

Emisi Akustik Untuk Mendeteksi Kerusakan Bearing Pada Peralatan Berputar

Novitha L.Th. Thenu

Jurusan Teknik Mesin Universitas Pattimura

Jl. Ir. M.Putuhena Poka –Ambon

Telepon (0911)3825188

E-mail : vitry06@yahoo.com ; novithathenu@gmail.com

Abstrak

Emisi akustik merupakan sebuah fenomena yang dapat memberikan informasi tentang indikasi kerusakan komponen – komponen peralatan berputar. Pada penelitian ini dikaji emisi akustik dari bearing cacat yang tercipta dengan model kerusakan yakni : cacat bola, cacat inner race , cacat outer race dan cacat cage. Noise yang timbul direkam dengan Sound Level Meter dengan Software Spektrum Audacity. Rekaman dianalisa dalam Power Spektrum Density untuk mengenali frekuensi – frekuensi cacat. Frekuensi bearing seperti Ball Spin Frekuensi (BSF), Bearing Pass Frekuensi Outer race (BPFO), Bearing Pass Frekuensi Inner race (BPFI) dan Fundamental Train Frekuensi) dihitung secara teoritis. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa frekuensi noise yang diciptakan oleh komponen – komponen bearing yang rusak mendekati frekuensi teoritis. Frekuensi terukur pada putaran 1000 cpm menunjukkan bahwa BPFI berada pada 74,63 Hz di level 80,4. Sementara BPFI teoritis 72,33 Hz. BSF yang dihitung dan terukur 28,38 Hz dan 29,89 Hz. BPFO yang dihitung dan terukur 41,46 Hz dan 43,17 Hz.

Kata kunci : Emisi akustik, Frekuensi, Bearing

1. Pendahuluan

Dalam memantau kondisi peralatan berputar agar senantiasa dalam kondisi yang aman untuk beroperasi, maupun untuk melakukan diagnosa pada peralatan yang telah mengalami kenaikan tingkat getaran. pada penelitian ini digunakan suatu metode dalam memonitor dan mendeteksi *noise* berdasarkan emisi akustik yang dihasilkan pada peralatan mesin yang berputar melalui analisa spektrum bunyi. Melalui analisa spektrum akan dapat diamati berbagai frekuensi penyebab terjadinya *noise* sehingga dapat diketahui karakteristik kerusakan yang terjadi pada bearing .

Ada beberapa literatur yang telah membahas tentang vibration monitoring berdasarkan *noise* namun *noise* yang ditangkap harus diikuti dengan perekaman dengan perekam yang standar sehingga dapat memberikan hasil yang lebih teliti.

Kakishima [2] menjelaskan bahwa emisi akustik dan sinyal getaran yang dihasilkan menggambarkan bahwa suatu penurunan ukuran kerusakan bearing juga seiring dengan penurunan tingkat emisi akustik dan getaran pada analisa spectrum envelope.

Ming - Chyuan Lu dan Elijah Kannatey – Asibu [4] menganalisa bahwa bunyi yang didengar dari proses pemotongan dianalisis sebagai sumber getar dapat digunakan untuk memonitor pengausan peralatan yang berputar.

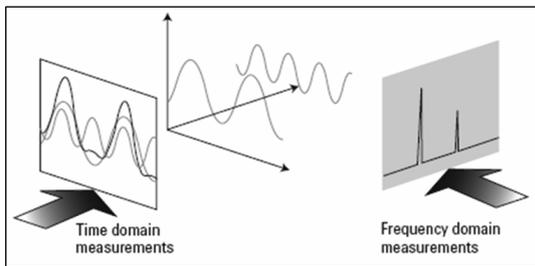
Choudhury and Tandon [1] menemukan bahwa dapat digambarkan antara bearing yang cacat dan yang tidak cacat, tidak ada penurunan yang signifikan untuk volume emisi dengan menurunkan beban. Meskipun demikian dengan penurunan kecepatan, perubahan yang signifikan dalam tegangan – tegangan dinamik pada bearing menjadi kontribusi dalam penurunan volume emisi. Dengan penurunan ukuran cacat pada bearing berhubungan dengan penurunan emisi, tetapi setelah ukuran cacat telah dipastikan maka kelihatannya tidak ada korelasi antara emisi dan penurunan ukuran cacat.

