

PENGARUH BILANGAN TAK BERDIMENSI DAN Re TERHADAP KAVITASI DAN PANCARAN ALIRAN PADA NOSEL

Jalaluddin dan Muhammad Ilham Maulana

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: jalal_adila@yahoo.com

ABSTRAK

Terjadinya fenomena kavitasi pada aliran fluida di dalam nosel dan pembentukan rejim super kavitasi yang memicu terjadinya atomisasi pada sisi keluar nosel telah diteliti melalui serangkaian eksperimen untuk melihat parameter yang dapat digunakan untuk menunjukkan intensitas dari kavitasi. Suatu kamera berkecepatan tinggi digunakan untuk menginvestigasi dan memvisualisasikan efek dari kavitasi terhadap pembentukan jet cairan pada sisi keluar nosel pada berbagai kondisi dari bilangan kavitasi dan bilangan Reynold, σ dan Re . Hasil penelitian menunjukkan bilangan Reynold Re akan meningkat dengan bertambahnya T_L karena ρ_L dari cairan berkurang dengan bertambahnya T_L . Sedangkan nilai σ tidak banyak berubah dengan berubahnya temperature. Terbentuknya pancaran aliran (spray) di luar nosel berhubungan erat dengan rejim super kavitasi di dalam nosel, yang berarti bahwa pembentukan rejim super kavitasi memicu terjadinya atomisasi pada aliran keluar. Hasil eksperimen juga menunjukkan bahwa sudut yang dibentuk pada proses atomisasi (spray angle) juga tergantung pada bilangan kavitasi σ , disebabkan perubahan dari rejim berkembangnya kavitasi menuju super kavitasi sangat tergantung pada bilangan kavitasi.

Keywords: Kavitasi, Pancaran Aliran, Bilangan Reynold, bilangan Kavitasi, Nosel.

1. Pendahuluan

Di dalam suatu pressure atomizer seperti halnya diesel injector nozzle, perkembangan dari kavitasi diyakini memainkan peranan penting terhadap proses terbentuknya atomisasi dari pancaran cairan yang keluar dari nozzle. Peristiwa terjadinya kavitasi pada nosel telah diteliti dan dikaji oleh berbagai peneliti⁽¹⁻⁹⁾. Berbagai penelitian juga telah menunjukkan hubungan yang sangat erat antara perkembangan kavitasi di dalam nosel dengan fenomena pancaran dan terbentuknya atomisasi^(3,5-9).

Salah satu aspek paling penting pada penelitian kavitasi adalah kemampuan untuk memperoleh hubungan diantara peningkatan dan tipe dari daerah kavitasi dan efek yang berhubungan dengan performa dari pembentukan jet. Untuk tujuan praktis, bagaimanapun, sangat menguntungkan untuk memperkenalkan suatu parameter yang dapat digunakan untuk mengamati dan memprediksi perkembangan kavitasi di dalam nosel dan pengaruhnya terhadap

atomisasi. Intensitas dan besarnya dari kavitasi dalam aliran nosel biasanya digambarkan oleh suatu bilangan tak berdimensi yang disebut bilangan kavitasi σ dan bilangan Reynolds Re . Bilangan kavitasi pada saluran nosel didefinisikan sebagai:

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

Dan bilangan Reynolds pada aliran yang melewati nosel 2D didefinisikan oleh:

$$Re = \frac{V_N W_N}{\nu_L} \quad (2)$$

dimana P_a adalah tekanan atmosfer, P_v tekanan uap jenuh, ρ_L densitas cairan, V_N kecepatan rata-rata cairan di dalam nosel dan ν_L viscositas kinetik cairan.

