

BALANCING ROTOR DINAMIK MENGGUNAKAN SINYAL SUARA

Ariadi Saputra¹, Feblil Huda², Musthafa Akbar³
Laboratorium Konstruksi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12.5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
¹Ariadisaputra269@yahoo.com, ²Feblil_80@yahoo.com, ³Akbarmst@gmail.com

Abstract

Rotating machines that have been operating within a certain period of time there is frequent vibration. The vibration is usually caused by unbalance, misalignment, bearing defect, and others. Unbalance is ranked as a first cause of vibration, which more than 80% cases of vibration caused by unbalance. This condition causes the balancing process needs to be done. A commonly method of vibration measurement uses vibration sensors such as accelerometer or vibrometer, that should be affixed to the machine in operation. This can cause discomfort and may even dangerous the operator when measuring the machines. The solution of the problem can be done using non contact measurement, where the sensor is not attached directly to the test equipment. Microphone is a device that can record the sound signal without necessarily contact the tested device. The unbalance tendency of the test is characterized by the presence of the dominant frequency at one rotational speed (1 x rpm). From the test, the result of balancing of normal condition on one rotor and two rotors are 0.039 V and 0.031 V with balancing efficiency 87.88% and 80.74% respectively. The addition of unbalance mass on one rotor and two rotors is obtained balancing result of 0.031 V and 5.88×10^{-3} V with efficiency balancing of 93.58% and 97.43% respectively.

Keywords : voice signal, unbalance, balancing, microphone, unbalance mass

1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu dan pengetahuan yang sangat pesat membuat semakin banyaknya diproduksi mesin untuk memenuhi kebutuhan manusia. Di dunia industri banyak digunakan mesin untuk mempermudah serta mempercepat pekerjaan. Mesin-mesin rotasi seperti turbin, kompresor, pompa, dan fan banyak digunakan di dunia industri. Mesin-mesin rotasi seperti tersebut pada umumnya terdiri dari poros yang berputar dengan putaran tertentu (Zhou dan Shi, 2001).

Mesin dengan poros yang berputar pada putaran kerja tinggi sampai dengan 3000-an rpm, semisal turbin, jika terjadi *unbalance* akan sangat membahayakan. *Unbalance mass* yang kecil dengan putaran yang tinggi akan menyebabkan gaya sentrifugal yang besar sehingga menyebabkan bantalan menjadi cepat rusak dan dapat pula merusak seluruh sistem poros tersebut (Sulistiyono dan Budiman, 2015).

Sistem poros yang rusak akan menimbulkan getaran pada mesin yang berputar pada kecepatan yang tinggi. Bagian mesin yang tidak seimbang akan menghasilkan momen putar yang tidak sama besar selama benda berputar, sehingga akan menyebabkan getaran (Rahmanto, 2007). Getaran yang berlebihan pada suatu mesin merupakan suatu faktor kerusakan yang terjadi pada suatu sistem mesin. Hal tersebut dapat mengurangi performa dari mesin serta memperpendek umur suatu mesin apabila tidak dilakukan *maintenance* pada mesin tersebut.

Proses *maintenance* pada mesin sebaiknya dilakukan secara berkala untuk memastikan mesin maupun bagian komponen mesin masih dalam keadaan baik atau tidak. Metode yang sering digunakan adalah pengukuran getaran, dimana sensor getaran seperti *accelerometer* atau *vibrometer* harus ditempel pada mesin yang sedang beroperasi. Hal ini dapat menimbulkan ketidaknyamanan bahkan dapat membahayakan operator pengukuran.

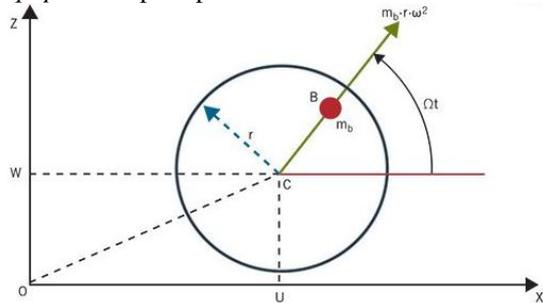
Solusi dari permasalahan tersebut dapat dilakukan penggunaan *non contact measurement*, dimana sensor tidak menempel langsung terhadap alat yang akan diuji. *Microphone* merupakan salah satu sensor penangkap sinyal suara dengan harga yang murah serta penggunaannya tanpa harus kontak terhadap alat yang akan diuji. Suatu rotor yang diputar oleh motor listrik dapat dilakukan pengambilan sinyal suara menggunakan *microphone*. Hal tersebut menjadi suatu alternatif dalam proses *balancing*. *Microphone* dapat mendeteksi suara yang nantinya sinyal suara dapat diolah dalam bentuk grafik dengan memanfaatkan metode pengamatan sinyal suara yang direkam oleh *microphone* dan diolah menggunakan *software MATLAB*.

