

BALANCING ROTOR DENGAN ANALISIS SINYAL GETARAN DALAM KONDISI *STEADY STATE*

*Try Hadmoko¹, Achmad Widodo², Djoeli Satrijo³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

^{2,3}Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: thadmoko@gmail.com

Abstrak

Rotor merupakan alat mekanik yang bergerak secara berputar. Tidak ada rotor yang sempurna seimbang (*balanced*) dan selalu ada massa tidak seimbang (*unbalanced*) pada sistem rotor. Hal ini dapat terjadi karena berbagai sebab, misalnya bahan yang tidak homogen saat proses produksi, dan desain yang tak simetris. Apabila keadaan *unbalance* pada rotor tidak dideteksi pada tahap permulaan akan mengakibatkan kerusakan struktur, hilangnya energi, dan berkurangnya umur pemakaian. Perlu adanya proses *balancing* untuk mengurangi gaya yang disebabkan oleh ketidakseimbangan rotor. Sedikitnya *balancing* rotor dibagi menjadi dua jenis yaitu *single plane* dan *two-plane balancing*. Dari masalah inilah penelitian tentang *balancing* rotor dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik sinyal getaran sebelum dan setelah *balancing* serta membandingkan sinyal getaran antara sebelum dengan setelah proses *balancing*. Penelitian ini menggunakan seperangkat test *Machine Fault Simulator* (MFS). Dari hasil penelitian sinyal getaran *single plane* dan *two-plane* sebelum *balancing* dapat menunjukkan karakteristik sinyal getaran dalam bentuk domain frekuensi dengan amplitudo yang relatif tinggi pada frekuensi 1x rpm, kemudian diikuti amplitudo yang lebih kecil pada harmonik 2x rpm dan seterusnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses *balancing* rotor pada *single plane* dan *two plane* menurunkan amplitudo pada frekuensi 1x rpm dengan nilai penurunan rata-rata sebesar 80%. Dari hasil pengukuran didapatkan perbandingan sinyal getaran antara sebelum dengan setelah *balancing* yaitu terlihat amplitudo pada frekuensi 1x rpm sebelum *balancing* lebih tinggi daripada setelah *balancing*.

Kata kunci: rotor, *unbalance*, *balancing*, sinyal getaran

Abstract

The rotor is a mechanical device which moves a rotating basis. There is no rotor is perfectly balanced and there are always unbalanced masses on the rotor system. This can happen for various reasons, such materials are not homogeneous during the production process, and unsymmetrical design. If the state of unbalance of the rotor is not detected at early stages will result in structural damage, loss of energy, and reduced service life. Balancing the need for the process to reduce the force caused by rotor imbalance. At least balancing the rotor is divided into two types: single plane and two-plane balancing. From this problem of balancing rotors research was conducted in order to determine the vibration signal characteristics before and after balancing and vibration signal comparing between before to after the balancing process. This study uses a set of test Machine Fault Simulator (MFS). From the research of vibration signals single plane and two-plane before balancing can show the characteristics of the vibration signal in the form of frequency domain with a relatively high amplitude at a frequency of 1x rpm, followed by a smaller amplitude at harmonic 2x rpm onwards. The results showed that the rotor balancing on a single plane and two plane lowered the amplitude at a frequency of 1x rpm with an average decrease of 80%. The measurement results obtained from the comparison between the vibration signal before the after balancing amplitude at a frequency that is visible 1x rpm before balancing higher than after balancing.

Keywords: Rotor, *Unbalanced*, *Balancing*, *Vibration signal*.

1. Pendahuluan

Alat mekanik yang bergerak secara rotasi disebut rotor, misalnya baling-baling helikopter, roda kendaraan bermotor, propeler turbin angin, generator, dan pompa. *Unbalance* adalah kondisi dimana rotor yang berputar menimbulkan getaran akibat gaya sentrifugal. Secanggih apapun alat produksi rotor selalu mempunyai keterbatasan. Tidak ada rotor yang sempurna seimbang dan selalu ada sisa massa tak seimbang pada sistem rotor. Rotor tak seimbang akan membangkitkan sinyal getaran sinusoidal dengan frekuensi satu per putaran. Keadaan *unbalance* terjadi bila pusat massa sistem berputar tidak berimpit dengan titik pusat putaran. Hal ini terjadi karena berbagai sebab, misalnya kelebihan massa pada bagian rotor, bahan yang tak homogen, kesalahan proses produksi, dan desain yang tidak simetri.

