

DISAIN SISTEM KARAKTERISASI GETARAN BERBASIS ANALISIS DERAU UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN DAN KESELAMATAN REAKTOR NUKLIR

Djen Djen Djainal

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir - BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 80, Serpong, Tangerang Selatan, 15310
Email : bpltmhitek@yahoo.com

ABSTRAK

DISAIN SISTEM KARAKTERISASI GETARAN BERBASIS ANALISIS DERAU UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN DAN KESELAMATAN REAKTOR NUKLIR.. Telah dilakukan penelitian yang dapat menunjang program pemeliharaan prediktive pada instalasi nuklir, yaitu dengan melakukan perancangan sistem pendeteksian dan analisis karakterisasi komponen yang ada pada instalasi nuklir, yang berkemampuan mendeteksi adanya gejala kelainan secara dini dan diharapkan dapat menentukan karakteristik serta korelasinya dengan berbagai variabel mekanis. Metode penelitian dilakukan dengan pengukuran, pengamatan dan analisis getaran dari suatu komponen simulasi (sistem mekanik minimum). Beberapa mode pengukuran pada sistem minimum telah dilakukan sehingga diperoleh data. Hasil Analisis untuk masing-masing mode pengukuran menunjukkan perbedaan signifikan dan mengandung data spesifik. Dengan memahami karakter data getaran pada sistem minimum ini, maka dapat dimisalkan sebagai pengukuran dalam rangka pendeteksian anomali pada suatu instalasi, lebih jauh sistem minimum dimanipulasi untuk kasus yang lebih ekstrim seperti misalnya lepasnya komponen yang merupakan bagian dari sistem instalasi proses suatu instalasi nuklir.

Kata kunci : keselamatan, efisiensi, monitoring, analisis, derau.

ABSTRACT

VIBRATION CHARACTERIZING SYSTEM DESIGN BASED ON NOISE ANALYSIS TO INCREASE RELIABILITY AND SAFETY OF NUCLEAR REACTOR.. There was conducted research of which can support predictive maintenance program on nuclear installation is done by conducting design of detection system and characterized component of nuclear installation, which capable detect early the existence of disparity and expected can determine characteristic and also its correlation with various mechanical variable. Research method conducted with measurement, vibration analysis and perception from component simulation (call as minimum mechanic system). Some measurement mode at minimum system has been done. Result of analysis for each mode measurement shows significant difference and contains specific data. By comprehending vibration data character at this minimum system, hence can be as measurement in order to detect anomaly a particular installation, farther manipulation minimum system for more extreme case such as releasing of component representing the part of a process of nuclear installation system.

Keyword : safety, efficiency, monitoring, analysis, vibration.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi yang terus meningkat dari waktu ke waktu seiring dengan meningkatnya pertumbuhan industri dan ekonomi di setiap negara, pada kenyataannya menjadi satu masalah yang besar ketika cadangan sumber energi konvensional semakin terbatas[1]. Karenanya yang perlu menjadi fokus perhatian adalah bagaimana mengelola kebijakan optimalisasi, diversifikasi dan penghematan energi, untuk menjaga ketahanan energi tetap stabil. Pelaksanaan persiapan sejak dini industri non fosil seperti energi nuklir, ditinjau dari aspek: keselamatan, ekonomi, non-proliferasi, lingkungan, pengelolaan limbah dan infrastruktur

akan memberikan kepastian nilai kurang lebihnya (*superior and inferior*)[3], sehingga seperti PLTN secara bersinergi dan bersimbiosis dapat berkontribusi bersama energi fosil dan non-fosil dalam memenuhi kebutuhan energi nasional. Fokus perhatian berikutnya dalam menghadapi krisis energi adalah penghematan energi. Ketika penghematan energi dilakukan jumlah energi yang digunakan lebih efisien dibandingkan sebelum penghematan energi dilakukan. Pengamatan dan diagnosis kondisi data pada sistem proses suatu instalasi yang diperoleh lewat berbagai sensor (seperti suhu, tekanan, kecepatan alir.) merupakan hal yang harus dilakukan dalam monitoring sistem instalasi guna memperoleh

berbagai keuntungan efisiensi dan keselamatan. Dalam lingkup instalasi nuklir pengetahuan tentang perilaku dinamika proses dalam suatu instalasi reaktor, merupakan dasar yang penting dalam menunjang keselamatan operasi, seperti perilaku yang terjadi pada sistem pendingin yang terdiri dari pompa primer, pesawat penukar panas dan lain sebagainya.

