

Deteksi Kavitasasi Pada Pompa Sentrifugal Menggunakan Spektrum Getaran dan Spektrum Envelope

(Cavitation Detection Method in Centrifugal Pump Using Vibration Spectrum and Envelope Analysis)

DEBY ARIKH NASAKA

ABSTRACT

The cavitation phenomenon is a general indication in the operation of centrifugal pump. An indication of the appearance of cavitation is the formation of bubbles which then break suddenly when the pressure changed on the suction side of the pump. The formation of cavitation bubbles can cause fault to the inner pump components. The fault that often results from cavitation phenomenon is affected in the impeller. This fault is usually identified through noise and vibration generated. Therefore, a method is needed to detect early cavitation phenomenon at the centrifugal pump. This research was conducted to develop cavitation detection methods using the vibration spectrum and envelope spectrum by comparing between low frequency ranges of 0-4kHz and high frequency ranges of 4kHz-8,5kHz. In this study, cavitation detection is conducted by recording vibration signals that occur at centrifugal pump using an accelerometer. The data obtained is then transformed into the frequency domain (vibration spectrum) and envelope spectrum used FFT (Fast Fourier Transform). The result of the data processing were compared between normal condition and level 1, 2, and 3 cavitation. Comparisons were made on each vibration spectrum and envelope spectrum with low frequency and high frequency limit. The result of this study showed that the vibration spectrum with low frequency limit can detect the formation of level 3 cavitation with on increase in shaft frequency amplitude (47.26 Hz) and $\frac{1}{2}$ BPF (149.6 Hz). Where as early cavitation or level 1 cavitation was identified through the envelope spectrum with high frequency limit. The result was elaborated a decrease in amplitude occurred gradually along with increasing levels of cavitation.

Keywords: cavitation, centrifugal pump, vibration spectrum, envelope spectrum.

PENDAHULUAN

Pompa merupakan mesin yang mengkonversikan energi mekanik menjadi energi kinetik. Pompa akan memberikan energi mekanis pada fluida, dimana energi yang diterima berguna untuk menaikkan tekanan pada saluran-saluran instalasi pompa (Eflita Yohana dkk, 2016). Pompa juga merupakan mesin aliran fluida yang berfungsi sebagai alat pemindah fluida dari satu tempat ke tempat lainnya dengan prinsip kerja membuat perbedaan tekanan pada sisi hisap (*suction*) dan sisi tekan (*discharge*).

Secara umum ada beberapa jenis pompa yang banyak digunakan dalam perindustrian, salah satunya adalah pompa sentrifugal. Pompa sentrifugal merupakan pompa jenis *rotary* yang

menghasilkan tekanan dinamis sehingga dapat mengalirkan fluida dari tempat rendah ke tempat lebih tinggi (Suhane, 2012). Saat ini pompa sentrifugal telah banyak digunakan oleh industri pengolahan dan pendistribusian. Namun, dalam penggunaan tersebut sering sekali didapati pompa mengalami penurunan performansi sampai pada akhirnya terjadi kerusakan. Kasus kerusakan yang sering terjadi yaitu, korosi, kerusakan rumah volute, kebocoran *seal*, sampai rusak pada *impeller*. Penyebab dari kerusakan yang terjadi pada pompa sentrifugal sangatlah beragam, akan tetapi faktor penyebab kerusakan yang umumnya terjadi pada pompa terutama komponen bagian dalam adalah akibat dari munculnya fenomena kavitasasi.

Kavitasasi dapat terbentuk ketika tekanan pada sistem perpipaan atau pompa mengalami

penurunan nilai kurang dari tekanan uap jenuh pada suhu titik operasi tertentu. Fluida yang mengalir melalui pompa dapat membentuk gelembung uap. Gelembung ini kemudian pecah secara tiba-tiba di tempat yang memiliki tekanan lebih tinggi (Jansen J, 2000).

Sebuah pompa yang beroperasi dalam kondisi kavitasi akan menyebabkan munculnya suara bising dan getaran pada pompa. Pompa dalam kondisi kavitasi dapat mengurangi produktivitas pada suatu industri, yang dampaknya dapat merugikan perusahaan dengan nilai cukup besar. Industri yang bergerak dibidang pertambangan, perminyakan dan lain sebagainya tentu saja tidak ingin menerima kerugian akibat pompa mengalami kondisi kavitasi. Oleh karenanya, penting untuk mengetahui kavitasi pada pompa sedini mungkin.

Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengamati kavitasi sedini mungkin. Menurut Puoya *et al.* (2017) Pompa sentrifugal yang mengalami kondisi kavitasi akan menghasilkan sinyal khusus seperti getaran, tekanan, dan emisi akustik. Namun dalam mendeteksi kavitasi pada pompa, metode yang paling populer digunakan adalah metode sinyal getaran (Contreras dkk, 2002). Melalui metode analisis sinyal getaran ini kita dapat mengamati karakteristik getaran pada komponen pompa yang mengalami kerusakan akibat fenomena kavitasi.

Berdasarkan metode penelitian yang telah dilakukan sebelumnya diantaranya, oleh Al Hashmi (2004) menggunakan metode baru yang telah dikembangkan untuk mendeteksi kavitasi pada pompa sentrifugal dengan metode spektrum getaran. Metode ini dipilih berdasarkan pada perbandingan amplitudo getaran dengan laju aliran pompa memiliki kesesuaian dengan karakteristik getaran yang ditimbulkan akibat fenomena kavitasi. Melalui hasil yang diperoleh dari spektrum getaran deteksi kavitasi dapat diukur dari nilai standar deviasinya.

Penelitian Zouari *et al.* (2004) telah mengklasifikasikan kavitasi yang terjadi pada pompa sentrifugal menggunakan spektrum getaran. Melalui spektrum getaran, deteksi kavitasi dapat diamati dari *peak* tinggi yang muncul pada bentang frekuensi tertentu. Hasilnya didapatkan klasifikasi yang benar antara 98-100%. Hal ini dapat mengidentifikasi fenomena kavitasi secara langsung dari

spektrum getaran yang dipilih sebagai metode deteksi.

Sedangkan penelitian yang telah dilakukan oleh Farhat *et al.* (1996) memberikan pernyataan bahwa fenomena kavitasi pada pompa akan lebih mudah dideteksi dengan sinyal getaran berbasis analisis envelope. Kaye (2000), telah memantau kavitasi pada pompa sentrifugal menggunakan analisis getaran, dimana viabilitas atau kemungkinan terjadinya kavitasi dapat diamati dari hasil yang ditunjukkan oleh analisis envelope. Klasifikasi kavitasi pada pompa sentrifugal yang telah dilakukan oleh Kaye dan Farhat (2002) Menyatakan bahwa analisis envelope adalah cara yang paling tepat untuk mendeteksi dan mengukur kavitasi pada pompa.

