

Analisis Suara pada Rotordinamik akibat *Unbalance*, *Misalignment*, dan *Looseness*

Febli Huda^{1,a*}, Nazaruddin^{1,b}, Mario Dovani^{1,c}

¹ *Laboratorium Konstruksi Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau*

Kampus Binawidya, Jln H.R. Subrantas, Simpang Baru, Pekanbaru.

^a feblil.huda@lecturer.unri.ac.id, ^b nazaruddin.unri@yahoo.com,

^c mario.dovani@yahoo.com

Abstrak

Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap sinyal suara yang ditimbulkan pada rotordinamik akibat ketidakseimbangan (*unbalance*), ketidaksesumbuan (*misalignment*) dan kelonggaran (*looseness*). Untuk keperluan tersebut, maka dikembangkanlah sebuah model mesin uji rotordinamik yang terdiri dari poros-rotor yang ditumpu oleh bantalan dan diputar oleh motor yang tersambung dengan kopling ke poros. Pada piringan rotor terdapat beberapa lubang dengan posisi simetris terhadap sumbu putarnya yang dapat digunakan sebagai tempat untuk memasang massa *unbalance*. *Misalignment* diberikan pada tumpuan dan kopling, *looseness* diberikan dengan penyetelan baut pada tumpuan. Data suara dicuplik dengan menggunakan mikrofon yang terkalibrasi dan *soundcard* komputer yang terintegrasi dengan program komputer. Data hasil pengujian dalam *domain* waktu ditransfer menjadi sinyal dalam *domain* frekuensi dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Sinyal suara pada kondisi normal diperbandingkan dengan sinyal suara kondisi rusak untuk mendapatkan karakteristik suara akibat masing-masing jenis kerusakan dengan lebih spesifik. Dari hasil pengujian terungkap bahwa untuk kasus akibat *unbalance* diperoleh spektrum frekuensi suara dengan nilai amplitudo yang tinggi pada frekuensi 1x putaran motor (1x rpm). Kasus *Misalignment* menghasilkan spektrum suara dengan nilai amplitudo yang tinggi pada 2x putaran motor (2x rpm). Kasus *looseness* memiliki ciri khas spektrum suara dengan nilai amplitudo yang tinggi pada 1x, 2x dan 3x putaran motor (1x, 2x dan 3x rpm). Peningkatan nilai amplitudo suara terjadi seiring dengan peningkatan besarnya cacat yang diberikan pada sistem rotordinamik.

Kata kunci: *Sinyal suara, Unbalance, Misalignment, Looseness, FFT*

Pendahuluan

Pada sistem poros rotor yang berputar, seringkali terjadi getaran. Getaran yang muncul pada mesin khususnya pada sistem rotordinamik kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah adanya massa tak seimbang (*unbalance*) pada rotor atau poros, ketidaksesumbuan poros (*misalignment*), kelonggaran (*looseness*), cacat pada bantalan (*bearing defect*), dan sebagainya. Dari data di lapangan didapatkan bahwa kasus penyebab getaran (cacat) yang

sering ditemukan adalah *unbalance*, *misalignment* dan *looseness*. Beberapa metoda pendeteksian jenis kerusakan tersebut telah dikembangkan, dan metode pengukuran getaran merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk pendeteksian *unbalance*, *misalignment* dan *looseness* ketika sistem mesin dalam keadaan beroperasi. Dari analisis sinyal getaran dapat diketahui bahwa masing-masing faktor tersebut menunjukkan

fenomena munculnya spektrum frekuensi dengan karakteristik tertentu, sehingga dapat diketahui faktor penyebab getaran yang lebih dominan. Namun metode ini terkadang kurang praktis bila diterapkan pada mesin yang beroperasi di daerah yang sempit karena menghendaki pemasangan sensor yang tepat pada objek ukur yang terkadang membahayakan operator dan instrument pengukuran. Oleh karena itu diperlukan metoda pendeteksian *unbalance*, *misalignment* dan *looseness* tanpa menggunakan sensor yang terpasang pada sistem mesin yang sedang beroperasi. Dengan menganalogikan getaran dengan suara yang dihasilkannya, akan didapatkan ide dasar bahwa *unbalance*, *misalignment* dan *looseness* dapat dideteksi melalui analisis sinyal suara yang ditimbulkannya melalui mikrofon sebagai sensor tak berkontak dengan objek ukur. Hal ini mengakibatkan analisis suara pada rotordinamik yang mengalami *unbalance*, *misalignment* dan *looseness* menjadi hal yang sangat penting sebagai dasar untuk pendeteksian kerusakan melalui sinyal suara.

