

ANALISIS KAVITASI ELBOW 90⁰ PADA INSTALASI PIPA PEMBUANGAN AIR BEKAS GALIAN TAMBANG BATUBARA DI KALIMANTAN SELATAN

Mastiadi Tamjidillah*

Program Studi Teknik Mesin
Universitas Lambung Mangkurat
Jl. Jend. A. Yani Km. 36 Banjarbaru Kalimantan Selatan
Phone 0511.4773858 Fax 0511. 4781730
E-mail: Mastiadit@yahoo.com

ABSTRAK

Proses kavitasi sering terjadi di mesin fluida seperti turbin air, pompa, pipa baik adanya penyempitan penampang maupun belokan berupa elbow. Hal ini sangat penting diketahui dalam sistem perpipaan karena dengan perubahan penurunan tekanan akan menyebabkan perubahan fase dari cair menjadi uap. Perubahan fase ini ditandai dengan terjadinya gelembung –gelembung udara yang nantinya pecah akibat tekanan sekelilingnya. Pecahnya gelembung ini akan menyebabkan abrasi pada dinding pipa, hal inilah yang dinamakan kavitasi. Selain ditandai dengan adanya gelembung udara proses kavitasi ini juga ditandai dengan suara dan getaran disekitar dinding yang terjadi pecahnya gelembung tadi.

Penggunaan sistem perpipaan untuk pengeringan di daerah tambang pada saat ini sangat bergantung dengan kondisi musim dengan menggunakan pompa di dasar tempat penampungan air dan beberapa pompa penguat yang melewati daerah penambangan aktif. Dengan melihat luas area bekas galian maka instalasinya memerlukan beberapa jenis sambungan yang menghasilkan tekanan yang besar yang menimbulkan terjadinya abrasi, getaran (vibrasi), dan suara bising.

Data awal yang didapatkan pada peralatan meliputi pompa, motor, belt, dan putaran poros. Putaran pompa yang terukur adalah 2850 rpm dan dianggap sama untuk tiap pengambilan data, sedangkan untuk putaran motor adalah 2850 rpm. Tiap elbow dapat dibedakan dari masing masing frekuensi yang dimiliki. Perhitungan lain untuk mengetahui kavitasi dengan angka thoma maupun bilangan Reynoldsnya.

Kata kunci: kavitasi, pompa, pipa, elbow getaran, bising, tambang

PENDAHULUAN

Howard L. Hartman (1987) menjelaskan mengenai penambangan, yaitu suatu kegiatan, pekerjaan, dan industri yang berkaitan erat dengan segala macam bentuk aktivitas penggalian / pengambilan mineral, baik yang dilakukan di permukaan tanah (*surface*) maupun di bawah tanah (*underground*). Kegiatan eksploitasi merupakan tahapan yang mempunyai paling banyak dampak langsung terhadap kondisi lingkungan karena kegiatan kerjanya yang mengarah pada perubahan topografi / kontur suatu wilayah secara luas, seperti terbentuknya banyak lubang bukaan di permukaan tanah. Ada beberapa cara untuk mengurangi banyaknya efek dari lubang bekas galian batubara berupa reklamasi dan mengalirkan air dengan instalasi pipa.

Proses kavitasi sering terjadi di mesin fluida seperti turbin air, pompa, pipa baik adanya penyempitan penampang maupun belokan berupa elbow. Hal ini sangat penting diketahui dalam sistem perpipaan karena dengan perubahan penurunan tekanan akan menyebabkan perubahan fase dari cair menjadi uap.

Perubahan fase ini ditandai dengan terjadinya gelembung –gelembung udara yang nantinya pecah akibat tekanan sekelilingnya. Pecahnya gelembung ini akan menyebabkan abrasi pada dinding pipa, hal inilah yang dinamakan kavitasi. Selain ditandai dengan adanya gelembung udara proses kavitasi ini juga ditandai dengan suara dan getaran disekitar dinding akibat gelebungnya pecah.