Unbalance dapat terjadi pada satu bidang disebut *static unbalance* atau pada beberapa bidang disebut *couple unbalance*. Gabungan keduanya disebut *dynamic unbalance*. Dalam keadaan *unbalance* sebuah vektor gaya yang berputar dengan poros menimbulkan getaran dengan frekuensi satu per putaran. Terdapat karakteristik utama dari getaran yang disebabkan oleh *unbalance* yaitu getaran sinusoidal murni dengan frekuensi satu per putaran poros, vektor gaya yang berputar, dan amplitudo bertambah dengan bertambahnya kecepatan.

Apabila keadaan *unbalance* pada rotor tidak dideteksi pada tahap permulaan akan mengakibatkan kerusakan struktur pada rotor itu sendiri. Bila tidak segera ditangani akan mengakibatkan kerusakan komponen lainnya seperti cepat ausnya bearing dan kerugian daya yang tentunya akan mengurangi kualitas produksi. Dan bila sistem mengalami *shutdown* dari proses produksi yang tentunya menyebabkan hilangnya waktu produktif karena membutuhkan waktu lama untuk perbaikan dan biaya pemeliharaan yang besar karena banyaknya komponen yang harus diganti.

Oleh karena itu, untuk mengurangi gaya *unbalance* adalah dengan melakukan proses *balancing*. Proses *balancing* dilakukan dengan tindakan menambahkan atau mengurangi massa pada sistem rotor. Dalam penelitian ini dilakukan eksperimen pendeteksian sinyal getaran akibat *unbalance* menggunakan alat *Machinery Faults Simulator*, kemudian melakukan proses *balancing*, dan membandingkan sinyal *unbalance* dengan sinyal setelah proses *balancing* dengan indikator penurunan amplitudo. [UNDIP, 2015, Perawatan Prediktif Diagnosa Getaran Mesin Rotasi, Training Center Sains & Teknologi Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia].

2. Metode Penelitian

2.1 Diagram Alir Metode Penelitian



Gambar 1 Diagram alir metode penelitian

2.2 Prosedur Pengujian *Single Plane Balancing*

Gambar 1 diatas menerangkan prosedur proses *balancing* untuk *single plane*. Dalam penelitian *single plane balancing* ini menggunakan satu rotor *disk*, karena rotor tersebut dalam kondisi *balance*, maka dipasang massa *unbalance* pada rotor untuk mengasumsikan kondisi *unbalance*. Setelah massa *unbalance* sudah terpasang dan pengaturan data akuisisi selesai, kemudian jalankan rotor dengan kecepatan *steady*. Kecepatan rotor yang dipakai sebesar 1800 rpm., tidak ada dasar khusus di kecepatan berapa percobaan ini dilakukan, hanya saja pengambilan data diambil dalam kondisi kecepatan *steady*. Selanjutnya ambil data sinyal getaran dengan menggunakan *software VibraQuest*. Pada tahap ini didapat sinyal getaran sebelum *balancing*. Parameter ukur yang didapat dari sinyal getaran adalah nilai amplitudo dan sudut fasa. Agar mudah dalam perhitungan, parameter sebelum *balancing* kami sebut dengan nama "*original unbalance*". Kemudian hentikan rotor dan letakkan massa *trial weight* pada rotor dengan besar massa yang sudah ditentukan. Selanjutnya jalankan rotor dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan awal tadi dan ambil data sinyal getaran lagi dengan massa *trial weight* terpasang dan setelah itu hentikan rotor. Tujuan dari pengambilan data dengan *trial weight* terpasang adalah untuk mengetahui respon dari *original unbalance* dengan adanya perubahan nilai amplitudo dan sudut fasa. Dalam tahap ini parameter ukur tadi kami sebut dengan nama "*trial unbalance*". Kemudian dilakukan perhitungan dari data *original unbalance* dan *trial unbalance* untuk mendapatkan massa *correction weight* dan lokasinya sebagai penyeimbang *original unbalance*. [Wowk, Victor., 1994, *Machinery Vibration Balancing*, R. R. Donnelley & Sons Company, USA].