Penelitian sebelumnya telah mengaplikasikan metode spektrum getaran dan spektrum envelope pada keseluruhan bentang frekuensi. Hasilnya menunjukkan bahwa metode spektrum getaran dan spektrum envelope dapat digunakan untuk mendeteksi kavitasi pada pompa sentrifugal. Akan tetapi, metode tersebut khususnya pada spektrum getaran tidak menunjukkan hubungan yang jelas antara amplitudo pada spektrum dengan level kavitasi. Tujuan penelitian ini adalah membagi bentang frekuensi rendah dan frekuensi tinggi pada spektrum getaran dan spektrum envelope. Frekuensi rendah yang digunakan antara 0 sampai 4kHz dan frekuensi tinggi antara 4kHz sampai 8,5kHz. Dengan menggunakan teknik ini diharapkan hubungan antara amplitudo spektrum dan level kavitasi akan terlihat lebih nyata.

LANDASAN TEORI

Kavitasi merupakan pembentukan rongga kosong dalam suatu cairan dan kemudian pecah secara tiba-tiba. Kavitasi terjadi ketika fluida cair berada pada daerah yang mengalami perubahan tekanan dengan cepat. Fenomena ini sangat berbahaya dan diketahui sebagai fenomena yang bersifat merusak pada bagian-bagian penting komponen pompa dan dapat menurunkan performansi pompa. Dalam hal kavitasi, bagian pompa yang sering mengalami kavitasi adalah sisi isap pompa. Hal ini terjadi karena tekanan isap pompa terlalu rendah hingga dibawah tekanan uap jenuh (Rahman dan Ikhwanisyah, 2012).

Pompa yang sedang beroperasi dalam kondisi kavitasi akan menimbulkan suara bising akibat dari getaran yang terjadi karena terbentuknya gelembung air yang kemudian pecah secara terus menerus. Kondisi ini apabila dibiarkan akan menyebabkan kerusakan mekanis pada komponen pompa. Kerusakan yang sering terjadi akibat kavitasi adalah terbentuknya lubang-lubang korosi pada impeler maupun casing pompa (Soyama, 1992).

Menurut Jarrell (2003) menyatakan bahwa terlihat adanya perbedaan dalam spektrum getaran *Fast Fourier Transform* (FFT) sebelum dan setelah munculnya kavitasi pada pompa sentrifugal. Analisis getaran frekuensi komponen menunjukkan bahwa kenaikan getaran akibat kavitasi muncul pada frekuensi tinggi (lebih dari 1000 Hz). Penelitian dalam percobaan tersebut menunjukkan bahwa perubahan yang paling nyata terlihat akan terjadi di frekuensi tinggi. *Broadband frequency* pada spektrum getaran terkait dengan peningkatan getaran yang disebabkan oleh fenomena kavitasi. Sinyal getaran yang terbatas dalam pengukuran getaran mesin akibat rusak $f(t)$ dapat didekomposisi oleh transformasi *fourier* $F(w)$, dengan persamaan sebagai berikut pada persamaan 1 dan 2.

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(w)e^{iwt} dw \dots\dots\dots(1)$$

Dimana,

$$F(w) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-iwt} dt \dots\dots\dots(2)$$

Dimana $f(t)$ dan $F(w)$ merupakan persamaan transformasi *fourier*, $f(t)$ sinyal dapat didekomposisi menjadi satu kelompok dengan harmonik e^{iwt} .

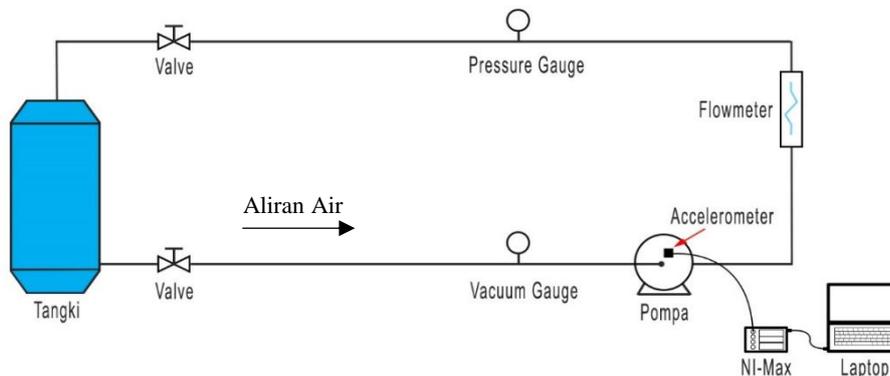
Koefisien pembebanan merepresetasikan amplitudo harmonik pada $F(w)$. $f(t)$ adalah domain waktu yang mewakili komposisi frekuensi dari proses yang acak, yang diasumsikan bahwa statistiknya tidak berubah seiring berjalannya waktu.

METODOLIGI PENELITIAN

Test-Rig kavitasi pompa sentrifugal adalah simulator yang dirancang untuk mensimulasikan fenomena kavitasi pada pompa sentrifugal. Simulasi fenomena kavitasi ini digunakan untuk mengembangkan metode deteksi kavitasi dengan menerapkan teknik analisis sinyal getaran. Dengan menggunakan *test-rig* ini diharapkan dapat menghasilkan sebuah metode yang efektif dalam mengamati fenomena kavitasi yang umum terjadi pada operasional pompa sentrifugal. Pendekatan eksperimen dilakukan dalam penelitian ini dengan menggunakan sinyal getaran sebagai media untuk mendeteksi kavitasi pada pompa.

Gambar 1 merupakan skema dari alat uji penelitian. Alat uji yang digunakan pada penelitian ini terdapat beberapa komponen diantaranya *monoblock* pompa sentrifugal, motor listrik, *flowmeter*, *pressure gauge*, *vacuum gauge*, *globe valve*, instalasi pipa, tangki penampung air, perangkat data akuisisi *National Instrument*, akselerometer, dan laptop.

