

## ANALISIS KETIDAKSESUMBUAN POROS (*MISALIGNMENT*) PADA ROTORDINAMIK BERDASARKAN SINYAL SUARA

**Dedi Suryadi**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Bengkulu  
Prodi Teknik Mesin  
Email: dedi\_suryadi@unib.ac.id

**M Reza Febriyanto**

Universitas Bengkulu  
Prodi Teknik Mesin  
Email:  
febriyantomuhammadreza@gmail.com

**Fitriлина**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Bengkulu  
Prodi Teknik Elektro  
fitriлина@unib.ac.id

*This research aims to identify misalignment of the rotor dynamics based on sound spectrum characteristic. In this study, rotor dynamics consist of motor, shaft, coupling and bearings. Three types of misalignment were considered, namely parallel, angular, and combination misalignment. In order to obtain the best signal, microphones were used as sensors to capture sound signal placed on coupling and each bearing. The signal obtained was in time series. The sound signal in the time domain is then filtered to remove noise signals, which are then transferred to be signals in the frequency domain using Fast Fourier Transform (FFT). From the test results, it is found that in the case of parallel misalignment, the sound frequency spectrum is obtained with a peak amplitude at 2x rpm. The case of angular misalignment obtained a sound spectrum with a peak amplitude value and is dominant at 1x rpm than 2x rpm. Meanwhile, in the case of a combination of parallel and angular misalignment, a peak amplitude sound spectrum appears at 1x rpm and 2x rpm with relatively close spacing between the peaks of the sound spectrum. The result shows that sound signal can be used for identification of misalignment of the rotor dynamics.*

**Keywords:** *Misalignment, Sound Spectrum, Fast Fourier Transform, Rotor Dynamics.*

### 1. PENDAHULUAN

Mesin yang berputar secara rotasi memegang peranan penting dalam industri seperti turbin, *compressor*, *fan*, *blower*, pompa dan lain lain. Struktur mesin biasanya terdiri poros yang dihubungkan oleh kopling dan motor listrik. Mesin tersebut sering mengalami kegagalan yang dapat menyebabkan kerusakan karena struktur mekaniknya yang rumit dan lingkungan kerja yang buruk membuatnya mudah rusak[1,2]. Komponen utama seperti roda gigi, *bearing*, kopling dan poros akan mudah mengalami berbagai kerusakan yang dapat membahayakan kinerjanya dan bahkan menyebabkan masalah serius jika tidak terdeteksi dan ditangani[3,4]. Untuk mencegah kerusakan dan agar mesin dapat bekerja secara efisien perlu dilakukan perawatan, salah satunya metodenya adalah *predictive maintenance*.

Keuntungan dari *predictive maintenance* adalah perawatan yang dilakukan merupakan suatu tindakan pencegahan sebelum mesin rusak sehingga tidak dapat beroperasi. Perawatan yang dilakukan yaitu dengan memantau dan mengecek getaran pada mesin secara berkala. Pengecekan getaran pada mesin dapat mendeteksi kerusakan seperti *unbalance*, *loosenes* dan *misalignment*[5,6]. Analisis getaran adalah teknik yang paling umum untuk memantau dan mendiagnosis suatu sistem mekanis[7]. Mendeteksi kerusakan dan identifikasi jenis kerusakan terutama *misalignment* sangat penting untuk memastikan keamanan mesin dan kualitas produksi[8,9]. *Misalignment* sangat umum terjadi dalam aplikasi industri, biasanya muncul selama proses perakitan, kopling, roda gigi, atau komponen penggerak lainnya. Diagnosis kesalahan yang tepat dari

mesin berputar dalam industri dapat membantu untuk mengurangi atau bahkan mencegah *breakdown* pada mesin[10].

Hubungan antara kerusakan dan frekuensi karakteristik ini memungkinkan untuk penentuan kondisi operasi motor listrik melalui analisis spektral dari sinyal suara. Selain itu, diagnosis melalui analisis sinyal suara adalah metode *non invasif* yang dapat dengan mudah diimplementasikan[11]. Sinyal suara yang dihasilkan berupa fenomena fisik yang memberikan informasi tentang perilaku suatu sistem dan dapat digunakan sebagai parameter untuk menentukan kondisi dari mesin. Dengan mempertimbangkan suara sebagai perambatan gelombang suara akustik yang dihasilkan oleh getaran mekanis, dapat diharapkan bahwa gelombang suara akustik yang dihasilkan oleh mesin berisi informasi tentang perilaku mesin dan kondisi operasi[11].