Sesuai dengan ketentuan keselamatan Reaktor Penelitian, program pengujian dan perawatan yang tertulis/tersusun adalah harus dilaksanakan untuk memverifikasi bahwa status reaktor memenuhi dan sesuai dengan rekomendasi keselamatan. Setiap kegiatan pengujian berkala atau perawatan harus dikerjakan dengan cara sedemikian rupa sehingga kendali terhadap reaktor terjamin keselamatan. Namun tidak semua data proses dapat diamati dengan cepat seperti degradasi bahan, umur pakai, pola getaran. Untuk itu pengembangan metode pengukuran untuk parameter-parameter seperti tersebut di atas dibutuhkan.

Sesuai dengan tujuannya bahwa penelitian ini untuk dapat mendeteksi dan memperoleh karakteristik pola getaran komponen mekanik dengan metode analisis derau. Penelitian ini akan lebih meningkatkan kemampuan analisis terhadap persoalan metode diagnosis anomali khususnya dalam majemen keselamatan.

Penelitian ini mencakup eksperimen dan analisis fenomena dinamika mekanik sistem instrumentasi diterapkan dalam model pendeteksian sehingga pengamatan dapat dilakukan secara *on-line* agar lebih seksama. Metode analisis derau digunakan untuk memperoleh karakterisasi yang lebih detil, dengan memakai keunggulan analisis statistika *Probability density Function, Moments, Correlation, Power Spectrum Density*.

Memperoleh sistem monitoring komponen lepas dalam suatu sistem proses khususnya instalasi nuklir sehingga diperoleh kemampuan mendeteksi adanya gejala kelainan secara dini dan dapat menentukan karakteristik serta korelasinya dengan berbagai variabel mekanis, seperti tekanan, percepatan dan pola gerakan mekanik. hasilnya diharapkan memberikan perbedaan data yang signifikan untuk suatu proses mekanik yang diganggu.

Mengingat hal-hal tersebut di atas, perancangan sistem pendeteksian dan karakterisasi getaran komponen telah dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk Pengamatan dan diagnosis kondisi data pada sistem proses suatu instalasi yang diperoleh lewat berbagai sensor (suhu, tekanan, kecepatan alir.) merupakan hal yang harus dilakukan dalam memonitor sistem instalasi guna memperoleh berbagai keuntungan efisiensi dan

TEORI

Model Analisis Deret Waktu

Begitu banyak gejala pisik dalam kehidupan sehari-hari yang memberikan hubungan data yang dapat dijabarkan dalam rumus-rumus matematik dengan akurat, sebagai contoh adalah perjalanan satelit pada orbit sekitar bumi, tenaga air dalam suatu bendungan. Namun demikian banyak pula gejala pisik yang lainnya hanya dapat diterangkan dengan matematik non-deterministik, seperti tinggi gelombang air di pantai atau keluaran energi listrik pada getaran generator. Mereka tidak akan memberikan nilai yang eksak pada suatu waktu, data yang dikeluarkan acak pada jangkau tertentu dan hal ini hanya dapat di selesaikan dengan metode matematik statistik daripada dengan matematika deterministik[4].

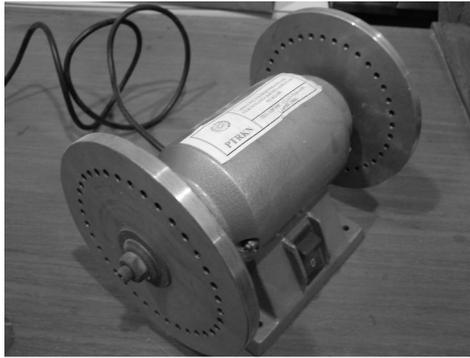
Pada suatu penyelesaian data yang banyak (*irregular time series*) sebagai keluaran dari suatu eksperimen, maka pemilihan metode perhitungan adalah merupakan hal yang penting untuk memperoleh intepretasi phisis yang benar. Pada gambar 3. skema metoda analisis dari data deret waktu (*time sries*) yang diterangkan Konno[5].