Unbalance

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 meng-eksitasi sistem selama sistem berputar, sehingga menimbulkan getaran. *Unbalance* bisa disebabkan oleh penyebaran massa rotor yang tidak merata atau pemasangan poros yang tidak tepat pada pusatnya [1,2]. Pada Rotor turbin, *unbalance* juga bisa disebabkan oleh sudu-sudunya yang terkikis akibat pengikisan oleh fluida.

Fenomena cacat ini sering terjadi pada mesin-mesin berputar, yang merupakan salah satu penyebab utama terjadinya getaran. Analisis sinyal getaran untuk gejala *unbalance* dapat dengan mudah diamati pada domain frekuensinya, yaitu biasanya ciri

getarannya ditandai dengan adanya frekuensi dominan pada $1x$ rpm [1,2,3]. Rpm adalah tingkatan/modus frekuensi yang terjadi pada jumlah putaran/menit, dan biasanya didapat dari benda/mesin yang berputar.

A. Misalignment

Misalignment adalah suatu kondisi pada sistem poros-kopling ketika dua sumbu poros yang terhubung tidak berada dalam satu garis sumbu. *Misalignment* merupakan penyebab utama terjadinya getaran selain dari *unbalance* [2]. *Misalignment* bisa terjadi pada bantalan maupun pada komponen yang saling berhubungan seperti pada kopling. *Misalignment* dibagi menjadi dua jenis yaitu *misalignment* paralel dan sudut (*angular*), namun kebanyakan kasus yang terjadi adalah gabungan dari keduanya.

Pada suatu unit kompresor, *misalignment* sering terjadi pada sambungan (kopling) antara *power turbine shaft* dan *compressor shaft*. Sama seperti halnya dengan *unbalance*, gejala *misalignment* dapat dengan mudah diamati pada domain frekuensi getarannya, biasanya ciri getarannya ditandai dengan adanya frekuensi dominan pada $2x$ rpm bahkan pada $3x$ rpm [3].

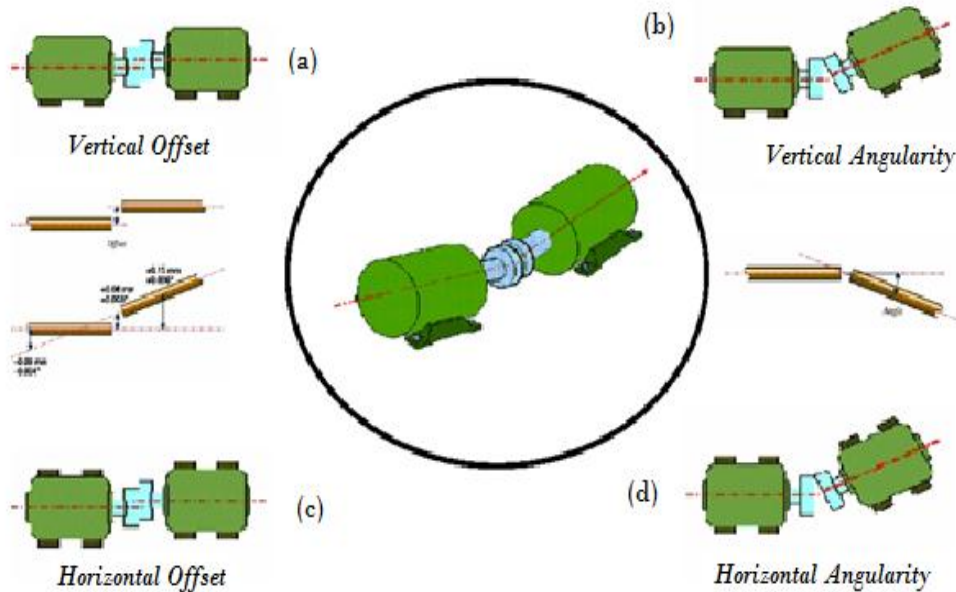
Jenis-jenis Misalignment. Berikut ini akan digambarkan kemungkinan-kemungkinan yang timbul akibat *misalignment* terhadap kondisi idealnya, untuk mengetahui kasus-kasus *misalignment* yang terjadi diantara dua *shaft* mesin seperti terlihat di atas, dilakukan dengan mempertimbangkan empat termin dasar parameter *alignment* yaitu:

- a) *Vertikal Offset Misalignment* adalah ketidaksejajaran yang terjadi pada dua *shaft* pada posisi vertikal mesin, dimana terdapat perbedaan antara tinggi pada kedua poros, atau pada posisi sumbu z, (Gambar 1 a)
- b) *Vertical Angularity Misalignment* adalah ketidaksejajaran yang terjadi pada dua poros pada posisi vertikal mesin, dimana

terdapat perbedaan antara tinggi pada kedua poros, tetapi membentuk nilai sudut antara kedua poros, (Gambar 1 b)

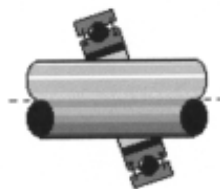
c) *Horizontal Offset Misalignment* adalah ketidaksejajaran yang terjadi pada dua poros pada posisi horizontal mesin, dimana terdapat perbedaan posisi pada posisi sumbu y, (Gambar 1 c).

d) *Horizontal Angularity Misalignment* adalah ketidaksejajaran yang terjadi pada dua *shaft* pada posisi horizontal mesin, dimana terdapat perbedaan posisi pada posisi y, dengan membentuk suatu nilai sudut, (Gambar 1 d).