Terjadinya kavitasi dapat dilihat pada elbow bila telah terjadi gelembung uap, bisa terlihat pada pipa bentuk transparan. Cara lain yaitu dengan menggunakan angka kavitasi yang didapat dari perbandingan tekanan. Angka kavitasi merupakan bilangan tak berdimensi dan dapat dirumuskan

$$\sigma = \frac{P_1 - P_v}{P_1 - P_2} = \frac{P_1 - P_v}{\Delta P}$$

.....(1)

dimana :

P_1 : Tek. statis masuk pada katup (Pa)

P_v : Tek. jenuh pada temperatur



fluida (Pa)

P_2 : Tekanan statis keluar katup (pa)

ΔP : Penurunan tekanan akibat perubahan penampang

Secara visual dapat diketahui bahwa awal proses terjadinya kavitasi yaitu adanya gelembung-gelembung uap yang berkembang lalu ikut berpindah sesuai aliran fluida dan pada akhirnya pecah karena tekanan cairan disekitarnya. Uap tersebut akan mengalami kondensasi yang mengakibatkan terjadinya tekanan yang sangat tinggi. Tekanan yang diakibatkan oleh kavitasi ini menimbulkan getaran dan suara bising. Suara yang ditimbulkan dan getaran saling berhubungan dimana suara pecahnya gelembung uap tersebut akan menyebabkan terjadinya getaran pada pipa, elbow maupun pada katup.

Intensitas dari suara yang dapat didengar oleh pendengar dapat diekspresikan dalam sebuah unit yaitu desibel (dB). Konversi dari untuk desibel terhadap pascal yaitu 0 dB sama dengan $0,00002 \text{ N/m}^2$. Suara dari katup dihitung sebagai *sound pressure level* (SPL) yaitu didefinisikan dengan :

$$\text{SPL} = 20 \log \frac{P}{P_0} \text{ dB} \quad \dots\dots\dots$$

..... (2)

Dimana :

SPL : *Sound pressure level* dalam dB

P : Tekanan terukur dalam N/m^2

P_0 : Tek. referensi dengan $0,00002 \text{ N/m}^2$

Takahashi dan Matsuda (2001) menggunakan butterfly valve sebagai pengganggu terhadap orifice dimana data yang diambil berupa getaran dari pipa akibat terjadi kavitasi. Pengambilan getaran dihitung dari jarak butterfly valve dari 1D dan 3D. Fenomena sebelumnya diketahui bahwa getaran yang terjadi pada katup paling besar bila angka kavitasi semakin kecil. Getaran yang terbesar terjadi di downstream sepanjang 1D dibandingkan dengan pengambilan pada 3D. Pada tiap bukaan katup tren yang terjadi adalah sama. Ini membuktikan bahwa dengan terjadinya kavitasi maka getaran akan semakin besar.

Koivula (2000) dengan bantuan *high speed pressure transducer* mendapatkan hasil awal terjadinya kavitasi pada orifice pada frekuensi 8 kHz. Pendeteksian lain didapatkan waveform yang dapat mengetahui hubungan antara perubahan tekanan dan percepatan bila aliran yang melalui orifice ditambah. Perubahan aliran akan menyebabkan fluktuasi antara percepatan dan tekanan mempunyai karakteristik yang sama.

Kimura (1995) menggunakan butterfly valve dengan membandingkan disk yang berbeda tipe, antara

round hub, *square hub* dan *split hub*. Percobaan ini dilakukan dengan variasi tiap bukaan dari 20° sampai dengan bukaan 90° . Selain itu getaran noise yang diakibatkan oleh adanya kavitasi juga digrafikkan untuk bukaan 50° . Besarnya amplitudo getaran diambil pada frekuensi 6,3 kHz dan amplitudo untuk noise pada frekuensi 2,5 kHz. Hasilnya didapatkan bahwa untuk ketiga tipe *disk valve* mempunyai koefisien penurunan tekanan yang sama pada bukaan antara 50° sampai bukaan 90° , sedangkan pada bukaan dibawah itu yang mempunyai koefisien penurunan tekanan paling besar pada tipe *square hub*.