Sejak persamaan matematik deterministik tidak mampu menerangkan data deret waktu yang dihasilkan oleh gejala random, prosedur statistik dipakai untuk untuk menjelaskan definisi sifat-sifat data tersebut, beberapa metode seperti fungsi probabilitas kerapatan (*Probability density function, PSD*), *Moments*, fungsi korelasi diri/silang (*cross/ autocorrelation*) dan kerapatan densitas daya (*Power spectral density, PSD*) telah digunakan dengan sukses dalam mengklasifikasi objek pola aliran[6,7,8,9]. Demikian pula dengan analisis deret waktu hasil pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini akan dipakai persamaan-persamaan penting statistik tersebut, yang meliputi :

Metodologi

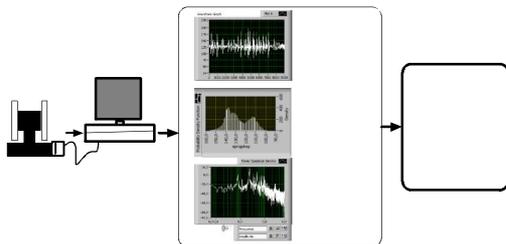
Metodologi penelitian yang digunakan mencakup semua kegiatan untuk menyelesaikan semua tahapan yang sudah ditentukan dalam ruang lingkup penelitian sebagai berikut.

- a. Membuat model instalasi ekperimen yang akan digunakan untuk membuat berbagai pola sinyal dengan memberikan kombinasi baut-baut pada lubang yang tersedia pada piringan di dua sisi. Instalasi ini memanfaatkan sistem simulasi instalasi kompleks yang sudah ada di Laboratorium Simulasi dan Instrumentasi PTRKN – BATAN (Gambar 1).



Gambar 1. Sistem pembangkit sinyal vibrasi sebagai simulasi instalasi kompleks

- b. Membuat program perangkat keras untuk akuisisi data eksperimen. Bagian ini melakukan pembacaan sinyal dari sensor akselerometer, *conditioning* dan konversi sinyal ke bentuk digital pada *Data Acquisition Card*, untuk selanjutnya ditampilkan dan disimpan datanya dalam komputer. Adapun sistem pendeteksi dan karakterisasi data yang terekam prosesnya sebagaimana terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Program perangkat keras sistem monitoring dan analisis derau

Keterangan:

- A. Sistem simulasi instalasi kompleks
 - B. Sensor (*accelerometer sensor*)
 - C. Pengolah data
 - D. Analisis perangkat lunak
 - E. Hasil analisis
- c. Membuat program perangkat lunak untuk pengolahan data hasil eksperimen dengan analisis statistika. Pada analisis data deret waktu, untuk mendapatkan penyelesaian data yang banyak (*irregular time series*) sebagai keluaran dari suatu eksperimen, maka pemilihan metode perhitungan adalah merupakan hal yang penting untuk memperoleh interpretasi phisis yang benar. Pada Gambar 3. diperlihatkan skema sistem

analisis statistik dari deret waktu (*time series*).

