

DETEKSI KERUSAKAN BUSI PADA MOTOR BAKAR OTTO DENGAN METODA PEMROSESAN SINYAL GETARAN DENGAN WAVELET

Agus Sujono

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta
Jl. Ir Sutami 36 A, Jebres, Surakarta, 57126

**)E-mail : agus.sujono@ft.uns.ac.id*

Abstrak

Busi merupakan alat utama agar mesin dapat menyala, namun cukup sulit untuk mengetahui kondisi masih baik atau sudah setengah rusak, lebih-lebih pada saat mesin jalan. Bengkel pun sering tidak bisa teliti mengatasi karena peralatan nya yang kurang memadai. Maka penelitian ini mencoba mencari metoda baru yang lebih mudah dan murah digunakan untuk mengetahui kondisi busi, yang dapat memeriksa kondisi busi saat mesin dalam keadaan hidup. Metoda yang digunakan adalah dengan merekam pola sinyal getaran mesin, yang kemudian dapat dianalisa dengan metoda wavelet dari Matlab. Wavelet induk yang digunakan adalah fungsi Haar yang dimanfaatkan sebagai filter digital untuk menemukan ciri dari sinyal tersebut, yaitu dengan memilah spektrum frekuensi tertentu sehingga dapat diketahui ciri pola getaran yang menandakan kerusakan busi. Hasil penelitian ini telah dapat dengan cukup baik dapat menetapkan kondisi busi yang rusak. Metoda ini dapat dikembangkan pada diagnosa kerusakan mesin yang lain.

Katakunci : wavelet, signal processing, spark failure, Otto engine

Abstract

Spark plug is the main tool for the internal combustion engine to turn on , but it is quite difficult to determine the condition still good or was half broken , especially when the vehicle is on the road. Workshops are often not able to accurately resolve because its equipment inadequate. This research is trying to find a new method that is easier and cheaper to use to determine the condition of the spark plug, which can check the condition of the spark plugs while the engine is in running on. The method used is to record the pattern of machine vibration signals , which can then be analyzed with the wavelet method of Matlab. Used mother wavelet is the Haar function which is used as a digital filter to find the characteristics of the signal, ie with a certain sort of frequency spectrum that can be known characteristic vibration patterns that indicate damage to the spark plug . The results of this study have been well enough to be able to set a broken spark plug condition . This method can be developed to diagnose other engine damage .

Keywords: wavelet , signal processing , spark failure , Otto engines

1. Pendahuluan

Daya motor bakar Otto dihasilkan dari poros engkol adalah disebabkan oleh pembakaran dalam ruang bakar, antara bahan bakar (bensin / premium) dengan udara, yang dipicu oleh percikan api busi. Apabila percikan api ini terganggu, tentu akan mempengaruhi besarnya daya poros yang dihasilkan, yang berarti juga akan mempengaruhi efisiensi atupun konsumsi bahan bakar. Maka perlu selalu dijaga agar kondisi busi tetap prima dan oleh karena itu perlu sering diperiksa kondisinya. Namun untuk memeriksa kondisi busi dalam keadaan panas atau sedang jalan tidaklah mudah dilakukan, sehingga diperlukan alat khusus untuk keperluan tersebut. Metoda pemrosesan sinyal getaran dengan wavelet kiranya dapat memberi peluang untuk menciptakan alat

yang diperlukan, seperti yang dilakukan dalam penelitian ini.

Komponen motor bakar sesungguhnya cukup banyak jumlahnya, sehingga masalah kerusakan dapat terjadi dalam banyak hal, mulai dari sistem bahan bakar, sistem pendinginan, sistem pengapian, sistem pelumasan, sistem mekanis lainnya ataupun sistem elektroniknya. Dengan demikian, kerusakan dapat terjadi dalam banyak hal dan tentunya diperlukan analisa menyeluruh bila diperlukan untuk mengetahui kondisi selengkapnyanya. Alat diagnosa untuk kondisi mesin yang lengkap memang diperlukan, namun sampai sekarang pada umumnya banyak keterbatasan dibanding dengan permasalahan yang terjadi, dibengkel mesin lebih banyak dilakukan oleh seorang yang sudah ahli / berpengalaman dan alat yang dibunakan

hanya alat-alat dasar saja. Metoda pemrosesan sinyal getaran dengan wavelet kiranya dapat menyempurnakan alat diagnosa kerusakan mesin yang ada, walupun dalam penelitian ini baru dalam tahap awal dan hanya pada satu titik permasalahan, tetapi diharapkan dapat terus dikembangkan.

