

PENGUJIAN GETARAN MASSA TIDAK SEIMBANG MENGGUNAKAN ACCELEROMETER ADXL 335 DENGAN ARDUINO

Ade Wahyu Perdana¹, Feblil Huda², Sapdo Utomo³

Laboratorium Kontruksi Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau

¹ade.wahyu@student.unri.ac.id ²feblil.huda@eng.unri.ac.id ³sapdo003@lipi.go.id

Abstract

Machines that operate under certain conditions will experience a performance degradation that will cause vibration, one of which is caused by unbalance symptoms. Machines with unbalance conditions that occur under safe conditions can damage components in a machine. One of them is the damage to the bearing and the entire shaft system of a machine. Efforts to overcome this matter required preventive maintenance with the contact measurement method by attaching a vibration sensor in the form of an ADXL335 accelerometer with the help of Arduino. Accelerometer ADXL335 is attached to the engine component that is operating with the sensor output measurement in the form of vibration signal amplitude. The unbalance indication of the test is characterized by the presence of the dominant frequency at one rotational speed (1xRPM). From the test, the result of balancing of normal condition in one rotor are 0.0165 G with balancing efficiency 78.47 %. The addition of unbalance mass on one rotor obtained balancing result that is 0.01593 G with efficiency of balancing respectively 78.09%.

Keywords: vibration signal, unbalance, balancing, Accelerometer, Arduino, ADXL335, unbalance mass

1. Pendahuluan

Perkembangan dunia industri dan manufaktur di Indonesia saat ini berkembang sangat pesat. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat pertumbuhan produksi industri manufaktur besar dan sedang (IBS) sebesar 5.51 % secara tahunan (*year on year/yoY*) pada kuartal III 2017. Angka ini tercatat lebih tinggi dibanding kuartal II/2017 sebesar 3.89 % dan periode yang sama tahun lalu sebesar 4.87 % [1].

Pertumbuhan produksi industri manufaktur ini akan meningkatkan penggunaan mesin-mesin berputar dengan kecepatan tinggi untuk membantu dan mempermudah dalam pekerjaan industri. Mesin-mesin berputar yang digunakan misalnya peralatan permesinan, *turbomachinery* industri, dan mesin turbin gas pesawat terbang, pompa, *fan*, kompresor dan lain-lain [2].

Mesin dengan poros yang berputar pada putaran kerja tinggi sampai dengan 3000 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 [3].

Solusi untuk mengatasi hal tersebut salah satunya menggunakan pemeliharaan pencegahan (*Preventive Maintenance*). *Preventive maintenance* yang dilakukan salah satunya adalah kegiatan inspeksi dengan metode pengukuran vibrasi mesin yang sedang berjalan. Metode pengukuran getaran mesin terdapat 2 jenis yaitu, pengukuran getaran dengan menempel sensor getaran ke benda kerja yang akan diamati getarannya (*contact measurement*) dan pengukuran getaran tanpa

menempelkan sensor getaran ke benda kerja yang akan diamati getarannya (*noncontact measurement*).

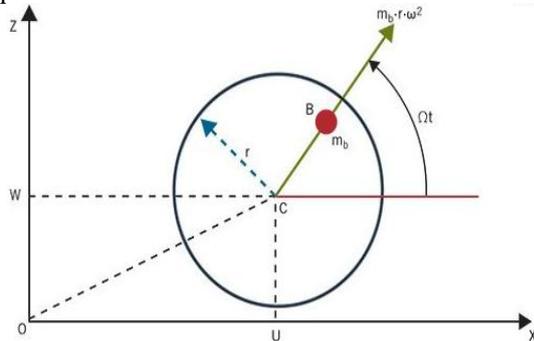
Berdasarkan penelitian terdahulu yang menggunakan metode *noncontact measurement*, dalam pengaplikasian pengukuran menggunakan sinyal suara dapat melakukan pengukuran getaran tidak seimbang pada mesin dengan baik. Namun, ada beberapa kekurangan salah satunya munculnya frekuensi di 50 Hz akibat gangguan kelistrikan serta banyaknya *noise* yang terjadi akibat dari pengukuran getaran mesin [4].