2. Metodologi

2.1 Studi Literatur

Tahapan penelitian ini dimulai dengan studi literatur mengenai *unbalance*. *Unbalance* didefinisikan sebagai distribusi massa yang tidak

merata terhadap sumbu putar rotor yang menyebabkan getaran (Ramali, dkk, 2012). Getaran akibat komponen massa yang *unbalance* terbaca pada arah radial (tegak lurus dengan sumbu putar) yang akan membangkitkan gaya sentrifugal pada *equipment* seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. *Unbalance* pada Rotor (Djaidir, dkk, 2016)

Semakin besar *unbalance*, gaya sentrifugal yang menyebabkan getaran akan semakin besar. Jika sinyal getaran yang dianalisis dalam *frequency domain* (selang frekuensi) memiliki amplitudo yang relatif besar pada frekuensi 1x frekuensi putaran poros (1xrpm), maka *unbalance* harus dimasukkan sebagai salah satu prioritas dalam daftar penyebab getaran (Wowk, 1995).

Balancing mass merupakan suatu massa tambah pada suatu rotor yang akan memberikan efek *balancing* pada rotor tersebut. *Balancing mass* didapatkan dengan persamaan 1 (Huda, 2003).

$$M_p = \frac{x_o}{x_t} \cdot m_c \cdot \frac{r_c}{r_p} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- M_p = *Balancing mass* (gr)
- x_o = Amplitudo sebelum *balancing* (V)
- x_t = Amplitudo sinyal suara yang disebabkan massa coba (V)
- m_c = Massa coba (gr)
- r_c = Radius lingkaran kedudukan massa (mm)
- r_p = Radius kedudukan *balancing mass* (mm)

Efisiensi *balancing* merupakan suatu ukuran keberhasilan dalam melakukan proses *balancing*. Efisiensi *balancing* didapatkan dengan persamaan 2 berikut (Huda, 2003).

$$\eta = \frac{x_o - x}{x_o} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- η = Efisiensi *balancing* (%)
- x = Amplitudo setelah *balancing* (V)

2.2 Set Up Eksperimen

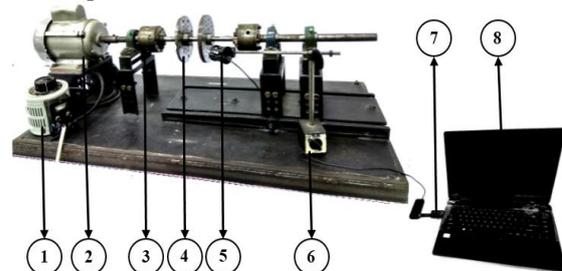
Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimen. Pengujian alat dilakukan di Laboratorium Konstruksi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau dan dilakukan pengolahan data yang diperoleh dari hasil pengujian

secara matematis. Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Motor listrik AC 1/3 HP dengan kecepatan putaran 2800 rpm.
2. Dua buah rotor.
3. Dua buah *chuck* rahang 3 sebagai pencekam poros rotor.
4. *Slide regulator* sebagai pengatur kecepatan motor listrik.
5. *Tachometer* sebagai pengukur kecepatan putaran motor listrik.
6. *Magnetic Stand* sebagai dudukan *microphone*.
7. *Microphone* jepit model Zm-360 sebagai perekam sinyal suara.
8. *Soundcard* sebagai penguat sinyal suara.

Pengujian dilakukan dengan melakukan proses *balancing* untuk satu dan dua buah rotor dalam kondisi normal serta memberikan *unbalance mass* pada satu dan dua buah rotor.

Adapun alat uji *balancing* rotor dinamik dapat dilihat pada Gambar 2.



Nomor	Jumlah	Nama
1	1	Slide Regulator
2	1	Motor Listrik
3	2	Chuck Rahang Tiga
4	2	Rotor
5	1	Microphone
6	1	Magnetic Stand
7	1	Soundcard
8	1	Laptop

Gambar 2. Alat Uji *Balancing* Rotor Dinamik

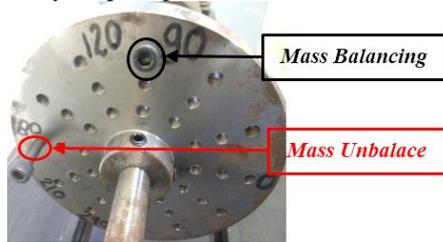
2.3 Pengujian Kondisi Normal Rotor Dinamik dengan 1 Buah Rotor

Tahapan awal yang dilakukan untuk kondisi normal rotor dinamik dengan 1 buah rotor adalah membuat keadaan rotor menjadi normal, keadaan normal yang dimaksud yaitu suatu keadaan rotor yang tidak mengalami *unbalance* dalam tingkat yang besar. Proses *balancing* menggunakan metode tiga massa coba dengan berat massa coba yang sama pada rotor tersebut.

2.4 Pengujian *Balancing* Rotor Dinamik dengan 1 Buah Rotor

Kondisi *balancing* rotor dinamik dengan 1 buah rotor adalah suatu keadaan dimana rotor yang telah dilakukan *balancing* pada kondisi normal diberikan suatu *unbalance mass* pada salah satu sudut rotornya tetapi tidak melepas *balancing mass*

pada rotor yang telah dilakukan *balancing* sebelumnya seperti pada Gambar 3.



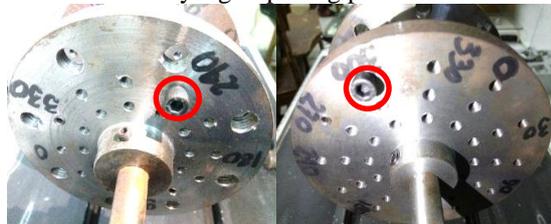
Gambar 3. Pemberian *Unbalance Mass* Pada Rotor

2.5 Pengujian Kondisi Normal Rotor Dinamik dengan 2 Buah Rotor

Tahapan awal yang dilakukan untuk kondisi normal rotor dinamik dengan 2 buah rotor adalah membuat keadaan rotor menjadi normal, keadaan normal yang dimaksud yaitu suatu keadaan rotor yang tidak mengalami *unbalance* dalam tingkat yang besar pada rotor pertama maupun rotor kedua. Tahapan proses *balancing* dilakukan menjadi dua tahap yaitu melakukan proses *balancing* pada rotor pertama dan selanjutnya dilanjutkan pada rotor kedua.

