

Studi Pengembangan Ambang Batas Karakter Penjalaran Sinyal Emisi Akustik pada Material Kaku Baja Tahan Karat dengan Basis Sinyal Pengotor Awal (*Initial Noise*) dan Perhitungan Energi Sinyal

Wahyu Nirbito^{1*}, Raka Cahya Pratama²

^{1,2}Laboratorium Perancangan Sistem Mekanikal dan Biomekanikal
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Kampus UI Depok, 16424

*e-mail: wahyu.nirbito@ui.ac.id

Abstrak

Salah satu hambatan dalam perkembangan sistem deteksi emisi akustik adalah tidak adanya standar pemrosesan sinyal emisi akustik yang ditangkap. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan ambang batas (*threshold*) berbasis parameter sinyal yang ditangkap sensor tanpa penjalaran sinyal dari aktuator dan metode perhitungan energi dengan integrasi numerik sederhana sebagai standar pemrosesan sinyal emisi akustik. Parameter sinyal yang ditangkap sensor tanpa penjalaran sinyal dari aktuator dimaksudkan sebagai representasi *White Gaussian Noise*. Tiga kriteria ambang batas yang diusulkan adalah penggunaan sinyal yang ditangkap sebelum adanya sinyal dari penjalaran aktuator, penggunaan nilai amplitudo minimum dan maksimum sinyal yang ditangkap sebelum adanya sinyal dari penjalaran aktuator, serta penggunaan nilai *root mean square* (rms) positif dan negatif sinyal yang ditangkap sebelum adanya sinyal penjalaran aktuator. Perhitungan energi emisi akustik dilakukan dengan mengetahui luas dibawah kurva sinyal emisi akustik. Tiga metode integrasi numerik sederhana diusulkan sebagai metode perhitungan energi ini yaitu, metode Simpson 1/3, metode trapezoidal dan metode rectangular. Eksperimen dilakukan untuk mengetahui hubungan amplitudo yang ditangkap terhadap amplitudo yang dibangkitkan dengan menggunakan penjalaran sinyal *square*, sinusoidal dan *triangle* pada beberapa variasi frekuensi tertentu. Eksperimen dilanjutkan untuk memperoleh sinyal emisi akustik, yaitu dengan skema yang sama dengan amplitudo tetap 5 V dan frekuensi tetap 100 kHz untuk kemudian dilakukan pemrosesan sinyal. Dari hasil eksperimen diketahui bahwa pada frekuensi tertentu, amplitudo yang ditangkap adalah proporsional terhadap amplitudo yang dibangkitkan. Penggunaan ambang batas berupa sinyal yang ditangkap sebelum adanya sinyal penjalaran aktuator tidak mampu mengeliminir *noise* dengan baik, sebaliknya ambang batas nilai minimum dan maksimum dari sinyal ini mampu mengeliminasi *noise* secara signifikan, di sisi lain, penggunaan ambang batas nilai rms positif dan negatif memberikan hasil yang lebih moderat. Penjalaran sinyal *square* menunjukkan energi emisi akustik yang lebih besar daripada sinyal lainnya pada penggunaan metode numerik manapun yaitu sekitar 0,59-3,97 $\mu\text{J/A}$. Sedangkan, metode rectangular menunjukkan waktu komputasi yang paling singkat yaitu rata-rata 0,00011 detik. Hasil perhitungan energi pada amplitudo penjalaran yang dibangkitkan sebesar 5 V, energi pada amplitudo lain dapat diprediksi karena hubungannya yang proporsional.

Keywords: ambang batas, energi emisi akustik, metode integrasi numerik, waktu komputasi

Pendahuluan

Teknik memprediksi kerusakan dini pada elemen mesin yang dinamis melalui deteksi gelombang emisi akustik telah banyak dikembangkan, sebagaimana dilakukan oleh Lees (2011), Mehrjou (2011), Al-Balushi (2010), Al-Dossary (2009), Nirbito (2004, 2005, 2011) dan Tandon (1999). Gelombang emisi akustik ini sebenarnya merupakan gelombang tegangan yaitu gelombang yang menjalar dari pelepasan energi dalam struktur material elemen mesin akibat terjadinya disintegrasi molekuler atau mikroskopik sebagai cikal bakal timbulnya kerusakan. Dengan dapat dideteksinya AE ini, maka dapat

ditentukan atau diprediksi terjadinya kerusakan dini jauh sebelum terjadi kerusakan fisik bahkan sebelum terjadinya retakan awal kelelahan (*fatigue initial crack*).

