan kecepatan inlet 15 m/s. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa tekanan pada tabung sedikit lebih tinggi dari tekanan atmosfer, sehingga tidak didapatkan tekanan vakum. Nilai tekanan dan kecepatan pada masing-masing titik 1, 2, 3, dan 4 ditunjukkan pada Tabel 4.



Gambar 6. Distribusi tekanan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 18 mm dan kecepatan udara inlet 15 m/s.

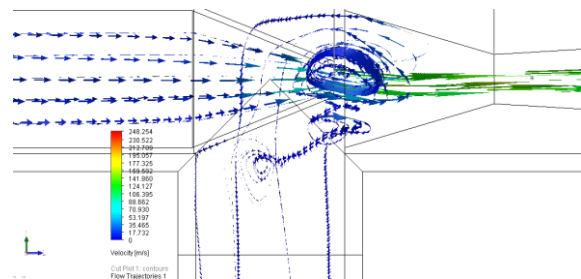
Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa tekanan pada daerah penyempitan venturi mencapai 99011.07 Pa, yang sebenarnya masih berada di bawah tekanan atmosfer. Akan tetapi tekanan di dalam tabung mencapai 102292.58 Pa yang berada sedikit di atas tekanan udara atmosfer, sehingga tidak terjadi tekanan vakum.

Gambar 7 menunjukkan vektor kecepatan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 18 mm dan kecepatan udara inlet 15 m/s. Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa pada kecepatan yang cukup tinggi udara dari nosel mengalami tumbukan yang cukup besar dengan dinding venturi sehingga

terjadi aliran balik menuju tabung. Aliran balik ini menyebabkan tekanan pada tabung tidak dapat mencapai kondisi vakum, sebaliknya malah terjadi tekanan positif yang lebih besar disbanding tekanan atmosfer.

Tabel 4. Nilai tekanan dan kecepatan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 18 mm dan kecepatan udara inlet 15 m/s.

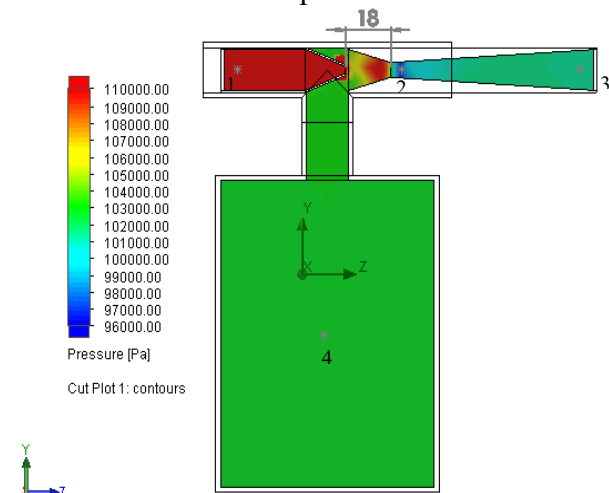
X [m]	Y [m]	Z [m]	Pressure [Pa]	Velocity [m/s]
-0.003	0.077	-0.026	215350.68	14.705
-0.003	0.077	0.04	99011.07	84.716
-0.003	0.077	0.112	101374.17	31.733
-0.003	-0.023	0.009	102292.58	0.568



Gambar 7. Vektor kecepatan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 18 mm dan kecepatan udara inlet 15 m/s.

Hasil simulasi dengan jarak nosel 18 mm dan kecepatan udara inlet 20 m/s

Gambar 8 menunjukkan distribusi tekanan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 18 mm dan kecepatan inlet 20 m/s.



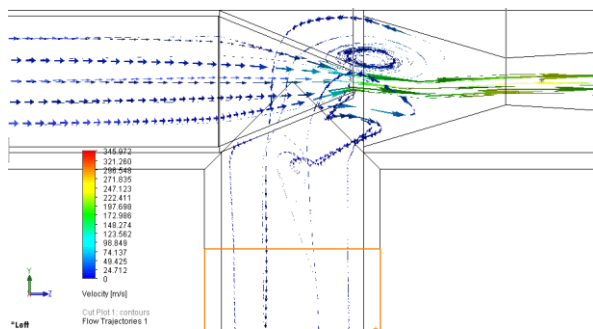
Gambar 8. Distribusi tekanan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 18 mm dan kecepatan udara inlet 20 m/s.

