

DIAGNOSA KAVITASI POMPA SENTRIFUGAL DENGAN SINYAL GETARAN**Achmad Widodo*, Berkah Fajar TK, Felly Anta**

Multidisciplinary Analysis and Design Optimization (MADOC)
Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedharto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang
*E-mail: awid@undip.ac.id

ABSTRAK

Kavitasi merupakan fenomena ketidaknormalan operasi pada pompa sentrifugal dimana terjadi perubahan fase uap pada fluida yang mengalir. Perubahan tersebut diakibatkan oleh penurunan tekanan pada sisi isap pompa. Kavitasi merupakan salah satu masalah yang serius pada pompa dan dapat berpotensi menyebabkan serangkaian kegagalan dalam hal mekanis, misalnya; impeller, bantalan, poros dan motor. Pada pompa sentrifugal kavitasi dapat terjadi pada sisi isap pompa dan sudu pompa. Indikasi kavitasi adalah timbulnya gelembung-gelembung uap, disertai naiknya tingkat getaran dan suara bising. Dampak kavitasi pada pompa adalah turunnya unjuk kerja dan bahkan kerusakan pada impeller pompa. Penelitian ini membahas diagnosa kavitasi pada pompa sentrifugal dengan memanfaatkan sinyal getaran. Pada penelitian ini, kavitasi dibuat dengan cara memvariasikan bukaan katub hisap kemudian getaran yang terjadi diukur dengan sensor getaran untuk keperluan analisis. Pengukuran dilakukan pada pompa dengan kecepatan putar 1400 rpm, 2400 rpm, 3000 rpm dan 3600 rpm serta variasi katup luaran tangki adalah 0°, 30°, 45° dan 60°. Kondisi getaran pompa sebelum dan setelah terjadinya kavitasi dibandingkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kavitasi tersebut. Munculnya fenomena kavitasi ditandai dengan peningkatan amplitudo pada frekuensi dominan antara 300 Hz sampai 450 Hz pada bukaan katup 60° dan kecepatan putar 3600 rpm. Dari hasil pengukuran didapatkan semakin tinggi putaran pompa dan semakin rendahnya tekanan di sisi hisap pompa menyebabkan naiknya intensitas kavitasi yang dihasilkan.

Kata Kunci: diagnosa kerusakan mesin, pompa sentrifugal, kavitasi, getaran

1. Pendahuluan

Pompa adalah alat yang digunakan untuk memindahkan cairan (fluida) dari suatu tempat ke tempat yang lain, melalui media pipa (saluran) dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung kontinu. Young [1].

Salah satu adalah pompa sentrifugal seperti pada Gambar 1 beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian hisap (*suction*) dan bagian tekan (*discharge*). Perbedaan tekanan tersebut dihasilkan dari sebuah mekanisme misalkan putaran roda impeler yang membuat keadaan sisi hisap nyaris vakum. Perbedaan tekanan inilah yang mengisap

cairan sehingga dapat berpindah dari suatu reservoir ke tempat lain.

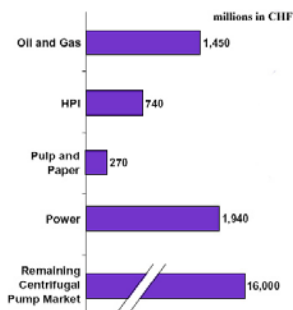


Gambar 1 Pompa sentrifugal

Pada jaman modern ini, posisi pompa menduduki tempat yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Pompa memerankan

peranan yang sangat penting bagi berbagai industri misalnya industri air minum, minyak, petrokimia, pusat tenaga listrik dan sebagainya.

Menurut sebuah survey di Inggris yang dilakukan oleh Sulzer Pump, pompa sentrifugal melibatkan lebih dari 70% pasar pompa baru dengan total financial 16 miliar Swiss Franc. Karena itulah penelitian dan pengembangan bidang pompa sentrifugal terus dilakukan untuk meningkatkan kinerja pompa dan sisi manufakturnya. Kondisi ini bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Perkiraan pasar baru pompa sentrifugal [1].

