

PENGEMBANGAN SISTEM DIAGNOSIS TERAS REAKTOR RSG GAS

Syaiful Bakhri
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SISTEM DIAGNOSIS TERAS REAKTOR RSG GAS. Telah dilakukan pengembangan sistem diagnosis teras reaktor RSG GAS menggunakan perangkat lunak labview. Penelitian dilakukan mengingat pentingnya perawatan prediktif sistem pendingin dengan menggunakan analisis diagnosis. Perangkat sistem pemantauan yang sudah ada masih perlu ditingkatkan karena hanya bisa mengamati parameter-parameter overall saja dan masih berupa sistem analog meter biasa. Penelitian dilakukan dengan merangkai dan menyusun koneksi perangkat keras, membuat perangkat lunak, menguji dan mengaplikasikannya pada teras reaktor RSG GAS. Perangkat keras menggunakan digital signal analyzer NI-4551, accelerometer dan perangkat lunak Labview Profesional development system 8.2 terlisensi. Pengujian dan karakterisasi menunjukkan bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik sebagai signal analyzer. Respon input frekuensi 0.446 dengan rentang dinamis lebih dari 90 db. Selain itu aplikasi pengukuran terhadap teras reaktor juga telah memberikan hasil spektrum FFT yang dapat menjelaskan fenomena sistem. Untuk aplikasi pengukuran lebih teliti, sistem masih perlu dikembangkan karena resolusi frekuensi yang masih rendah.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF DIAGNOSTIC SYSTEM OF THE RSG GAS REACTOR CORE. The development of diagnostic system for RSG-GAS reactor core, has been done. Research was done considering important of predictive maintenance cooling system. Device of monitoring systems that used before require to be improved because it's only provided overall parameters and an old analogous meter systems. Research was done by arranging hardware, making software, testing and implementing this system at reactor core of RSG GAS. In this research, hardware using NI-4551 digital signal analyze, accelerometer, and software using Labview Profesional development system Edition 8.2 licensed. Examination and characterization indicate that the systems functioning well as signal analyzer. Input frequency Response is 0.446 and dynamic range more than 90 db. Besides that, measurement application to reactor core has also given FFT spectrum result that able to explain of reactor corecharacteristic. For more accurate measurement applications, systems require to be developed because frequency resolution which still lower.

PENDAHULUAN

Keselamatan reaktor nuklir sangat bergantung pada keandalan unjuk kerja sistem dan komponen-komponen pendukungnya. Diantara subsistem pendukung utama reaktor adalah sistem pendingin, baik primer maupun sekunder, yang berfungsi untuk membuang panas hasil dari reaksi pembelahan inti dalam teras reaktor, baik pada kondisi normal maupun abnormal.

Salah satu perangkat yang sangat penting dalam pengoperasian dan keselamatan reaktor baik dalam sistem pendingin primer maupun sekunder adalah pompa atau mesin putar. Mekanisme yang sering digunakan untuk melihat kesiapan dan keselamatan operasi pada perangkat ini adalah dengan memantau kondisi terkini dari perangkat. Sistem pemantauan yang ada di sistem pendingin masih perlu ditingkatkan kemampuannya karena

hanya mampu mengamati parameter *overall* saja dan masih berupa sistem analog meter biasa. Selain itu sistem yang ada belum terintegrasi dengan sistem pengolahan data analisis yang baik yang ditangani oleh sebuah komputer. Untuk meningkatkan pemantauan dan evaluasi dibutuhkan kemampuan untuk melihat sejauh mana kondisi dan kelayakan operasi pompa. Pemantauan dapat dilakukan dengan melihat gejala-gejala vibrasi yang ditimbulkan dan menganalisisnya. Metode seperti ini biasa digunakan pada sistem *predictive maintenance* (perawatan terencana). Metode ini lebih baik karena dapat mengamati perilaku sebuah mesin pada saat kondisi operasi, tanpa membongkar mesin dan dengan kemampuan analisis kondisi mesin yang handal.

Oleh karena itu, perlu dilakukan pengembangan sistem pemantauan pompa pendingin di RSG-GAS dengan analisis vibrasi. Penelitian ini bertujuan membuat sebuah sistem analisis spektrum frekuensi vibrasi pompa. Untuk tujuan itu maka penelitian ini menggunakan perangkat keras data akuisisi NI-4551, pengkondisian sinyal tipe BNC 2140 dan sensor vibrasi *accelometer*. Selain itu juga dibuat perangkat lunak untuk data akuisisi dan analisis spektrum frekuensi vibrasi pompa menggunakan bahasa program *virtual instrument LabVIEW*. Sistem ini kemudian diuji unjuk kerja dan karakteristiknya sebagai langkah persiapan utama untuk analisis spektrum frekuensi yang sebenarnya. Sistem pemantauan kondisi pompa dengan vibrasi ini diharapkan dapat mengoptimalkan unjuk kerja, kehandalan dan efisiensi penggunaan pompa tersebut. Selain itu juga untuk mengurangi biaya perawatan tak terduga dengan deteksi dini kerusakan sehingga sehingga dapat dihindari kemungkinan kerusakan atau kecelakaan yang lebih parah.

