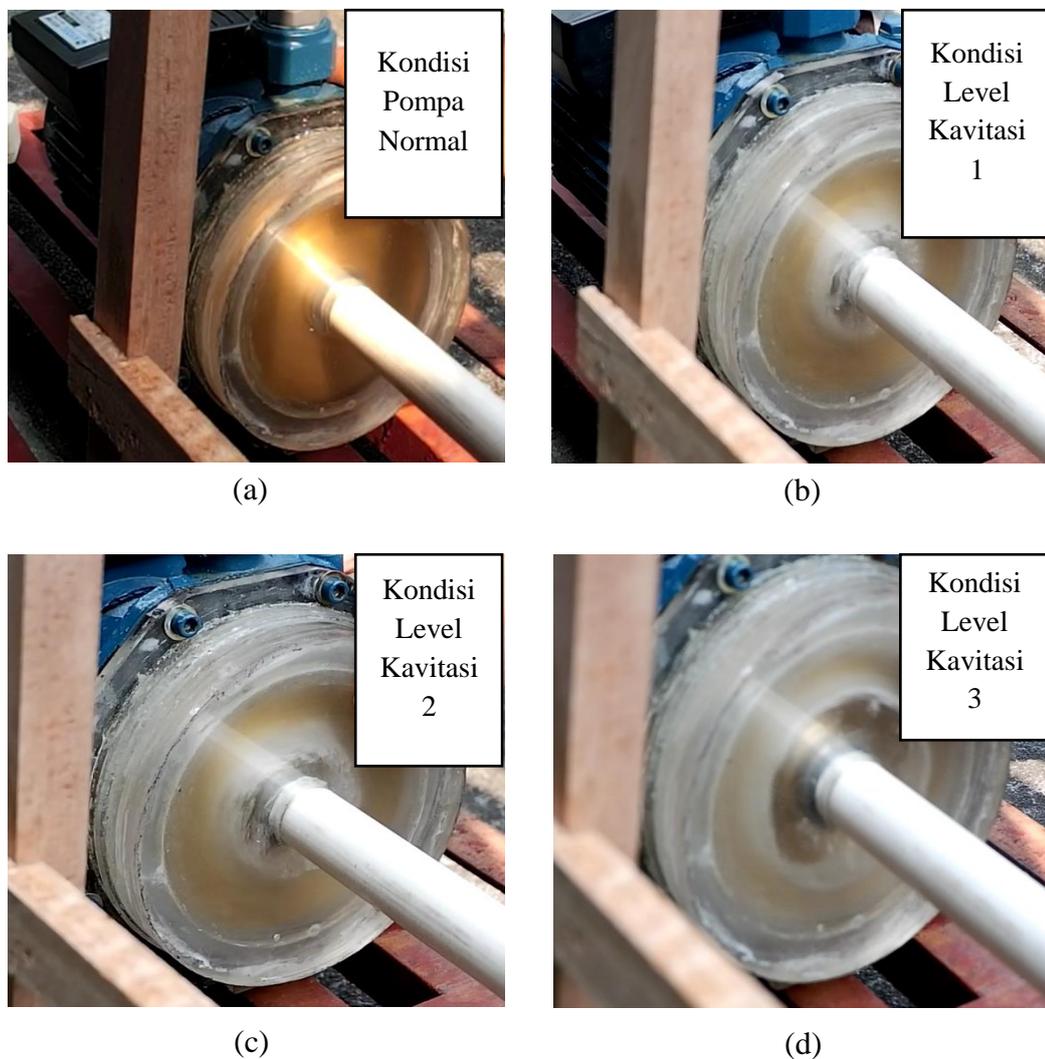


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

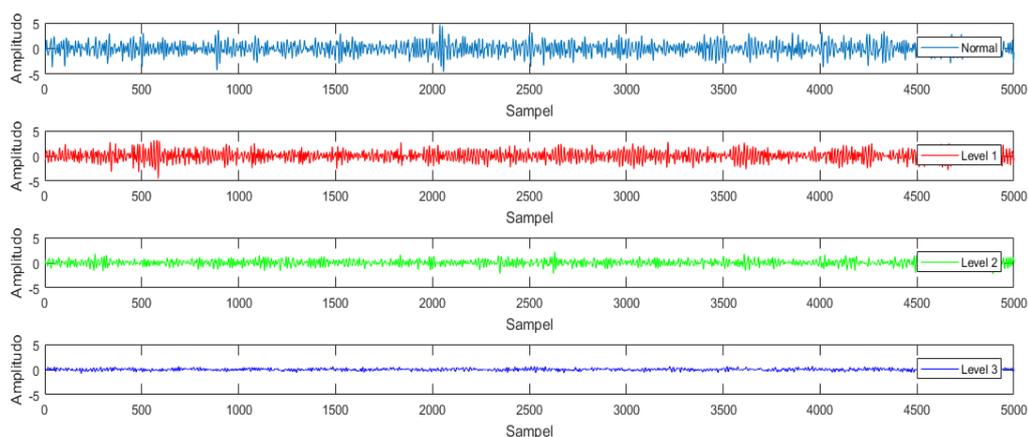
### 4.1 Data Hasil Penelitian

Hasil visualisasi kavitasasi pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1. Dari visualisasi tersebut menunjukkan proses terbentuknya kavitasasi dalam kondisi normal hingga kavitasasi hingga level 3. Dari hasil visualisasi tersebut kemudian dilakukan analisis terhadap fenomenan kavitasasi menggunakan sinyal getaran pada spektrum getaran dan spektrum envelope.



Gambar 4.1. Visualisasi Kavitasasi

Berikut adalah hasil dari sinyal getaran mentah sebelum diolah pada spektrum dan spektrum envelope yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Terlihat adanya perbedaan antara sinyal getaran dari pompa kondisi normal dengan kondisi level kavitas. Sinyal tersebut merupakan domain waktu dari proses menampilkan data sinyal getaran pada setiap kondisi pompa. Namun untuk mengamati lebih lanjut terjadinya kavitas pada sinyal getaran tersebut masih sulit membedakan kondisi normal dengan kondisi level kavitas. Maka perlu dilakukan analisa lebih mendalam dengan menggunakan spektrum getaran dan spektrum envelope pada bentang frekuensi rendah dan bentang frekuensi tinggi.



Gambar 4.2. Sinyal Getaran dari Kondisi Normal dan 3 Level Kavitas

Gambar 4.3 menunjukkan hasil plot berupa spektrum dan spektrum envelope dengan frekuensi rendah. Dan hasil plot pada Gambar 4.4 merupakan spektrum dan spektrum envelope dengan frekuensi tinggi. Kedua bentang frekuensi rendah dan frekuensi tinggi tersebut menggunakan *sampling rate* 17066 Hz.

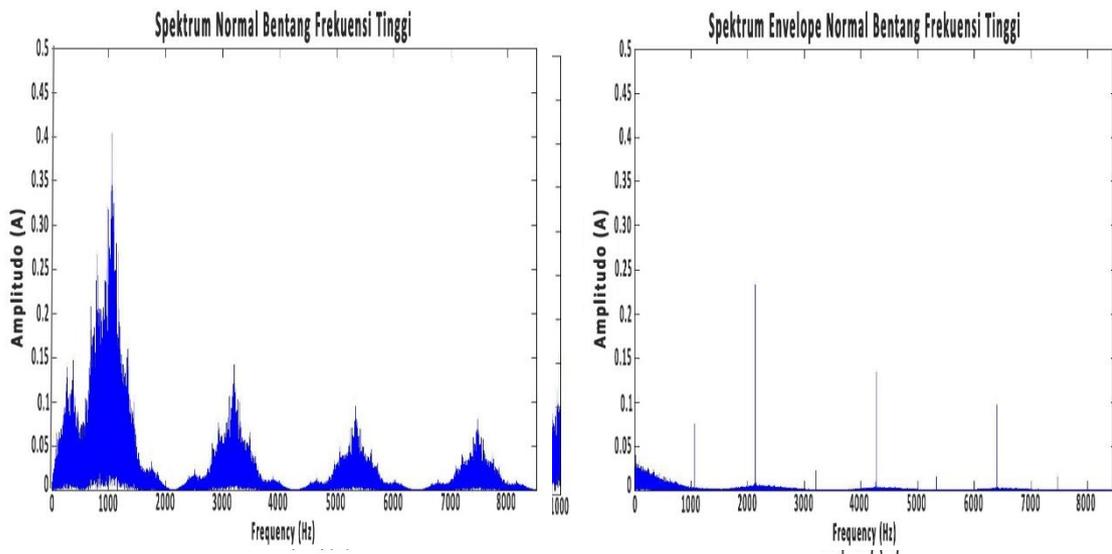
Berikut ini adalah hasil dari plot spektrum atau domain frekuensi dan spektrum envelope pada bentang frekuensi rendah dan bentang frekuensi tinggi. Hasil kedua plot ini berasal dari variasi kondisi pompa yakni pompa normal, kavitas 1, kavitas 2, dan kavitas 3. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 yang merupakan spektrum dan spektrum envelope dengan bentang frekuensi rendah pada setiap kondisi pompa. Gambar 4.6 menunjukkan hasil dari plot spektrum dan spektrum envelope dengan bentang frekuensi tinggi pada setiap kondisi pompa.

Selanjutnya dari hasil plot pada setiap bentang frekuensi dilakukan analisis antara pompa kondisi normal dengan pompa pada level kavitasi 1, 2, dan 3.