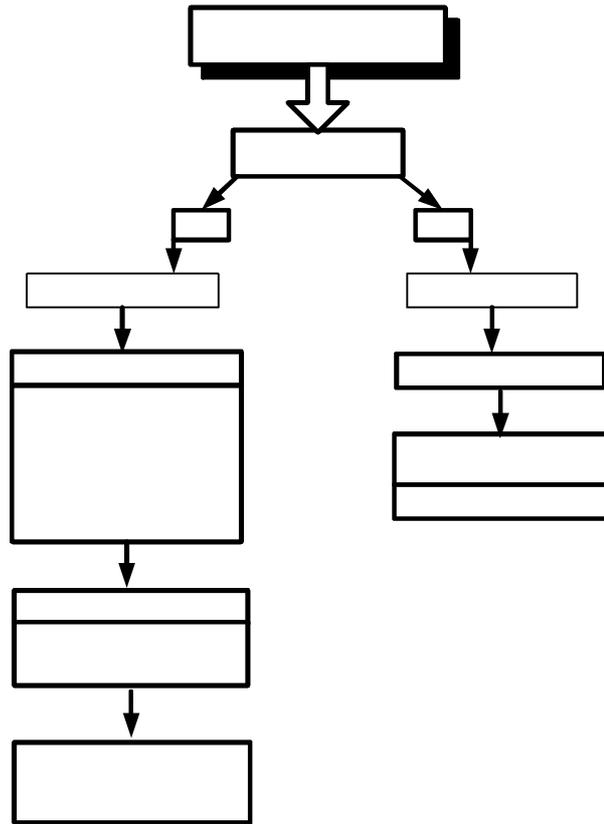
PDF(*Probability density function*), dan *Moment* yang terdiri atas: *Mean*, *Variance*, *Skewness* dan *Kurtosis*. *PDF* dan *Moment* ini dimaksudkan untuk evaluasi kenormalan sinyal, indikasi efek *non linier*, analisis nilai ekstrim. Pada hasil analisis grafik *PDF* dapat diklasifikasikan pada bentuk *peaked*, bentuk *flatted* atau diantara kedua itu. Untuk *Kurtosis* akan mendekati nilai 3 jika grafik *PDF* mendekati *Gaussian*, nilai-nilai yang lain seperti *Variance* memberikan nilai yang detail tentang karakter grafik *PDF* tersebut.

Fungsi Rapat Keboleh Jadian (*Probability Density Function, PDF*) merupakan suatu fungsi yang dapat menghitung dan menampilkan histogram sebagai distribusi komulatif himpunan data kejadian dari suatu proses stokastik. Untuk menterjemahkan data, fungsi rapat kebolehjadian $F(x)$ biasa dilengkapi dengan *Moment PDF*. *PDF* dan *moments* biasa dipakai untuk: Evaluasi Normalitas, mendapatkan indikator pengaruh nonlinier, analisis nilai ekstrim.

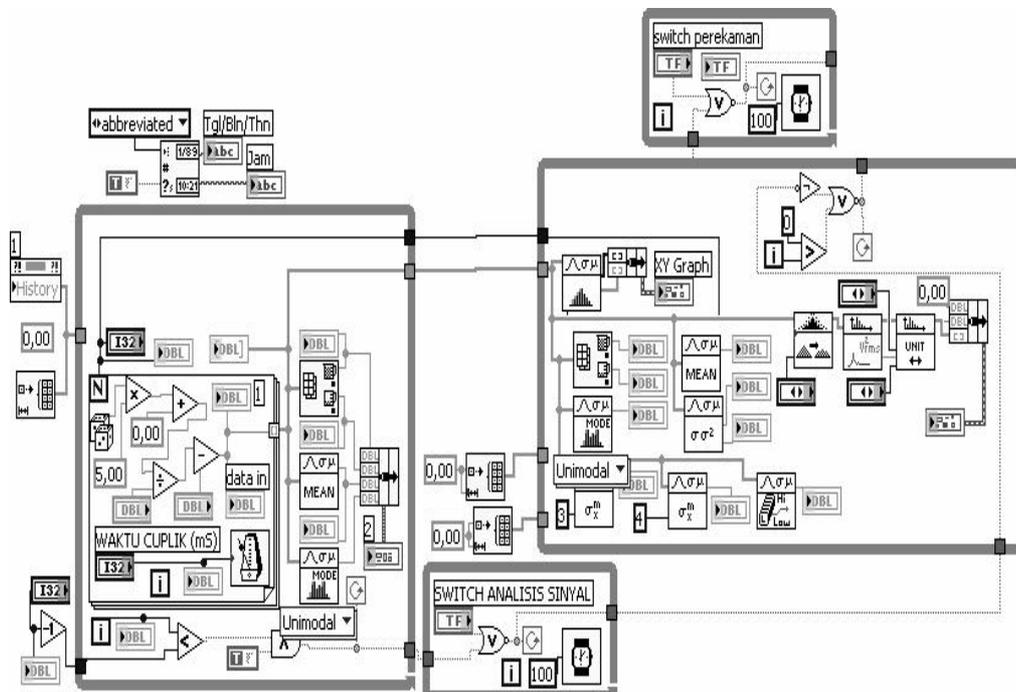
Power Spectrum Density (PSD) adalah cara lain untuk menganalisis sinyal fluktuasi berdasarkan asumsi bahwa suatu sinyal fluktuasi dibangun dari gelombang *sinus* dan *cosinus* dalam berbagai frekuensi. *PSD* dapat dihitung cepat dari fungsi korelasi diri (*autocorrelation Function*) sebagai fungsi waktu ke fungsi frekuensi dengan memanfaatkan transformasi *Fourier*. *Autocorrelation Function (ACF)*, Fungsi ini didefinisikan untuk menentukan karakter berdasarkan hubungan statistik antara nilai-nilai variabel fluktuasi pada tenggang waktu tertentu yang dikehendaki. *Autocorrelation*, dimaksudkan untuk mengukur sifat data perwaktu, adapun manfaatnya untuk mendeteksi periodisitas, memprediksi *noise*, mengukur waktu tunda mencari lokasi sumber gangguan dan perkembangannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Semua sistem perhitungan statistik tersebut dimanfaatkan disini, yang tertuangkan dalam sistem bahasa perhitungan *Labview*, pengukuran dan analisis dilakukan pada data yang besar dan dengan kondisi beban baut yang berbeda-beda. Tujuan umum penerapan sistem analisis getaran pada sistem/komponen reaktor adalah untuk memverifikasi bahwa status sistem/komponen instalasi/ reaktor sesuai dengan