DASAR TEORI^[1, 3, 4]

Setiap pompa dan motor sistem pendingin menghasilkan sejumlah gaya-gaya mekanik selama pengoperasiannya. Gaya-gaya yang dihasilkan oleh mesin akan mengasilkan getaran yang lebih dikenal sebagai frekuensi kerja atau frekuensi fundamental dari mesin itu sendiri. Pada kondisi tertentu dimana terjadi ketidaksempurnaan fisik maupun elektrik dari komponennya maka akan muncul frekuensi-frekuensi yang dibangun dari cacat tersebut. Frekuensi vibrasi yang ditimbulkan oleh komponen mesin dapat dikenali dari pola, posisi pengukuran, fase dan bentuk gelombang yang dibangkitkannya. Analisis sinyal vibrasi dilakukan dengan memanfaatkan *Fast Fourier Transform* (FFT), yaitu algoritma pemrograman pengolahan sinyal berbasis *fast Diskrete Fourier Transform* (DFT), *enveloping*, analisis domain waktu dan fase.

Alias free bandwidth adalah rentang frekuensi yang dapat digunakan oleh sebuah instrumen pada *sampling rate* yang disediakan. Untuk mencegah *aliasing* sinyal analog yang diolah oleh sistem akuisi tidak boleh berisi komponen frekuensi di atas setengah kecepatan cuplik (f_s) atau ($f_s/2$). Secara ideal tidak ada filter yang bisa memotong separuh frekuensi cuplik secara tepat. Kenyataannya filter ini biasanya mulai mengatenuasi sinyal dibawah $f_s/2$ dan benar-benar dipotong/diatenuasi di atas $f_s/2$. Daerah ini dikenal juga sebagai daerah transisi. NI-4551 yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *oversampling delta sigma converter* yang berisi *integral aliasing filter* yang sekaligus akan menfilter fekuensi di atas *nyquist*. Minimum dan maksimum *sampling rate* NI 4551 yang secara luas dikenal *clasic spektrum lines* untuk pengukuran FFT dan vibrasi, NI-4551 memiliki *alias free bandwidth* dan spektrum lines yang lebih besar yang dikenal sebagai *extended lines*. Erat kaitannya dengan spektrum lines, dalam NI-4551 dan perangkat lunak Labview dikenal juga istilah *baseband*. *Baseband* adalah *span* (rentang) frekuensi dari sebuah pengukuran yang dimulai dari komponen DC sampai dengan rentang frekuensi maksimum yang bebas dari peristiwa *aliasing*, tergantung dari laju pencuplikannya. Jumlah frekuensi *lines* dari *clasic* dan *extended span* serta perhitungan *baseband span* yang digunakan ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah frekuensi *lines* rentang *clasic* dan *extended*.

<i>Ukuran Blok FFT</i>	<i>Extended FFT</i>	<i>Classical FFT</i>
128 sampel	59 lines	50 lines
256 sampel	118 lines	100 lines
512 sampel	237 lines	200 lines
1,024 sampel (1 kS)	475 lines	400 lines
2,048 sampel (2 kS)	950 lines	800 lines

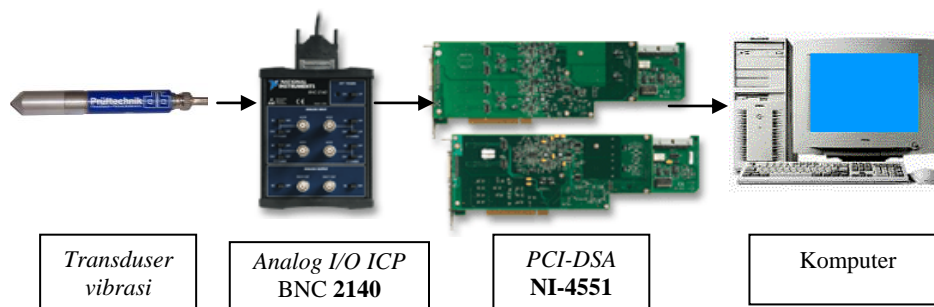
$$Sampling\ rate = \frac{baseband\ span \times FFT\ block\ size}{clasic\ FFT\ span} \dots\dots\dots(1)$$