Gambar 1 Kasus *Misalignment* [4]

Selain pada kopling, *misalignment* dapat terjadi pada bantalan, yaitu antara bantalan dan poros [3]. (Gambar 2).



Gambar 2 *Misalignment* pada Bantalan

Looseness

Looseness atau yang biasa disebut *mechanical looseness* (Kelonggaran mekanik) adalah salah satu jenis kerusakan pada mesin yang menyebabkan terjadinya getaran. Kelonggaran mekanik dapat terjadi apabila tutup bantalan longgar atau ikatan mesin ke

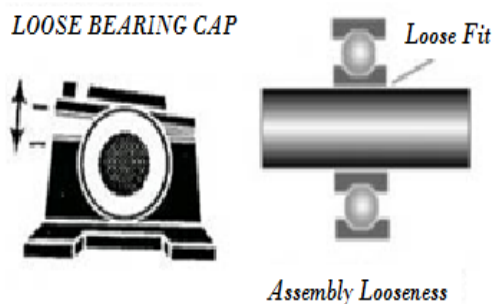
pondasi tidak kuat. Gejala kerusakan ini ditandai dengan adanya frekuensi getaran dominan pada $\frac{1}{2}$, 1, $1\frac{1}{2}$, 2, dst x rpm atau n x rpm pada domain frekuensinya [1].

Salah satu pengukuran getaran untuk mendeteksi cacat *looseness* pada sebuah pembangkit/turbin, menunjukkan frekuensi getaran yang lebih dominan/maksimum di 2x rpm, dan ketika diberikan beban (*unbalance*), frekuensi yang terjadi di 2x rpm turun drastis, dan ketika beban tersebut dihilangkan, frekuensi di 2x rpm kembali dominan [1].

Komponen-komponen mesin yang sering mengalami *looseness* antara lain bantalan (*mount*) atau tutup bantalan (*bearingcap*). *Looseness* ini hampir selalu menghasilkan sejumlah besar harmonik dalam spektrum frekuensinya, baik harmonik ganjil maupun tunggal.

Komponen getaran yang dengan frekuensi lebih kecil dari kecepatan putar juga dapat terjadi. Teknik untuk mendeteksi kekendoran adalah dengan mengukur getaran, atau melalui signal suara pada beberapa titik (*transducer* kecepatan dapat berfungsi baik). Sinyal yang terukur akan mencapai maksimumnya pada arah getaran (biasanya arah vertikal memberikan getaran yang lebih besar dari arah horizontal), atau disekitar lokasi *looseness*.

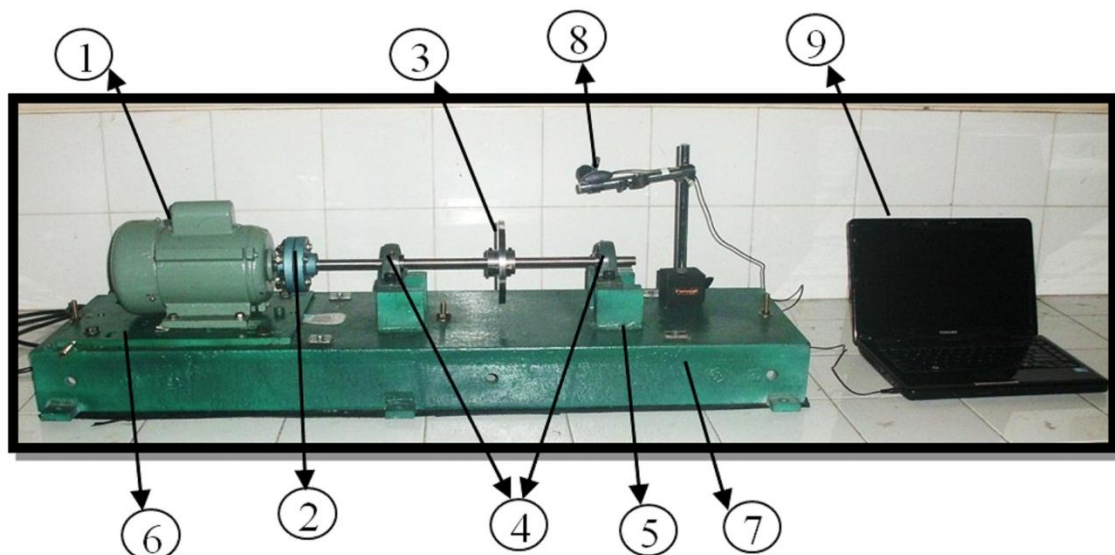
Bentuk *looseness* yang terjadi pada sistem berputar disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 *Looseness* pada *upper casing* rumah bantalan dan *looseness* antara *inner cage roller* bantalan dan poros [5].