(a)

(b)

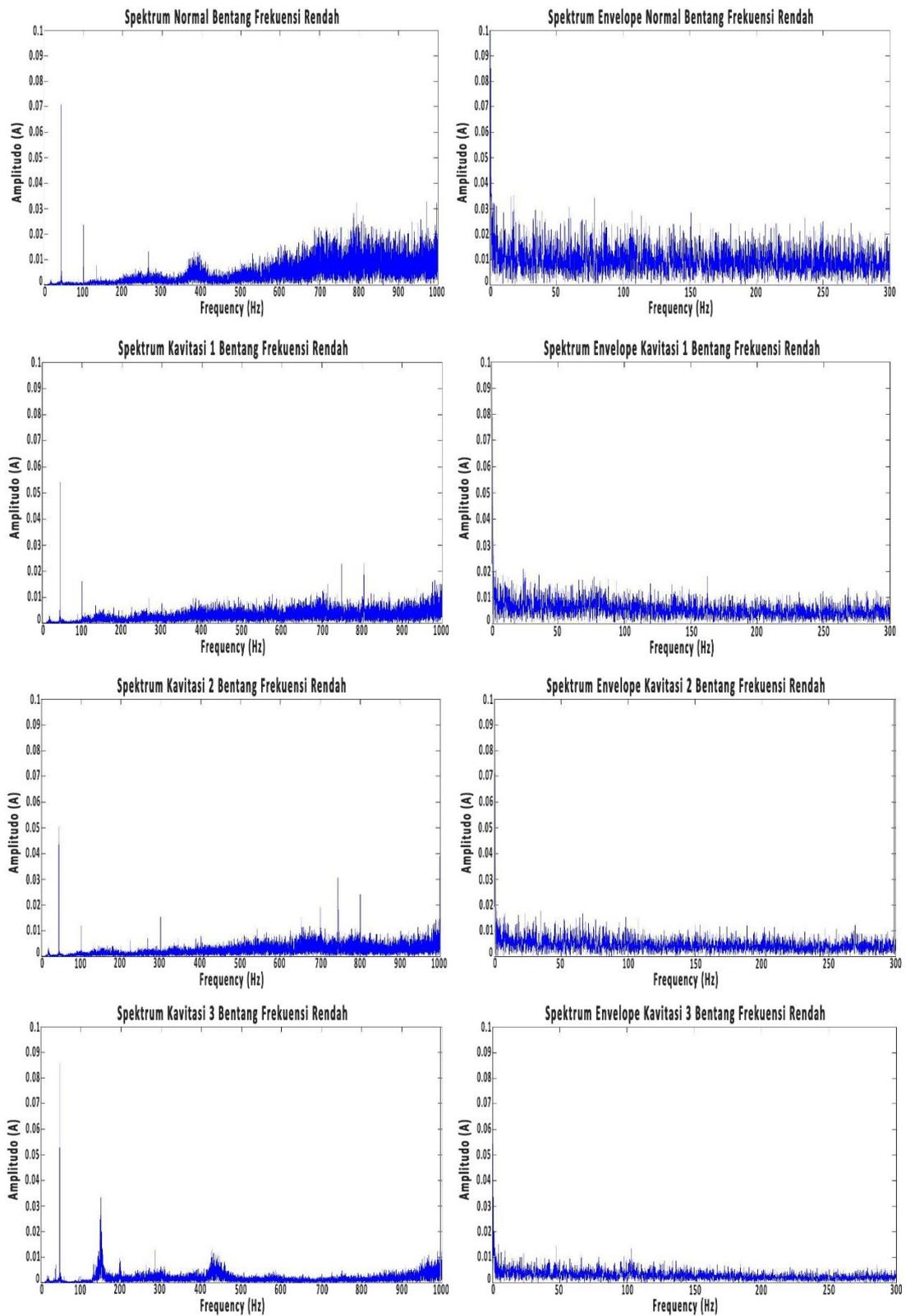
Gambar 4.3. (a) Spektrum Dengan Bentang Frekuensi Rendah (b) Spektrum Envelope Dengan Bentag Frekuensi Rendah



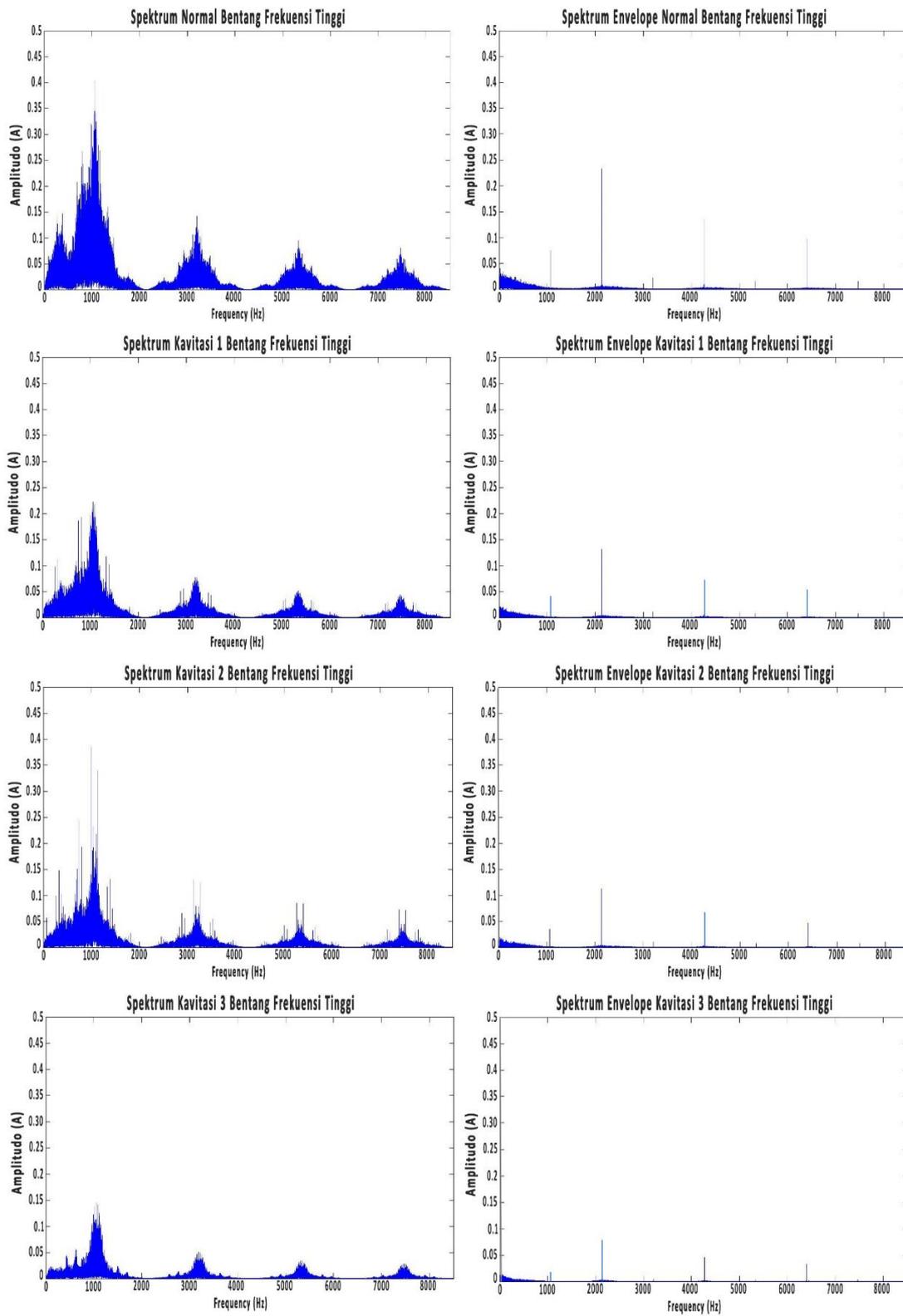
(a)

(b)

Gambar 4.4. (a) Spektrum Dengan Bentang Frekuensi Tinggi (b) Spektrum Envelope Dengan Bentag Frekuensi Tinggi



Gambar 4.5. Spektrum Dan Spektrum Envelope Dengan Bentang Frekuensi Rendah Pada Setiap Kondisi Pompa



Gambar 4.6. Spektrum Dan Spektrum Envelope Dengan Bentang Frekuensi Tinggi Pada Setiap Kondisi Pompa

## 4.2 Analisis

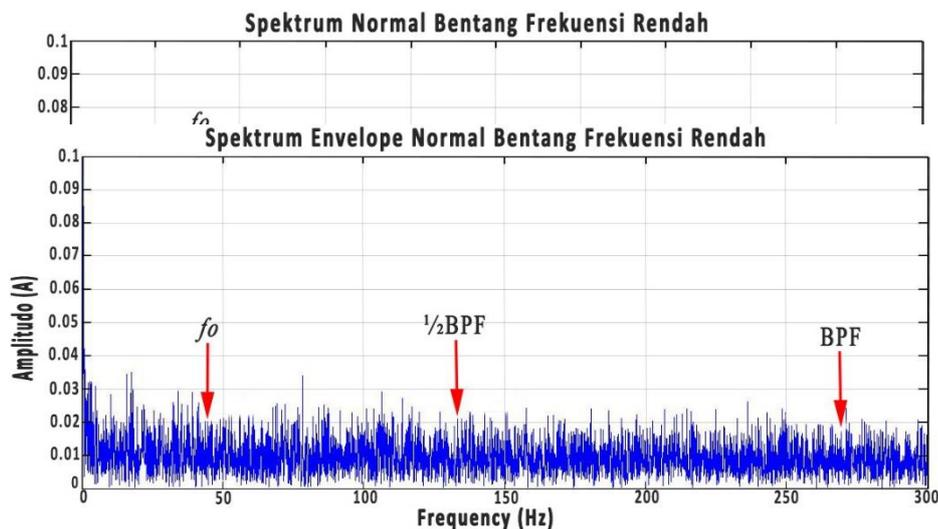
Hasil plot spektrum getaran atau domain frekuensi dan spektrum envelope pada setiap bentang frekuensi di atas menunjukkan pada kondisi percobaan yang telah dilakukan. Terlihat frekuensi fundamental ( $f_0$ ) yang juga sering disebut sebagai frekuensi harmonik pertama. Frekuensi fundamental ( $f_0$ ) 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*).