2. Prosedur Penelitian

Fenomena kavitasi telah menarik perhatian para ahli sejak waktu lampau. Menurut Young [1] Isaac Newton adalah orang pertama yang mengadakan observasi fenomena kavitasi pada daerah tekanan rendah yang dibentuk diantara permukaan gelinding. Wislicenus [2] telah mendokumentasikan penelitian kavitasi yang terjadi pada propeller kapal yang mana sudah diselidiki oleh Reynolds jauh sebelum ujicoba kapal perusak ‘Daring’ pada tahun 1894. Ng and Brennen [3] melakukan penelitian terhadap perilaku dinamik dari pompa yang mengalami kavitasi. RT Knapp [4] melakukan penelitian ini mengkaji pengukuran matrik transfer dinamik terhadap pompa yang sehat dan yang mengalami kavitasi. Sebuah fungsi alih (*transfer*) mampu mengkonfirmasi adanya kavitasi yang secara teoritis dapat diterangkan dengan gamblang.

Safiah [5] melaporkan penelitian tentang prediksi kavitasi pada pompa sentrifugal

berdasar pada kecepatan spesifik hisap (N_{ss}) tertentu. yang ternyata menunjukkan kinerja pompa yang bagus.

2.1 Parameter pendeteksi kavitasi

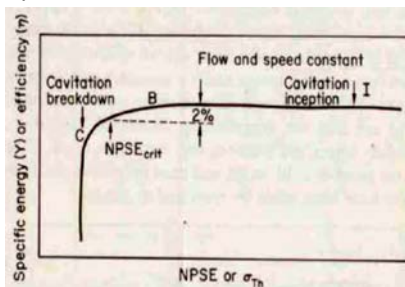
2.1.1 Tekanan

Thoma [6] mengemukakan bahwa NPSH proporsional terhadap H, dan efisiensi kavitasi dinyatakan dengan

$$\sigma_{TH} = \frac{NPSH(\Delta H)}{H} \tag{1}$$

dimana H adalah total head, ΔH adalah net positive suction head. Beberapa peneliti mengemukakan pertanyaan tentang persamaan di atas bahwa kavitasi biasanya terjadi pada sisi hisap dari sebuah pompa.

Pearsall [7] melaporkan bahwa pompa mengalami kavitasi pada saat tekanan hisap turun terlalu rendah atau pada saat kecepatan fluida terlalu tinggi. Kavitasi terjadi pada saat tekanan local pada sisi hisap sudu turun mendekati tekanan uap dari fluida. Hal ini terjadi pada leading edge dari impeler. Net positive suction energy (NPSE) kritis telah didefinisikan sebagai turunya head sebesar 2% dari kondisi karakteristik non-kavitasi yang terlihat pada Gambar 2.



Gamabr 2 Karakteristik kavitasi pompa.

2.1.2 Laju aliran

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Jensen dan Dayton [8], aliran pada pompa turun dengan cepat pada saat kavitasi terjadi. Ini jelas terlihat bahwa pada saat kavitasi terjadi kinerja pompa akan turun juga dengan cepat. Laju aliran bisa turun kurang dari setengah dari yang diduga. Aliran bisa menjadi indicator yang bagus pada saat terjadi kavitasi.

2.1.3 Getaran

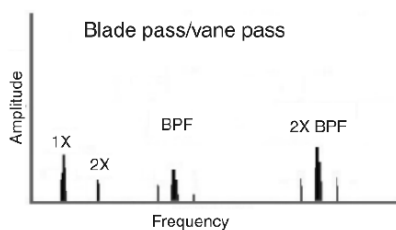
Mitchel [9] telah melakukan pengujian kavitasi pompa menggunakan analisis fitur getaran di lapangan. Kondisi kavitasi akan meningkatkan turbulensi melalui roda impeller yang mana akan menyebabkan kenaikan amplitude pada frekuensi sudunya. Pengetahuan ini menjadi sangat bermanfaat untuk bidang diagnosa fitur kavitasi pompa. Sebagai tambahan, teknik analisis semisal *time averaging*, *envelope detection*, rata-rata peak, dan *pulse counting* sudah terbukti menampilkan karakteristik kavitasi menurut getaran.

