

Perancangan Mesin *Balancing* Dinamis pada Putaran Maksimal 1485 RPM dengan Metode 4 Massa Coba

Imron Fahreza Yudha, Murni*

Departemen Teknologi dan Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*mochmurni@lecturer.undip.ac.id

Abstract

Unbalance is defined as the condition that exists in the rotor when a vibratory force or motion is exerted on its bearings as a result of centrifugal force. Balancing is the treatment of unbalanced components by providing another centrifugal force that will oppose the original centrifugal force or by eliminating the force. Balancing process aims to reduce vibrations that occur in the rotor system by adding or reducing mass in the rotor. To determine the state of unbalance, a vibration meter is used to measure the value of vibrations that occur in unbalanced test objects.

The dynamic balancing machine is designed on a laboratory scale as a support for the lecture process related to testing the balance of objects that work in rotation on the Mechanical Design Engineering S.Tr campus. In the design and construction of this dynamic balancing test tool, the design was carried out using SolidWorks software with a motor power of 1 hp with a maximum rotational speed of 1485 RPM and using a fixed shaft mounted on a test object with 2 hole disks for placement of the test mass.

In the test, the 4 dynamic trial mass method was used, with the condition of the disk object being an unbalance mass of 10 grams with a different position in the two planes. This increase in mass causes the object to experience dynamic imbalance, and the vibration value becomes higher than the initial state of the machine. Then a balancing calculation was carried out, the balancing mass value for the left rotor was 5.278 g at position 0^0 and 13.17 g at position 270^0 , while on the right rotor a counterweight mass was 0.17 g at position 0^0 and 2.44 g at position 270^0 . After the balancing mass is installed, the results of the decrease in vibration value due to the addition of mass are 74% on the left bearing and 88% on the right bearing. In this test, the rotor was tested at several rotational speeds and all of them showed a decrease in the vibration value.

Keywords : *Balancing, rotor, vibration*

Abstrak

*Unbalance atau ketidakseimbangan didefinisikan sebagai kondisi yang ada di rotor ketika gaya atau gerakan getaran yang diberikan ke bantalannya sebagai akibat dari gaya sentrifugal. Penyeimbangan (*Balancing*) yaitu perlakuan terhadap komponen yang mengalami ketidakseimbangan dengan cara memberikan gaya sentrifugal lain yang akan melawan gaya sentrifugal semula atau dengan cara menghilangkan gaya tersebut. Proses *Balancing* bertujuan untuk mengurangi getaran yang terjadi pada sistem rotor dengan menambahkan atau mengurangi massa pada rotor. Untuk mengetahui keadaan *unbalance* digunakan vibration meter untuk mengukur nilai getaran yang terjadi pada benda uji yang *unbalance*.*

*Mesin *Balancing* dinamis dirancang dalam skala laboratorium sebagai penunjang proses perkuliahan yang berkaitan dengan pengujian keseimbangan benda yang bekerja secara rotasi di kampus S.Tr Rekayasa Perancangan Mekanik. Pada rancang bangun alat uji *Balancing* dinamis ini, dilakukan desain menggunakan software SolidWorks dengan daya motor 1 hp dengan kecepatan putar maksimal 1485 RPM dan menggunakan fixed shaft yang dipasang benda uji 2 buah disk lubang untuk penempatan massa pengujian.*

*Pada pengujian digunakan metode 4 massa coba dinamis, dengan kondisi benda uji disk dipasang massa *unbalance* sebesar 10 gram dengan posisi yang berbeda pada kedua bidang. Penambahan massa ini menyebabkan benda mengalami ketidakseimbangan secara dinamis, dan nilai getaran menjadi lebih tinggi dari kondisi awal mesin. Kemudian dilakukan perhitungan penyeimbangan, didapatkan nilai massa penyeimbang untuk rotor bagian kiri sebesar 5,278 gr pada posisi 0^0 dan 13,17 gr pada posisi 270^0 , sedangkan pada rotor bagian kanan didapatkan massa penyeimbang sebesar 0,17 gr pada posisi 0^0 dan 2,44 gr pada posisi 270^0 . Setelah massa penyeimbang dipasang didapatkan hasil penurunan nilai getaran akibat penambahan massa sebesar 74 % pada bantalan kiri dan 88 % pada bantalan kanan . pada pengujian ini, rotor diuji dalam beberapa kecepatan putar dan semuanya menunjukkan penurunan nilai getaran.*