Proses akuisisi data pada metode penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap. Dapat dilihat pada Gambar 2 merupakan diagram alir secara umum pada penelitian ini. Secara umum tahapan tersebut dimulai dari persiapan alat, pengambilan data, pengolahan data kemudian melakukan proses analisis untuk

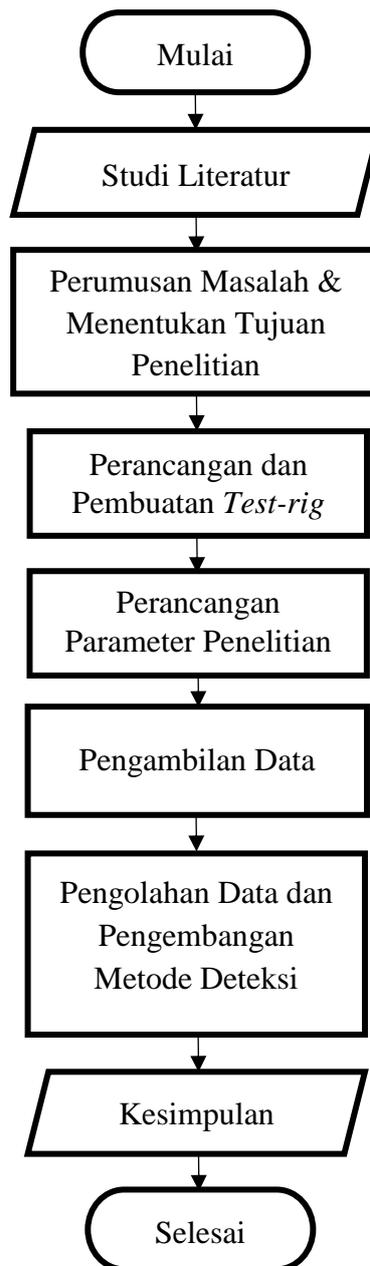


GAMBAR 1. SKEMA TESTRIG KAVITASI

mengetahui hasil dari penelitian. Studi literatur sebagai tahapan awal dilakukan sebelum proses persiapan alat uji. Dalam tahap studi literatur ini berguna untuk mencari data-data atau sumber informasi yang relevan dengan topik penelitian. Data dan sumber informasi kemudian dikaji sebagai tolak ukur acuan dalam penelitian yang akan dilakukan.

Tahap selanjutnya melakukan perumusan masalah yang akan menjadi topik dalam penelitian ini.

Langkah awal penelitian adalah melakukan perancangan dan pembuatan alat uji sebagai media untuk mendeteksi fenomena kavitasi pada pompa. Langkah selanjutnya setelah perancangan *test-rig* kavitasi selesai, kemudian melakukan proses pengambilan data. Dalam pengambilan data terdapat beberapa tahap yang harus dilakukan. Setelah melakukan proses perekaman data, langkah berikutnya adalah proses pengolahan data dan pengembangan metode deteksi untuk mengamati level kavitasi yang terjadi.



GAMBAR 2. DIAGRAM ALIR PENELITIAN SECARA UMUM

Kemudian dari data yang sudah diolah didapatkan hasil dari penelitian dan dibuatlah kesimpulan dari *test-rig* kavitasi pompa sentrifugal. Proses perekaman akuisisi data dilakukan dengan pengambilan *sampling* data sinyal getaran. Akuisisi data menggunakan *sampling rate* sebesar 17066 Hz. Akuisisi data sebanyak 300 *file* pada setiap kondisi pompa, dalam waktu 10 detik pada setiap *file* data dengan jeda waktu 2 detik antara *file* yang direkam. Akuisisi data yang telah sesuai dalam beberapa kali percobaan perekaman selanjutnya disimpan di laptop dalam format *mat files*.

Tahap berikutnya melakukan proses pengolahan data sinyal getaran dan mengembangkan metode deteksi kavitasi menggunakan software Matlab versi R2014a sebagai media untuk menampilkan grafik berupa spektrum dan spektrum envelope untuk mengidentifikasi level kavitasi yang muncul dari kondisi normal, rendah, sedang hingga tinggi. Kemudian tahap terakhir melakukan proses analisis dan membuat kesimpulan dari penelitian.

Makalah ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris. Penulisan menggunakan bahasa Inggris boleh menggunakan gaya *British* atau *US*, namun penulis tidak boleh mencampurkan kedua gaya bahasa dalam satu makalah. Makalah yang ditulis dalam bahasa Inggris harus dipastikan telah mengikuti tata bahasa yang benar.

Tulisan dalam pokok uraian menggunakan jenis huruf Times New Roman ukuran 11 pt, *justified*, 1 spasi, sebagaimana pada *template* ini. Penulis diperbolehkan menggunakan huruf jenis lain untuk keperluan khusus, misalnya pada suatu program komputer. Dalam satu halaman diusahakan rata atas dan bawah, sehingga sisa spasi dapat diatur oleh penulis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil visualisasi kavitasi pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3. Dari visualisasi tersebut menunjukkan proses terbentuknya kavitasi dalam kondisi normal hingga kavitasi hingga level 3. Dari hasil visualisasi tersebut kemudian dilakukan

analisis terhadap fenomenan kavitasi menggunakan sinyal getaran pada spektrum getaran dan spektrum envelope.

Hasil dari sinyal getaran mentah sebelum diolah pada spektrum dan spektrum envelope yang ditunjukkan pada Gambar 4. Terlihat adanya perbedaan antara sinyal getaran dari pompa kondisi normal dengan kondisi level kavitasi. Sinyal tersebut merupakan domain waktu dari proses menampilkan data sinyal getaran pada setiap kondisi pompa. Namun untuk mengamati lebih lanjut terjadinya kavitasi pada sinyal getaran tersebut masih sulit membedakan kondisi normal dengan kondisi level kavitasi. Maka perlu dilakukan analisa lebih mendalam dengan menggunakan spektrum getaran dan spektrum envelope pada bentang frekuensi rendah dan bentang frekuensi tinggi.