Dalam penelitian ini, didapat parameter-parameter ukur dari pengukuran sinyal getaran dan proses *balancing*. Tabel 1 sampai 5 menunjukkan parameter-parameter yang didapat pada proses *single plane balancing*.

Tabel 1. Parameter yang didapat setelah pengukuran getaran pada percobaan 1

No	Parameter	Keterangan
1	$ O $ = amplitudo <i>original</i>	0,05938 in/s
2	$\angle O $ = sudut fasa <i>original</i>	262,71°
3	$ O+T $ = amplitudo <i>trial weight</i>	0,0807 in/s
4	$\angle O+T $ = sudut fasa <i>trial weight</i>	228,16°
5	Amplitudo setelah <i>balancing</i>	0,003165 in/s

Tabel 2. Parameter yang didapat setelah pengukuran getaran pada percobaan 2

No	Parameter	Keterangan
1	$ O $ = amplitudo <i>original</i>	0,05896 in/s
2	$\angle O $ = sudut fasa <i>original</i>	338,23°
3	$ O+T $ = amplitudo <i>trial weight</i>	0,02386 in/s
4	$\angle O+T $ = sudut fasa <i>trial weight</i>	293,32°
5	Amplitudo setelah <i>balancing</i>	0,002504 in/s

Tabel 3. Parameter yang didapat setelah pengukuran getaran pada percobaan 3

No	Parameter	Keterangan
1	$ O $ = amplitudo <i>original</i>	0,05380 in/s
2	$\angle O $ = sudut fasa <i>original</i>	57,34°
3	$ O+T $ = amplitudo <i>trial weight</i>	0,05436 in/s
4	$\angle O+T $ = sudut fasa <i>trial weight</i>	108,6°
5	Amplitudo setelah <i>balancing</i>	0,00394 in/s

Tabel 4. Parameter yang didapat setelah pengukuran getaran pada percobaan 4

No	Parameter	Keterangan
1	$ O $ = amplitudo <i>original</i>	0,1038 in/s
2	$\angle O $ = sudut fasa <i>original</i>	141,59°
3	$ O+T $ = amplitudo <i>trial weight</i>	0,1438 in/s
4	$\angle O+T $ = sudut fasa <i>trial weight</i>	153,35°
5	Amplitudo setelah <i>balancing</i>	0,005235 in/s

Tabel 5. Parameter yang didapat setelah pengukuran getaran pada percobaan 5

No	Parameter	Keterangan
1	$ O $ = amplitudo <i>original</i>	0,08116 in/s
2	$\angle O $ = sudut fasa <i>original</i>	142,09°
3	$ O+T $ = amplitudo <i>trial weight</i>	0,1239 in/s
4	$\angle O+T $ = sudut fasa <i>trial weight</i>	155,93°
5	Amplitudo setelah <i>balancing</i>	0,001366 in/s

2.3 Prosedur Pengujian *Single Plane Balancing*

Gambar 1 diatas menerangkan prosedur proses *balancing* untuk *two-plane*. Dalam penelitian *two-plane balancing* ini menggunakan dua rotor *disk*. Pengukuran *two-plane balancing* hampir sama dengan pengukuran *single plane*, tetapi jumlah sensor *accelerometer* yang dipakai berbeda. Untuk *single plane* hanya memakai satu sensor, dan untuk *two-plane* memakai dua sensor, serta data pengukuran yang diambil juga bertambah. Setelah massa *unbalance* sudah terpasang di kedua rotor dan pengaturan data akuisisi selesai, kemudian jalankan rotor dengan kecepatan *steady*. Kecepatan rotor yang dipakai sebesar 1800 rpm. Selanjutnya ambil data sinyal getaran dengan menggunakan *software VibraQuest*. Pada tahap ini didapat sinyal getaran sebelum *balancing*. Parameter ukur yang didapat dari sinyal getaran adalah nilai amplitudo dan sudut fasa. Agar mudah dalam perhitungan, parameter sebelum *balancing* disebut dengan nama "*original unbalance*". Tahap ini dapat disebut *run 1* dan didapat data sinyal dari *near bearing* dan *far bearing*. Maksud dari *near bearing* dan *far bearing* adalah: untuk *near* yaitu pengukuran diambil dari sensor yang menempel pada *bearing* yang dekat dengan penggerak motor, sedangkan untuk *far* yaitu pengukuran yang diambil dari *bearing* yang jauh dari penggerak motor.

