

## UJI KONDISI MOTOR AC 3-FASA PADA MESIN UNTAI UJI BETA MENGUNAKAN TEKNIK VIBRASI

Restu Maerani

Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir—BATAN

### ABSTRAK

**UJI KONDISI MOTOR AC 3-FASA PADA MESIN UNTAI UJI BETA MENGGUNAKAN TEKNIK VIBRASI.** Sebagai salah satu metode *on-line condition monitoring*, analisis vibrasi sangat berperan guna meningkatkan sistem monitoring dan evaluasi keselamatan di reaktor nuklir, salah satunya untuk uji kondisi pada *rotating machine* yang ada di reaktor nuklir. Telah dilakukan pengujian vibrasi pada komponen motor AC 3-fasa pada rangkaian Untai Uji BETA yang terdapat di laboratorium Untai Uji Thermohidrolika Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) sebagai salah satu contoh miniatur sistem pendingin reaktor nuklir. Hasil dari penggunaan sensor vibrasi adalah diperolehnya sinyal keluaran *Fast Fourier Transform (FFT)* sehingga dapat diketahui kelayakan motor tersebut apakah masih dalam standar kecepatan vibrasi yang tercantum dalam ISO 10816. Metoda kajian dalam makalah ini adalah dengan mengujikan pada kedua kondisi motor tersebut dalam kondisi operasi, yang kemudian dilakukan pembacaan sinyal *Fast Forier Transform (FFT)* dengan mengkonversikan nilai percepatan yang tercatat pada PCI – DSA NI 4551 dalam dB menjadi  $m/s^2$  dan juga mengkonversikan nilai percepatan ke kecepatan (v). Hasil percobaan vibrasi pada motor 1 dan 2 menunjukkan bahwa motor 1 cenderung stabil berdasarkan bentuk grafik, sementara motor 2 walaupun menimbulkan kebisingan, namun dari hasil konversi kecepatan vibrasi menurut acuan standar ISO 10816 masih termasuk motor dalam kondisi baik. Hasil di atas menunjukkan bahwa kondisi suatu motor tidak cukup hanya dinilai dari suaranya yang bising, namun perlu diuji terlebih dahulu dengan analisis vibrasi.

**Kata kunci:** vibrasi, *Fast Fourier Transform*, *on-line condition monitoring*, motor 3-fasa

### ABSTRACT

**TESTING ON 3-PHASE AC MOTORS CONDITION OF BETA TESTING LOOP USING VIBRATION METHOD.** As one of *on-line condition monitoring* methods, vibration analysis is very important to improve safety monitoring and evaluation systems in nuclear reactors, especially for condition testing of the rotating machines. Vibration testing on 3-phase AC motors of BETA Testing Loop in the laboratory of Thermo hydraulics Testing Loop at PTKRN as an example of nuclear reactor cooling system loops. The results of the use of vibration sensors were *Fast Fourier Transform (FFT)* output signals that can be used to evaluate the motor eligibility based on vibration speed standard listed in ISO 10816. The assessment method in this paper was by testing the condition of the two operating motors, and then analyzing the resulted *Fourier Fast Transform (FFT)* by converting the acceleration values recorded on PCI - NI DSA 4551 in dB into  $m / s^2$  and also by converting the acceleration value to velocity value (v). The results of vibration testing on motor 1 and 2 showed that the motor 1 is in stable condition based on the graph characteristic, while the motor 2, even it produced noises, is in good condition from the conversion on the vibration speed based on ISO 10816 standard. The overall result shows that the judgment on the motor condition can not only rely on the noisy sound, but it requires a second testing by the vibration analysis