Penggunaan gelombang emisi akustik sudah ditemukan sejak dekade 1980-an, hanya saja dalam perkembangannya terhambat terkait aspek akuisisi sinyal, aspek pemrosesan sinyal dan aspek analisis sinyal AE. Hambatan yang ditemui dalam aspek pemrosesan sinyal diantaranya adalah masih belum adanya standar ambang batas (*threshold*) amplitudo dan durasi AE yang signifikan (Nirbito, 2011), serta belum ada standar perhitungan energi sinyal AE dalam

menentukan ukuran kerusakan mesin.

Oleh karena itu, penelitian dilakukan untuk dapat mengembangkan suatu penggunaan ambang batas berbasis parameter sinyal yang ditangkap sensor tanpa penjalaran aktuator dan metode perhitungan energi dengan integrasi numerik sederhana yang diharapkan dapat menjadi standar pemrosesan sinyal emisi akustik.

White Gaussian Noise dan Ambang Batas

White Gaussian Noise adalah *noise* yang terjadi pada frekuensi yang tinggi dan disebabkan oleh interaksi molekuler material (berupa pergerakan bulir dan sebagainya), medan elektromagnetik alat ukur dan berbagai pengaruh lain dari lingkungan. Gelombang AE juga termodulasi pada frekuensi dari *noise* ini sehingga keberadaannya dapat menyebabkan kesalahan dalam analisis sinyal AE terutama kaitannya dengan penentuan energi AE yang menjadi basis penentuan ukuran sumber AE.

Penerapan ambang batas sinyal AE masih belum memiliki standar yang berlaku secara umum. Umumnya dilakukan dengan mengambil nilai sinyal yang berada diluar rentang suatu nilai amplitudo tertentu yang mana rentang ini diasumsikan sebagai nilai *noise*. Walaupun demikian, besarnya rentang nilai ini tergantung pada setiap peneliti, sehingga pada suatu pengukuran tertentu dapat didapatkan hasil analisis yang berbeda-beda.

Oleh karena itu dikembangkan ambang batas yang berbasis parameter sinyal yang ditangkap sensor tanpa penjalaran aktuator sebagai basisnya, yaitu:

- (1) Penggunaan sinyal yang ditangkap tanpa ada sinyal penjalaran aktuator.
- (2) Penggunaan nilai minimum dan maksimum sinyal yang ditangkap tanpa ada sinyal penjalaran aktuator.
- (3) Penggunaan nilai rms positif dan negatif sinyal yang ditangkap tanpa ada sinyal penjalaran aktuator.

Metode Numerik

Berbagai metode digunakan untuk menentukan ukuran sumber AE. Namun umumnya, digunakan energi AE sebagai parameter ukuran sumber AE. Nilai ini diperoleh dari integrasi sinyal AE. Akan tetapi, masih belum ditentukan standar penggunaan metode integrasi numerik yang digunakan. Oleh karena itu, dicobakan 3 metode integrasi numerik sederhana, yaitu:

1. Metode Simpson 1/3

$$I = \frac{b-a}{3n} \left(f(a) + f(b) + 4 \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) + 2 \sum_{i=2}^{n-2} f(x_i) \right)$$

2. Metode Trapezoidal

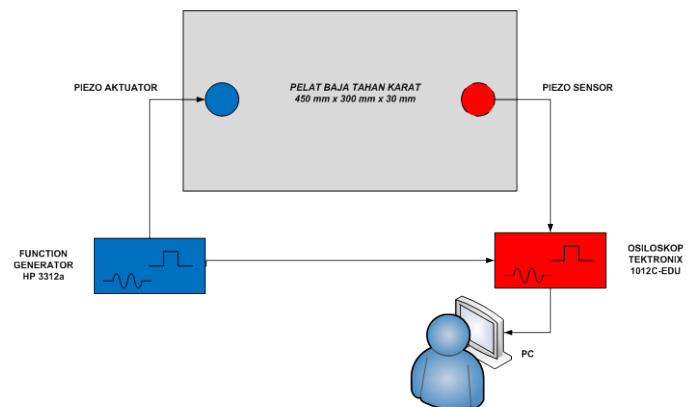
$$I = \frac{b-a}{2n} \left(f(a) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) + f(b) \right)$$

3. Metode Rectangular

$$I = \frac{b-a}{n} \sum_{i=1}^n f(x_i)$$

Metode Eksperimen

Eksperimen dilakukan untuk mengetahui hubungan amplitudo yang ditangkap terhadap amplitudo yang dibangkitkan dengan menggunakan penjalaran sinyal *square*, sinusoidal dan *triangle* pada beberapa variasi frekuensi tertentu dari *function generator* untuk menggerakkan piezoceramic PZT pada pelat baja tahan karat SS 304 yang kemudian menjalar dan ditangkap sebagai sinyal emisi akustik oleh piezoceramic PZT lain pada sisi permukaan yang berbeda pada pelat dengan *sampling rate* pengukuran pada osiloskop 100 MS/s.