Kemudian hentikan rotor dan letakkan massa *trial weight* pada rotor 1 (rotor yang dekat dari motor) dengan besar massa yang sudah ditentukan. Selanjutnya jalankan rotor dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan awal tadi dan ambil data sinyal getaran lagi dengan massa *trial weight* terpasang dan setelah itu hentikan rotor. Tujuan dari pengambilan data dengan *trial weight* terpasang adalah untuk mengetahui respon dari *original unbalance* dengan adanya perubahan nilai amplitudo dan sudut fasa. Dalam tahap ini parameter ukur tadi disebut dengan nama "*trial unbalance*" dan tahap ini bisa disebut *run 2*.

Kemudian hentikan rotor, lepas massa *trial weight* pada rotor 1, dan letakkan massa *trial weight* pada rotor 2 (rotor yang jauh dari motor) dengan besar massa yang sudah ditentukan. Selanjutnya jalankan rotor dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan awal tadi dan ambil data sinyal getaran lagi dengan massa *trial weight* terpasang dan setelah itu hentikan rotor. Pada tahap ambil data ini disebut *run 3*. [Wowk, Victor., 1994, *Machinery Vibration Balancing*, R. R. Donnelley & Sons Company, USA].

Kemudian dilakukan perhitungan dari data *original unbalance* dan *trial unbalance* untuk mendapatkan massa *correction weight* dan lokasinya sebagai penyeimbang *original unbalance*. Tabel 6 sampai 8 menunjukkan parameter-parameter yang didapat pada proses *two-plane balancing*.

Tabel 6. Parameter yang didapat setelah pengukuran getaran pada percobaan 1

No	Parameter	Keterangan	
		<i>Near Bearing</i>	<i>Far Bearing</i>
1	$ O $ = amplitudo <i>original</i>	0,03124 in/s	0,0379 in/s
2	$\angle O $ = sudut fasa <i>original</i>	293,43°	273,2°
3	$ O+T $ = amplitudo <i>trial weight</i>	0,04881 in/s	0,05866 in/s
4	$\angle O+T $ = sudut fasa <i>trial weight</i>	217,88°	219,84°
5	$ O+C $ = amplitudo koreksi	0,03469 in/s	0,02967 in/s
6	$\angle O+C $ = sudut fasa koreksi	105,23°	119,6°
7	Amplitudo setelah <i>balancing</i>	0,01184 in/s	0,01818 in/s

Tabel 7. Parameter yang didapat setelah pengukuran getaran pada percobaan 2

No	Parameter	Keterangan	
		<i>Near Bearing</i>	<i>Far Bearing</i>
1	$ O $ = amplitudo <i>original</i>	0,09571 in/s	0,07509 in/s
2	$\angle O $ = sudut fasa <i>original</i>	207,48°	200,1°
3	$ O+T $ = amplitudo <i>trial weight</i>	0,2068 in/s	0,1452 in/s
4	$\angle O+T $ = sudut fasa <i>trial weight</i>	193,41°	188,36°
5	$ O+C $ = amplitudo koreksi	0,02975 in/s	0,0445 in/s
6	$\angle O+C $ = sudut fasa koreksi	353,2°	15,15°
7	Amplitudo setelah <i>balancing</i>	0,01698 in/s	0,005437 in/s

