

## ***Analisis Natural Frequency Poros Boiler Feed Pump Turbine dengan Finite Element Analysis***

Disma Nidya Ghaisani<sup>1\*</sup>, Andi Ulfiana<sup>1</sup>, dan Cecep Slamet Abadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI Depok 16425

---

### **Abstrak**

*Boiler Feed Pump Turbine (BFPT) merupakan salah satu pompa jenis sentrifugal dengan tipe multistage yang digerakkan oleh turbin kecil. Pompa ini digunakan untuk mensirkulasikan air demineralisasi dari deaerator menuju boiler. Berdasarkan pengecekan vibrasi yang dilakukan oleh bagian Condition Based Maintenance (CBM), telah ditemukan bahwa terjadi over vibrasi pada BFPT dikarenakan adanya indikasi perubahan natural frequency mendekati putaran operasi. Pada penelitian ini dilakukan simulasi Finite Element Analysis dengan software ANSYS Workbench untuk mendapatkan nilai natural frequency pada poros BFPT serta membahas mengenai kemungkinan penyebab terjadinya perubahan natural frequency. Berdasarkan simulasi ANSYS yang telah dilakukan, didapatkan bahwa nilai dari natural frequency dapat berubah karena adanya perubahan defleksi dan menampilkan bahwa setiap modus getar menghasilkan nilai natural frequency yang berbeda juga. Pada simulasi ini didapatkan 6 nilai natural frequency pada poros BFPT yaitu 166,84 Hz, 166,99 Hz, 295,71 Hz, 465,83 Hz, 466,23 Hz, 503,46 Hz. Serta pada penelitian ini didapatkan juga bahwa vibrasi yang terjadi pada BFPT bukan akibat dari perubahan natural frequency, tetapi akibat adanya looseness pada housing bearing pompa.*

*Kata-kata kunci: Boiler Feed Pump Turbine, Natural Frequency, Defleksi*

### **Abstract**

*Boiler Feed Pump Turbine (BFPT) is one of the multistage type centrifugal pumps which is driven by small turbines. This pump is used to circulate demineralized water from the deaerator to the boiler. Based on vibration checks carried out by the Based Based Maintenance (CBM) section, it has been found that occurs at vibrations in BFPT caused by changes in the natural frequency that occurs in the operation. In this study a finite element analysis was carried out with ANSYS Workbench software to obtain the natural frequency values on the BFPT shaft and also discussed avoiding natural frequency use. Based on the ANSYS simulation that has been done, it is obtained that the value of the natural frequency can change because there is a change in deflection and display that each mode gets a different natural frequency value. In this simulation, 6 natural frequency values on the BFPT axis were obtained, namely 166.84 Hz, 166.99 Hz, 295.71 Hz, 465.83 Hz, 466.23 Hz, 503.46 Hz. Also in this study the vibrations that occurred in BFPT also were not due to changes in natural frequency, but due to looseness in the pump bearing housing.*

*Keywords: Boiler Feed Pump Turbine, Natural Frequency, Deflection*

---

\* Corresponding author E-mail address: [ghaisanidisma@gmail.com](mailto:ghaisanidisma@gmail.com)

## 1. PENDAHULUAN

*Boiler Feed Pump Turbine* (BFPT) berfungsi untuk mensirkulasikan air demineralisasi dari *deaerator* menuju boiler. Karena hal tersebut, kinerja dari BFPT akan berpengaruh pada *supply* air yang diberikan untuk boiler [1]. Pada penelitian ini didapatkan indikasi vibrasi pada poros BFPT karena adanya perubahan nilai *natural frequency* poros BFPT. Nilai *natural frequency* dapat dicari dengan *Finite Element Analysis* (FEA) menggunakan *software* ANSYS *Workbench*.