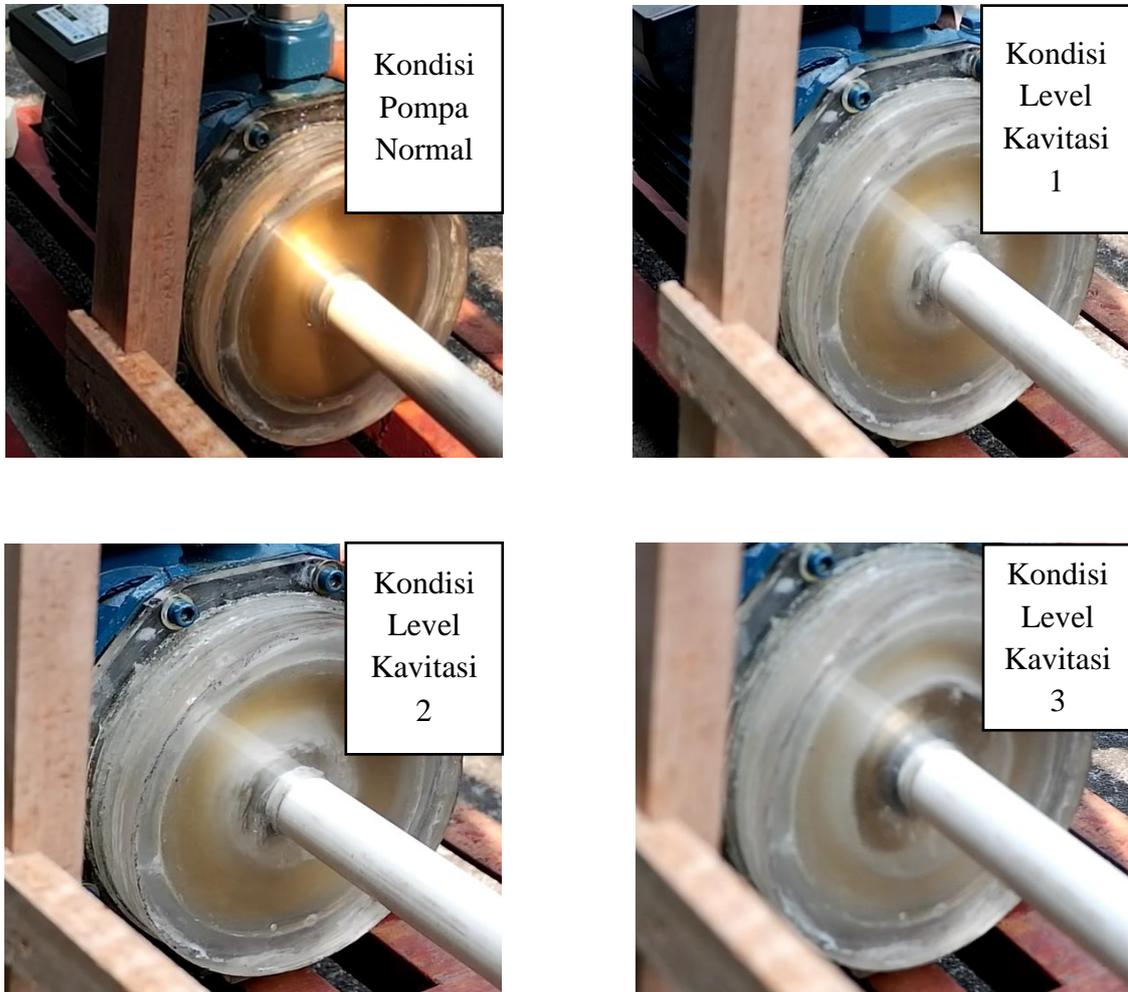
Hasil plot spektrum getaran atau domain frekuensi dan spektrum envelope pada setiap bentang frekuensi menunjukkan pada kondisi percobaan yang telah dilakukan. Terlihat frekuensi fundamental (f_0) yang juga sering disebut sebagai frekuensi harmonik pertama. Frekuensi fundamental (f_0) merupakan kecepatan putar pada poros pompa. Frekuensi poros pompa terlihat pada 44.14 Hz. Frekuensi tersebut sebanding dengan nilai aktual putaran poros sebesar 2648 rpm. Hasil plot menunjukkan bahwa frekuensi dan nilai amplitudo pada frekuensi fundamental (f_0) dan harmoniknya. Frekuensi harmonik pada spektrum dan envelope frekuensi rendah 3x sampai dengan 6x frekuensi fundamental (f_0). Frekuensi ini berasal dari frekuensi $\frac{1}{2}$ BPF dan BPF (*Blade Pass Frequency*).

menunjukkan spektrum dan envelope dengan bentang frekuensi tinggi terlihat frekuensi harmonik dari impeler atau BPF. Frekuensi harmonik tersebut muncul pada bentang frekuensi tinggi dengan *peak* yang diperlihatkan oleh spektrum. Awal frekuensi harmonik pada bentang frekuensi tinggi berasal dari 4x frekuensi BPF pada bentang frekuensi rendah.

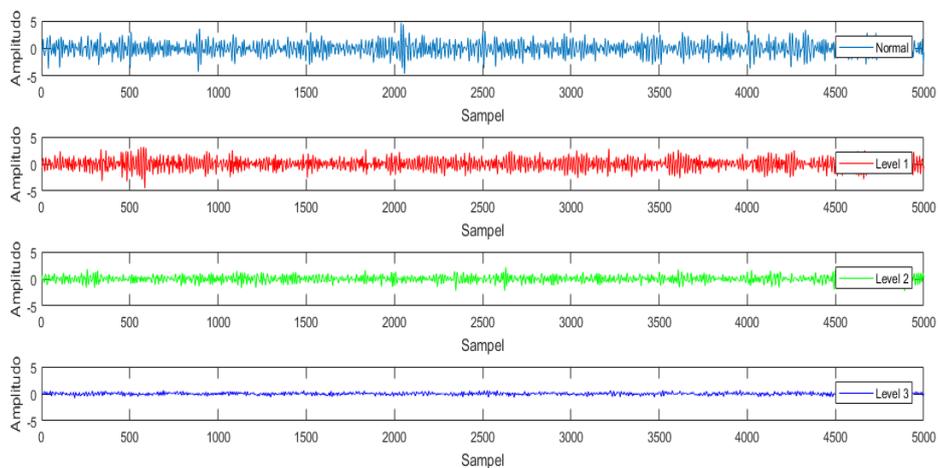
Sinyal getaran yang dihasilkan dalam pengujian *test-rig* kavitasi pompa sentrifugal dijadikan sebagai indikator untuk mendeteksi kavitasi yang terjadi secara dini maupun kavitasi lanjut. Hasil

yang muncul pada spektrum frekuensi rendah kondisi pompa normal dibandingkan dengan kondisi pompa level kavitasi 1, 2, dan 3.

Perbandingan dilakukan untuk mengamati terjadinya indikasi kavitasi. Berikut perbandingan pada spektrum frekuensi rendah pompa kondisi normal dengan level kavitasi 1 sampai dengan 3.