Tabel 8. Parameter yang didapat setelah pengukuran getaran pada percobaan 3

No	Parameter	Keterangan	
		<i>Near Bearing</i>	<i>Far Bearing</i>
1	$ O $ = amplitudo <i>original</i>	0,08096 in/s	0,0784 in/s
2	$\angle O $ = sudut fasa <i>original</i>	148,48°	123,38°
3	$ O+T $ = amplitudo <i>trial weight</i>	0,1535 in/s	0,1337 in/s
4	$\angle O+T $ = sudut fasa <i>trial weight</i>	164,07°	149,26°
5	$ O+C $ = amplitudo koreksi	0,06711 in/s	0,05504 in/s
6	$\angle O+C $ = sudut fasa koreksi	287,14°	308,93°
7	Amplitudo setelah <i>balancing</i>	0,01013 in/s	0,01428 in/s

3. Perangkat Alat Penelitian

Pengujian sinyal getaran dilakukan dengan menggunakan alat simulasi yang bernama “*Machinery Faults Simulator*” yang mampu melakukan berbagai eksperimen untuk mesin berotasi seperti *balancing rotor*. Sinyal getaran yang diterima oleh sensor *accelerometer* selanjutnya akan diolah dengan *software VibraQuest* untuk menampilkan dan menganalisa sinyal getaran dalam domain frekuensi. Parameter yang akan didapat dari *software VibraQuest* adalah nilai amplitudo dan sudut fasa dari sebuah sinyal getaran. Alat *Machinery Fault Simulator* (MFS) dan instalasi pengujian dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini:



Gambar 2 Instalasi alat *Machinery Fault Simulator* untuk uji rotor unbalance

Pada penelitian sinyal getaran yang dilakukan, proses pengambilan data sinyal getaran akan divariasikan menurut jenis *balancing*. Ada dua jenis *balancing* yaitu *single plane balancing* dan *two-plane balancing*. Masing-masing jenis *balancing* akan divariasikan menurut jumlah dan berat massa *unbalance*, serta letak massa *unbalance*, sehingga didapat 8 kondisi *unbalance* yang akan diuji. Berhasil atau tidak tujuan penelitian tergantung pada metode dan prosedur penelitian yang dipakai, berikut akan dibahas metode dan prosedur pengujian yang dipakai dalam penelitian ini.

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran sinyal getaran *single plane balancing* dapat dilihat di masing-masing pengujian. Pada pengujian *single plane balancing* dilakukan 5 kali pengujian dengan variasi massa *unbalance* dan lokasi yang berbeda. *Unbalance* memiliki karakteristik sinyal getaran yaitu frekuensi dominan dengan amplitudo yang tinggi pada 1x Rpm, kemudian diikuti amplitudo yang kecil pada harmonik 2x Rpm dan seterusnya. Grafik sinyal getaran sebelum *balancing* akan dibandingkan dengan grafik sinyal getaran sesudah *balancing*, hal ini dilakukan untuk membuktikan bahwa proses *balancing* berhasil dengan indikator adanya penurunan amplitudo pada frekuensi 1x rpm.

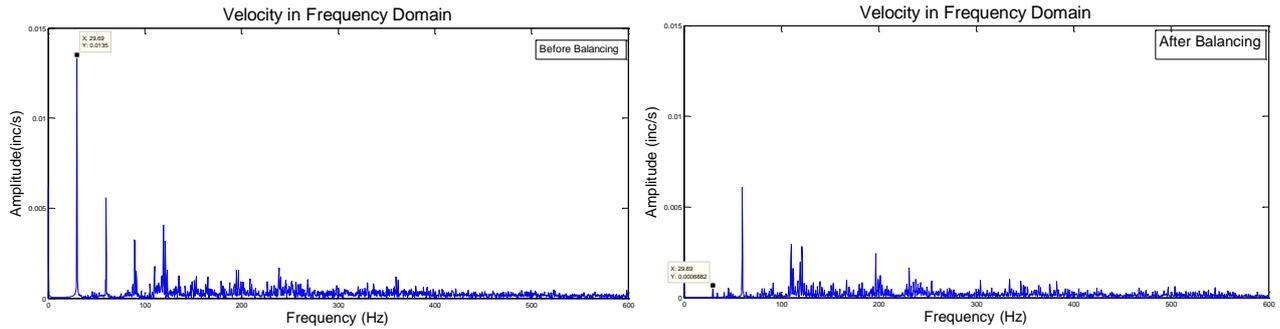
4.1 Hasil Getaran *Single Plane Balancing*

Adapun secara lengkap hasil penurunan amplitudo getaran *single plane* dari percobaan 1 sampai 5 dalam tabel 9 di bawah ini.