Untuk mengatasi hal tersebut, maka dilakukanlah metode *contact measurement* dengan menggunakan sensor getaran yaitu *accelerometer*. *Accelerometer* merupakan salah satu sensor yang dapat mengukur respon getaran pada alat uji dengan keunggulan harga yang murah, dimensi yang kecil dan ringan serta penggunaannya hanya menempelkan *accelerometer* pada alat yang akan diuji getarannya. Suatu rotor yang diputar oleh motor listrik dapat dilakukan pengambilan sinyal getaran menggunakan *accelerometer*. Hal tersebut menjadi suatu alternatif dalam proses *balancing*. *Accelerometer* dapat mendeteksi getaran akibat *balancing* yang dengan memanfaatkan Arduino sebagai data akuisisi dalam pengambilan data getaran. Pengolahan selanjutnya menggunakan *software* MATLAB 16 untuk mengubah sinyal getaran dalam domain waktu dan diolah lebih lanjut untuk mendapatkan sinyal dalam domain frekuensi dengan bantuan *Fast Fourier Transform* (FFT).

2. Metode

2.1 Studi Literatur

Unbalance adalah suatu kondisi dimana pusat massa rotor tidak berimpit dengan pusat massa poros, sehingga ketika elemen ini berputar akan menimbulkan gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal mengeksitasi sistem selama sistem berputar, sehingga menimbulkan getaran seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Unbalance* pada Rotor [5].

Semakin besar *unbalance* yang terjadi, gaya sentrifugal yang menimbulkan getaran juga akan semakin besar. Jika sinyal getaran yang dianalisis dalam *frequency domain* memiliki amplitudo yang relatif besar pada frekuensi ($1 \times \text{RPM}$), maka *unbalance* harus dimasukkan sebagai salah satu prioritas dalam daftar penyebab getaran [6].

Balancing merupakan sebuah upaya untuk mengurangi *unbalance* pada mesin yang berputar. *Balancing* terdiri dari prosedur pengukuran getaran dan menambahkan atau mengurangi beban untuk mengatur (*adjust*) distribusi massa. Tujuan *balancing* adalah menyeimbangkan mesin putar, yang pada akhirnya akan mengurangi getaran yang terjadi [7].

Balancing mass merupakan suatu massa tambah pada suatu rotor yang akan di *balancing* untuk mereduksi efek getaran yang terjadi. *Balancing mass* didapatkan dengan persamaan 1 berikut [8].

$$M_p = \frac{x_0}{x_t} \cdot m_c \cdot \frac{r_c}{r_p} \dots\dots\dots 1$$

Keterangan:

- M_p = *Balancing mass* (gr)
- x_0 = Amplitudo sebelum *balancing* (G)
- x_t = Amplitudo sinyal getaran yang disebabkan massa coba (G)
- 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*. Dalam proses *balancing* diharapkan nilai efisiensi yang besar sebagai pembuktian proses *balancing* yang dilakukan berjalan dengan benar. Efisiensi *balancing* didapatkan dengan persamaan 2 berikut [8].

$$\eta = \frac{x_0 - x}{x_0} \times 100\% \dots\dots\dots 2$$

Keterangan:

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

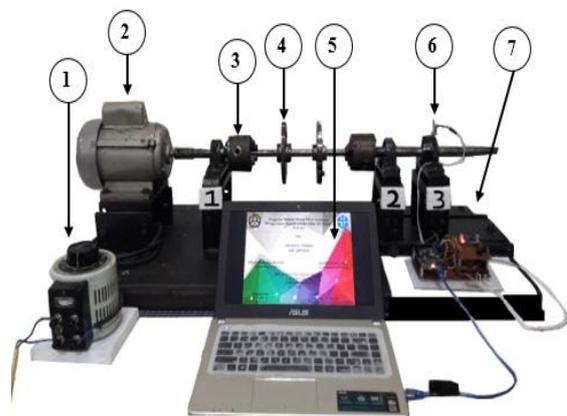
2.2 Setup Pengujian

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. *Accelerometer* ADXL 335 untuk mengukur sinyal getaran.
7. Arduino Due dan Arduino IDE 1.8.5 sebagai Sebagai data akuisisi getaran.

Langkah pertama dalam uji *balancing* adalah 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.