**Keywords :** vibration, *Fast Fourier Transform*, online condition monitoring, 3-phase motor

## PENDAHULUAN

Motor sebagai salah satu benda yang bergerak dengan gaya-gaya mekanik dan berputar menghasilkan getaran yang dikenal sebagai frekuensi kerja dan pada kondisi tertentu dapat terjadi ketidaksempurnaan fisik maupun elektrik dari komponen tersebut <sup>[1]</sup>. Oleh sebab itu untuk setiap komponen *rotating machine* yang bekerja terus menerus dan berpotensi mengalami kelelahan, kecacatan baik secara mekanik maupun elektrik harus selalu dipantau kondisinya. Metoda monitoring dan evaluasi pada bejana reaktor dan pompa pendingin reaktor menggunakan vibrasi sudah diaplikasikan sejak 20 tahun yang lalu <sup>[2]</sup>. Sebagai bahan uji akan dibandingkan dua motor AC 3- fasa yang ada pada rangkaian untai uji BETA, yaitu sarana eksperimen untuk mempelajari berbagai fenomena termohidrolika khususnya untuk sekuensi pasca LOCA (*Loss of Coolant Accident*), yang ada pada laboratorium Untai Uji Termohidrolika PTKRN. Hasil pengujian ini diharapkan dapat mengetahui perbedaan dari kedua kondisi motor, karena dengan adanya kebisingan dari salah satu motor tersebut maka diperkirakan motor yang bising sudah mengalami kemunduran. Oleh sebab itu perlu diujikan kondisi dari keduanya dengan menggunakan analisis vibrasi. Kelebihan menggunakan metoda analisis vibrasi adalah karena mampu memonitor kondisi mesin dalam kondisi mesin tersebut beroperasi <sup>[1]</sup>.

Dalam pengujian ini pengukuran yang diambil adalah pada rentang frekuensi 2000 Hz dengan frekuensi inverter motor 10 Hz sampai dengan 50 Hz dengan inverter tipe FVR1.5E9S

-4JE yang nantinya dapat diperhatikan pola keluaran sinyal FFT (*Fast Fourier Transform*). Hasil yang terbaca dari perangkat lunak Lab-view NI-4551 nantinya dianalisa apakah percobaan kedua motor tersebut hasil konversinya masih dalam cakupan standar ISO 10816 tentang kecepatan vibrasi.

## TEORI

### *Vibrasi*

Analisis vibrasi akan mencari gejala-gejala perubahan pola vibrasi yang ditimbulkan dari suatu mesin yang terdapat pada motor pada saat beroperasi tanpa harus membongkar mesin tersebut. Kelebihan dari sensor vibrasi adalah dapat memberikan peringatan dini terhadap adanya kegagalan atau cacat dari mesin putar <sup>[1]</sup>. Analisis vibrasi hanya bisa digunakan untuk mendeteksi adanya kerusakan yang berhubungan dengan mekanik dari komponen yang diukur seperti *bearing* dan *alignment* <sup>[3]</sup>. Parameter yang dapat diperoleh antara lain gaya, kelelahan, tegangan dari percepatannya, dan perpindahan kecepatan pada mesin. Menentukan batasan analisa vibrasi ini membutuhkan titik referensi dalam pengukuran kecepatan vibrasi yang harus berada dalam *range* ISO 10816 tentang kecepatan vibrasi seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

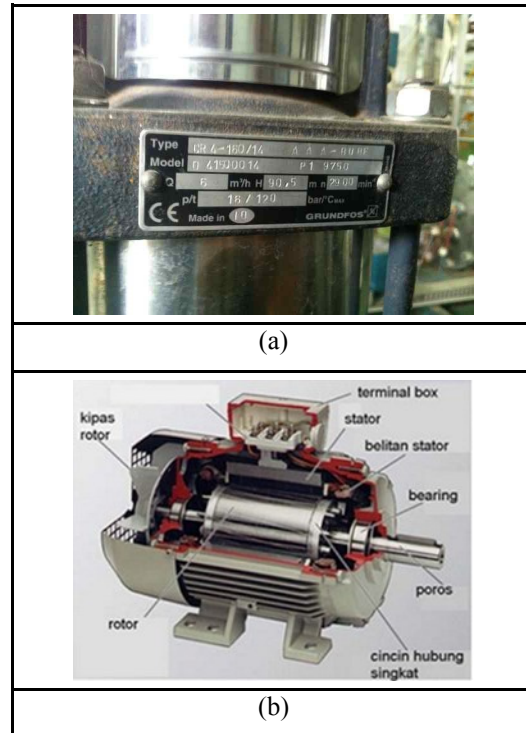
VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816						
	Machine		Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
	in/s	mm/s				
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28				
	0.02	0.45				
	0.03	0.71			good	
	0.04	1.12				
	0.07	1.80				
	0.11	2.80		satisfactory		
	0.18	4.50				
	0.28	7.10		unsatisfactory		
	0.44	11.2				
	0.70	18.0				
	0.71	28.0		unacceptable		
1.10	45.0					