Tabel 9. Data penurunan amplitudo getaran pada percobaan *single plane balancing*.

No.	Percobaan	Persentasi penurunan (%)
1	Percobaan 1	94,9
2	Percobaan 2	95,8
3	Percobaan 3	92,9
4	Percobaan 4	94,8
5	Percobaan 5	98,3

Gambar di bawah merupakan hasil sinyal FFT percobaan 1 dari 5 percobaan untuk metode *single plane balancing*. Gambar sebelah kiri merupakan sinyal kecepatan dalam domain frekuensi sebelum *balancing*, sedangkan gambar sebelah kanan merupakan sinyal kecepatan setelah *balancing*.



Karakteristik amplitudo getaran rotor *single plane* pada percobaan 1, percobaan 2, percobaan 3, percobaan 4, dan percobaan 5 ketika kondisi sebelum *balancing* relatif tinggi terlihat dari hasil pengujian sinyal getaran pada frekuensi 1x rpm terbaca amplitudo berturut-turut sebesar 0,0135 in/s, 0,01204 in/s, 0,0111 in/s, 0,02152 in/s, dan 0,01686 in/s. Sedangkan sinyal getaran setelah *balancing* mengalami penurunan pada frekuensi 1x rpm terbaca amplitudo berturut-turut sebesar 0,00068 in/s, 0,0005 in/s, 0,00078 in/s, 0,0011 in/s, dan 0,00029 in/s.

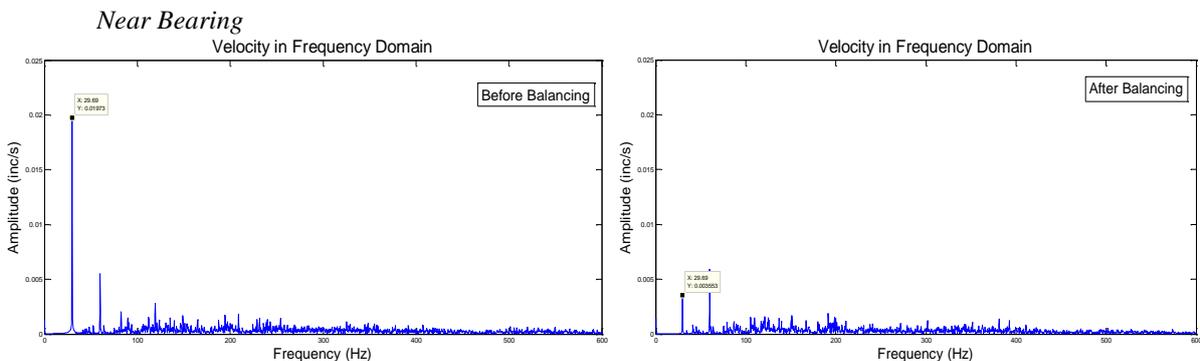
4.2 Hasil Getaran *Two-Plane Balancing*

Hasil pengukuran sinyal getaran *Two-plane balancing* dapat dilihat di masing-masing pengujian. Pada pengujian *Two-plane balancing* dilakukan 3 kali pengujian dengan variasi massa *unbalance* dan lokasi yang berbeda. Hasil yang ditampilkan berupa sinyal getaran dari kedua *bearing* yang masing-masing adalah *near bearing* dan *far bearing*, karena efek *unbalance* pada *two-plane balancing* berdampak pada kedua *bearing*, maka perlu ditampilkan sinyal dari kedua *bearing*. Adapun secara lengkap hasil penurunan amplitudo getaran dari percobaan 1 sampai 3 dalam tabel 10 di bawah ini.

