

Kaji Banding Prediksi Kerusakan Pada Bantalan Gelinding Melalui Sinyal Getaran Dan Sinyal Suara

Meifal Rusli^{1,a*}, Agus Arisman^{1,b}, Lovely Son^{1,c} dan Mulyadi Bur^{1,d}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis Padang 25163-Indonesia

^ameifal@ft.unand.ac.id, ^bagusarisman@gmail.com, ^clovelyson@ft.unand.ac.id,
^cmulyadibur@ft.unand.ac.id

Abstrak

Pada artikel ini didiskusikan prediksi kerusakan pada bantalan bola dengan menggunakan sinyal getaran dan sinyal suara. Pengukuran dilakukan pada model sederhana sistem poros rotor dimana bantalan pada sistem tersebut dibagi atas dua bagian, bantalan yang mengalami kerusakan dan bantalan normal. Kerusakan pada bantalan dibuat dengan membiarkan bantalan beroperasi pada lingkungan yang berdebu dan mengalami keausan. Disamping itu antara motor dan poros pada sistem uji ini mengalami ketidaseimbangan dan ketidaksumbuhan. Sinyal suara diukur dengan menggunakan mikrofon yang bergerak untuk mendeteksi posisi sumber suara. Sedangkan posisi sumber suara diprediksi melalui peta waktu-frekuensi dari sinyal suara dengan menggunakan Transformasi Fourier waktu singkat (STFT). Berdasarkan hasil eksperimen, diperoleh indikasi kerusakan terjadi pada frekuensi 86.6 Hz (harmonik ke-4), 162.9 Hz, dan 274.1 Hz yang berturut-turut terjadi pada kerusakan bantalan FTF, BPFO, dan BPFI. Posisi kerusakan dapat diprediksi dengan baik pada analisis sinyal suara dengan mengacu pada intensitas sinyal suara yang diterima mikrofon. Berbeda dengan sinyal getaran, peta suara melalui STFT menunjukkan sinyal suara lebih didominasi oleh suara pada rentang frekuensi sekitar 800 Hz dan 1000 Hz yang merupakan sinyal harmonic ke 3 sampai ke 5 dari BPFO dan BPFI, karena bantalan mengalami keausan yang bersifat random pada pada *inner race* dan *outer race*. Untuk nilai frekuensi yang terdeteksi baik pada jarak 10 cm, 30 cm, maupun 50 cm memiliki kecenderungan nilai yang hampir sama. Namun nilai yang diperoleh lebih mendekati dari nilai kerusakan bantalan FTF, BPFO, dan BPFI pada jarak yang lebih dekat yaitu pada jarak 10 cm. Disamping itu munculnya sinyal suara gangguan dari luar atau suara dari pantulan menyebabkan analisis suara lebih sulit untuk dilakukan.

Kata kunci : Perawatan prediktif, monitoring kondisi, sinyal getaran, sinyal suara, bantalan gelinding

Pendahuluan

Pemantauan kerusakan mesin sejak dulu merupakan hal yang penting dalam proses perawatan mesin. Ada beberapa metode yang digunakan untuk memantau kondisi mesin, antara lain analisis pelumas, thermografi, dan analisis getaran [1,2].

Salah satu teknologi yang banyak digunakan untuk memonitor dan memprediksi kerusakan pada komponen mesin adalah analisis sinyal getaran. Mesin dan komponen yang mengalami kerusakan akan membangkitkan sinyal tertentu [3].

Namun teknologi analisis getaran ini memiliki beberapa keterbatasan antara lain pengukuran akan mengalami kendala untuk beberapa kondisi seperti beberapa posisi/kondisi dimana sulit untuk meletakkan akselerometer, misalnya dalam komponen-komponen mesin yang bergerak yang diletakkan pada *box* yang tertutup dan sulit diakses, kondisi lingkungan yang sangat sulit dan berbahaya seperti pada temperatur tinggi, kelembaban tinggi, korosif, dan radiatif. Fenomena benda padat yang bergetar akan menimbulkan suara sesuai

dengan frekuensi benda tersebut bergetar, sehingga dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi gejala kerusakan. Pada penelitian ini akan dilakukan kaji banding metode pemantauan dengan menggunakan sinyal getaran dan sinyal suara yang diemisikan mesin dengan menggunakan mikrofon bergerak. Pemilihan penggunaan mikrofon bergerak bertujuan untuk mengganti dari penggunaan mikrofon *array* yang menggunakan mikrofon dengan jumlah yang sangat banyak untuk menemukan posisi sumber suara.