Kata kunci: *Balancing, rotor, getaran*

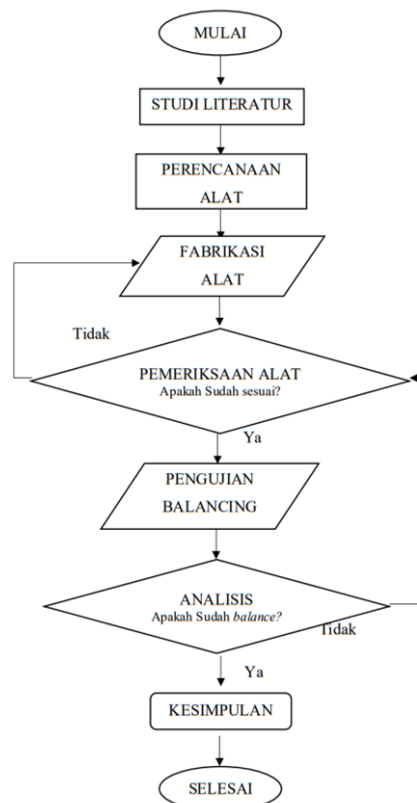
1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan yang sangat pesat membuat semakin banyaknya diproduksi mesin - 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 tersebut pada umumnya terdiri dari poros yang berputar dengan putaran tertentu [1]. Pada mesin-mesin yang bekerja secara rotasi, kondisi *unbalance* dapat terjadi karena massa yang berlebih pada bagian rotor, komponen penyusun rotor yang tidak homogen, kesalahan proses produksi, dan desain yang tidak simetris. ISO 1925 : 2001 mendefinisikan *unbalance* atau ketidakseimbangan sebagai kondisi yang ada di rotor ketika gaya atau gerakan getaran yang diberikan ke bantalannya sebagai akibat dari gaya sentrifugal [2]. Oleh karena itu sebelum beroperasi mesin-mesin tersebut harus melalui proses *balancing* supaya mesin dapat berputar dengan cepat tanpa mengalami getaran dan resonansi yang tinggi [3].

Getaran adalah gerakan beraturan dan berulang secara kontinyu atau dapat juga berupa gerakan tidak beraturan atau acak [4] Getaran yang disebabkan oleh keadaan ketidakseimbangan terjadi pada (1X) RPM elemen yang mengalami ketidakseimbangan dan amplitudo getaran sebanding dengan besarnya ketidakseimbangan yang terjadi pada mesin dengan poros putar, amplitudo terbesar dan terukur pada arah horizontal [5,6]. Amplitudo yang didapatkan dari sinyal getaran berfungsi untuk mengidentifikasi gangguan yang terjadi. Semakin tinggi atau besar nilai amplitudo, maka menandakan semakin besar juga gangguan yang terjadi [7]. Salah satu penyeimbangan yang sering digunakan adalah penyeimbangan secara dinamis, karena mencakup keseluruhan kondisi *unbalance* pada sebuah rotor [5]. Pada penelitian ini, dikembangkan alat instrumentasi pengujian *balancing* dinamis. Metode penyeimbangan yang digunakan yaitu 4 massa coba tanpa sudut fasa [8]. Metode ini hanya menggunakan amplitudo getaran pada kedua bantalan untuk dicari massa penyeimbangannya. Pada penelitian ini, benda uji diberikan massa tak seimbang sebesar 10 gram pada kedua bidang, kemudian akan dilakukan penyeimbangan secara dinamis. Penelitian ini bermaksud mengimplementasikan penyeimbangan dinamis menggunakan alat instrumentasi yang dirancang dengan metode 4 massa coba tanpa sudut fasa, selain itu juga bertujuan untuk menganalisa kondisi benda uji sebelum dan sesudah diseimbangkan.