Li , James C [3] menjelaskan bahwa dengan teknik implementasi on line memiliki beberapa keuntungan diantaranya : terbukti lebih efektif dari pengukuran emisi akustik secara manual, lebih menyediakan alternatif yang lebih baik dari perencanaan monitoring kondisi getaran/bunyi bearing secara tradisional., dapat menjangkau lokasi cacat pada bearing dan lebih mudah diterapkan dengan microprocessor hardware untuk penerapan sistem on line.

Nur Ichlas [5] menjelaskan bahwa hasil yang diperoleh dari penelitian adalah mikropon dapat menggantikan fungsi dari accelerometer dalam mendeteksi chatter yang terjadi pada proses pemotongan. Dibuktikan dengan pola spektrum yang sama, frekuensi getaran untuk accelerometer adalah

222 - 259 Hz dan frekuensi mikropon 220-256 Hz. Sinyal getaran yang diperoleh dari alat ukur getaran pada suatu pengukuran getaran mesin adalah suatu gabungan respon bangunan mesin terhadap berbagai gaya eksitasi dari dalam maupun luar. Untuk melakukan analisis yang efektif terhadap sinyal ini adalah melalui penguraian sinyal yang kompleks menjadi komponen – komponennya, untuk selanjutnya masing – masing komponen dikorelasikan dengan sumber getarnya.

Penguraian sinyal kompleks dikelompokkan dalam dua bagian yaitu dalam domain waktu dan dalam domain frekuensi. Domain waktu (time domain) merupakan tinjauan getaran sebagai simpangan terhadap waktu, dimana akan menggambarkan fenomena getaran secara fisik. Sedangkan domain frekuensi (frequency domain) merupakan tinjauan getaran sebagai amplitudo sebagai fungsi frekuensi, yang akan sangat efektif untuk mengidentifikasi komponen – komponen getaran.



Gambar 1 Hubungan Domain Waktu dan Domain Frekuensi

Untuk menghasilkan pembacaan dalam domain frekuensi dari sebuah getaran maka digunakan perangkat FFT Spectrum Analyzer (Fast Fourier Transformation Spectrum Analyzer).

Problem kerusakan mesin akan menimbulkan getaran dan getaran ini akan menimbulkan noise yang sangat mengganggu kenyamanan. Noise ini sangat tidak diinginkan, dan sebaiknya diminimize sebisa mungkin. Noise ini bisa disebabkan akibat kerusakan pada inner, outer race ball bearing dan unbalance. Cacat atau kegagalan pada inner race dan outer race ball bearing akan menghasilkan getaran pada arah radial.

Ball bearing yang tidak menahan beban thrust dianggap memiliki sudut kontak nol, secara perkiraan outer race berputar sebesar 40 persen dari putaran poros, dan inner race sebesar 60 persen putaran poros. Perkiraan tersebut sangat tergantung dari jumlah elemen yang berputar (ball), diameter pitch dan faktor lainnya.

Pendekatan untuk nilai frekuensi cacat pada inner dan outer race, ball spin dan fundamental train frekuensi dapat dinyatakan dengan persamaan :

- Inner Race Defect Frequency

$$\text{BPFI} = \frac{n}{2} \cdot \frac{N}{60} \left(1 + \frac{d}{D} \cos \theta \right) \quad (1)$$

- Outer Race Defect Frequency

$$\text{BPFO} = \frac{n}{2} \cdot \frac{N}{60} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \theta \right) \quad (2)$$

- Ball Spin Frequency (BSF)

$$\text{BSF} = \frac{D}{2 \times d} \frac{n}{60} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \cos \theta \right)^2 \right] \quad (3)$$

- Fundamental Train Frequency (FTF)

$$\text{FTF} = \frac{n}{2 \times 60} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \theta \right) \quad (4)$$

Dimana : N = Jumlah bola pada bearing
d = Diameter bola
D = Pitch diameter bearing
Φ = Sudut kontak

Metodologi

Model uji yang diteliti seperti yang ditunjukkan di lampiran adalah bearing normal, bearing cacat : cage, inner dan outer race. Bearing – bearing tersebut diuji secara bergantian pada frekuensi putar 10 Hz, 13,33 Hz dan 16,67 Hz (600 cpm, 800 cpm dan 1000 cpm) Noise yang timbul direkam dengan sound level yang ditempatkan pada daerah sekitar rumah bearing uji.