Deteksi kerusakan busi yang dimaksudkan disini bukan memeriksa kondisi fisik busi, tetapi diperiksa hasil percikan api yang dihasilkan untuk pemicu pembakaran langsung diruang bakar. Maksudnya adalah bila busiitu baik, tentu akan menghasilkan percikan api yang baik, dan akan menghasilkan pembakaran yang baik pula. Apabila semua busi baik, tentu akan menghasilkan semua pembakaran yang baik dan dengan demikian akan menghasilkan pola getaran mesin yang merata pada semua silindernya. Apabila pembakaran dalam salah satu silinder terganggu oleh karena busi rusak, maka pola getaran yang dihasilkan mesin juga tidak merata. Pola getaran mesin tidak normal dibanding dengan pola getaran mesin dalam kondisi normal akan digunakan sebagai dasar analisa kerusakan dalam penelitian ini, yang dilakukan dengan bantuan pemrosesan sinyal getaran dengan metoda wavelet.

Penelitian ini dilakukan dengan merekam sinyal getaran dari mesin, menggunakan sensor akselerometer dan Digital Signal Oscilloscope (DSO), dengan komputer sebagai penyimpan datanya, berarti semua sinyal getaran akan masuk terekam, baik getaran putaran mesin, getaran pembakaran, getaran bantalan / laqer, kipas, transmisi semua sinyal getaran menjadi satu. Permasalahannya adalah bagaimana merinci atau memilah-milah dan menetapkan sinyal-sinyal tersebut dan apa referensi atau alat ujinya.

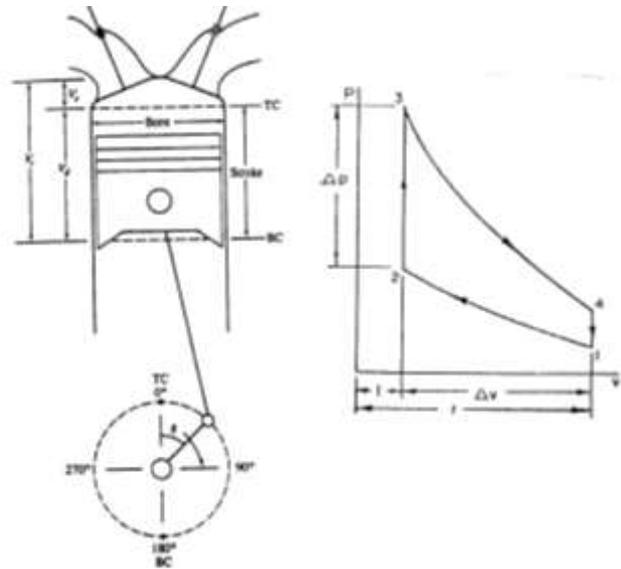
Untuk menjawab permasalahan tersebut, digunakan sensor poros engkol yang diletakkan pada titik mati atas (TMA) dari piston pertama, untuk menetapkan perioda putarannya. Walaupun masih terdapat selisih phase antara sinyal yang terekam dengan fisiknya, yang diakibatkan oleh kelambatan (*delay*) dari sensor, namun pola getarannya dapat dideteksi secara proporsional. Untuk menganalisa pola getaran yang terekam, digunakan perangkat lunak (*software*) Matlab, dengan menggunakan metoda analisa *toolbox* wavelet atas sinyal yang ada dan didasarkan pada karakter pola getarannya sesuai dengan pengetahuan tentang motor bakar yang ada, akan dapat diketahui kerusakan yang terjadi.