2.6 Pengujian *Balancing* Rotor Dinamik 2 Rotor dengan Besar *Unbalance Mass* yang Sama

Kondisi *balancing* rotor dinamik 2 rotor dengan besar *unbalance mass* yang sama adalah suatu keadaan dimana rotor yang telah dilakukan *balancing* pada kondisi normal diberikan suatu *unbalance mass* pada salah satu sudut rotor pertama dan kedua dengan berat yang sama tetapi tidak melepas *balancing mass* pada rotor pertama dan kedua yang telah dilakukan *balancing* sebelumnya seperti pada Gambar 4. Pemberian *unbalance mass* pada rotor pertama dan kedua membuat keadaan rotor tidak dalam keadaan normal lagi, hal tersebut dikarenakan gangguan dari *unbalance mass* yang terpasang pada sudut rotor pertama dan kedua tersebut, hal ini tentunya akan meningkatkan atau menurunkan amplitudo sinyal suara yang ditimbulkan berdasarkan pengaruh dari berat *unbalance mass* yang terpasang pada rotor tersebut.



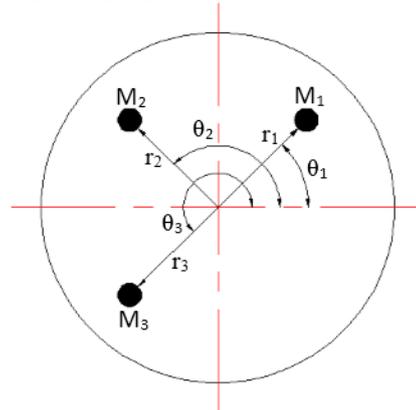
Gambar 4. (a) Baut *Unbalance Mass* Rotor Pertama
(b) Baut *Unbalance Mass* Rotor Kedua

2.7 Proses *Balancing* dan Analisis Grafis

Salah satu metode *balancing* yang digunakan yaitu metode tiga massa coba, dimana tiga massa

coba dengan berat yang sama dipasangkan pada tiga buah posisi pengujian yang telah ditetapkan. Pada tiap posisi pengujian dilakukan pengukuran amplitudo sinyal suara yang terjadi pada saat rotor berputar. Tahapan selanjutnya, metode *balancing* tiga massa coba diselesaikan secara analisis grafis. Prosedur standar *balancing* dengan menggunakan metode tiga massa coba dijelaskan sebagai berikut:

1. Rotor diputar pada putaran tertentu. Amplitudo sinyal suara diukur, diberi notasi x_0 .
2. Pemberian tanda pada tiga buah sudut posisi pengujian seperti pada Gambar 5.



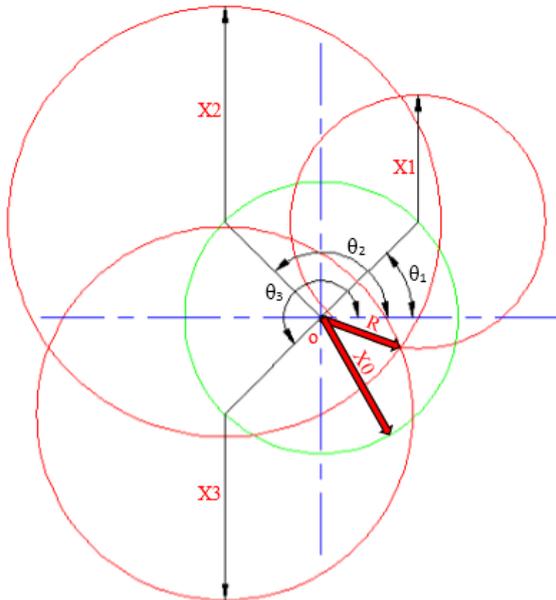
Gambar 5. Pemberian Tiga Buah Tanda Posisi Pengujian dengan Simbol M_1, M_2 , dan M_3

3. Massa coba satu dipasang pada posisi pertama pengujian (r_1, θ_1). Rotor diputar pada putaran tertentu dan amplitudo sinyal suaranya diukur dan diberi notasi x_1 .
4. Massa coba satu dilepaskan dan massa coba dua yang beratnya sama dengan massa coba satu dipasang pada posisi kedua pengujian (r_2, θ_2). Rotor diputar pada putaran yang sama dengan prosedur ketiga, kemudian amplitudo sinyal suaranya diukur dan diberi notasi x_2 .
5. Massa coba dua dilepaskan dan massa coba tiga yang beratnya sama dengan massa coba satu dipasang pada posisi ketiga pengujian (r_3, θ_3). Rotor diputar pada putaran yang sama dengan prosedur ketiga, kemudian amplitudo sinyal suaranya diukur dan diberi notasi x_3 .

