

## M6-011 Kavitasi di dalam Saluran 2D dan Pengaruhnya

### Terhadap Pancaran Aliran Keluar Saluran

Jalaluddin<sup>1</sup> dan Muhammad Ilham Maulana<sup>2</sup>

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

Kavitasi terjadi pada berbagai jenis fenomena aliran seperti halnya pada mesin-mesin hidrolis, impeller atau bagian bergerak dari kapal laut, aliran dalam pipa, nosel pada mesin diesel dan sebagainya. Suatu teknik sederhana untuk mempelajari kavitasi adalah mengamati aliran secara visual pada saluran 2 dimensi. Pada suatu aliran, fase transisi dari cairan menjadi uap karena terjadinya penurunan tekanan, disebut kavitasi. 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. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengamati pola aliran di dalam saluran sempit (nosel) dan proses terjadinya kavitasi serta pengaruhnya terhadap pancaran aliran keluar dari saluran (atomisasi). Untuk tujuan praktis bagaimanapun akan bermanfaat untuk memperkanalkan suatu parameter yang akan menghitung perkembangan kavitasi yang diamati dalam suatu saluran nosel. Besarnya dan intensitas dari kavitasi dalam aliran nosel biasanya digambarkan oleh suatu bilangan tak bedimensi disebut bilangan kavitasi (cavitation number)  $\sigma$  dan nilangan Reynold (Reynolds number)  $Re$ .

*Keywords:* Kavitasi, bilangan kavitasi, pola aliran, spray

#### 1. Introduction

Kavitasi berasal dari kata latin *cavitare* yang berarti melubangi, jadi merujuk kepada pembentukan kaviti (lubang). Kavitasi secara umum dipahami sebagai proses dinamik dari pembentukan dan pecahnya gelembung dan kaviti di dalam fluida. Untuk menghasilkan kaviti di dalam fluida, fluida harus diekspansikan dan kemudian pecah.

Pada suatu saluran yang menggunakan sisten nosel, seperti halnya *diesel injektor nozzle*, adanya beda tekanan karena efek geometri dari system adalah sumber utama daripada kavitasi. Studi eksperimen [1,2,3] telah menunjukkan bahwa pada laju injeksi tinggi, penurunan tekanan di bawah batas kritis di dalam area *vena contracta* di dalam nozzle menyebabkan pembentukan uap pada sudut sisi masuk nosel.

Dalam suatu eksperimen, merupakan hal yang sangat sulit untuk memvisualisasikan aliran di nosel dengan ukuran sebenarnya karena dimensinya yang sangat kecil dan beroperasi pada tekanan yang sangat tinggi selama periode yang singkat. Oleh karena itu, sebahagian besar studi dilakukan pada model transparan dengan ukuran yang lebih besar dari ukuran aslinya [4] disamping pada nozzle yang sebenarnya. Berbagai jenis nozzle telah di investigasi, mulai dari *one orifice nozzles* dalam referensi [5] sampai *different multi-hole VCO and Sac-nozzles*[6].

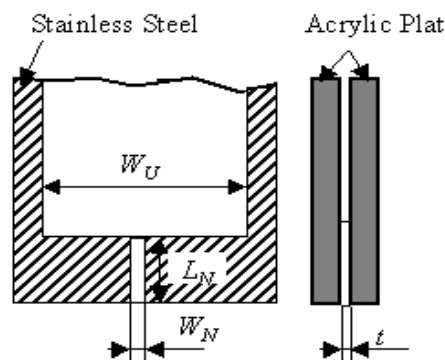
Salah satu aspek paling penting pada penelitian kavitasi adalah kemampuan untuk memperoleh hubungan diantara tingkatan dan tipe dari daerah kavitasi dan efek nya yang berhubungan dengan performa dari pembentukan jet.