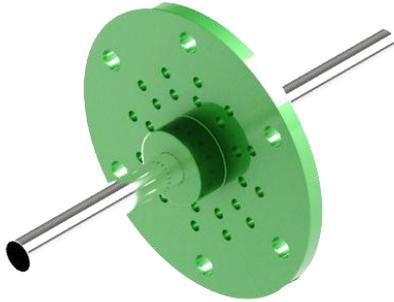


| Nomor | Jumlah | Nama |
|-------|--------|-------------------------------|
| 1 | 1 | <i>Slide Regulator</i> |
| 2 | 1 | Motor Listrik AC |
| 3 | 2 | <i>Chuck</i> Rahang Tiga |
| 4 | 2 | Rotor |
| 5 | 1 | Laptop |
| 6 | 1 | <i>Accelerometer</i> ADXL 335 |
| 7 | 1 | Arduino Data Akuisisi |

Gambar 2. Alat Uji *Balancing* Rotor Dinamik

2.3 Pengujian Kondisi Normal Rotor Dinamik dengan 1 Buah Rotor

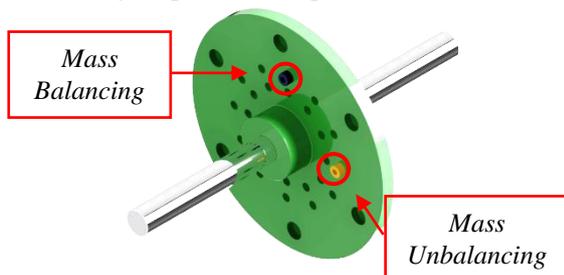
Tahapan awal yang dilakukan untuk kondisi normal rotor dinamik dengan 1 buah rotor adalah membuat keadaan rotor menjadi normal seperti pada gambar 3. Keadaan normal yang dimaksud yaitu suatu keadaan rotor yang tidak mengalami *unbalance* dalam tingkat yang besar. Proses *balancing* menggunakan metode tiga massa coba dengan massa massa coba yang sama pada rotor tersebut.



Gambar 3. Kondisi Normal Rotor Dinamik dengan 1 Buah Rotor

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 terlihat pada Gambar 4.

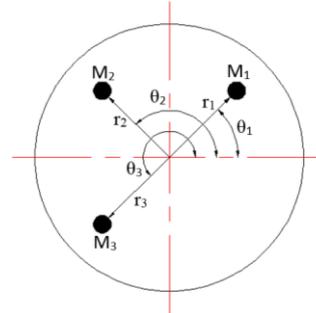


Gambar 4. *Balancing* Rotor Dinamik dengan 1 Buah Rotor

2.5 Proses *Balancing* dan Analisis Grafis

Dalam proses *balancing* dilakukan beberapa metode dalam *balancing* sebuah komponen seperti rotor. Salah satu metode yang digunakan yaitu metode tiga massa coba (*four run methode*), dimana tiga massa coba dengan massa yang sama dipasangkan pada tiga buah posisi pengujian yang telah ditetapkan. Pada tiap posisi pengujian dilakukan pengukuran amplitudo sinyal getaran 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 getaran 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 getarannya diukur dan diberi notasi x_1 .
4. Massa coba satu dilepaskan dan massa coba dua yang massanya 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 getarannya diukur dan diberi notasi x_2 .
5. Massa coba dua dilepaskan dan massa coba tiga yang massanya 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 getarannya diukur dan diberi notasi x_3 .

Hasil pengukuran amplitudo sinyal getaran ditabelkan seperti pada Tabel 1. Data hasil pengukuran amplitudo sinyal getaran digunakan pada analisis grafis untuk mendapatkan besar dan posisi *balancing mass*. Dalam analisis grafis harus dipenuhi persyaratan sebelumnya yaitu $r_1=r_2=r_3$. Untuk penyelesaian *balancing* dilakukan analisis grafis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