Dasar Teori

Sinyal Suara. Suara adalah suatu fenomena fisik yang ditimbulkan akibat adanya getaran dari suatu benda. Fenomena adanya suara sangat erat kaitannya dengan frekuensi, amplitude, dan cepat rambat suara [4]. Pada mesin berputar, adanya indikasi kerusakan mesin biasanya disebabkan karena fenomena *unbalance*, *misalignment*, kerusakan bantalan, kerusakan roda gigi, dan kerusakan lainnya. Faktor-faktor ini akan menyebabkan mesin tersebut berputar tidak dalam kondisi normal sehingga akan menimbulkan suara bising (*noise*).

Sound Mapping. Konsep *sound mapping* mengacu pada mikrofon jamak (*array microphone*) yang digunakan untuk memetakan suara pada suatu area. *Sound mapping* merupakan suatu metode untuk menjelaskan tentang paparan suara yang terjadi pada suatu alat dengan cara menampilkannya dalam bentuk pemetaan pada suatu area. Pemetaan ini berdasarkan dengan frekuensi yang diemisikan oleh mesin.

Menggunakan satu mikrofon untuk mendapatkan suara dari berbagai sumber tidak dapat memberikan informasi tentang lokasi suara tersebut. Bila menggunakan mikrofon jamak maka lokasi suara dapat ditentukan berdasarkan keterlambatan pada fase sinyal diakuisisi oleh banyak mikrofon. Karena jarak antara sumber suara dan masing-masing mikrofon tidak sama, ada penundaan dalam sinyal yang diperoleh.

Mikrofon jamak pada satu garis (1 dimensi) dapat digunakan untuk menentukan posisi kebisingan sepanjang satu sumbu.

Namun, dengan mikrofon jamak 2D, lokasi sumber suara dapat ditentukan di sepanjang dua sumbu. Suara yang diemisikan mesin dapat ditentukan tingkat tekanan suaranya yang kemudian dapat ditampilkan dalam bentuk kontur atau warna tertentu untuk menggambarkan kondisi suara dari alat tersebut [5].

STFT (Short Time Fourier Transfrom). *Short Time Fourier Transform (STFT)* adalah pengembangan dari *Fourier Transform (FT)* yang bertujuan untuk menampilkan sinyal dengan domain waktu dan domain frekuensi. Metode ini akan digunakan untuk menentukan posisi dari sumber suara dengan menggunakan mikrofon bergerak. Mikrofon yang bergerak dengan kecepatan tertentu, akan merekam suara dengan tekanan yang berbeda jika mendekati atau menjauhi sumber suara tertentu. Dengan demikian peta kontur dari sinyal suara dalam domain waktu dan frekuensi dapat digunakan dalam memperkirakan posisi sumber suara. Formula yang digunakan pada STFT ini yaitu [6]:

$$STFT(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) \left(w(t - \tau) e^{-2j\pi f\tau} \right) dt \quad (1)$$

Kerusakan Bantalan. Kerusakan pada bantalan dapat diketahui dengan adanya goresan pada bantalan, keausan, pecah pada lintasan dalam maupun luar, dan kerusakan bola pada bantalan. Sinyal yang dibangkitkan karena kerusakan ini berupa impuls, yaitu pada saat elemen rotasi bersentuhan dengan kerusakan tersebut. Secara umum jenis-jenis kerusakan bantalan [7] yaitu :

- Kerusakan pada lintasan dalam (*Inner race*) atau *ball pass frekuensi inner race (BPFI)*, yang dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$BPFI = \frac{Nb}{2} \cdot fr \cdot \left(1 + \frac{Bd}{Pd} \cdot \cos \alpha \right) \quad (2)$$

Kerusakan pada lintasan luar atau disebut dengan *ball pass frekuensi outer race*