2. Material dan metode penelitian

2.1 Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini, alat uji *balancing* dinamis dirancang dengan benda uji berupa 2 buah disk dengan variasi penempatan massa, pada rancang bangun alat ini dilakukan perhitungan elemen mesin pada poros dan koping [9]. Dalam penelitian ini setelah dilakukan rancang bangun, dilakukan pengujian *balancing* dinamis. Dalam penelitian two plane *balancing* ini menggunakan dua buah rotor disk, karena rotor tersebut diasumsikan dalam kondisi balance, maka dipasang massa *unbalance* pada kedua rotor pada posisi sudut penempatan yang berbeda untuk mengasumsikan kondisi tak seimbang dinamis. Setelah massa *unbalance* sudah terpasang maka akan dilakukan penyeimbangan pada kedua bidang menggunakan metode 4 massa coba. Metode ini hanya menggunakan data simpangan untuk melakukan penyeimbangan. Parameter yang diukur pada pengujian ini yaitu kecepatan getaran sebagai acuan kondisi balance dan simpangan sebagai data perhitungan untuk menentukan massa penyeimbang.

2.2 Set Up Pengujian

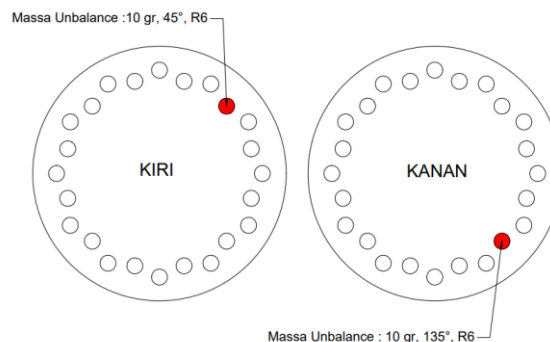
Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji *balancing* dinamis yang telah dirancang. Alat ini dapat bekerja pada kecepatan maksimum 1485 RPM. Benda uji dirancang dengan lubang penempatan massa. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Metrologi dan Instrumentasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.

Adapun alat uji *balancing* dinamis dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2. Alat Uji *Balancing* Dinamis

a. Pengujian dengan massa *unbalance* 10 gram.



Gambar 3. Pemasangan massa tak seimbang 10 gr

Pada pengujian ini, benda rotor dipasang massa tak seimbang sebesar 10 gram pada kedua bidang seperti pada gambar 2.4. Dengan demikian benda mengalami ketidakseimbangan secara dinamis karena pada dua bidang yang berbeda terdapat massa tak seimbang yang tidak berada satu sumbu. Maka dari itu, mengacu pada ISO 21940 - Penyeimbangan dinamis dilakukan jika ketidakseimbangan awal terkonsentrasi pada dua bidang melintang sehingga koreksi dilakukan pada kedua bidangnya [10]. Kemudian untuk data yang diukur yaitu kecepatan getaran pada kondisi awal tanpa penambahan massa, kondisi penambahan massa, dan kondisi setelah diberikan masa penyeimbang. Pada pengujian ini dilakukan percobaan pada beberapa kecepatan putaran rotor. Dengan massa coba yang digunakan sebesar 10 gram,

Langkah-langkah dalam pengujian ini yaitu :

1. Pengujian dimulai dengan melakukan initial run pertama untuk mengukur kecepatan getaran alat uji *balancing*. Pengukuran dilakukan pada Housing bearing di kedua bidang.
2. Kemudian ukur kecepatan getaran (*velocity*), yang timbul di Housing bearing sisi Left (L) dan Right (R) menggunakan vibrometer pada secara radial (horizontal dan vertikal) dan juga pada posisi axial.
3. Selanjutnya, tempatkan massa *unbalance* (mur dan baut) pada lubang-lubang yang terdapat pada disk.
4. Pada *trial run*, (dengan penambahan massa 10 gr) pengukuran getaran pada kondisi ini dilakukan pada putaran 1000 rpm, 1200 rpm, 1400 rpm dan 1485 rpm (maksimum).