Terdapat beberapa jurnal yang telah melakukan simulasi dengan *software* ANSYS untuk mencari nilai *natural frequency*. Beberapa jurnal tersebut seperti, Nikumbe, Tamboli, dan Wagh [2] melakukan modal analisis pada *vertical turbine pump* menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA) dengan *software* ANSYS untuk mengetahui perbedaan yang dapat diterima antara *operating speed* dan *natural frequency vertical turbine pump* sehingga dapat diketahui *range* operasi aman dari pompa, Ashri, Karuppanan, Patil, dan Ibrahim [3] melakukan modal analisis pada *centrifugal pump impeller* menggunakan *Finite Element Method* (FEM) dengan *software* ANSYS *Bladegen* dan ANSYS *Workbench*. Hasil pada penelitian ini adalah variasi jumlah *impeller blade* dan ketebalan dari *impeller blade* memiliki efek minimal pada frekuensi. Namun, perubahan dari ketebalan *disk impeller* memberikan efek yang signifikan pada *natural frequency impeller*.

Pada penelitian ini akan melakukan simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) dengan *software* ANSYS *Workbench*.

Tujuan dari penulisan makalah ini:

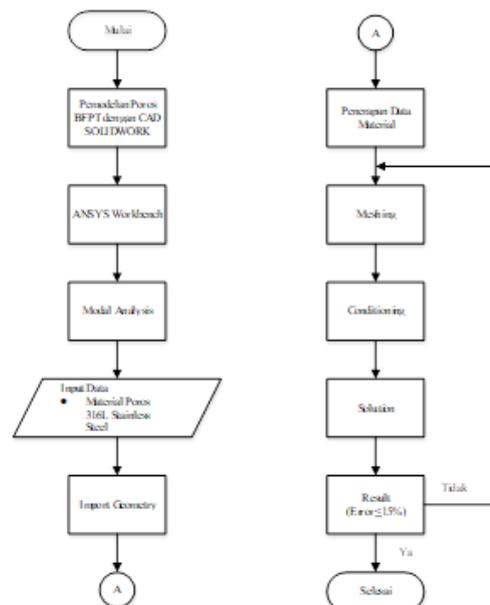
1. Mendapatkan nilai *natural frequency* pada poros BFPT.
2. Menentukan penyebab terjadinya *over* vibrasi pada poros BFPT

### Nomenclature

$f$	Frekuensi Eksitasi [Hz]	$L_1$	Panjang Balok dari Titik Beban ke Tumpuan 1 [m]
RPM	<i>Revolution Per Minute</i>	$L_2$	Panjang Balok dari Titik Beban ke Tumpuan 2 [m]
$f_n$	<i>Natural Frequency</i> [Hz]	$E$	Modulus Elastisitas [Pa]
$g$	Gaya Gravitasi [ $m/s^2$ ]	$I$	Momen Inersia [ $Kg/m^2$ ]
$y$	Defleksi [m]	$L$	Panjang Balok dari Tumpuan 1 ke Tumpuan 2 [m]
$W$	Massa [Kg]		

## 2. METODE

Berikut adalah diagram alir yang digunakan untuk melakukan simulasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir simulasi

Berdasarkan Gambar 1, maka berikut adalah metode yang digunakan. Tahap awal dalam proses simulasi adalah pemodelan poros BFPT dari gambar 2D ke gambar 3D menggunakan *software* CAD SOLIDWORK 2013. Tahap selanjutnya adalah persiapan simulasi dengan *software* ANSYS yaitu mempersiapkan *toolbox analysis system* yang akan digunakan. Dalam penelitian analisa *natural frequency*, *toolbox* yang digunakan adalah *modal*. Selanjutnya dilakukan proses *input* data pada *Engineering Data* secara manual berupa jenis material yang digunakan yaitu 316L stainless steel. Selanjutnya dilakukan *Import Geometry* poros BFPT dengan melakukan *setting* pada *details of import1*. Setelah itu, tahap terakhir pada *import geometry* adalah melakukan proses *generate*. Lalu dilakukan penerapan data material pada komponen poros BFPT menggunakan data yang sudah diinput sebelumnya di *engineering data*. Material yang digunakan pada seluruh bagian poros BFPT sama yaitu material 316L stainless steel. Selanjutnya adalah proses *meshing* pada poros BFPT. *Meshing* adalah proses membagi desain menjadi elemen-elemen kecil. Bentuk dari elemen tersebut juga bermacam-macam, dapat berbentuk persegi, hexagonal, atau menyesuaikan dengan kontur desain. Kemudian pada simulasi ini dilakukan proses *conditioning* yaitu pemberian *support* berupa 2 (dua) *journal bearing* dan *thrust bearing* pada poros BFPT serta membatasi jumlah modulus yang dicari yaitu hanya 6 mode saja. Tahap terakhir merupakan tahap *solution*, jika semakin kompleks *geometry* beserta jumlah elemen yang banyak, maka proses kalkulasi dapat berlangsung lama. Dalam analisa modal, *output/result* yang ditampilkan adalah total *deformation*. Simulasi akan selesai jika *output/result* yang dihasilkan memiliki normal *error* kurang dari 15% [4].