(BPFI), yang dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$BPFO = \frac{Nb}{2} \cdot fr \cdot \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cdot \cos \alpha \right) \quad (3)$$

- Kerusakan pada bola (*Rolling Element*) Atau disebut juga *ball spin frekuensi (BSF)*. Nilai BSF dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$BSF = \frac{Nb}{2 \cdot Bd} \cdot fr \cdot \left(1 - \left(\frac{Bd}{Pd} \cdot \cos \alpha \right)^2 \right) \quad (4)$$

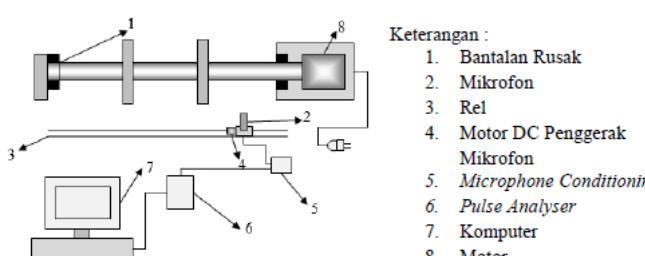
- Kerusakan pada pemisah (*Cage*), atau disebut dengan *Fundamental Train Frekuensi (FTF)*. Besarnya nilai FTF dapat dihitung dengan persamaan berikut
-

$$FTF = \frac{fr}{2} \cdot \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cdot \cos \alpha \right) \quad (5)$$

Metodologi

Eksperimen pendektsian sinyal suara dilakukan pada sebuah ruangan yang cukup besar, dimana sinyal suara yang dipantulkan oleh dinding dapat diminimalkan. Pada eksperimen ini, respon suara diukur dengan sebuah mikrofon yang bergerak.

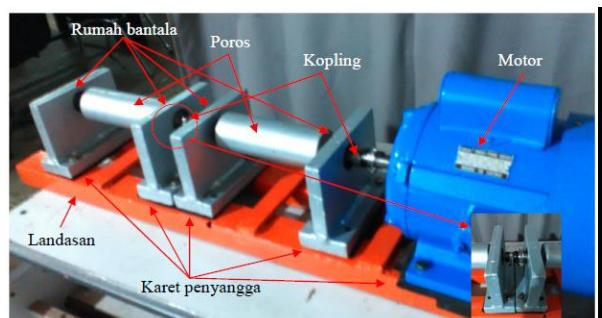
Pengujian dilakukan dengan memvariasikan jarak mikrofon ke sumber suara pada jarak 10 cm, 30 cm, 50 cm dan pada kecepatan konstant 0.02 m/s. Mikrofon akan bergerak pada lintasan sepanjang 1.18 m. *Set up* alat uji untuk sistem uji poros dengan bantalan rusak ini dapat dilihat pada Gambar.1



Gambar 1. *Set Up* Alat Uji Sistem Poros dengan Bantalan Rusak

Pada artikel ini dilakukan analisis sinyal getaran dan suara dari bantalan rusak pada sistem poros rotor skala laboratorium. Pencuplikan data dilakukan ketika alat uji sedang beroperasi dengan panjang lintasan gerak mikrofon yaitu 1.18 m.

Alat uji yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari enam komponen utama, yaitu motor, karet penyangga, kopling, rumah bantalan, poros, bantalan uji, dan landasan. Dalam keadaan terpasang, keenam komponen tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



(2.5)

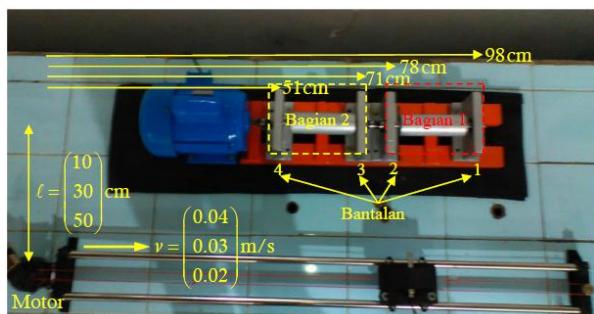
Gambar 2 Alat uji

Sebagai penghubung poros dengan poros dan poros dengan motor digunakan kopling. Kopling yang digunakan berbahan karet yang sangat fleksibel. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan pengaruh ketidaksesuaian poros dan getaran motor terhadap sistem uji [8]. Motor penggerak yang digunakan dalam pengujian ini adalah motor listrik AC. Motor ini memiliki daya 1/2 HP, voltase 220 V, dan ketika dilakukan pengujian asumsi putaran motor konstan 2982 rpm. Bantalan yang digunakan pada alat uji adalah ASB 6002 2RS (*single row deep groove ball bearing*) sebanyak tiga buah dan bantalan SKF 16002 (*single row deep groove ball bearing*) sebanyak satu buah.

