

Pengaruh perubahan geometri nosel pada aliran dua fase terhadap kinerja liquid-gas ejector

Rusadi^{1*}, Hadimi², Edi Karyadi³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Pontianak
Jl. Ahmad Yani Kota Pontianak Kalimantan Barat Indonesia
*Corresponding author: had_imi@yahoo.co.id

Abstract

Liquid-gas ejector is an energy conversion device capable of flowing air fluid by utilizing water fluid based on the pressure difference between the two fluids without using moving parts. This study aims to determine the effect of changes in nozzle geometry on two-phase flow on the performance of the liquid-gas ejector. The method used is by conducting an experiment whose stages include: determining the nozzle geometry parameter, primary flow rate, and secondary flow rate. Then carry out tests on the installation of liquid-gas ejectors and collect data. The test is done by alternating the nozzle geometry, primary flow rate, and secondary flow rate. Next, analyze the data that has been collected to get the efficiency or performance of the liquid-gas ejector from changes in the nozzle geometry. The results showed that increasing the nozzle geometry tends to cause a decrease in the efficiency and coefficient of the nozzle. The maximum efficiency produced by each nozzle with a geometry of 0.57; 0.64; 0.71; 0.79 and 0.86 respectively were 24.33%, 23.43%, 8.19%, 16.21%, and 7.96%. While the nozzle coefficients are 0.94, respectively; 0.81; 0.59; 0.71; and 0.59.

Keywords: liquid gas ejector, nozzle geometry, performance

Abstrak

Liquid-gas ejector adalah suatu alat konversi energi yang mampu mengalirkan fluida udara dengan memanfaatkan fluida air berdasarkan perbedaan tekanan diantara kedua fluida tersebut tanpa menggunakan bagian-bagian yang bergerak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan geometri nosel pada aliran dua fase terhadap kinerja liquid-gas ejector. Metode yang digunakan yaitu dengan melakukan Eksperimen yang tahapannya meliputi: penentuan parameter geometri nosel, laju aliran primer, dan laju aliran sekunder. Kemudian melakukan pengujian pada instalasi liquid-gas ejector dan pengumpulan data. Pengujian dilakukan dengan cara bervariasi geometri nosel, laju aliran primer, dan laju aliran sekunder secara bergantian. Selanjutnya menganalisa data-data yang sudah dikumpulkan untuk mendapatkan efisiensi atau kinerja liquid-gas ejector dari perubahan geometri nosel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meningkatnya geometri nosel cenderung menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi dan koefisien nosel. Efisiensi maksimum yang dihasilkan masing-masing nosel dengan geometri 0,57; 0,64; 0,71; 0,79 dan 0,86 secara berurutan adalah 24,33%, 23,43%, 8,19%, 16,21%, dan 7,96%. Sedangkan koefisien nosel berturut-turut adalah 0,94; 0,81; 0,59; 0,71; dan 0,59.

Kata kunci: liquid gas ejector, geometri nosel, kinerja.

Pendahuluan

Liquid-gas ejector adalah salah satu jenis mesin fluida dengan prinsip kerja transfer momentum antara debit aliran utama dengan aliran masuk. Selain mampu

mengalirkan fluida dalam berbagai fase, liquid-gas ejector mempunyai desain yang sederhana dan dimensi yang kecil sehingga instalasinya mudah dan murah. Ejector terdiri dari beberapa komponen utama yaitu:

nozzle, suction chamber, throat, dan diffuser.

Liquid-gas ejector merupakan jenis vacuum pump ejector yang berfungsi membangkitkan kevakuman gas (tekanan di bawah tekanan atmosfer). Vacuum pump ejector banyak diaplikasikan pada industri besar, menengah, dan kecil.

Dari bentuk desain yang sederhana dengan fungsi yang cukup besar dalam aplikasi industri, nosel adalah bagian yang cukup menarik untuk diteliti untuk meningkatkan kinerja dari Liquid Gas Ejector. Nosel berfungsi menghasilkan pancaran fluida. Bentuk pancaran fluida yang dihasilkan nosel akan menentukan pola aliran pada *suction zone* yang mempengaruhi kinerja sebuah liquid-gas ejector. Sedangkan bentuk pancaran fluida yang dihasilkan nosel tergantung pada geometri nosel.