Penelitian ini bermaksud untuk melakukan suatu studi fisualisasi dari pola aliran kavitasi ditinjau di dalam suatu aliran yang melalui suatu penyempitan nosel 2D dengan diameter 4 mm. Debit aliran diatur sedemikian rupa untuk mendapatkan kondisi aliran dengan bilangan Reynold dan bilangan kavitasi yang berbeda. Pola aliran di dalam dan diluar saluran diamati dengan menggunakan kamera kecepatan tinggi (*high-speed camera*)

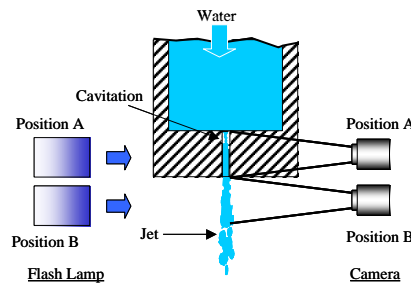
## 2. Peralatan Penelitian

Skema dari peralatan penelitian yang digunakan untuk mengamati aliran internal dalam nosel dan stuktur pancaran aliran ditunjukkan dalam Gambar 1. Selama pelaksanaan penelitian, air digunakan sebagai fluida kerja. Air dialirkan dari suatu reservoir dan diatur kapasitas alirannya menggunakan suatu katup kontrol aliran. Air dialirkan dari reservoir menuju nosel dengan menggunakan pompa. Untuk mempertahankan kualitas air yang masuk ke nosel air dialirkan melalui suatu filter sebelum memasuki inlet nosel.

Gambar 1 menunjukkan skema dari nosel 2D yang digunakan dalam penelitian ini. Sebagaimana yang ditunjukkan dalam gambar, nosel 2D terdiri dari plat akrilik datar dan dua plat stainless stell tipis, dengan suatu sisi masuk tajam dibentuk pada inlet nosel. Gambar 2 menunjukkan skema dari nosel ini pada dari pandang arah investigasi di dalam penelitian



Gambar 1 Skema nosel 2 dimensi



Gambar 2 Skema diagram system fotografi untuk mengamati kavitasi dan jet pada nosel 2 dimensi

Nosel 2D yang digunakan 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 lebar  $L/W=3.8$ .

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, medan pengamatan dipilih dengan cara ini memungkinkan sejumlah pengamatan yang jelas terhadap aliran nosel dan efeknya terhadap jet. Sebagaimana ditunjukkan dalam gambar ini, nosel diletakkan diantara sumber cahaya dan kamera digital, memberikan cahaya gelap pada bagian plat stainless steel. Bayangan gelap akan ditangkap di dalam saluran nosel jika kavitasi muncul, karena cahaya di hambat oleh hadirnya uap dan tidak mencapai kamera. Hal ini sama dengan jet, karena cahaya dipantulkan oleh cairan dari jet. Gambaran kavitasi dan jet cairan diambil menggunakan kamera digital dan *intermittent strobe-flashing lamp* (Nissin Electronic, MS-100 & LH-15M) berdurasi 12  $\mu$  s.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Besarnya dan intensitas dari kavitasi dalam aliran nosel biasanya digambarkan oleh suatu bilangan tak bedimensi disebut *cavitation number*  $\sigma$  dan *the Reynolds number*  $Re$ . Bilangan kavitasi dari saluran nosel didefinisikan oleh:

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

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

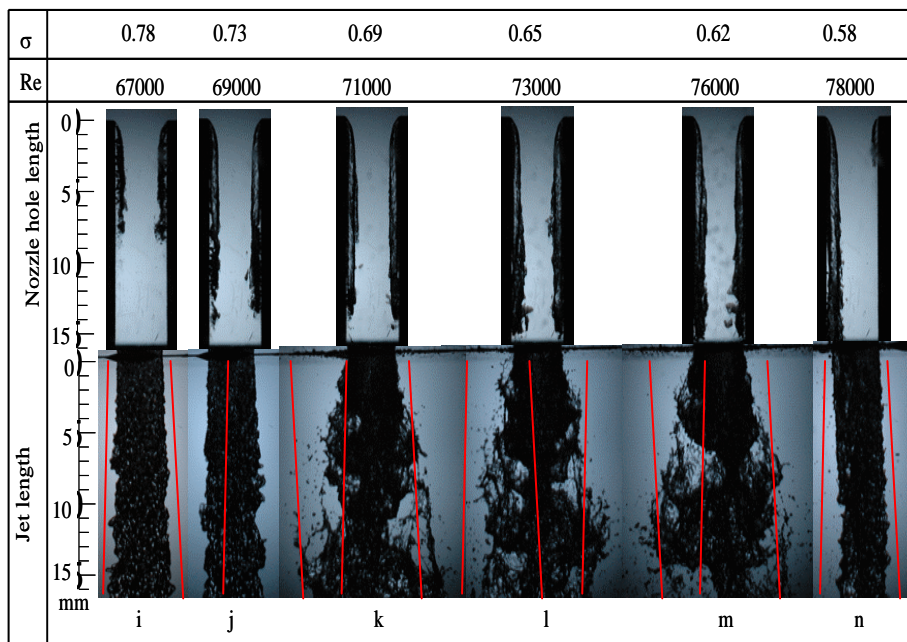
Pengamatan fenomena kavitasi di dalam nosel dimulai dari kondisi sesaat sebelum terjadinya kavitasi pada bilangan Raynold cukup rendah dan bilangan kavitasi yang besar. Empat tes