Peralatan Penelitian

Penelitian dilakukan pada mesin uji yang dilengkapi dengan beban disk dan massa unbalance serta rumah bearing sebagai tempat uji bearing dengan tipe cacat yang berbeda.

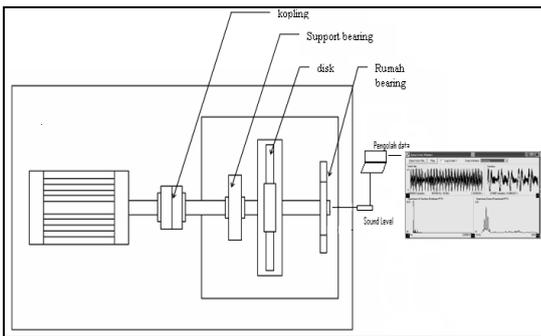
Peralatan yang digunakan adalah :

- Ball bearing tipe NTN 6305 dengan kondisi normal dengan spesifikasi :
Jumlah Ball = 7
Diameter luar = 62 mm
Diameter dalam = 20 mm
Pitch Diameter = 25 mm
Diameter Ball = 6,5 mm
Sudut kontak = 0
- Ball bearing tipe NTN 6305 single row deep groove ball bearing dengan kondisi cacat. cage, inner dan outer race.
- Sound Level Meter untuk mengukur intensitas noise dan merekam
- Dial indikator dengan ketelitian 0.01 mm
- Disk dan massa unbalance dengan geometri dan berat tertentu sehingga diharapkan akan menghasilkan efek yang signifikan.
- Poros dengan bahan baja ST 70 dengan diameter 20 mm dan panjang 250 mm.
- Kopling fleksible untuk menyambung poros motor dan poros beban.
- Support bearing berupa pillow block bearing.
- Motor listrik AC tiga fase dengan spesifikasi sebagai berikut :
Type : Y 90S – 4 (380 V – 50 Hz)
Putaran Max : 1400 rpm
Daya : 0,75 hp

Model Pengujian

Model pengukuran dan perekaman sinyal getaran dan noise dapat digambarkan sebagai berikut : perekaman menggunakan SLM dengan asumsi arah buntui dapat ditangkap dari berbagai arah. Pada kasus unbalance digunakan massa unbalance yang ditempatkan pada disk, dengan jarak tertentu dari pusat disk. Massa unbalance ini diharapkan menimbulkan gaya eksitasi (gaya sentrifugal) yang bekerja pada poros.

Berikut ini adalah skema pengambilan data :



Gambar 2 Skema Pengambilan Data

Noise bearing direkam pada 3 tingkatan frekuensi yang berbeda yaitu 10 Hz, 13,33 Hz dan 16,67 Hz dan pada masing-masing frekuensi tersebut data diambil 5 kali

Noise yang telah direkam ditransfer ke software analyzer spectrum untuk melihat karakteristik cacat bearing pada frekuensi - frekuensi tertentu . Frekuensi aktual yang diperoleh melalui pengujian mendekati frekuensi cacat bearing secara teoritis yang ditampilkan dalam diskusi hasil