Sedangkan pada 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.

## 4.3 Spektrum Dan Spektrum Envelope Pada Bentang Frekuensi Rendah Pompa Kondisi Normal

Hasil plot spektrum dan envelope pada bentang frekuensi rendah ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 Frekuensi *Fundamental* ( $f_0$ ) dan harmoniknya dengan puncak frekuensi yang berbeda-beda pada spektrum dan envelope. Puncak harmonik pada kedua grafik menunjukkan frekuensi dari komponen impeler atau BPF. Pada tahap awal deteksi kavitasi pada pompa normal belum terlihat adanya proses pembentukan gelembung kavitasi. Hasil plot tersebut memperlihatkan frekuensi harmonik pada kondisi pompa tidak terjadi kavitasi. Pada saat pompa beroperasi pada kondisi normal menghasilkan frekuensi dengan amplitudo yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh volume air yang masuk ke dalam pompa memenuhi ruang impeler, sehingga getaran yang dihasilkan akan tinggi karena aliran air yang

terhisap oleh pompa membentur mata impeler dengan maksimal. Dalam mengamati proses terjadinya kavitas perlu dilakukan perbandingan antara pompa normal dengan setiap kondisi level kavitas.



Gambar 4.7. Spektrum Bentang Frekuensi Rendah Pompa Normal

Gambar 4.8. Spektrum Envelope Bentang Frekuensi Rendah Pompa Normal

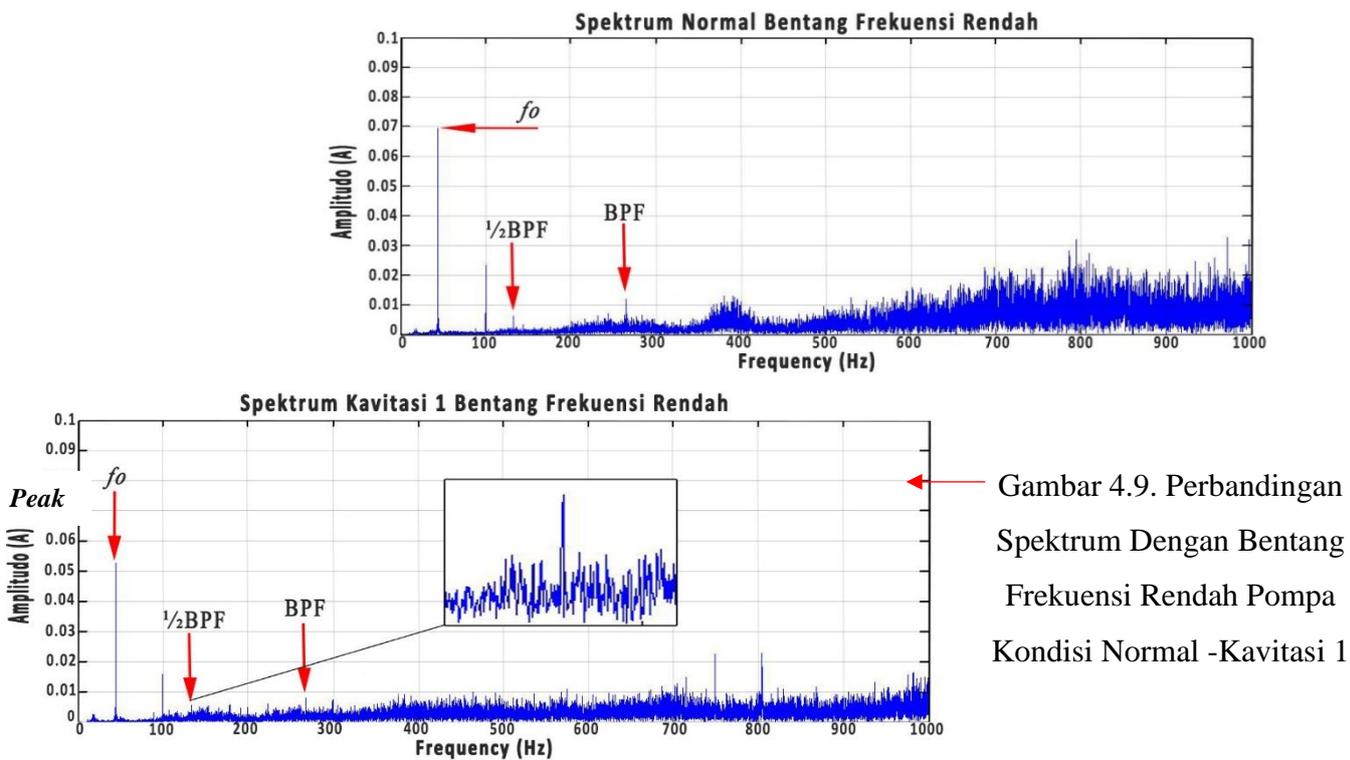
#### 4.3.1 Spektrum Bentang Frekuensi Rendah Pada Pompa Kondisi Normal - Kavitas 1, 2, dan 3

Sinyal getaran yang dihasilkan dalam pengujian *test-rig* kavitas pompa sentrifugal dijadikan sebagai indikator untuk mendeteksi kavitas yang terjadi secara dini maupun kavitas lanjut. Hasil yang muncul pada spektrum frekuensi rendah kondisi pompa normal dibandingkan dengan kondisi pompa level kavitas 1, 2, dan 3. Perbandingan dilakukan untuk mengamati terjadinya indikasi kavitas. Berikut perbandingan pada spektrum frekuensi rendah pompa kondisi normal dengan level kavitas 1 sampai dengan 3.

##### 1. Perbandingan Spektrum Frekuensi Rendah Pompa Normal - Kavitas 1

Perubahan atau penurunan nilai amplitudo pada pompa kondisi kavitas level 1 dengan kondisi normal yang ditunjukkan oleh spektrum frekuensi rendah dapat mengidentifikasi terbentuknya gelembung kavitas dini. Nilai amplitudo pada frekuensi *fundamental* ( $f_0$ ) dan *Blade Pass Frequency* (BPF) kondisi kavitas 1

mengalami penurunan nilai dari nilai amplitudo  $f_0$  dan BPF kondisi normal. Hal ini berkaitan dengan berkurangnya volume air yang masuk ke dalam ruang pompa mengakibatkan tumbukan yang terjadi antara kecepatan aliran air dan impeler tidak maksimal. Sehingga getaran yang ditimbulkan akibat penurunan volume dan kecepatan aliran air ini mempengaruhi nilai amplitudonya. Berikut Gambar 4.9 perbandingan antara spektrum frekuensi rendah kondisi normal dengan level kavitasasi 1.



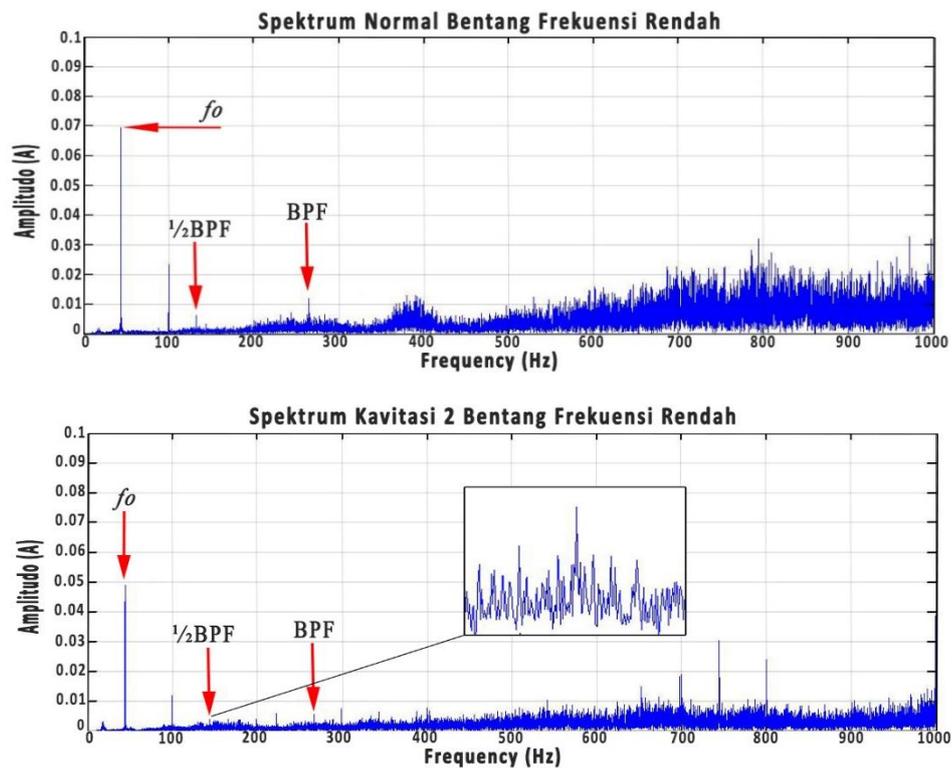
Gambar 4.9. Perbandingan Spektrum Dengan Bentang Frekuensi Rendah Pompa Kondisi Normal -Kavitasasi 1

Dari perbandingan antara pompa kondisi normal dengan kondisi kavitasasi 1 di atas terlihat bahwa nilai amplitudo pada frekuensi *fundamental* terjadi penurunan yang semula pada kondisi normal amplitudonya sebesar 0.070 mV menjadi 0.054 mV. Selain itu nilai amplitudo pada  $1/2$  BPF dan BPF juga mengalami penurunan pada kondisi level kavitasasi 1.

