

PENERAPAN METODE *ENVELOPING* UNTUK MENDETEKSI CACAT LOKAL BANTALAN GELINDING

Zainal Abidin, Komang Bagiasna, dan Wayan Noviyantha

Laboratorium Dinamika PPAU-IR-ITB

Ringkasan

Makalah ini akan membahas pengkajian dan penerapan metode *enveloping* untuk mendeteksi cacat lokal yang terjadi pada bantalan gelinding. Mula-mula akan dibahas keterbatasan dari metode konvensional, yang saat ini banyak digunakan oleh industri. Langkah-langkah yang diperlukan untuk menerapkan metode *enveloping* kemudian dikaji dan parameter-parameter yang mempengaruhi keberhasilan proses deteksi selanjutnya diidentifikasi. Untuk membuktikan efektifitas dari metode *enveloping* ini, dilakukan pengujian untuk mendeteksi cacat pada bantalan yang memiliki cacat lokal buatan pada lintasan dalamnya. Hasil penerapan metode *enveloping* menunjukkan bahwa metode ini mampu untuk mendeteksi cacat pada lintasan dalam bantalan, walaupun cacat tersebut tidak dapat dideteksi oleh metode konvensional.

Abstract

This paper describes the study and implementation of *enveloping* method to detect a local bearing defect. First, it discusses the limitation of the conventional method in bearing defect detection which is widely used in industry nowadays. The steps required to implement *enveloping* method are then studied and parameters influencing the success of detection process is identified. To demonstrate the effectiveness of the *enveloping* method, an experiment is performed to detect defect of a bearing with a simulated inner-race defect. The results of this study show that the *enveloping* method capable of detecting inner-race defect on a bearing in the situation where the conventional method fail to detect it.

Keywords : bearing, local defect, vibration, filter, demodulation, Hilbert transformation

1. PENDAHULUAN

Bantalan gelinding merupakan salah satu komponen yang umum digunakan pada suatu mesin rotasi. Hampir setiap mesin yang memiliki komponen yang berputar menggunakan bantalan gelinding. Dalam kondisi operasinya, bantalan gelinding berguna sebagai alat penumpu poros. Pada kondisi berputar, gaya yang bekerja pada bantalan merupakan gaya dinamik, sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada bantalan gelinding.

Kerusakan pada bantalan gelinding dapat dibedakan menjadi kerusakan lokal dan kerusakan merata. Kerusakan lokal pada bantalan umumnya merupakan awal dari terjadinya kerusakan merata. Karena itu, deteksi kerusakan lokal pada bantalan merupakan salah satu usaha untuk mencegah terjadinya kerusakan merata. Kerusakan merata yang dibiarkan berlangsung terus akan memicu terjadinya kerusakan total pada bantalan yang dapat menimbulkan kerusakan rotor atau rumah rotor.

Kerusakan lokal pada bantalan sering dideteksi dengan pengukuran sinyal getaran yang timbul saat bantalan beroperasi. Hal ini karena sinyal getaran yang dihasilkan oleh bantalan cacat memiliki ciri yang berbeda dengan sinyal getaran yang dihasilkan oleh bantalan normal.

Sinyal getaran yang dihasilkan oleh bantalan cacat mengandung suatu frekuensi unik yang berhubungan dengan jenis cacat yang terjadi. Dalam keadaan sebenarnya, sinyal getaran yang dihasilkan oleh bantalan cacat sering tertutup oleh sinyal lain seperti sinyal noise [1]. Fenomena ini mengakibatkan frekuensi cacat bantalan sulit diamati pada hasil pengukuran getaran. Selain itu, frekuensi cacat bantalan seringkali hanya muncul sebagai nilai harmoniknya.

Untuk menanggulangi kesulitan di atas, beberapa peneliti telah mengembangkan suatu metode pengolahan sinyal yang disebut sebagai metode *enveloping*. Metode ini telah diterapkan dalam penelitian Bruel & Kjaer [2], SKF [3], dan Barkov [4]. Dalam ketiga penelitian tersebut, metode *enveloping* terbukti dapat digunakan untuk memisahkan sinyal getaran akibat cacat bantalan dari sinyal lain. Pada perkembangan selanjutnya, dikenal adanya beberapa teknik dalam metode *enveloping* yaitu teknik *squaring* dan teknik *Hilbert*.