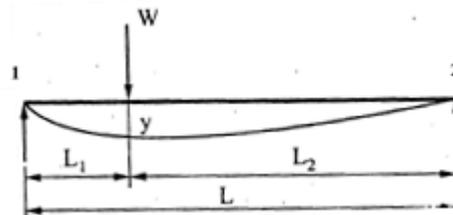
### Perhitungan Frekuensi Eksitasi

Frekuensi eksitasi adalah frekuensi yang dihasilkan karena adanya gaya dari luar yang diberikan pada suatu objek. Frekuensi eksitasi poros BFPT dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$f = \frac{RPM}{60} \quad (1)$$

### Perhitungan Defleksi

Defleksi adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang. Jarak perpindahan y didefinisikan sebagai defleksi balok [5]. Nilai defleksi pada poros BFPT dapat menggunakan persamaan berikut ini:



Gambar 2. Simple supported beam with point load

$$y = \frac{W \times L_1^2 \times L_2^2}{3E \times I \times L} \quad (2)$$

### Perhitungan Natural Frequency

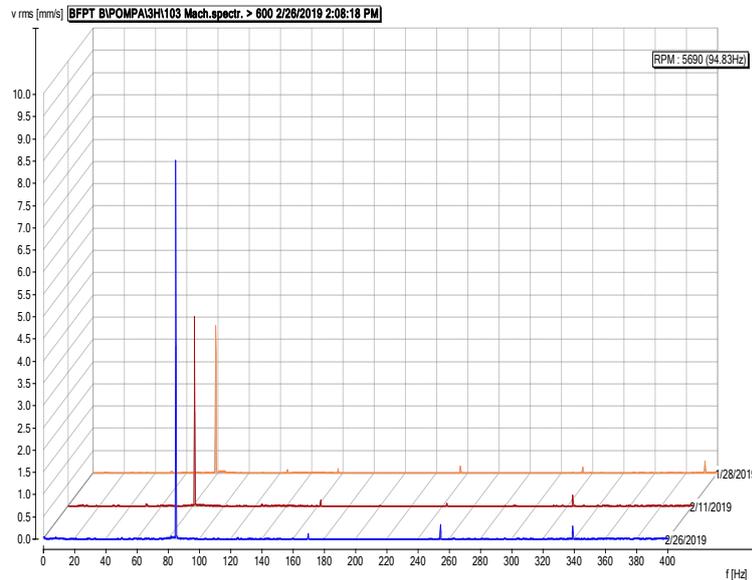
*Natural Frequency* merupakan frekuensi dimana sebuah objek akan bergetar secara bebas (tanpa adanya *damping*) dalam gerak harmonik sederhana ketika digerakkan. *Natural frequency* suatu objek tergantung pada karakteristik fisiknya seperti massa dan kekakuannya. Setiap objek memiliki *natural frequency* nya masing-masing [6].

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{y}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g \times 3E \times I \times L}{W \times L_1^2 \times L_2^2}} \quad (3)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Pengukuran Vibrasi pada *Boiler Feed Pump Turbine*

Berikut adalah data spektrum pada *inboard bearing* pompa arah horizontal seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Data spektrum pada *inboard bearing* pompa arah horizontal