5. Kemudian ukur kecepatan getaran (*velocity*), Simpangan (*Displacement*), pada bidang pengukuran Left (L) dan Right (Kanan) tepatnya di Housing Bearing.
 6. Pada Run 1, tempatkan massa coba pada sudut 0° di bidang penempatan Kiri. Lalu Nyalakan motor, atur kecepatan untuk penyeimbangan, dan lakukan pengukuran simpangan (*Displacement*), pada masing-masing bidang pengukuran.
 7. Pada Run 2, 3, dan 4 massa coba di tempatkan pada sudut 90°, 180°, dan 270° kemudian nilai masing-masing getaran diukur menggunakan vibrometer.
 8. Selanjutnya pada run 5, 6, 7, dan 8 mengikuti langkah g dan h, namun perbedaannya massa coba di tempatkan pada bidang penempatan kanan.
- Setelah melakukan pengambilan data, didapatkan hasil pengukuran awal, kondisi tak seimbang, dan parameter getaran pada posisi radial, horixontal dan vertikal serta hasil pengukuran amplitudo pada tiap pemasangan massa coba yang akan digunakan untuk perhitungan massa penyeimbang.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Amplitudo

Posisi massa coba	Bidang Pengukuran	
	Bidang Kiri (A)	Bidang Kanan (B)
Initial Run	0,027	0,022
Posisi 0° bidang 1	0,031	0,031
Posisi 90° bidang 1	0,047	0,04
Posisi 180° bidang 1	0,042	0,036
Posisi 270° bidang 1	0,016	0,013
Posisi 0° bidang 2	0,034	0,029
Posisi 90° bidang 2	0,037	0,042
Posisi 180° bidang 2	0,032	0,037
Posisi 270° bidang 2	0,019	0,012

Setelah itu dilakukan perhitungan massa penyeimbang dengan metode perhitungan 4 massa coba tanpa sudut fasa[6]:

Menentukan nilai ϕ_a ,

$$\phi_a = \tan^{-1} \left[\frac{(0,047)^2 - (0,016)^2}{(0,031)^2 - (0,042)^2} \right]$$

$$\phi_a = -67,6837$$

Menentukan nilai A_t^1 ,

$$A_t^1 = \left[\frac{(0,031)^2 - (0,042)^2}{4 * 0,027 * \cos(-67,6837)} \right]$$

$$A_t^1 = -0,01955$$

Menentukan nilai A_t^2 ,

$$A_t^2 = \left[\frac{(0,034)^2 - (0,032)^2}{4 * A * \cos(-67,6837)} \right]$$

$$A_t^2 = 0,003214$$

Menentukan nilai ϕ_b

$$\phi_b = \tan^{-1} \left[\frac{(0,042)^2 - (0,012)^2}{(0,029)^2 - (0,037)^2} \right]$$

$$\phi_b = -71,984$$

Menentukan nilai B_t^1

$$B_t^1 = \left[\frac{(0,031)^2 - (0,036)^2}{4 * 0,022 * \cos(-71,984)} \right]$$

$$B_t^1 = - 0,012285$$

Menentukan nilai B_t^2

$$B_t^2 = \left[\frac{(0,029)^2 - (0,037)^2}{4 * 0,022 * \cos(-71,984)} \right]$$

$$B_t^2 = -0,01936$$

Setelah mendapatkan nilai A_t^1 , A_t^2 , B_t^1 , B_t^2 , ϕ_a dan ϕ_b , maka dapat ditentukan faktor koreksi pada masing-masing bidang dan sudut penempatan.