TATA CARA PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan alat berupa perangkat keras yang dirangkai, dibangun dan dibuatkan perangkat lunak pengolahnya. Berikut ini beberapa perangkat keras dan lunak yang digunakan :

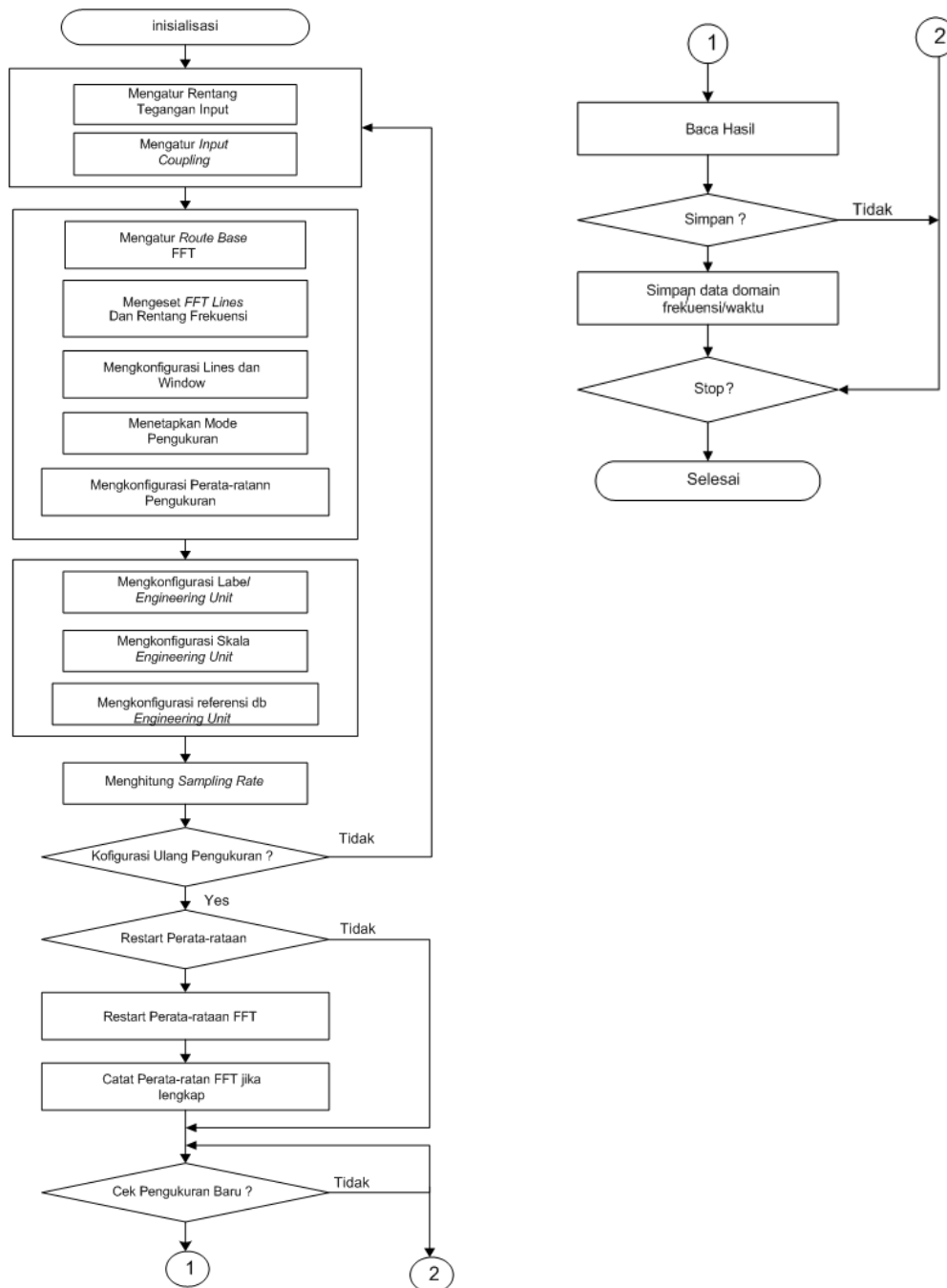
1. Transduser vibrasi Piezoelectric Accelerometer (pruftechnik tipe EX-81/2125).

2. *Analog Input Output ICP (Integrated Circuit Piezoelectric) BNC 2140* (National Instrument).
3. Kabel analog konektor SHC68-68 A-1 (National Instrument).
4. BNC Coaxial Cabel RG-62/RG58 (Generic).
5. Function Generator D2003 (Siemens).
6. NI-4551 PCI-Digital Signal Analyzer *add on card* (National Instrument).
7. *Personal Computer*.
8. Perangkat lunak LabView 6.1 Professional Real Time (terlisensi) dan spread sheet Excel.