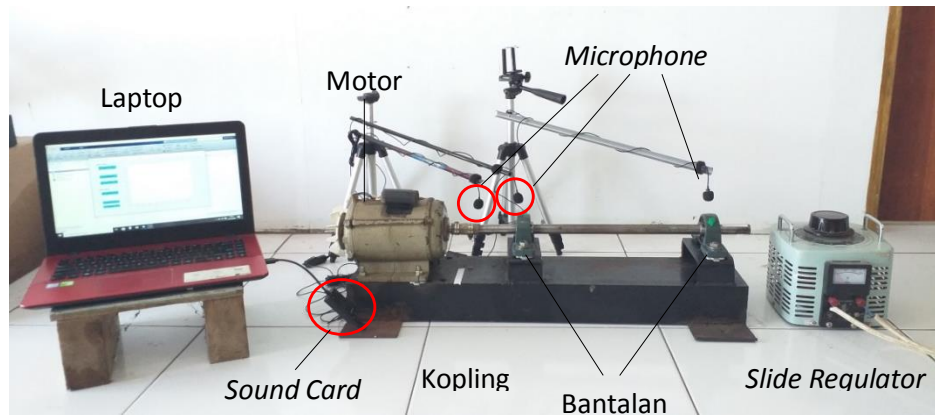
Untuk mengukur sinyal getaran, pada awalnya harus memilih lokasi tertentu seperti bantalan atau *gearbox* dan memasang *accelerometer* pada bagian tertentu untuk mendiagnosisnya. Namun ini membutuhkan waktu yang cukup lama, terutama untuk inspeksi besar-besaran pada banyak mesin yang berbeda. Ini adalah konsekuensi langsung karena sensor *accelerometer* harus dilepas dari mesin yang diuji dan dipasang kembali ke mesin lain[12]. Serta sensor *accelerometer* yang dipasang pada mekanisme dapat menyebabkan serangkaian masalah seperti sinyal diperoleh bervariasi sesuai dengan posisi sensor dan biaya tambahan[13]. Solusi dari permasalahan tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan metode *non contact measurement*, di mana 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*[14]. Analisis sinyal suara akustik untuk deteksi kerusakan pada motor induksi memiliki keuntungan bahwa hasilnya tidak tergantung pada jenis daya pada mesin. Sensor utama adalah mikrofon akustik standar yang dapat ditempatkan di mana saja di dekat mesin yang sedang dianalisis, bukan harus dalam kontak langsung, yang mempermudah pemasangannya. Namun demikian, kelemahan dari analisis sinyal suara akustik adalah kepekaannya terhadap gangguan suara dari luar atau *noise* yang harus dihindari[15].

Berdasarkan studi literatur yang telah ada, maka penulis perlu melakukan penelitian mengenai analisa karakteristik respon getaran pada rotordinamik akibat *misalignment* menggunakan sinyal suara. Sinyal suara yang dihasilkan oleh mesin diharapkan dapat menjadi parameter untuk menentukan kondisi pada mesin. Penelitian ini mempunyai perbedaan dari penelitian sebelumnya, yaitu menggunakan tiga *microphone* yang digunakan sebagai sensor, akuisisi sinyal suara menggunakan aplikasi pada *matlab* yaitu *Graphical User Interface* (GUI). Analisa pada sinyal suara tidak hanya menggunakan fitur pada *software* yaitu *Fast Fourier Transform* (FFT), tetapi juga menggunakan *filter* FIR untuk menghilangkan sinyal gangguan (*noise*) yaitu *low pass filter*.

## 2. METODE DAN BAHAN

Prinsip kerja dari sistem alat uji getaran ini yaitu pergerakan dari alat uji getaran ini disebabkan oleh gaya tak seimbang akibat gerakan rotasi pada poros. Poros tersebut digerakkan oleh rotor listrik yang dihubungkan dengan *slide regulator* agar keluaran daya dapat disesuaikan sehingga putaran dapat diatur. Gaya tak seimbang pada rotor diakibatkan oleh perlakuan kondisi poros yang *misalignment* [5,6]. Gerakan ini lah yang menghasilkan sinyal suara yang selanjutnya direkam oleh *microphone*.

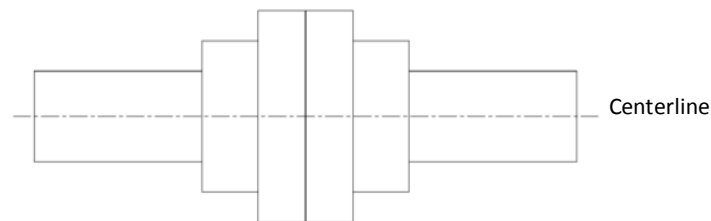
Penelitian ini menggunakan tiga *microphone* sebagai sensor, dengan dua *microphone* dipasang pada bantalan karena pada bantalan merupakan elemen yang berperan sebagai penumpu sistem yang banyak menghasilkan sinyal suara. Sedangkan satu *microphone* dipasang tepat di atas kopling karena kopling merupakan komponen penting dari mesin yang menyambung motor listrik dengan poros. Pada *matlab* sinyal suara kemudian di *filter* untuk menghilang *noise*, setelah itu data pengujian dalam *domain* waktu ditransfer menjadi sinyal dalam *domain* frekuensi dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Karena FFT mampu menunjukkan kandungan frekuensi pada sinyal dan menunjukkan berapa banyak komponen frekuensi yang ada pada sinyal. Dalam penelitian terdapat sebelas model kondisi yang akan dibandingkan respon getarannya. Masing-masing kondisi tersebut akan dilihat respon getaran yang dihasilkan dalam kecepatan yang bervariasi. Kecepatan tersebut divariasikan menjadi enam jenis kecepatan dengan *time record* yang sama yaitu 20 detik. *Set up* dari alat uji dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1:** Set Up Alat Uji