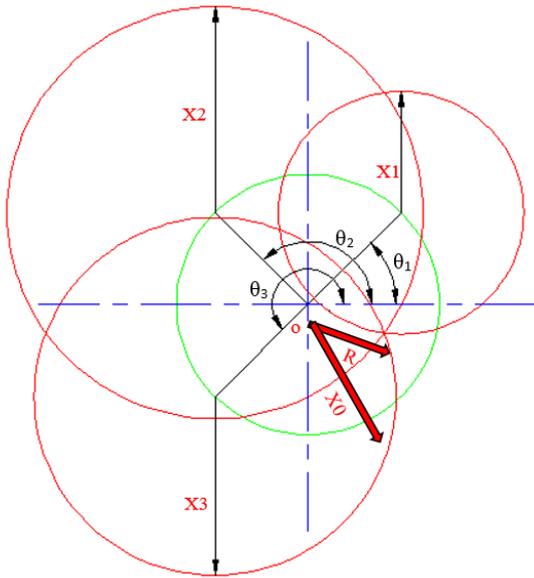
Tabel 1. Hasil Pengukuran Amplitudo Sinyal Getaran dengan Metode *balancing* Tiga Massa Coba

| No | Posisi Massa Coba | Amplitudo Sinyal Getaran |
|----|-------------------|--------------------------|
| 1 | Tanpa Massa | x_0 |
| 2 | r_1, θ_1 | x_1 |
| 3 | r_2, θ_2 | x_2 |
| 4 | r_3, θ_3 | x_3 |

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

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

- Lingkaran untuk massa coba 2 ditentukan berdasarkan nilai amplitudo sinyal getaran dengan radius x_2 pada posisi θ_2 .
- Lingkaran untuk massa coba 3 ditentukan berdasarkan nilai amplitudo sinyal getaran 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*. Sedangkan garis OR adalah amplitudo sinyal getaran 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 Kalibrasi *Accelerometer* ADXL 335

Perubahan percepatan yang mampu di deteksi oleh sensor percepatan salah satunya adalah percepatan gravitasi bumi. Dalam kondisi diam, setiap benda secara normal akan memperoleh gaya tarik bumi. Nilai percepatan yang dialami benda tersebut adalah senilai dengan percepatan gravitasi. Sensor ADXL 335 mampu mengukur percepatan dengan range sebesar ± 3 G. Sensor ADXL 335 mempunyai keluaran analog berupa tegangan.

Pengujian sensor ADXL 335 dilakukan dengan pengukuran tegangan keluaran analog pada kombinasi axis Y, yaitu pada +Y (+1 G) dan -Y (-1 G) yang terlihat pada tabel 2. Pengolahan selanjutnya dapat dihitung Tegangan *Zero G* (M_y) yaitu metode nilai tengah dari rata-rata pengukuran nilai pada +Y (+1 G), -Y (-1 G) dan sensitivitas sensor (dy) yang dapat dilihat berturut-turut pada persamaan 3 dan 4 [9]. Hasil perhitungan Tegangan *Zero G* dan sensitivitas sensor dapat dilihat pada tabel 2.

$$M_y = \frac{axis(y+) + axis(y-)}{2} \dots\dots\dots (3)$$

$$dy = \frac{axis(y+) - axis(y-)}{2} \dots\dots\dots (4)$$

Tabel 2. Tegangan *Zero G* (M_y) dan sensitivitas (dy)

| Y- | Y+ | M_y | dy |
|-----|-----|-------|------|
| 404 | 612 | 508 | 104 |
| 404 | 612 | 508 | 104 |
| 404 | 612 | 508 | 104 |
| 404 | 612 | 508 | 104 |
| 404 | 612 | 508 | 104 |
| 404 | 612 | 508 | 104 |
| 404 | 612 | 508 | 104 |
| 404 | 612 | 508 | 104 |
| 404 | 612 | 508 | 104 |
| 404 | 612 | 508 | 104 |
| 404 | 612 | 508 | 104 |

Nilai pencuplikan data dari percepatan statis dari gravitasi bumi yang terukur dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini.

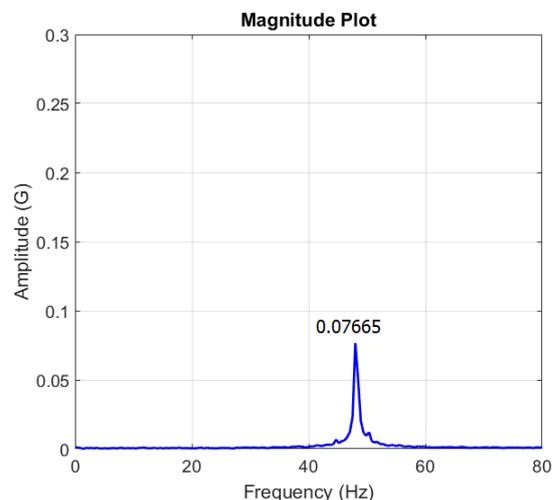
Tabel 3. Percepatan Statis di Sumbu Y

| Y+ (G) |
|--------|
| 1.0101 |
| 1.0101 |
| 1.0101 |
| 1.0101 |
| 1.0101 |
| 1.0101 |
| 1.0101 |
| 1.0101 |
| 1.0101 |
| 1.0101 |