3. Hasil dan Pembahasan

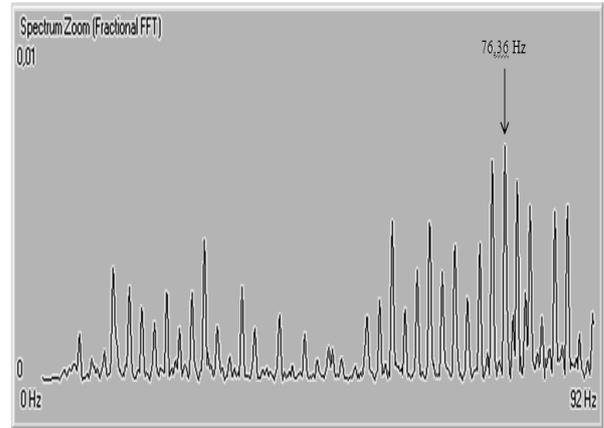
3.1. Pengujian Bearing Normal

Kondisi dari bearing dalam kondisi baik artinya tidak terdapat keausan pada bagian outer race, inner race, ball maupun cage (pemisah).



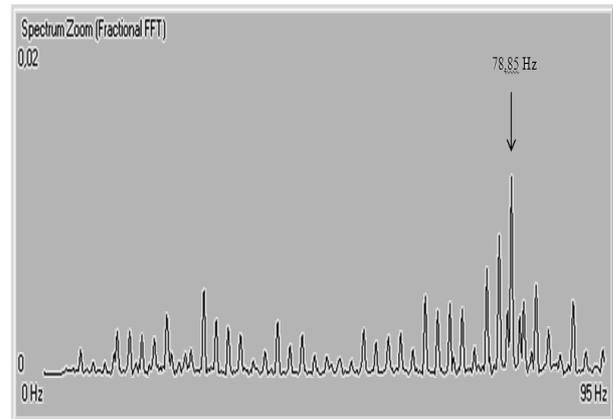
Gambar 3 Bearing Normal

Hasil pengukuran frekuensi bearing normal dengan frekuensi 16,67 Hz dapat dilihat pada tampilan grafik berikut ini.



Gambar 4. Spektrum Zoom (Fractional FFT) Bearing Normal Kondisi dengan Beban Disk pada Putaran 1000 cpm

Dari grafik terlihat bahwa pada putaran 1000 cpm (16,67 Hz) tidak menampakkan amplitudo yang berarti. Hal ini menunjukkan amplitudo getaran yang sangat kecil. Dalam hal ini amplitudo terbesar adalah $0,0066 \text{ m/s}^2$ pada frekuensi 76,36 Hz .



Gambar 5. Spektrum Zoom (Fractional FFT) Bearing Normal Kondisi Unbalance pada Putaran 1000 cpm

Pada grafik terlihat untuk kondisi unbalance pada putaran 1000 cpm (16,67 Hz) terdapat amplitudo terbesar $0,0056 \text{ m/s}^2$ pada frekuensi 78,85 Hz. Amplitudo yang muncul tidak menunjukkan hal yang berarti. Pada putaran 1000 cpm selalu muncul pada dua kali frekuensi putar yaitu 0,19 Hz, 0,38 Hz, 0,57 Hz, 0,78 Hz demikian seterusnya berulang secara harmonik

3.2. Pengujian Bearing Cacat : Cage, Bola, inner dan outer race.

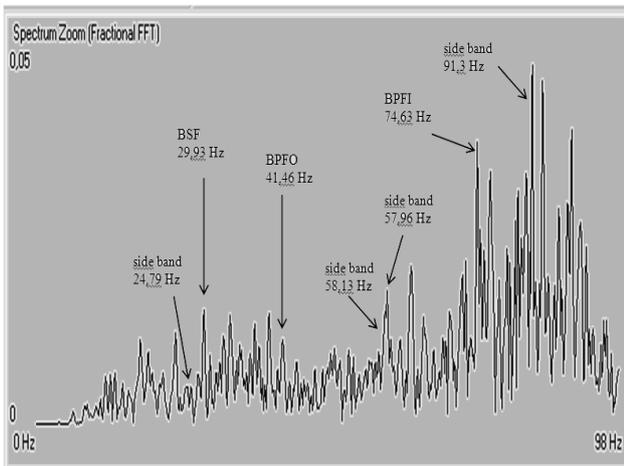
Kerusakan bearing cacat dapat dilihat pada gambar berikut ini.