Bantalan yang digunakan pada pengujian ini merupakan bantalan ASB 6002 2RS (bantalan 2, 3, dan 4) dan bantalan SKF 16002 (bantalan 1) yang telah mengalami kerusakan seperti yang terlihat pada Gambar 2 dan 3. Kerusakan ini disebabkan karena sistem uji sebelum dilakukan pengukuran dibiarkan beroperasi pada lingkungan yang berdebu dalam waktu yang lama, selain itu sistem uji pada bantalan 1 tidak dirawat dengan baik sehingga bantalan tersebut

mengalami keausan dan disamping itu antara motor dan poros pada sistem uji ini mengalami ketidaksumbuhan meski sudah dihubungkan dengan kopling karet [8].

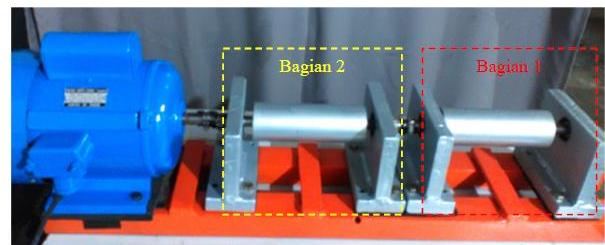
Pengambilan sinyal suara akan dilakukan sepanjang lintasan gerak mikrofon sepanjang 1.18 m. Di mana mikrofon yang digunakan hanya satu buah dan bergerak menjauhi motor alat uji. Pengambilan data akan dilakukan beberapa kali sesuai dengan variasi jarak dari mikrofon ke alat uji dan variasi kecepatan gerak mikrofon seperti yang ditampilkan pada Gambar. 3.



Gambar 3. Setting pengujian alat uji

Bantalan pada alat uji dibagi atas dua bagian, yaitu bantalan 1 dan bantalan 2 yang berada pada bagian 1, bantalan 1 merupakan bantalan yang mengalami kerusakan, kerusakan ini disebabkan karena sistem uji dibiarkan beroperasi pada lingkungan yang berdebu, selain itu sistem uji pada bantalan 1 tidak dirawat dengan baik sehingga bantalan tersebut mengalami keausan dan disamping itu antara motor dan poros pada sistem uji ini mengalami ketidaksumbuhan meski sudah dihubungkan dengan kopling karet [8]. Sedangkan pada bagian 2 (bantalan 3 dan bantalan 4) dan bantalan 2 merupakan bantalan yang tidak mengalami kerusakan.

Hal ini dilakukan untuk melihat indikasi kerusakan yang terjadi pada setiap bantalan dengan melihat perbedaan frekuensi yang muncul dari hasil pencuplikan data baik dari bantalan yang tidak mengalami kerusakan maupun dari bantalan yang mengalami kerusakan. Pembagian bantalan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pembagian kondisi bantalan

Pembahasan

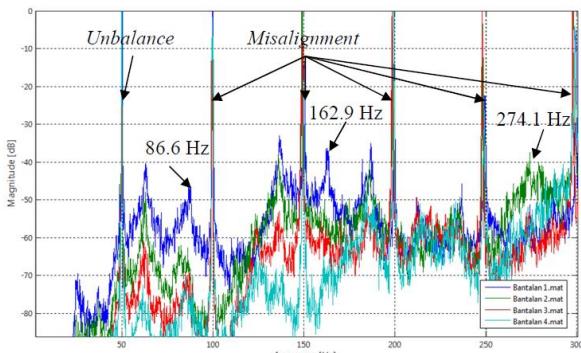
Dari Pers. 2 sampai dengan Pers.5 dan spesifikasi geometri pada bantalan yang digunakan maka dapat diketahui nilai masing-masing frekuensi putar bantalan seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai frekuensi referensi kerusakan