2. Metode

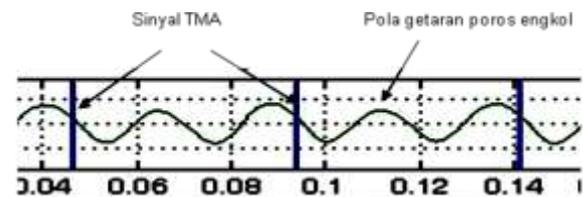
2.1. Getaran Motor Otto

Motor Otto (bensin) yang digunakan dalam penelitian ini adalah motor empat langkah (4 tak), empat silinder (4 silinder), kapasitas 1500 cc. Carakerja tiap silindernya ada empat langkah, yaitu : langkah isap, langkah tekan /

kompresi, langkah kerja / ledakan dan langkah buang. Diagramnya seperti Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram kerja motor Otto 4 langkah (Heywood [6])



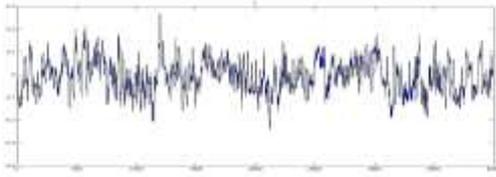
Gambar 2 : Pola getaran mesin normal

Getaran utama pada motor ini adalah berasal dari ledakan pembakaran dari tiap-tiap silinder, yang masing-masing meledak sekali dalam dua putaran poros engkol, yang berarti dalam dua putaran semua silinder meledak satu kali, berarti juga dalam satu putaran poros engkol terjadi dua ledakan dari 2 silinder. Maka kecepatan putar poros engkol atau frekuensi poros engkol adalah sama dengan frekuensi terjadinya ledakan silinder dibagi dua. Tiap saat terjadi ledakan didalam silinder akan menimbulkan puncak getaran akselerometer, sehingga akan terlihat pola getarannya seperti Gambar 2.

2.2. Sinyal Getaran Akselerometer

Akselerometer dipasang pada mesin dan ditambah sensor TMA untuk sinyal referensi (Etefagh [1]). Getaran yang masuk ke akselerometer adalah semua getaran yang terjadi mulai dari getaran poros engkol, getaran ledakan ruang bakar, getaran kipas, getaran dinamo / generator, getaran bantalan / laqer dan juga termasuk getaran chasis, semua getaran bercampur menjadi satu, baik yang frekuensi rendah maupun frekuensi tinggi, lihat Gambar 3. Maka permasalahannya adalah bagaimana mengetahui

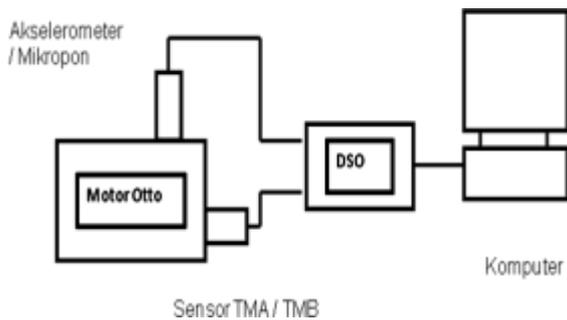
frekuensi dan pola putaran poros engkolnya. Jadi yang harus dilakukan adalah bagaimana mengekstrak / memilah sinyal getaran poros engkol dari semua getaran yang ada dan apa alat pengujinya.



Gambar 3. Pola getaran motor bakar Otto

2.3. Perekaman data

Peralatan perekaman sinyal getaran pada Gambar 4, terdiri dari sensor getaran berupa akselerometer, *Digital Signal Oscilloscope* (DSO) dan komputer sebagai penyimpan datanya. Untuk merekam sinyal referensi, dipasang sinyal detektor titik mati atas (TMA) sebagai sinyal pengujian atau pembandingan untuk menetapkan kebenaran besar frekuensi dari sinyal akselerometer yang terekam.