Penelitian tentang efek geometri nosel terhadap karakteristik liquid jet pernah dilakukan. Geometri nosel yang dimaksudkan dalam penelitian ini adalah aspek rasio dan sudut kontraksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan aspek rasio menyebabkan penurunan tingkat turbulensi aliran jet, sedangkan penurunan sudut kontraksi menyebabkan peningkatan tingkat turbulensi aliran jet [1].

Mengingat begitu pentingnya geometri nosel dalam mempengaruhi kinerja sebuah liquid-gas ejector, maka dilakukan penelitian tentang pengaruh geometri nosel pada aliran dua fase terhadap kinerja liquid-gas ejector dalam sebuah eksperimen.

Tinjauan Pustaka

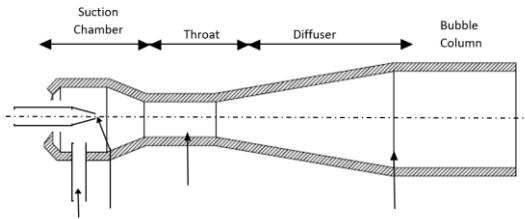
Penelitian penggunaan nosel dengan geometri yang berbeda pada ejector yang mengalirkan aliran dua fase yaitu air dan udara (liquid-gas ejector) yang bertujuan untuk melihat pengaruh geometri nosel terhadap laju aliran udara pada aliran entrained. Dalam penelitian tersebut type nosel yang digunakan adalah convergen dan straight-hole (*orifice*) dengan dimensi yang bervariasi. Parameter yang dipakai untuk

membandingkan kedua jenis nosel tersebut adalah koefisien *discharge* (C_d) yang bernilai 0,90 – 0,99 untuk nosel konvergen dan 0,67 – 0,68 untuk nosel jenis *orifice*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju entrainment (laju aliran sekunder) lebih besar diperoleh pada nosel dengan angka C_d bernilai lebih rendah. Koefisien *discharge* (C_d) adalah suatu perbandingan antara aliran fluida actual dengan aliran fluida teoritis ($C_d = Q_{\text{aktual}}/Q_{\text{teoritis}}$) dan diaplikasikan pada persamaan aliran fluida teoritis untuk mendapatkan nilai aktual aliran fluida. Nilai C_d dipengaruhi oleh konstruksi tempat fluida mengalir dan bilangan Reynold [2].

Edi Karyadi, 2012, meneliti pengaruh dimensi nosel terhadap kinerja liquid jet gas pump. Nosel yang digunakan adalah jenis *orifice* dan dimensi nosel yang dimaksudkan adalah diameter nosel pada sisi keluar aliran primer. Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimental dengan parameter yang diteliti adalah hubungan efisiensi terhadap dimensi nosel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bertambahnya diameter nosel cenderung menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi [3].

Liquid-gas ejector

Pada dasarnya liquid-gas ejector terdiri dari empat bagian utama yaitu adalah nosel, suction chamber, throat, dan diffuser. Air yang dialirkan melalui nosel (aliran primer) mengalami peningkatan kecepatan dan penurunan tekanan akibat dari perubahan penampang nosel yang semakin mengecil. Kecepatan air yang tinggi pada saat keluar nosel juga menyebabkan tekanan statis pada suction chamber sangat rendah sampai di bawah tekanan atmosfer (vakum), sehingga aliran udara dari aliran sekunder yang mempunyai tekanan atmosfer akan mengalir ke *suction chamber* dan bercampur dengan air yang keluar dari nosel. Setelah kedua fluida tersebut bercampur dan mengalir melalui throat, kecepatan akan menurun dan tekanan akan meningkat pada saat memasuki diffuser.