No.	Kerusakan Bantalan	Frekuensi Harmonik ke-n (Hz)					
		ASB 6002 2RS			SKF 16002		
		1x	2x	3x	1x	2x	3x
1	BPFI	268.04	536.07	804.11	261.86	523.71	785.57
2	BPFO	179.27	358.53	537.80	185.44	370.89	556.33
3	BSF	120.28	240.57	360.85	141.22	282.44	423.65
4	FTF	19.92	39.84	59.76	20.61	41.21	61.81

Frekuensi fundamental berada pada kolom 1x sedangkan pada kolom 2x, dan 3x merupakan frekuensi harmoniknya, frekuensi harmonik ini dapat terus dihitung hingga frekuensi ke-n sesuai dengan kelipatan dari frekuensi fundamental.

Pengukuran sinyal getaran. Untuk mengetahui kondisi awal alat uji, dilakukan pencuplikan sinyal getaran pada setiap bantalan melalui sensor akselerometer. Hal ini dilakukan untuk menghindari kesalahan dalam menganalisis data nantinya. Hasil pencuplikan sinyal getaran pada setiap bantalan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Spektrum frekuensi sinyal getaran pada setiap bantalan

Berdasarkan Gambar 5, secara garis besar masing-masing bantalan cenderung menunjukkan sinyal getaran pada frekuensi dominan yang hampir sama. Namun besar *magnitude* pada tiap bantalan berbeda.

Nilai sinyal getaran pada frekuensi 86.6 Hz dan 162.9 Hz merupakan nilai sinyal getaran pada bantalan 1 yang merupakan bantalan yang mengalami kerusakan. Nilai-nilai ini dipilih karena memiliki kecenderungan amplitudo yang lebih besar bila dibandingkan dari bantalan yang lainnya, sedangkan pada nilai frekuensi 274.1 Hz pada bantalan 3 dipilih karena amplitudo yang dimilikinya lebih besar dibandingkan dengan bantalan yang lain.

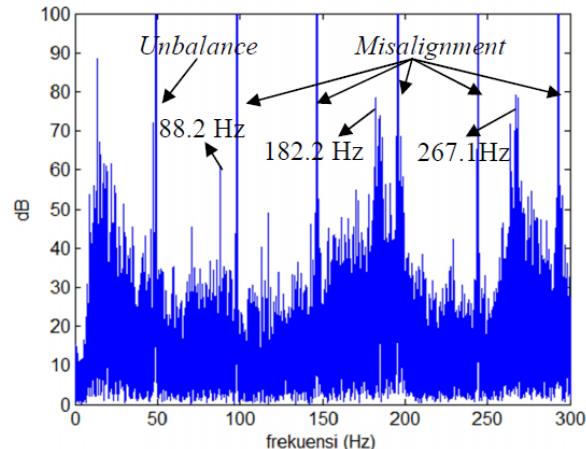
Hal ini muncul mungkin disebabkan bantalan tersebut mengalami kerusakan ketika diujikan saat pengambilan data. Nilai-nilai ini akan menjadi acuan untuk menganalisis nilai kerusakan bantalan berdasarkan sinyal suara nantinya. Namun dari nilai-nilai frekuensi yang telah dipilih ini, indikasi kerusakan sementara yang mendekati dari nilai tersebut yaitu kerusakan karena rusak bantalan pada bagian sangkar (FTF).

Pada Gambar 5 juga terlihat sinyal dominan pada frekuensi 50 Hz, 100 hz, 150 Hz, dan seterusnya. Sinyal ini merupakan sinyal yang muncul akibat kerusakan pada sistem uji yaitu kerusakan karena ketidakseimbangan (*unbalance*) pada frekuensi 50 Hz dan kerusakan karena ketidaksumbuhan (*misalignment*) pada frekuensi 100 Hz, 150 Hz, dan seterusnya.