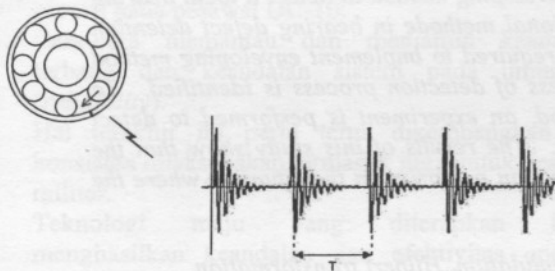
Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan menerapkan metode *enveloping* pada suatu sinyal getaran yang dihasilkan oleh cacat bantalan. Berdasarkan penelitian ini, diharapkan dapat diketahui karakteristik dan unjuk kerja metode *enveloping* dalam mengolah sinyal getaran. Karakteristik yang dimaksud mencakup parameter-

parameter penting yang mempengaruhi keberhasilan metode *enveloping* dalam mendeteksi kerusakan lokal bantalan. Untuk mencapai tujuan tersebut, beberapa batasan berikut digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

- Metode *enveloping* dilakukan dengan teknik transformasi Hilbert
- Pengujian dilakukan pada frekuensi putar 10 Hz (600 rpm).

2. GETARAN AKIBAT CACAT LOKAL

Pada saat bantalan gelinding berputar, akan terjadi gaya kontak antara permukaan komponen rotasi dengan permukaan lintasan, baik lintasan dalam maupun lintasan luar. Besar gaya kontak tersebut akan bersifat periodik apabila bantalan berada pada kondisi normal. Namun, pada bantalan yang kondisinya cacat, gaya kontak yang terjadi akan bersifat impulsif. Impuls tersebut terjadi setiap kali elemen rotasi melintasi cacat lokal [3]. Fenomena tersebut akan mengakibatkan adanya suatu pola impuls pada sinyal getaran bantalan seperti yang terlihat pada Gambar (1).



Gambar 1 Sinyal getaran akibat cacat lokal

Gaya impuls tersebut memiliki frekuensi yang sesuai dengan jenis cacat lokal yang terjadi pada bantalan. Cacat lokal adalah cacat yang terjadi pada komponen bantalan dan terjadi hanya setempat. Ada empat tempat di mana cacat lokal dapat terjadi, yaitu cacat pada lintasan luar (*outer race*), cacat pada lintasan dalam (*inner race*), cacat pada bola/rol, dan cacat pada sangkar (*cage*). Setiap jenis cacat lokal akan menimbulkan sinyal getaran dengan frekuensi tertentu yang besarnya berhubungan dengan kecepatan putar (n) dan dimensi bantalan [3]. Adapun keempat frekuensi cacat lokal bantalan adalah :

a. Ball Pass Frequency Outer (BPFO)

BPFO menyatakan frekuensi yang berhubungan dengan cacat yang terjadi pada lintasan luar. Besar frekuensi BPFO adalah :

$$BPFO = \frac{n}{2} K \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \alpha \right) \quad (1)$$

b. Ball Pass Frequency Inner (BPFI)

BPFI menyatakan frekuensi yang berhubungan dengan cacat yang terjadi pada lintasan dalam. Besar frekuensi BPFI adalah :

$$BPFI = \frac{n}{2} K \left(1 + \frac{Bd}{Pd} \cos \alpha \right) \quad (2)$$

c. Ball Spin Frequency (BSF)

BSF menyatakan frekuensi yang berhubungan dengan cacat yang terjadi pada komponen rotasi. Besar frekuensi BSF adalah :

$$BSF = \frac{n}{2} \frac{Pd}{Bd} \left(1 + \left(\frac{Bd}{Pd} \cos \alpha \right)^2 \right) \quad (3)$$

d. Fundamental Train Frequency (FTF)

FTF menyatakan frekuensi yang berhubungan dengan cacat yang terjadi pada sangkar (*cage*). Besar frekuensi FTF adalah :

$$FTF = \frac{n}{2} \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \alpha \right) \quad (4)$$

Persamaan-persamaan di atas diturunkan berdasarkan asumsi bahwa lintasan luar diam sedangkan lintasan dalam berputar. Dalam persamaan tersebut, beberapa notasi yang digunakan adalah :

- n = frekuensi putar poros (Hz)
- K = jumlah bola atau rol
- Bd = diameter bola atau rol
- Pd = diameter *pitch* bantalan
- α = sudut kontak antara bola/rol dengan lintasan dalam