2.1.3.1 Blade pass frequency (BPF)

Blade pass frequency pada Gambar 3 merupakan karakter dari pompa dan baling-baling. Frekuensi ini melekat pada pompa, menyebabkan tingkat kebisingan yang sangat tinggi. namun amplitudo besar pada BPF (harmonik) dapat dihasilkan jika pompa mengalami perbedaan kecepatan pada putaran baling baling pompa dan diffuser.

$$BPF = \frac{\text{number of blade/van}}{60} \times \text{RPM}$$

BPF kadang-kadang dapat muncul ketika frekuensi alami sistem menyebabkan getaran tinggi.

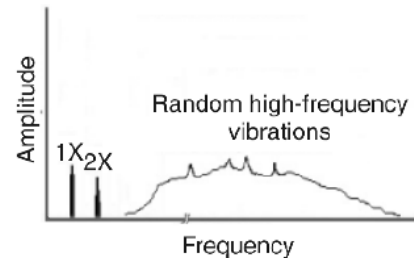


Gambar 3 Blade Pass Frequency [10]

2.1.3.2 Kavitasi

Kavitasi seperti pada Gambar 4 biasanya terjadi secara random (acak) pada frekuensi tinggi yang mana ditunjukkan dengan BPF harmonik. Jika tekanan cairan dibawah tekanan atm akan menimbulkan timbulnya gelembung-gelembung pada cairan tersebut.

Kavitasi dapat menyebabkan kerusakan pada pompa dan mengurangi kerja pompa. Setiap dari gelembung-gelembung menghasilkan semacam dampak yang cenderung dapat menghasilkan getaran secara acak pada frekuensi tinggi.



Gambar 4 Kavitasi [10]

3. Data Akuisisi

Pada penelitian ini data akuisisi dilakukan dengan fasilitas test rig *machine fault simulator* (MFS) yang mampu melakukan eksperimen untuk mesin-mesin rotasi, termasuk pompa sentrifugal.

Pengambilan data getaran, tekanan dan laju aliran masing-masing dilakukan dengan sensor akselerometer, *pressure gauge*. Data getaran diakuisisi dengan software VibraQuest yang terdapat pada laptop yang tersambung pada *machine fault simulator* (MFS) untuk menampilkan dan menganalisa sinyal domain waktu dan domain frekuensi. Gambar 5 menunjukkan pengukuran data tekanan pada pompa sentrifugal.



Gambar 5 Instalasi eksperimen pompa sentrifugal.

Kondisi yang diambil pada saat melakukan pengujian adalah dengan memvariasikan putaran pompa dan variasi katup pada luaran tangki. Beberapa kondisi putaran pompa yang berbeda dimaksudkan untuk mengetahui terjadi atau tidaknya fenomena kavitasi pada putaran lambat, menengah dan tinggi.

Variasi katup luaran pada tangki juga dilakukan untuk mensimulasikan terjadinya kavitasi pada kondisi tekanan tertentu sesuai dengan besar bukaan katup hisap. Variasi kecepatan putaran pompa dibuat meningkat antara 1400 rpm, 2400 rpm, 3000 rpm dan 3600 rpm, sedangkan variasi tutupan katup luaran tangki adalah 0°, 30°, 45° dan 60°. Variasi katup pada luaran tangki 0° berarti katup tersebut terbuka penuh, sedangkan 30° berarti katup pada luaran tangki diputar 30° dengan arah menutup, sedangkan 45° berarti katup pada luaran tangki diputar 45° dengan arah menutup, dan begitu juga pada kondisi katup 60°.

4. Hasil Dan Analisis

Hasil pengukuran getaran dengan variasi kecepatan putar pompa untuk kondisi katub luaran tangki 0°, 30°, 45° dan 60°. Data hasil pengukuran pada kondisi katup luaran tangki 0° dan 30°, hampir sama dimana kavitasi tidak terjadi pada hampir semua variasi kecepatan putar tersebut. Hal ini karena perubahan tekanan pada bagian hisap relatif kecil dan tidak berubah menjadi tekanan uap jenuh air.

