

# PENGARUH GEOMETRI NOSEL TERHADAP PEMBENTUKAN KAVITASI

Muhammad Ilham Maulana dan Jalaluddin

Jurusan Teknik Mesin Universitas Syiah Kuala  
Jl. Tgk. Syech Abdur Rauf No.7 Darussalam-Banda Aceh, Indonesia  
Phone: +62-651-51977, FAX: +62-651-7552222, E-mail: il\_maulana@yahoo.com

## ABSTRACT

Salah satu aspek kajian pada studi mengenai kavitasi adalah pengaruh dari geometri nosel terhadap pola pembentukan kavitasi di dalam nosel. Untuk tujuan praktis, penelitian lebih difokuskan pada proses pembentukan rejim super kavitasi yang sangat erat kaitannya dengan terbentuknya pancaran aliran (*spray*) pada sisi keluar nosel. Namun perlu dikaji lebih lanjut bagaimana proses pembentukan kavitasi pada nosel dengan geometri yang berbeda dan parameter yang memegang peranan penting di dalamnya.

Pada penelitian ini, dilakukan visualisasi proses pembentukan kavitasi pada nosel 2 dimensi (2D) dengan diameter saluran masuk yang berbeda untuk melihat bagaimana pengaruh dari perbandingan diameter saluran masuk terhadap diameter nosel ( $C_U = A_U/A_N$ ) terhadap kavitasi dan atomisasi. Data ini digabungkan dengan hasil pengamatan pada nosel berbentuk silinder sebagai faktor pembanding. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan zona kavitasi meningkat dengan meningkatnya  $C_u$  dan sudut pembentukan *spray* (*spray angle*) maksimum terjadi pada nilai  $C_u$  1,5 sampai dengan 2,9.

**Keywords:** Nosel, Kavitasi, Pancaran Aliran, Bilangan Kavitasi, Atomisasi dan, kontraksi aliran

## 1. Pendahuluan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kavitasi mungkin terjadi di dalam nosel dari suatu *pressure atomizers*, dan dapat mempengaruhi proses terbentuknya pancaran cairan (*liquid jet*) yang keluar dari nosel<sup>(1)</sup>. Oleh karena itu, berbagai usaha telah dilakukan untuk memvisualisasikan fenomena kavitasi di dalam nosel<sup>(2-6,8-11)</sup>. Hasil pengamatan menegaskan bahwa atomisasi jet cairan akan meningkat ketika kavitasi berkembang di dalam nosel, yakni, pada suatu rejim aliran yang disebut super kavitasi<sup>(4,8,9,12)</sup>. Oleh karena itu, penggunaan suatu indikator yang dapat memprediksi pembentukan super kavitasi merupakan suatu hal yang sangat penting dan berguna di dalam mendesain suatu *pressure atomizers*.

Pada penelitian sebelumnya, kami telah menegaskan bahwa kavitasi di dalam suatu nosel dipengaruhi oleh terjadinya kontraksi aliran di dalam nosel. Karena koefisien kontraksi dari suatu aliran non kavitasi dipengaruhi oleh ratio  $C_u$  antara the cross-sectional area  $A_u$  upstream nosel dan  $A_N$  di nosel<sup>(13)</sup>,  $C_u$  dapat mempengaruhi kavitasi dalam nosel. Efek dari  $C_u$  terhadap kavitasi, bagaimanapun belum diklarifikasi, yang mungkin disebabkan oleh kesulitan dalam

mengukur kecepatan radial dalam nosel silinder.

Pressure atomizers dengan berbagai geometri nosel misalnya saluran nosel, fan nosel, slit (celah) nosel dan sebagainya telah dikembangkan melalui berbagai penelitian. Berbagai upaya telah dicurahkan untuk mengoptimalkan bentuk2 nosel, karena sulit untuk menentukan perkembangan kavitasi dalam nosel. Berbagai angka kavitasi telah diusulkan dan digunakan sebagai suatu indikator dari perkembangan kavitasi dalam nosel. Meskipun kami telah mengkonfirmasi bahwa suatu *conventional cavitation numbers*  $\sigma$ <sup>(14)</sup> dapat digunakan untuk memprediksi perkembangan kavitasi di dalam nosel yang memiliki konfigurasi yang sama, namun faktanya, berbagai angka kavitasi ternyata tidak dapat selalu digunakan untuk memprediksi kavitasi dalam berbagai nosel. Sebagian besar dari angka kavitasi yang ada justru tidak menghitung pengaruh dari kontraksi aliran, yang merupakan salah satu parameter yang penting di dalam pembentukan kavitasi. Hiroyasu dkk telah mengusulkan suatu angka kavitasi yang menghitung tekanan  $P_c$  dan kecepatan  $V_c$  di dalam *vena contracta*. Namun apakah angka kavitasi tersebut dapat digunakan untuk meramalkan pembentukan