Rahmeyer (1982) meneliti noise yang disebabkan kavitasi dengan menggunakan butterfly valve berdiameter 6 in dan limit dari kebisingan akibat kavitasi adalah 85 dBA. Informasi yang didapatkan adalah tahapan terjadinya kavitasi dari incipient, critical, incipient damage dan choking.

Yves Lecoffre dan Antoine Archer (1998) melakukan penelitian tentang erosi kavitasi pada orifice, katup dan elbow. yang diukur adalah densitas, kecepatan, ukuran dan pengujian kekerasan (hardness).

Gultom D (2001) telah meneliti tentang pengaruh tekanan dan temperatur terhadap kavitasi. Penelitian tersebut menggambarkan adanya pengaruh tekanan dan temperatur. Penelitian lainnya tentang terjadinya kavitasi pada katup butterfly berdasarkan tingkat kebisingan dan spektrum getaran dengan memvariasikan bukaan katup dari 30° sampai dengan 80° dengan diameter pipa 2 in dilakukan oleh (Triawan S Kadek, 2004).

Dalam penelitian yang dilakukan adalah bagaimana penerapannya pada elbow 90° yang terletak pada sisi discharge dengan katup gate sebagai variasi pemutarannya pada ukuran pipa 1 in dengan variasi bukaan katup 25° sampai dengan 75° . Fluida yang digunakan adalah air dengan menggunakan pompa sentrifugal sebagai penggerakannya

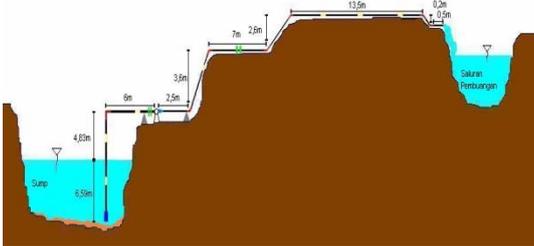
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dilapangan didaerah tambang terbuka bekas galian tambang batubara Tapin Rantau Kalimantan Selatan. Adapun spesifikasi bahan dan peralatan yang digunakan dalam instalasi pipa adalah:

1. Cavitation phenomena experiment equipment.
2. Pompa sentrifugal Shimizu Tipe PN 125 BIT
3. Motor penggerak
4. Gate Valve
5. Pipa
6. Elbow 90°



Instalasi yang digunakan adalah menggunakan pompa sentrifugal yang digunakan untuk mengalirkan aliran.



Gambar 1. Instalasi pipa pada sump

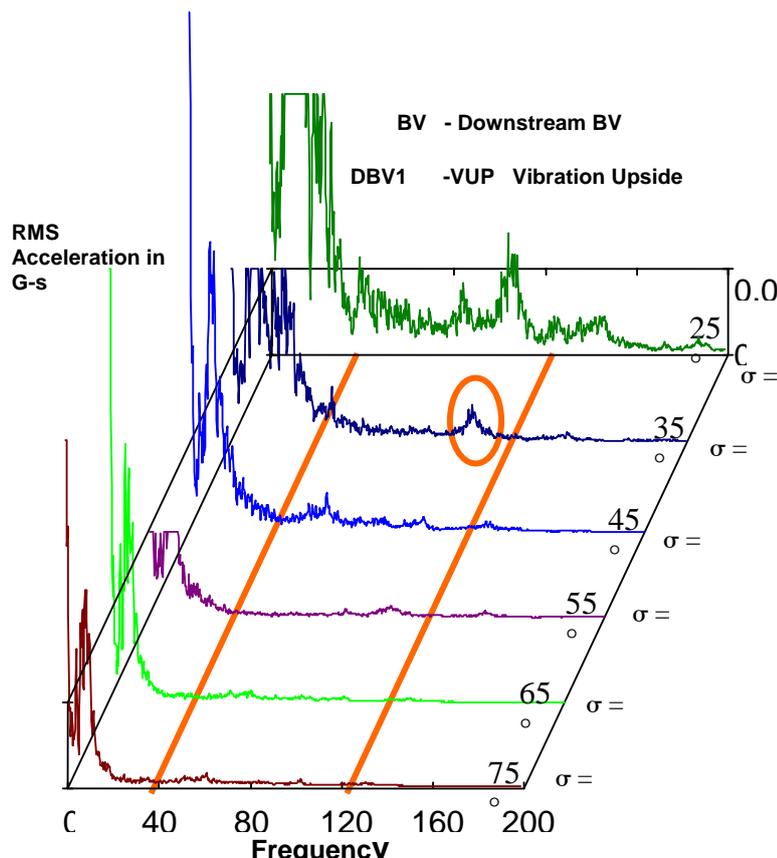
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data awal yang didapatkan pada peralatan meliputi pompa, motor, belt, dan putaran poros. Putaran pompa yang terukur adalah 2850 rpm dan dianggap sama untuk tiap pengambilan data, sedangkan untuk putaran motor adalah 2850 rpm. Tiap peralatan dapat dibedakan dari masing masing frekuensi yang dimiliki. Perhitungan yang lain untuk mengetahui kavitasi bila