GAMBAR 3. VISUALISASI KAVITASI

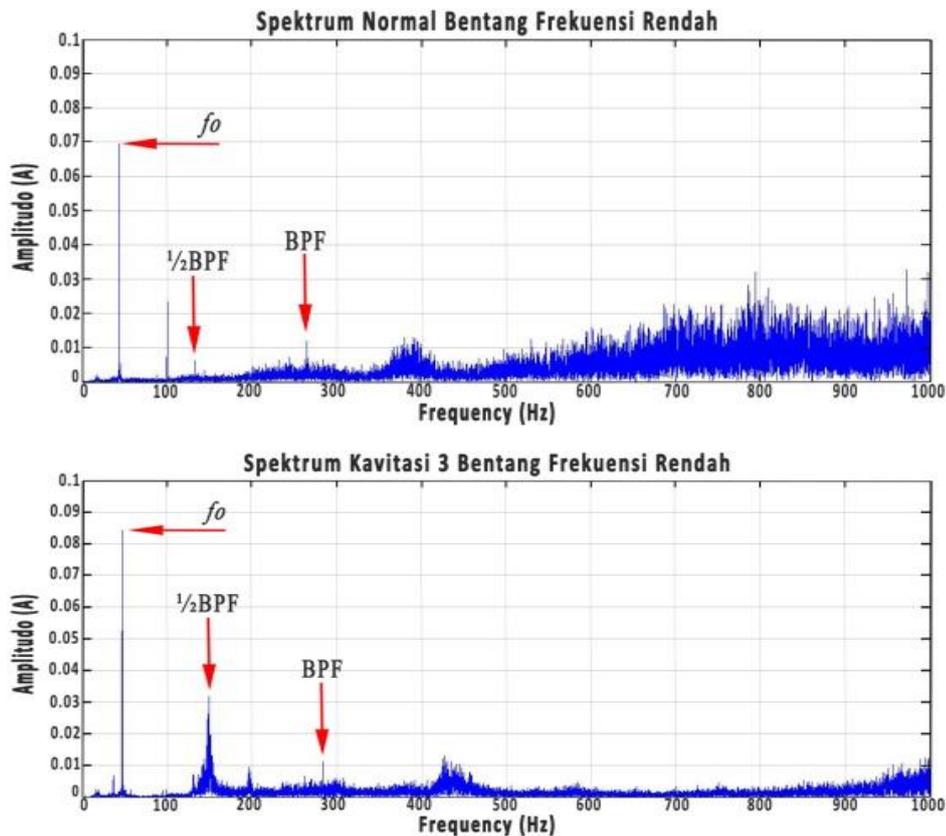


GAMBAR 4. SINYAL GETARAN MENTAH DALAM BENTUK DOMAIN WAKTU

1. Perbandingan Spektrum Antara Kondisi Normal-Kavitasi 3 Dengan Bentang Frekuensi Rendah

Spektrum frekuensi rendah pada pompa kondisi normal dengan kavitasi 3 memperlihatkan kenaikan nilai frekuensi dan nilai amplitudo pada kondisi level kavitasi 3. Kenaikan nilai ini dapat mengindikasikan bahwa level kavitasi

dan BPF pada spektrum frekuensi rendah kavitasi 3 mengalami peningkatan nilai frekuensi dan amplitudo. Dimana nilai frekuensi dan amplitudo $\frac{1}{2}$ BPF sebesar 149.6 Hz dan 0.033 mV. Kemudian untuk frekuensi dan amplitudo BPF nilainya sebesar 283.7 Hz dan 0.013 mV.



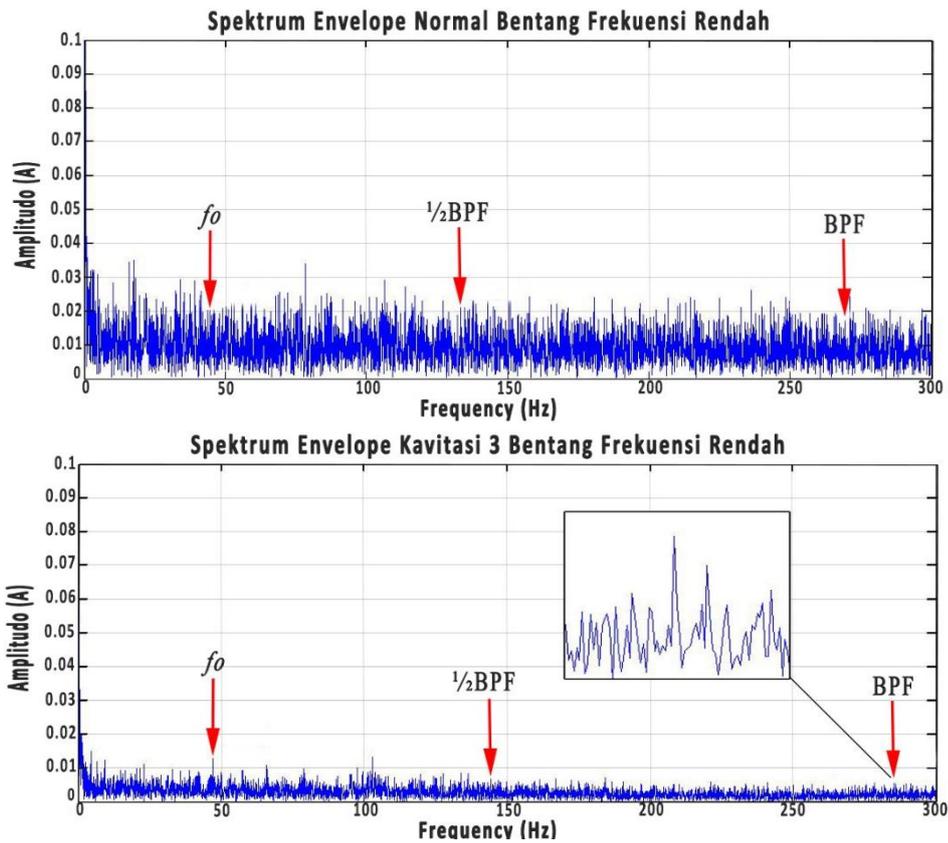
GAMBAR 5. PERBANDINGAN SPEKTRUM KONDISI NORMAL-KAVITASI 3 DENGAN FREKUENSI RENDAH (0-4kHz)

yang terjadi semakin besar dibandingkan dengan 3 kondisi sebelumnya. Hal ini terjadi karena jumlah air yang terhisap oleh pompa berkurang secara drastis. Fenomena ini menyebabkan gelembung kavitasi terbentuk semakin banyak dan memperburuk putaran impeler sehingga dapat terjadi kelonggaran atau ketidakseimbangan (*unbalance*) pada komponen. Hal ini dibuktikan oleh frekuensi $\frac{1}{2}$ BPF dan BPF dari spektrum kavitasi 3 mengalami peningkatan nilai frekuensi dan amplitudo secara signifikan. Lihat Gambar 5 menunjukkan hasil plot dari spektrum frekuensi rendah dari pompa kondisi normal dan kavitasi 3.

Terlihat pada gambar spektrum bahwa frekuensi harmonik yang muncul dari $\frac{1}{2}$ BPF

2. Perbandingan Spektrum Envelope Antara Kondisi Normal-Kavitasi 3 Dengan Bentang Frekuensi Rendah

Perbandingan antara spektrum envelope frekuensi rendah kondisi normal dengan kavitasi 3 dapat dilihat pada Gambar 6. Pada spektrum envelope kavitasi 3 menunjukkan bahwa frekuensi *noise* dan amplitudo mengalami penurunan. Penurunan nilai amplitudo dan frekuensi *noise* pada spektrum envelope kavitasi 3 berpengaruh terhadap getaran yang ditimbulkan. Semakin rendahnya getaran pompa diakibatkan oleh volume air yang semakin sedikit sebanding dengan hasil yang ditunjukkan oleh spektrum envelope.