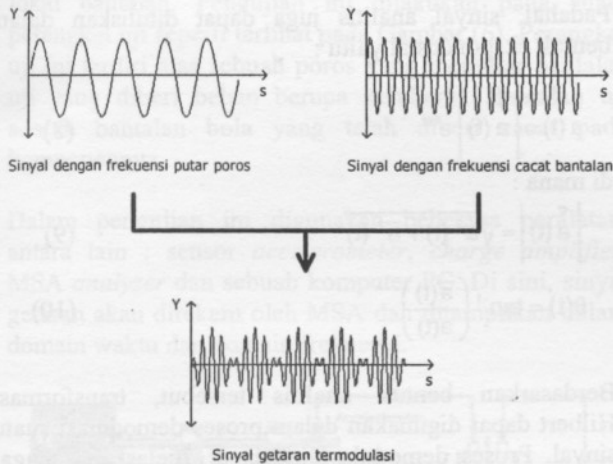
3. SINYAL GETARAN YANG TERMODULASI

Bantalan dengan cacat pada lintasan atau komponen rotasi akan menghasilkan sinyal getaran yang bersifat termodulasi amplitudo [2]. Sinyal ini terdiri atas dua bagian yaitu sinyal pemodulasi yang memiliki frekuensi tinggi dan sinyal *carrier* yang memiliki frekuensi rendah. Sinyal pemodulasi memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi cacat yang terjadi (BPFO/BPFI/BSF), sedangkan sinyal *carrier* memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi putar poros.

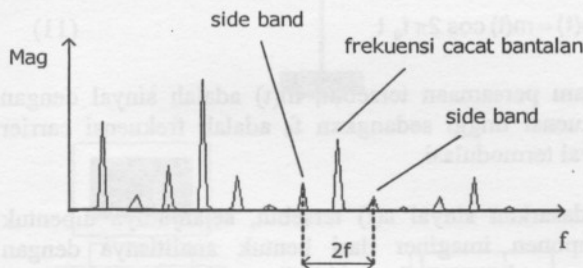
Sinyal getaran yang termodulasi amplitudo terjadi karena cacat pada bantalan mengalami perubahan posisi sesuai dengan putaran dari poros. Fenomena ini mengakibatkan amplitudo sinyal dengan frekuensi putar poros akan termodulasi oleh sinyal dengan frekuensi cacat bantalan [2]. Adapun proses pembentukan sinyal getaran termodulasi amplitudo pada bantalan cacat adalah seperti yang terlihat pada Gambar (2).

Sinyal getaran yang termodulasi amplitudo memiliki suatu ciri khusus apabila ditampilkan dalam domain frekuensi. Suatu contoh tampilan domain frekuensi dari sinyal getaran termodulasi amplitudo adalah seperti yang ditunjukkan dalam Gambar (3). Beberapa frekuensi yang tampak pada Gambar (3) adalah frekuensi putar poros (f), frekuensi cacat bantalan dan frekuensi *side band*. *Side band* adalah sinyal yang dalam domain frekuensi menghasilkan sederetan komponen yang muncul

disekitar frekuensi cacat bantalan dengan jarak yang sama dengan frekuensi putar poros. Munculnya fenomena ini merupakan salah satu ciri terjadinya modulasi amplitudo pada sinyal getaran [2].



Gambar 2 Sinyal getaran yang termodulasi amplitudo



Gambar 3 Sinyal getaran yang termodulasi amplitudo

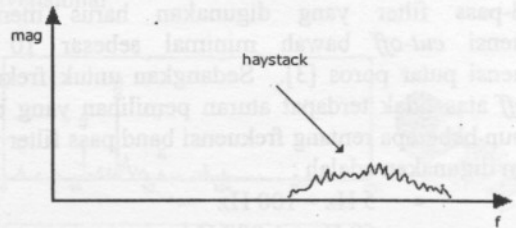
4. KETERBATASAN METODE KONVENSIONAL

Telah diuraikan di atas bahwa cacat lokal pada bantalan dapat dideteksi berdasarkan sinyal getaran yang dihasilkan oleh bantalan. Sinyal getaran tersebut berupa impuls yang terjadi akibat adanya kontak antara cacat dengan komponen bantalan [3]. Sinyal tersebut akan memiliki frekuensi sesuai dengan jenis cacat yang terjadi pada bantalan. Agar deteksi cacat dapat dilakukan, sinyal tersebut perlu diubah dulu ke dalam domain frekuensi. Metode deteksi ini disebut sebagai metode konvensional.

Dalam penerapannya, metode konvensional ini menemui beberapa masalah. Salah satu masalah yang serius terjadi apabila sinyal getaran dalam domain frekuensi tidak menampilkan frekuensi cacat, padahal sinyal getaran dalam domain waktu telah menunjukkan adanya suatu pola modulasi atau impuls.