Metodologi

Untuk mendapatkan ciri khas sunyak suara akibat *unbalance*, *misalignment* dan *looseness*, sebuah alat uji rotordinamik dirancang dan dibuat, sehingga kerusakan jenis *unbalance*, *misalignment* dan *looseness* dapat diberikan pada struktur rotordinamik dengan mudah. *Unbalance* diberikan pada sistem dengan menambahkan massa tak seimbang pada rotor, *misalignment* diberikan pada kopling dan bantalan, sedangkan *looseness* diberikan pada baut bantalan dan poros-bantalan. Set-up pengujian disajikan pada Gambar 4.



Keterangan;

- | | |
|------------------|-------------------------|
| 1. Motor Listrik | 5. Kedudukan Bantalan |
| 2. Kopling | 6. Landasan Motor |
| 3. Rotor | 7. Landasan Mesin Uji |
| 4. Bantalan | 8. <i>Microphone</i> |
| | 9. Laptop pengolah data |

Gambar 4 *Set Up* pengujian

Pada Gambar 4 dapat dilihat, bahwa Microphone menangkap sinyal suara dari rotordinamik yang sedang berputar, kemudian diteruskan ke soundcard dari PC yang kemudian diubah dalam bentuk data digital dengan menggunakan software dengan fitur *Fast Fourier Transform* (FFT), yang kemudian dapat mentransfer data dalam domain waktu ke domain frekuensi.

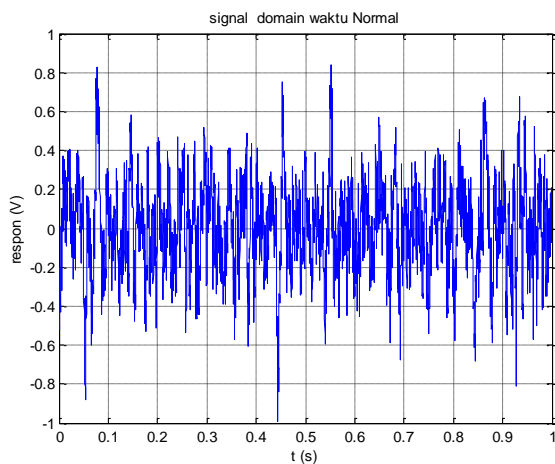
Untuk mendapatkan kondisi standar atau kondisi normal, pengujian dilakukan terlebih dahulu dengan melakukan *balancing*, *alignment* dan pengencangan dengan sebaiknya pada komponen-komponen rotordinamik. Setelah itu baru dilakukan pengujian untuk kasus *misalignment* dan *looseness*.

Pengujian Kondisi Normal. Pengujian kondisi normal dilakukan dengan tidak memberikan cacat pada mesin uji, yang dapat dijadikan sebagai bahan acuan kondisi ideal mesin tanpa cacat atau kerusakan. Hasil dari pengujian kondisi normal ini didapat sinyal dalam domain waktu dan domain frekuensi

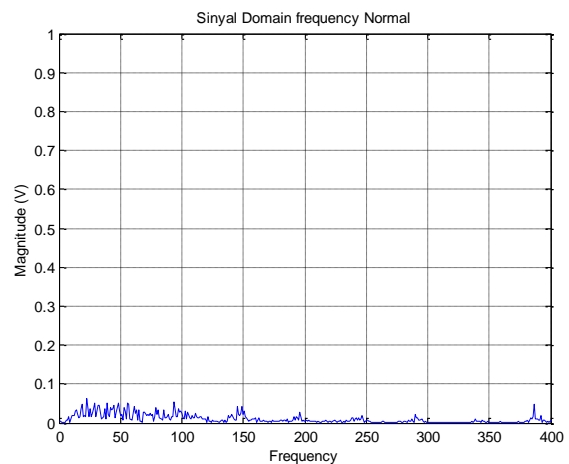
suara mesin yang dapat dilihat pada Gambar 5a dan 5b.