Gambar 4 : Pelengkapan perekaman data



Gambar 5 : Dynamometer Engine Test Bed (ETB)

Mesin dipasang pada ETB (Engine Test Bed) Gambar 5 dan Gambar 6, dijalankan dengan beban yang bervariasi dan putaran dari 1000 rpm sampai 4000 rpm. Kondisi

busi dipasang dalam kondisi baik dan kondisi rusak, dengan lokasi yang berganti-ganti.



Gambar 6 : Consol Engine Test Bed (ETB)

2.4. Metoda Wavelet

Pemrosesan sinyal yang paling umum berdasar pada transformasi Fourier (Mallat [7]):

$$F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-iwt} dt \quad (1)$$

Pada umumnya transformasi Fourier banyak digunakan untuk mengetahui spektrum frekuensi dari sinyal yang ada, yaitu dengan menggunakan transformasi Fourier cepat / Fast Fourier Transform (FFT). Namun apabila frekuensi berubah-ubah terhadap waktu, tidak dapat menunjukkan berapa frekuensi dan kapan terjadinya. Untuk ini dikembangkan dengan fungsi jendela dalam transformasi Fourier disebut : Short Time Fourier Transform (STFT) :

$$STFT_g(\tau, k) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g^*(t - \tau)e^{-2\pi ikt} dt \quad (2)$$

Untuk mendapatkan frekuensi lokal, fungsi jendela : $g(t)$. Fungsi STFT ini terdiri dari 2 variabel, yaitu waktu dan frekuensi yang memungkinkan untuk memaparkan distribusi waktu-frekuensi dari energi sinyalnya. Setiap fungsi jendela $g(t)$ adalah terkait pada waktu dan frekuensi dengan resolusi minimal. Setelah $g(t)$ dipilih, resolusi tersebut adalah tetap dan sama pada semua frekuensi dan waktu.

Pada aplikasinya STFT cukup sulit untuk mendapatkan versi digital dan tidak ada transformasi yang cepat. Lebih-lebih dengan ukuran jendela yang tetap, untuk paparan frekuensi yang rinci diperlukan banyak jendela untuk setiap frekuensi yang berbeda. Untuk ini dikembangkan fungsi wavelet kontinu / Continuous Wavelet Transformation (CWT) :

$$CWT(\tau, \alpha) = \frac{1}{\sqrt{|\alpha|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g^*\left(\frac{t - \tau}{\alpha}\right)e^{-2\pi i k_0 \frac{t - \tau}{\alpha}} dt \quad (3)$$

Disini apabila α bertambah, mengakibatkan frekuensi menurun dan fungsi jendela mengembang. Karena waktu berupa eksponensial, maka dapat ditulis

$$: \gamma(s, \tau) = \int f(t) \psi_{s, \tau}^*(t) dt \quad (4)$$

Dimana :

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right)$$

$s, \tau = \text{riil dan } \int \psi(t) dt = 0$

Wavelet merupakan skala dan translasi dari wavelet induk $\psi(t)$ yang merupakan representasi skala dan waktu dari sinyal yang dapat direkonstruksi :

$$f(t) = \iint \gamma(s, \tau) \psi(t) ds d\tau \quad (5)$$

Oleh karena CWT banyak penggandaan / pengulangan (redundant) dan lambat pemrosesannya, maka dikembangkan lagi ke kawasan diskrit yang disebut : Discrete Wavelet Transform (DWT) yang akan diskalakan dan ditranslasikan dalam bentuk langkah (step) diskrit :

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{s_0^j}} \psi\left(\frac{t - k\tau_0 s_0^j}{s_0^j}\right) \quad (6)$$

$j, k = \text{integer}, s_0 = 2, \tau_0 = 1$

Wavelet diskrit bukan sekalaan dan translasi yang kontinu, tetapi hanya diskalakan dan ditranslasikan dalam step diskrit. Bidang dari skala dan waktunya adalah merupakan sampel pada interval diskrit dan dapat dibuat ortonogonal pada pelebaran (*dilation*) dan translasi dengan pemilihan wavelet induk yang khusus, sehingga rekonstruksi sinyal diperoleh dengan penjumlahan fungsi basis ortonogonal, dibebani dengan koefisien transformasi wavelet.