### 2.1 Pengujian Kondisi Normal.

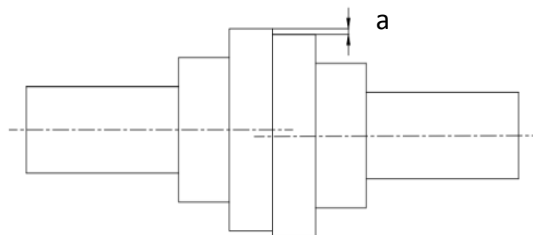
Pada pengujian kondisi poros normal dibuat dalam kondisi *centerline* (sesumbu). Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan sinyal suara yang dihasilkan poros kondisi normal dengan sinyal suara poros dalam kondisi *misalignment*. Gambar 2 merupakan ilustrasi kondisi dari poros dalam kondisi normal.



**Gambar 2.** Pengujian dalam Kondisi Normal

### 2.2 Pengujian *Parallel Misalignment*.

Pada pengujian ini yaitu kondisi *parallel misalignment* posisi pada kopling yang merupakan sambungan motor listrik dengan poros dibuat beda ketinggiannya dengan nilai  $a = 1$  mm, 2 mm, dan 3 mm. *Parallel misalignment* terjadi ketika poros sejajar satu sama lain, tetapi tidak pada garis yang sama [15]. Gambar 3 merupakan kondisi dari pengujian *parallel misalignment*.

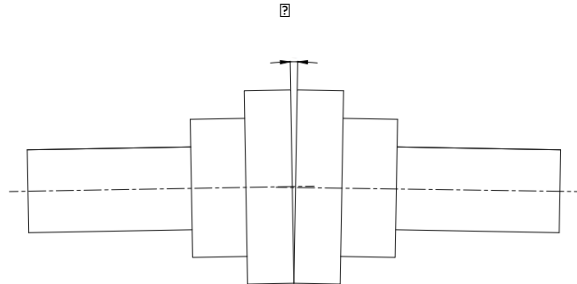


**Gambar 3.** Pengujian *Parallel Misalignment*

### 2.3 Pengujian *Angular Misalignment*.

Dalam pengujian ini yaitu *angular misalignment*, posisi pada kopling yang merupakan sambungan motor listrik

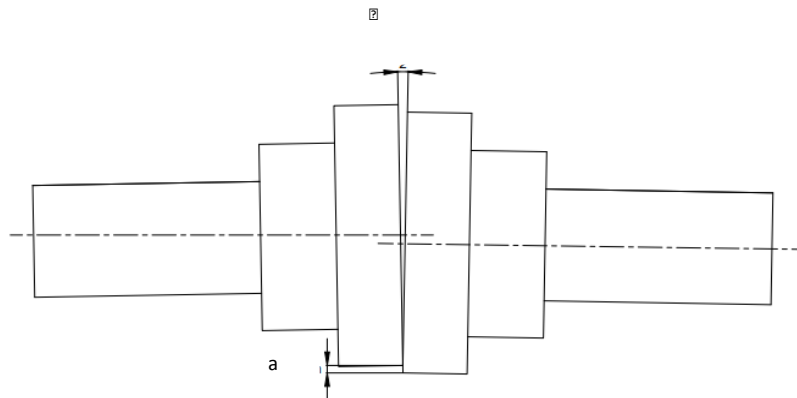
dengan poros dibuat membentuk sudut dengan nilai  $\alpha = 2^\circ$  dan  $3^\circ$ . *Angular misalignment* terjadi bila ada deviasi sudut antara poros motor dan beban[16]. Pengujian *angular misalignment* dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Pengujian *Parallel Misalignment*

#### 2.4 Pengujian Kombinasi.

Pengujian ini merupakan kombinasi antara *parallel misalignment* dan *angular misalignment*. Pada pengujian ini posisi kopling yang merupakan sambungan antara motor listrik dengan poros dibuat perbedaan ketinggian dengan nilai  $a=1$  mm dan dibuat membentuk sudut  $\alpha= 2^\circ,3^\circ$ , selanjutnya nilai  $a= 2$  mm dengan membentuk sudut  $\alpha= 2^\circ,3^\circ$ , dan terakhir ketinggian nilai  $a= 3$  mm dengan sudut  $\alpha= 2^\circ$ . Gambar 5 merupakan pengujian dari kombinasi *Parallel* dan *Angular Misalignment*.