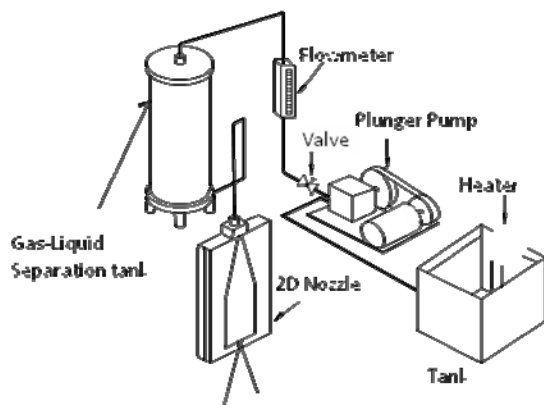


superkavitasi di dalam nosel atau tidak, belum diverifikasi.

Pada penelitian ini, dilakukan pengamatan terhadap fenomena kavitasi dalam berbagai nosel 2D dengan berbagai area upstream  $A_u$  yang berbeda, untuk menyelidiki pengaruh daripada  $C_u (= A_u / A_N)$  terhadap kavitasi. Kemudian data eksperiment dari nosel 2D dan berbagai nosel silindris digunakan untuk memeriksa apakah angka kavitasi tsb dapat digunakan untuk memprediksi pembentukan dari super kavitasi dalam berbagai geometri atau tidak.

## 2. Set up peralatan penelitian

Gambar 1 menunjukkan set up peralatan yang digunakan pada penelitian ini. Air digunakan sebagai fluida kerja dan dialirkan dari suatu reservoir menuju nosel dengan menggunakan pompa. Kapasitas aliran diatur dengan menggunakan suatu katup kontrol aliran. Untuk mempertahankan kualitas air yang masuk ke nosel air dialirkan melalui suatu filter sebelum memasuki inlet nosel. Ketidak pastian pengukuran laju aliran kurang dari 3,7 %. Tekanan injeksi diukur pada 100 mm pada aliran upstream nosel menggunakan Bourdon pressure gauges (GLT-133 0~0.6 Mpa).



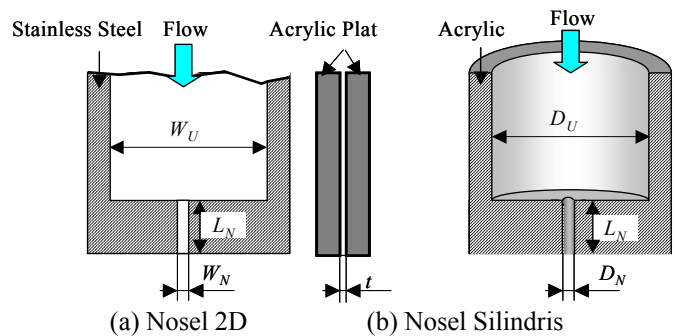
Gambar 1 Setup peralatan eksperimen untuk nosel