Faktor koreksi bidang kiri (A) pada posisi X

$$C_{ax} = \frac{[0,022 * 0,003214 * \cos(-71,98)] - [0,027 * -0,01936 * \cos(-67,68)]}{(-0,01955 * -0,01936) - (0,003214 * -0,012285)}$$

$$C_{ax} = 0,5278$$

Faktor koreksi bidang kiri (A) posisi Y

$$C_{ay} = \frac{[0,022 * 0,003214 * \sin(-71,98)] - [0,027 * -0,01936 * \sin(-67,68)]}{(-0,01955 * -0,01936) - (0,003214 * -0,012285)}$$

$$C_{ay} = -1,317$$

Faktor koreksi bidang kanan (B) posisi X

$$C_{bx} = \frac{((-0,027) * \cos(-67,68)) - ((0,5278) * (-0,01955))}{0,003214}$$

$$C_{bx} = 0,017$$

Faktor koreksi bidang kanan (B) posisi Y

$$C_{by} = \frac{((-0,027) * \cos(-67,68)) - ((-1,317) * (-0,01955))}{0,003214}$$

$$C_{by} = -0,244$$

Setelah didapatkan nilai faktor koreksi untuk setiap bidang , maka massa penyeimbang pada tiap bidang dan posisi dapat ditentukan dengan mengalikan faktor koreksi dengan berat massa coba :

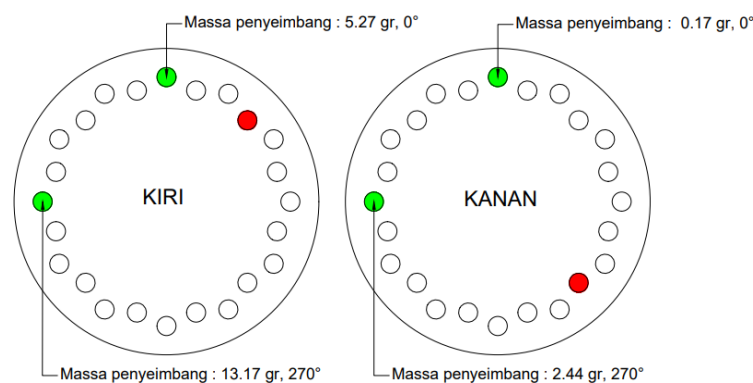
$$M_{ax} = 5,278 \text{ gr} , \text{ bidang kiri posisi penempatan } 0^0$$

$$M_{ay} = -13,17 \text{ gr} , \text{ bidang kiri posisi penempatan } 270^0$$

$$M_{bx} = 0,17 \text{ gr} , \text{ bidang kanan posisi penempatan } 0^0$$

$$M_{by} = -2,44 \text{ gr} , \text{ bidang kanan posisi penempatan } 270^0$$

Dari hasil tersebut, dipasang massa penyeimbang seperti pada gambar 2.5



Gambar 4. Kondisi Pemasangan Massa penyeimbang

3. Hasil dan Pembahasan

Dari data hasil pengukuran pada Tabel 2. Hasil pengukuran pada 3 posisi yang berbeda di bantalan , didapatkan nilai kecepatan getaran pada arah horizontal lebih tinggi daripada kecepatan getaran pada arah aksial maupun vertikal. Menurut ISO-2372, diklasifikasikan untuk diagnosa dari kondisi getaran dari parameter yang diukur berupa kecepatan getaran dengan kondisi yang didapat merupakan kondisi *unbalance*.

Bidang	Kecepatan Putar (RPM)	Kecepatan getaran		
		Horizontal	Aksial	Vertikal
Kiri (A)	1485 (Maks)	3,227	1,134	1,906
Kanan (B)		2,495	1,013	0,759

Tabel 2. Hasil Pengukuran Pada 3 Posisi Berbeda

Pada pengujian yang telah dilakukan, didapatkan 3 data pengukuran pada kondisi berbeda, yaitu kondisi awal, kondisi penambahan massa dan kondisi setelah penyeimbangan. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Pada 3 Kondisi