Percepatan dinamis dapat dihitung dengan mengurangi angka 1.0101 G maka didapatkan nilai gravitasi 0 G.

3.2 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) [6]. Amplitudo sinyal getaran sebelum dilakukan *balancing* ditunjukkan pada Gambar 7.



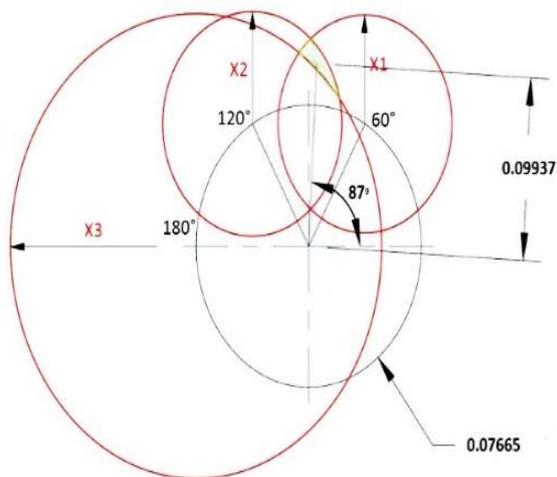
Gambar 7. Amplitudo Sinyal Getaran Tanpa Menggunakan Massa Coba

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan menandai 3 sudut pengujian yaitu sudut 60°, 120°, dan 180° dengan massa massa coba yang sama yaitu 7 gram. Berdasarkan pengambilan sinyal getaran diperoleh data *balancing* seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Percobaan Kondisi Normal Rotor Dinamik dengan 1 Buah Rotor

| No | Posisi Massa Coba (θ) | Amplitudo Sinyal Getaran (G) |
|----|-----------------------|------------------------------|
| 1 | Tanpa Massa Coba | 0.07665 |
| 2 | 60° | 0.05921 |
| 3 | 120° | 0.06094 |
| 4 | 180° | 0.1263 |

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

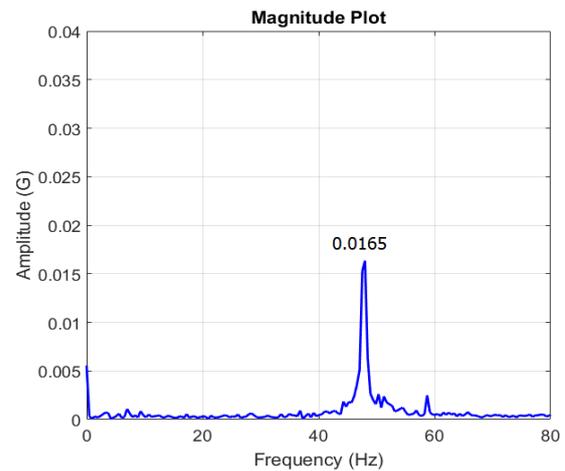


Gambar 8. Analisis Grafis untuk Kondisi Normal Rotor Dinamik dengan 1 Buah Rotor

Berdasarkan analisis grafis yang telah dilakukan, didapatkan amplitudo sinyal getaran akibat *unbalance mass* adalah $x_t = 0.09937$ G. Posisi *balancing* adalah pada $\theta = 90^\circ$, pada radius yang sama dengan massa coba $r_p = 40$ mm dari titik acuan. *Balancing mass* dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$M_p = \frac{0.07665 \text{ G}}{0.9937 \text{ G}} \cdot 7 \text{ gr} \cdot \frac{40 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} = 5.4 \text{ gr}$$

Proses selanjutnya yaitu, pengujian *balancing* untuk mengetahui nilai amplitudo setelah dilakukan *balancing*. Hasil pengujian didapatkan amplitudo sinyal getaran sebesar 0.0165 G seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Amplitudo Sinyal Getaran setelah Dilakukan *Balancing*