GAMBAR 6. PERBANDINGAN SPEKTRUM ENVELOPE KONDISI NORMAL-KAVITASI 3 DENGAN FREKUENSI RENDAH (0-4kHz)

Hasil ini membuktikan bahwa kavitasi yang terbentuk akan semakin bertambah.

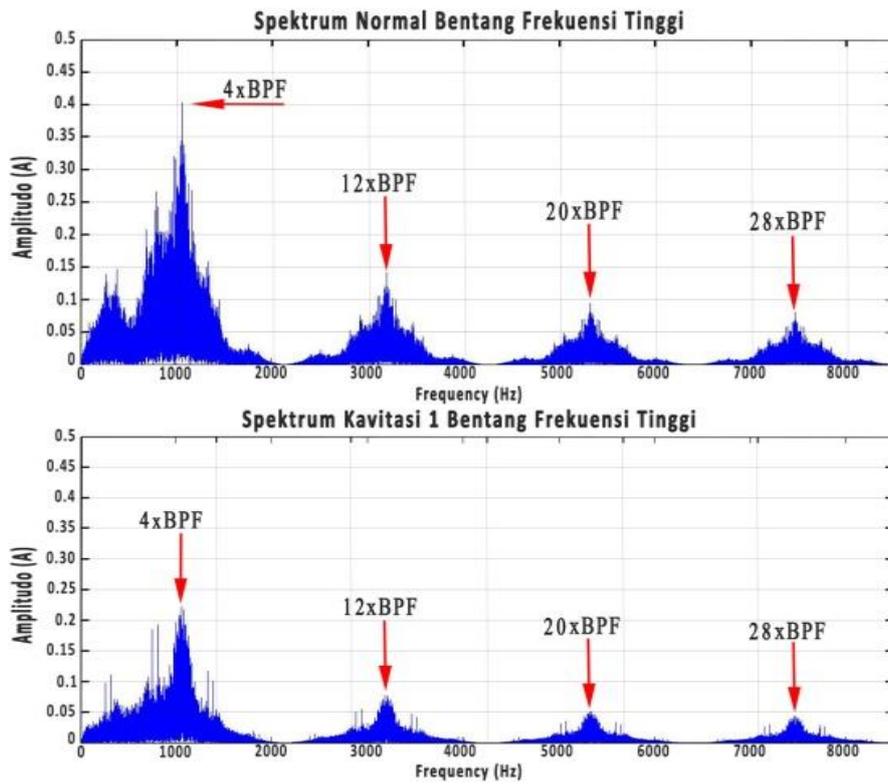
Namun dapat diamati pada frekuensi *fundamental* (f_o), frekuensi $3 \times f_o$ ($1/2$ BPF), $6 \times f_o$ (BPF) mengalami kenaikan frekuensi. Hal ini terjadi karena semakin banyaknya getaran yang terjadi akibat dari pecahnya gelembung kavitasi yang juga semakin banyak. Pada spektrum envelope frekuensi rendah tersebut proses analisis kavitasi dini masih kurang akurat. Maka perlu dilakukan proses analisis selanjutnya dengan menggunakan spektrum envelope frekuensi tinggi.

3. Perbandingan Spektrum Antara Kondisi Normal-Kavitasi 1 Dengan Bentang Frekuensi Tinggi

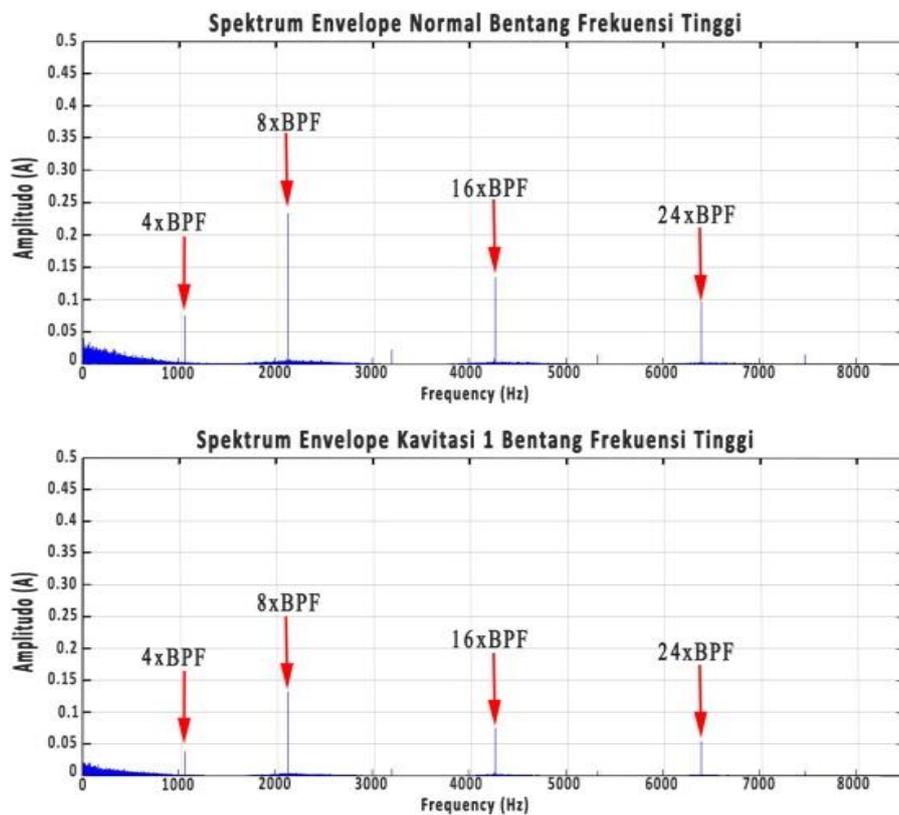
Analisis kondisi pompa sentrifugal ketika beroperasi normal dengan kondisi kavitasi 1 pada test-rig kavitasi dilakukan untuk mengamati terbentuknya kavitasi dini. Hasil plot pada Gambar 7 merupakan perbandingan antara spektrum frekuensi tinggi pompa normal dengan pompa kondisi kavitasi.

Proses pengamatan menggunakan metode analisis getaran pada spektrum getaran dengan frekuensi tinggi. Dapat dilihat pada kedua spektrum tersebut bahwa terjadi penurunan nilai amplitudo pada spektrum kavitasi 1. Penurunan nilai tersebut seiring dengan frekuensi harmonik yang terlihat pada spektrum. Frekuensi harmonik pada kedua spektrum merupakan frekuensi harmonik dari frekuensi BPF atau impeler.