Masalah semacam ini timbul bila gaya impuls yang terjadi memiliki durasi yang sangat pendek namun kandungan energinya besar [5]. Durasi impuls yang pendek akan membuat sinyal getaran dengan frekuensi cacat bantalan hanya muncul sebagai nilai harmoniknya. Sinyal getaran dengan frekuensi harmonik semacam ini biasanya tertutup oleh sinyal lain seperti sinyal noise atau sinyal yang memiliki frekuensi yang nilainya sesuai dengan frekuensi putar poros atau kelipatannya [1]. Fenomena ini mengakibatkan timbulnya pola *haystack*

pada sinyal getaran domain frekuensi seperti yang terlihat pada Gambar (4).



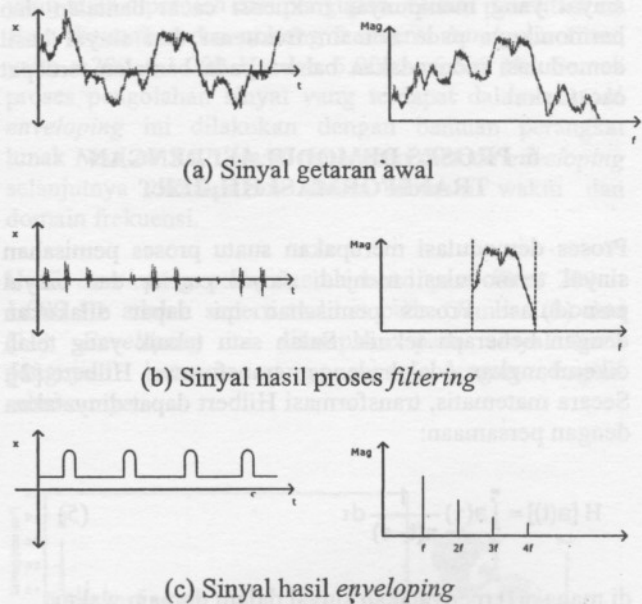
Gambar 4 Pola haystack dalam domain frekuensi

5. LANGKAH-LANGKAH DALAM METODE ENVELOPING

Untuk mengatasi masalah-masalah yang timbul pada metode deteksi konvensional, digunakan suatu metode yang disebut dengan metode *enveloping*. *Enveloping* merupakan suatu proses yang terdiri atas beberapa tahap pengolahan sinyal. Adapun langkah-langkah pengolahan sinyal yang dilakukan dalam proses *enveloping* adalah [3]:

1. Proses penyaringan sinyal getaran hasil pengukuran
2. Demodulasi sinyal hasil proses penyaringan
3. Transformasi Fourier sinyal hasil demodulasi

Tahap pengolahan sinyal dan hasil yang diperoleh pada setiap tahap dalam metode *enveloping* ini diperagakan dengan jelas dalam Gambar (5).



Gambar 5 Langkah-langkah metode *enveloping*

Dalam Gambar (5) tampak bahwa proses pertama dalam metode *enveloping* adalah proses penyaringan sinyal. Tujuan utama dari proses penyaringan ini adalah untuk mendapatkan komponen sinyal dengan frekuensi cacat bantalan. Untuk itu, sinyal dengan frekuensi rendah (frekuensi putar poros) dan sinyal dengan frekuensi

tinggi (sinyal noise) harus dihilangkan dari sinyal getaran. Langkah ini dilakukan dengan menyaring sinyal getaran menggunakan *band-pass* filter.

Band-pass filter yang digunakan harus memiliki frekuensi *cut-off* bawah minimal sebesar 10 kali frekuensi putaran poros [3]. Sedangkan untuk frekuensi *cut-off* atas tidak terdapat aturan pemilihan yang baku. Adapun beberapa rentang frekuensi band pass filter yang umum digunakan adalah :

- 5 Hz – 100 Hz
- 50 Hz – 1.000 Hz
- 500 Hz – 10.000 Hz
- 5.000 Hz – 40.000 Hz

Proses yang ke dua dalam metode *enveloping* adalah proses demodulasi sinyal hasil proses penyaringan. Hal ini karena proses penyaringan sinyal yang dilakukan pada tahap sebelumnya akan menghasilkan sinyal yang memiliki komponen frekuensi cacat bantalan yang dominan, namun sinyal ini termodulasi amplitudo. Untuk memisahkan sinyal dengan frekuensi cacat bantalan dari sinyal termodulasi amplitudo, maka diperlukan proses demodulasi.

