

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

Pada penelitian ini, dilakukan visualisasi proses pembentukan kavitasasi 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 kavitasasi dan atomisasi. Data ini digabungkan dengan hasil pengamatan pada nosel berbentuk silinder sebagai faktor pembanding. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan zona kavitasasi 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, Kavitasasi, Pancaran Aliran, Bilangan Kavitasasi, Atomisas dan, kontraksi aliran

## 1. Pendahuluan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kavitasasi 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 kavitasasi di dalam nosel<sup>(2-6,8-11)</sup>. Hasil pengamatan menegaskan bahwa atomisasi jet cairan akan meningkat ketika kavitasasi berkembang di dalam nosel, yakni, pada suatu rejim aliran yang disebut super kavitasasi<sup>(4,8,9,12)</sup>. Oleh karena itu, penggunaan suatu indikator yang dapat memprediksi pembentukan super kavitasasi merupakan suatu hal yang sangat penting dan berguna di dalam mendesain suatu *pressure atomizers*.

Pada penelitian sebelumnya, kami telah menegaskan bahwa kavitasasi di dalam suatu nosel dipengaruhi oleh terjadinya kontraksi aliran di dalam nosel. Karena koefisien kontraksi dari suatu aliran non kavitasasi dipengaruhi oleh ratio  $C_u$  antara the cross-sectional area  $A_u$  upstream nosel dan  $A_N$  dr nosel<sup>(13)</sup>,  $C_u$  dapat mempengaruhi kavitasasi dalam nosel. Effek dari  $C_u$  terhadap kavitasasi, 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 mengoptimasikan bentuk2 nosel, karena sulit untuk menentukan perkembangan kavitasasi dalam nosel. Berbagai angka kavitasasi telah diusulkan dan digunakan sebagai suatu indikator dari perkembangan kavitasasi dalam nosel. Meskipun kami telah mengkonfirmasikan bahwa suatu *conventional cavitation numbers*  $\sigma$ <sup>(14)</sup> dapat digunakan untuk memprediksi perkembangan kavitasasi di dalam nosel yang memiliki konfigurasi yang sama, namun faktanya, berbagai angka kavitasasi ternyata tidak dapat selalu digunakan untuk memprediksi kavitasasi dalam berbagai nosel. Sebagian besar dari angka kavitasasi yang ada justru tidak menghitung pengaruh dari kontraksi aliran, yang merupakan salah satu parameter yang penting di dalam pembentukan kavitasasi. Hiroyasu dkk telah mengusulkan suatu angka kavitasasi yang menghitung tekanan  $P_c$  dan kecepatan  $V_c$  di dalam *vena contracta*. Namun apakah angka kavitasasi tersebut dapat digunakan untuk meramalkan pembentukan

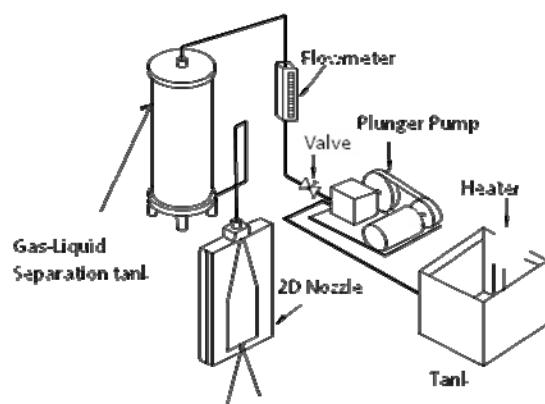


superkavitas di dalam nosel atau tidak, belum diverifikasi.

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



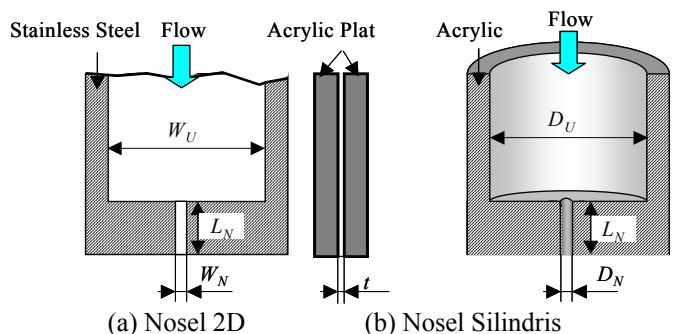
Gambar 1 Setup peralatan eksperimen untuk nosel

Untuk memeriksa efek dari konfigurasi nosel terhadap karakteristik kavitas dan cairan jet, dilakukan pemeriksaan terhadap kavitas yang terjadi pada nosel 2D dan silindris dengan ukuran yang berbeda. Skema dari nosel 2D dan silidris ditunjukkan pada gambar Figs. 2(a) and (b). Dimensi dari nosel 2D dan silidris di ringkas dalam table 1 dan 2. Nosel 2D dengan berbagai ukuran lebar  $W_u$ , panjang  $L_N$ , ketebalan  $t$  and lebar upstream  $W_u$  digunakan untuk memeriksa kemampuan dari bilangan kavitas 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 kavitas dari saluran nosel didefinisikan oleh:

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

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,  $v_L$  viscositas kinetik cairan.