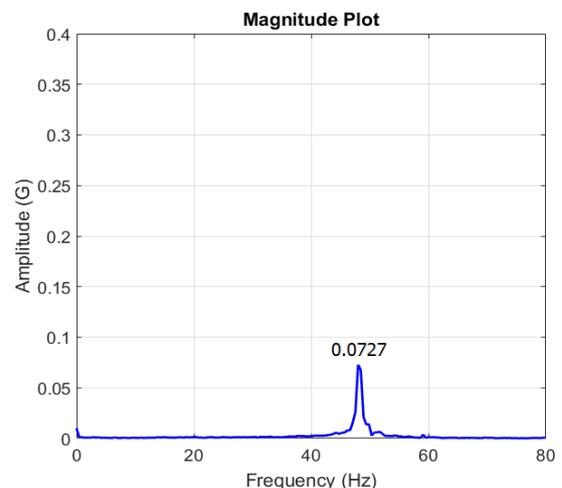
Efisiensi *balancing* hasil pengujian didapatkan dengan menggunakan persamaan :

$$\eta = \frac{0.07665 \text{ G} - 0.0165}{0.07665 \text{ G}} \times 100\% = 78.474\%$$

Nilai efisiensi *balancing* yang diperoleh berdasarkan perhitungan yaitu 78.474%. Nilai amplitudo sinyal getaran setelah dilakukan proses *balancing* lebih kecil dari nilai amplitudo sinyal getaran sebelum dilakukan proses *balancing*. Berdasarkan nilai efisiensi dan amplitudo sinyal getaran yang diperoleh menunjukkan rotor telah dilakukan *balancing* dengan baik.

3.3 *Balancing* Rotor Dinamik dengan 1 Buah Rotor

Pada *balancing* rotor dinamik dengan 1 buah rotor diberikan *unbalance mass* dengan massa 10 gram pada sudut 180° dan nilai amplitudo sinyal getaran sebelum dilakukan *balancing* yaitu 0.0727 G seperti pada Gambar 10.



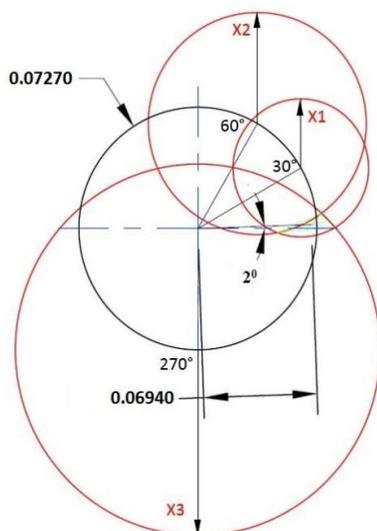
Gambar 10. Amplitudo Sinyal Getaran dari Penambahan *Unbalance Mass*

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan menandai 3 sudut pengujian yaitu sudut 30°, 60°, dan 270° dengan massa massa coba yang sama yaitu 7 gram. Berdasarkan pengambilan sinyal getaran diperoleh data *balancing* seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Percobaan Kondisi *Unbalance* pada Satu Buah Rotor

| No | Posisi Massa Coba (θ) | Amplitudo Sinyal Getaran (G) |
|----|----------------------------------|------------------------------|
| 1 | Penambahan <i>Unbalance Mass</i> | 0.0727 |
| 2 | 30° | 0.04142 |
| 3 | 60° | 0.0666 |
| 4 | 270° | 0.1018 |