ditinjau dari angka thoma maupun bilangan Reynoldsnya.

Gambar spektrum dan waveform untuk getaran dan tingkat kebisingan (noise) untuk bukaan gate valve yaitu 25°, 35°, 45°, 55°, 65°, 75° dan. Masing-masing bukaan diambil 3 posisi arah downstream elbow yaitu 1D, 2D, dan 3D, demikian juga posisi upstream (1D sama dengan x 5 cm). Data debit, tekanan, temperatur dan kecepatan aliran yang kemudian ditabelkan berdasarkan posisi pengambilan data getaran dan kebisingan.

Kavitasi diketahui dengan cara pengambilan spektrum untuk tiap posisi perubahan debit aliran. Terlebih dahulu adalah mengetahui frekuensi yang disebabkan oleh peralatan pembantu seperti frekuensi pompa, poros, bearing, sehingga frekuensi akibat kavitasi dapat diketahui. Pada perhitungan frekuensi poros pada 47,5 Hz dengan frekuensi harmoniknya 10 kali, jadi frekuensi poros sampai 475 Hz. *Blade pass frequency* merupakan frekuensi yang disebabkan oleh adanya sudu pompa yang berputar, dengan perhitungan sebelumnya didapatkan 285 Hz dengan harmoniknya sampai enam kalinya.