Gambar 3. Skema model penyelesaian pada pemrosesan sinyal



Gambar 4. Rancangan diagram Labview untuk program Analisis

persyaratan dan rekomendasi keselamatan, secara khusus untuk mengetahui secara dini jika terjadi perubahan-perubahan (anomali) dari karakter yang telah diketahui. Penerapan Sistem Analisis Derau pada reaktor untuk mendukung sistem keselamatan dalam penelitian disini, dilakukan dengan metode yang dapat dikelompokkan dalam dua:

1. sistem instalasi Analisis getar
2. sistem analisis pengolahan data

Instalasi sistem dirancang meliputi sistem analisis getar yang benar, spesifik untuk setiap objek terukur. Untuk mendapatkan kesesuaian antara komponen yang meliputi sensor, amplifier, ADC, Interface, pengolah data termasuk bahasa pengolah, display dan pencetak.

Sistem analisis pengolahan data, mencakup : Proses, sistem pengukuran, olah data, kondisi referensi, deteksi, identifikasi, estimasi, prediksi dan rekomendasi. Sistem perangkat yang disusun di pilih terutama yang mudah diperoleh di pasaran dalam negeri, akurat dan harga yang relatif tidak mahal. Sistem proses yang penting adalah *processor* pengolah data dengan kecepatan 1.7 Ghz yang sudah umum di pasaran hal ini penting kaitannya dengan perangkat lunak labview yang di pakai, selanjutnya yang dipakai untuk perangkat keras sensor dan interface adalah produk dari National Instrument.

Tujuan umum Penerapan sistem analisis getaran pada sistem/komponen reaktor adalah untuk memverifikasi bahwa status sistem/komponen reaktor sesuai dengan persyaratan dan rekomendasi keselamatan, secara khusus untuk mengetahui secara dini jika terjadi perubahan-perubahan (anomali) dari karakter yang telah diketahui. Maka menerapkan Sistem Analisis Derau pada reaktor adalah untuk mendukung sistem keselamatan.