Dari hasil yang ditunjukkan oleh spektrum pompa pada kondisi normal muncul nilai amplitudo tertinggi sebesar 0.04 mV. Sedangkan pada pompa kondisi kavitasi 1 nilai amplitudo tertingginya sebesar 0.022 mV. Kedua angka yang muncul pada kedua spektrum tersebut merupakan amplitudo dari impeler atau BPF. Hasil ini dapat dikatakan bahwa terjadi penurunan volume air yang terhisap oleh pompa pada spektrum kavitasi 1. Sehingga proses terbentuknya kavitasi 1 dapat terjadi pada kondisi tersebut walaupun intensitasnya hanya sedikit.



GAMBAR 7. PERBANDINGAN SPEKTRUM KONDISI NORMAL-KAVITASI 1 DENGAN FREKUENSI RENDAH (4kHz-8,5kHz)



GAMBAR 8. PERBANDINGAN SPEKTRUM ENVELOPE KONDISI NORMAL-KAVITASI 1 DENGAN FREKUENSI RENDAH (4kHz-8,5kHz)

4. Perbandingan Spektrum Envelope Antara Kondisi Normal-Kavitasi 1 Dengan Bentang Frekuensi Tinggi

Spektrum envelope frekuensi tinggi pada Gambar 8 merupakan hasil plot pada pompa kondisi normal dan kavitasi 1. Pada kedua spektrum tersebut dilakukan perbandingan untuk mengamati munculnya kavitasi dini pada test-rig pompa sentrifugal. Dapat dilihat pada spektrum envelope kondisi kavitasi 1 yang memiliki frekuensi harmonik dari komponen pompa berupa impeler atau BPF.

Frekuensi harmonik yang muncul pada spektrum envelope tersebut menunjukkan penurunan nilai amplitudo. Amplitudo yang menurun pada kondisi kavitasi 1 merupakan indikasi bahwa terbentuknya gelembung kavitasi dini sudah terjadi. Hal ini disebabkan tekanan yang masuk saat pompa beroperasi dengan kondisi kavitasi 1 mengalami penurunan tekanan dan volume yang terhisap oleh pompa.

Frekuensi BPF yang memiliki frekuensi sebesar 1067 Hz merupakan frekuensi dari impeler pompa. Frekuensi harmonik 4xBPF, 8xBPF, 16xBPF, 24xBPF dimana frekuensi tersebut mengindikasikan getaran yang terjadi ketika pompa beroperasi. Pada spektrum envelope kavitasi 1 terlihat bahwa pada frekuensi harmonik mengalami penurunan amplitudo. Hal ini bisa mengidentifikasi bahwa kavitasi dini mulai muncul.

PEMBAHASAN

Penelitian pada *test-rig* kavitasi pompa sentrifugal ini menggunakan *accelerometer* sebagai alat yang digunakan untuk merekam getaran pada operasional pompa. Pemasangan *accelerometer* diletakkan sedekat mungkin di posisi komponen pompa yang terdampak oleh fenomena kavitasi yakni pada arah *axial*. Fungsi pelatukkan pada arah *axial* untuk mengoptimalkan perekaman sinyal getaran yang terjadi dibagian impeler pompa yang terdampak langsung terhadap proses kavitasi. Proses terbentuknya gelembung kavitasi disebabkan oleh fluida yang mengalir akan berbenturan dengan mata impeler dimana fluida tersebut kemudian membentuk pusaran. Pusaran ini yang dapat menyebabkan tumbukan gelembung kavitasi terjadi secara terus menerus. Hasil data akuisisi sinyal getaran yang diperoleh dari *accelerometer* digunakan sebagai

indikator terjadinya kavitasi dini maupun kavitasi lanjut.

Dalam mengamati indikasi terjadinya fenomena kavitasi perlu dilakukan perbandingan antara spektrum getaran dan spektrum envelope pada kondisi pompa normal dengan level kavitasi 1, kavitasi 2, dan kavitasi 3. Spektrum getaran dan spektrum envelope yang digunakan untuk mengamati fenomena kavitasi dibagi pada *broadband* frekuensi rendah dan *broadband* frekuensi tinggi. Pembagian ini dilakukan agar deteksi kavitasi dapat diamati melalui bentang frekuensi rendah atau bentang frekuensi tinggi. Dari hasil yang telah didapatkan pada penelitian *test-rig* kavitasi berupa spektrum getaran dan spektrum envelope, bahwa indikasi terjadinya kavitasi dapat dilihat melalui spektrum getaran pada bentang frekuensi rendah.

Hasilnya menunjukkan pada spektrum getaran *broadband* frekuensi rendah terjadi kenaikan nilai amplitudo secara signifikan pada kondisi pompa kavitasi 3. Hal ini merupakan bukti bahwa terjadi kavitasi dengan mengamati nilai amplitudo pada frekuensi *fundamental* dan frekuensi BPF dan $\frac{1}{2}$ BPF pada spektrum bentang frekuensi rendah level kavitasi 3. Kenaikan nilai amplitudo tersebut dapat disebabkan oleh massa *unbalance* pada pompa semakin membesar sehingga getaran yang ditimbulkan juga semakin besar. Namun indikasi kavitasi dini pada spektrum getaran pada bentang frekuensi rendah tidak dapat diamati. Karena terjadinya kavitasi pada spektrum ini hanya terlihat secara jelas pada kondisi kavitasi 3.

Kemudian hasil yang ditunjukkan oleh spektrum envelope dengan bentang frekuensi rendah menunjukkan penurunan nilai amplitudo secara bertahap pada setiap kenaikan level kavitasi. Namun penurunan angka ini tidak dapat membuktikan atau memperlihatkan secara jelas kavitasi yang terjadi pada pompa. Hal ini disebabkan karena masih terdapat frekuensi *noise* yang menutupi *peak* dari frekuensi *fundamental* dan frekuensi sudu impeler atau BPF. Sehingga fenomena kavitasi dini maupun lanjut pada spektrum envelope *broadband* frekuensi rendah tidak bisa mengindikasikan terjadinya kavitasi secara akurat.

Sedangkan hasil spektrum getaran dengan bentang frekuensi tinggi menunjukkan bahwa terlihat indikasi kavitas dini yang terlihat pada kondisi level kavitas 1. Pada kondisi pompa dengan level kavitas 1 terjadi penurunan nilai amplitudo frekuensi harmonik BPF dibandingkan dengan kondisi pompa normal. Penurunan nilai amplitudo ini terjadi cukup signifikan. Hal ini dapat disebabkan oleh jumlah volume air yang terhisap oleh pompa menurun, sehingga fenomena kavitas mulai terbentuk seiring dengan menurunnya tekanan pada *suction* pompa ketika saat terjadi kavitas.