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa tekanan pada tabung semakin tinggi melebihi tekanan atmosfer, sehingga tidak didapatkan tekanan vakum. Tekanan di dinding masuk venturi cukup tinggi meskipun di daerah penyempitan masih rendah. Nilai tekanan dan kecepatan pada masing-masing titik 1, 2, 3, dan 4 ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai tekanan dan kecepatan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 18 mm dan kecepatan udara inlet 20 m/s.

X [m]	Y [m]	Z [m]	Pressure [Pa]	Velocity [m/s]
-0.003	0.077	-0.026	284356.77	19.178
-0.003	0.077	0.04	97182.42	124.767
-0.003	0.077	0.112	101332.11	46.32
-0.003	-0.023	0.009	102675.75	0.959

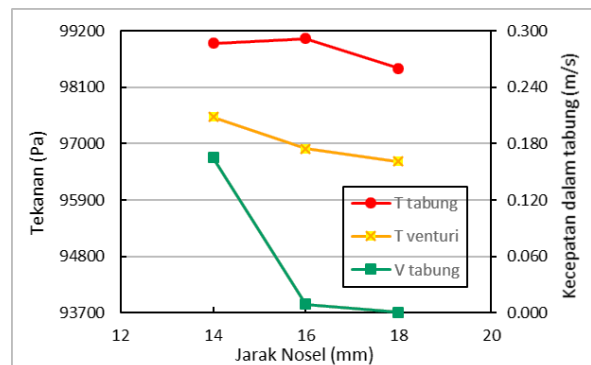
Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa tekanan pada daerah penyempitan venturi mencapai 97182.42 Pa, yang sebenarnya lebih rendah dari kecepatan 15 m/s akibat turbulensi di mulut venturi. Tetapi turbulensi dan tekanan yang tinggi di mulut venturi menyebabkan tekanan di dalam tabung juga cukup tinggi mencapai 102675.75 Pa sehingga juga berada di atas tekanan udara atmosfer dan tidak terbentuk tekanan vakum.



Gambar 9. Vektor kecepatan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 18 mm dan kecepatan udara inlet 20 m/s.

Gambar 9 menunjukkan vektor kecepatan pada vakum *ejector* dengan jarak nosel 18 mm dan kecepatan udara inlet 20 m/s. Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa pada kecepatan udara yang makin tinggi dari nosel menimbulkan tumbukan yang lebih

besar ke dinding venturi sehingga terjadi aliran balik menuju tabung dan tekanan di dalam tabung malah semakin tinggi.

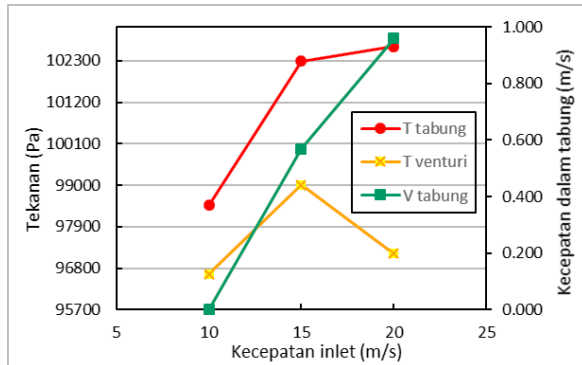


Gambar 10. Grafik pengaruh jarak nosel terhadap tekanan dan kecepatan pada vakum *ejector*.

Grafik pada Gambar 10 menunjukkan hubungan antara variasi jarak nosel terhadap tekanan dan kecepatan aliran pada sistem jet *ejector*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi jarak nosel terhadap venturi sebesar 14 mm, 16 mm, dan 18 mm berpengaruh terhadap tekanan vakum dan daya hisap pompa jet *ejector*. Semakin besar jarak nosel, tekanan vakum yang dihasilkan semakin rendah sehingga daya hisap semakin besar. Kondisi ini menunjukkan bahwa jarak nosel yang lebih panjang meningkatkan proses entrainment dan pencampuran fluida di ruang pencampuran sehingga perpindahan momentum menjadi lebih efektif. Hasil ini sejalan dengan penelitian Macia et al. [15] yang menyatakan bahwa posisi nosel memengaruhi kinerja *ejector*, serta didukung oleh Wu et al. [10] dan Dong et al. [6] yang melaporkan bahwa optimasi geometri ruang pencampuran dapat meningkatkan distribusi tekanan dan efisiensi *ejector*.