Gambar 1. Rangkaian sistem analisis vibrasi

Penelitian ini pada dasarnya terdiri dari empat langkah, yaitu perangkaian alat, desain perangkat lunak, pengujian dan aplikasi. Langkah pertama penelitian ini adalah menyusun dan merangkai perangkat keras seperti Gambar 1. Transduser vibrasi *Piezoelectric Accelerometer* adalah instrument yang berfungsi mengindra vibrasi dari suatu benda dan mengkonversikannya menjadi tegangan listrik sesuai dengan kuantitas fisik yang terjadi. Alat ini dihubungkan ke *analog input output terminal* BNC 2140 dengan kabel *coaxial* BNC. Alat ini berfungsi sebagai ICP (*Integrated Circuit Piezoelectric*) *signal conditioning* dengan mode konfigurasi input differensial. BNC 2140 terkoneksi dengan NI-4551 melalui kabel analog SHC68-68 A-1. NI-4551 berfungsi sebagai *digital signal analyzer* dilengkapi konverter *oversampling delta-sigma modulating* dengan *built-in filter brick-wall antialiasing/imaging* di dalamnya.



Gambar 2. Flow chart pemrograman vibration signal analyzer

Langkah selanjutnya adalah membuat perangkat lunak untuk akuisisi dan analisis sinyal vibrasi. Perangkat lunak didesain dengan menggunakan bahasa pemrograman Labview versi 6.1 *professional real time*. Perangkat lunak ini berfungsi mengkonfigurasi NI-4551 kemudian menentukan mode akuisisi dan sampling, menentukan *windowing* serta menampilkannya dalam bentuk domain waktu dan domain frekuensi serta menyimpan

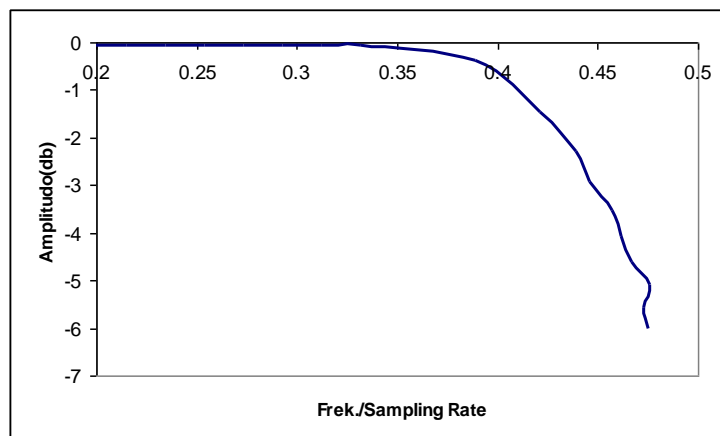
datanya dalam bentuk teks file. *Flow chart* perangkat lunak *signal processing vibration signal analyzer* ditunjukkan dengan Gambar 2. Sistem dibuat dengan fasilitas pengaturan parameter pengukuran dan akuisisi, perata-rataan, mode-mode pengukuran, parameter unit-unit pengukuran, parameter rentang frekuensi, *lines*, *window*. Selain itu sistem juga dilengkapi fasilitas menyimpan data spektrum dalam format Microsoft Excel.

Setelah perangkat lunak selesai dibuat dilakukan pengujian dengan menggunakan frekuensi dan amplitudo yang tertentu besarnya. Pengujian dilakukan menggunakan *function generator* sebagai pembangkit frekuensi untuk menggantikan peran transducer vibrasi. Setelah dilakukan pengujian, sistem yang telah dibuat digunakan untuk mengukur vibrasi yang terjadi pada pompa sekunder RSG GAS. Pengujian dilakukan untuk melihat kemampuan sistem yang telah dilengkapi sensor vibrasi terhadap gejala-gejala kerusakan mesin yang muncul serta kemampuannya berhadapan dengan fenomena sinyal-sinyal random frekuensi vibrasi. Pada penelitian ini pengukuran hanya dilakukan terhadap satu pompa sekunder yaitu PA 03 pada posisi tertentu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Monitoring kondisi pompa pendingin RSG GAS dengan analisis vibrasi sangat tergantung pada desain sistem yang dibuat. Oleh karena itu pada penelitian ini didesain sistem akuisisi dan analisis vibrasi dengan memanfaatkan *digital signal analyzer*, diuji dan diimplementasikan untuk mengamati unjuk kerja sebuah pompa. Selain desain, juga perlu diperhatikan pengesetan sistem monitoring agar diperoleh spektrum yang layak untuk menjelaskan fenomena vibrasi. Untuk menilai unjuk kerja sistem perlu diuji dan dilihat kemampuannya dalam menganalisis data dari sumber yang sudah diketahui frekuensinya.