$$f(t) = \sum_{j,k} \gamma(j, k) \psi_{j,k}(t) \quad (7)$$

Fungsi skala diketahui sebagai spektrum filter lolos rendah LPF yang dikenal juga sebagai filter rerata, karena setiap kali meregang dalam kawasan waktu dengan faktor = 2, berarti *bandwidth* = 1/2. Maka sinyal dapat dikomposisi dalam wavelet :

$$\varphi(t) = \sum_{j,k} \gamma(j, k) \psi_{j,k}(t) \quad (8)$$

Selama pemilihan fungsi skala $\varphi(t)$ sedemikian sehingga spektrum ditempatkan pada ruang sebelah kiri yang terbuka oleh waveletnya, persamaan tersebut menggunakan jumlah terbatas dari wavelet sampai sekala tertentu dari j , sedangkan sisanya dikerjakan oleh wavelet. Spektrum lolos rendah dari fungsi sekala menggantikan sekala dari $-\infty$ sampai nilai j tertentu, sehingga : $\int \psi(t) dt = 1$. Berarti bila satu wavelet dapat dilihat sebagai *band pass filter* dan fungsi sekala

adalah *low pass filter*, maka seri dari wavelet yang dilebarkan dengan suatu fungsi sekala dapat disebut sebagai suatu *filter bank*.

Kombinasi dari spektrum fungsi sekala dengan wavelet selanjutnya menunjukkan pada fungsi sekala yang lain :

$$\varphi(2^j t) = \sum_k h_{j+1}(k) \varphi(2^{j+1} t - k) \quad (10)$$

$$\psi(2^j t) = \sum_k g_{j+1}(k) \varphi(2^{j+1} t - k) \quad (11)$$

Untuk memperoleh implementasi dengan filter digital waktu diskrit dapat ditulis sinyal sebagai

$$f(t) = \sum_k \lambda_{j-1}(k) \varphi(2^{j-1} t - k) + \sum_k \gamma_{j-1}(k) \psi(2^{j-1} t - k) \quad (12)$$

Dinama : $\lambda_{j-1}(k) = \langle f(t), \varphi_{j,k}(t) \rangle$

$$\gamma_{j-1}(k) = \langle f(t), \psi_{j,k}(t) \rangle$$

Dan menggunakan 2 sekala hubungan :

$$\varphi(2^j t) = \sum_k h_{j+1}(k) \varphi(2^{j+1} t - k) \quad (13)$$

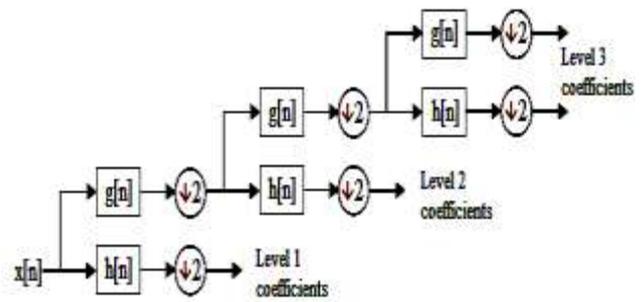
dan

$$\psi(2^j t) = \sum_k g_{j+1}(k) \varphi(2^{j+1} t - k) \quad (14)$$

Maka diperoleh :