Proses ke tiga dalam metode *enveloping* ini adalah transformasi Fourier pada sinyal hasil demodulasi. Transformasi Fourier ini akan menghasilkan sinyal domain frekuensi dari sinyal hasil demodulasi. Sinyal domain frekuensi ini akan menampilkan komponen sinyal yang memiliki frekuensi cacat bantalan. Di sini, sinyal dengan frekuensi cacat bantalan juga akan muncul sebagai nilai harmoniknya. Jadi, munculnya komponen sinyal yang mempunyai frekuensi cacat bantalan dan harmoniknya pada domain frekuensi dari sinyal hasil demodulasi menandakan bahwa pada bantalan terdapat cacat lokal.

6. PROSES DEMODULASI DENGAN TRANSFORMASI HILBERT

Proses demodulasi merupakan suatu proses pemisahan sinyal termodulasi menjadi sinyal carrier dan sinyal pemodulasi. Proses pemisahan ini dapat dilakukan dengan beberapa teknik. Salah satu teknik yang telah dikembangkan adalah dengan transformasi Hilbert [2]. Secara matematis, transformasi Hilbert dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$H[a(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} a(\tau) \frac{1}{\pi(t-\tau)} d\tau \quad (5)$$

di mana $a(t)$ menyatakan sinyal dalam domain waktu.

Dalam bilangan kompleks, suatu sinyal periodik dapat dinyatakan menjadi suatu sinyal analitis [2]. Bentuk kompleks tersebut terdiri dari komponen real dan komponen imajiner. Komponen real dari bentuk tersebut adalah nilai sinyal periodik itu sendiri, sedangkan komponen imajinernya adalah hasil transformasi Hilbert dari komponen real. Sebagai contoh, bentuk analitis dari suatu sinyal $a(t)$ dapat dituliskan sebagai :

$$\tilde{a}(t) = a(t) + i\bar{a}(t) \quad (6)$$

yang mana :

$$\bar{a}(t) = H[a(t)] \quad (7)$$

Padahal, sinyal analitis juga dapat dituliskan dalam bentuk eksponensial yaitu :

$$\tilde{a}(t) = \left| \tilde{a}(t) \right| e^{i\theta(t)} \quad (8)$$

di mana :

$$\left| \tilde{a}(t) \right| = \sqrt{a^2(t) + \bar{a}^2(t)} \quad (9)$$

$$\theta(t) = \tan^{-1} \left(\frac{\bar{a}(t)}{a(t)} \right) \quad (10)$$

Berdasarkan bentuk analitis tersebut, transformasi Hilbert dapat digunakan dalam proses demodulasi suatu sinyal. Proses demodulasi ini dapat dijelaskan sebagai berikut: misalkan terdapat suatu sinyal yang termodulasi amplitudo $a(t)$ seperti pada dalam persamaan berikut.

$$a(t) = m(t) \cos 2\pi f_0 t \quad (11)$$

Dalam persamaan tersebut, $m(t)$ adalah sinyal dengan frekuensi tinggi sedangkan f_0 adalah frekuensi carrier sinyal termodulasi.

Berdasarkan sinyal $a(t)$ tersebut, selanjutnya dibentuk komponen imajiner dari bentuk analitisnya dengan menggunakan transformasi Hilbert. Proses tersebut akan menghasilkan komponen imajiner dari $a(t)$.

$$\bar{a}(t) = m(t) \sin 2\pi f_0 t \quad (12)$$

Dengan demikian, bentuk analitis dari sinyal $a(t)$ dapat dibuat dengan menggunakan persamaan (11) dan persamaan (12). Hasil pembentukan sinyal analitis tersebut adalah:

$$\tilde{a}(t) = m(t) \cos 2\pi f_0 t + i m(t) \sin 2\pi f_0 t \quad (13)$$

Proses demodulasi terhadap sinyal analitis tersebut kemudian dilakukan dengan menggunakan persamaan (8), (9) dan (10). Dengan menggunakan persamaan tersebut, sinyal pemodulasi dengan frekuensi tinggi $m(t)$ dapat dipisahkan dari sinyal *carrier* sebagaimana terlihat dalam persamaan berikut.

$$\left| \tilde{a}(t) \right| = \sqrt{m(t)^2 \cos^2 2\pi f_0 t + m(t)^2 \sin^2 2\pi f_0 t} \quad (14)$$