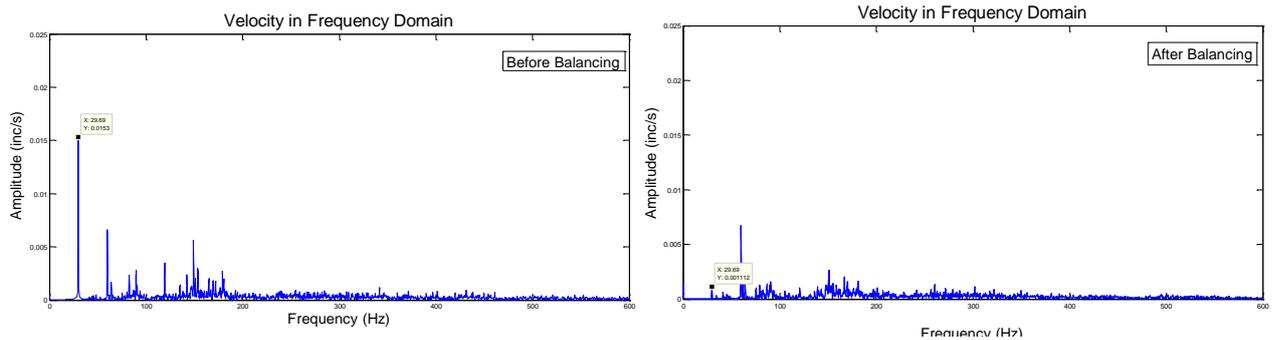
Tabel 10. Data penurunan amplitudo getaran pada percobaan *two-plane balancing*.

No.	Percobaan	Persentase penurunan (%)
1	Percobaan 1	<i>Near bearing</i> = 51,9
		<i>Far bearing</i> = 69,2
2	Percobaan 2	<i>Near bearing</i> = 81,9
		<i>Far bearing</i> = 92,7
3	Percobaan 3	<i>Near bearing</i> = 87,2
		<i>Far bearing</i> = 81,8

Gambar di bawah merupakan salah satu hasil sinyal FFT dari 3 percobaan untuk metode *single plane balancing*. Gambar sebelah kiri merupakan sinyal kecepatan dalam domain frekuensi sebelum *balancing*, sedangkan gambar sebelah kanan merupakan sinyal kecepatan setelah *balancing*. Gambar yang di atas merupakan penjelasan sinyal FFT untuk *near bearing*, sedangkan gambar yang di bawah menjelaskan sinyal FFT untuk *Far bearing*.



Far Bearing



Karakteristik amplitudo getaran rotor *two-plane* pada percobaan 1, percobaan 2, dan percobaan 3 ketika kondisi sebelum *balancing* relatif tinggi terlihat dari hasil pengujian sinyal getaran pada *near bearing* pada frekuensi 1x rpm terbaca amplitudo berturut-turut sebesar 0,0064 in/s, 0,0197 in/s, dan 0,0165 in/s. Dan amplitudo sebelum *balancing* pada *far bearing* terlihat pada frekuensi 1x rpm terbaca amplitudo berturut-turut sebesar 0,0077 in/s, 0,0153 in/s, dan 0,0158 in/s. Sedangkan sinyal getaran setelah *balancing* mengalami penurunan pada *near bearing* terlihat pada frekuensi 1x rpm terbaca amplitudo berturut-turut sebesar 0,0038 in/s, 0,0035 in/s, dan 0,0021 in/s. Dan amplitudo setelah *balancing* pada *far bearing* mengalami penurunan pada frekuensi 1x rpm terbaca amplitudo berturut-turut sebesar 0,0024 in/s, 0,0011 in/s, dan 0,0029 in/s.

5. Kesimpulan

Karakteristik sinyal getaran rotor *single plane* dan *two-plane* ketika kondisi sebelum *balancing* yaitu amplitudo relatif tinggi terlihat pada frekuensi 1x rpm, sedangkan sinyal getaran setelah *balancing* mengalami penurunan amplitudo pada frekuensi 1x rpm. Perbandingan sinyal getaran antara sebelum dengan setelah *balancing* yaitu terlihat amplitudo pada frekuensi 1x rpm sebelum *balancing* lebih tinggi daripada setelah *balancing*.

Referensi