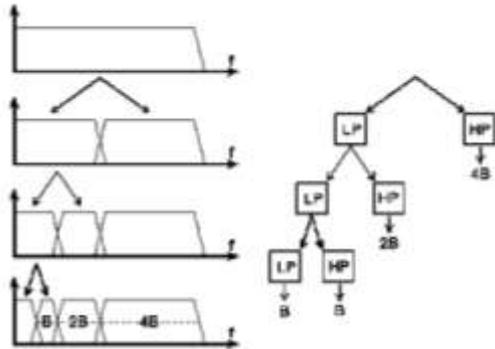
$$\lambda_{j-1}(k) = \sum_m h(m - 2k) \lambda_j(m) \quad (15)$$

$$\gamma_{j-1}(k) = \sum_m g(m - 2k) \gamma_j(m) \quad (16)$$

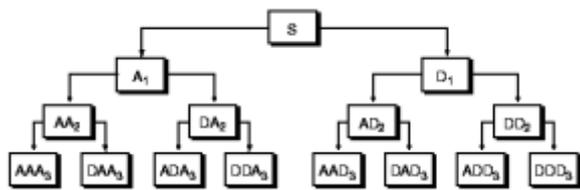


Gambar 7. Iterasi dari digital filter bank

Hal tersebut pada dasarnya menjelma menjadi sistem filter, yang terdiri dari 2 filter, Gambar 7, yaitu : filter wavelet yang merupakan filter lolos frekuensi tinggi / High Pass Filter (HPF) dan filter skala yang merupakan filter lolos frekuensi rendah Low Pass Filter (LPF). Disamping itu filter skala (*scaling filter*) merupakan filter rerata dan filter wavelet (*wavelet filter*) merupakan filter rinci / detail, yang dapat digambarkan pada Gambar 8 dan Gambar 9, seperti berikut ini :

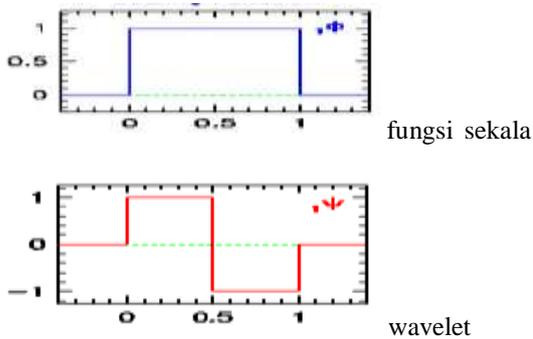


Gambar 8. Struktur digital filter bank vertikal (Misiti [8])



Gambar 9 Struktur digital filter bank horisontal (Misiti [8])

Dalam penelitian ini digunakan wavelet induk dari fungsi Haar atau Doubechi 1 ('db1') pada Gambar 10 :

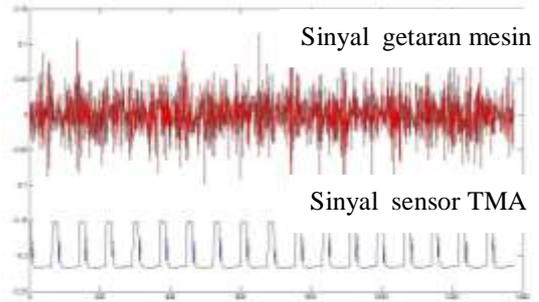


Gambar 10 : Wavelet induk Haar

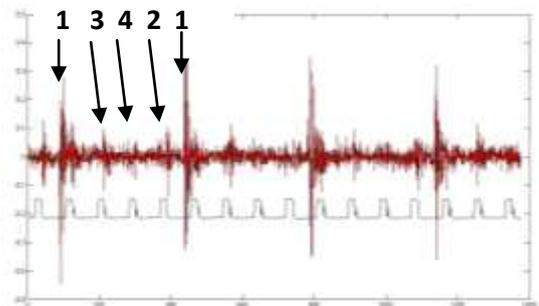
3. Hasil dan Analisa

Analisa sinyal getaran motor bakar Otto dikerjakan dengan wavelet dari Matlab, yaitu dengan memilah sinyal input menjadi sinyal LP (*low pass filter*) dan HP (*high pass filter*) yang bertingkat seperti pada Gambar 8 – 9. Hasil olahan wavelet ini dipilih pola yang memberikan ciri sinyal aslinya, yaitu pada level AAD3 Gambar 9. Dari hasil pemilahan ini memberikan hasil yang cukup bagus seperti dibawah ini :