Pengujian Kondisi Unbalance. Pengujian kondisi *unbalance* diuji pada piringan rotor yang telah dibuat. Kondisi *unbalance* pada rotor dibuat dengan memberikan massa *unbalance* pada salah satu lubang berulir rotor. Massa *unbalance* yang diberikan pada rotor bervariasi yaitu 10 gram, 15 gram, 20 gram, dan 25 gram. Sinyal domain frekuensi pada masing-masing kondisi unbalance 10 gram dan 15 gram disajikan pada Gambar 6a dan 6b. Sinyal domain frekuensi pada masing-masing kondisi unbalance 20 gram dan 25 gram disajikan pada Gambar 7a dan 7b.

Untuk pengujian unbalance, rotor diputar pada kecepatan 2900 rpm, yang bila diubah ke satuan Hz, maka kecepatan putar rotor sama dengan 48,3 Hz. Seperti dijelaskan sebelumnya, frekuensi getaran yang muncul pada kondisi *unbalance* adalah 1x rpm (1x kecepatan putar), dan dari hasil pengujian dengan sinyal suara, frekuensi suara dominan terjadi juga pada 1x rpm.

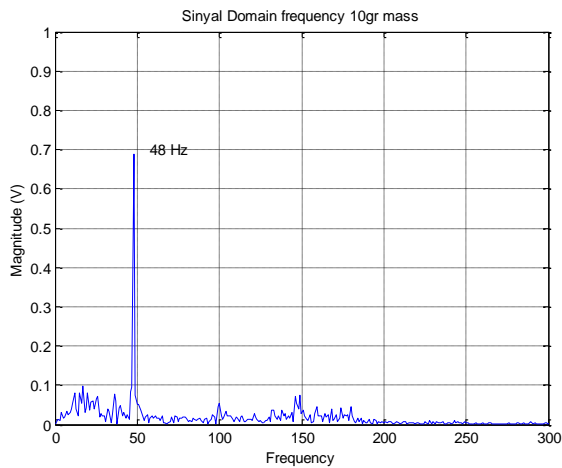


(a)

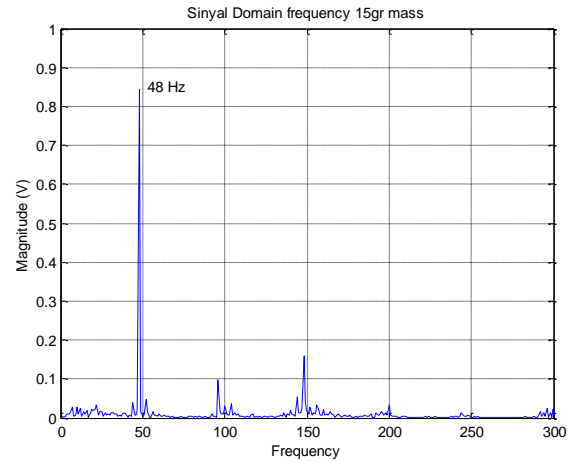


(b)

Gambar 5 Sinyal suara pada kondisi normal (a) domain waktu (b) domain frekuensi

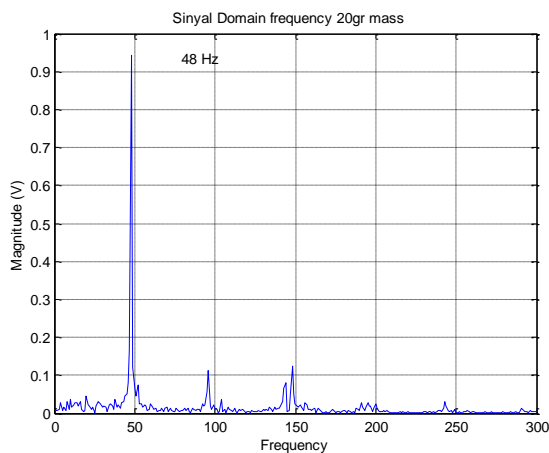


(a)

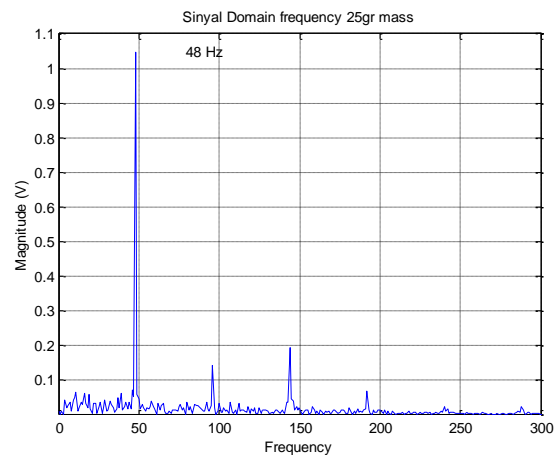


(b)