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

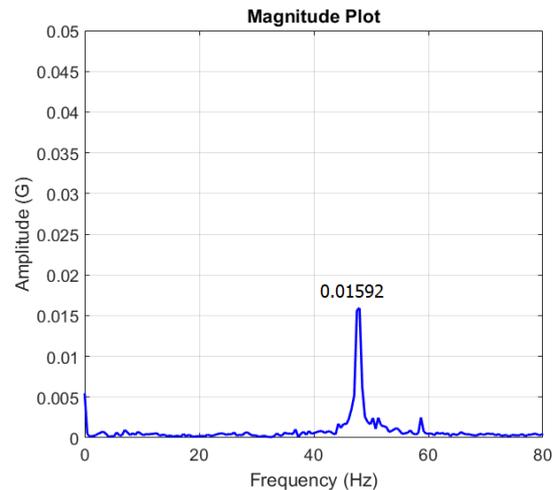


Gambar 11. Analisis Grafis untuk Kondisi *Unbalance* pada Satu Buah Rotor

Berdasarkan analisis grafis yang telah dilakukan, didapatkan amplitudo sinyal getaran akibat penambahan *unbalance mass* adalah $x_i = 0.06940$ G. Posisi *balancing* adalah pada $\theta = 0^\circ$, pada radius yang sama dengan massa coba $r_p = 40$ mm dari titik acuan. *Balancing mass* dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$M_p = \frac{0.0727 \text{ G}}{0.6940 \text{ G}} \cdot 7 \text{ gr} \cdot \frac{40 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} = 7.33 \text{ gr}$$

Proses selanjutnya yaitu, pengujian *balancing* untuk mengetahui nilai amplitudo setelah dilakukan *balancing*. Hasil pengujian didapatkan amplitudo sinyal getaran sebesar 0.01593 G seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Amplitudo Sinyal Getaran setelah Dilakukan *Balancing*

Efisiensi *balancing* hasil pengujian didapatkan dengan menggunakan persamaan :

$$\eta = \frac{0.0727 \text{ G} - 0.01593}{0.0727 \text{ G}} \times 100\% = 78.088\%$$

Nilai efisiensi *balancing* yang diperoleh berdasarkan perhitungan yaitu 78.088 %. Nilai amplitudo sinyal getaran setelah dilakukan proses *balancing* lebih kecil dari nilai amplitudo sinyal getaran 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 dimana nilai amplitudonya masing-masing 0.01592 G dan 0.0165 G. Hal ini menunjukkan proses *balancing* yang dilakukan berjalan dengan baik.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian massa 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 getaran sebelum dilakukan proses *balancing* pada rotor memiliki nilai yang tinggi tapi setelah dilakukan proses *balancing* nilai amplitudo sinyal getaran menjadi lebih rendah yang menunjukkan proses *balancing* berjalan dengan baik, dimana nilai amplitudo sinyal getaran sebelum dilakukan *balancing* untuk kondisi normal pada satu buah rotor yaitu 0.07765 G. Namun, setelah dilakukan *balancing* nilai amplitudo sinyal getaran menjadi 0.0165. Gejala *unbalance* yang terjadi pada pengujian ditandai dengan adanya frekuensi dominan yang muncul pada 1xRPM, dimana kecepatan putaran motor listrik pada saat dilakukan pengujian yaitu 2880 rpm. Hal ini mengindikasikan adanya gejala *unbalance* pada frekuensi 48 Hz.

Daftar Pustaka

- [1] Kemenperin. 2017. Tumbuh 5.5 Persen, Produksi Industri Nasional Semakin Agresif. <http://www.kemenperin.go.id/artikel/18355/Tumbuh-5.5-Persen,-Produksi-Industri-Nasional-Semakin-Agresif> (Diakses tanggal 4 April 2018).
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Saputra, Ariadi. 'Balancing Rotor Dinamik Menggunakan Sinyal Suara'. *Jurnal Online Mahasiswa*. vol 5. no.1.
- [5] Djaidir, B., Hafafa, A., dan Abdallah, K. 2016. 'Rotor Vibration Dynamic Analysis Helps Detect Compressor Defects'. *Oil & Gas Journal*. 114(7). 64 - 69.
- [6] Wovk, Victor., 1995, 'Machinery Vibration, Balancing', McGraw-Hill Inc, New York.
- [7] Tim Getaran Mekanis. 2002. Panduan Praktikum Fenomena Dasar Mesin, sub Getaran Mekanis, modul III. *Balancing Empat Putaran (Four-run balancing)*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [8] M Bur. M Okuma. J Malta. F Huda, 2010, 'Experimental Study of Vibration on Rotor System Due to to Unbalance Mass and Misalignment'. *Poros*. Vol. 8, no.4.
- [9] Setiawan, Iwan, Setiyono, Budi, Susilo, Tri Bagus.2012. 'Hasil Uji Kalibrasi Sensor Accelerometer ADXL 335'. *Transmisi*, [S.l.], p. 118-122. ISSN 2407–6422.