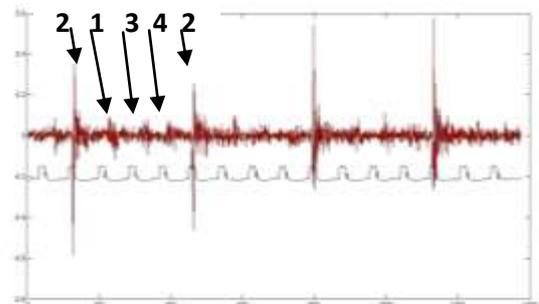
Terlihat dalam Gambar 11 : pola getaran dari pembakaran mesin normal, yang memaparkan bahwa seluruh sinyal merata pada semua pembakaran tiap silinder silinder, karena terjadi getaran yang seimbang pada seluruh siklus di semua silinder.



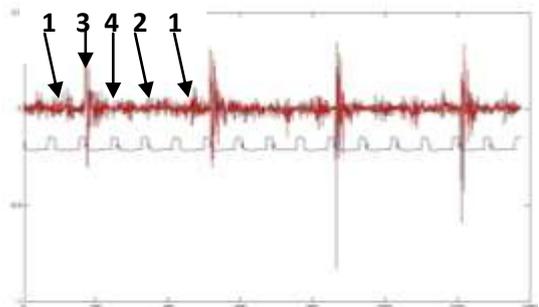
Gambar 11 : Pola getaran mesin normal



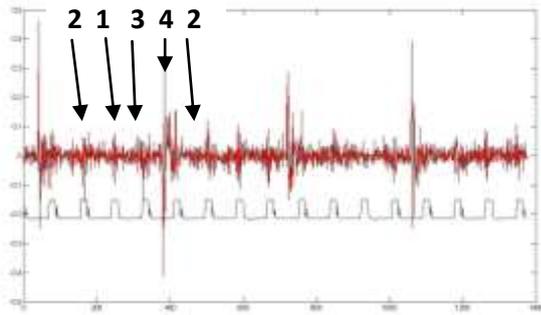
Gambar 12 : Pola getaran mesin, busi nomor 1 rusak



Gambar 13 : Pola getaran mesin, busi nomor 2 rusak

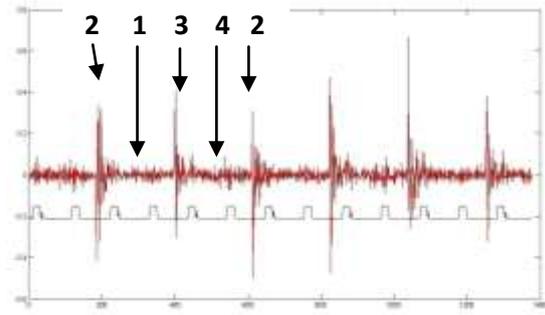


Gambar 14 : Pola getaran mesin busi nomor 3 rusak

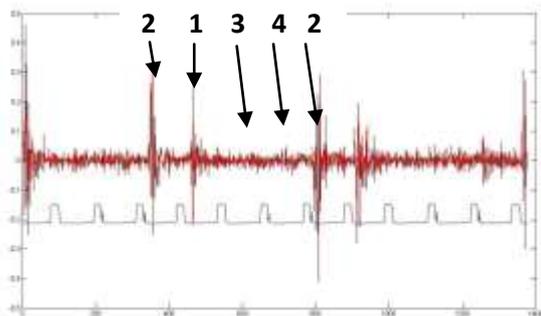


Gambar 15 : Pola getaran mesin busi nomor 4 rusak

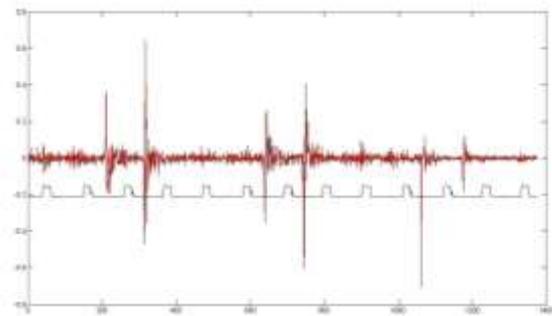
Untuk kerusakan 1 buah busi, pada Gambar 12-15, terlihat bahwa : sinyal getaran mesin tidak merata, tetapi terjadi impuls 1 kali pada setiap 4 kali pembakaran didalam setiap silinder.