## 2. Perbandingan Spektrum Frekuensi Rendah Pompa Normal - Kavitasasi 2

Kondisi pompa level kavitasasi 2 dengan kondisi pompa normal terlihat perbedaan yang cukup signifikan pada spektrum frekuensi rendah. Pada pompa level kavitasasi 2 dapat mengindikasikan semakin banyaknya gelembung kavitasasi

yang terjadi. Hal ini dapat dibuktikan dengan mengamati penurunan nilai amplitudo pada frekuensi *fundamental* dan frekuensi impeler atau BPF kondisi level kavitasi 2. Dapat dilihat pada Gambar 4.10 menunjukkan perbandingan antara spektrum frekuensi rendah pompa kondisi normal dengan kavitasi level 2.



Peak

Gambar 4.10. Perbandingan Spektrum Dengan Bentang Frekuensi Rendah Pompa Kondisi Normal - Kavitasi

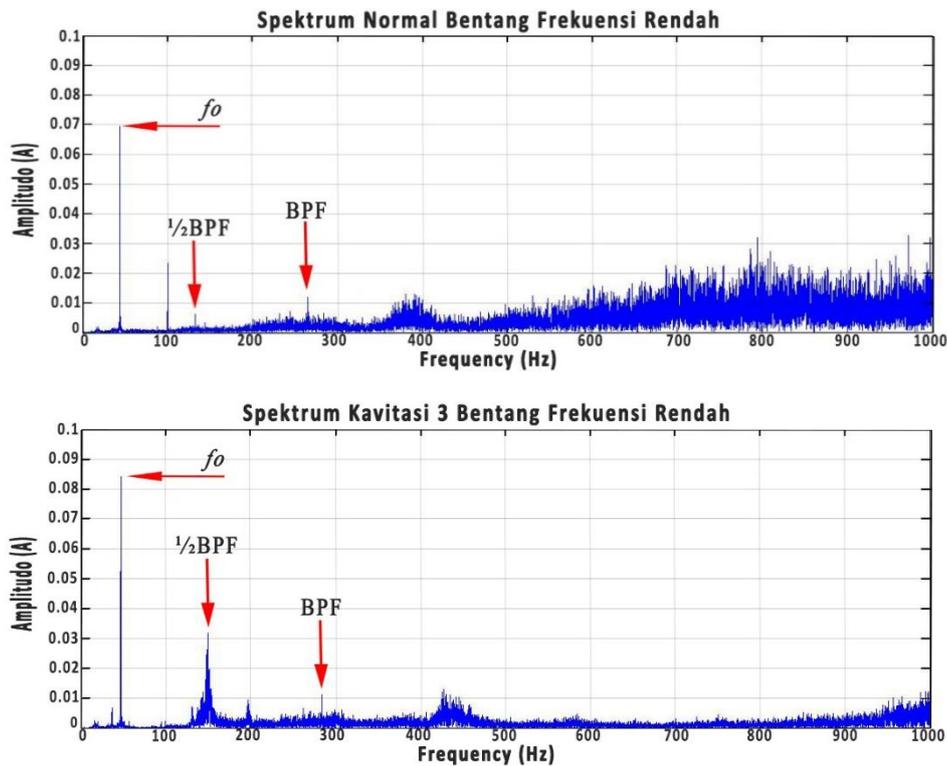
Hasil yang ditunjukkan pada spektrum kavitasi level 2 merupakan indikasi semakin berkurangnya aliran air yang terhisap oleh pompa sehingga getaran yang terjadi akibat tumbukan antara kecepatan aliran dan mata impeler semakin menurun.

Dari hasil spektrum di atas menunjukkan bahwa frekuensi *fundamental* poros pada level kavitasi 2 memiliki nilai amplitudo sebesar 0.050 mV. Pada frekuensi *fundamental*  $3xfo$  merupakan frekuensi harmonik dari  $\frac{1}{2}$  BPF yang memiliki amplitudo sebesar 0.005 mV. Sedangkan frekuensi *fundamental*  $6xfo$  merupakan frekuensi harmonik dari BPF dengan nilai amplitudo sebesar 0.007 mV. Hasil plot spektrum frekuensi rendah kavitasi 2 sesuai dengan indikasi terbentuknya gelembung kavitasi yang semakin bertambah. Level kavitasi 2 mengindikasikan bahwa volume aliran air yang masuk ke dalam pompa semakin berkurang dibandingkan dengan level kavitasi 1. Maka dari itu gelembung kavitasi yang terbentuk akan semakin banyak dan lebih cepat menguap dikarenakan tekanan yang juga semakin menurun.

### **3. Perbandingan Spektrum Frekuensi Rendah Pompa Normal - Kavitasi 3**

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 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 4.11 menunjukkan hasil plot dari spektrum frekuensi rendah dari pompa kondisi normal dan kavita 3.

Terlihat pada gambar spektrum bahwa frekuensi harmonik yang muncul dari  $\frac{1}{2}$  BPF dan BPF pada spektrum frekuensi rendah kavitasi 3 mengalami peningkatan nilai frekuensi dan amplitudo. Dimana nilai frekuensi dan amplitudo pada  $1xfo$  adalah 47.26 Hz dan 0.085 mV.



Gambar 4.11. Perbandingan Spektrum Dengan Bentang Frekuensi Rendah Pompa Kondisi Normal - Kavitasi

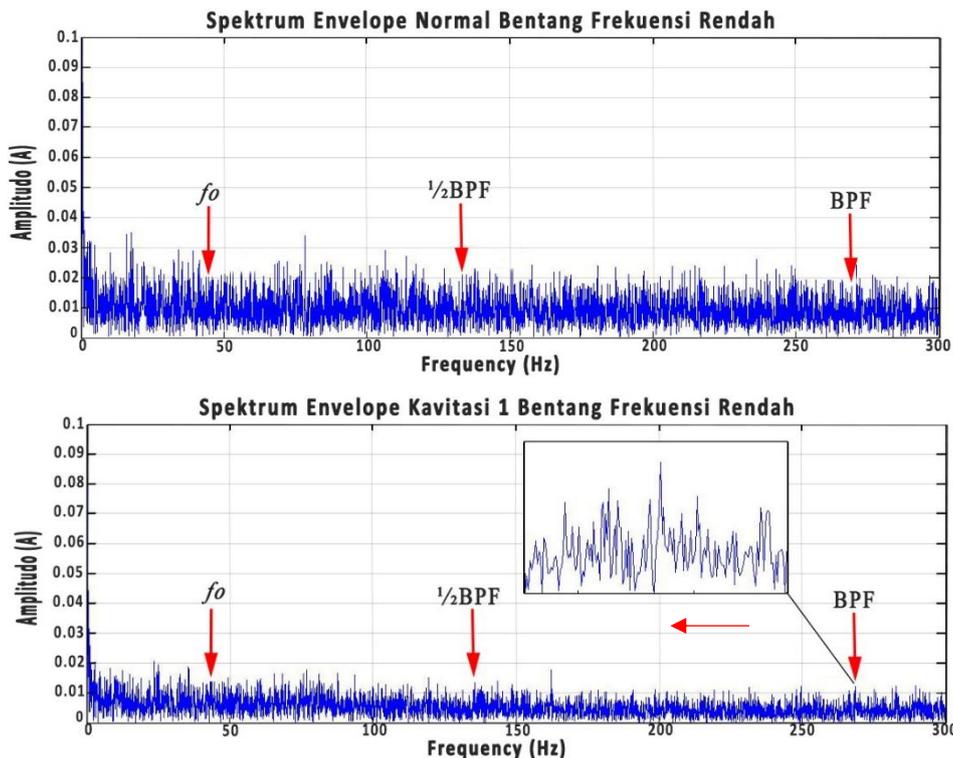
Sedangkan untuk nilai frekuensi dan amplitudo  $\frac{1}{2}$  BPF sebesar 149.6 Hz dan 0.033 mV. Kemudian untuk frekuensi dan amplitudo BPF nilainya sebesar 283.7 Hz dan 0.013 mV.

#### 4.3.2 Spektrum Envelope Bentang Frekuensi Rendah Pada Pompa Kondisi Normal - Kavitasi 1, 2, dan 3

Proses analisis sinyal getaran yang terjadi pada pompa sentrifugal dengan menggunakan spektrum envelope frekuensi rendah yang dihasilkan dari transformasi *fourier* pada domain frekuensi digunakan untuk mengamati indikasi terbentuknya kavitasi. Dengan membandingkan spektrum envelope frekuensi rendah pada kondisi normal dengan kondisi kavitasi 1 sampai 3. Berikut perbandingan spektrum envelope frekuensi rendah antara kondisi normal dengan level kavitasi 1, 2, dan 3.

## 1. Perbandingan Spektrum Envelope Frekuensi Rendah Pompa Normal - Kavitasasi 1

Spektrum envelope frekuensi rendah yang dihasilkan dari plot transformasi *fourier* antara kondisi normal dengan kondisi kavitasasi 1 tidak berbeda jauh. Gelombang frekuensi dan amplitudo pada kedua spektrum envelope tersebut masih dalam kategori pompa kondisi stabil. Lihat Gambar 4.12 perbandingan spektrum envelope frekuensi rendah kondisi normal - kavitasasi 1. Hal ini dikarenakan tidak adanya perbedaan nilai amplitudo dan nilai frekuensi yang cukup signifikan. Namun penurunan nilai amplitudo pada spektrum envelope kondisi kavitasasi 1 dapat mengidentifikasi turunnya getaran yang ditimbulkan akibat dari aliran air yang berkurang.