Gambar 2. Spektrum getaran untuk tiap bukaan katup gate dan elbow

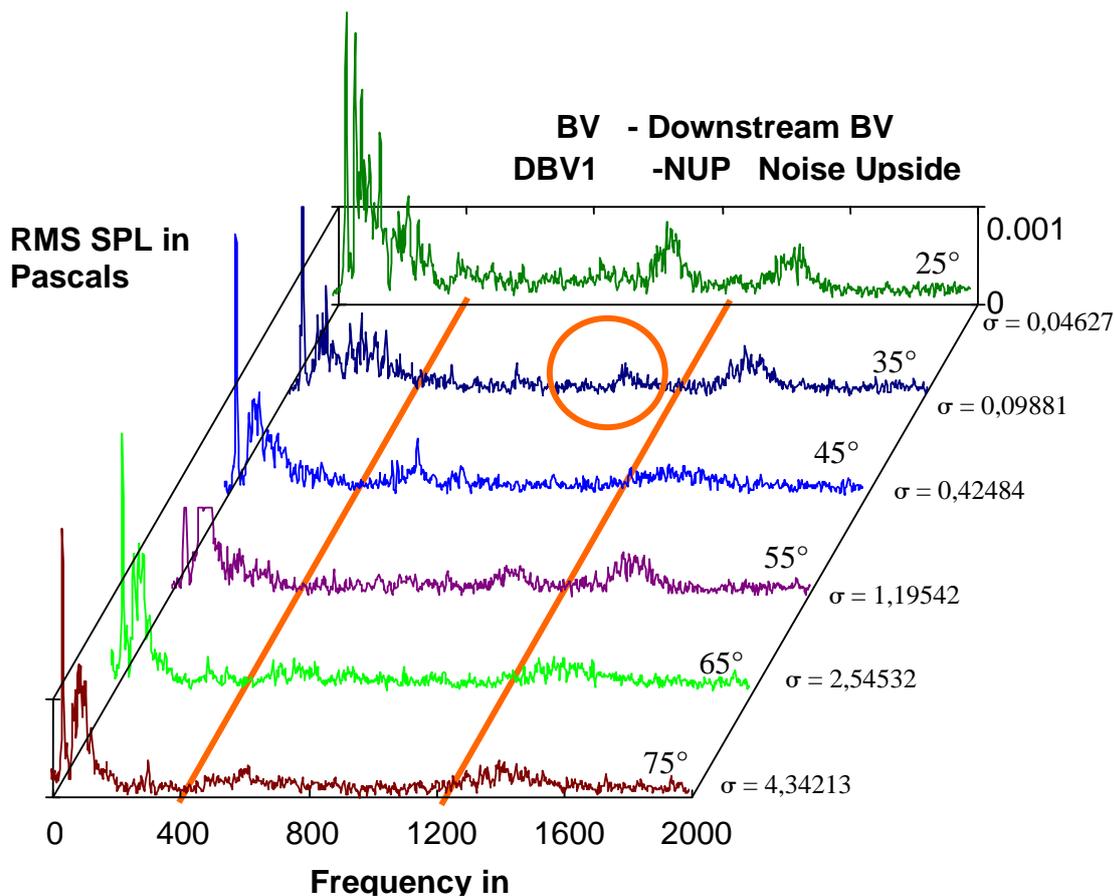


Pada Gambar 2. spektrum getaran pada frekuensi 4000 Hz sampai dengan frekuensi 12000 Hz merupakan daerah yang dicurigai penyebab terjadinya kavitasi. Pada spektrum tersebut tiap tiap bukaan katup gate pada kondisi debit pompa konstan. Posisi bukaan 25° merupakan posisi pada katup dengan bukaan terkecil sedangkan posisi bukaan penuh pada 75°.

Pada frekuensi dibawah 4000 Hz merupakan frekuensi yang dipengaruhi oleh element lingkungan seperti frekuensi bearing pompa, frekuensi belt pompa, dan frekuensi akibat sudu pompa, ataupun akibat dari

aliran yang turbulen, sedangkan pada frekuensi diatas 12000 Hz tiap bukaan tidak ada kenaikan atau perubahan amplitudo.

Perubahan bukaan katup gate yang semakin mengecil terlihat amplitudo getaran yang meningkat pada daerah 10000 Hz sampai dengan 12000 Hz dengan amplitudo terbesar pada frekuensi 10700 Hz dengan amplitudo RMS *Acceleration* dalam G, sehingga untuk pembahasan selanjutnya kita akan mengambil frekuensi ini.



Gambar 3. Spektrum noise tiap bukaan katup gate dan elbow

Pada Gambar 3. spektrum noise untuk tiap bukaan katup gate dan elbow terlihat juga pada range frekuensi antara 10000Hz sampai dengan frekuensi 12000 Hz dengan amplitudo terbesar pada frekuensi 10700 Hz. Pembahasan untuk noise diambil pada frekuensi 10700 Hz dan amplitudonya RMS *Sound Pressure* dalam Pascal. Dalam hal ini yang berbeda

pada rentang frekuensi 12000 Hz sampai dengan 14000 Hz yang terus muncul meskipun terjadi perubahan bukaan katup ataupun perubahan debit aliran. Ada kemungkinan yang menyebabkan hal ini terjadi yang bisa disebabkan oleh adanya kebisingan yang disebabkan oleh lingkungan sekitar.



Kebisingan (noise) pada tiap bukaan posisi sensor mempunyai karakteristik berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh sumber bunyi yang berbeda-beda. Selain itu karena begitu sensitifnya microphone maka semua sumber bunyi dapat terekam, dari suara akibat kavitasi sampai dengan suara angin. Pengambilan frekuensi pada 10700 Hz adalah frekuensi kavitasi telah terjadi, sedangkan perbedaan antar posisi sensor yang mengindikasikan bahwa kavitasi yang terjadi tidak hanya pada satu posisi saja tetapi terdistribusi dari posisi 1D sampai dengan 3D.