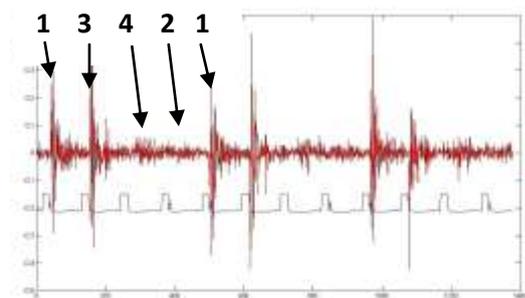
Gambar 19 : Pola getaran mesin busi nomor 2+3 rusak



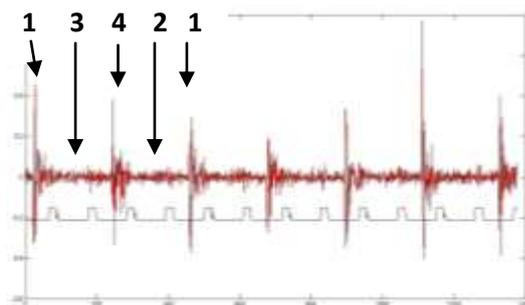
Gambar 16 : Pola getaran mesin busi nomor 1+2 rusak



Gambar 20 : Pola getaran mesin busi nomor 2+4 rusak



Gambar 17 : Pola getaran mesin busi nomor 1+3 rusak



Gambar 18 : Pola getaran mesin busi nomor 1+4 rusak

4. Kesimpulan

Seperti terlihat pada hasil rekaman sinyal getaran motor bakar Otto dengan berbagai kondisi kerusakan busi, dapat disimpulkan bahwa :

1. Kerusakan pada mesin dapat direkam sinyal getarannya.
2. Kerusakan busi pada motor bakar mempunyai pola getaran tertentu.
3. Transformasi wavelet sebagai *filter bank* dapat digunakan untuk analisa pola getaran kerusakan busi.
4. Metoda wavelet dapat dikembangkan lebih lanjut untuk diagnosa kerusakan mesin.

Referensi

Journal:

- [1]. Ettefagh MM, Sadeghi MH, Pirouzpanah V, Arjamandi Tash H, *Knock detection in Spark Ignition Engine by Vibration Analysis of Cylinder Block, a Parametric Modeling Approach*, Journal Mechanical System and Signal Proccesing 22 (2008) 1495-1514, Tabriz, Iran, 2007
- [2]. Othman, MO, *Improving the Performance of a Multi-cylinder Engine by Spectrum Analyzer Feedback*, Journal of Sound and Vibration (1989) 131(1), 1-11, Irbid, Jordan, 1987

Texbooks:

- [3]. Anonim, *Getting Started with MATLAB, The Matworks, Inc, USA, 2002*

- [4]. Erjavec, Jack and Scharff, Robert, *Automotive Technology, A System Approach*, Delmar Publishers, Albany, 1996
- [5]. Exter, Martin van, *Noise and Signal Processing*, Universiteit Leiden, Leiden, 2003
- [6]. Heywood, John, B., *Internal Combustion Engine Fundamental*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1988
- [7]. Mallat, Staphane, 1998, *A Wavelet Tour of Signal Processing*, Academic Press, London, UK
- [8]. Misiti M, Misiti Y, Oppenheim G, Poggi JM, *Wavelet Toolbox™ 4 Getting Started Guide*, The Mathworks, Inc. 3 Apple Hill Drive Natick, Ma 01760-2098, 2010
- [9]. Vaseghi Saeed V, *Advanced Digital Signal Processing and noise Reduction*, John Wiley & Sons Ltd, New York, 2000