Untuk memeriksa efek dari konfigurasi nosel terhadap karakteristik kavitasi dan cairan jet, dilakukan pemeriksaan terhadap kavitasi yang terjadi pada nosel 2D dan silindris dengan ukuran yang berbeda. Skema dari nosel 2D dan silindris ditunjukkan pada gambar Figs. 2(a) and (b). Dimensi dari nosel 2D dan silindris di ringkas dalam table 1 dan 2. Nosel 2D dengan berbagai ukuran lebar  $W_N$ , panjang  $L_N$ , ketebalan  $t$  and lebar upstream  $W_u$  digunakan untuk memeriksa kemampuan dari bilangan kavitasi sebagai parameter yang dapat digunakan pada nosel dengan geometri yang berbeda. Didalam table digunakan notasi  $C_u$  dan  $C_c$  yang didefinisikan sebagai:

$$C_u = \frac{A_u}{A_N} = \frac{V_u}{V_N} \quad (1)$$

$$C_c = \frac{A_c}{A_N} = \frac{V_N}{V_c} \quad (2)$$

Dimana  $A$  didefinisikan sebagai luasan melintang nosel, dan  $V$  kecepatan rata-rata di dalamnya. Notasi  $u$ ,  $N$  dan  $c$ , berturut turut menunjukkan daerah upstream, nosel dan vena contracta.



Gambar 2. Skema nosel 2D dan silindris

Tabel 1 Dimensi nosel 2D

$W_N \times t_N$ [mm]	$C_u = A_u/A_N = W_u/W_N$	$L / W_N$	$C_c = A_c / A_N$
2.23 x 0.47	7.17	3.6	0.68
3.81 x 0.95	2.91	4.2	0.69
4.06 x 0.95	1.45	3.9	0.77

Table 2 Dimensi nosel silindris <sup>(5)</sup>

$D_N$ [mm]	$C_u = A_u/A_N = (D_u/D_N)^2$	$L / D_N$	$C_c = A_c / A_N$
2.0	64	4	0.61
1.0	100	4	0.61
0.5	100	4	0.61
1.0	4	4	0.625
2.0	64	20	0.61
0.5	100	20	0.61

Sedangkan parameter tak berdimensi, bilangan kavitasi dari saluran nosel didefinisikan oleh:

$$\sigma = \frac{P_b - P_v}{\frac{1}{2} \rho V_N^2} \quad (3)$$

dimana  $P_a$  adalah tekanan atmosfer,  $P_v$  tekanan uap



jenuh,  $\rho_L$  densitas cairan, dan  $V_N$  kecepatan rata-rata cairan di dalam nosel,  $\nu_L$  viskositas kinetik cairan.

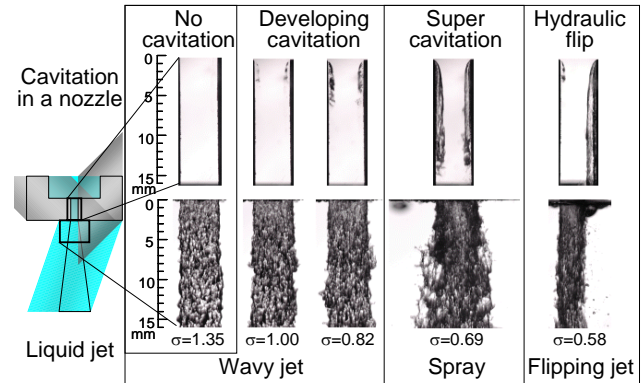
### 3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 3 (a) dan (b) menunjukkan kavitasasi dan jet cairan di dalam nosel 2D dengan lebar nosel  $W_N$  sebesar 4.21 mm dan dengan skala setengahnya yakni 2.23 mm. Gambar 3 (c) dan (d) adalah nosel 2D yang memiliki harga  $C_u$  yang lebih kecil. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3 (d), *hydraulic flip* tidak terbentuk pada kasus  $C_u$  yang paling kecil di dalam range dari laju aliran yang diberikan pada penelitian ini. Kecuali pada kasus ini, peningkatan kecepatan  $V_n$  (dari kiri ke kanan) menghasilkan transisi rejim kavitasasi sebagai berikut <sup>(5,8)</sup>: tanpa kavitasasi (normalisasi panjang kavitasasi  $L^*$  didefinisikan sebagai  $(=L_{cav}/L_{nosel})$ ), perkembangan kavitasasi ( $0 < L^* < 0.6$ ), super kavitasasi ( $0.6 < L^* < 1$ ), and flip ( $L^* = 1$ ). Atomisasi jet cairan meningkat pada rejim super kavitasasi pada keseluruhan nosel, yang mengkonfirmasi kepada kita bahwa bilangan kavitasasi dapat digunakan untuk memprediksi pembentukan rejim super kavitasasi. Hal ini sangat berguna dalam merancang suatu *pressure atomizers*. Harus dicatat bahwa sudut pancaran (*spray angle*) <sup>(11)</sup> pada rejim super kavitasasi adalah lebih kecil pada kasus dimana harga  $C_u$  kecil, yakni pada harga  $\theta = 16^\circ$  untuk  $C_u = 7.6$  dan 2.9, sedangkan pada harga  $C_u = 1.5$ , sudut yang terbentuk lebih kecil,  $\theta = 9^\circ$ .