Seperti telah diketahui analisis vibrasi pada pompa membutuhkan rentang fekuensi pengukuran yang beragam, mulai dari daerah sekitar frekuensi fundamental, harmonik-harmoniknya sampai daerah frekuensi tinggi yang biasanya menjelaskan kerusakan pada *gear*, akibat induksi elektrik motor, gejala frekuensi bearing dan sebagainya. Pembatasan terhadap rentang-rentang frekuensi yang diukur amat penting untuk menghindari terjadinya kerancuan identifikasi terhadap frekuensi yang akan di analisis.

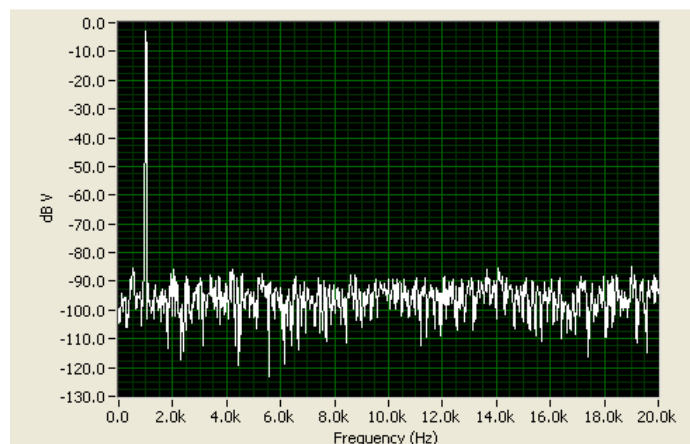


Gambar 3. Input respon frekuensi dekat daerah *cut-off*

Kerancuan ini biasanya dikenal sebagai peristiwa *aliasing* akibat kegagalan sistem penyampelan data saat membedakan sinyal di atas dan dibawah frekuensi nyquist. Frekuensi ini menurut teorema sampling Shannon, *sampling rate* F_s hanya bisa merepresentasikan sinyal dengan baik hanya pada frekuensi maksimum $F_s/2$.

Agar dapat dipastikan hanya sinyal yang dikehendaki saja yang akan dianalisis, sebuah perangkat dilengkapi dengan *anti aliasing low pass filter* yang akan membuang semua frekuensi di atas *nyquist*. Untuk menguji sejauh mana kemampuan sistem terhadap hal ini dilakukan pengukuran terhadap respon frekuensi di dekat daerah *cut-off* seperti ditunjukkan pada gambar 3. Walaupun pengukuran tidak dilakukan pada seluruh rentang respon, tetapi sudah dapat menunjukkan bahwa sistem tidak benar-benar ideal memotong fekuensi pada $F_s/2$. Terdapat daerah transisi yang dapat dijelaskan dengan pengukuran lebih teliti pada rentang respon maksimal. Pada daerah-daerah yang dikehendaki respon frekuensi hampir-hampir datar dan mulai perlahan bergulir tajam menghilangkan frekuensi yang tidak dikehendaki. Pada -3 db respon frekuensi 0.446 dan terus menurun tajam. Perlu pengukuran lebih lengkap untuk melihat respon frekuensi saat 85 db. Respon frekuensi pada posisi -3 db menunjukkan jumlah *extended lines* efektif yang dapat digunakan dengan mengalikannya dengan ukuran blok FFT. Dibanding data teknis spesifikasi alat ternyata pada -3 db respon frekuensi 0.493, terjadi perbedaan 9.5 %. Hal ini mengakibatkan *extended lines* rata-rata berbeda 3.9 % lebih rendah dari data teknis. Bisa jadi perbedaan ini disebabkan pengukuran yang kurang tepat namun dengan kondisi seperti ini peralatan masih berada pada kondisi yang sangat layak untuk aplikasi analisis vibrasi. Rata-rata daerah input teratenuasi dengan tanpa perata-rataan adalah 95.864 db, secara jelas hal ini

ditunjukkan pada Gambar 4.