Gambar 4.12. Perbandingan Spektrum Envelope Dengan Bentang Frekuensi Rendah Kondisi Normal - Kavitasasi 1

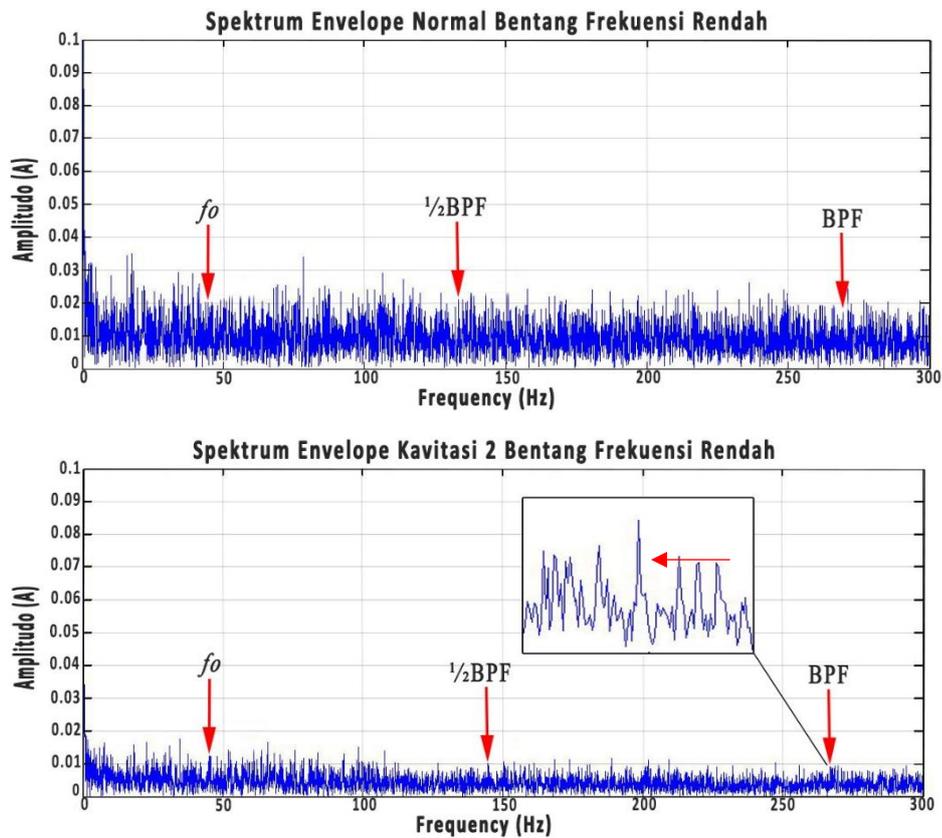
Penurunan getaran yang terjadi dapat mengindikasikan mulai terbentuknya gelembung kavitasasi walau hanya sedikit. Terlihat juga bahwa frekuensi *noise* pada

spektrum envelope pompa kondisi normal lebih tinggi dibandingkan dengan frekuensi *noise* dari pompa kavitasi 1. Frekuensi *fundamental* ( $f_0$ ) dan frekuensi harmonik  $3xf_0$  merupakan frekuensi dari  $\frac{1}{2}$  BPF (*Blade Pass Frequency*) dan frekuensi harmonik  $6xf_0$  adalah frekuensi yang berasal dari BPF atau frekuensi impeler. Pada kedua spektrum envelope tersebut nilai amplitudo pada masing-masing kondisi memiliki angka yang relatif kecil. Penurunan nilai amplitudo pada spektrum envelope kavitasi 1 dapat mengindikasikan terbentuknya gelembung kavitasi dini.

## **2. Perbandingan Spektrum Envelope Frekuensi Rendah Pompa Normal - Kavitasi 2**

Kondisi pompa normal dengan kondisi pompa kavitasi 2 yang ditunjukkan oleh Gambar 4.13 memberikan informasi bahwa adanya penurunan frekuensi *noise* dan nilai amplitudo pada spektrum envelope kavitasi 2. Nilai tersebut mengalami penurunan dibandingkan dengan kondisi level kavitasi sebelumnya. Hasil ini dapat dinyatakan jika kavitasi yang terbentuk pada ruang pompa semakin membesar. Frekuensi  $\frac{1}{2}$  BPF menunjukkan nilai amplitudo yang semakin menurun, begitu juga pada frekuensi BPF. Terjadinya penurunan ini disebabkan air yang terhisap oleh pompa semakin berkurang. Pengurangan suplai air ini menyebabkan munculnya kavitasi lebih cepat, sehingga gelembung kavitasi lebih cepat terbentuk juga terjadinya penguapan gelembung kavitasi semakin cepat menguap. Proses penguapan pada kavitasi tidak lepas dari proses penurunan tekanan hingga dibawah tekanan uap jenuh pada sisi hisap pompa.

Terlihat dari perbandingan spektrum envelope adanya penurunan nilai amplitudo pada level kavitasi 2 disebabkan oleh terbentuknya gelembung kavitasi yang semakin banyak. Hal ini sebanding dengan semakin berkurangnya suplai air yang terhisap maka getaran yang terjadi akibat tumbukan antara laju aliran air dengan mata impeler semakin rendah.



Gambar 4.13. Perbandingan Spektrum Envelope Dengan Bentang Frekuensi Rendah Kondisi Normal - Kavitasi 2

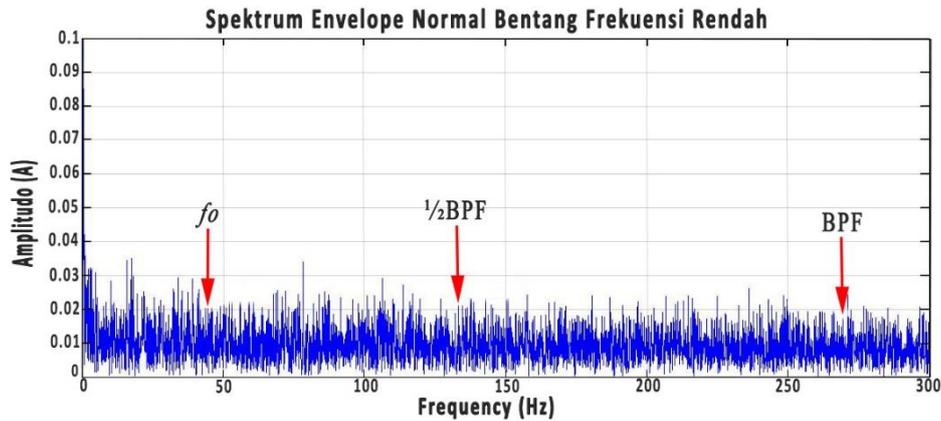
Berkurangnya getaran inilah yang menyebabkan nilai amplitudo dan frekuensi *noise* pada spektrum envelope kavitasi 2 lebih rendah dibandingkan dengan kondisi normal.

### 3. Perbandingan Spektrum Envelope Frekuensi Rendah Pompa Normal - Kavitasi 3

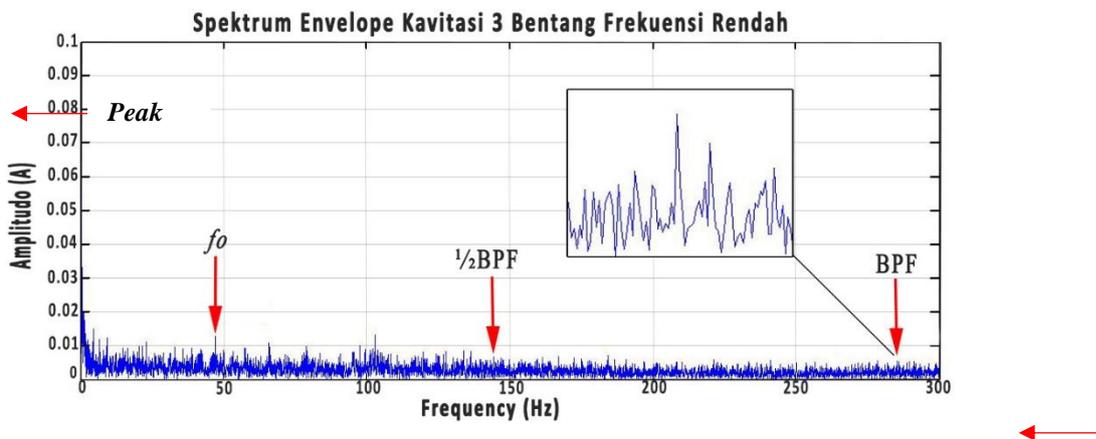
Perbandingan antara spektrum envelope frekuensi rendah kondisi normal dengan kavitasi 3 dapat dilihat pada Gambar 4.14. Pada spektrum envelope kavitasi 3 menunjukkan bahwa frekuensi *noise* dan amplitudo mengalami penurunan. Penurunan nilai amplitudo dan frekuensi *noise* pada spektrum envelope kavitasi 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. Hasil ini membuktikan bahwa kavitasi

yang



terbentuk akan semakin bertambah dibandingkan dengan level kavitasi 1 dan 2.