Disini sensor noise (microphone) yang begitu sensitif dapat merekam semua pecahnya gelembung udara akibat kavitasi, dengan semakin dekat terhadap sumber bunyi maka amplitudo yang dibangkitkan akan direspon oleh microphone dan terekam dalam spektrum. Semakin besarnya sumber bunyi maka akan semakin besar amplitudo yang didapatkan.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari eksperimen variasi perubahan bukaan katup gate sebelum elbow terhadap kavitasi adalah sebagai berikut;

1. Dalam eksperimen ini kavitasi yang dapat terjadi pada bukaan 25° dan 35° sedangkan untuk bukaan 45°, 55° dan 65° masih dalam tahap awal terjadinya kavitasi. Sedangkan bukaan 75° tidak terjadi kavitasi.
2. Perubahan debit yang naik akan menambah intensitas terjadinya kavitasi.
3. Terjadinya kavitasi secara visual terlihat adanya buih kabut putih/gelembung yang terus bertambah dengan seiring peningkatan debit aliran.
4. Kavitasi terbentuk pada frekuensi 10700Hz baik untuk spektrum getaran dan spektrum noise.
5. Amplitudo batasan untuk terjadinya kavitasi pada signal getaran pada 0,002 G-s sedangkan untuk signal kebisingan (noise) pada 0,0006 Pa.
6. Intensitas terjadinya kavitasi paling besar berada pada posisi dekat dengan katup yaitu antara 3D sampai dengan 1D, jadi dengan semakin jauh dari katup gate maka kavitasi yang terjadi pada elbow semakin kecil.

Fenomena kavitasi merupakan fenomena hidrodinamik yang menarik untuk diteliti. Ada beberapa tambahan untuk penelitian lanjutan untuk mendapatkan keakuratan terjadinya kavitasi seperti penggunaan pompa sebagai supply aliran yang mempunyai debit lebih besar akan terlihat terjadinya kavitasi pada tiap bukaan dan memvariasikan penggunaan jenis pompa, berbagai macam katup, jenis elbow dan diameter pipa.

DAFTAR PUSTAKA

- Bajic, Branko, 2002, "*Method for Vibro-Acoustic Diagnostics of Turbine Cavitation*", Luxembourg.
- Fox dan McDonald, 1994, "*Introduction to Fluid Mechanics*", Fourth Edition, John Wiley and Sons.
- Gultom D, 2001, "*Study Eksperimen Pengaruh Tekanan dan Temperatur pada Kavitasi*", Teknik Mesin ITS.
- Hammit, FG, 1980 "*Cavitation and Multiphase Flow Phenomena*," McGraw Hill, 1980.
- Hartman, H. L., 1987, *Introductory Mining Engineering*, New York, John Wiley & Sons Inc.
- Kimura, Takeyoshi, 1995, "*Hydrodynamic characteristics of Butterfly valve-Prediction of Pressure loss characteristics* ", Kobe University, Faculty of Engineering, Rokko, Nada, Kobe, Japan.
- Koivula, Timo, 2000, "*On Cavitation in Fluid Power*", Tampere University of Technology, Institute of Hydraulics and Automation, Finland.
- Mitchell, John S, 1993, "*Machinery Analysis and Monitoring* ", Second Edition, PennWell Books.
- Rahmeyer, William J, 1982, "*Cavitation Noise from Butterfly valve*", Colorado State University, Fort Collins, USA.
- Skousen, Philip L, 1998 "*Valve Handbook*".
- Triawan S Kadek, 2004, "*Study Eksperimental Identifikasi Kavitasi pada Butterfly Valve Berdasar pada Spektrum Getaran dan Tingkat Kebisingan* ", Teknik Mesin ITS.
- Takahashi, Matsuda dan Miyamoto, 2001, "*Cavitation Characteristic of Restriction Orifices*", Chitose Institute of Science and Technology, Hokkaido, Japan.
- Wowk, Victor, 1991, "*Machinery Vibration : Measurement and Analysis* ", McGraw Hill.