Gambar 6 Sinyal domain frekuensi kondisi unbalance (a) 10 gram, (b) 15 gram



(a)

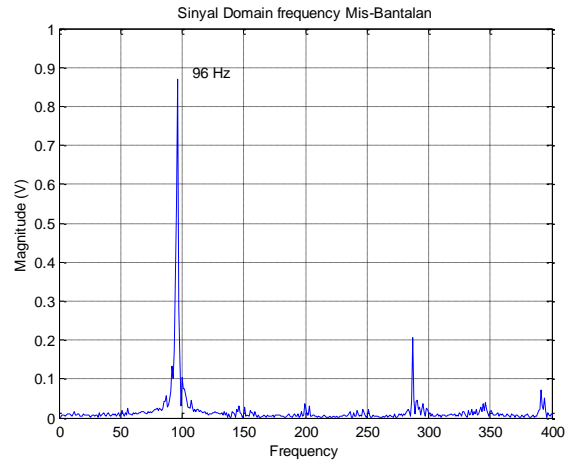
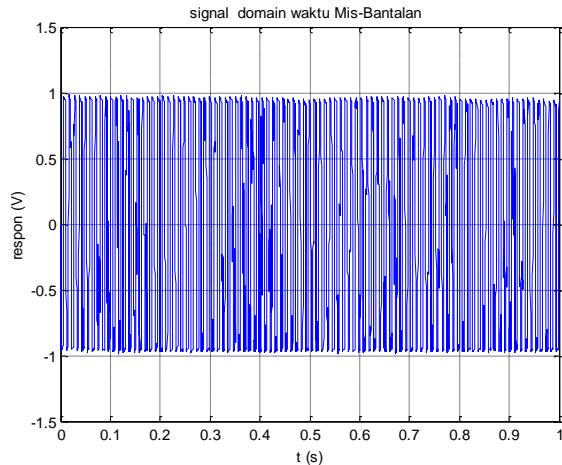


(b)

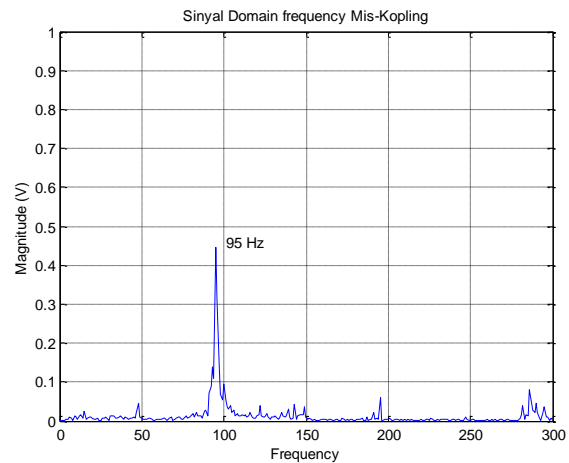
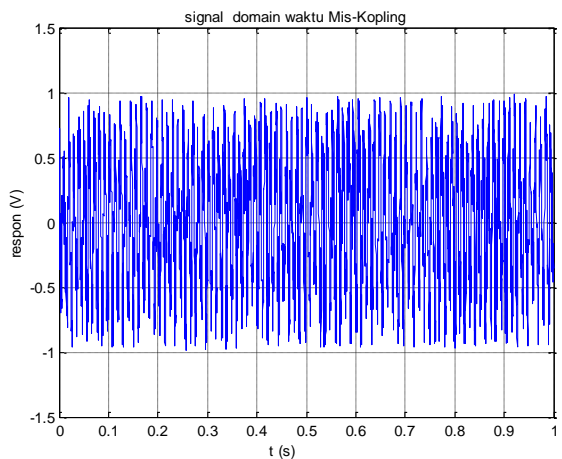
Gambar 7 Sinyal domain frekuensi kondisi unbalance (a) 20 gram, (b) 25 gram

Hasil dari pengujian *unbalance* yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa nilai frekuensi suara dominan terjadi pada 1x rpm, hal ini sesuai dengan frekuensi getaran yang terjadi pada *unbalance*. Hasil dari pengujian juga dapat dilihat, terjadinya peningkatan atau penambahan nilai amplitudo (magnitude) suara akibat dari pemberian dan penambahan *unbalance mass* 10 gram hingga 25 gram, hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi *unbalance (mass)*, maka semakin tinggi pula amplitudo suara yang terjadi dengan nilai frekuensi suara yang tetap.

Pengujian Kondisi Misalignment. Pengujian kondisi *misalignment* dilakukan dengan memberikan misalignment pada bantalan dan kopling. *Misalignment* yang diberikan adalah misalignment *angular*. Sinyal suara hasil pengujian kondisi *misalignment* pada bantalan disajikan pada Gambar 7. Sinyal suara hasil pengujian kondisi misalignment pada kopling disajikan pada Gambar 8.