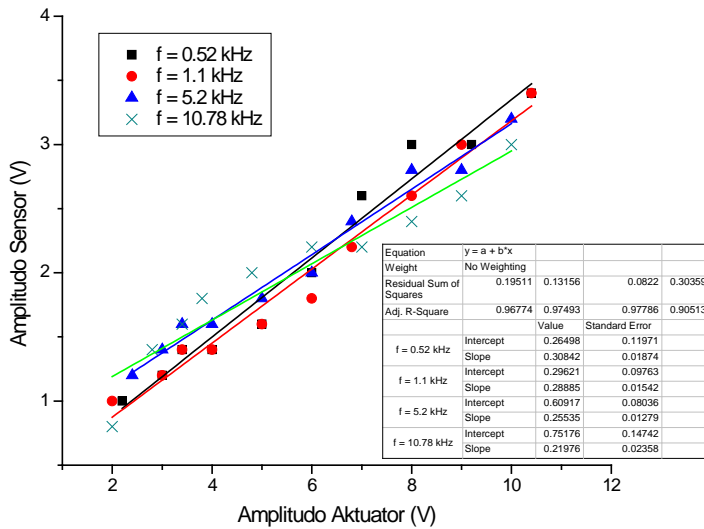
Gambar 1. Setup eksperimen

Kemudian eksperimen dilakukan untuk memperoleh sinyal emisi akustik, yaitu dengan skema eksperimen yang sama dengan sebelumnya hanya saja dengan amplitudo tetap 5 V dan frekuensi tetap 100 kHz untuk kemudian dilakukan pemrosesan sinyal dengan MATLAB 2009a.

Hasil dan Pembahasan

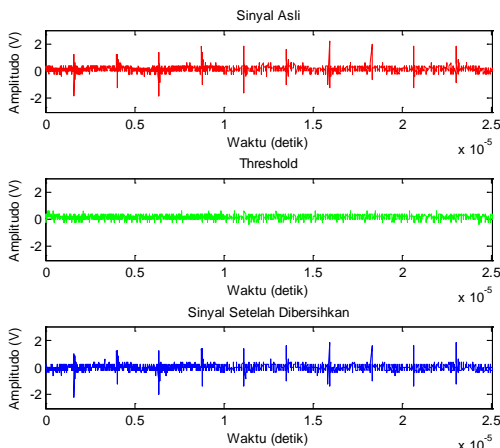
Dari Gambar 2, dapat terlihat bahwa pada suatu frekuensi tertentu, besar amplitudo yang ditangkap sensor proporsional terhadap besar amplitudo sinyal aktuator, sehingga pengurangan amplitudo adalah konstan terhadap besar amplitudo sinyal aktuator. Karakteristik ini memudahkan dalam aspek praktis

yaitu pada saat mengestimasi besar energi sumber AE yang dapat dijadikan salah satu metode dalam menentukan ukuran sumber AE (Al-Balushi, 2010).

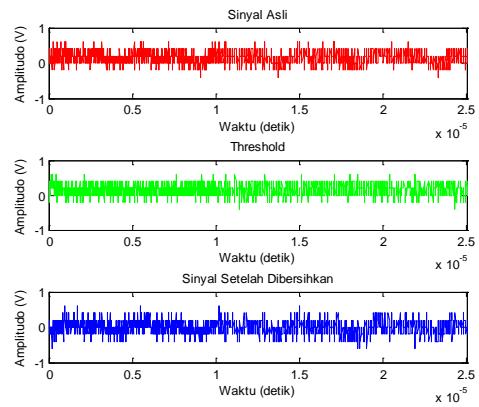


Gambar 2. Hubungan Amplitudo Sinyal yang Ditangkap dengan Amplitudo Sinyal yang Dibangkitkan