Hasil penelitian oleh Bergwerk⁽¹⁾, Nurick⁽²⁾, dan banyak peneliti lainnya⁽⁵⁻⁸⁾ telah menegaskan bahwa σ

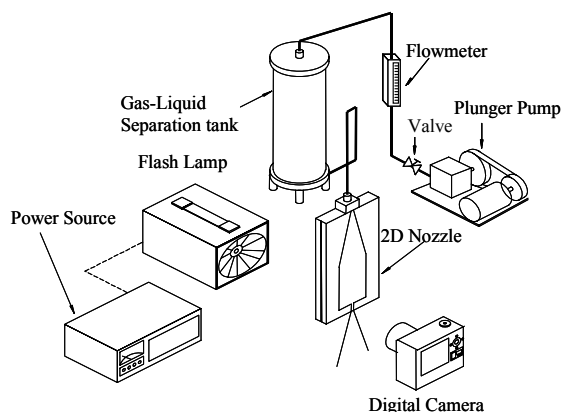


and Re adalah kriteria yang sangat penting, untuk menggambarkan aliran kavitas di dalam nosel. Keduanya telah banyak digunakan, karena kedua parameter secara teoritis erat kaitannya dengan faktor yang cenderung menghasilkan kavitas, seperti halnya kecepatan rata-rata dan penurunan tekanan. Dalam rangka untuk menyediakan informasi yang lebih memadai terhadap karakteristik dari aliran di dalam nosel, bagaimanapun, studi eksperimental lebih lanjut terhadap aliran kavitas untuk menjelaskan efek dari \square and Re terhadap kavitas dan atomisasi masih sangat dibutuhkan.

Kedua bilangan tak berdimensi ini akan berubah karakteristiknya dikarenakan berubahnya \square dan \square terhadap temperatur cairan T_L . Oleh karena itu pada penelitian ini, dilakukan visualisasi pola aliran kavitas yang diamati di dalam aliran dalam nosel injector. Penelitian dilakukan dengan melakukan serangkaian studi eksperimen pada nosel 2D dengan masukan persegi tajam. Hasilnya ditampilkan dalam bentuk serangkaian foto dan gambar yang menunjukkan efek dari temperatur cairan terhadap \square and Re dan hasilnya pada struktur kavitas dan spray yang terbentuk

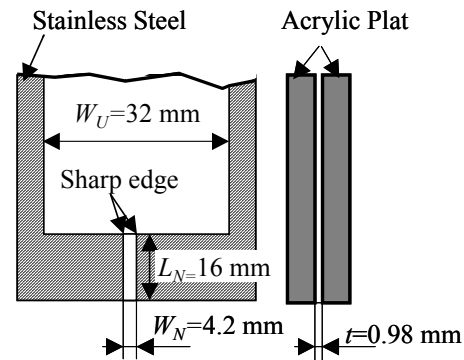
2. Set up peralatan penelitian

Perlengkapan eksperimen yang digunakan pada penelitian ditunjukkan pada gambar 1, dalam rangka menganalisa aliran dalam nosel dan karakteristik jet dari nosel yang digunakan. Pompa isap dijalankan pada kecepatan angular 1431 rpm, tekanan maksimum 4.0 Mpa dan maksimum flowrate 10 ml/mnt. Air disuplai menuju pompa pada temperatur $T_L = 293, 303, 313, 333$ K. Air dikeluarkan dari pompa melewati suatu flowmeter (Nippon flow cell, D10A3225) di dalam upstream nosel untuk mengukur laju aliran dan kemudian mengalir ke dalam nosel. Akhirnya cairan dikeluarkan dari nosel menuju udara diam tekanan atmosfer. Untuk memperoleh perkiraan yang baik dari kesalahan eksperimen, beberapa perulangan pengukuran dilakukan pada kondisi eksperimen yang sama.



Gambar 1 Setup peralatan eksperimen untuk nosel

Gambar 2 menunjukkan konfigurasi dari suatu nosel 2D yang terdiri dari 2 plat acrylic dan dua plat stainless steel tipis, dengan sisi tajam dibentuk pada masukan nosel. Nosel 2D ini memiliki celah ketebalan 1 mm dan *upper diameter* $W_U = 32$ mm. Saluran nosel memiliki panjang $L_N = 16$ mm, lebar $W_N = 4$ mm dan memiliki rasio panjang terhadap diameter $L/D = 3.8$.