(a) (b)
Gambar 8 Sinyal suara kondisi *misalignment* pada bantalan
(a) domain waktu, (b) domain frekuensi



(a) (b)
Gambar 9 Sinyal suara kondisi *misalignment* pada kopling
(a) domain waktu, (b) domain frekuensi

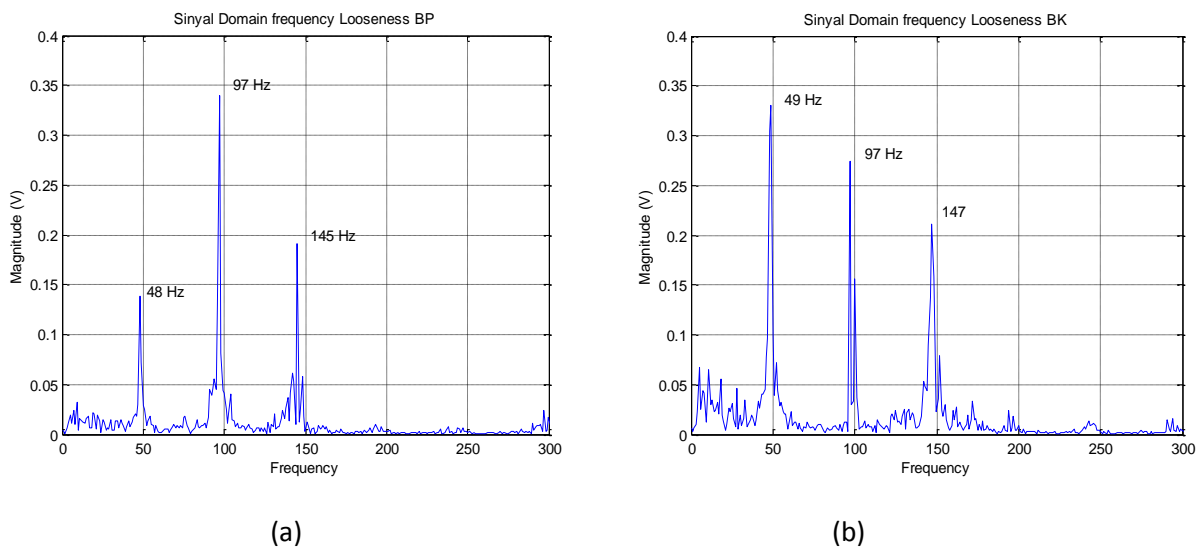
Dari Gambar 7 dan Gambar 8 dapat dilihat bahwa frekuensi suara yang dominan pada kondisi cacat *misalignmet* adalah $2x$ rpm.

Hasil pengujian antara *misalignment* pada bantalan dan pada kopling, terjadi perbedaan nilai frekuensi, yaitu pada bantalan frekuensi terjadi pada 96 Hz, sedangkan pada kopling 95 Hz, tetapi sama terjadi pada $2x$ rpm, hal ini disebabkan perbedaan putaran motor ketika pengujian pada bantalan dan kopling. Hal ini menunjukkan bahwa cacat *misalignment* yang terjadi pada bantalan dan kopling menghasilkan frekuensi di $2x$ rpm.

Pengujian Kondisi *Looseness*. Pengujian kondisi *looseness* dilakukan dengan memberikan *looseness* pada bantalan-poros, dan rumah bantalan. Posisi pemberian *looseness* pada set-up pengujian disajikan pada gambar 9a dan 9b. Sinyal suara hasil pengujian kondisi *looseness* pada bantalan-poros disajikan pada Gambar 10a. Sinyal suara hasil pengujian kondisi *looseness* pada rumah bantalan disajikan pada Gambar 10b.