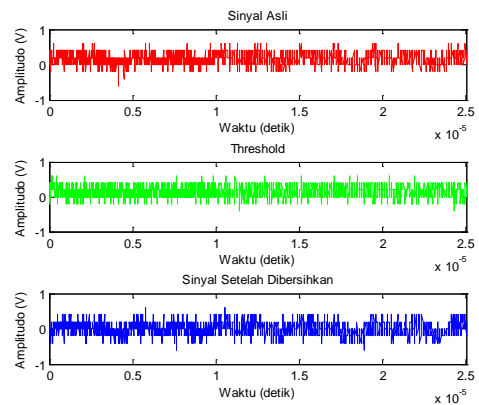
Penerapan *threshold* menggunakan sinyal yang ditangkap tanpa penjalaran langsung untuk diterapkan pada filtrasi sinyal AE dalam hal ini disebut *threshold* (1). Operasi *threshold* ini adalah operasi pengurangan sinyal antara sinyal asli yang ditangkap sensor dengan sinyal *threshold* sehingga didapatkan sinyal akhir yang merupakan sinyal bersih tanpa *noise*.



Gambar 3. Hasil Penerapan *Threshold* (1) pada Fungsi *Square*



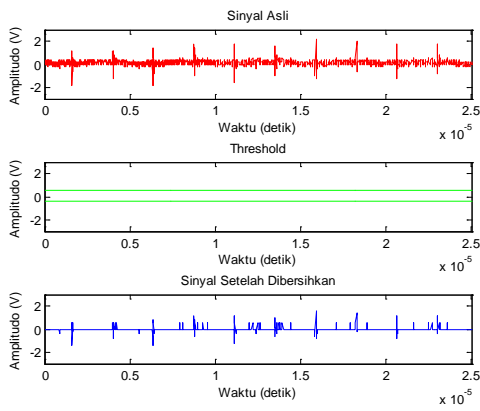
Gambar 4. Hasil Penerapan *Threshold* (1) pada Fungsi *Sinus*



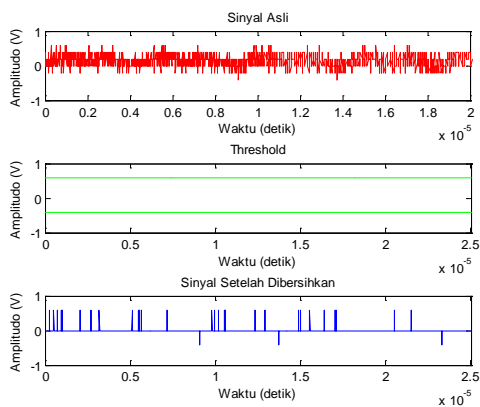
Gambar 5. Hasil Penerapan *Threshold* (1) pada Fungsi *Triangle*

Pada Gambar 3, 4 dan 5 jelas terlihat penerapan *threshold* (1) kurang efektif pada sinyal hasil penjalaran fungsi *square*. Hal ini dimungkinkan akibat sinyal *threshold* memiliki fase yang berbeda dengan sinyal asli bacaan sensor, sehingga pada akhirnya membuat amplitudo sinyal akhir yang dihasilkan dapat menjadi lebih tinggi pada suatu waktu dan di waktu yang lain menjadi lebih rendah.

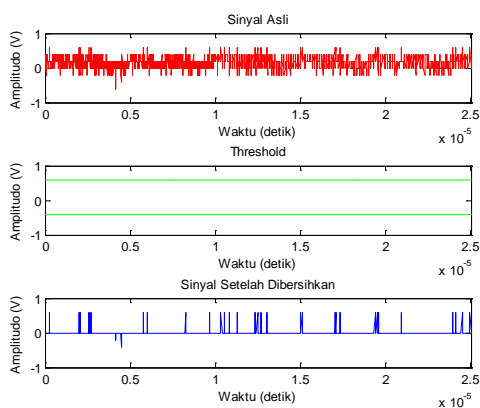
Berikutnya penggunaan nilai minimum dan maksimum dari sinyal yang ditangkap tanpa penjalaran langsung untuk diterapkan pada filtrasi sinyal AE dan untuk seterusnya disebut *threshold* (2). Operasi *threshold* ini dilakukan dengan mengambil nilai sinyal yang lebih besar daripada nilai maksimum sinyal *threshold* (600 mV) dan lebih kecil daripada nilai minimum sinyal *threshold* (-400 mV), sehingga didapatkan sinyal akhir yang merupakan sinyal bersih tanpa *noise*.