Langkah-langkah penyelesaian untuk analisis grafis, yaitu sebagai berikut:

1. Lingkaran dibuat berdasarkan nilai amplitudo sinyal suara dengan radius x_0 pada saat pengujian tanpa menggunakan massa coba.
2. Lingkaran untuk massa coba 1 ditentukan berdasarkan nilai amplitudo sinyal suara dengan radius x_1 pada posisi θ_1 .
3. Lingkaran untuk massa coba 2 ditentukan berdasarkan nilai amplitudo sinyal suara dengan radius x_2 pada posisi θ_2 .

- Lingkaran untuk massa coba 3 ditentukan berdasarkan nilai amplitudo sinyal suara dengan radius x_3 pada posisi θ_3 .
- Perpotongan lingkaran x_0, x_1, x_2 , dan x_3 , (titik R), merupakan posisi *balancing mass* seperti pada Gambar 6. Sedangkan garis OR adalah amplitudo sinyal suara yang hanya disebabkan oleh massa coba saja, dinamakan x_t .

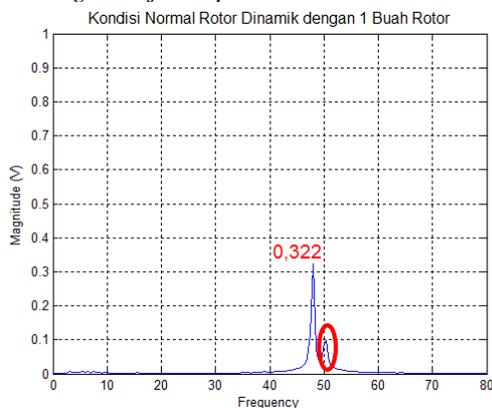


Gambar 6. Analisis Grafis dengan Metode *balancing* Tiga Massa Coba

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kondisi Normal Rotor Dinamik dengan 1 Buah Rotor

Pada kondisi normal rotor dinamik dengan 1 buah rotor menggunakan *slide regulator* sebagai pengatur putaran motor listrik dengan voltase pengujian 150 V. Kecepatan putaran pada motor listrik sebesar 2880 rpm bersesuaian dengan 48 Hz, dimana gejala *unbalance* ditunjukkan pada 1 kali kecepatan putaran (1xrpm) (Wowk, 1995). Amplitudo sinyal suara sebelum dilakukan *balancing* ditunjukkan pada Gambar 7.



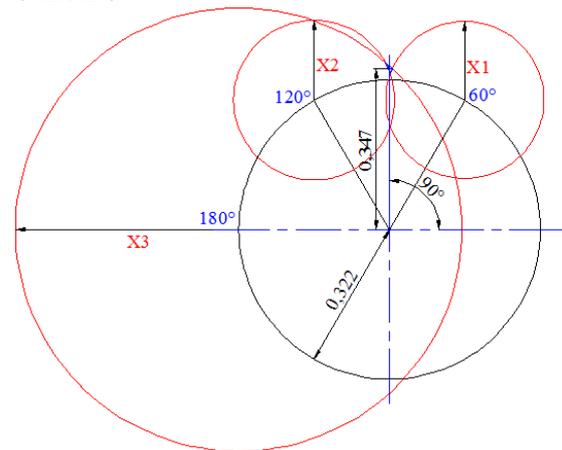
Gambar 7. Amplitudo Sinyal Suara Sebelum Dilakukan *Balancing*

Terdapat gejala gangguan kelistrikan yang menimbulkan puncak amplitudo sinyal suara dengan nilai 0,1 V pada frekuensi 50 Hz. Hal ini harus diperhatikan saat melakukan pengujian. Selanjutnya pengujian dilakukan dengan menandai sudut pengujian sebanyak 3 sudut yaitu 60° , 120° , dan 180° dengan berat massa coba yang sama yaitu 7 gram. Berdasarkan pencuplikan sinyal suara diperoleh data *balancing* seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Percobaan Kondisi Normal pada Satu Buah Rotor

No	Posisi Massa Coba (θ)	Amplitudo Sinyal Suara (Volt)
1	Tanpa Massa Coba	0,322
2	60°	0,169
3	120°	0,172
4	180°	0,477

Setelah hasil percobaan pengukuran amplitudo sinyal suara untuk kondisi normal pada satu buah rotor didapatkan, maka dilakukan analisis grafis berdasarkan data yang diperoleh seperti pada Gambar 8.

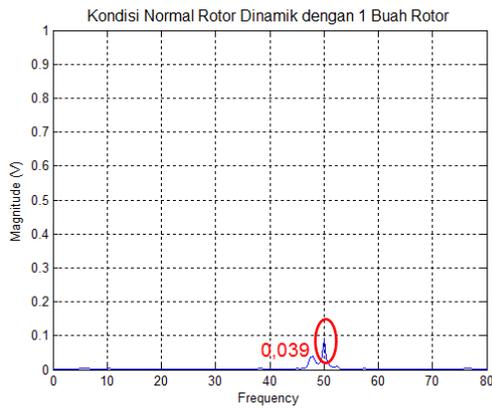


Gambar 8. Analisis Grafis untuk Kondisi Normal pada Satu Buah Rotor

Berdasarkan analisis grafis yang telah dilakukan, didapatkan amplitudo sinyal suara akibat *unbalance mass* adalah $x_t = 0,347$ V. Posisi *balancing* adalah pada $\theta = 90^\circ$, pada radius yang sama dengan massa coba $r_p = 55$ mm dari titik acuan. *Balancing* mass dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$M_p = \frac{0,322 \text{ V}}{0,347 \text{ V}} \times 7 \text{ gram} \times \frac{55 \text{ mm}}{55 \text{ mm}} = 6,49 \text{ gram}$$