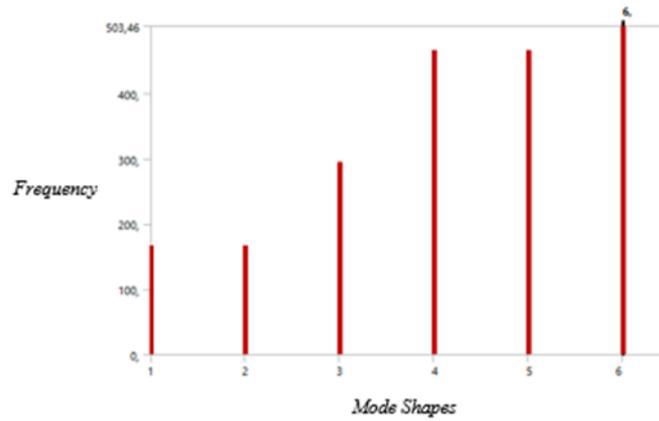
Berdasarkan *vibration training course book category II* [7] hasil data spektrum vibrasi pada pompa *inboard horizontal* menunjukkan bahwa amplitudo tertinggi terjadi pada 1xRPM di setiap pengukuran seperti pada gambar 3 hal tersebut menunjukkan adanya *mechanical looseness*.

#### Perhitungan Frekuensi Eksitasi

Frekuensi eksitasi yang dihitung adalah frekuensi yang dihasilkan oleh poros BFPT yang merupakan pompa sentrifugal sehingga gaya-gaya yang bekerja berasal dari berat poros BFPT itu sendiri. BFPT memiliki putaran operasi sebesar 5690 rpm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Sehingga berdasarkan hasil perhitungan persamaan (1), didapatkan nilai frekuensi eksitasi poros BFPT adalah 94,83 Hz.

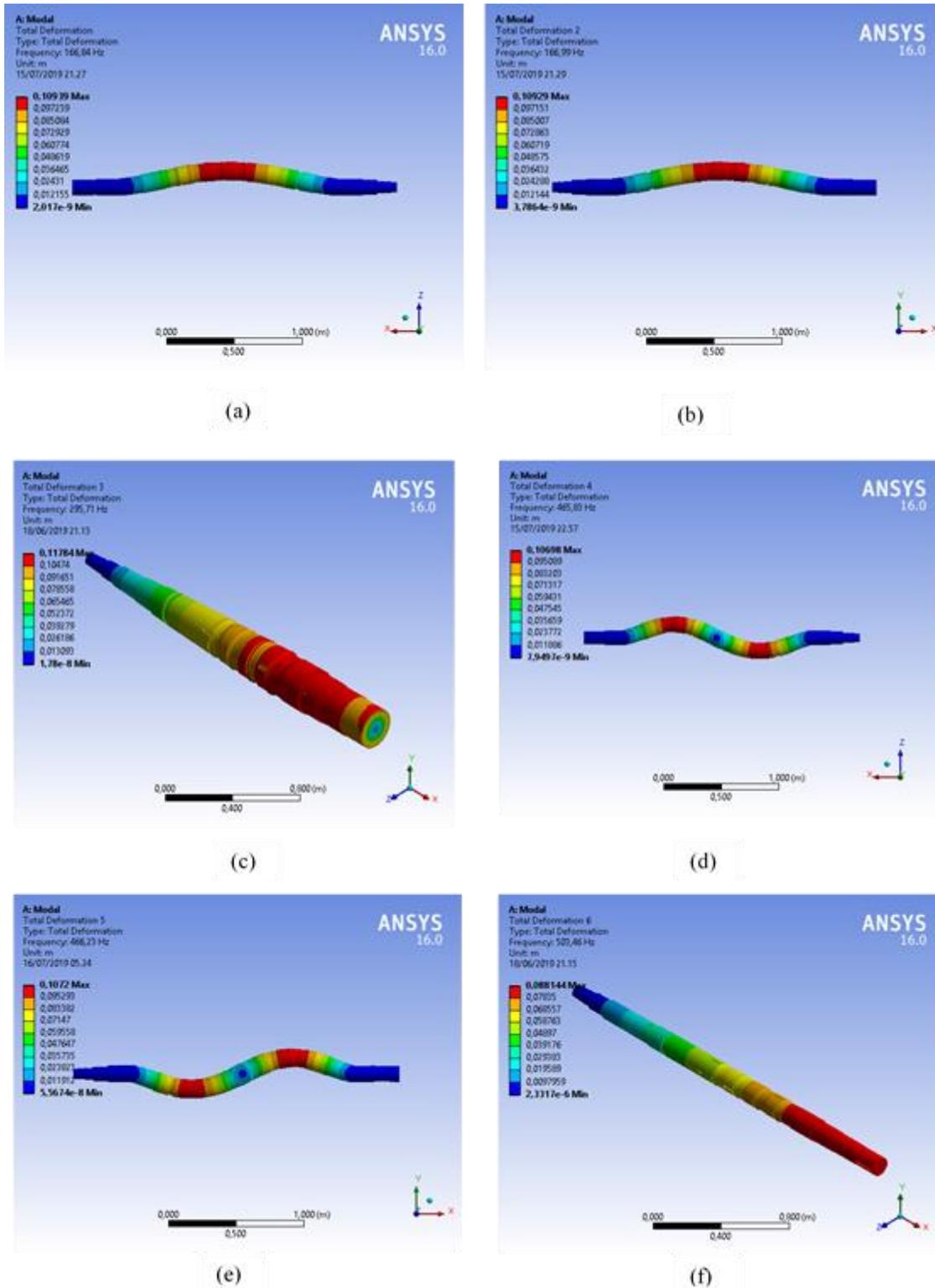
#### *Natural Frequency* dan Modus Getar (*Mode Shape*)