Gambar 6. Hasil Penerapan *Threshold* (2) pada Fungsi *Square*



Gambar 7. Hasil Penerapan *Threshold* (2) pada Fungsi Sinus

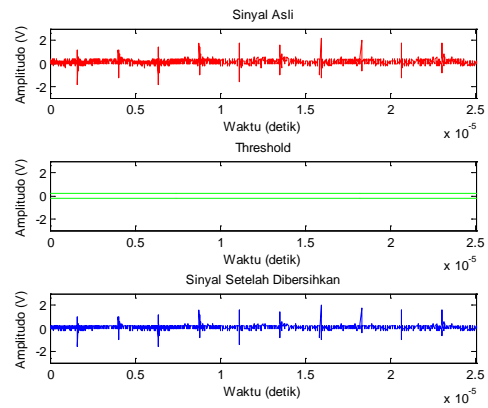


Gambar 8. Hasil Penerapan *Threshold* (2) pada Fungsi *Triangle*

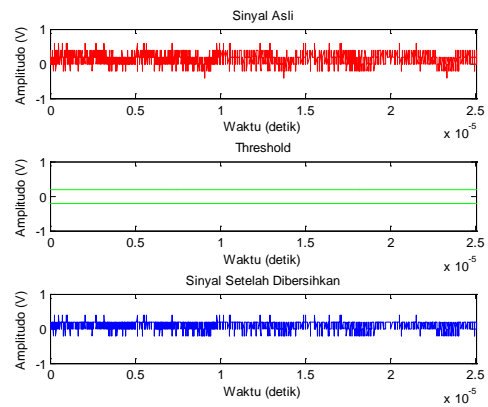
Penerapan *threshold* (2) pada sinyal yang ditangkap dari fungsi penalaran awal *square* cukup efektif sebagaimana terlihat pada Gambar 6, 7 dan 8. Frekuensi sinyal akhir tidak berubah dari sinyal asli, beberapa *spike* yang ada tidak terlalu dominan sehingga sinyal AE dapat dibaca dengan baik. Namun, pengurangan amplitudo cukup signifikan hingga hampir 50%.

Selanjutnya digunakan nilai *root mean square* (rms) dari sinyal yang ditangkap tanpa penalaran langsung

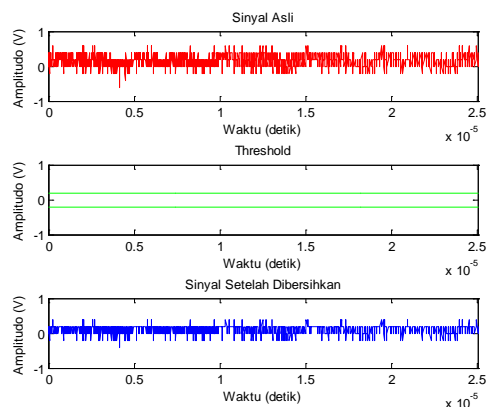
untuk diterapkan pada filtrasi sinyal AE, untuk selanjutnya disebut *threshold* (2). Nilai rms dipilih karena cukup representatif menjadi nilai rata-rata statistik sinyal *threshold* dan merupakan kriteria yang tidak seekstrim nilai minimum-maksimum yang digunakan pada *threshold* (2). Operasi *threshold* ini dilakukan dengan mengambil nilai sinyal yang lebih besar daripada nilai positif rms sinyal *threshold* (200 mV) dan lebih kecil daripada nilai negatif rms sinyal *threshold* (-200 mV), sehingga didapatkan sinyal akhir yang merupakan sinyal bersih tanpa *noise*.