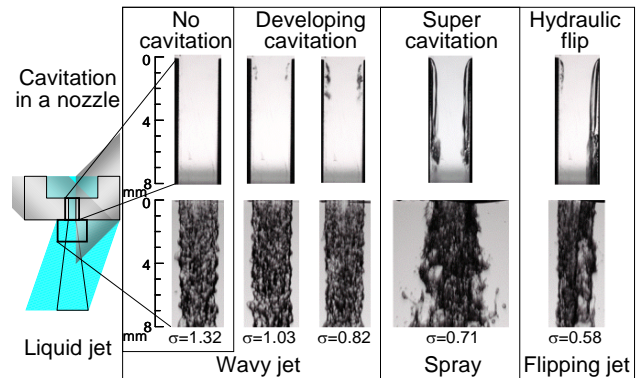
Gambaran dari kavitasasi di dalam nosel silindris dengan diameter 4 mm dan pancaran cairan keluar nosel di tunjukkan pada Gambar 4 sebagai suatu referensi pembandingan. Pada kasus nosel silindris, hasil pengamatan penunjukkan bahwa transisi rejim dari kavitasasi dan pancaran cairan keluar nosel menunjukkan kecenderungan yang sama seperti halnya pada nosel 2D, kecuali pada rejim hydraulic flip dimana pancaran cairan membentuk suatu *contracted jet* (dengan diameter yang lebih kecil dari diameter nosel).

Pada gambar 3 dan 4 bilangan kavitasasi  $\sigma$  digunakan sebagai indicator, sebagaimana didefinisikan pada persamaan (3). Sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 3 (a) dan (b), super kavitasasi terbentuk pada  $\sigma \approx 0.7$  di dalam nosel dengan konfigurasi yang sama. Kondisi ini membuktikan bahwa pembentukan super kavitasasi di dalam nosel dengan konfigurasi yang sama dapat diprediksi dengan menggunakan  $\sigma$ . Pada sisi lain, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4, super kavitasasi terbentuk pada harga  $\sigma$  yang lebih kecil ketika  $C_u$  lebih kecil, yakni, rejim super cavitation terbentuk pada  $\sigma = 1.15$  untuk nilai  $C_u = 64$ , pada  $\sigma = 0.69$  untuk nilai  $C_u \approx 7.6$ , dan pada  $\sigma = 0.26$  untuk nilai  $C_u \approx 1.5$ . Ketidak cocokan pada besaran  $\sigma$  ini secara jelas menunjukkan bahwa kita tidak dapat menggunakan

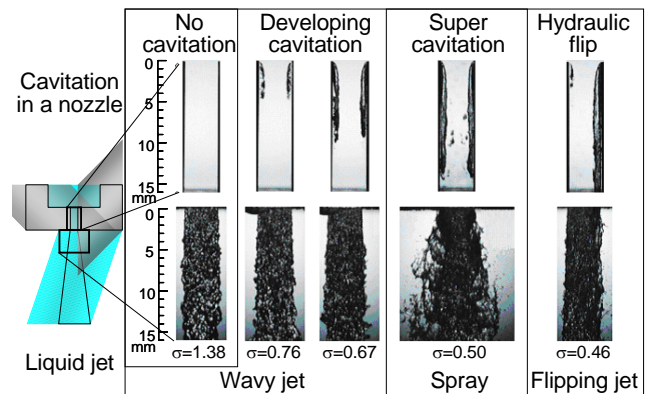
$\sigma$  untuk memprediksi pembentukan super kavitasasi di dalam nosel dengan konfigurasi yang berbeda.