Pengukuran sinyal suara. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan sistem poros rotor dengan bantalan rusak. Pengujian ini dilakukan dengan memvariasikan jarak mikrofon dari alat uji untuk mengetahui pengaruh variasi tersebut terhadap pendekatan sumber kerusakan berdasarkan sinyal suara. Mikrofon bergerak dengan kecepatan konstan 0.02 m/s data dicuplik sebanyak 3 kali yaitu pada jarak 10 cm, 30 cm, dan 50 cm.

Untuk mengetahui indikasi kerusakan yang terjadi maka dilakukan analisis sinyal suara pada domain frekuensi. Sinyal suara alat uji pada jarak 10 cm dapat dilihat pada Gambar 6.

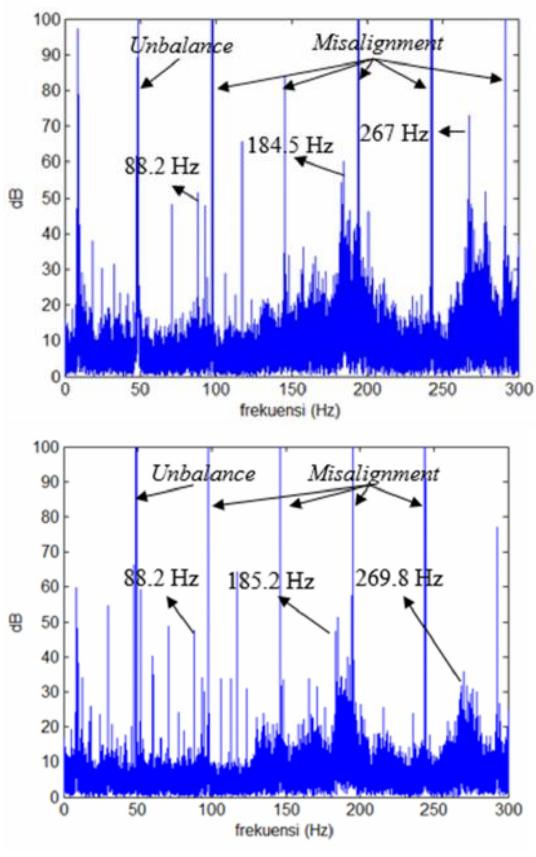
Berdasarkan Gambar 6, nilai frekuensi kerusakan bantalan yang didapatkan melalui analisis sinyal suara pada jarak mikrofon 10 cm ke alat uji baik itu FTF, BPFO, maupun BPFI berbeda dari yang didapatkan dari hasil analisis sinyal getaran, yaitu berturut-turut 88.2 Hz (harmonik ke-4), 182.2 Hz, dan 267.1 Hz. Hal ini berbeda dari sinyal referensi berdasarkan analisis getaran yang telah dipilih yaitu pada frekuensi 86.6 Hz, 162.9 Hz, dan 274.1 Hz. Namun nilai-nilai ini mendekati dari nilai yang dihitung secara teoritik maupun nilai yang diperoleh dari hasil analisis sinyal getaran untuk kerusakan bantalan ASB 6002 2RS dan SKF 16002. Hal ini bisa disebabkan adanya pengaruh dari pantulan suara yang terekam ketika merekam data pengujian dengan mikrofon atau perbedaan karena kecepatan motor yang tidak konstan.



Gambar 6. Kerusakan bantalan berdasarkan sinyal suara pada jarak 10 cm

Sedangkan pada jarak 30 cm dan 50 cm, hasil analisis sinyal suara untuk mengetahui indikasi kerusakan bantalan dapat dilihat pada Gambar 7.