Gambar 1. Liquid-gas ejector nosel

Nosel merupakan salah satu komponen utama dari sebuah ejector yang berfungsi sebagai alat yang mengkonversi bentuk energi tekanan statik ke bentuk energi dinamik.

Kerugian tekanan (*pressure drop*) pada nosel yang dialiri fluida air dapat dicari menggunakan persamaan Bernoulli, dengan asumsi massa jenis air adalah konstan dan perubahan energi potensial diabaikan. Persamaan Bernoulli berlaku untuk fluida ideal sedangkan untuk fluida aktual harus dimasukkan koefisien *discharge* nosel (C_d) untuk menghitung kerugian gesekan dalam nosel, sehingga persamaannya menjadi:

$$C_d = \left\{ \frac{\rho_L \cdot Q_L^2}{2A_n^2(P_i - P_s)} \left(1 - \frac{D_n^4}{D_i^4} \right) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Dengan :

- P_i = tekanan saat masuk nosel (kPa)
- ρ_L = densitas fluida pada nosel (kg/m³)
- P_s = tekanan saat keluar nosel (kPa)
- $v_{L,1}$ = kecepatan fluida masuk nosel (m/s)
- $v_{L,s}$ = kecepatan fluida keluar nosel (m/s)
- Q_L = debit aliran pada nosel (m³/s)
- A_n = luas penampang nosel (m²)
- D_n = diameter ujung nosel (m)
- D_i = diameter pangkal nosel (m)
- C_d = koefisien nosel

Suction chamber

Suction chamber adalah salah satu bagian atau komponen ejector yang berfungsi sebagai tempat terjadinya kevakuman dan percampuran antara aliran primer dan sekunder,

Throat

Throat merupakan tempat berlangsungnya konversi energi setelah terjadi entrainment Entrainment

didefinisikan sebagai sebuah proses terjabaknya fluida kedalam fluida lain dikarenakan adanya instabilitas interface antara kedua fluida. Instabilitas yang dimaksud adalah instabilitas tekanan yang diakibatkan oleh adanya beda kecepatan antara fluida pada interface. Instabilitas tekanan mengakibatkan bentuk interface berosilasi irregular hingga terjadi terlepasnya fluida jet membentuk droplet atau jet break .

Diffuser

Diffuser difungsikan untuk mengubah bentuk energi kecepatan aliran menjadi energi tekanan aliran. Perubahan bentuk energi ini dilakukan secara bertahap. Berdasarkan proses konversi yang terjadi didalam diffuser perubahan luas penampang menentukan efisiensi dari diffuser ini. Prinsip yang harus dihindari adalah gradien tekanan yang besar pada diffuser.

Kinerja liquid-gas ejector

Kinerja Liquid-gas ejector menghasilkan kompresi isothermal (proses yang berlangsung pada temperatur konstan) dari udara dalam bentuk kerja. Jumlah kerja yang dihasilkan dibagi energi masuk disebut dengan efisiensi mekanik [4], dinyatakan dengan:

$$\eta = \frac{\rho_G Q_G R T \ln(P_d/P_s)}{Q_L(P_i - P_d)}$$

Dengan:

- η = efisiensi mekanik (%)
- P_d = tekanan diffuser (kPa)
- ρ_G = densitas udara (kg/m³)

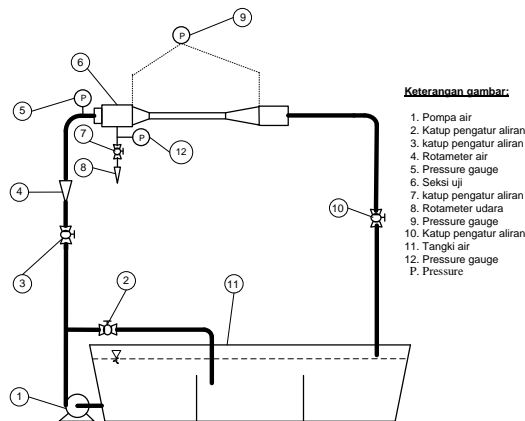
Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Pontianak. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Unit *Liquid Gas Ejector*
2. Manometer tabung Bourdon, untuk mengukur tekanan pada aliran motive