**Gambar 5.** Pengujian Kombinasi *Parallel* dan *Angular Misalignment*.

### 3. HASIL DAN DISKUSI

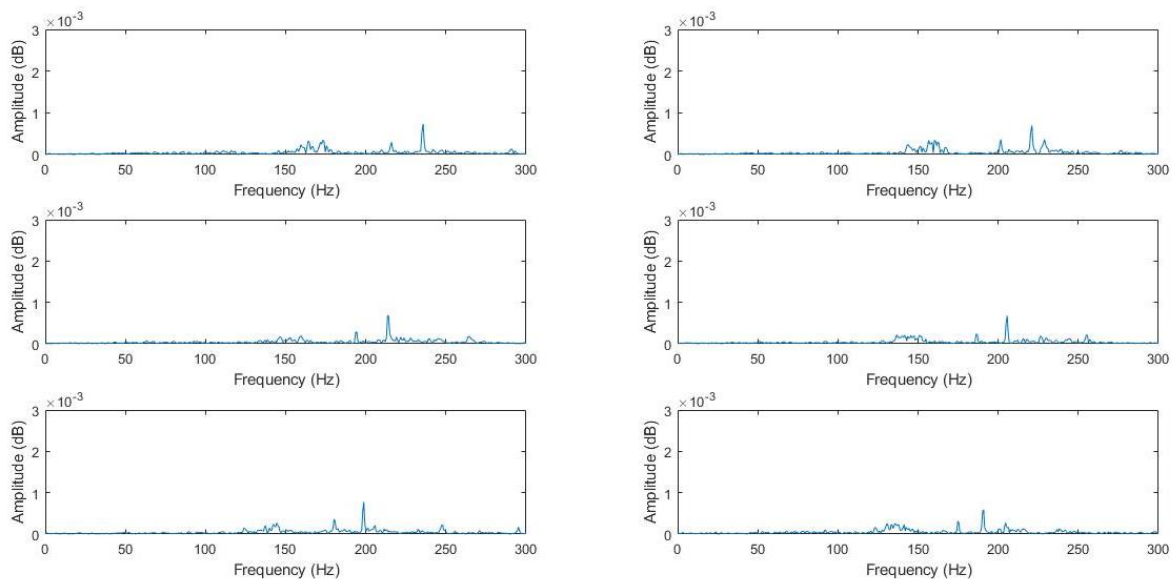
Pada penelitian ini menggunakan tiga buah mic sebagai sensor suara dan terdapat tujuh variasi kecepatan yang diberikan pada poros motor kondisi normal, *parallel misalignment*, *angular misalignment* serta kombinasi antara *parallel* dan *angular misalignment*. Kecepatan itu adalah 2200 rpm, 2300 rpm, 2400 rpm, 2500 rpm, 2600 rpm, dan 2700 rpm dengan *time record* 20 detik dalam *range* frekuensi 300 Hz. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh suatu respon data dalam domain waktu. Selanjutnya data ini dianalisis menggunakan *software matlab* dengan metode *Fast Fourier Transform* sehingga diperoleh respon dalam domain frekuensi.

#### 3.1 Karakteristik Respon Getaran Poros Normal

Hasil dari pengujian poros dalam kondisi normal dilakukan dengan tidak memberikan cacat pada mesin saat

sistem dalam keadaan *running*, yang dapat dijadikan acuan kondisi ideal pada mesin tanpa adanya cacat atau kerusakan. Analisis respon getaran pada poros normal yang direkam menggunakan mikrofon 1 dapat dilihat pada Gambar 6.

Pada Gambar 6 menunjukkan respon getaran yang timbul pada rotordinamik dalam kondisi normal. Masing-masing kurva yang didapat menunjukkan tidak munculnya frekuensi aktif yang artinya poros dalam keadaan *alignment*. Hanya saja terdapatnya frekuensi suara dengan nilai amplitudo kecil yang merupakan *noise* atau suara gangguan. Pada kondisi poros normal tidak terdapat frekuensi aktif dan frekuensi pasif yang terjadi pada sistem. Pada kondisi ini tidak terjadi pergerakan frekuensi suara maupun puncak amplitudo terhadap kenaikan kecepatan rotasi. Frekuensi aktif merupakan frekuensi yang muncul sebanding dengan gaya gangguan yang merupakan kecepatan dari rotasi tersebut. Sedangkan frekuensi pasif merupakan frekuensi pribadi pada sistem yang besarnya tergantung massa dan kekakuan struktur tersebut.