Setelah didapatkan posisi *balancing* dan *balancing mass* yang sesuai pada 90° dengan massa 6,49 gram, maka dilakukan proses pengujian *balancing* untuk mengetahui nilai amplitudo setelah dilakukan *balancing*. Pada pengujian didapatkan amplitudo sinyal suara sebesar 0,039 V seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Amplitudo Sinyal Suara Setelah Dilakukan *Balancing*

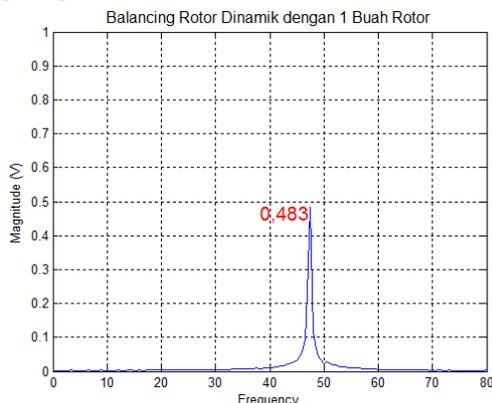
Efisiensi *balancing* didapatkan menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{0,322 \text{ V} - 0,039 \text{ V}}{0,322 \text{ V}} \times 100\% = 87,88\%$$

Nilai efisiensi *balancing* yang diperoleh berdasarkan perhitungan yaitu 87,88%. Nilai amplitudo sinyal suara setelah dilakukan proses *balancing* lebih kecil dari nilai amplitudo sinyal suara sebelum dilakukan proses *balancing*. Berdasarkan nilai efisiensi dan amplitudo sinyal suara yang diperoleh menunjukkan rotor telah dilakukan *balancing* dengan baik. Gejala gangguan kelistrikan dapat dihilangkan dengan cara melakukan *grounding* pada *soundcard*.

3.2 *Balancing* Rotor Dinamik dengan 1 Buah Rotor

Pada *balancing* rotor dinamik dengan 1 buah rotor diberikan *unbalance mass* dengan berat 10 gram pada sudut 180° dan nilai amplitudo sinyal suara sebelum dilakukan *balancing* yaitu 0,483 V seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Amplitudo Sinyal Suara Sebelum Dilakukan *Balancing*

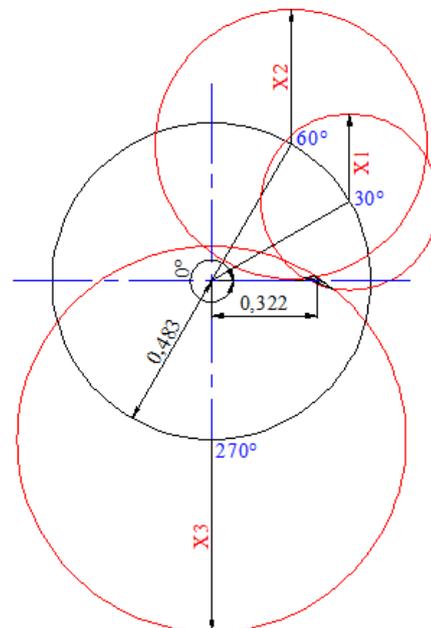
Pengujian dilakukan dengan menandai sudut pengujian sebanyak 3 sudut yaitu 30° , 60° , dan 270° dengan berat massa coba yang sama yaitu 7 gram.

Berdasarkan pencuplikan sinyal suara diperoleh data *balancing* seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Percobaan Kondisi *Unbalance* pada Satu Buah Rotor

No	Posisi Massa Coba (θ)	Amplitudo Sinyal Suara (Volt)
1	Penambahan <i>Unbalance Mass</i>	0,483
2	30°	0,269
3	60°	0,411
4	270°	0,589

Setelah hasil percobaan pengukuran amplitudo sinyal suara untuk kondisi *unbalance* pada satu buah rotor didapatkan, maka dilakukan analisis grafis berdasarkan data yang diperoleh seperti pada Gambar 11.

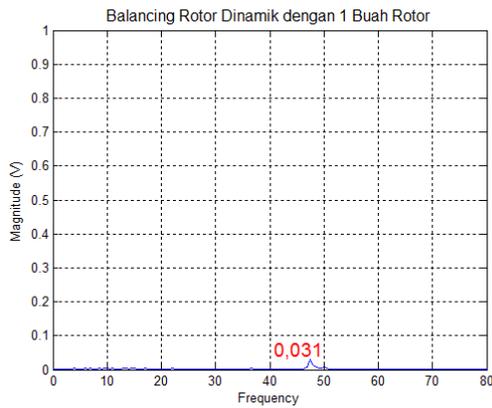


Gambar 11. Analisis Grafis untuk Kondisi *Unbalance* pada Satu Buah Rotor

Berdasarkan analisis grafis yang telah dilakukan, didapatkan amplitudo sinyal suara akibat penambahan *unbalance mass* adalah $x_1 = 0,322 \text{ V}$. Posisi *balancing* adalah pada $\theta = 0^\circ$, pada radius yang sama dengan massa coba $r_p = 55 \text{ mm}$ dari titik acuan. *Balancing mass* dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$M_p = \frac{0,483 \text{ V}}{0,322 \text{ V}} \times 7 \text{ gram} \times \frac{55 \text{ mm}}{55 \text{ mm}} = 10,5 \text{ gram}$$