3. Manometer tabung U dengan media raksa, untuk mengukur tekanan pada aliran sekunder
4. Manometer tabung U dengan media air, untuk mengukur tekanan pada diffuser
5. Rotameter udara, untuk mengukur debit udara yang masuk ke suction chamber (aliran sekunder)
6. Rotameter air, untuk mengukur debit air yang masuk ke dalam nosel (aliran motive)
7. Air dan udara sebagai fluida uji pada temperature lingkungan

Adapun skema penelitian ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Skema instalasi penelitian

Variabel penelitian

Penelitian akan dilakukan dengan memvariasikan variabel debit aliran pada *motive* dan *secondary flow* pada *liquid-gas ejector* dengan menggunakan nosel jenis konvergen dari beberapa variasi geometri nosel. Perubahan tekanan aliran dilakukan dengan mengatur debit air dan udara yang keluar dari flowmeter. Adapun variabel-variabel penelitian ini adalah:

1. Variabel bebas adalah tekanan *motive*
2. Variabel terikat, adalah debit aliran sekunder, tekanan sisi sekunder (tekanan vakum), dan tekanan pada *diffuser*
3. Variabel Kontrol, adalah geometri nosel.

Tahapan penelitian

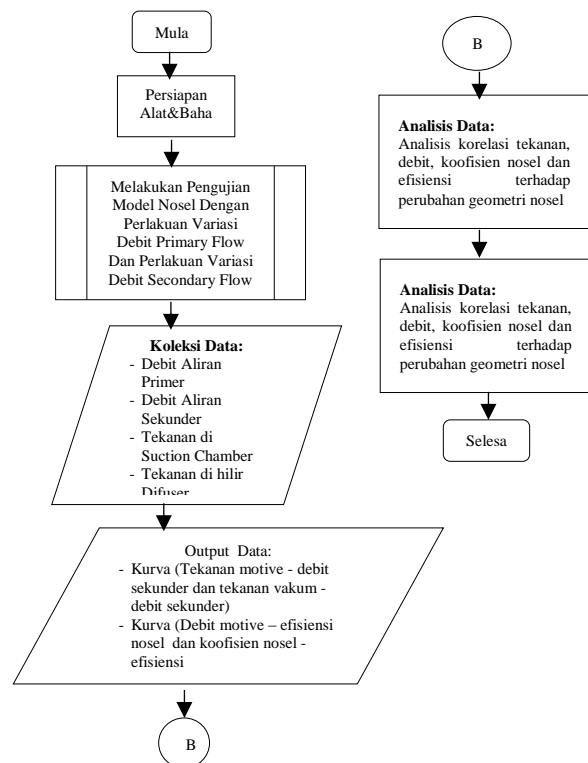
Tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah mengetahui pengaruh perubahan dimensi nosel terhadap kinerja *liquid-gas ejector*. Untuk memberikan

solusi dari tujuan tersebut maka dilakukan penelitian dengan alur yang tersaji pada Gambar 3.

Analisis data

Analisis data dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan teknik analisis kuantitatif deskriptif, yaitu teknik yang digunakan untuk mendeskripsikan atau menyampaikan hasil penelitian dalam bentuk grafik.

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah debit aliran dan tekanan dengan dua variasi debit yaitu pada *primary flow* dan *secondary flow* dengan menggunakan lima geometri nosel yang berbeda. Geometri nosel yang dimaksud adalah *contraction ratio* (d/D) yaitu 0,57; 0,64; 0,71; 0,79 dan 0,86. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara debit, tekanan, koefisien nosel, dan efisiensi terhadap perubahan geometri nosel.