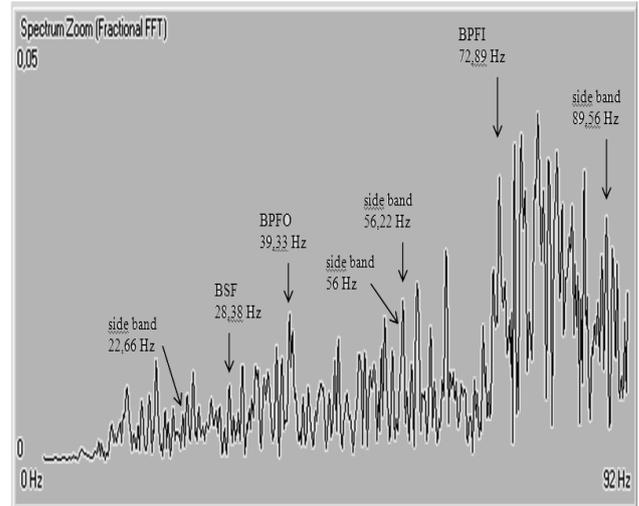
Gambar 6. Foto Bearing Cacat

Kerusakan bearing meliputi cacat pada cage, terjadi perubahan diameter ball, keretakan pada ball dan keausan pada lintasan dalam dan luar .

Hasil pengukuran noise diperlihatkan dalam gambar 7 dan 8.



Gambar 7. BSF, BPFI Dan BPFO Bearing Cacat pada Putaran 1000 Cpm



Gambar 8. BSF, BPFI dan BPFO Bearing Cacat dengan Kondisi Unbalance Putaran 1000 cpm

Dari grafik terlihat bahwa amplitudo yang muncul pada frekuensi 29,93 Hz diindikasikan sebagai frekuensi cacat bola yang secara teoritis muncul pada frekuensi 29,89 Hz. Amplitudo yang dominan muncul pada frekuensi cacat outer race 41,46 Hz dengan side band yang muncul sebelum dan sesudah frekuensi cacat yaitu 24,79 Hz dan 58,13 Hz. Sedangkan amplitudo frekuensi cacat inner race muncul pada frekuensi 74,63 Hz dengan side band muncul pada frekuensi 57,96 Hz dan 91,3 Hz.

Pada putaran 1000 cpm kondisi unbalance, muncul amplitudo cacat bola (BSF) muncul pada frekuensi 28,38 Hz yang secara teoritis muncul pada frekuensi 29,89 Hz. Amplitudo BPFI muncul pada frekuensi cacat 72, 89 Hz yang secara teoritis muncul pada frekuensi 73,5 Hz dengan side band yang muncul sebelum dan sesudah frekuensi cacat outer race yaitu 56 Hz dan 89,56 Hz, sedangkan amplitudo BPFO muncul pada frekuensi cacat 39,33 Hz dengan side band sebelum dan sesudah frekuensi cacat yaitu 22,66 Hz dan 56,22 Hz. Amplitudo –amplitudo lain muncul sebagai akibat frekuensi fundamental dan mechanical looseness

Setelah melakukan analisa dapat dikatakan bahwa frekuensi cacat bearing hasil eksperimen mendekati teoritis , hal ini dapat dilihat pada tabel 1 dan 2 berikut ini.

Tabel 1 . Hasil Perhitungan Teoritis untuk BPFO , BPFI, BSF dan FTF

| Putaran (cpm) | BPFO (Hz) | BPFI (Hz) | BSF (Hz) | FTF (Hz) |
|---------------|-----------|-----------|----------|----------|
| 600 | 25,9 | 44,1 | 17,93 | 3,7 |
| 800 | 34,52 | 58,8 | 23,90 | 4,93 |
| 1000 | 43,17 | 73,5 | 29,89 | 6,17 |

Tabel 2 . Hasil Pengujian BPFO , BPFI, BSF untuk Kondisi Bearing dengan Beban Disk dan Massa Unbalance.