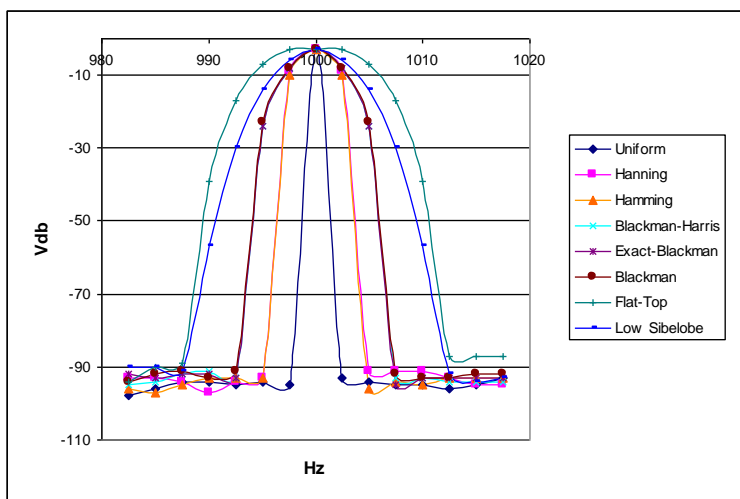


Gambar 4. Spektrum sistem akuisisi dengan input spektrum 1 kHz

Hasil pengukuran 1 KHz pada gambar 4 memperlihatkan kecilnya *noise floor* dengan tanpa perata-rataan, yaitu dibawah -90 db yang menunjukkan bahwa attenuasi berfungsi dengan sempurna. Pengukuran ini juga menunjukkan bahwa rentang dinamis antara puncak tertinggi dengan terendah sangat lebar sehingga cukup mampu untuk mencakup pengukuran dengan perbedaan puncak-puncak frekuensi yang kontras dan membutuhkan ketelitian tentang tingkat signifikansi sebuah puncak. Pada Gambar 4 juga ditunjukkan *signal to noise ratio* yang relatif kecil sehingga data puncak-puncak yang dikehendaki dengan amplitudo yang kecil dapat dibaca. Hal ini sesuai dengan kenyataan bahwa dalam sistem dengan ADC 16 bit, skala penuh sinyal sinus antara +32,767 dan -32,768 dengan dengan magnitude rms $32,768/1.414 = 23,170.475$ LSB, sedangkan *grounded channel* dari data teknis diperoleh noise 0.74 LSB rms dalam kondisi fluktuatif. Rasio yang dihasilkan adalah 35647 atau 91 db rentang dinamis pengukuran. Dengan kecilnya noise maka perangkat dapat difungsikan dengan baik, tetapi harus dicatat bahwa sebaik apapun sebuah sistem interferensi noise dari luar tidak dapat dihindarkan. Contoh paling sederhana, noise bisa dihasilkan dari perangkat perangkat komputer yang mendukung pengoperasian sistem analisis vibrasi seperti monitor, power supllly bahkan dari kabel *coaxial*. Oleh karena itu tipe pengkabelan dan koneksi antar perangkat harus diperhatikan dengan baik.

Salah satu implikasi penggunaan asumsi perulangan algoritma FFT adalah munculnya *spectral leakage* yang akan menyebabkan munculnya spektrum-spektrum yang tidak dikehendaki. *Spectral leakage* akan mendistorsi pengukuran sehingga energi yang diberikan oleh sebuah frekuensi akan tersebar di *lines* frekuensi berdekatan lainnya. Salah satu teknik menghilangkan distorsi ini dengan memanfaatkan window. Pada sistem ini

disiapkan beberapa jenis window untuk mendukung sistem analisis. Untuk melihat fungsi dan kemampuan window dilakukan pengamatan terhadap beberapa jenis window dengan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