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

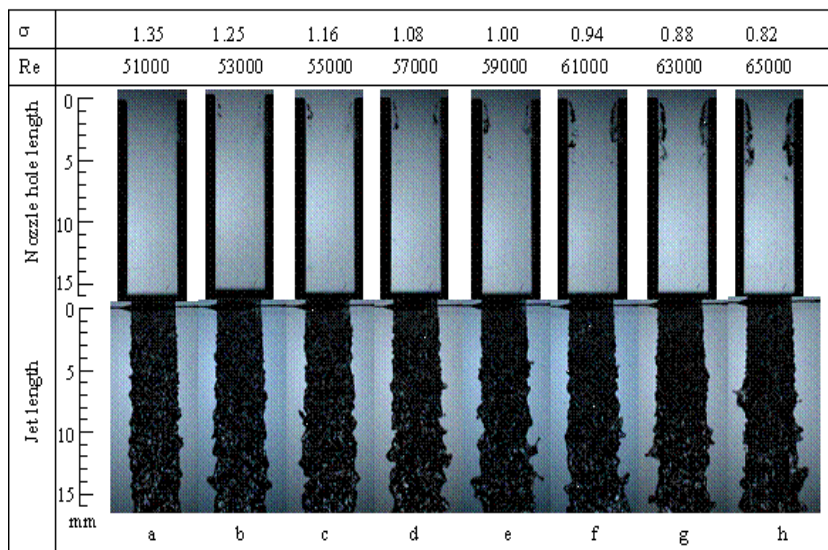
*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

experimen dengan temperatur yang berbeda dilakukan untuk mengevaluasi struktur kavitasi dan karakteristik jet cairan dari sistem nosel. Pengamatan fenomena kavitasi di dalam nosel dimulai dari kondisi sesaat sebelum kavitasi terjadi, pada harga bilangan Reynold yang rendah dan bilangan kavitasi yang tinggi. Hal ini karena tidak ada kavitasi pada laju aliran yang dan bilangan Reynold yang sangat rendah selama aliran laminar.

Gambar 3 a-h menunjukkan foto aliran dalam nosel dan pancaran aliran (jet) yang dihasilkan pada kecepatan injeksi yang berbeda.



Gambar 3a Image kavitasi di dalam nosel 2D nozzle dan pembentukan jet



Gambar 3b Image kavitasi di dalam nosel 2D nozzle dan pembentukan jet (lanjutan)

Pada awal injeksi (Gambar 3a), kita dapat melihat bahwa kavitasi belum terbentuk dan tidak dapat diamati ketika  $\sigma > 1.35$  and  $Re = 51000$ . Perlu dicatat, bahwa kavitasi pada titik dimana tekanan lokal jatuh tekanan uap. Kavitasi tidak terjadi pada aliran *rectilinear* atau kecepatan tidak cukup untuk menyebabkan drop tekanan yang cukup rendah. Pada kasus dimana kavitasi tidak muncul sebagaimana ditunjukkan pada gambar aliran jet berbentuk gelombang, yang mengindikasikan tidak terjadinya atomisasi.