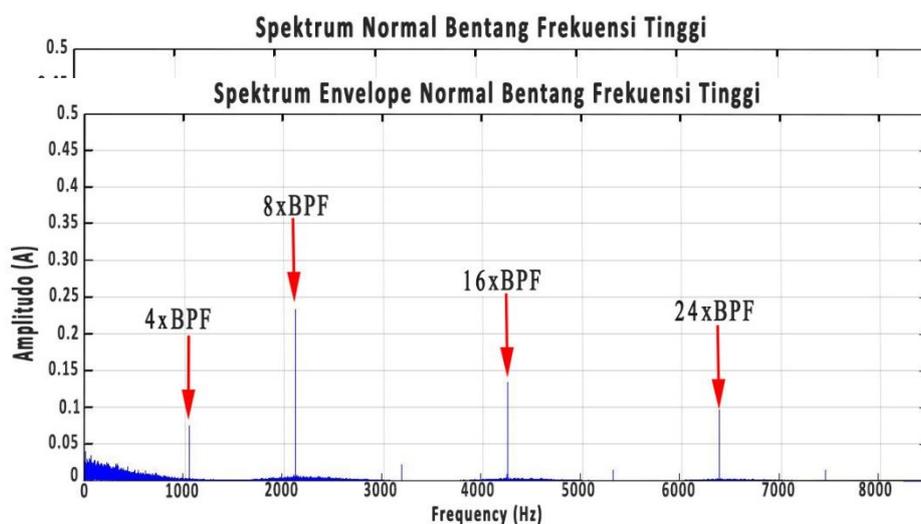


Gambar 4.14. Perbandingan Spektrum Envelope Dengan Bentang Frekuensi Rendah Kondisi Normal - Kavitasi 3

Namun dapat diamati pada frekuensi *fundamental* ( $f_0$ ), frekuensi  $3 \times f_0$  ( $1/2$  BPF),  $6 \times f_0$  (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 ini masih kurang akurat. Maka perlu dilakukan proses analisis selanjutnya dengan menggunakan spektrum envelope frekuensi tinggi.

#### 4.4 Spektrum Dan Spektrum Envelope Pada Bentang Frekuensi Tinggi Pompa Kondisi Normal

Hasil plot pada spektrum dan spektrum envelope pada bentang frekuensi tinggi pompa kondisi normal memiliki frekuensi *noise* dengan kerapatan yang padat. Frekuensi harmonik yang terlihat pada kedua spektrum terlihat *peak* dominan. Lihat Gambar 4.15 dan Gambar 4.16. Dari kondisi pompa normal pada spektrum dan spektrum envelope frekuensi harmonik BPF perlu dikaji lebih lanjut. Maka perbandingan spektrum frekuensi tinggi pompa normal dengan 3 level kavitasi dan spektrum envelope frekuensi tinggi pompa normal dengan 3 level kavitasi perlu dianalisis.



Gambar 4.15. Spektrum Bentang Frekuensi Tinggi Pompa Normal

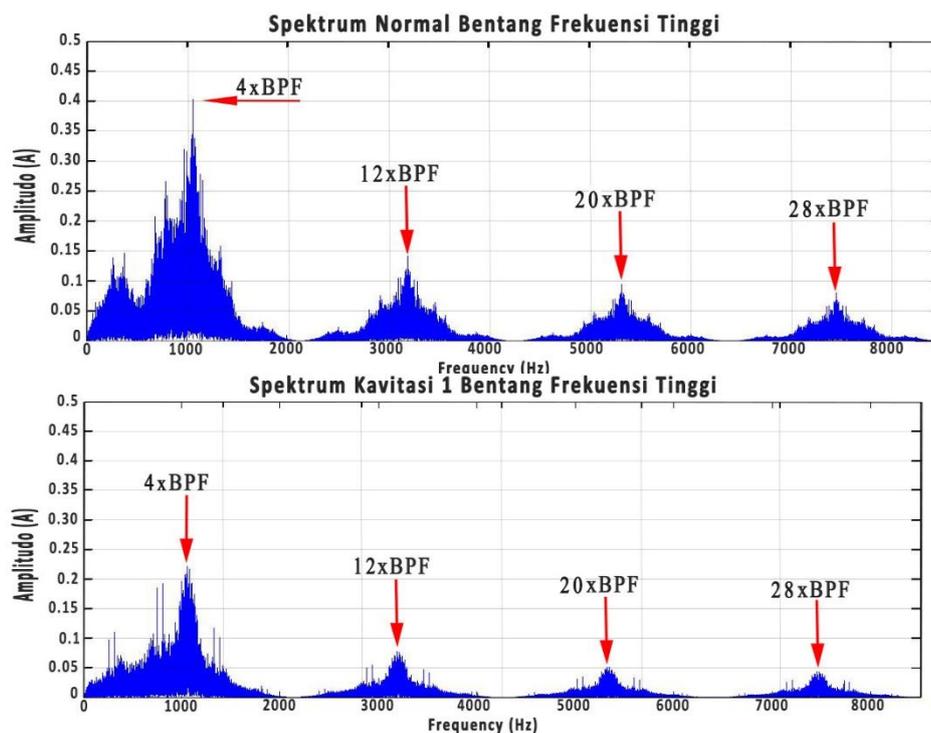
Gambar 4.16. Spektrum Envelope Bentang Frekuensi Tinggi Pompa Normal

#### 4.4.1 Spektrum Bentang Frekuensi Tinggi Pada Pompa Kondisi Normal - Kavitasi 1, 2, dan 3

Proses terbentuknya kavitasi dapat diamati dengan menggunakan analisis spektrum frekuensi tinggi. Fenomena kavitasi pada pompa sentrifugal biasanya terjadi pada bentang frekuensi tinggi antara 4 kHz – 8,5 kHz. Oleh karena itu, analisis dengan membandingkan kondisi pompa normal dengan level kavitasi 1 sampai 3 perlu dilakukan untuk membuktikan hal tersebut. Berikut ini perbandingan spektrum frekuensi tinggi pada pompa kondisi normal dengan 3 level kavitasi.

##### 1. Perbandingan Spektrum Frekuensi Tinggi Pompa Normal - Kavitasi 1

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 4.17 merupakan perbandingan antara spektrum frekuensi tinggi pompa kondisi normal dengan pompa kondisi kavitasi 1.



Gambar 4.17. Perbandingan Spektrum Dengan Bentang Frekuensi Tinggi Kondisi Normal - Kavitasi 1

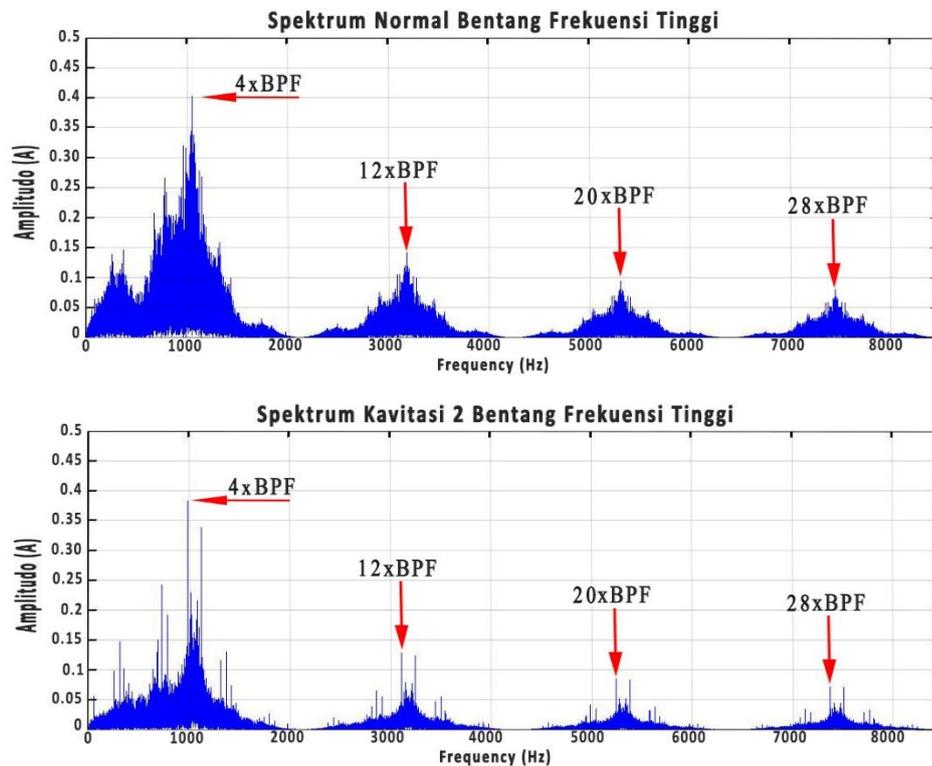
Proses pengamatan menggunakan metode analisis getaran pada spektrum getaran dengan frekuensi tinggi. Dapat dilihat pada kedua spektrum tersebut bahwa terjadi penurunan nilai amplitudo pada spektrum kavitasi 1. Penurunan nilai tersebut seiring dengan frekuensi harmonik yang terlihat pada spektrum. Frekuensi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

## **2. Perbandingan Spektrum Frekuensi Tinggi Pompa Normal - Kavitasi 2**

Analisis pada perbandingan spektrum frekuensi tinggi pompa normal dengan kavitasi 2 merupakan tahap selanjutnya untuk mengamati terjadinya kavitasi secara lebih jelas. Kavitasi yang terbentuk pada test-rig kondisi kavitasi 2 dapat terdeteksi menggunakan spektrum frekuensi tinggi. Lihat Gambar 4.18 yang menunjukkan perbandingan spektrum frekuensi tinggi kondisi normal dengan kavitasi 2.