Setelah didapatkan posisi *balancing* dan *balancing mass* yang sesuai pada sudut 0° dan massa 10,5 gram, maka dilakukan proses pengujian *balancing* untuk mengetahui nilai amplitudo setelah dilakukan *balancing*. Pada pengujian didapatkan amplitudo sinyal suara sebesar 0,031 V seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Amplitudo sinyal suara Setelah Dilakukan *Balancing*

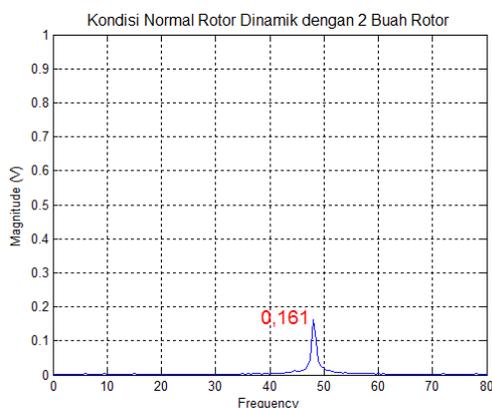
Efisiensi *balancing* didapatkan menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{0,483 \text{ V} - 0,031 \text{ V}}{0,483 \text{ V}} \times 100\% = 93,58\%$$

Nilai efisiensi *balancing* yang diperoleh berdasarkan perhitungan yaitu 93,58%. Nilai amplitudo sinyal suara setelah dilakukan proses *balancing* lebih kecil dari nilai amplitudo sinyal suara sebelum dilakukan proses *balancing*. Berdasarkan nilai amplitudo pengujian untuk *balancing* rotor dinamik dengan 1 buah rotor lebih rendah dibandingkan nilai pengujian untuk kondisi normal rotor dinamik dengan 1 buah rotor. Hal ini menunjukkan proses *balancing* yang dilakukan berjalan dengan baik.

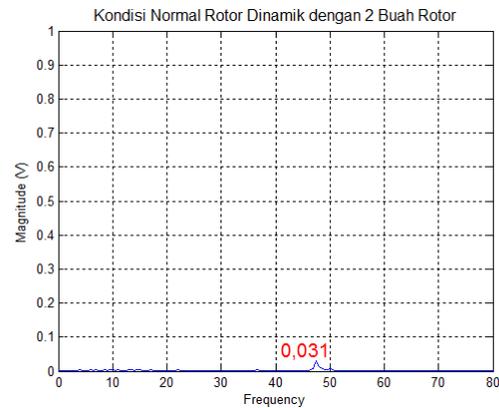
3.3 Kondisi Normal Rotor Dinamik dengan 2 Buah Rotor

Pada kondisi normal rotor dinamik dengan 2 buah rotor dilakukan proses *balancing* menjadi 2 tahap, tahap pertama proses *balancing* dilakukan pada rotor pertama selanjutnya dilakukan *balancing* pada rotor kedua. Amplitudo sinyal suara sebelum dilakukan *balancing* untuk kondisi normal rotor dinamik dengan 2 buah rotor ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Amplitudo Sinyal Suara Sebelum Dilakukan *Balancing*

Nilai amplitudo sinyal suara sebelum dilakukan *balancing* cukup tinggi dengan nilai amplitudo 0,161 V. Setelah dilakukan *balancing* pada kedua rotor nilai amplitudonya turun menjadi 0,031 V seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Amplitudo sinyal suara Setelah Dilakukan *Balancing*

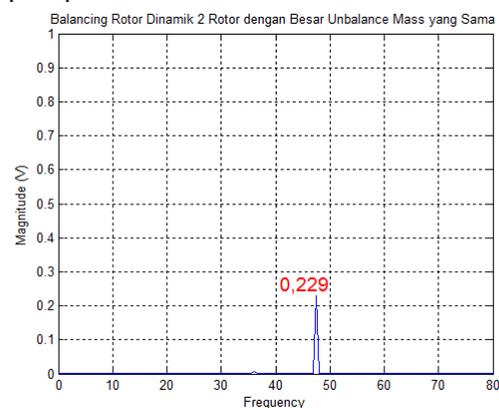
Efisiensi *balancing* didapatkan menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{0,161 \text{ V} - 0,031 \text{ V}}{0,161 \text{ V}} \times 100\% = 80,74\%$$

Nilai efisiensi *balancing* yang diperoleh berdasarkan perhitungan yaitu 80,74%. Nilai amplitudo sinyal suara setelah dilakukan proses *balancing* lebih kecil dari nilai amplitudo sinyal suara sebelum dilakukan proses *balancing*. Berdasarkan nilai efisiensi dan amplitudo sinyal suara yang diperoleh menunjukkan rotor pertama dan kedua telah dilakukan *balancing* dengan baik.

3.4 *Balancing* Rotor Dinamik 2 Rotor dengan Besar *Unbalance Mass* yang Sama

Unbalance mass diletakan pada sudut 240⁰ dan 300⁰ dengan berat 6 gram di rotor pertama dan kedua. Nilai amplitudo untuk *balancing* rotor dinamik 2 rotor dengan besar *unbalance mass* yang sama sebelum dilakukan *balancing* yaitu 0,229 V seperti pada Gambar 15.