Bidang	Kecepatan Putar (RPM)	Kecepatan getaran (mm/s)		
		Kondisi awal	Kondisi tak seimbang	Kondisi seimbang
Kiri (A)	1000	0,617	0,944	0,695
Kanan (B)		0,617	0,862	0,635
Kiri (A)	1200	1,597	2,043	1,901
Kanan (B)		0,76	1,332	0,866
Kiri (A)	1400	2,022	2,602	2,216
Kanan (B)		1,069	2,129	1,235
Kiri (A)	1485 (Max.)	2,373	3,227	2,599
Kanan (B)		1,129	2,495	1,207

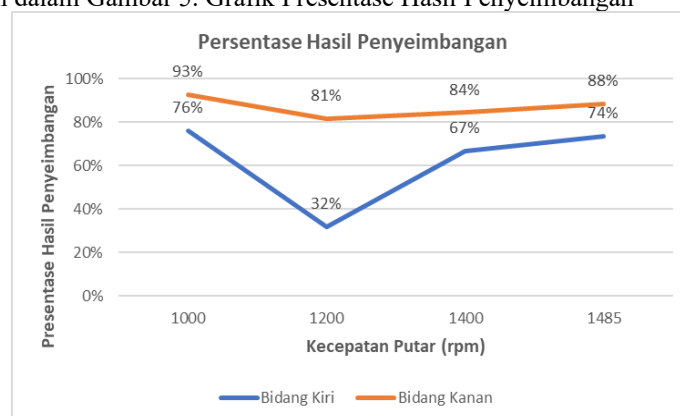
Dari tabel diatas , penambahan massa tak seimbang menyebabkan kenaikan nilai kecepatan getaran yang diukur. Kemudian setelah diseimbangkan nilai getaran setelah diseimbangkan turun pada tiap kecepatan putar yang diujikan. Pada pengujian ini juga dapat dilihat bahwa semakin tinggi kecepatan putar benda uji, semakin tinggi pula getaran yang dihasilkan. Kemudian untuk menganalisa ketidakseimbangan akibat massa tak seimbang sebesar 10 gram, diambil nilai selisih kenaikan nilai getaran dari kondisi awal. Sehingga didapatkan data nilai kenaikan dan penurunan getaran. Data hasil tersebut dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Kenaikan dan penurunan nilai getaran dari kondisi awal

Kecepatan Putar (rpm)	Kenaikan Getaran		Penurunan Getaran		Persentase penyeimbangan (%)	
	Kiri (A)	Kanan (B)	Kiri (A)	Kanan (B)	Kiri (A)	Kanan (B)
1000	0,327	0,245	0,249	0,227	76%	93%
1200	0,446	0,572	0,142	0,466	32%	81%
1400	0,58	1,06	0,386	0,894	67%	84%
1485	0,854	1,366	0,628	1,205	74%	88%

Setelah dianalisa, penambahan massa tak seimbang sebesar 10 gram menyebabkan kenaikan getaran pada kedua bidang, nilai kenaikan getaran semakin tinggi ketika kecepatan putar yang di uji semakin tinggi juga. Kemudian setelah diseimbangkan, terjadi penurunan nilai kecepatan getaran, kemudian selisih nilai penurunan tersebut di representasikan dalam persen sehingga dapat dilihat efektifitas penyeimbangan. Hasil penyeimbangan dengan metode 4 massa coba secara keseluruhan menunjukkan penurunan yang cukup tinggi. Pada kecepatan putar penyeimbangan, yaitu 1485 rpm, dapat menurunkan kecepatan getaran akibat massa tak seimbang sebesar 10 gr sebesar 74% di bidang bantalan kiri dan 88% pada bidang bantalan kanan.

Kemudian data ditampilkan dalam Gambar 5. Grafik Presentase Hasil Penyeimbangan



Gambar 5. Grafik Hasil Penyeimbangan

Pada grafik persentase hasil penyeimbangan, nilai persentase tertinggi didapat pada kecepatan uji 1000 rpm, pada kecepatan 1200, nilai penurunan pada bidang bantalan kiri hanya sebesar 34%, yang merupakan nilai terkecil dibanding hasil yang lain baik pada bidang kiri maupun kanan. Secara keseluruhan, dari parameter yang diukur berupa kecepatan getaran turun pada semua kecepatan putar yang diujikan.