Sedangkan pada kondisi katup luaran tangki 45° dan 60° perubahan tekanan pada bagian hisap relatif besar dan berubah menjadi tekanan uap jenuh air terutama pada kondisi 3000 rpm dan 3600 rpm. Secara visual juga dapat dilihat melalui cover pompa setrifugal bahwa terlihat adanya gelembung udara di sekitar roda impeller pompa.

Secara umum kondisi pada bukaan katup hisap 45° menunjukkan hasil yang mirip dengan kondisi sebelumnya, yaitu masih tidak terjadi kavitasi untuk kondisi ini namun pada 3600 rpm

daerah sekitar impeller muncul buih-buih putih yang merupakan gejala kavitasi sedang terjadi.

Tabel 1 Data pengukuran pada kondisi bukaan katup 45°

No.	Putaran (Rpm)	P Hisap Pump (InHg)	P Luaran Pump (Psi)	Laju Aliran (GPM)	F (Hz)	Ket
1.	1393	-1	1	80	23,41	Tidak Kavitasi
2.	1400	-1	1	80	23,48	Tidak Kavitasi
3.	1401	-1	1	80	23,42	Tidak Kavitasi
4.	2394	-6	7	80	40,05	Tidak Kavitasi
5.	2400	-6	7	80	40,09	Tidak Kavitasi
6.	2401	-6	7	80	40,08	Tidak Kavitasi
7.	2999	-10	8	80	50,04	Tidak Kavitasi
8.	3001	-10	8	80	50,06	Tidak Kavitasi
9.	3006	-10	8	80	50,01	Tidak Kavitasi
10.	3594	-14	13	80	60,11	buih
11.	3598	-14	13	80	60,12	buih
12.	3600	-14	13	80	60,14	buih

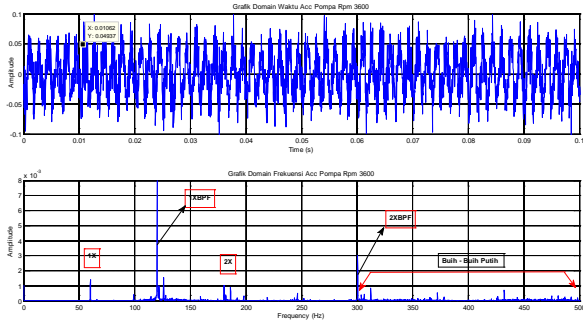
Pada putaran 1400 rpm kondisi amplitudo getaran cukup kecil yaitu sebesar $3,5 \times 10^{-3}$ in/det². Sedangkan untuk kondisi FFT besar dari amplitudo getaran pada frekuensi 300 Hz yaitu sebesar $1,25 \times 10^{-8}$ in/det².

Pada putaran 2400 rpm kondisi amplitudo getaran juga relatif kecil yaitu sebesar 4×10^{-3} in/det². Sedangkan untuk kondisi FFT besar dari amplitudo getaran pada frekuensi 300 Hz yaitu sebesar 5×10^{-7} in/det².

Pada putaran 3000 rpm kondisi amplitudo getaran juga relatif sama besarnya dengan kondisi yang sebelumnya yaitu sebesar $4,2 \times 10^{-3}$ in/det². Untuk kondisi FFT besar amplitudo getaran pada frekuensi 300 Hz yaitu sebesar 9×10^{-7} in/det².

Pada putaran 3600 rpm, Gambar 6 menunjukkan bahwa kondisi amplitudo getaran mengalami kenaikan yaitu sebesar $49,73 \times 10^{-3}$

in/det². Untuk kondisi FFT besar amplitudo getaran mengalami kenaikan pada frekuensi 300 Hz yaitu sebesar 3x10⁻⁶ in/det². Untuk plot kondisi FFT sudah mulai nampak gejala kavitas, pada daerah jangkauan frekuensi tinggi.



Gambar 6 Hasil pengukuran getaran amplitudo dan frekuensi pada 3600 rpm, bukaan katup 45°

Analisis selanjutnya adalah pada kondisi bukaan katup sisi hisap 60°. Data pengukuran kondisi tersebut disajikan pada Tabel 2.