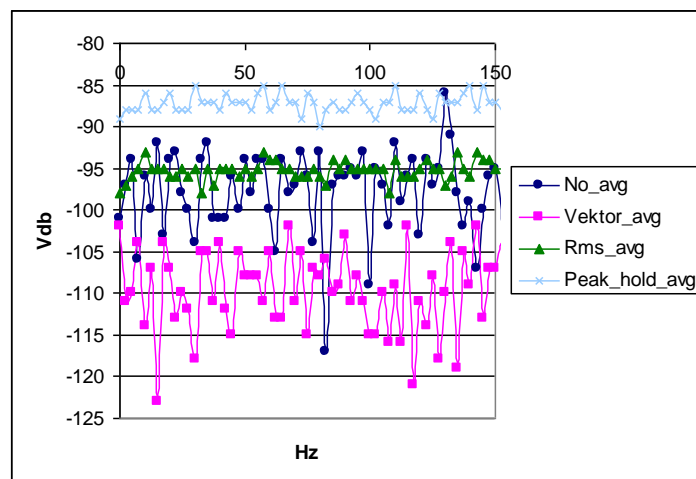


Gambar 5. Grafik perbandingan window frekuensi input

Beberapa grafik window 6 di atas menunjukkan bahwa sistem yang dibangun berfungsi dengan baik. Perbedaan bentuk di atas menunjukkan karakteristik khas dari masing-masing window yang sangat berguna dalam pemilihan dan aplikasinya. Untuk aplikasi yang membutuhkan resolusi yang tinggi, dimana puncak-puncak spektrum yang saling berdekatan bisa dipisahkan dengan baik pilihan jatuh pada window *uniform*, *hamming*, kemudian *hanning*. Sebaliknya bila dibutuhkan akurasi aplitudo terhadap satu puncak frekuensi tunggal maka *window* yang relatif tepat adalah dengan *main lobe* yang lebar dengan kata lain puncak yang relatif lebih lebar pada -3 db dan -6 db. Pengujian terhadap sinyal random baik sinus maupun yang tidak diketahui sebelumnya dalam rentang yang relatif sempit ternyata direspon lebih baik oleh *hanning window*, sebaliknya untuk sinyal random dengan rentang yang besar seperti *white noise* direspon dengan baik oleh *uniform window*. Beberapa literatur juga menunjukkan bahwa untuk sinyal dengan interfferensi kuat yang jauh dengan frekuensi yang sedang diamati, pilihan terbaik adalah window dengan *high side lobe roll-off rate*, yaitu *blackman* dan *hanning*, sedangkan untuk interferensi yang kuat pilihan terbaik adalah *window* dengan *low maximum side lobe leve*. Dari beberapa gambaran di atas memang relatif sulit untuk menentukan pilihan terbaik *window* terhadap suatu keadaan pengukuran. Tetapi dari parameter dan karakteristik yang ada window *hanning* lebih bisa mewakili keadan terutama untuk kasus-kasus yang mungkin terjadi pada analisis vibrasi, seperti resolusi, random vibrasi, amplitudo akurasi

dan sebagainya. Tepatnya pemilihan *window* belum menjamin analisis memberikan hasil yang baik.

Hal lain yang dapat meningkatkan kemampuan analisis adalah perata-rataan. Dengan perata-rataan, maka noise dapat ditekan sehingga akurasi dapat ditingkatkan. Pada Gambar 6 dapat dilihat dengan jelas perubahan yang signifikan terhadap *noise floor* sehingga puncak-puncak yang dikehendaki muncul dengan jelas. Selain itu juga meningkatkan akurasi statistik data yang akan dianalisis. Perata-rataan vektor seperti ditunjukkan pada Gambar 6 menekan *noise floor* sampai beberapa desibel dari sinyal *random noise*, hal ini karena fase tidak koheren dari satu waktu pencatatan ke waktu pencatatan lainnya. Perata-rataan rms ternyata bisa mengurangi fluktuasi data tetapi tidak bisa menekan *noise floor* aktual. Sedangkan *peak hold* sangat tepat untuk menganalisis besaran puncak spektrum dari tiap *bin*.

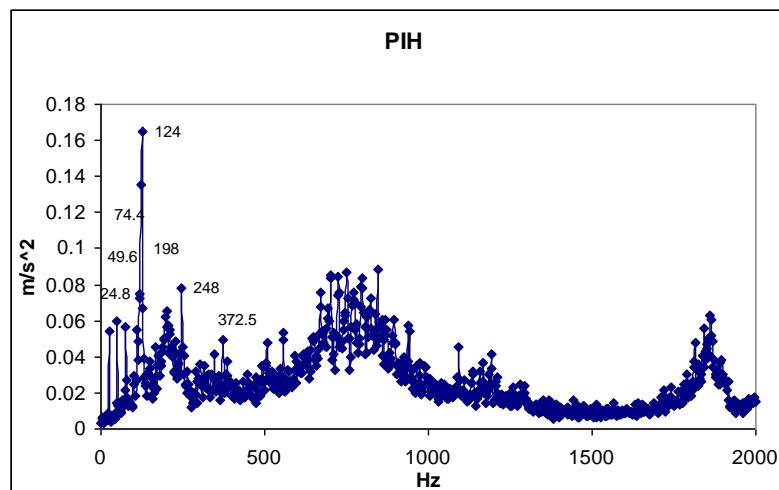


Gambar 6. Grafik model-model tanpa dan dengan perata-rataan 10 kali

Beberapa hal di atas menunjukkan bahwa pemilihan mode perata-rataan yang tepat sangat tergantung dari tujuan analisis yang akan digunakan. Untuk analisis puncak, perata-rataan *peak hold* dan vektor sangat bermanfaat, selanjutnya itu bila digunakan sekaligus untuk menekan *noise floor* maka perata-rataan vektor sangat berperan. Untuk keadaan dimana sinyal sangat fluktuatif baik diakibatkan oleh munculnya interferensi maupun adanya *beat frekuensi* maka perata-ratan rms akan sangat berperan. Pada analisis vibrasi sangat dimungkinkan bila penggunaan perata-rataan rms adalah mode pertama yang digunakan mengingat sifat fluktuatif dan random yang kadang sulit ditebak tetapi untuk analisis selanjutnya dimana pengenalan dan kuantifikasi puncak-puncak diperlukan maka perata-rataan dengan *peak hold* akan lebih tepat.