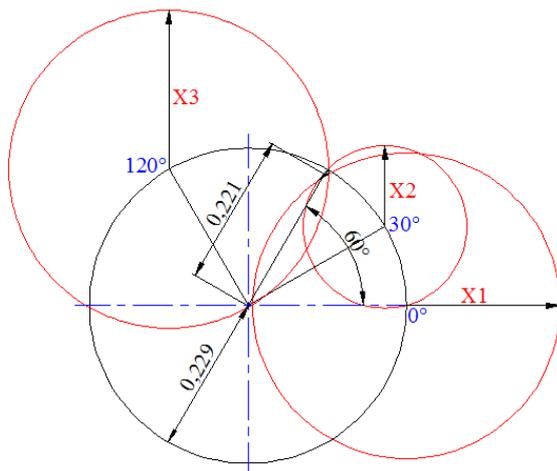
Gambar 15. Amplitudo Sinyal Suara Sebelum Dilakukan *Balancing*

Pengujian dilakukan dengan menandai sudut pengujian sebanyak 3 sudut pada rotor pertama yaitu 0° , 30° , dan 120° dengan berat massa coba yaitu 6 gram. Selanjutnya, pengujian dilakukan dengan menandai sudut pengujian sebanyak 3 sudut pada rotor kedua yaitu 30° , 240° , dan 330° dengan berat massa coba yang sama yaitu 6 gram. Berdasarkan pencuplikan sinyal suara diperoleh data untuk rotor pertama seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Percobaan pada Rotor Pertama

No	Posisi Massa Coba (θ)	Amplitudo Sinyal Suara (Volt)
1	Penambahan <i>Unbalance Mass</i>	0,229
2	0°	0,223
3	30°	0,118
4	120°	0,231

Setelah hasil percobaan pengukuran nilai amplitudo sinyal suara untuk kondisi *unbalance* pada rotor pertama untuk dua buah rotor didapatkan, maka dilakukan analisis grafis berdasarkan data yang diperoleh pada rotor pertama seperti pada Gambar 16.

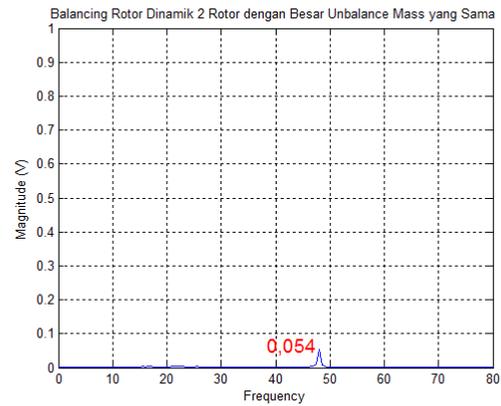


Gambar 16. Analisis Grafis Sistem *Balancing* Hasil Eksperimen untuk Rotor Pertama

Berdasarkan analisis grafis yang telah dilakukan, didapatkan amplitudo sinyal suara akibat *unbalance mass* adalah $x_t = 0,221$ V. Posisi *balancing* adalah pada $\theta = 60^{\circ}$, pada radius yang sama dengan massa coba $r_p = 40$ mm dari titik acuan. *Balancing mass* dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$M_p = \frac{0,229 \text{ V}}{0,221 \text{ V}} \times 6 \text{ gram} \times \frac{40 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} = 6,21 \text{ gram}$$

Setelah didapatkan posisi *balancing* dan *balancing mass* yang sesuai pada 60° dan massa 6,21 gram, maka dilakukan proses pengujian *balancing* untuk mengetahui nilai amplitudo setelah dilakukan *balancing*. Dari pengujian didapatkan amplitudo sinyal suara sebesar 0,054 seperti pada Gambar 17.



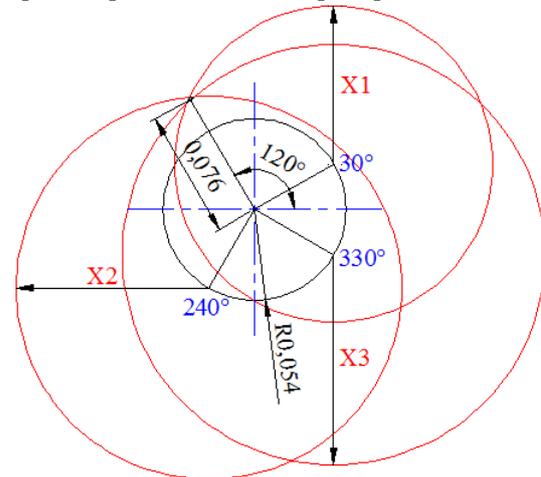
Gambar 17. Amplitudo Sinyal Suara Setelah Dilakukan *Balancing* pada Rotor Pertama

Berdasarkan pencuplikan sinyal suara untuk rotor kedua diperoleh nilai amplitudo sinyal suara seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Percobaan pada Rotor Kedua

No	Posisi Massa Coba (θ)	Amplitudo Sinyal Suara (Volt)
1	Penambahan <i>Unbalance Mass</i>	0,054
2	30°	0,094
3	240°	0,114
4	330°	0,125

Setelah hasil percobaan pengukuran amplitudo sinyal suara untuk kondisi *unbalance* pada rotor kedua untuk dua buah rotor didapatkan, maka dilakukan analisis grafis berdasarkan data yang diperoleh pada rotor kedua seperti pada Gambar 18.