Di sisi lain, kecepatan aliran dalam tabung mengalami penurunan yang signifikan ketika jarak nosel bertambah. Pada jarak 14 mm, kecepatan masih relatif tinggi, namun turun drastis pada 16 mm dan semakin kecil pada 18 mm. Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin jauh jarak nosel dari ruang pencampuran, energi kinetik fluida semakin berkurang sehingga kemampuan hisap juga menurun. Secara

keseluruhan, grafik ini memperlihatkan bahwa terdapat jarak nosel optimum yang dapat menghasilkan keseimbangan terbaik antara tekanan vakum dan kecepatan aliran dalam sistem jet *ejector*.



Gambar 11. Grafik pengaruh kecepatan inlet terhadap tekanan dan kecepatan pada vakum *ejector*.

Grafik pada Gambar 11 menunjukkan pengaruh variasi kecepatan udara inlet terhadap tekanan dan kecepatan hisap dalam sistem pompa vakum jet *ejector*. Tekanan dalam tabung mengalami peningkatan dengan bertambahnya kecepatan inlet, dari sekitar 97.800 Pa pada 10 m/s menjadi lebih dari 102.000 Pa pada 20 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan udara yang masuk, malah tidak dihasilkan kevakuman yang diinginkan. Pada kecepatan 20 m/s tekanan pada venturi menurun dibanding kecepatan 15 m/s akan tetapi besarnya turbulensi pada daerah masuk venturi sangat besar sehingga tekanan hisap tetap tidak dihasilkan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi jarak nosel dan kecepatan udara inlet menunjukkan kecenderungan pengaruh terhadap performa pompa vakum jet *ejector*. Semakin besar jarak nosel, tekanan pada venturi sehingga menghasilkan kevakuman yang cukup besar, dengan nilai terbaik diperoleh pada jarak 18 mm. Namun, peningkatan kecepatan udara inlet tidak meningkatkan kinerja sistem. Pada kecepatan 10 m/s

mampu dihasilkan tekanan vakum yang optimal. Sebaliknya, pada kecepatan 15 m/s dan 20 m/s terjadi peningkatan tekanan dalam tabung akibat turbulensi dan aliran balik, sehingga kondisi vakum tidak tercapai. Dengan demikian, kombinasi parameter optimal dalam penelitian ini adalah jarak nosel 18 mm dan kecepatan inlet 10 m/s. Hasil ini menunjukkan bahwa parameter geometris dan kecepatan sangat penting dalam meningkatkan kinerja jet *ejector* untuk aplikasi industri.

Ucapan terimakasih

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Majelis Diktilitbang PP Muhammadiyah yang telah mendukung penelitian ini melalui Program RisetMu Batch IX.

Referensi

- [1] A. A. Melkias and S. Nuno Gomez, "Evaluasi Kinerja Steam Jet *Ejector* Tingkat Pertama Terhadap Kevakuman Kondensor," J. Surya Tek., vol. 11, no. 1, pp. 318–324, 2024, doi: 10.37859/jst.v11i1.7259.
- [2] Sunarto, "Analisa Faktor Penyebab Kerusakan *Ejector* Pump Fresh Water Generator di Kapal MT. Immanuel X," 2024.
- [3] A. R. Widodo, "Analisis Turunnya Tekanan Pompa Ejector Terhadap Vakum Fresh Water Generator di MV. Dewi Ambarwati," 2023.
- [4] Suryanto, A. Rahman, A. Muchtar, A. Reno, and A. Gumara, "Analisis Tingkat Evakuman Pada," Sinergi, vol. 15, no. 2, pp. 109–119, 2017.
- [5] W. Anggono et al., "Pengaruh Flowrate dan Diameter Exit Nozzle terhadap Kemampuan Vacuum Pada *Ejector* Pump," J. Tek. Mesin, vol. 20, no. 2, pp. 64–69, 2023.
- [6] J. Dong et al., "Numerical investigation on the influence of *mixing chamber* length on steam *ejector* performance,"