Hal ini disebabkan karena semakin berkurangnya volume air yang terhisap oleh pompa sehingga proses terbentuknya kavitasi akan lebih terlihat. Turunnya volume air yang terhisap juga menyebabkan tekanan sisi hisap pompa semakin menurun. Ketika terjadi penurunan volume air dan tekanan pada *suction* pompa dapat menyebabkan terbentuknya gelembung kavitasi dengan lebih cepat. Terlihat pada spektrum kavitasi 2 memiliki frekuensi harmonik BPF dengan nilai amplitudo lebih rendah dibandingkan spektrum kondisi pompa normal.

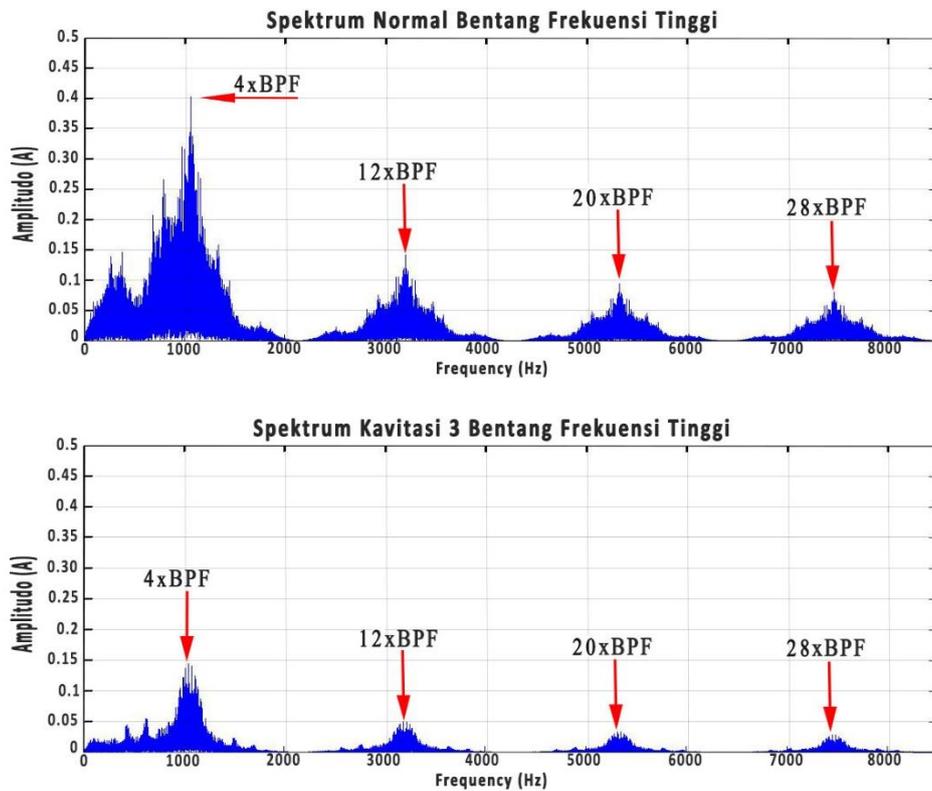


Gambar 4.18. Perbandingan Spektrum Dengan Bentang Frekuensi Tinggi Kondisi Normal - Kavitasi 2

### 3. Perbandingan Spektrum Frekuensi Tinggi Pompa Normal - Kavitasi 3

Hasil plot pada perbandingan spektrum frekuensi tinggi pompa normal dengan kavitasi 3 yang ditunjukkan Gambar 4.19 memperlihatkan penurunan amplitudo yang signifikan pada spektrum kavitasi 3. Terjadinya penurunan tersebut merupakan kondisi aktual dari sinyal getaran yang didapat saat perekaman data akuisisi. Getaran yang muncul saat pompa pada kondisi kavitasi 3 lebih rendah dibandingkan dengan kondisi normal. Hal ini tidak lepas dari proses air yang terhisap oleh pompa mengalami penurunan volume secara signifikan sehingga tumbukan antara air dan impeler akan lebih sedikit. Frekuensi harmonik yang terlihat pada spektrum kavitasi 3 yang merupakan frekuensi impeler atau BPF. Kemudian frekuensi *noise* yang muncul lebih sedikit dibandingkan dengan spektrum kondisi normal. Dari hasil pada spektrum frekuensi tinggi kavitasi 3 dapat

dinyatakan bahwa kavitasasi lanjut yang terbentuk lebih besar dibandingkan level kavitasasi sebelumnya.



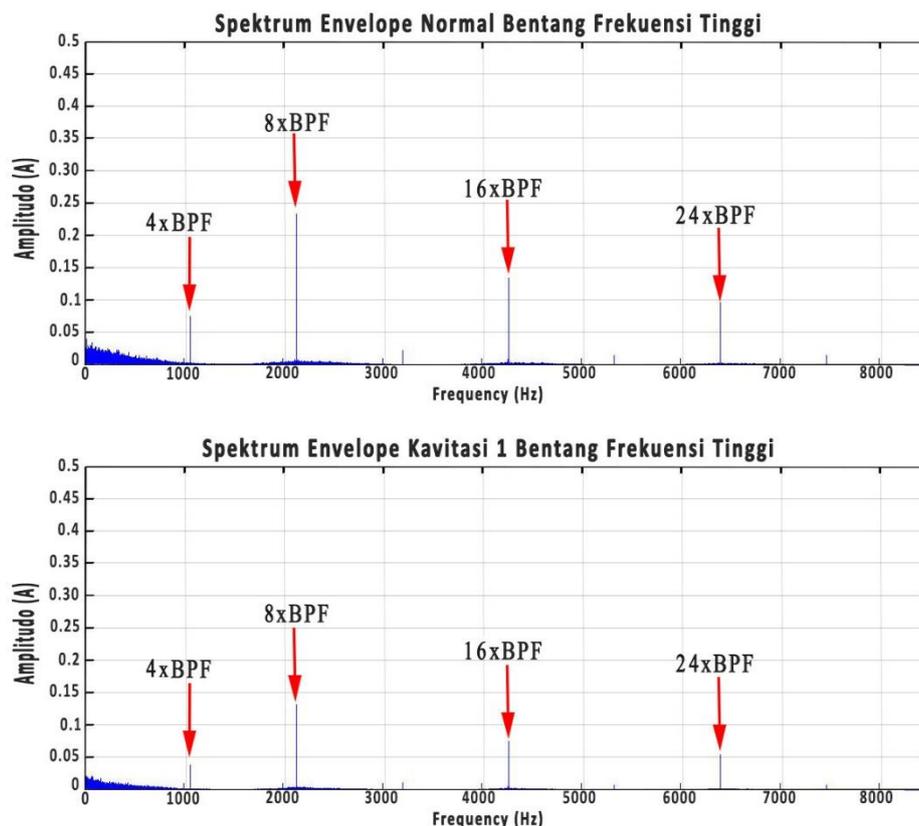
Gambar 4.19. Perbandingan Spektrum Dengan Bentang Frekuensi Tinggi Kondisi Normal - Kavitasasi 3

#### 4.4.2 Spektrum Bentang Envelope Frekuensi Tinggi Pada Pompa Kondisi Normal - Kavitasasi 1, 2, dan 3

Spektrum envelope frekuensi tinggi pada pompa kondisi normal dengan kavitasasi 1 sampai 3 dapat memperlihatkan hasil yang lebih akurat untuk diamati. Hasil ini menunjukkan bahwa pada spektrum envelope frekuensi tinggi dengan bentang frekuensi 4kHz – 8,5 kHz mampu untuk mengidentifikasi terjadinya kavitasasi ini dengan lebih mudah untuk diamati daripada spektrum frekuensi tinggi sebelumnya. Maka untuk itu agar lebih jelas dapat dilihat perbandingan antara spektrum envelope frekuensi tinggi pada kondisi normal dengan 3 level kavitasasi yang terjadi pada test-rig kavitasasi pompa sentrifugal berikut ini.

## 1. Perbandingan Spektrum Envelope Frekuensi Tinggi Pompa Normal - Kavitas 1

Spektrum envelope frekuensi tinggi pada Gambar 4.20 merupakan hasil plot pada pompa kondisi normal dan kavitas 1. Pada kedua spektrum tersebut dilakukan perbandingan untuk mengamati munculnya kavitas dini pada *test-rig* pompa sentrifugal. Dapat dilihat pada spektrum envelope kondisi kavitas 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 kavitas 1 merupakan indikasi bahwa terbentuknya gelembung kavitas dini sudah terjadi. Hal ini disebabkan tekanan yang masuk saat pompa beroperasi dengan kondisi kavitas 1 mengalami penurunan tekanan dan volume yang terhisap oleh pompa.