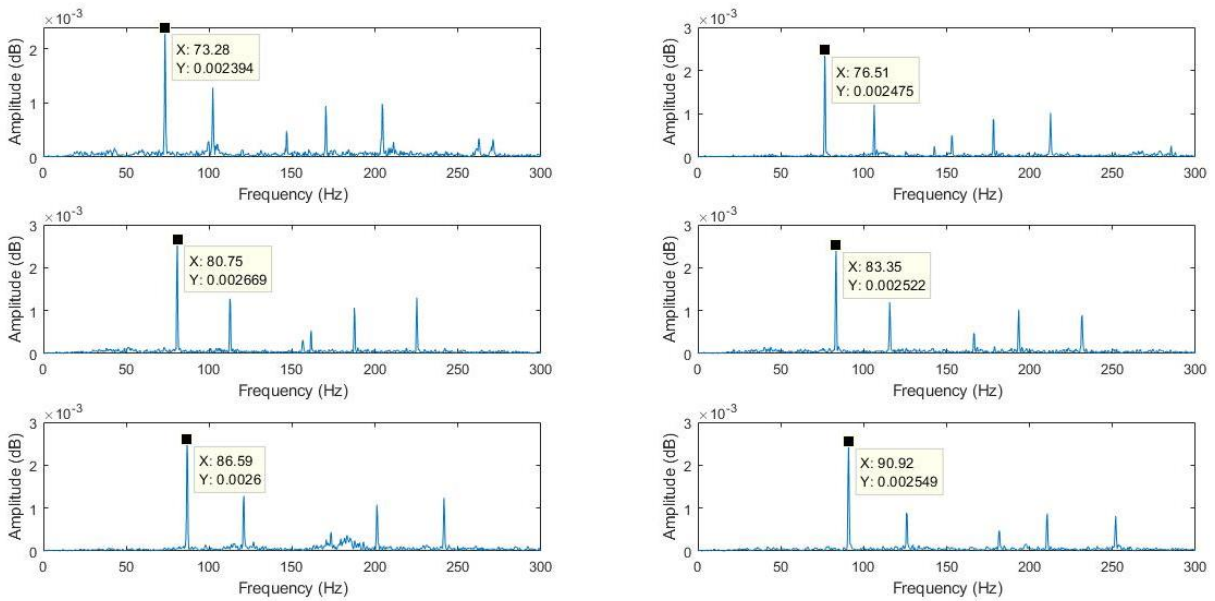


**Gambar 6.** Respon Getaran Kondisi Normal Pada Kecepatan (a) 2200 rpm, (b) 2300 rpm, (c) 2400 rpm, (d) 2500 rpm, (e) 2600 rpm dan (f) 2700 rpm

### 3.2 Karakteristik Respon Getaran *Paralell Misalignment*

Pada pengujian *misalignment parallel* keadaan pada poros di buat beda ketinggian atau tidak seumbu. Kondisi ini di buat dengan cara memberikan beda ketinggian antara kopling poros motor listrik terhadap kopling poros. Akibat kondisi tersebut menyebabkan mesin berotasi tidak seimbang sehingga menghasilkan suara bising. Analisis respon getaran pada *misalignment parallel* 1 mm yang direkam menggunakan mikrofon 1 dapat dilihat pada Gambar 7.

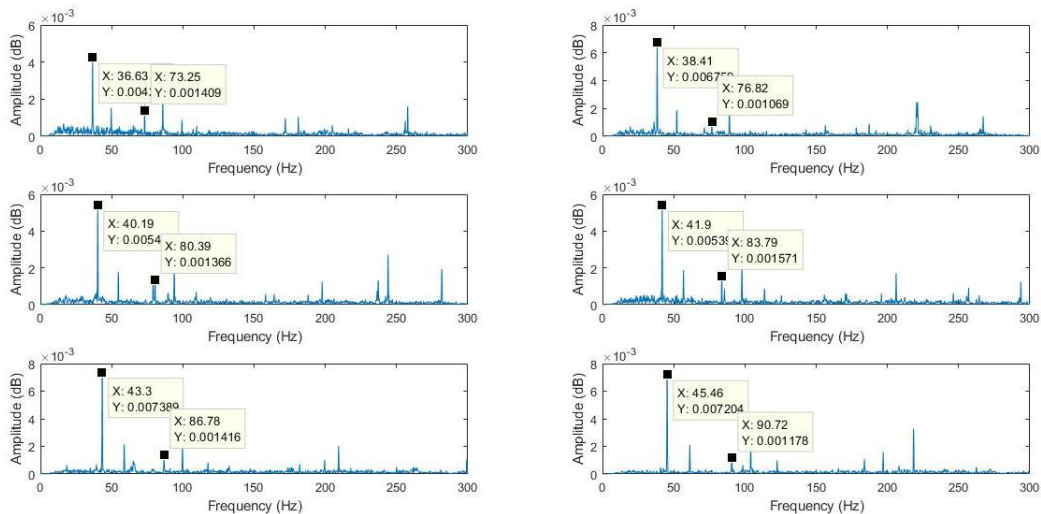
Masing-masing kurva yang didapat menunjukkan munculnya 2x frekuensi suara aktif akibat *misalignment parallel* nilai frekuensi yang muncul dan amplitudo suara pada sistem mengalami peningkatan seiring dengan kenaikan kecepatan rotasi pada poros. Pada kondisi *misalignment parallel* yang dihasilkan akibat gaya eksitasi yang tak seimbang pada poros saat berputar secara rotasi. Pada *misalignment parallel* respon getaran yang dihasilkan memiliki ciri puncak frekuensi suara aktif dengan amplitudo tinggi pada 2x rpm putaran poros. Maksud dari 2x rpm adalah banyaknya pengulangan dari kecepatan putar dari rangkaian alat uji getaran yang berputar secara rotasi.