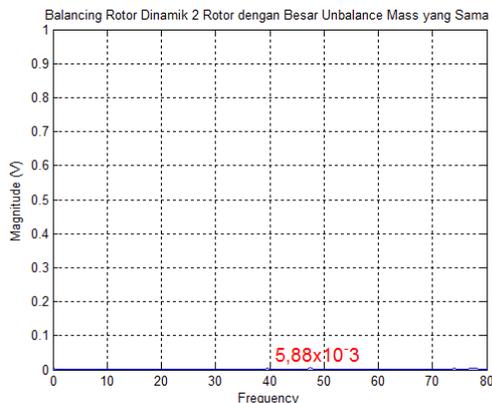


Gambar 18. Analisis Grafis Sistem *Balancing* Hasil Eksperimen untuk Rotor Kedua

Berdasarkan analisis grafis yang telah dilakukan, didapatkan amplitudo sinyal suara akibat *unbalance mass* adalah $x_t = 0,076$ V. Posisi *balancing* adalah pada $\theta = 120^{\circ}$, pada radius yang sama dengan massa coba $r_p = 55$ mm dari titik acuan. *Balancing mass* dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$M_p = \frac{0,054 \text{ V}}{0,076 \text{ V}} \times 6 \text{ gram} \times \frac{55 \text{ mm}}{55 \text{ mm}} = 4,26 \text{ gram}$$

Setelah didapatkan posisi *balancing* dan *balancing mass* yang sesuai pada 120^0 dan massa 4,26 gram, maka dilakukan proses pengujian *balancing* untuk mengetahui nilai amplitudo setelah dilakukan *balancing*. Dari pengujian didapatkan amplitudo sinyal suara sebesar $5,88 \times 10^{-3}$ V seperti pada Gambar 19.



Gambar 19. Amplitudo Sinyal Suara Setelah Dilakukan *Balancing*

Efisiensi *balancing* didapatkan menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{0,229 \text{ V} - (5,88 \times 10^{-3} \text{ V})}{0,229 \text{ V}} \times 100 = 97,43\%$$

Nilai efisiensi *balancing* yang diperoleh berdasarkan perhitungan yaitu 97,43%. Nilai amplitudo sinyal suara setelah dilakukan proses *balancing* lebih kecil dari nilai amplitudo sinyal suara sebelum dilakukan proses *balancing*. Berdasarkan nilai amplitudo pengujian untuk *balancing* rotor dinamik 2 rotor dengan besar *unbalance mass* yang sama lebih rendah dibandingkan nilai pengujian untuk kondisi normal rotor dinamik dengan 2 buah rotor. Hal ini menunjukkan proses *balancing* yang dilakukan berjalan dengan baik.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian berat suatu *balancing mass* tergantung dari analisis grafis yang dilakukan serta menentukan keberhasilan *balancing* dalam pemberian massa pada suatu rotor yang dilakukan *balancing*. Nilai amplitudo sinyal suara sebelum dilakukan proses *balancing* pada rotor cenderung memiliki nilai yang tinggi tapi setelah dilakukan proses *balancing* nilai amplitudo sinyal suara menjadi lebih rendah yang menunjukkan proses *balancing* berjalan dengan baik, dimana nilai amplitudo sinyal suara sebelum dilakukan *balancing* untuk kondisi normal pada satu buah rotor yaitu 0,322 V namun setelah dilakukan *balancing* nilai

amplitudo sinyal suara menjadi 0,039 V. Gejala *unbalance* pada pengujian ditandai dengan adanya frekuensi dominan pada 1 x rpm, dimana kecepatan putaran motor listrik pada saat dilakukan pengujian yaitu 2880 rpm. Hal ini mengindikasikan adanya gejala *unbalance* pada frekuensi 48 Hz.

Daftar Pustaka

Djadir, B., Hafaifa, A., dan Abdellah, K., 2016, 'Rotor Vibration Dynamic Analysis Helps Detect Compressor Defects'. Oil & Gas Journal, 114(7), 64 - 69.

Huda, Febli., 2003, 'Kaji Eksperimental Getaran pada Sistem Rotor Akibat Massa Tak Seimbang dan Ketaksesumbuan', Skripsi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas, Padang.

Rahmanto, Dwi., 2007, 'Pengaruh Variasi Putaran Terhadap Efektifitas *Balancing* Poros Fleksibel pada Proses *Two-Plane Balancing*', Skripsi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

Ramali, A., Setiyono, B., dan Hidayatno, A., 2012, 'Identifikasi Kerusakan Mesin Berbasis Sinyal Getaran Dengan Metode *Fuzzy Logic*'. Skripsi Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang.

Sulistiono, D., dan Budiman, A., 2015, 'Efektifitas Variasi Putaran dari Proses *Balancing* Terhadap Putaran Kerja Poros yang Sesungguhnya', Mekanika, vol. 1, no. 2, pp. 26-36.

Wowk, Victor., 1995, 'Machinery Vibration, Balancing', McGraw-Hill Inc, New York.

Zhou, S., dan Shi, J., 2001, 'Active Balancing and Vibration Control of Rotating Machinery: A Survey', The Shock and Vibration Digest, vol. 33, no. 4, pp. 361 - 371.