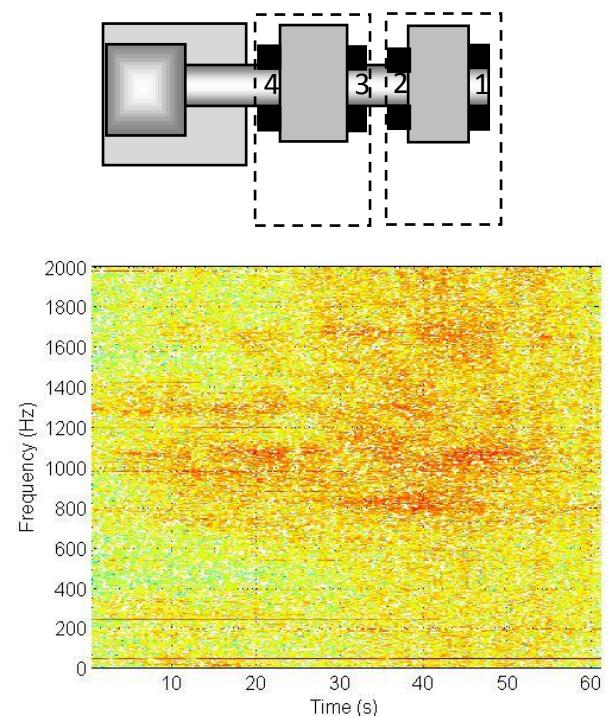
Kecenderungan hasil analisis frekuensi dari sinyal suara dari jarak 10 cm, 30 cm, dan 50 cm yaitu amplitudo yang diperoleh pada jarak pencuplikan data 10 cm lebih besar dibandingkan pada jarak pencuplikan data lainnya, yaitu pada frekuensi 88.2 Hz dengan amplitudo 60 dB, frekuensi 182.8 Hz dengan amplitudo 80 dB, dan frekuensi 267.1 Hz dengan amplitudo 75 dB. Ini menandakan intensitas sinyal suara yang diterima pada jarak 10 cm lebih besar daripada jarak pencuplikan data lainnya. Untuk nilai frekuensi yang terdeteksi baik pada jarak 10 cm, 30 cm, maupun 50 cm memiliki kecenderungan nilai yang hampir sama. Namun nilai yang diperoleh lebih mendekati dari nilai kerusakan bantalan FTF, BPFO, dan BPFI pada jarak yang lebih dekat yaitu pada jarak 10 cm.



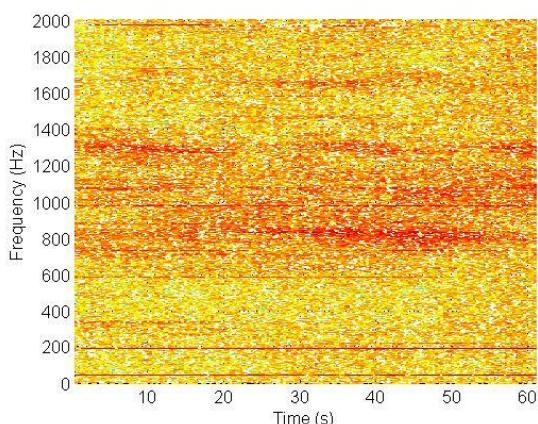
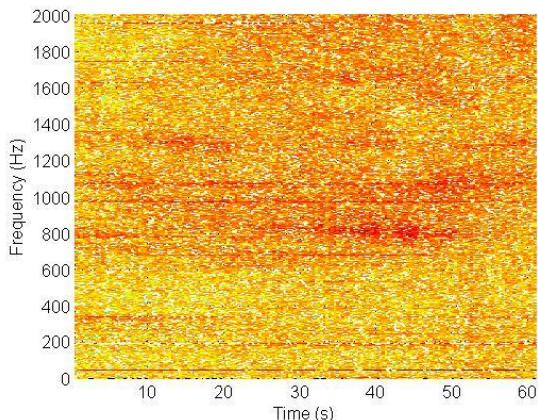
Gambar 7. Kerusakan bantalan berdasarkan sinyal suara pada jarak 30 cm (atas) dan jarak 50 cm (bawah)

Pemetaan sinyal suara dalam domain waktu dan frekuensi melalui STFT dapat dilihat pada Gambar 8. Berdasarkan Gambar 8, dapat dilihat bahwa intensitas sinyal suara yang tinggi yang ditandai dengan kontur warna semakin merah yang terjadi pada bagian 1, yaitu pada bagian yang ditempatkan bantalan rusak. Posisi kerusakan dapat diprediksi terjadi disekitar bantalan 1 dan bantalan 2.