Gambar 2. Skema nosel 2D

Serangkaian eksperimen dilakukan pada berbagai kondisi dari bilangan Reynolds dan bilangan kavitas yang diatur dengan mengubah laju aliran cairan pada temperatur cairan yang berbeda. Karena aliran di dalam nosel dan jet aliran memiliki bidang yang berbeda, eksperimen dilakukan dua kali dengan *focal length* kondisi eksperimen yang sama.

Empat percobaan penelitian dengan temperatur yang berbeda⁽⁹⁾ dilakukan untuk mengevaluasi struktur kavitas dan karakteristik jet cairan dari sistem nosel. Pengamatan fenomena kavitas di dalam nosel dimulai dari kondisi sesaat sebelum kavitas terjadi, pada harga bilangan Reynold yang rendah dan bil kavitas yang tinggi. Hal ini karena tidak ada kavitas pada laju aliran yang dan bilangan Reynold yang sangat rendah selama aliran laminar. Gambaran kavitas dan jet cairan diambil menggunakan kamera digital dan *intermittent strobe-flashing lamp* (Nissin Electronic, MS-100 & LH-15M) berdurasi 12 \square s.

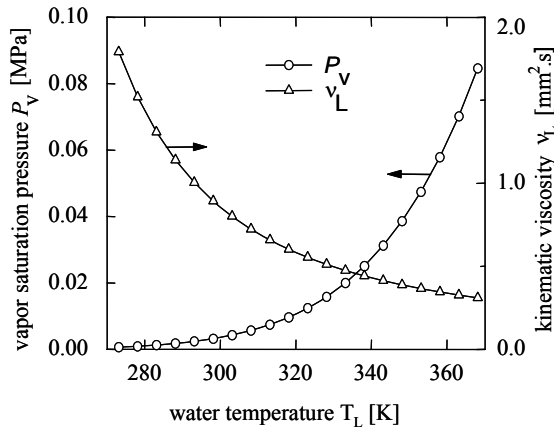
3. Hasil dan Pembahasan

Diskusi mengenai kavitas dan jet cairan di dalam laporan ini, bagaimanapun, terbatas pada pengaruh Re and \square terhadap karakteristik dasar dari fenomena perkembangan kavitas dan jet cairan dengan memberikan perhatian khusus terhadap efek dari temperatur cairan.

Hubungan diantara tekanan uap jenuh dan viskositas

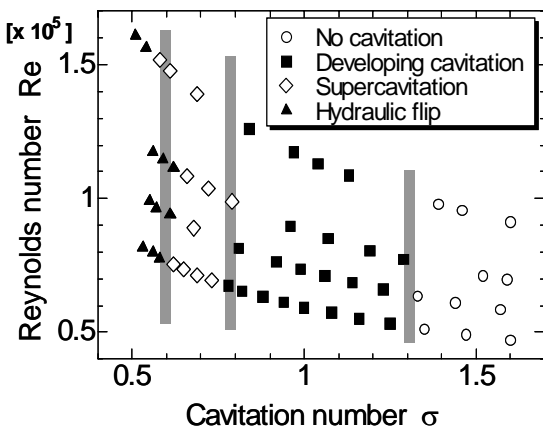


kinematik air terhadap ditampilkan pada gambar 3. Harga tekanan uap jenuh turun dengan naiknya temperatur. Sebaliknya harga viskositas kinematik akan naik dengan kenaikan temperatur. Kedua parameter P_v dan ν_L berubah T_L yang berbeda. Kerenanya, hasil ini menunjukkan bahwa harga P_v and ν_L tergantung kepada T_L .