Kavitasi belum terjadi pada putaran pompa 1400 rpm dan 2400 rpm, akan tetapi pada 3000 rpm muncul buih-buih putih dimana merupakan gejala kavitas.

Tabel 2 Data pengukuran pada kondisi bukaan katup 60°

No.	Putaran (Rpm)	P Hisap Pump (InHg)	P Luaran Pump (Psi)	Laju Aliran (GPM)	F (Hz)	Ket
1.	1398	-1	1	80	23,32	Tidak Kavitasi
2.	1399	-1	1	80	23,33	Tidak Kavitasi
3.	1402	-1	1	80	23,31	Tidak Kavitasi
4.	2395	-7	6	80	40,05	Tidak Kavitasi
5.	2401	-7	6	80	40,09	Tidak Kavitasi
6.	2402	-7	6	80	40,08	Tidak Kavitasi
7.	2999	-18	8	80	50,04	buih
8.	3000	-18	8	80	50,06	buih
9.	3007	-18	8	80	50,07	buih
10.	3597	-28	5	80	60,13	Kavitasi
11.	3603	-28	5	80	60,11	Kavitasi
12.	3608	-28	5	80	60,14	Kavitasi

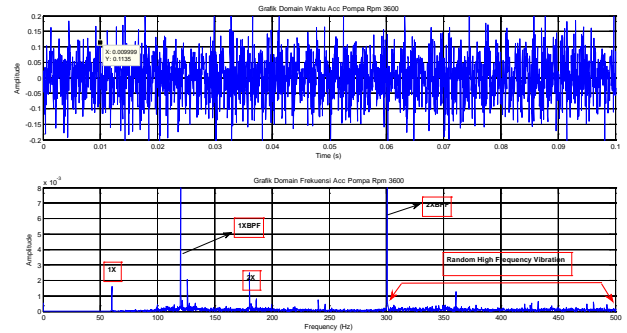
Data pengukuran sinyal getaran untuk kondisi katup luaran tangki 60° ditampilkan pada Gambar 7 dalam domain waktu dan domain frekuensi.

Pada putaran 1400 rpm, kondisi amplitudo getaran cukup kecil yaitu sebesar 9x10⁻³ in/det². Sedangkan untuk kondisi FFT besar dari amplitudo getaran pada frekuensi 300 Hz yaitu sebesar 2,9x10⁻⁸ in/det².

Pada putaran 2400 rpm kondisi amplitudo getaran juga relatif kecil yaitu sebesar 5,4x10⁻³ in/det². Sedangkan untuk kondisi FFT besar dari amplitudo getaran pada frekuensi 300 Hz yaitu sebesar 5x10⁻⁸ in/det².

Pada putaran 3000 rpm kondisi amplitudo getaran juga relatif sama besarnya dengan kondisi yang sebelumnya yaitu sebesar 2x10⁻² in/det². Untuk kondisi FFT besar amplitudo getaran pada frekuensi 300 Hz yaitu sebesar 6,5x10⁻⁷ in/det².

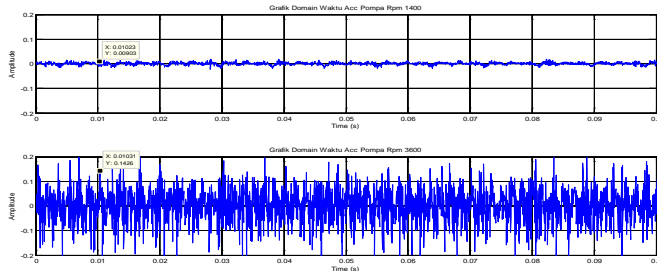
Pada putaran 3600 rpm, menunjukkan bahwa kondisi amplitudo getaran cukup besar yaitu sebesar 14,26x10⁻² in/det². Untuk kondisi FFT besar amplitudo getaran mengalami kenaikan pada frekuensi 300 Hz yaitu sebesar 4,5x10⁻⁶ in/det². Untuk plot kondisi FFT sudah mulai nampak gejala kavitas, khususnya pada daerah jangkauan frekuensi tinggi.