Gambar 9. Hasil Penerapan *Threshold* (3) pada Fungsi *Square*

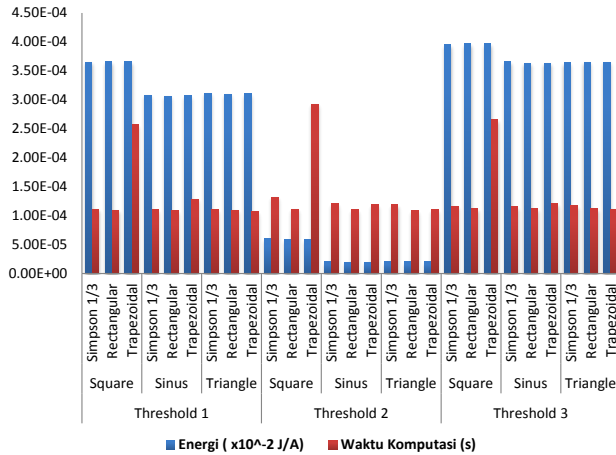


Gambar 10. Hasil Penerapan *Threshold* (3) pada Fungsi Sinus



Gambar 11. Hasil Penerapan *Threshold* (3) pada Fungsi *Triangle*

Penggunaan *threshold* (3) pada sinyal asli bacaan sensor hasil penjalaran awal fungsi *square* terlihat cukup baik seperti ditunjukkan Gambar 9, 10 dan 11. Sebagaimana diprediksi, penggunaan *threshold* ini tidak seekstrim *threshold* sebelumnya, sehingga sinyal terlihat seperti berbentuk *burst* dan bukan suatu pulsa sebagaimana pada *threshold* (2).



Gambar 12. Perbandingan Hasil dan Waktu Komputasi Perhitungan Energi

Dari Gambar 12, dapat terlihat bahwa Threshold 2 (minimax) menghasilkan nilai energi yang paling kecil. Hal ini tentunya dapat dipahami karena Threshold 2 membuat sinyal berkurang secara signifikan.

Dari Gambar 12 pula dapat diketahui bahwa ketiga metode integrasi numerik menunjukkan hasil yang kurang lebih sama, walaupun waktu komputasi berbeda-beda. Metode rectangular mampu melakukan komputasi tercepat diantara metode lainnya. Oleh karena itu, metode rectangular menjadi metode terbaik dalam melakukan perhitungan energi emisi akustik.

Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, besaran nilai energi ini didapat dari aktuasi 5 V pada piezoelektrik aktuator, dan bahwa besarnya amplitudo sensor berbanding lurus dengan amplitudo aktuator, maka besaran nilai energi pada aktuasi beda potensial lainnya dapat diprediksi linear dengan hasil perhitungan ini.

Kesimpulan

Dari hasil penerapan ambang batas, diketahui bahwa dari seluruh ambang batas yang digunakan, *threshold* (2) dan (3) layak dijadikan standar ambang batas pengukuran AE.

Penggunaan metode integrasi numerik sederhana dapat

digunakan untuk menghitung energi yang menjadi ukuran emisi akustik. Metode rectangular memiliki waktu komputasi tersingkat dan dengan hasil perhitungan energi pada amplitudo penjalaran yang dibangkitkan sebesar 5 V. Energi pada amplitudo lain dapat diprediksi karena hubungannya yang proporsional.

Ucapan Terima kasih

Penelitian ini didanai oleh Hibah Riset Madya UI 2012 yang dikelola oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Beasiswa Unggulan BPKLN-DIKTI. Terima kasih pula kepada saudara Ekania dan Andira yang telah membantu dalam proses penyelesaian penulisan makalah ini.

Referensi

Lees, A.W., dan Z. Quiney. The use of acoustic emission for bearing condition monitoring. *Journal Physics*: 1-10 (2011).

Mehrjou M. R., et. all. Rotor fault condition monitoring techniques for squirrel-cage induction machine. *Journal Mechanical System and Signal Processing*, Vol. 25: 857-869 (2011)

Al-Balushi K. R., et. all. Energy Index technique for detection of Acoustic Emissions associated with incipient bearing failures. *Journal Applied Acoustics*, Vol. 71: 812-821 (2010)

Al-Dossary S., et. all. Observations of changes in acoustic emission waveform for varying seeded defect sizes in a rolling element bearing. *Journal Applied Acoustics*, Vol. 70: 58-81 (2009)

Nirbito, Wahyu. Detecting Incipient Defect of Rolling Elements Bearing by Applying the Blind Deconvolution Method in Numerical Technique. the 4th International Conference on Numerical Analysis in Engineering (2005)

Nirbito, Wahyu, et. all. Detection of the Incipient Rolling Elements Bearing Defects, Directly from Time Domain Vibration Signals, By Using a Non-Mechanical Sensor, 7th Quality In Research. (2004)

Tandon, N. dan A. Choudhury, A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings. *Journal Tribology International*, Vol. 32: 469-480 (1999).

Nirbito, Wahyu. Penentuan Kerusakan Dini pada Elemen Mesin Dinamis Bantalan Gelinding Melalui Deteksi Sinyal Penjalaran Gelombang Tegangan Frekuensi Tinggi, Disertasi (2011)