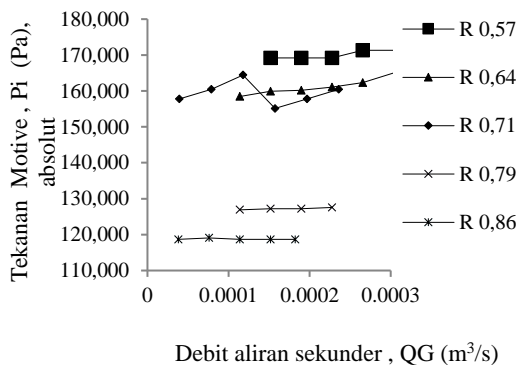
Gambar 3. Diagram alur penelitian

Grafik yang didapat kemudian dibandingkan, sehingga akan terlihat pengaruh perubahan geometri nosel terhadap debit, tekanan, koefisien nosel dan efisiensi.

Hasil dan Pembahasan

Hubungan tekanan motive terhadap debit aliran sekunder (debit vakum)

Penurunan aspek rasio menyebabkan penurunan tingkat turbulensi aliran jet, sedangkan penurunan sudut kontraksi menyebabkan peningkatan tingkat turbulensi aliran jet [1]. Dari referensi [2] dan [3] serta hasil eksperimen yang dilakukan peningkatan debit aliran sekunder pada debit *motive* yang sama menyebabkan terjadinya peningkatan tekanan *motive*. Sementara itu peningkatan debit *motive* pada debit aliran sekunder yang sama juga meningkatkan tekanan *motive*. Sedangkan bertambahnya geometri nosel pada debit *motive* yang sama menurunkan tekanan *motive* dan debit aliran sekunder, seperti yang ditunjukkan gambar 4 Selain itu juga, bertambahnya geometri nosel berpengaruh terhadap debit aliran primer maksimum yang mampu dialirkannya. Semakin besar geometri nosel semakin besar pula debit aliran primer maksimum yang mampu dialirkannya.



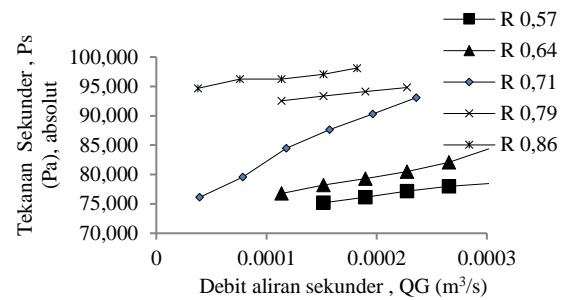
Gambar 4. Grafik hubungan debit aliran sekunder terhadap tekanan motive

Hubungan tekanan aliran sekunder (tekanan vakum) terhadap debit aliran sekunder (debit vakum)

Peningkatan debit aliran sekunder pada debit *motive* yang sama akan menurunkan tekanan vakum. Sementara itu bertambahnya debit *motive* menyebabkan terjadinya peningkatan tekanan vakum dan debit aliran sekunder.

Sedangkan bertambahnya diameter nosel pada debit motive yang sama seperti yang ditunjukkan gambar 5, akan

menurunkan tekanan vakum dan debit aliran sekunder.



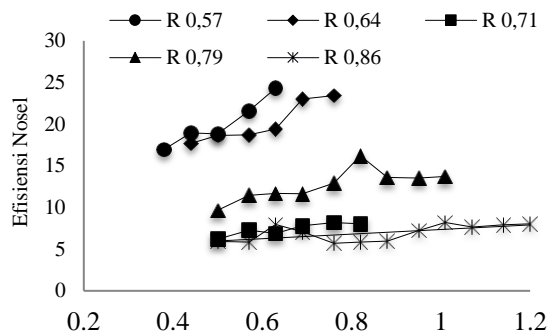
Gambar 5. Grafik hubungan debit aliran sekunder terhadap tekanan sekunder pada debit aliran motive 0,63 L/s