Setelah dilakukan simulasi pada *modal analysis*, telah didapatkan 6 *natural frequency* seperti pada Gambar 4 yaitu 166,84 Hz, 166,99 Hz, 295,71 Hz, 465,83 Hz, 466,23 Hz, 503,46 Hz.



Gambar 4. Grafik jenis *mode shape* terhadap *natural frequency*

Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa 6 nilai *natural frequency* BFPT ini berkisar 166 Hz hingga 503 Hz. Perbedaan *natural frequency* memberikan respon yang berbeda juga pada modus getaran maupun deformasi dari komponen. Hal ini dikarenakan oleh defleksi yang terjadi, karena defleksi dipengaruhi oleh material, konfigurasi, suatu kecacatan, dan lainnya. Fenomena ini sesuai dengan persamaan (3).

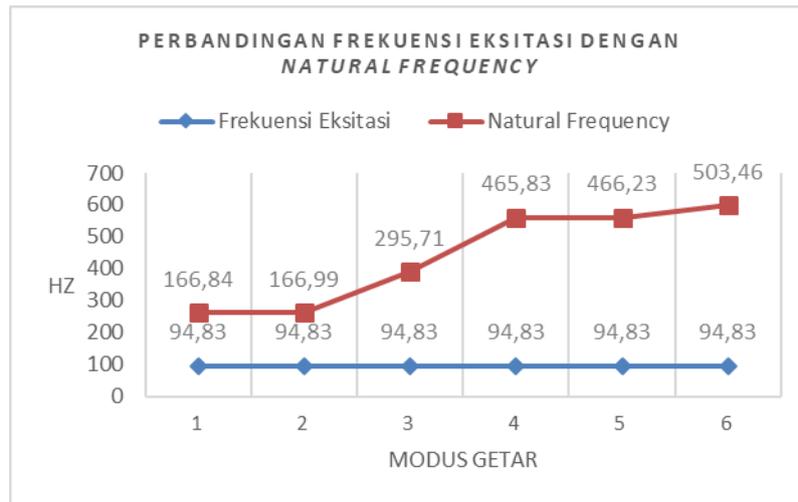


Gambar 5. Jenis-jenis modus getar poros BFPT

Pada Gambar 5 deformasi maksimum ditunjukkan oleh warna merah di masing-masing modus. Pada modus pertama sesuai dengan Gambar 5(a) dengan *natural frequency* 166,84 Hz, terjadi deformasi maksimum pada poros bagian *impeller* sebesar 0,10939 m ke arah z positif terhadap sumbu putar. Pada modus kedua sesuai dengan Gambar 5(b) dengan *natural frequency* 166,99 Hz, terjadi deformasi maksimum pada poros bagian *impeller* sebesar 0,10929 m ke arah y positif terhadap sumbu putar. Pada modus ketiga sesuai dengan Gambar