Gambar 1. ISO 10816 Standar kecepatan vibrasi [4]

### Konstruksi Motor AC 3-fasa

Motor induksi tiga fasa dinamakan motor induksi karena arus rotor motor ini bukan diperoleh dari suatu sumber listrik, tetapi merupakan arus yang terinduksi oleh arus AC rotor. Motor AC tiga fasa bekerja dengan memanfaatkan perbedaan fasa sumber untuk menimbulkan gaya putar pada rotornya. Secara umum, konstruksi motor induksi tiga fasa terdiri dari komponen dasar yaitu stator dan rotor, bagian rotor dipisahkan dengan bagian stator oleh celah udara yang sempit (air gap) dengan jarak antara 0,4 mm sampai 4 mm [5].

Motor yang digunakan pada pengujian ini adalah tipe Grundfos 28FT130-C dengan daya 3.75 kW dan tegangan hingga 415 Volt seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil ukur menggunakan *tachometer* diperoleh spesifikasi kecepatan putar motor tiga fasa adalah tergantung pada besaran frekuensi inverter motor, seperti terlihat pada Tabel 1.



Gambar 2. (a) Motor tipe Grundfos 28FT130-C, (b) konstruksi motor 3-fasa

Tabel 1. Hasil ukur kecepatan motor berdasarkan frekuensi

No	Frekuensi (Hz)	Kecepatan Motor (rpm)
1.	10	600
2.	20	1203
3.	30	1806
4.	40	2411
5.	50	2909

### Fast Fourier Transform (FFT)

Grafik spektrum yang diambil pada percobaan ini adalah grafik FFT (*Fast Fourier Transform*) sehingga dapat diukur keluaran frekuensi yang dihasilkan. Pada situasi tertentu, diperlukan FFT untuk mengkonversikan sinyal menjadi domain frekuensi [6]. FFT mengasumsikan bahwa pencatatan gelombang yang dilakukan adalah berulang-ulang [1].

Persamaan *Fast Fourier Transform* (FFT) dari domain waktu menjadi domain frekuensi ditulis dengan persamaan berikut ini [7].

$$X(f) = F\{x(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

Dimana :

$x(t)$  : sinyal domain waktu

$X(f)$  : transformasi fourier

$X$  : variabel

$f$  : input frekuensi

$t$  : waktu

Jika transformasi Fourier diterapkan pada sinyal diskret, maka akan dihasilkan persamaan [1]:

$$X(n)_k = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-t\left(\frac{2\pi}{N}\right)k \cdot n} \quad (2)$$

dengan  $k = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1$ , dan untuk FFT

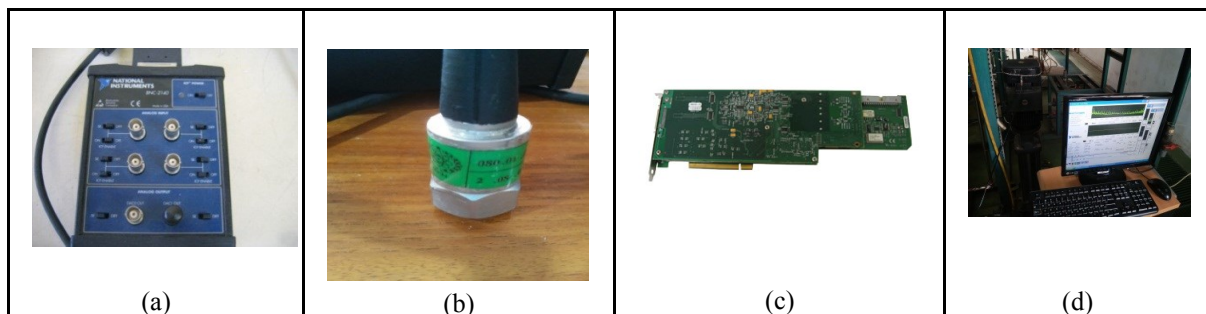
nilai  $e^{-t\left(\frac{2\pi}{N}\right)}$  didefinisikan sebagai fungsi bobot,  $W$ .

## METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah melakukan kajian tentang pengujian vibrasi pada motor sebagai bagian dari online condition monitoring dari berbagai sumber referensi [1, 2, 3, 6]. Langkah selanjutnya adalah melakukan eksperimen berupa kalibrasi alat ukur dan pengukuran vibrasi pada 2 motor yang berbeda kondisinya, dalam hal ini motor 2 lebih bising daripada motor 1. Gambar 3 menunjukkan dua motor 3-fase yang diuji tersebut, sedangkan peralatan yang digunakan dalam pengujian tersebut terlihat pada Gambar 4.



Gambar 3. (a) dua motor yang dibandingkan, (b) posisi uji vibrasi



Gambar 4. Perangkat yang digunakan (a) I/O ICP BNC 2140, (b) Sensor Vibrasi, (c) PCI – DSA NI 4551, ( d) Personal Computer

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kalibrasi alat ukur

Sebelum dilakukan pengukuran maka perlu dilakukan kalibrasi sederhana untuk memastikan bahwa alat ukur yang digunakan dapat berfungsi dengan baik. Uji kalibrasi dilaku-

kukan pada port input dan output pada alat sensor dan perangkat keras PCI-DSA NI 4551. Uji kalibrasi dilakukan pada frekuensi yang berbeda untuk mengetahui respon pembacaan pada software NI-DSA. Gambar. 5 menunjukkan hasil dari uji kalibrasi tersebut.



Gambar 5. Hasil uji kalibrasi pada alat ukur

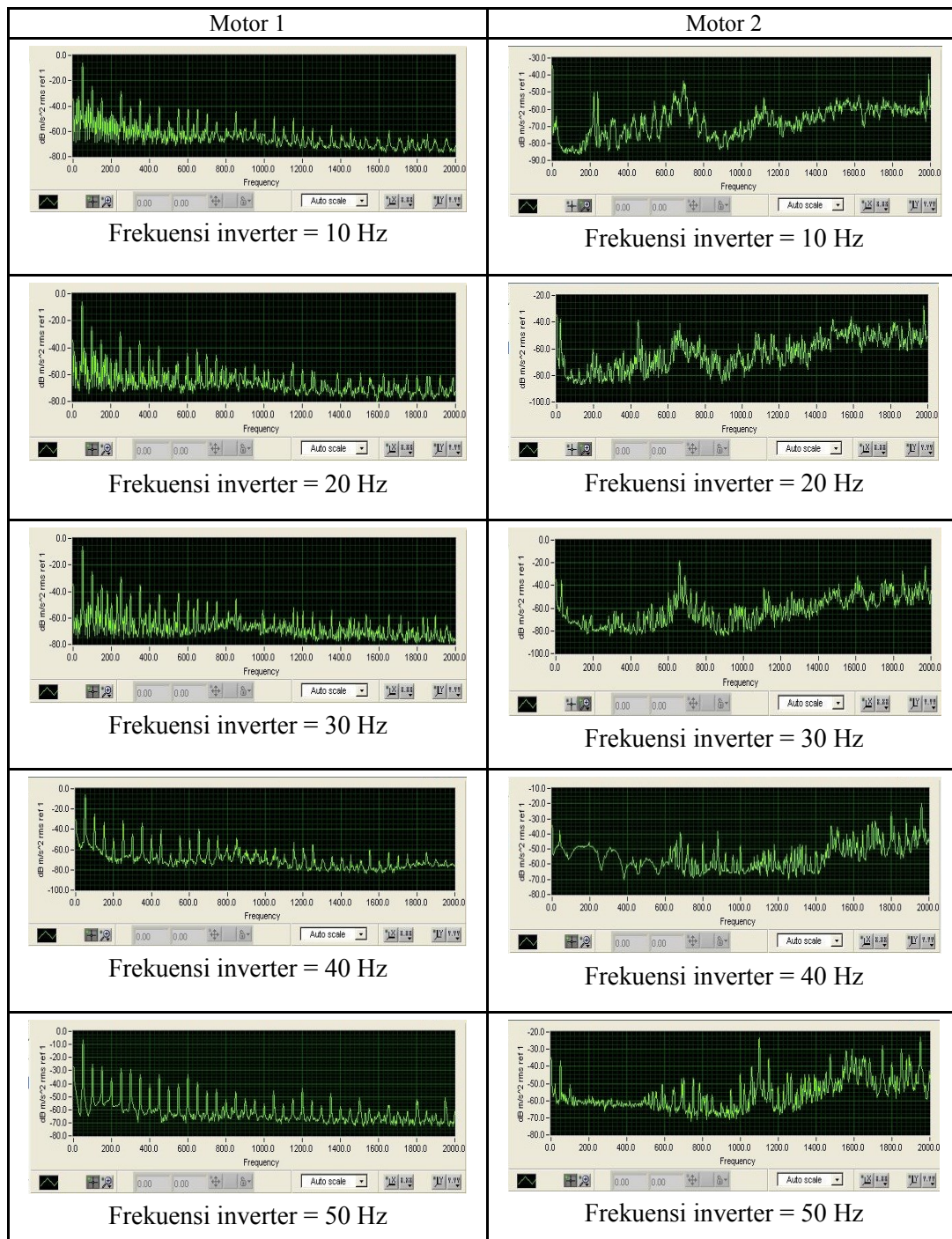
Dari Gambar 5 terlihat bahwa pada tiap pengujian dengan beda frekuensi input, alat ukur menghasilkan sinyal output yang sesuai, sebagai contoh jika frekuensi input 1000 Hz maka sinyal output yang tampil pada grafik juga me-