Hubungan debit motive dan koefisien nosel terhadap efisiensi

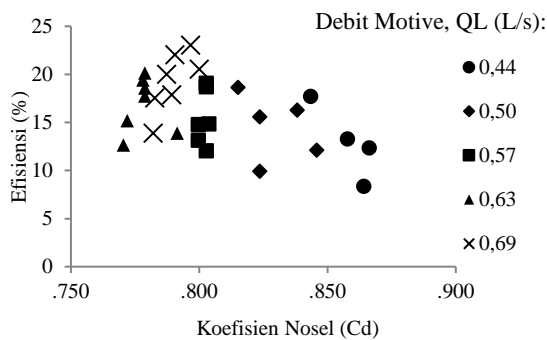
Gambar 6 menggambarkan hubungan antara debit *motive* terhadap efisiensi. Pada gambar tersebut terlihat bahwa peningkatan debit *motive* pada geometri yang sama cenderung meningkatkan efisiensi nosel, walaupun kenaikan koefisien nosel tidak terlalu signifikan. Perubahan efisiensi nosel secara signifikan terjadi pada perubahan geometri nosel, dimana semakin kecil geometri nosel maka semakin meningkat efisiensi nosel tersebut. Adapun efisiensi maksimum liquid gas ejector dengan geometri 0,57; 0,64; 0,71; 0,79 dan 0,86 secara berurutan adalah 24,33%, 23,43%, 8,19%, 16,21%, dan 7,96%

Gambar 7 menggambarkan hubungan antara koefisien nosel dan efisiensi nosel. Pada gambar tersebut terlihat bahwa peningkatan debit *motive* cenderung meningkatkan koefisien nosel dan efisiensi, walaupun kenaikan koefisien nosel tidak terlalu signifikan. Perubahan koefisien nosel secara signifikan terjadi pada perubahan geometri nosel, dimana semakin kecil geometri nosel maka semakin meningkat efisiensi dan koefisien nosel tersebut. Perubahan geometri nosel dari besar ke kecil menyebabkan terjadi perubahan kecepatan aliran *motive* yang semakin membesar. Pada gambar tersebut terlihat bahwa Perubahan koefisien nosel geometri nosel dari besar ke kecil menyebabkan terjadi perubahan kecepatan aliran *motive* yang semakin

membesar. Peningkatan kecepatan aliran *motive* akan menyebabkan bilangan Reynold juga akan meningkat, yang berdampak pada peningkatan efisiensi [5].



Gambar 6. Grafik Hubungan antara debit motive terhadap efisiensi nosel dengan berbagai variasi geometri nosel

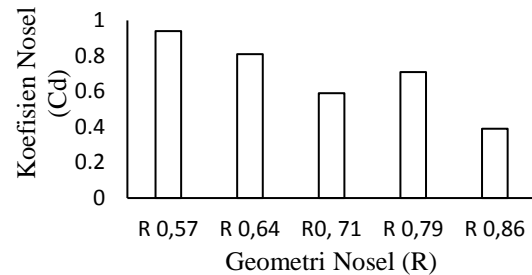


Gambar7. Grafik Hubungan antara koefisien nosel terhadap efisiensi nosel dengan berbagai variasi geometri nosel

Gambar 8. menunjukkan nilai koefisien rata-rata dari setiap nosel. Adapun koefisien nosel dengan geometri 0,57; 0,64; 0,71; 0,79 dan 0,86 secara berurutan adalah 0,94; 0,81; 0,59; 0,71; dan 0,59. Dari kelima nosel tersebut, setelah terjadi penurunan koefisien nosel sampai pada geometri nosel 0,71, ternyata kecenderungannya berubah yaitu terjadi peningkatan koefisien pada geometri nosel 0,79 dan pada geometri nosel 0,86 koefisiennya sama dengan geometri nosel 0,71.

Fenomena yang terjadi di atas disebabkan adanya aliran berputar [6]. mengemukakan bahwa intensitas aliran berputar sangat dipengaruhi oleh rasio kontraksi nosel (d/D). Karakter rasio kontraksi yang rendah cenderung

menyebabkan level intensitas turbulensi yang rendah. Rasio kontraksi yang ideal dicapai apabila level intensitas turbulensi pada sisi masuk dan sisi keluar mempunyai intensitas turbulensi minimum.