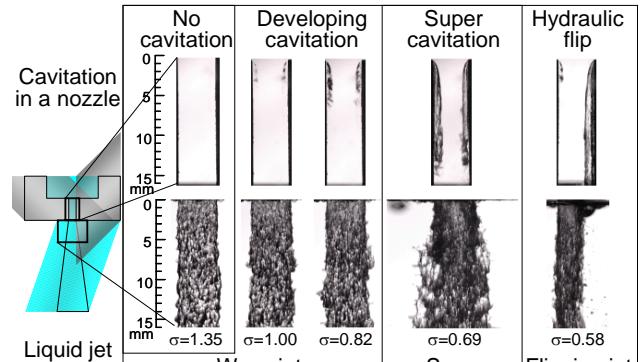
### 3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 3 (a) dan (b) menunjukkan kavitas 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 kavitas sebagai berikut<sup>(5,8)</sup>: tanpa kavitas (normalisasi panjang kavitas  $L^*$  didefinisikan sebagai  $(=L_{cav}/L_{nosel})$ ), perkembangan kavitas ( $0 < L^* < 0.6$ ), super kavitas ( $0.6 < L^* < 1$ ), and flip ( $L^* = 1$ ). Atomisasi jet cairan meningkat pada rejim super kavitas pada keseluruhan nosel, yang mengkonfirmasikan kepada kita bahwa bilangan kavitas dapat digunakan untuk memprediksi pembentukan rejim super kavitas. Hal ini sangat berguna dalam merancang suatu *pressure atomizers*. Harus dicatat bahwa sudut pancaran (*spray angle*)<sup>(11)</sup> pada rejim super kavitas 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,  $\theta = 9^\circ$ .

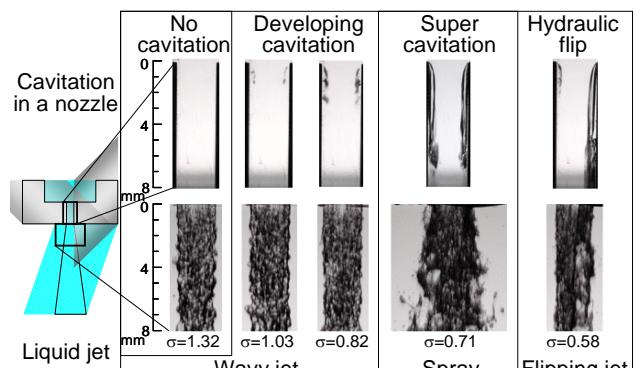
Gambaran dari kavitas di dalam nosel silindris dengan diameter 4 mm dan pancaran cairan keluar nosel di tunjukkan pada Gambar 4 sebagai suatu referensi pembanding. Pada kasus nosel silindris, hasil pengamatan penunjukkan bahwa transisi rejim dari kavitas dan pancaran cairan keluar nosel menunjukkan kecenderungan 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 kavitas  $\sigma$  digunakan sebagai indicator, sebagaimana didefinisikan pada persamaan (3). Sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 3 (a) dan (b), super kavitas terbentuk pada  $\sigma \approx 0.7$  di dalam nosel dengan konfigurasi yang sama. Kondisi ini membuktikan bahwa pembentukan super kavitas di dalam nosel dengan konfigurasi yang sama dapat diprediksi dengan menggunakan  $\sigma$ . Pada sisi lain, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4, super kavitas 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

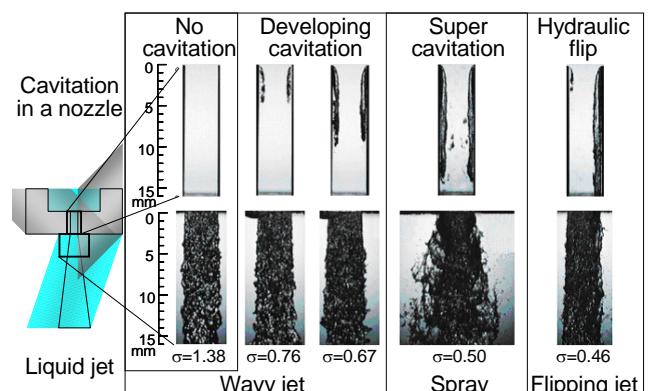
$\sigma$  untuk memprediksi pembentukan super kavitas di dalam nosel dengan konfigurasi yang berbeda.