nunjukkan 1000 Hz. Disimpulkan bahwa, perangkat keras PCI-DSA NI 4551 dapat bekerja dengan baik menampilkan keluaran sensor vibrasi dalam melakukan pengukuran.

### Pengukuran Vibrasi

Gambar 6 menunjukkan grafik hasil pengukuran vibrasi untuk kedua motor tersebut. Pengukuran dilakukan pada rentang frekuensi inverter motor dari 10 Hz sampai dengan 50 Hz. Sedangkan pada software PCI-NI 4551,

rentang frekuensi vibrasi ditentukan pada 2000 Hz dan ukuran *window Hanning* sebesar 800 garis. Dari gambar terlihat bahwa sinyal vibrasi yang dihasilkan oleh kedua motor tersebut menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan.



Gambar 6. Hasil pengukuran vibrasi pada Motor 1 dan Motor 2

Untuk menganalisis grafik tersebut maka digunakan pendekatan sebagai berikut:

1. Satuan amplitudo sinyal dari hasil pengukuran yang berupa dB m/s<sup>2</sup> harus diubah dalam bentuk mm/s agar dapat dianalisis menggunakan standar ISO 1086 tentang kriteria kecepatan vibrasi yang masih diperbolehkan agar motor dapat beroperasi secara normal, seperti yang tercantum pada tabel standar ISO 10816. Motor yang digunakan dalam pengukuran tersebut termasuk motor kecil maka data yang digunakan pada tabel tersebut adalah Class I *small machine*. Perhitungan pengubahan satuan percepatan (a) dalam db menjadi m/s<sup>2</sup> [8] ditunjukkan pada persamaan (3)

$$a \text{ dB} = 20 \log \left( \frac{a}{a_0} \right) \text{ dB } 1\mu\text{m/s}^2$$

$$a = a_0 10^{\frac{a \text{ dB}}{20}} 10^{-6} \text{ m/s}^2 \quad (3)$$

Konversi percepatan (a) ke kecepatan (v) [9] ditunjukkan pada persamaan (4).

$$v = \frac{a}{2\pi f} \quad \text{m/s} \quad (4)$$

f adalah frekuensi fundamental

2. Frekuensi yang dipilih untuk analisis sinyal vibrasi tersebut adalah frekuensi pada saat nilai amplitudo percepatan paling besar.
3. Threshold atau nilai ambang kecepatan vibrasi yang digunakan dalam analisis ini adalah 1mm/s (mengacu pada tabel standar ISO 10816), yang berarti jika kecepatan vibrasi pada motor yang diukur masih di bawah nilai tersebut maka motor masih dalam keadaan baik.

Setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan hasil seperti terlihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Konversi perhitungan kecepatan vibrasi pada Motor 1

Frekuensi inverter motor (Hz)	Frekuensi Fundamental	Percepatan (a) dB	Percepatan (a) m/s <sup>2</sup>	Kecepatan (v) m/s	Kecepatan (v) mm/s
10	50	-5	0.562341325	0.001791	0.17909
20	50	-5	0.562341325	0.001791	0.17909
30	50	-5	0.562341325	0.001791	0.17909
40	50	-5	0.562341325	0.001791	0.17909
50	50	-5	0.562341325	0.001791	0.17909

Tabel 3. Konversi kecepatan vibrasi pada Motor 2

Frekuensi inverter motor (Hz)	Frekuensi Fundamental	Percepatan (a) dB	Percepatan (a) m/s <sup>2</sup>	Kecepatan (v) m/s	Kecepatan (v) mm/s
10	10	-35	0.017782794	0.000283	0.028317
20	15	-35	0.017782794	0.000189	0.018878
30	660	-19	0.112201845	2.71E-05	0.002707
40	675	-38	0.012589254	2.97E-06	0.000297
50	1100	-24	0.063095734	9.13E-06	0.000913

Dari Tabel 2 terlihat bahwa untuk motor 1 dari beberapa hasil pengukuran pada frekuensi yang berbeda terlihat bahwa kecepatan vibrasi pada motor tersebut masih di bawah ambang batas yang ditentukan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa Motor 1 masih dalam keadaan baik. Sedangkan dari hasil yang terlihat pada Tabel 3 kecepatan vibrasi pada Motor 2 juga masih di bawah ambang batas sehingga Motor 2 juga dalam keadaan baik walaupun suara perputaran motor yang dihasilkan lebih bising daripada Motor 1.

## KESIMPULAN

Pada percobaan vibrasi antara Motor 1 dengan Motor 2, dapat dilihat bahwa Motor 1 cenderung stabil bentuk kurva grafik yang tercatat pada layar *software* NI DSA 4551. Sebelumnya diperkirakan Motor 2 mengalami kemunduran karena menimbulkan kebisingan, namun dari hasil konversi kecepatan vibrasi menurut acuan standar ISO 10816 keduanya masih termasuk motor dalam kondisi baik, mengacu pada kolom *Class I (small machines)* jika dilihat nilai konversinya masih ada pada area hijau (*good*). Jadi untuk menentukan apakah suatu motor dikategorikan rusak ataupun cacat tidak cukup hanya dinilai dari suaranya yang bising, namun perlu diuji terlebih dahulu dengan analisis vibrasi. Dengan demikian analisis vibrasi sangat menunjang sekali sebagai salah satu metode *on-line condition monitoring* yang bisa diterapkan di fasilitas reaktor nuklir.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada sdr. Tulis Jojok Suryono, ST, MPEng, sdr. Edy Sumarno dan sdr. Syaiful Bakhri, PhD yang telah membantu dan membimbing dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. NANANG SUNARYA, "Pemantauan Kelayakan Pompa Sekunder RSG GA Siwabessy Dengan Analisis Vibrasi", Program Studi Elektronika-Instumentasi, Teknofisika Nuklir, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir - Badan Tenaga Nuklir Nasional, November 2003.
2. B. DAMIANO, R. C. KRYTER CURRENT, "Applications of Vibration Monitoring and Neutron Noise Analysis", NUREG/CR-5479 ORNLITM-11398, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Oak Ridge National Laboratory, 2011.
3. RESTU MAERANI, "Perbandingan Metode *On-Line Condition Monitoring* pada *Rotating Machine* Reaktor PWR" Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir, Pontianak, 19 Juni 2014
4. RELIABILITY DIRECT, INC, "ISO 2372 (10816)", ISO 10816 Vibration Severity Standards, <http://www.reliabilitydirectstore.com/articles.asp?id=122>, Desember 2014
5. M. ZAKY FAISAL, , "Protective Relay Coordination" Elektronika Dasar – Teknik Perminyakan, <http://blogs.itb.ac.id/el2244k0112211009mochamadzakyaifaisal/>



- Desember 2014
6. SYAIFUL BAKHRI, "Investigasi Penggunaan Metode Electrical Signatur Analisis Untuk Pemantauan Keselamatan Motor Pompa Pendingin di PWR", Prosiding Seminar Nasional ke-19 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, Yogyakarta, 24-25 September 2013.
  7. FAHY K, E. PEREZ Ph.D, "Fast Fourier Transforms and Power Spectra in LabVIEW", Application Note 040.
  8. ACOUSTIC GLOSSARY, "Sound and Vibration : Definitions, Terms, Units and Parameters", <http://www.acoustic-glossary.co.uk/definitions-a.htm>, Desember 2014
  9. CBM APPS, "Conversion Between Displacement, Velocity and Acceleration", <http://www.cbmapps.com/docs/28>, Desember 2014