| Tipe Bearing | Putaran cpm | BSF (Hz) | | BPFO (Hz) | | BPFI (Hz) | |
|---------------------------------|-------------|------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|
| | | Beban disk | Massa unbalance | Beban disk | Massa unbalance | Beban disk | Massa unbalance |
| Cacat cage,inner dan outer race | 600 | 12,18 | 14,62 | 24,37 | 27,76 | 44,16 | 44,58 |
| | 800 | 22,15 | 24,62 | 31,02 | 35,07 | 54,65 | 57,45 |
| | 1000 | 29,93 | 28,38 | 41,46 | 39,33 | 74,63 | 72,89 |

Amplitudo yang muncul dalam domain frekuensi dinyatakan dalam skala logaritma atau desibel (dB) . Level decibel tertinggi berada 80.4 dB untuk putaran 1000 cpm pada frekuensi 86,133 Hz. Pada frekuensi 86,133 Hz ini mendekati range frekuensi cacat inner race (BPFI) 74,63 Hz untuk bearing cacat, yang dapat dilihat pada tabel 3 .

Tabel 3 . Nilai SLM Bearing Cacat dengan Beban Disk pada Putaran 600 cpm, 800 cpm dan 1000 cpm.

| Frekuensi (Hz) | decibel(dB) | | |
|----------------|----------------|--------------------|---------------------|
| | 600 cpm (10Hz) | 800 cpm (13,33 Hz) | 1000 cpm (16,67 Hz) |
| 21,533 | 68.3 | 68.8 | 69.9 |
| 43,066 | 70.8 | 71.6 | 72.9 |
| 64,600 | 74.8 | 76.8 | 78.2 |
| 86,133 | 76.2 | 78.3 | 80.4 |
| 107,666 | 73.5 | 76 | 78.7 |

Kesimpulan

Dari analisa spektrum noise terhadap hasil eksperimen dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan hasil pengukuran, spectrum noise berupa emisi akustik dengan menggunakan perekaman noise ternyata hasilnya mendekati hasil perhitungan secara teoritis . Hal ini dapat dilihat pada table 1 dan 2, dimana salah satu hasil analisa yang diperoleh secara teoritis pada putaran 1000 cpm untuk BPFI bearing cacat dengan beban disk sebesar 73,5 Hz sedangkan berdasarkan hasil pengujian BPFI muncul pada frekuensi 74, 63 Hz.
2. Setelah dianalisa tidak terdapat perbedaan yang berarti antara bearing dengan kondisi beban disk dan massa unbalance. Hal ini dapat dilihat pada hasil analisa untuk bearing cacat pada putaran 1000 cpm, BPFI muncul pada frekuensi 74,63 dengan beban disk dan pada frekuensi 72,89 Hz dengan massa unbalance.
3. Amplitudo dinyatakan dalam skala decibel, dimana level dB tertinggi mencapai 80.4 dB pada frekuensi 83,133 Hz, dimana frekuensi ini mendekati frekuensi cacat inner race bearing cacat yaitu 74,63 Hz.

Daftar Pustaka

- [1] Choudhury, A.. and N..Tandon, (2000). Application of acoustic emission technique for the detection of defect on rolling element bearing. *Tribology International*, 332, pp. 39-45.
- [2] Kakishima,H.,Nagatomo,T.,Ikeda,H. Yoshioka, T. and A. Korenaga, (2000). Measurement of acoustic emission and vibration of rolling bearing with an artificial defect. *Quarterly Review of Railway Technical Research Intitute*, Vol. 41, No. 3, pp 127-130.
- [3] Li, C, James, (2001). Acoustic emission analysis for bearing condition monitoring. *Dept. of Mechanical Engineering, Aeronautical Engineering and Mechanics RPI Troy*, NY 12180.
- [4] Ming - Chyuan Lu and Elijah Kannatey – Asibu, (2004). Analysis of sound signal characteristics associated with adhesive wear in machining. *Departement of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, The University of Michigan*, Vol 26, pp 183 – 197.
- [5] Nur, Ichlas, (2007). Studi eksperimental Pengaruh kedalaman potong terhadap laju penghasilan geram dengan menggunakan sound untuk mendapatkan kondisi operasi optimal. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)*.