Gambar 10 Posisi *loosness* (a) bantalan-poros (b) rumah bantalan

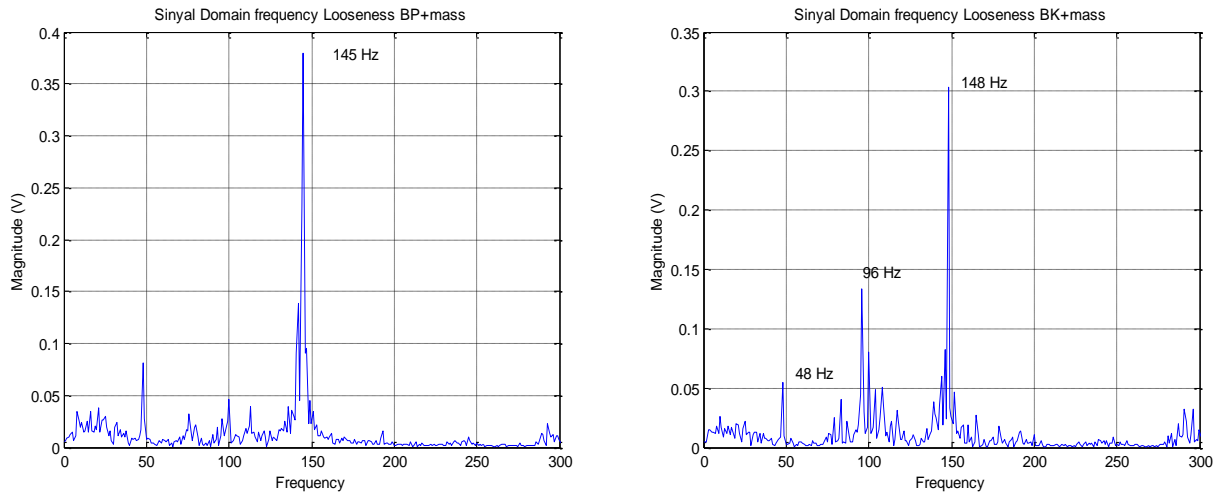


Gambar 11 Sinyal suara kondisi *loosness* (a) pada bantalan-poros, (b) pada rumah bantalan

Pengujian *loosness* juga dilakukan dengan penambahan *unbalance*, hal ini dilakukan untuk melihat pengaruh kehadiran *unbalance* terhadap sinyal suara pada rotordinamik yang mengalami *loosness*. Sinyal suara dalam domain frekuensi pada kondisi *loosness* + *unbalance* disajikan pada Gambar 11.

Hasil dari pengujian dengan menggunakan sinyal suara didapat frekuensi suara dominan terjadi pada 1,2,3 x rpm, baik pada bantalan dengan poros, maupun pada rumah bantalan. Pada pengujian *loosness* baut bantalan dengan poros tanpa *unbalance* (*mass*),

frekuensi suara yang lebih dominan muncul pada 2x rpm, dan nilai amplitudo suara yang muncul pada 2x rpm lebih tinggi dari pada frekuensi yang lain, sedangkan ketika dilakukan penambahan cacat *unbalance* (*mass*), nilai amplitudo suara yang muncul pada 2x rpm menjadi turun drastis, dan begitu juga pada 1x rpm terjadi penurunan. Pada 3x rpm terjadi peningkatan nilai amplitudo suara, atau menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan frekuensi yang lain, hal ini disebabkan adanya eksitasi dari *unbalance* mass yang diberikan.



Gambar 12 Sinyal suara dalam domain frekuensi untuk kondisi *looseness* + unbalance

(a) *looseness* pada bantalan-poros, (b) *looseness* pada rumah bantalan

A. Kesimpulan

Rotordinamik yang mengalami unbalance akan menghasilkan suara dengan amplitude yang besar pada frekuensi 1x frekuensi kecepatan motor (1x rpm), yang besarnya amplitude gelombang suaranya semakin besar/tinggi seiring dengan penambahan atau peningkatan nilai massa unbalance. Kasus *misalignment* pada rotordinamik akan menghasilkan suara dengan amplitude yang besar pada frekuensi 2x frekuensi kecepatan motor (2x rpm), dan untuk misalignment bantalan/tumpuan dan misalignment kopling akan menghasilkan suara dengan ciri khas frekuensi yang sama yaitu 2 x rpm. Kasus *looseness* pada mesin berputar akan menghasilkan suara dengan amplitude yang besar pada frekuensi 1x, 2x dan 3x frekuensi kecepatan motor (1x, 2x, dan 3x rpm). Penambahan beban pada system dalam hal ini *unbalance* akan meningkatkan amplitude suara pada frekuensi 3x rpm.

Daftar Pustaka

- [1] V. Wowk, *Machinery Vibration*, New York :McGraw-Hill,Inc., 1991
- [2] M. Bur, M. Okuma, J. Malta, F. Huda, Experimental Study of Vibration on Rotor System Due to Unbalance Mass and Misalignment, *Jurnal Poros* Vol 8 No 4, 2005, pp. 234-242
- [3] [M. Millan, B. Robert., *Rotating Machinery: Practical Solutions to Unbalance and Misalign-Ment/By Robert B. Mcmillan, El Paso-Texas: Marcel Dekker, Inc., 2003*](#)
- [4] [www.frufttechnik.com](#), diakses tanggal 20 februari 2011.
- [5] <http://mechanicalbrothers.wordpress.com/2011/01/15/kelonggaran-mekanik-mechanical-looseness/>, diakses tanggal 20 februari 2011