Berdasarkan Gambar 8 maka penentuan posisi dari kerusakan yang terjadi pada sistem uji sulit ditentukan karena distribusi intensitas sinyal suara yang terekam sepanjang waktu pengamatan tidak menampilkan intensitas yang dominan pada daerah tertentu pada rentang 0 sampai dengan 2000 Hz. Hal ini membuat penentuan posisi kerusakan dengan berdasarkan frekuensi yang telah dipilih pada nilai-nilai frekuensi yang didapatkan dari sensor akselerometer yang merupakan indikasi kerusakan sistem uji sulit diterapkan. Hal ini juga berlaku pada jarak pengujian 30 cm dan 50 cm seperti yang ditampilkan pada Gambar 9.



Gambar 8. Pemetaan sinyal suara pada kecepatan 0.02 m/s pada jarak 10 cm



Gambar 9. Pemetaan sinyal suara pada kecepatan 0.02 m/s pada jarak pengujian 30 cm (atas), dan jarak pengujian 50 cm (bawah)

Berdasarkan Gambar 9 maka penentuan posisi dari kerusakan yang terjadi pada sistem uji sulit ditentukan karena distribusi intensitas sinyal suara tidak menampilkan intensitas yang dominan pada daerah tertentu baik itu pada jarak pengujian 30 cm maupun 50 cm. Hal ini membuat penentuan posisi kerusakan dengan berdasarkan frekuensi yang telah dipilih pada nilai-nilai frekuensi yang didapatkan dari sensor akselerometer yang merupakan acuan untuk indikasi kerusakan sistem uji melalui analisis STFT sulit diterapkan.

Kesimpulan

Pada artikel ini sudah didiskusikan perbandingan penggunaan sinyal suara dan sinyal getaran dalam mendeteksi kerusakan pada sistem poros rotor, terutama pada

bantalan gelinding. Dari hasil pembahasan didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu

1. Sinyal suara dan sinyal getaran dapat mendeteksi kerusakan pada bantalan melalui frekuensi masing-masing tipe kerusakan.
2. Berbeda dengan sinyal getaran, peta suara melalui STFT menunjukkan sinyal suara lebih didominasi oleh suara pada rentang frekuensi sekitar 800 Hz dan 1000 Hz yang merupakan sinyal harmonic ke 3 sampai ke 5 dari BPFO dan BPFI, karena bantalan mengalami keausan yang bersifat random pada pada *inner race* dan *outer race*.
3. Untuk nilai frekuensi yang terdeteksi baik pada jarak 10 cm, 30 cm, maupun 50 cm memiliki kecenderungan nilai yang hampir sama. Namun nilai yang diperoleh lebih mendekati dari nilai kerusakan bantalan FTF, BPFO, dan BPFI pada jarak yang lebih dekat
4. Munculnya sinyal suara gangguan dari luar atau suara dari pantulan menyebabkan analisis suara lebih sulit untuk dilakukan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Andalas dan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian dengan dana Hibah Fundamental dengan nomor kontrak 41/H.16/Fundamental/LPPM/2015. Artikel ini adalah bagian dari penelitian tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] Sukirno, *Pelumasan dan Teknologi Pelumasan*, Departemen Teknik Kimia FT-UI.
- [2] M. A. Razvi, and Tiwari A., *Investigations and Analysis of Tribological Properties for Engineering Materials*, International Journal and Scientific & Engineering Research Volume 3. 2012.
- [3] L. Son, M. Rusli, *Analisis Vibrasi Dasar*, CV Ferila 2012 : Padang, 2012.
- [4] M. Alif, *Deteksi Posisi Sumber Suara Untuk Analisis Kerusakan Mesin*

Berbasis Sinyal Suara, Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Unand, Padang, 2012.

[5] M. Rusli, M. dan L. Son, *Identifikasi Sumber Kebisingan Pada Generator Listrik Skala Rumahan Berbahan Bakar Bensin*, Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII) Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2013

[6] S.H. Nawab, and T.E. Quatieri, *Short-Time Fourier Transform.*

[7] A.R. Yani, *Diagnosis Kerusakan Bantalan Gelinding Melalui Sinyal Getaran*, Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Unand, Padang, 2003.

[8] B.I. Wahyudi, *Analisis Getaran Bantalan Rotor Skala Laboratorium Untuk Kondisi Normal dan Berdebu*, Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Unand, Padang, 2013