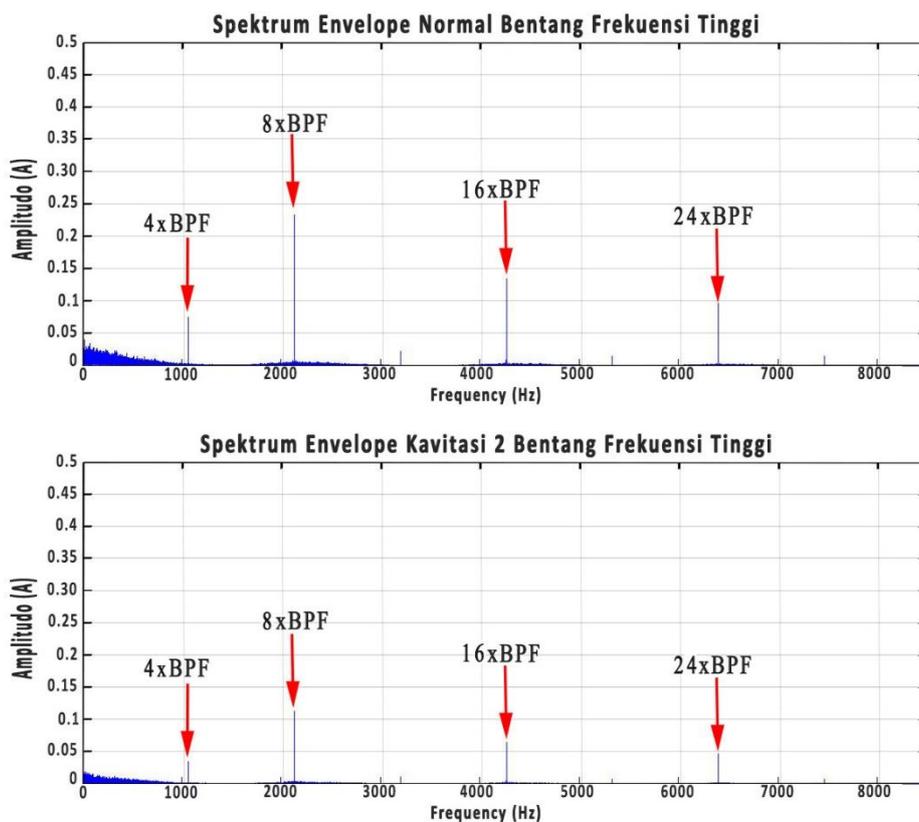


Gambar 4.20. Perbandingan Spektrum Envelope Dengan Bentang Frekuensi Tinggi Kondisi Normal - Kavitas 1

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 kavitasitas 1 terlihat bahwa pada frekuensi harmonik mengalami penurunan amplitudo. Hal ini bisa mengidentifikasi bahwa kavitasitas dini mulai muncul.

## 2. Perbandingan Spektrum Envelope Frekuensi Tinggi Pompa Normal - Kavitasitas 2

Pada kondisi kavitasitas level 2 yang terlihat pada spektrum envelope terjadi penurunan amplitudo dibandingkan pada kondisi normal. Nilai amplitudo pada spektrum envelope kavitasitas 2 dan kondisi normal memiliki selisih angka yang cukup tinggi perbedaannya. Lihat Gambar 4.21 yang menunjukkan perbandingan antara spektrum envelope kondisi normal dengan kavitasitas 2.

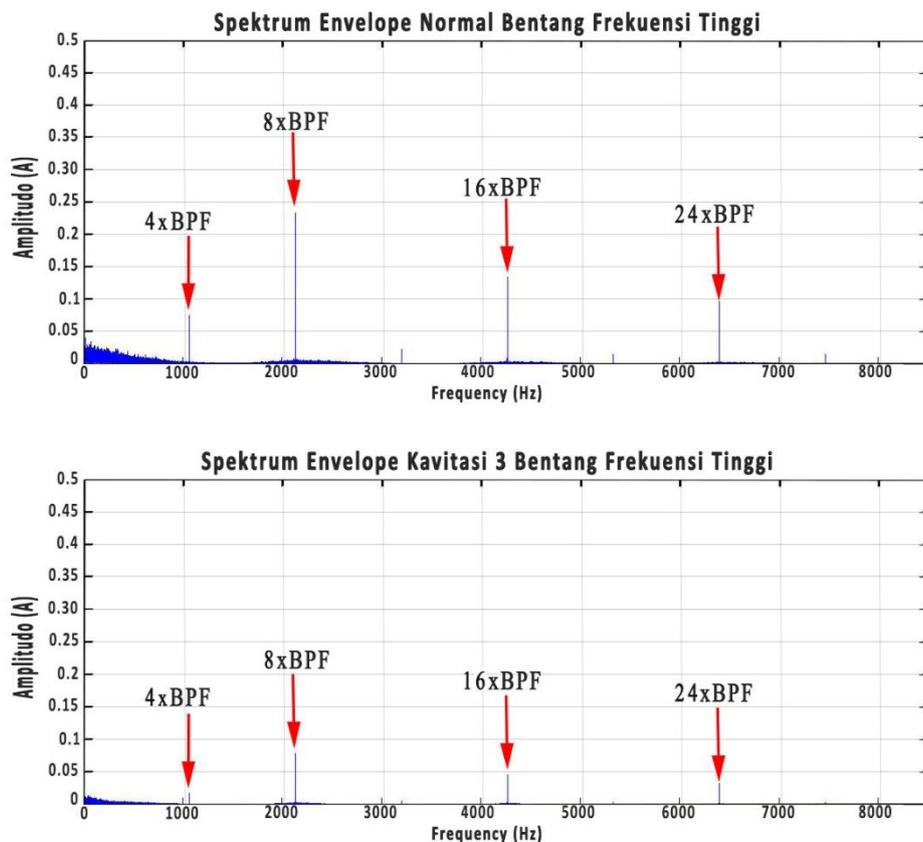


Gambar 4.21. Perbandingan Spektrum Envelope Dengan Bentang Frekuensi Tinggi Kondisi Normal - Kavitasitas 2

Terlihat bahwa penurunan amplitudo pada frekuensi harmonik 4xBPF, 8xBPF, 16xBPF, dan 24xBPF. Dari spektrum di atas dapat memberi informasi jika gelembung kavitasi 2 yang terbentuk semakin banyak seiring dengan menurunnya nilai amplitudo. Hal ini tidak lain disebabkan oleh penurunan tekanan juga volume air pada saat pompa beroperasi pada kondisi kavitasi 2.

### 3. Perbandingan Spektrum Envelope Frekuensi Tinggi Pompa Normal - Kavitasi 3

Kondisi kaviasi yang terlihat pada perbandingan spektrum envelope pompa kondisi normal dengan kavitasi yang ditunjukkan Gambar 4.22 menunjukkan frekuensi harmonik yang muncul memiliki perbedaan yang sangat signifikan antara keduanya. Dilihat pada spektrum envelope kondisi kavitasi 3 nilai amplitudonya semakin mengecil.



Gambar 4.22. Perbandingan Spektrum Envelope Dengan Bentang Frekuensi Tinggi Kondisi Normal - Kavitasi 3

Hal ini dapat terjadi karena proses pengisapan air pada saat pengujian level kavitasi lanjut volume air yang terhisap oleh pompa sangat sedikit. Sehingga menyebabkan tumbukan antara air dengan mata impeler berkurang secara drastis. Kemudian dari penyebab tersebut dapat meningkatkan intensitas gelembung kavitas semakin meningkat. Oleh karenanya pada percobaan kondisi ini kavitas 3 lebih besar dibandingkan dengan level kavitasi 1 dan 2.

#### **4.5 Pembahasan**

Penelitian pada *test-rig* kavitas 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 kavitas yakni pada arah *axial*. Fungsi pelatukkan pada arah *axial* untuk mengoptimalkan perekaman sinyal getaran yang terjadi dibagian impeler pompa yang terdampak langsung terhadap proses kavitas. Proses terbentuknya gelembung kavitas disebabkan oleh fluida yang mengalir akan berbenturan dengan mata impeler dimana fluida tersebut kemudian membentuk pusaran. Pusaran ini yang dapat menyebabkan tumbukan gelembung kavitas terjadi secara terus menerus. Hasil data akuisisi sinyal getaran yang diperoleh dari *accelerometer* digunakan sebagai indikator terjadinya kavitas dini maupun kavitas lanjut.

Dalam mengamati indikasi terjadinya fenomena kavitas perlu dilakukan perbandingan antara spektrum getaran dan spektrum envelope pada kondisi pompa normal dengan level kavitas 1, kavitas 2, dan kavitas 3. Spektrum getaran dan spektrum envelope yang digunakan untuk mengamati fenomena kavitas dibagi pada *broadband* frekuensi rendah dan *broadband* frekuensi tinggi. Pembagian ini dilakukan agar deteksi kavitas dapat diamati melalui bentang frekuensi rendah atau bentang frekuensi tinggi. Dari hasil yang telah didapatkan pada penelitian *test-rig* kavitas berupa spektrum getaran dan spektrum envelope, bahwa indikasi terjadinya kavitas 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 kavitasi dini yang terlihat pada kondisi level kavitasi 1. Pada kondisi pompa dengan level kaviasi 1 terjadi penurunan nilai amplitudo frekuensi harmonik BPF dibandingkan dengan kondisi pompa normal. Penurunan nilai amplitudo ini terjadi cukup signifikan. Hal ini dapat sebabkan oleh jumlah volume air yang terhisap oleh pompa menurun, sehingga fenomena kavitasi mulai terbentuk seiring dengan menurunnya tekanan pada *suction* pompa ketika saat terjadi kavitasi. Namun hal yang unik terlihat pada hasil yang ditunjukkan oleh spektrum getaran *broadband* frekuensi tinggi saat terjadi kavitasi 2. Pada spektrum kavitasi 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 kavitasi. Namun getaran tersebut terjadi hanya berlangsung beberapa saat karena pada kondisi kavitasi 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 kavitasi. 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 inidikasi kaviiasi dini yang dapat diamati melalui penurunan nilai amplitudo secara bertahap pada spektrum envelope ini dapat terlihat lebih jelas dan nyata.

Berdasarkan uruain di atas bahwa pada penelitian *test-rig* kavitasi ini, terjadinya kavitasi 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 kavitasi 1, kavitasi 2 dan kavitasi 3 mengalami penurunan nilai amplitudo secara bertahap. Hal ini membuktikan semakin bertambahnya level kavitasi 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 kavitasi pada level kavitasi 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 kavitasi dengan level tinggi.