**Gambar 7:** Respon Getaran *Misalignment parallel* 1 mm Pada Kecepatan (a) 2200 rpm, (b) 2300 rpm, (c) 2400 rpm, (d) 2500 rpm, (e) 2600 rpm dan (f) 2700 rpm.

### 3.3 Karakteristik Respon Getaran *Angular Misalignment*

Pada pengujian *misalignment angular* kopling penyambung antara poros motor listrik dan poros dibuat tidak sesumbu (*centerline*) dengan membentuk sudut. Kondisi ini ketika poros berputar secara rotasi akan menghasilkan gaya yang tak seimbang, sehingga menimbulkan getaran dan juga suara yang bising. Analisis respon getaran *misalignment angular* 2° yang direkam menggunakan mikrofon 2 dapat dilihat pada Gambar 8.

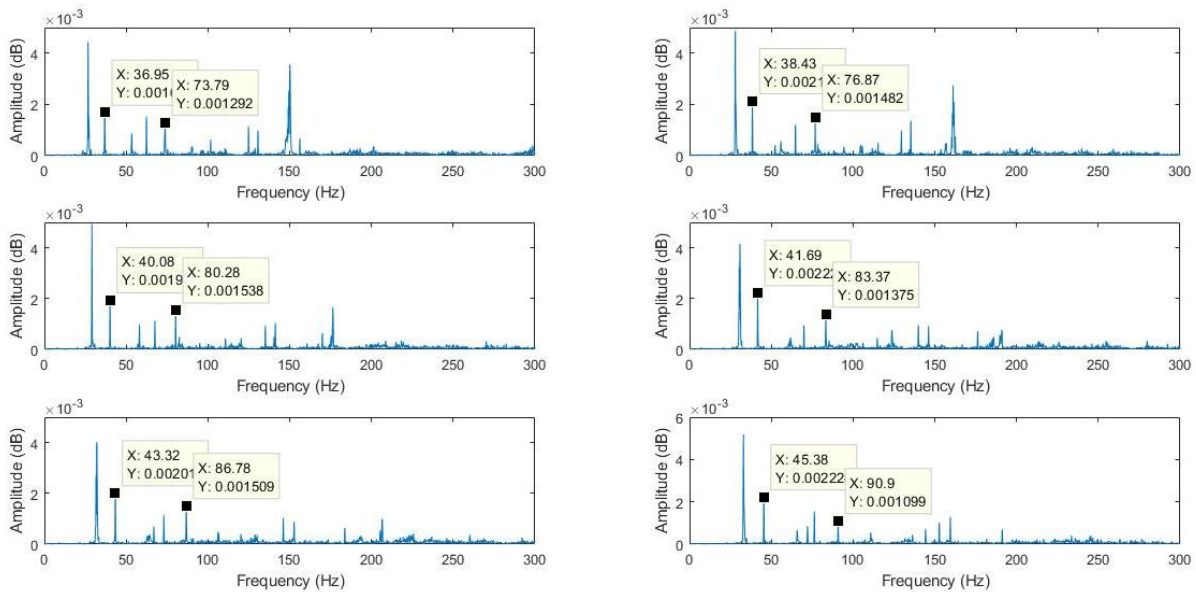


**Gambar 8.** Respon Getaran *Misalignment angular* 2° Pada Kecepatan (a) 2200 rpm, (b) 2300 rpm, (c) 2400 rpm, (d) 2500 rpm, (e) 2600 rpm dan (f) 2700 rpm.