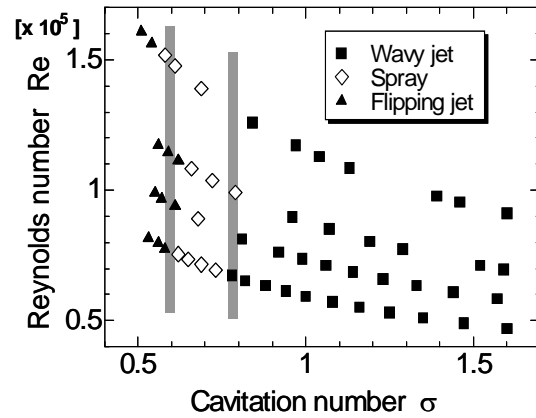
Gambar 3 Pengaruh temperature air terhadap tekanan uap jenuhdan viskositas kinematik

Peta gambaran rejim kavitasasi dan jet cairan ditunjukkan pada gambar 4(a) dan (b). Daerah pada rejim pancaran (spray) dari jet cairan bersesuaian dengan pembentukan super kavitasasi pada rejim kavitasasi, yang memberi arti bahwa super kavitasasi mempengaruhi dan meningkatkan atomisasi pada jet cairan. Oleh karena transisi dari perkembangan kavitasasi menuju super kavitasasi sangat tergantung kepada σ , maha transisi dari jet bergelombang menuju spray juga tergantung pada σ .



(a) Peta rejim kavitasasi

Gambar 4. Pengaruh σ dan Re terhadap rejim kavitasasi dan jet cairan ($T_L=293, 303, 313, 333$ K)



(b) Peta jet cairan

Gambar 4. Pengaruh σ dan Re terhadap rejim kavitasasi dan jet cairan ($T_L=293, 303, 313, 333$ K) lanjutan

Panjang kavitasasi tak berdimensi L^* yang digunakan di dalam penelitian ini didefinisikan oleh:

$$L^* = \frac{L_{cav}}{L} \quad (3)$$

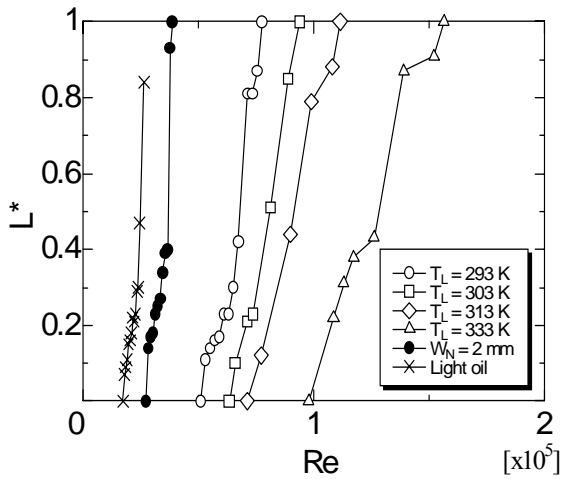
dimana L_{cav} panjang *streamwise* dari daerah kavitasasi dan L panjang nosel. L_{cav} diperoleh dari 20 image kavitasasi hasil penelitian. Seperti disebutkan di atas, jangkauan dari $L^* < 1$ yang sesuai dengan rejim super kavitasasi, yang mana jet cairan membentuk atomisasi.

Hubungan antara Re dan L^* dan di antara σ dan L^* ditunjukkan pada Gambar 5(a) dan (b), berturut-turut. Data penelitian pada nosel dengan skala separuhnya ($W_N=2.2$ mm, $t=0.47$ mm, $L=8$ mm, $T_L=293$ K) dan untuk *light oil* ($W_N=4.21$ mm, $t=0.98$ mm, $L=16$ mm) juga ditunjukkan di dalam gambar. Transisi rejim kavitasasi pada kasus kedua pembandingan di atas juga menunjukkan kecenderungan yang sama sebagaimana pada nosel yang lebih besar, yakni, L^* sangat tergantung pada σ tidak terhadap Re , dan bilangan kavitasasi σ dapat digunakan untuk mengevaluasi L^* pada nosel yang memiliki konfigurasi yang sama