Perata-rataan yang digunakan dalam penelitian ini adalah mode domain frekuensi dengan pembobotan linier dan eksponensial. Semakin besar siklus perata-rataan yang diambil maka fluktuasi rentang *noise floor* akan semakin kecil, dengan kata lain puncak-puncak yang signifikan akan semakin menonjol. Namun puncak-puncak yang relatif dekat dengan *noise floor* akan tereliminasi bahkan hilang. Oleh karena itu perata-rataan dalam jumlah perulangan yang berlebihan akan mengurangi sinyal spektrum yang kita harapkan.

Pengujian sistem analisis vibrasi terhadap pompa memberikan hasil yang cukup memuaskan. Sinyal-sinyal dari frekuensi yang diharapkan muncul dengan baik seperti frekuensi dasar pompa, yaitu kecepatan putar poros motor dan pompa sesuai dengan *name plate* yang tertera pada motor pompa. Berikut ini hasil pengujian pada pompa sekunder PA 03 reaktor serba guna G.A. Siwabessy. pada titik pengukuran pompa bagian dalam sumbu horisontal. Pompa sekunder PA03 termasuk katagori mesin class 3, dengan kecepatan motor 1488 rpm atau 24.8 Hz dan berdaya menengah 220 kW. Pada Gambar 7 grafik hasil analisis terlihat jelas munculnya frekuensi dasar pada 24.8 Hz, harmonik-harmoniknya yaitu pada 49.8 Hz atau 2 x rpm, dan 74.4 Hz atau 3x rpm. Sedangkan puncak-puncak lain yang muncul menggambarkan fenomena vibrasi lainnya.



Gambar 7. Grafik vibrasi pompa PA 03 bagian dalam pada sisi horizontal

Seperti terlihat pada Gambar 7, satu hal yang sangat disayangkan adalah ternyata rentang minimum data hasil pengukuran ternyata hanya berkisar pada 2000 Hz. Pengukuran dibawah rentang tersebut akan mengakibatkan pemotongan spektrum yang terbaca. Hal ini dimungkinkan karena laju pencuplikan terkecil dari sistem adalah 5 kS/s, artinya dengan ukuran blok *classical* maupun *extended minimum baseband span* hanyalah 1,953 Hz ($5,000 \times (1,024/400) = 1,953\text{Hz}$ atau $5,000 \text{ S/s} \times (1,024/475) = 2,320 \text{ Hz}$).

Dengan rentang yang lebar ini sangat susah untuk mendapatkan detil frekuensi yang biasanya terjadi pada daerah sekitar fundamental frekuensi dan lima frekuensi harmonik pertamanya, terlebih apabila dihadapkan pada kebutuhan akan resolusi yang lebih baik. Oleh karena itu dibutuhkan sistem pembesaran atau zoom untuk melihat hanya pada frekuensi yang diminati. Tetapi dengan sistem yang sudah ada sangat membantu untuk mengamati fenomena vibrasi pada daerah-daerah frekuensi tinggi yang biasanya terjadi pada *bearing* dan *gear* karena bisa menyampel sampai 200 kS/s yang berarti rentang frekuensi pengukuran yang cocok untuk aplikasi ini.

KESIMPULAN

Secara keseluruhan sistem dapat diaplikasikan sebagai *vibration analyzer* untuk mengamati fenomena vibrasi pada pompa sistem pendingin. Pengujian dan karakterisasi menunjukkan bahwa input respon frekuensi 0.446 dengan rentang dinamis lebih dari 90 db. Selain itu aplikasi pengukuran terhadap pompa sekunder RSG-GAS juga memberikan hasil spektrum FFT yang dapat menjelaskan fenomena vibrasi sebuah mesin. Sangat disayangkan *baseband span* terkecil sistem berkisar 2000 Hz sehingga resolusi pengukuran sangat rendah. Untuk itu diperlukan pengembangan lebih lanjut dengan modifikasi perangkat lunak untuk aplikasi dengan resolusi tinggi pada daerah sekitar frekuensi dasar mesin.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANONIM, 2001, *Vibration Analysis Techniques*, CSI Training, Singapore.
2. NATIONAL INSTRUMENT, 1998, *Computer-Based Instrument* , *BNC-2140 UserManual*, National Instruments Corporate, United States of America.
3. NATIONAL INSTRUMENT, 1998, *DAQ, NI 4551/4552 User Manual*, National Instruments Corporate, United States of America.
4. NATIONAL INSTRUMENT, *The Fundamentals of FFT-Based Signal Analysis and Measurement, Application Note*, National Instruments Corporate, United States of America.
5. OPPENHEIM, ALAN.V. 1975, *Digital Signal Processing*, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs. New Jersey