Namun hal yang unik terlihat pada hasil yang ditunjukkan oleh spektrum getaran *broadband* frekuensi tinggi saat terjadi kavitas 2. Pada spektrum kavitas 2 justru nilai amplitudo pada frekuensi harmonik BPF mengalami kenaikan walaupun kenaikan nilai tersebut tidak melebihi nilai amplitudo pada saat pompa kondisi normal. Menurut Zainal dkk (2013) peningkatan amplitudo frekuensi poros pompa dapat disebabkan oleh bertambahnya massa *unbalance* pada impeler pompa yang rusak. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa terjadi getaran yang cukup kuat akibat terjadinya kavitas. Namun getaran tersebut terjadi hanya berlangsung beberapa saat karena pada kondisi kavitas 3 nilai amplitudo yang ditunjukkan oleh spektrum kembali mengalami penurunan secara signifikan.

Selanjutnya dari hasil yang ditunjukkan oleh spektrum envelope dengan bentang frekuensi tinggi, dapat diamati bahwa penurunan nilai amplitudo terjadi secara bertahap seiring dengan bertambahnya level kavitas. Pada spektrum envelope dengan *broadband* frekuensi tinggi terlihat jelas bahwa *peak* pada frekuensi harmonik BPF mengalami penurunan amplitudo secara bertahap. Penurunan nilai amplitudo pada frekuensi harmonik BPF tidak lepas dari semakin berkurangnya volume air yang terhisap oleh pompa juga tekanan yang terjadi pada *suction* semakin berkurang. Berkurangnya volume air yang terjadi secara bertahap ini dapat menyebabkan turbulensi aliran semakin membesar. Membesarnya turbulensi aliran air mengakibatkan tumbukan antara air dengan sudu impeler semakin mengecil. Sehingga getaran yang ditimbulkan juga akan semakin berkurang. Maka indikasi kavitas dini yang dapat diamati melalui penurunan nilai amplitudo secara bertahap pada spektrum envelope ini dapat terlihat lebih jelas dan nyata.

Berdasarkan uraian di atas bahwa pada penelitian *test-rig* kavitas ini, terjadinya kavitas dini mampu terdeteksi melalui spektrum envelope dengan bentang frekuensi tinggi antara 4 kHz - 8,5 kHz. Hasil yang menunjukkan ketika frekuensi BPF pada kondisi normal dengan level kavitas 1, kavitas 2 dan kavitas 3 mengalami penurunan nilai amplitudo secara bertahap.

Hal ini membuktikan semakin bertambahnya level kavitas maka penurunan nilai amplitudo juga akan semakin menurun sesuai dengan yang terlihat pada frekuensi dari sudu impeler. Sedangkan pada spektrum getaran pada bentang frekuensi rendah hanya mampu menunjukkan terjadinya kavitas pada level kavitas lanjut yang disebabkan oleh kenaikan nilai amplitudo secara drastis pada frekuensi poros, frekuensi BPF, dan $\frac{1}{2}$ BPF. Dimana kenaikan nilai tersebut berasal dari massa *unbalance* yang diakibatkan oleh fenomena kavitas dengan level tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian *test-rig* kavitas yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode deteksi kavitas dengan menggunakan bentang frekuensi rendah 0 - 4kHz pada spektrum getaran dan spektrum envelope hanya mampu mendeteksi kavitas lanjut khususnya pada spektrum getaran. Nilai amplitudo yang ditunjukkan pada frekuensi *fundamental*, $\frac{1}{2}$ BPF dan BPF ketika pompa mengalami level kavitas 3 terjadi kenaikan amplitudo yang disebabkan oleh massa *unbalance* yang besar. Dimana kavitas dapat diidentifikasi melalui getaran yang terjadi akibat *unbalance* pada poros dan juga impeler pompa. Sedangkan pada spektrum envelope dengan bentang frekuensi rendah tidak mampu mengidentifikasi terjadinya kavitas dini maupun lanjut secara akurat. Hal ini disebabkan karena pada spektrum envelope tersebut masih terdapat frekuensi *noise* yang menutupi frekuensi *fundamental* dan $\frac{1}{2}$ BPF juga BPF, baik pada kondisi pompa normal maupun pada variasi level kavitas.
2. Spektrum getaran dan spektrum envelope dengan bentang frekuensi tinggi 4kHz - 8,5

kHz yang digunakan untuk mendeteksi terjadinya kavitasi ini dapat diidentifikasi. Pada kedua spektrum tersebut menunjukkan penurunan nilai amplitudo pada frekuensi harmonik impeler (BPF). Khususnya pada spektrum envelope penurunan amplitudo dapat teramati dengan lebih jelas. Nilai amplitudo tersebut mengalami penurunan secara bertahap seiring dengan bertambahnya level kavitasi yang terjadi. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar kavitasi yang terjadi maka nilai amplitudo pada frekuensi sudu impeler yang ditimbulkan oleh pecahnya gelembung kavitasi akan semakin kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- A Albarik, e. a. (2012). Diagnosis of Centrifugal Pump Fault Using Vibration Methods. *Journal of Physics*.
- Al-Hashmi S, G. F. (2004). Cavitation Detection of a Centrifugal Pump Using Instantaneous Angular Speed. *ASME 7th Biennial Conference on Engineering System Design and Analysis* (hal. 106-110). American Society of Mechanical Engineer.
- Avellan, F. (2004). Introduction to Cavitation in Hydraulic Machinery. *The 6th International Conference on Hydraulic Machinery and Hydrodynamics Timisoara, Romania*.
- Contreras, L., Modi, R., & C, P. A. (2002). Integrating Simulation Modeling and Equipment Condition Diagnostig for Predictive Maintenance. *Proceedings of The Year 2002 Winter Simulation Conference*, 1289-1296.
- Eflita, Y., & Majiid, M. F. (2016). Analisis Numerik dan Validasi Kasus Kavitasi Pompa Sentrifugal Mission Magnium I Menggunakan CFD. *ROTASI*.
- Farhat, M. (1996). Cavitation Monitoring of Hydraulic Machines by Vibration Analysis Swiss Federal Institute of Technology. *PhD Thesis*.
- Kaye, M., & Farhat, M. (2003). Classification of Cavitation in Hydraulic Machines Using Vibration Analysis.
- Pouya, S., Posthan, J., & Hamed, S. (2017). Cavitation Detection in Centrifugal Pump Using Pressure Time-Domain Features. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science*.
- Tan, C. Z., & Leong, S. M. (2008). An Experimental Study of Cavitation Detection in a Centrifugal Pump Using Envelope Analysis. *Journal of System Design ana Dynamics*.

PENULIS:

Deby Arikh Nafsaka

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan
Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul,
Yogyakarta.

Email: debyarikh@gmail.com