- Appl. Therm. Eng., vol. 174, no. July 2019, p. 115204, 2020.
- [7] L. B. Reis and S. Gioria, "Optimization of liquid jet *ejector* geometry and its impact on flow fields," Appl. Therm. Eng., vol. 194, no. May, p. 117132, 2021.
- [8] Supandi, E. Karyadi, and Hadimi, "Pengaruh perubahan spasi nosel pada aliran dua fase terhadap kinerja liquid-gas *ejector*," J. Turbo, vol. 10, no. 1, pp. 123–129, 2021.
- [9] T. S. Utomo et al., "Analisa Pengaruh Posisi Keluaran Nosel Primer Terhadap Performa Steam *Ejector* Menggunakan CFD," Rotasi, vol. 13, no. 2, pp. 22–26, 2011.
- [10] H. Wu, Z. Liu, B. Han, and Y. Li, "Numerical investigation of the influences of *mixing chamber* geometries on steam *ejector* performance," Desalination, vol. 353, pp. 15–20, 2014.
- [11] B. S. Nugraha, "Analisa Pengaruh Variasi Sudut *Mixing chamber* Inlet Terhadap Entrainment Ratio Pada Steam *Ejector* dengan Menggunakan CFD," in Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi, Universitas Wahid Hasyim Semarang, 2010, pp. 1–6.
- [12] B. D. Kemur, F. Sappu, and H. Luntungan, "Efektivitas Steam *Ejector* Tingkat Pertama di PLTP Lahendong Unit 2," J. Online Poros Tek. Mesin, vol. 4, no. 2, pp. 116–127, 2015.
- [13] B. J. Huang, J. M. Chang, C. P. Wang, and V. A. Petrenko, "A 1-D analysis of *ejector* performance," Int. J. Refrig., vol. 22, no. December 1998, pp. 354–364, 1999.
- [14] F. Liu, "Review on *Ejector* Efficiencies in Various *Ejector* Systems," in International Refrigeration and Air Conditioning Conference, 2014, p. Paper 1533.
- [15] L. Macia, R. Castilla, P. J. Gamez-montero, and G. Raush, "Multi-Factor Design for a Vacuum *Ejector* Improvement by In-Depth Analysis of Construction Parameters," Sustainability, vol. 14, p. 10195, 2022.
- [16] Y. S. Korkmaz, A. Kibar, K. S. Yigit, E. Erturk, and Z. Doğruyol, "Investigation of a Vacuum *Ejector* Used in a Dynamic Function Vehicle Tire Air Control Valve," J. Appl. Fluid Mech., vol. 18, no. 9, pp. 2361–2376, 2025.
- [17] A. Surjosatyo, F. Vidian, and Y. S. Nugroho, "Kajian Komputasi Pengaruh Posisi Keluaran Nozel Terhadap Kinerja Ejektor Udara Pada Sistem Aliran Resirkulasi Eksternal," in Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9 Palembang, 13-15 Oktober 2010, 2010, pp. 13–15.
- [18] B. M. Tashtoush, M. A. Al-nimr, and M. A. Khasawneh, "A comprehensive review of *ejector* design, performance, and applications," Appl. Energy, vol. 240, no. May 2018, pp. 138–172, 2019.
- [19] N. Ruangtrakoon and S. Aphornratana, "Design of steam *ejector* in a refrigeration application based on thermodynamic performance analysis," Sustain. Energy Technol. Assessments, vol. 31, no. December 2018, pp. 369–382, 2019.
- [20] G. Besagni, R. Mereu, and F. Inzoli, "*Ejector* refrigeration: A comprehensive review," vol. 53, pp. 373–407, 2016.
- [21] M. R. Mansyur, R. A. Pandi, J. T. Mesin, P. Negeri, and U. Pandang, "Kaji Eksperimental Performa Mesin Freeze Drying Dengan Beban Ikan Bandeng," 2020.
- [22] Z. Shaozhi, J. Luo, Q. Wang, and G. Chen, "Step utilization of energy with *ejector* in a heat driven freeze drying system," Energy, vol. 8, no. 195, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.08.195.

- [23] M. A. Junaid, “Rancang Bangun Alat Pengering Rumput Laut Dengan Sistem Vacuum Freeze Drying Menggunakan Refrigeran R- 134A,” 2024.