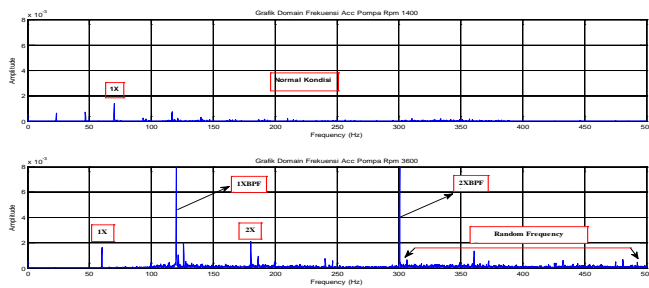
Gambar 7 Hasil pengukuran getaran frekuensi pada 3600 rpm, bukaan katup 60°

Pada Gambar 7 kavitas jelas muncul pada 3600 rpm sesuai dengan sinyal frekuensi yang dihasilkan yaitu banyaknya komponen dominan frekuensi terletak pada daerah frekuensi tinggi.

Perbedaan kondisi normal dan kavitasi akan nampak jelas jika dua buah data yang diambil dari kondisi normal dan non-kavitasi dibandingkan secara langsung, seperti yang terlihat pada Gambar 8 - 9.



Gambar 8 Hasil pengukuran getaran amplitudo pada 1400 rpm, dan 3600 rpm bukaan katup 60°



Gambar 9 FFT sinyal getaran pada 1400 rpm, dan 3600 rpm bukaan katup 60°

Pada Gambar 8-9 menunjukkan perbedaan yang cukup jelas dari sisi amplitudo getaran pada saat pompa pada kondisi normal dan kavitasi. Begitu pula apabila dilihat plot FFT sinyal getaran, nampak pada bagian frekuensi tinggi mempunyai puncak-puncak frekuensi yang lebih banyak. Hal ini menunjukkan fenomena kavitasi telah terjadi

5. Kesimpulan

Karakteristik getaran pompa sentrifugal akibat kavitasi terlihat pada domain frekuensi sinyal getaran pada range frekuensi tinggi. Tidak nampak hubungan antara jumlah sudu roda impeller dengan frekuensi kavitasi, frekuensi kavitasi jauh berada di atas daerah *blade pass frequency* (BPF). Pada kecepatan pompa rendah, bisa dikatakan tidak terjadi kavitasi karen

perbedaan tekanan sisi hisap dan buang relatif cukup kecil.

6. Referensi

- [1]. R.F. Young, *Cavitation*, 2nd Ed., Imperial College, London, 1999.
- [2]. G.F. Wislicenus. (1969). *Remarks on the History of Cavitation as an Engineering Problem*. Proceeding of the ASME Fluids Engineering and Applied Mechanics Conference. Illinois. June 16-18. New York: The American Society of Mechanical Engineers, 10-14.
- [3]. S.L. Ng and C. Brennen. (1978). *Experiments on the Dynamic Behavior of Cavitating Pumps*. Journal of Fluid Engineering. ASME. Vol. 100: 166-176.
- [4]. R.T. Knapp, J.W Daily and F.G Hammit. (1970). *Cavitation*. Mc Graw Hill, New York.
- [5]. O. Safiah. (2002). *Cavitation Prediction in Centrifugal Pumps*. University Technology Malaysia. B. Eng. Thesis.
- [6]. D. Thoma. *Die Kavitation bei Wasser-Turbinen*. VDI Verlag, Berlin, 1926.
- [7]. I.S. Pearsall. (1972). *Cavitation*.
- [8]. J. Jensen, K. Dayton. (2000). *Detecting Cavitation in Centrifugal Pumps – Experimenta Results of the Pump Laboratory*. Orbit Second Quarter, 26-30.
- [9]. J.S. Mitchell. (1975). *Examination of Pump Cavitation, Gear Mesh and Blade Performance Using External Vibration Characterictics*. Proceeding of the 4th Turbomachinery Symposium, Texaz A&M University. Oct. 14-16, 39-45.
- [10]. Paresb Girdhar. (2004) *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*. Newnes An imprint of Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 200 Wheeler Road, Burlington, MA 01803.