Dari masing-masing kurva yang didapat menunjukkan munculnya 1x bahkan 2x frekuensi suara aktif akibat *misalignment angular* nilai frekuensi suara yang muncul pada sistem mengalami peningkatan seiring dengan kenaikan kecepatan rotasi pada poros. Pada kondisi *misalignment angular* seperti terlihat pada Gambar 8 menghasilkan frekuensi suara dengan nilai amplitudo tinggi pada 1x rpm dan 2x rpm dengan frekuensi suara amplitudo rendah. Sudut yang diberikan pada penelitian ini adalah sebesar 2° dan 3°. Berbeda dengan kondisi *misalignment parallel* yang memunculkan puncak frekuensi suara tinggi pada 2x rpm, namun pada kondisi *misalignment angular* 2x rpm muncul dengan frekuensi suara yang rendah [5,6]. Peningkatan frekuensi suara mengalami perubahan seiring berubahnya kecepatan pada poros sedangkan nilai *amplitude* tidak meningkat seiring perubahan kecepatan pada poros akibat pengaruh dari *noise*.

### 3.4 Karakteristik Respon Getaran *Misalignment Kombinasi*

Pada pengujian kombinasi antara *misalignment parallel* dan *angular* keadaan pada poros di buat beda ketinggian atau tidak sesumbu (*centerline*) dan dibuat juga dengan membentuk sudut. Akibat kondisi tersebut pada saat mesin *running* akan menimbulkan getaran dan juga suara bising. Analisis respon getaran pengujian kombinasi *misalignment parallel* 1 mm dan *misalignment angular* 2° yang direkam menggunakan mikrofon 3 dapat dilihat pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Respon Getaran *Misalignment Parallel* 1 mm Dan *Misalignment Angular* 2° Pada Kecepatan (a)2200 rpm, (b) 2300 rpm, (c) 2400 rpm, (d) 2500 rpm, (e) 2600 rpm dan (f) 2700 rpm.

Setiap kurva menunjukkan munculnya 1x rpm dan 2x rpm frekuensi aktif akibat *misalignment parallel* dan *angular* yang jarak antar puncak frekuensi relative berdekatan. Pengujian kombinasi antara *misalignment parallel* dan *angular* seperti terlihat pada Gambar 9 menunjukkan bahwa respons getaran akibat kondisi ini menghasilkan spektrum frekuensi suara dengan amplitudo tinggi pada 1x rpm dan 2x rpm dengan jarak antar puncak frekuensi suara yang berdekatan. Peningkatan frekuensi suara mengalami perubahan seiring berubahnya kecepatan pada poros sedangkan nilai dari *amplitude* sangat dipengaruhi oleh *noise* atau sinyal gangguan yang dihasilkan oleh sistem alat uji getaran.

Setiap pengujian menggunakan sinyal suara yang dianalogikan sebagai getaran yang dihasilkan oleh mesin saat beroperasi. Sinyal suara direpresentasikan dalam domain waktu dan domain frekuensi. Dalam domain frekuensi sinyal suara terdiri dari satu atau lebih sinyal sinusoidal dengan frekuensi dan intensitas berbeda. Dalam domain frekuensi, sinyal suara menggambarkan intensitas komponen dari penyusunnya.

Karena menggunakan sinyal suara, maka setiap grafik terdapat frekuensi suara dengan amplitudo kecil ataupun besar di luar frekuensi suara aktif sehingga disebut sebagai sinyal gangguan atau *noise*. Sinyal gangguan atau *noise* bersifat *akustik* (suara) dalam suatu sistem dalam bentuk gangguan yang bukan merupakan sinyal yang diinginkan. Gangguan yang diakibatkan oleh *noise* dapat mengubah sinyal informasi, yang menyebabkan gelombang sinus mempunyai sinyal *noise* kecil yang bergabung di dalamnya.

Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Dr.S.M.Khot dan Pallavi Khaire yang melakukan penelitian menggunakan sensor *accelerometer*, bahwa bentuk respon getaran akibat *misalignment parallel* memiliki ciri pada frekuensi 2x rpm dan respon getaran akibat *misalignment angular* memiliki ciri frekuensi 1x rpm[17]. Pada penelitian ini hasil yang didapat pada *misalignment parallel* juga sama pada frekuensi pada 2x rpm. Sedangkan untuk *misalignment angular* didapat frekuensi 1x rpm.

#### 4. KESIMPULAN

Sinyal suara bisa digunakan untuk mendeteksi salah satu kerusakan pada mesin yaitu *misalignment*. Respon getaran akibat *misalignment parallel* diperoleh spektrum frekuensi suara dengan *amplitude* yang tinggi pada 2x rpm. Respon getaran akibat *misalignment angular* menghasilkan spektrum suara dengan nilai *amplitude* yang tinggi dan dominan pada 1x rpm bahkan 2x dengan *amplitude* suara yang kecil. Sedangkan untuk respon getaran akibat kombinasi antara *misalignment parallel* dan *misalignment angular* muncul spektrum suara dengan *amplitude* tinggi pada 1x rpm dan 2x rpm dengan jarak antar puncak spektrum suara yang dekat. Sedangkan semakin besar putaran kecepatan pada poros maka semakin tinggi juga frekuensi sedangkan nilai *amplitude* yang didapat besarnya sangat dipengaruhi oleh *noise* atau sinyal gangguan yang dihasilkan oleh sistem alat uji getaran..