(a)  $W_N = 4.21$  mm,  $C_u \approx 7.6$ ,  $L/W_N \approx 4$ ,  $W_N/t \approx 4$



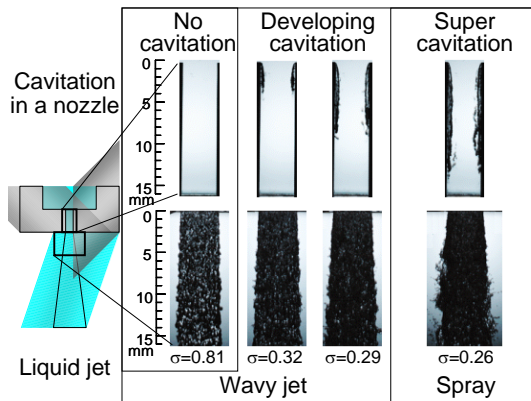
(b)  $W_N = 2.23$  mm,  $C_u \approx 7.2$ ,  $L/W_N \approx 4$ ,  $W_N/t \approx 4$



(c)  $W_N = 3.81$  mm,  $C_u \approx 2.9$ ,  $L/W_N \approx 4$ ,  $W_N/t \approx 4$

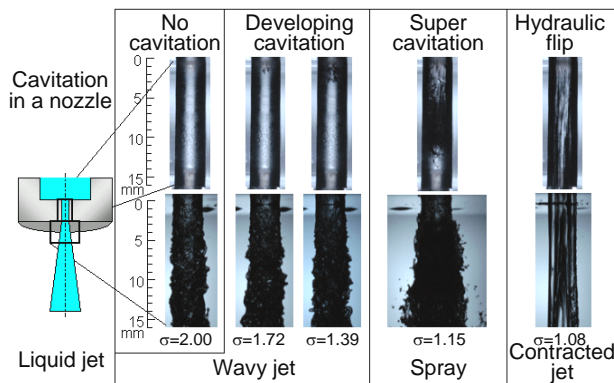
Gambar 1 Pengaruh ukuran dan bentuk nosel terhadap kavitasasi dan jet (nosel 2D)



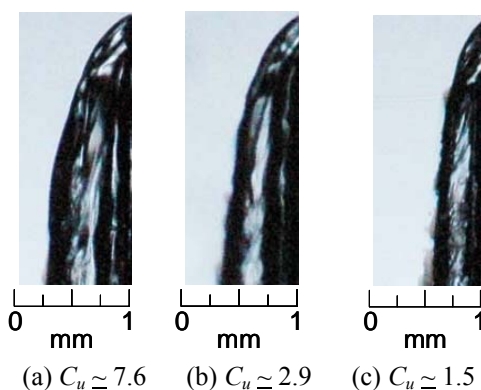


(d)  $W_N = 4.06$  mm,  $C_u \approx 1.5$ ,  $L/W_N \approx 4$ ,  $W_N/t \approx 4$

Gambar 2 Pengaruh ukuran dan bentuk nosel terhadap kavitasi dan jet (nosel 2D) lanjutan



Gambar 4. Kavitasi dan jet cairan pada nosel silindris  
( $D_N = 4$  mm,  $C_u = 64$ ,  $L/D_N = 4$ )



Gambar 5. Pengaruh  $C_u$  terhadap ketebalan kavitasi  
( $W_N \approx 4$  mm,  $L = 16$  mm)

Visualisasi kavitasi di dekat sisi masuk nosel pada nosel 2D dengan  $C_u$  yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 5. Ketebalan  $W_{cav}$  dari zona kavitasi meningkat dengan bertambahnya nilai  $C_u$ . Ketika  $W_{cav}$  besar,

ketebalan dari pemisahan lapisan batas atau separated boundary layer (SBL) dan  $V_c$  juga besar, dan tekanan  $P_c$  pada vena contracta rendah. Ini adalah alasan logis mengapa super kavitasi pada nilai  $\sigma$  yang lebih kecil pada nosel Cu yang kecil. Hasil ini mengkonfirmasi bahwa efek dari kontraksi aliran memainkan peranan penting di dalam perkembangan kavitasi di dalam nosel.