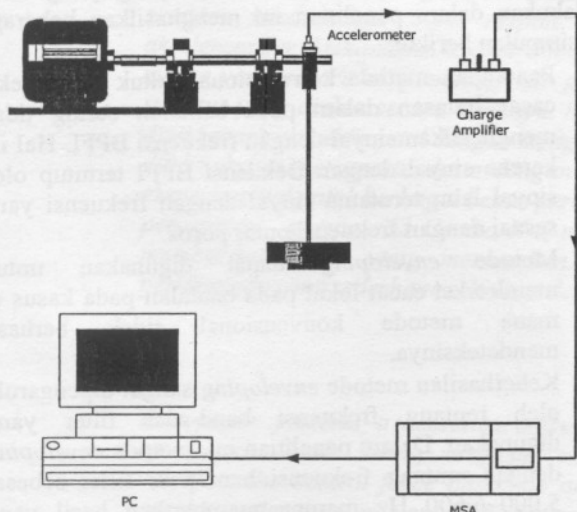
$$\left| \tilde{a}(t) \right| = m(t) \quad (15)$$

Jadi, dengan menerapkan proses demodulasi dalam pengolahan sinyal getaran bantalan, sinyal cacat lokal bantalan dapat diketemukan kembali. Hal ini karena proses demodulasi mampu menemukan kembali sinyal pemodulasi dari sinyal yang termodulasi amplitudo.

7. PENGUJIAN DETEKSI CACAT BANTALAN

Pengujian getaran ini dimaksudkan untuk menilai kemampuan metode *enveloping* dalam mendeteksi cacat lokal bantalan. Pengujian ini dilakukan pada suatu perangkat uji seperti terlihat pada Gambar (6). Perangkat uji ini terdiri atas sebuah poros yang memutar bantalan uji yang diberi beban berupa pemberat. Bantalan uji adalah bantalan bola yang telah diberi cacat pada komponennya.

Dalam pengujian ini digunakan beberapa peralatan, antara lain : sensor *accelerometer*, *charge amplifier*, MSA analyzer dan sebuah komputer PC. Di sini, sinyal getaran akan direkam oleh MSA dan ditampilkan dalam domain waktu dan domain frekuensi.



Gambar 6 Susunan peralatan pengujian bantalan

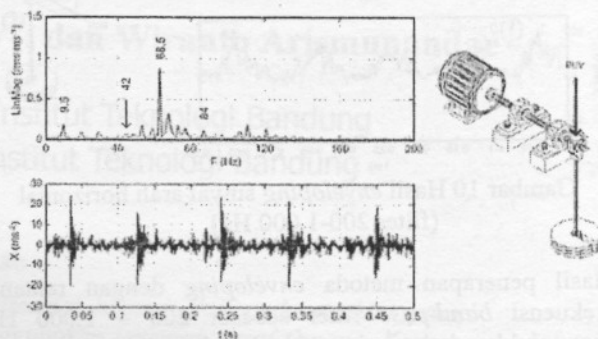
Pengukuran getaran bantalan dilakukan pada kecepatan putar poros 600 rpm dan dalam dua daerah rentang frekuensi pengukuran yaitu 0–1.600 Hz dan 5.000–6.600 Hz. Setiap pengukuran dilakukan dalam dua arah yaitu arah vertikal dan horizontal secara serentak. Data hasil pengukuran ini disimpan dalam bentuk domain waktu agar dapat diolah dengan metode *enveloping*.

Deteksi dengan Metode Konvensional

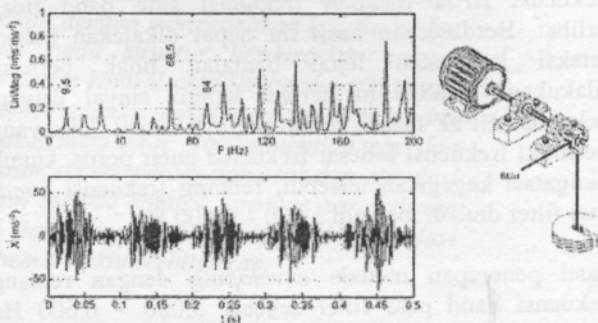
Pada bagian ini akan dibahas suatu hasil pengujian getaran pada salah satu bantalan uji. Bantalan uji yang dipilih adalah bantalan bola (NTN 6201) yang telah diberi cacat pada lintasan dalamnya. Bantalan uji ini apabila diputar pada kecepatan putar 600 rpm akan menghasilkan frekuensi BPFI sebesar 42 Hz. Adapun hasil pengujian getaran pada arah vertikal dan horizontal adalah seperti terlihat pada Gambar (7) dan (8).