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



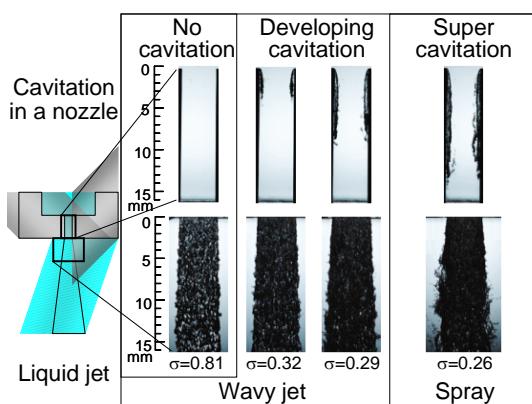
(b)  $W_N = 2.23 \text{ mm}$ ,  $C_u \approx 7.2$ ,  $L/W_N \approx 4$ ,  $W_N/t \approx 4$



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

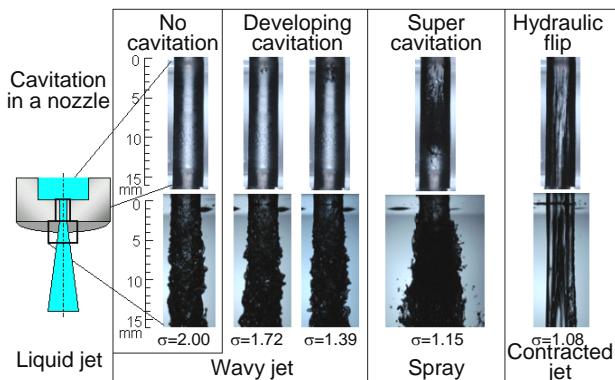
Gambar 1 Pengaruh ukuran dan bentuk nosel terhadap kavitas dan jet (nosel 2D)



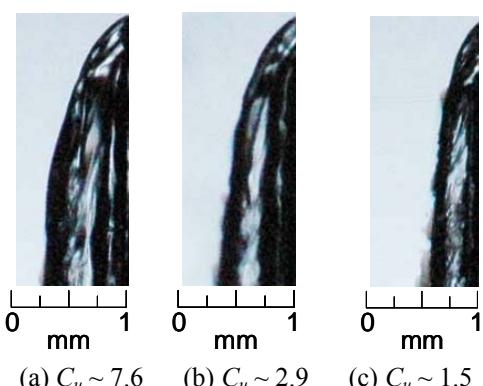


(d)  $W_N = 4.06 \text{ mm}$ ,  $C_u \approx 1.5$ ,  $L/W_N \approx 4$ ,  $W_N/t \approx 4$

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



Gambar 4. Kavitas dan jet cairan pada nosel silindris ( $D_N = 4 \text{ mm}$ ,  $C_u = 64$ ,  $L/D_N = 4$ )



Gambar 5. Pengaruh  $C_u$  terhadap ketebalan kavitas ( $W_N \approx 4 \text{ mm}$ ,  $L = 16 \text{ mm}$ )

Visualisasi kavitas di dekat sisi masuk nosel pada nosel 2D dengan  $C_u$  yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 5. Ketebalan  $W_{cav}$  dari zona kavitas 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 alas an logis mengapa super kavitas pada nilai  $s$  yang lebih kecil pada kasul Cu yang kecil. Hasil ini mengkonfirmasikan bahwa efek dari kontraksi aliran memainkan peranan penting di dalam perkembangan kavitas di dalam nosel.

#### 4. Kesimpulan

Pengaruh dari geometri nosel terhadap kavitas di dalam nosel pada suatu *pressure atomizers* di teliti menggunakan nosel dua-dimensi (2D) dengan berbagai geometri yang berbeda. Kemudian, apakah bilangan kavitas  $\sigma$  dapat digunakan untuk memprediksi pembentukan rejim super kavitas dan terbentuknya atomisasi pada nosel dengan geometry 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 kavitas meningkat terhadap rasio  $C_u$  antara luasan melintang pada upstream nosel terhadap diameter nosel.
- (2) Ketebalan dari lapisan batas pemisah dipengaruhi oleh zona kavitas yang terbentuk
- (3) Ketika  $C_u$  bertambah dari 1.5 to 2.9, sudut pancaran yang terjadi pada rejim super kavitas, meningkat.
- (4) Kita dapat memprediksi terbentuknya super kavitas pada nosel dengan harga rasio Cu 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, Kavitasasi 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 Struktur Aliran Kavitasasi 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.