Gambar 8. Grafik koefisien nosel rata-rata untuk setiap

Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya dapat diambil kesimpulan bahwa peningkatan geometri nosel menyebabkan terjadinya penurunan tekanan vakum (tekanan absolut meningkat), tekanan motive, dan debit aliran sekunder. Sedangkan peningkatan tekanan vakum (tekanan absolut menurun), tekanan motive, dan debit aliran sekunder pada geometri yang sama disebabkan oleh adanya peningkatan debit aliran motive.

Meningkatnya geometri nosel cenderung menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi dan koefisien nosel. Adapun efisiensi maksimum liquid gas ejector dengan geometri nosel 0,57; 0,64; 0,71; 0,79 dan 0,86 secara berurutan adalah 24,33%, 23,43%, 8,19%, 16,21%, dan 7,96%. Sedangkan koefisien nosel berturut-turut adalah 0,94; 0,81; 0,59; 0,71; dan 0,59

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Politeknik Negeri Pontianak (Polnep) atas dukungan dana yang diberikan melalui penelitian terapan ini. Terimakasih juga untuk teman-teman Pranata Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Polnep dan Mahasiswa Teknik Mesin Polnep yang telah banyak membantu kegiatan penelitian ini.

Referensi

- [1] Spangelo,S.C, 2009, *Effects of Nozzle Geometry on the Near-Field Characteristics of a Liquid Jet*, 11th Triennial International Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Vail, Colorado USA
- [2] Rahman.F, Umesh.D.B, Subbarao.D, Ramasamy.M., 2010, *Enhancement of Entrainment Rates in Liquid–Gas Ejectors*, Chemical Engineering and Processing, 49, 1128-1135
- [3] Edi Karyadi, 2012, *Studi Eksperimental Pengaruh Dimensi Nosel Terhadap Kinerja Liquid Jet Gas Pump (LJGP)*, Tesis, UGM Yogyakarta
- [4] Cunningham R. G., 1995, *Liquid Jet Pump for two Phase Flows*, ASME Journal Fluids Engineering, 117, 309-316.
- [5] Stepanoff, A.J, 1957, *Centrifugal and Axial Flow Pump*, 2nd ed, p402-424, John Wiley & Sons, Inc, New York
- [6] McCharty.M.J., Molloy.N.A, 1974, *Review of Stability of Liquid Jets and the Influence of Nozzle Design*, The Chemical Engineering Journal, Vol.7, 1-20
- [7] Yadav.R.L., Patwardhan.A.W., 2008, Design Aspects of Ejectors: Effects of Suction Chamber Geometry, Chemical Engineering Science, Vol. 63, 3886 – 3897.
- [8] Witte.J.H, 1969, Mixing shocks in Two Phase Flow, J.Fluid.Mech. vol.36, 639-655.
- [9] Iciek.J,1982, The Hydrodynamics of a Free, Liquid Jet and Their Influence on Direct Contact Heat Transfer1,Hidrodynamic of a Free, Cylindrical Liquid Jet, Int. J. Multiphase Flow, Vol.8, 239-249.
- [10] Neve.R.S, 1991, Diffuser Performance in Two-Phase Jet Pumps, Int. J. Multiphase Flow, Vol. 17, No. 2, 267-272.
- [11] Owen.I, Abdul-Ghani.A, Amini.A.M, 1992, Diffusing a Homogenized TwoPhase Flow, Int. J. Multiphase Flow, Vol. 18, No. 4, 531 – 540.
- [12] Fritz Dietzel & Dakso Sriyono, Turbin, Pompa dan Kompresor, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993, ISBN 36-01-010-6
- [13] Sularso, Tahara, Pompa dan Kompresor, Pradnya Paramita, Jakarta.
- [14] Sayers, A.T., Hydraulic and Compressible Flow Turbomachineries, McGrawHill Book Company, London, 1990
- [15] Mott, Robert.L, Applied Fluid Mechanics, Prentice Hall Career & Technology, NJ, 1994