Dalam Gambar (7) dan (8) tersebut tampak bahwa sinyal getaran dalam domain frekuensi, baik dalam arah vertikal maupun horizontal, tidak memiliki komponen sinyal dengan frekuensi BPFI. Komponen sinyal yang terlihat dominan adalah sinyal dengan frekuensi yang sesuai dengan frekuensi putar poros dan harmoniknya. Fenomena ini terjadi karena komponen sinyal dengan frekuensi BPFI tertutup oleh sinyal yang lebih dominan yaitu sinyal dengan frekuensi putar poros dan

kelipatannya. Berdasarkan hasil pengujian ini dapat dikatakan bahwa deteksi cacat lokal bantalan tidak berhasil dilakukan dengan menggunakan metode konvensional.



Gambar 7 Hasil pengujian getaran arah vertikal

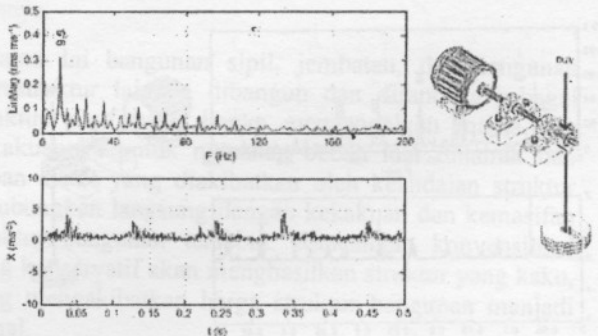


Gambar 8 Hasil pengujian getaran arah horizontal

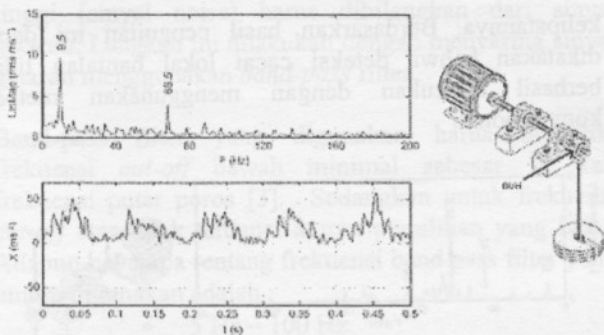
Deteksi dengan Metode *Enveloping*

Metode *enveloping* akan diterapkan pada sinyal getaran yang telah diperoleh dari pengujian. Dalam penelitian ini akan digunakan dua rentang frekuensi *band-pass filter*, yaitu : 200 – 1.000 Hz dan 5.000 – 6.600 Hz. Semua proses pengolahan sinyal yang terdapat dalam metode *enveloping* ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak MatLab R12. Hasil penerapan metode *enveloping* selanjutnya ditampilkan dalam domain waktu dan domain frekuensi.

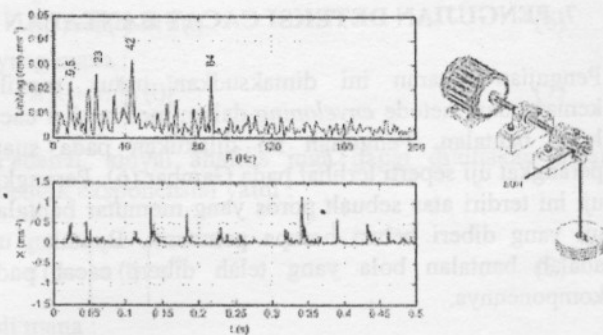
Hasil *enveloping* pada daerah band pass filter 200 – 1.000 Hz adalah seperti terlihat pada Gambar (9) dan (10). *Enveloping* ini diterapkan pada sinyal hasil pengujian getaran yang sama dengan bagian sebelumnya.