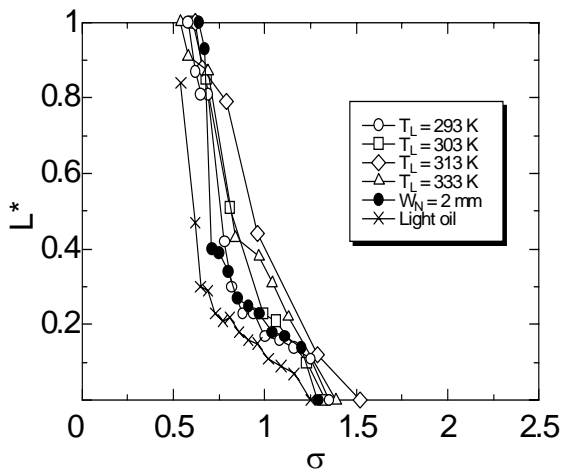
Sudut pembentukan spray σ di sekitar sisi keluar nosel diukur dari gambar, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.

Nilai rata-rata σ digambarkan versus L^* pada gambar 7. Pada nilai $0.7 < L^* < 1$, yakni pada rejim super kavitasasi, σ membentuk harga yang sangat besar sebagaimana ditunjukkan pada gambar. Perbedaan nilai σ antara air (surface tension $\sigma = 0.073$ N/m), nozzle dengan skala setengah dan *light oil* ($\sigma = 0.03$ N/m) untuk $L^* < 0.7$ disebabkan karena terdapat perbedaan pada gaya tegangan permukaan.



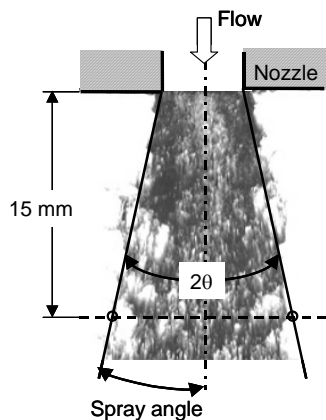


(a) L^* versus Re



(a) L^* versus σ

Gambar. 5 Panjang kavitasasi L^* versus Re dan σ



Gambar 6 Sudut pembentukan spray

4. Kesimpulan

Kavitasi di dalam nosel dan jet cairan jet telah diamati pada berbagai kondisi dari temperature cairan dan laju aliran untuk melihat pengaruh bilangan Re bilangan kavitasasi terhadap kavitasasi di dalam nosel dan jet cairan, nosel yang sama dengan skala separuhnya dan light oil juga digunakan untuk memeriksa efek dari ukuran nosel dan sifat fluida. Sebagai hasilnya, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pola pembentukan aliran kavitasasi sangat tergantung pada bilangan kavitasasi, bukan pada bilangan Reynolds.
2. Oleh karena transisi dari perkembangan kavitasasi menuju super kavitasasi mempengaruhi terbentuk spray, maka proses atomisasi pada saluran keluar nosel juga tergantung pada σ .
3. Sudut pembentukan spray tergantung pada pola alir dari aliran kavitasasi.

Ucapan terima kasih

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] 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 forifices for high-speed atomization. *Atomization and Sprays* 1995;5:569-84.
- [6] 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
- [7] Jalaluddin dan M. Ilham maulana, Studi Pembentukan Kavitasasi di dalam Penyempitan Saluran 2D (Nosel), Seminar Nasional Kluster



- Riset Teknik Mesin (Semnas KRTM 2009),
Surakarta, 2009
- [8] 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).
- [9] Sou, A., Muhammad Ilham Maulana, Hosokawa, S.
and Tomiyama, A., "Effects of the Cavitation and
Reynolds Numbers on Cavitating Flow in a Two-
Dimensional Nozzle", *Progress in Multiphase
Flow Research*, Vol. 1, pp. 65-70, 2006.
- [10] Soteriou C, Andrews R, Smith M. Direct injection
diesel sprays and the effect of cavitation and
hydraulic flip on atomization. SAE Paper 950080;
1995.