#### 4. Kesimpulan

Pengaruh dari geometri nosel terhadap kavitasi di dalam nosel pada suatu *pressure atomizers* diteliti menggunakan nosel dua-dimensi (2D) dengan berbagai geometri yang berbeda. Kemudian, apakah bilangan kavitasi  $\sigma$  dapat digunakan untuk memprediksi pembentukan rejim super kavitasi dan terbentuknya atomisasi pada nosel dengan geometri yang berbeda atau tidak, diuji dan analisa dengan menggunakan data hasil eksperimen pada nosel 2D dan silindris. Sebagai hasilnya, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- (1) Ketebalan  $W_{cav}$  dari zona kavitasi meningkat terhadap rasio  $C_u$  antara luasan melintang pada upstream nosel terhadap diameter nosel.
- (2) Ketebalan dari lapisan batas pemisah dipengaruhi oleh zona kavitasi yang terbentuk
- (3) Ketika  $C_u$  bertambah dari 1.5 to 2.9, sudut pancaran yang terjadi pada rejim super kavitasi, meningkat.
- (4) Kita dapat memprediksi terbentuknya super kavitasi pada nosel dengan harga rasio  $C_u$  yang sama menggunakan  $\sigma$ , namun  $\sigma$  tidak akurat untuk digunakan pada nosel dimana efek dari kontraksi aliran berbeda akibat perbedaan geometri nosel.

#### Acknowledgements

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Prof. Tomiyama, Prof. Hosokawa and Dr. Sou atas bimbingan selama melakukan penelitian.

#### Daftar Pustaka

- [1] Bergwerk, W., Flow Pattern in Diesel Nozzle Spray Holes, *Proc. Instn. Mech. Engrs.*, Vol. 173, No. 25 (1959) 655-660
- [2] Baz, I., Champoussin, J.-C., Lance, M., and Marie, J.-L., Investigation of The Cavitation in High Pressure Diesel Injection Nozzles, *CD-ROM of ASME FEDSM '02* (2002), FEDSM2002-31015.
- [2] Chaves H, Knapp M, Kubitzek A. Experimental study of cavitation in the nozzle hole of diesel injectors using transparent nozzles. *SAE Paper* 950290; 1995.
- [3] Nurick, W. H., Orifice Cavitation and Its Effect on Spray Mixing, *Journal of Fluid Engineering, Transactions of the ASME* (1976) 681-687.
- [4] Hiroyasu H, Arai M, Shimizu M. Break-up length





- of a liquid spray and internal flow in a nozzle. ICLASS-91, Gaithersburg, Maryland, July 1991
- [5] He L, Ruiz F. Effect of cavitation on flow and turbulence in plain orifices for high-speed atomization. *Atom Sprays* 1995;5:569–84.
- [6] Iida, H., Matsumura, E., Tanaka, K., Senda, J., Fujimoto, H and Maly, R. R., Effects of Internal Flow in a Simulated Diesel Injection Nozzle on Spray Atomization, *CD-ROM of 8th International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems (ICLASS 2000)* (2000), pp. 179-197.
- [7] JSME, e.d., JSME Data Book, *Hydraulic Losses in Pipe and Ducts*, (2004) Maruzen.
- [8] Jalaluddin dan M. Ilham maulana, Kavitasi di dalam Saluran 2D dan Pengaruhnya Terhadap Pancaran Aliran Keluar Saluran, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin ke -8 , Semarang, 2009
- [9] Jalaluddin dan M. Ilham maulana, Pengamatan Eksperimental Terhadap Stuktur Aliran Kavitasi dan Profil Kecepatan di dalam Nosel 2D, Seminar Nasional , Medan, 2010
- [10] Sou, A., Muhammad Ilham Maulana, Hosokawa, S. & Tomiyama, A., "Effects of Cavitation in a Nozzle on Liquid Jet Atomization", *Proc. ICLASS 2006*, CD-ROM, ICLASS06-043, (2006).
- [11] Soteriou C, Andrews R, Smith M. Direct injection diesel sprays and the effect of cavitation and hydraulic flip on atomization. SAE Paper 950080; 1995.
- [12] Tamaki, N., Shimizu, M., Nishida, K. and Hiroyasu, H., "Effects of Cavitation and Internal Flow on Atomization of a Liquid Jet", *Atomization and Sprays*, 8 (1998) 179-197.