5(c) dengan *natural frequency* 295,71 Hz, terjadi deformasi maksimum pada poros bagian *impeller* hingga bagian ujung poros sisi *Drive End* (DE) sebesar 0,11784 m karena adanya beban torsi akibat gaya putar dari turbin yang dilawan oleh inersia fluida dan gesekan-gesekan yang ada pada pompa. Pada modus keempat sesuai dengan Gambar 5(d) dengan *natural frequency* 465,83 Hz, terjadi deformasi maksimum pada poros bagian *suction* pompa dan *impeller* sebesar 0,10698 m ke arah z positif dan z negatif terhadap sumbu putar. Pada modus kelima sesuai dengan Gambar 5(e) dengan *natural frequency* 466,23 Hz, terjadi deformasi maksimum pada poros bagian *suction* pompa dan *impeller* sebesar 0,1072 m ke arah y positif dan negatif terhadap sumbu putar. Pada modus keenam sesuai dengan Gambar 5(f) dengan *natural frequency* 503,46 Hz, terjadi deformasi maksimum pada poros bagian *impeller* hingga bagian ujung poros sisi *Drive End* (DE) sebesar 0,088144 m ke arah x positif akibat beban aksial terhadap arah aliran fluida.

### Perbandingan Frekuensi Eksitasi dengan *Natural Frequency*



Gambar 6. Perbandingan frekuensi eksitasi dengan *natural frequency*

Berdasarkan nilai frekuensi eksitasi dan nilai *natural frequency* pada Gambar 6, maka didapatkan bahwa pengoperasian poros BFPT tidak akan terjadi resonansi karena garis *natural frequency* tidak berpotongan dengan garis frekuensi eksitasi. Tetapi dengan adanya analisis *natural frequency* ini dapat memberikan informasi mengenai bagian poros mana yang akan terkena dampak deformasi terbesar disaat terjadi eksitasi seperti salah satu modus pada Gambar 5.

### Perhitungan *Natural Frequency* dengan Defleksi

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan *natural frequency* dengan defleksi yang mendapatkan beban dari *impeller* mempunyai diameter poros pada BFPT sebesar 0,135 m. Hasil dari perhitungan persamaan (3) didapatkan nilai *natural frequency* sebesar 183,12 Hz. Hasil perhitungan tersebut sesuai dengan hasil simulasi pada ANSYS *Workbench* yaitu masih berada pada *range* 166 Hz hingga 503 Hz dan masih berada pada *normal error* yang telah ditentukan.

## 4. KESIMPULAN

1. Pada simulasi ANSYS didapatkan 6 nilai *natural frequency* pada *boiler feed pump turbine* yaitu 166,84 Hz, 166,99 Hz, 295,71 Hz, 465,83 Hz, 466,23 Hz, 503,46 Hz.
2. Berdasarkan hasil penelitian, *over* vibrasi yang terjadi pada BFPT bukan akibat dari perubahan *natural frequency* karena pada gambar 6 terlihat bahwa garis *natural frequency* tidak berpotongan dengan garis frekuensi eksitasi sehingga tidak terjadi resonansi, tetapi vibrasi terjadi akibat adanya *looseness* pada *housing bearing* pompa karena amplitudo tertinggi terjadi pada 1xRPM.

## REFERENSI

1. Sukamta, Sudarja, and M. M. I. Wathon, "Analisis Unjuk Kerja Boiler Feed Pump Turbine untuk Kapasitas Ketel Uap 2000 Ton/Jam di PLTU Cirebon Jawa Barat," *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, vol. 18, pp. 21-29, 2015.
2. A. Y. Nikumbe, V. G. Tamboli, and H. S. Wagh, "Modal Analysis of Vertical Turbine Pump," *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, vol. 2, 2015.
3. M. Ashri, S. Karuppanan, S. Patil, and I. Ibrahim, "Modal Analysis of a Centrifugal Pump Impeller Using Finite Element Method," Bandar Seri Iskandar, Perak, 2014.
4. C. Shah, "Mesh Discretization Error and Criteria for Accuracy of Finite Element Solutions," presented at the Ansys Users Conference, Pittsburgh, 2002.
5. F. Haederi, *Dynamics of Machinery*. Pune: Nirali Prakashan, 2003.
6. S. M. Baad and M. G. Qaimi, "Estimation of Natural Frequency of Motorcycle Handlebar," *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 03, 2016.
7. *Vibration Training Course Book Category II*: Mobius Institute, 2012.