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. HAD AND K. SABRI, “A two-stage blind deconvolution strategy for bearing fault vibration signals”, *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 134, p. 106307, 2019.
- [2] L. CUI, X. GONG, J. ZHANG, AND H. WANG, “Double-dictionary matching pursuit for fault extent evaluation of rolling bearing based on the Lempel-Ziv complexity”, *J. Sound Vib.*, vol. 385, pp. 372–388, 2016.
- [3] F. JIA, Y. LEI, J. LIN, X. ZHOU, N. LU, “Deep neural networks: a promising tool for fault characteristic mining and intelligent diagnosis of rotating machinery with massive data”, *Mech. Syst. Signal Process.* 72 (2016) 303–315.
- [4] Z. QIAO, Y. LEI, J. LIN, F. JIA, “An adaptive unsaturated bistable stochastic resonance method and its application in mechanical fault diagnosis”, *Mech. Syst. Signal Process.* 84 (2017) 731–746.
- [5] Z. GUAN, P. CHEN, X. ZHANG, X. ZHOU, AND K. LI, “Vibration analysis of shaft misalignment and diagnosis method of structure faults for rotating machinery”, *Int. J. Performability Eng.*, vol. 13, no. 4, pp. 337–347, 2017.
- [6] DEDI SURYADI DAN M DICKY PRATAMA, “Desain dan Pembuatan Alat Monitoring Kerusakan Mesin Berdasarkan Level Getaran”, *Rekayasa Mesin.*, vol. 11, no. 1, pp. 21–29, 2020.
- [7] A.D. NEMBHARD, J.K. SINHA, A. YUNUSA-KALTUNGO, “Experimental observations in the shaft orbits of relatively flexible machines with different rotor related faults”, *Measurement* 75 (2015) 320–337.
- [8] RANDALL, ROBERT B, “State of the art in monitoring rotating machinery-part 1”, *Sound and vibration*, Vol.38, No.3, pp.14-21, 2004.
- [9] JALAN, ARUN KR, AND A. R. MOHANTY, “Model based fault diagnosis of a rotor–bearing system for misalignment and unbalance under steady-state condition”, *Journal of Sound and Vibration*, Vo.327, No.3, pp.604-622, 2009.
- [10] Z. GAO, C. CECATI, AND S. X. DING, “A survey of fault diagnosis and fault-tolerant techniques— Part I: Fault diagnosis with model-based and signal-based approaches”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 62, no. 6, pp. 3757–3767, Jun. 2015.
- [11] P. A. DELGADO-ARREDONDO, D. MORINIGO-SOTELO, R. A. OSORNIO-RIOS, J. G. AVINA-



- CERVANTES, H. ROSTRO-GONZALEZ, AND R. DE J. ROMERO-TRONCOSO, “Methodology for fault detection in induction motors via sound and vibration signals”, *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 83, pp. 568–589, 2017.
- [12] D. H. SEO, J. H. JEON, AND Y. H. KIM, “A novel sensing method of fault in moving machine”, *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 45, no. 1, pp. 154–169, 2014.
- [13] J.H. JUNG, B.C. JEON, B.D. YOUN, M. KIM, D. KIM, Y. KIM, “Omnidirectional regeneration (ODR) of proximity sensor signals for robust diagnosis of journal bearing systems”, *Mech. Syst. Signal Process.* 90 (2017) 189–207.
- [14] A. SAPUTRA, FEBLIL HUDA, MUSTAFA AKBAR “*Balancing rotor dinamik menggunakan sinyal suara*,” Vol. 5, No. 1. pp. 1–8, 2018.
- [15] A. GARCIA-PEREZ, R.J. ROMERO-TRONCOSO, E. CABAL-YEPEZ, R.A. OSORNIO-RIOS, J.A. LUCIO-MARTINEZ, “Application of high-resolution spectral analysis for identifying faults in induction motors by means of sound”, *J. Vib. Control.* 18 (2011) 1585–1594.
- [16] C. VERUCCHI, J.M. BOSSIO, G.R. BOSSIO, G. ACOSTA, “Misalignment detection in induction motors with flexible coupling by means of estimated torque analysis and MCSA”, *Mech. Syst. Signal Process.* 80 (2016) 570-571.
- [17] SM KHOT AND PALLAVI KHAIRE. “Simulation and Experimental Study for Diagnosis of Misalignment Effect in Rotating System”, *Journal of Vibration Analysis, Measurement, and Control* (2015) Vol. 3 No. 2 pp. 165-17.