4. Kesimpulan

Pada pengujian ini didapatkan hasil bahwa benda mengalami *unbalance* sebagai akibat dari penambahan massa *unbalance* yang dipasang pada rotor sebesar 10 gr. Setelah diukur pada ketiga posisi bidang pengukuran tiap bantalan, didapatkan nilai getaran pada arah horizontal lebih tinggi daripada getaran pada arah vertikal dan aksial, yang mana menurut ISO-2372 merupakan salah satu parameter benda mengalami *unbalance*. Kemudian dari hasil percobaan di beberapa putaran kerja, semakin tinggi kecepatan putar rotor, nilai kecepatan getaran yang dihasilkan semakin tinggi. Hal ini berlaku pada kondisi sebelum dan sesudah penyeimbangan. Kondisi benda uji setelah ditambahkan massa *unbalance* 10 gr mengalami kenaikan nilai getaran, yang cenderung semakin tinggi jika kecepatan putar rotor semakin tinggi. Kemudian setelah dilakukan perhitungan menggunakan data amplitudo getaran, didapatkan massa penyeimbang untuk bidang kiri sebesar 5,278 gr pada posisi 0^0 dan 13,17 gr pada posisi 270^0 , sedangkan pada rotor bagian kanan didapatkan massa penyeimbang sebesar 0,17 gr pada posisi 0^0 dan 2,44 gr pada posisi 270^0 . Lalu setelah dilakukan penyeimbangan nilai kecepatan getaran mengalami penurunan yang sebelumnya naik akibat penambahan massa tak seimbang 10 gram, dengan persentase penurunan tertinggi terjadi pada putaran 1000 rpm, dengan nilai 76 % pada bidang pengukuran kiri dan 93% pada bidang kanan. Sedangkan persentase penurunan paling rendah terjadi pada putaran 1200 rpm dengan nilai 74 % di bidang kiri dan 88% pada bidang kanan. Secara keseluruhan, nilai getaran akibat. Secara keseluruhan, getaran yang naik akibat penambahan massa tak seimbang sebesar 10 gram pada kedua bidang dapat di turunkan atau diseimbangkan menggunakan metode 4 massa coba tanpa sudut fasa ini.

Daftar Pustaka

- [1] S. Zhou dan J. Shi, "Active Balancing and Vibration Control of Rotating Machinery: A Survey," *The Shock and Vibration Digest*, pp. 361-371, 2001.
- [2] *ISO-1925 Mechanical Vibration - Balancing - Vocabulary*, 2001.
- [3] T. Hadmoko, A. Widodo dan D. Satrio, "Balancing Rotor Dengan Analisis Sinyal Getaran Dalam Kondisi Steady State," *Jurnal Teknik Mesin S-1 Vol. 4, No. 2*, pp. 251-257, 2016.
- [4] R. K. Vierck, *Analisa Getaran*, Bandung: PT Eresco Bandung, 1995.
- [5] D. I. Z. Abidin, *Balancing of Rotating Equipments*, Bandung: Laboratorium Dinamika - PPAU Ilmu Rekayasa Institut Teknologi Bandung, 2004.
- [6] D. Nurhadiyanto, *Getaran Struktur*, Yogyakarta: K-Media, 2015.
- [7] I. K. Swandono, *Karakteristik Getaran Pada 3 Piringan Akibat perubahan Putaran Poros*, Medan, 2019.
- [8] M. T. S. A. Abbood, "A New Mathematical Analysis of Two-Plane Balancing for Long Rotors without Phase Data," *Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences*, pp. 44-18, 2019.
- [9] Sularso, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, Jakarta: Pradnya Pramita, 2004.
- [10] *ISO 21940-12 Procedure & Tolerance For Rotor With Flexible Behaviour*, 2016.