Kantung uap kecil (*traveling bubble/inception*) are secara tiba-tiba muncul terbentuk pada lubang nosel sisi sudut masuk nosel sebagai suatu area gelap pada lubang nosel ketika  $\sigma = 1.25$  and  $Re = 53000$  (gambar 3b). Kondisi ini disebut sebagai awal munculnya kavitasi (*cavitation inception*). Bentuk kavitasi ini ditandai dengan munculnya gelembung kecil di dalam suatu zona sirkulasi dekat sisi masuk nosel. Kondisi ini tidak begitu mengherankan karena secara teori tekanan pada lokasi ini cukup rendah karena perubahan arah aliran disebabkan oleh perubahan geometri nosel. Namun, kavitasi ini menghilang seketika setelah terbentuk.

Selanjutnya ketika kecepatan injeksi dinaikkan, (diikuti oleh kenaikan perlahan dari tekanan), gelembung kecil yang tumbuh menjadi lebih panjang searah dengan arah pada sisi nosel. Ketika kavitasi muncul pada lubang nosel, terjadi pelebaran sudut kecil pada pancaran pada sisi keluar nosel; spray muncul sesaat namun masih belum stabil. Pada penembahan kecepatan aliran masuk selanjutnya, kavitasi terjadi dan bertambah panjang secara bertahap sejalan dengan berkurangnya bilangan kavitasi (bertambahnya bilangan Reynold) sampai mencapai titik dimana kavitasi mencapai setengah panjang dari lubang nosel pada kondisi  $\sigma = 0.78$  and  $Re = 67000$  (Gambar 3e-i). Pada gambar yang sama dapat dilihat bahwa kavitasi terpisah dari dinding nosel di dalam lubang nosel. Awan kavitasi cenderung berkembang secara koheren dengan struktur yang berubah-ubah. Setelah titik pemisahan (*reattachment point*) *sheed cavitation cloud* bergerak menuju pusat

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

lubang dan dibawa oleh aliran. Namun, ketika kavitasi masih mencapai setengah dari panjang nosel, pancaran tidak begitu terganggu dan sudut pancaran (spray angle) tidak muncul jika dibandingkan pada kondisi ketika  $\phi = 0.69-0.62$ .

Peningkatan selanjutnya dari kecepatan injeksi, (Gambar 3k-m), panjang kavitasi bertambah drastis daripada sebelumnya. Jet aliran sangat terganggu dan spray meledak. Namun, atomisasi benar-benar muncul ketika titik reattachment muncul pada sisi keluar nosel the nozzle exit at  $s=0.62$  and  $Re = 76000$  sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3m. Kondisi jet ini diindikasikan dengan penambahan signifikan dari sudut pembentukan spray. Terminology dari kondisi ini disebut super kavitasi di dalam nosel (Hiroyasu, 1991).

Rezim super kavitasi yaitu ketika kavitasi berkembang sesaat sebelum mencapai keluaran nosel, dicapai hanya dalam kirsan yang sangat kecil dari perubahan kecepatan di dalam nosel. Dengan bertambahnya kecepatan, aliran cairan terbagi dua dimana satunya membentuk kavitasi pendek di dekat sisi masuk dan yang lainnya mencapai sisi keluar nosel. Pada penelitian ini hal ini direferensikan sebagai *hydraulic flip condition*. Kasus ini serupa dengan *imperfect hydraulic flip* sebagaimana postulated dari Soteriou [4].

## 4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa; secara garis besar kavitasi akan berkembang menjadi 4 rejim aliran yakni, tanpa kavitasi, pembentukan awal kavitasi, kavitasi penuh dan hampasan kavitasi. Kondisi ini secara langsung juga akan berhubungan dengan proses pembentukan atomisasi, yakni pembentukan spray.

## Acknowledgements

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Prof. Tomiyama, Prof. Hosokawa and Dr. Sou atas bimbingan dan kerjasamanya.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

---

## Daftar Pustaka

- [1] Bergwerk, W., Flow Pattern in Diesel Nozzle Spray Holes, *Proc. Instn. Mech. Engrs.*, Vol. 173, No. 25 (1959) 655-660
- [2] Nurick, W. H., Orifice Cavitation and Its Effect on Spray Mixing, *Journal of Fluid Engineering, Transactions of the ASME* (1976) 681-687.
- [3] 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
- [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. *Atom Sprays* 1995;5:569–84.
- [6] Soteriou C, Andrews R, Smith M. Direct injection diesel sprays and the effect of cavitation and hydraulic flip on atomization. SAE Paper 950080; 1995.