Gambar 9 Hasil *enveloping* sinyal arah vertikal (filter 200-1.000 Hz)



Gambar 10 Hasil *enveloping* sinyal arah horizontal (filter 200-1.000 Hz)

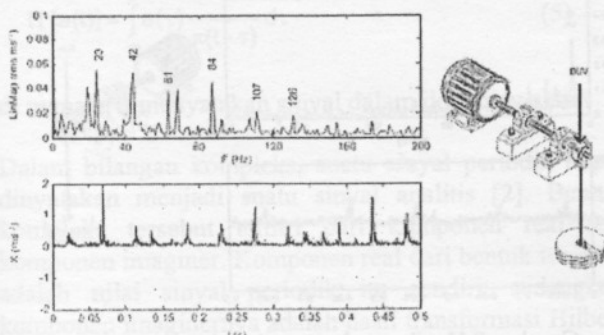


Gambar 12 Hasil *enveloping* sinyal arah horizontal (filter 5.000-6.600 Hz)

Hasil penerapan metoda *enveloping* dengan rentang frekuensi *band-pass* filter sebesar 200 – 1.000 Hz menunjukkan bahwa sinyal hasil olahan didominasi oleh sinyal dengan frekuensi putar poros (9,5 Hz), sedangkan frekuensi BPFI maupun frekuensi side band tidak terlihat. Berdasarkan hasil ini dapat dikatakan bahwa deteksi kerusakan lokal bantalan tidak berhasil dilakukan. Kondisi ini terjadi karena sinyal dengan frekuensi BPFI masih tertutup oleh sinyal lain yang memiliki frekuensi sebesar frekuensi putar poros. Untuk mengatasi kegagalan tersebut, rentang frekuensi *band-pass* filter diubah menjadi 5.000 – 6.600 Hz.

Hasil penerapan metoda *enveloping* dengan rentang frekuensi *band pass* filter sebesar 5.000 – 6.600 Hz ditampilkan pada Gambar (11) dan (12). Dalam kedua gambar tersebut terlihat bahwa sinyal dengan frekuensi cacat lokal BPFI, yaitu sebesar 42 Hz, dan harmonik keduanya, yaitu sebesar 84 Hz, muncul secara jelas. Bahkan, harmonik ketiga dari sinyal dengan frekuensi BPFI yang memiliki frekuensi 126 Hz juga muncul secara jelas seperti tampak dalam Gambar (11). Komponen sinyal lain yang muncul dari hasil proses *enveloping* ini adalah sinyal dengan frekuensi sebesar frekuensi putar poros, yaitu 9,5 Hz. Namun, sinyal ini tidak bersifat dominan sehingga dapat dikatakan bahwa deteksi kerusakan lokal bantalan telah berhasil dilakukan.

Perlu dicatat di sini bahwa hasil *enveloping* sinyal getaran arah vertikal lebih baik dibandingkan dengan hasil *enveloping* sinyal getaran arah horizontal. Hal ini terjadi karena daerah *load zone* dari bantalan uji terletak pada sisi atas. Kondisi ini akan menyebabkan gaya impulse terbesar terjadi dalam arah vertikal.



Gambar 11 Hasil *enveloping* sinyal arah vertikal (filter 5.000-6.600 Hz)

8. KESIMPULAN

Kajian dan penerapan metode *enveloping* yang telah dilakukan dalam penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan berikut:

- Penerapan metode konvensional untuk mendeteksi cacat lintasan dalam pada bantalan sering tidak menghasilkan sinyal dengan frekuensi BPFI. Hal ini karena sinyal dengan frekuensi BPFI tertutup oleh sinyal lain, terutama sinyal dengan frekuensi yang sesuai dengan frekuensi putar poros.
- Metode *enveloping* dapat digunakan untuk mendeteksi cacat lokal pada bantalan pada kasus di mana metode konvensional tidak berhasil mendeteksinya.
- Keberhasilan metode *enveloping* sangat dipengaruhi oleh rentang frekuensi *band-pass* filter yang digunakan. Dalam penelitian ini, metode *enveloping* dengan rentang frekuensi *band-pass* filter sebesar 5.000–6.600 Hz mampu memberikan hasil yang baik untuk bantalan yang memiliki frekuensi putar sebesar 10 Hz (600 rpm).
- Hasil *enveloping* akan lebih baik bila digunakan sinyal getaran yang berasal dari pengukuran dalam arah yang sesuai dengan arah *load zone* bantalan.

DAFTAR PUSTAKA

1. -----: "What are *Enveloping* & SEE ?", SKF Condition Monitoring, 1988.
2. Bruel & Kjaer.: " *An Enveloping Technique for Early Stage Detection and Diagnosis of Faults in Rolling element Bearing* ", Published Paper, 1994.
3. -----: " *Early Warning Faults Detection in Rolling Element Bearings Using Microlog Enveloping* ", SKF Condition Monitoring, 1986.
4. Barkov, Alexej. V.: " *Automatic Diagnostics and Condition Prediction of Rolling Element Bearing Using Enveloping Method* ", Published Paper, 1993.
5. -----: " *Introduction to Demodulation* ", Commtest Instrument, 1990.