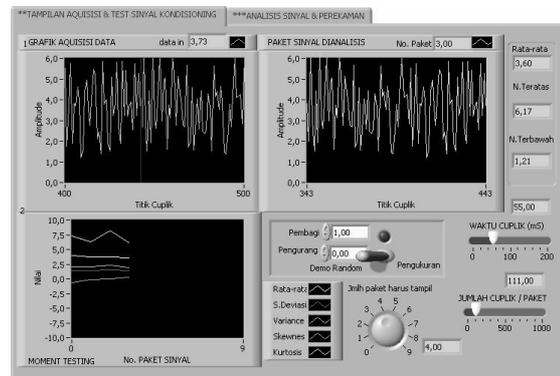
Dalam penelitian ini setiap komponen yang dipakai perlu dianalisis dan modifikasi untuk mendapatkan kesesuaian antara komponen yang meliputi sensor, amplifier, ADC, Interface, Pengolah data termasuk bahasa pengolah, display dan pencetak. Sistem analisis pengolahan data sendiri mencakup : Proses, sist. pengukuran, olah data, kondisi referensi, deteksi, identifikasi, estimasi, prediksi dan rekomendasi.

Sistem perangkat yang disusun di pilih terutama yang mudah diperoleh di pasaran dalam negeri, akurat dan harga yang relatif tidak mahal. Adapun tahapan kegiatan yang dilakukan pada penelitian ini setelah perangkat keras dan lunak teruji, meliputi pengambilan parameter data operasi, perekaman dan analisis. Di lapangan pengukuran dapat dilakukan berulang-ulang, sehingga diperoleh data pengukuran yang banyak. Dengan data yang melimpah dapat dilakukan

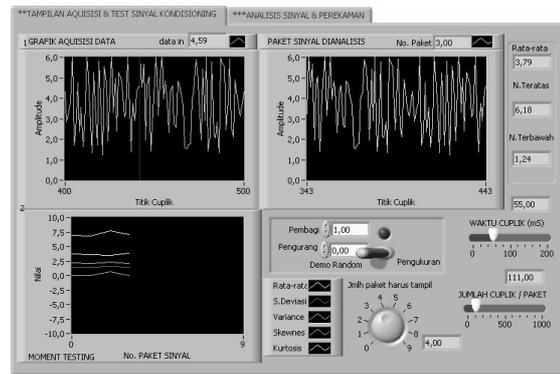
pemilihan yang paling baik untuk diproses selanjutnya.

Pengukuran dan perekaman dilakukan pada titik yang sama pada perangkat simulasi sistem kompleks dalam kondisi tiga mode, yaitu

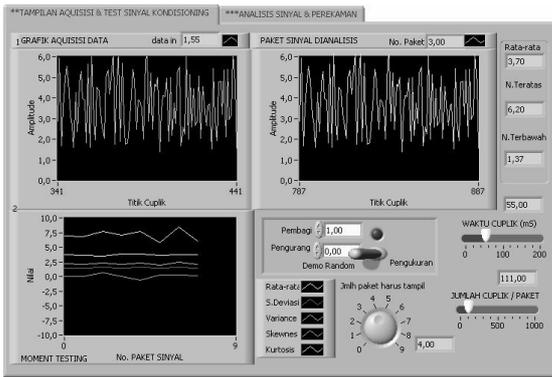
- mode pertama perangkat simulasi dengan beban 1 baut, ditampilkan pada Gambar 5, hasil analisis pada Gambar 8.
- perangkat simulasi dengan beban longgar 1 baut, ditampilkan pada Gambar 6, hasil analisis pada Gambar 9.
- perangkat simulasi tanpa beban, ditampilkan pada Gambar 7, hasil analisis pada Gambar 10.



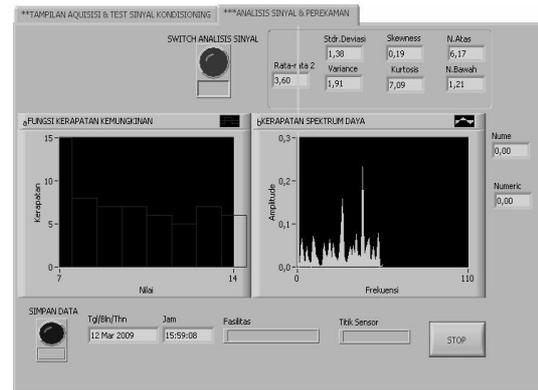
Gambar 5. Panel operasi sinyal terekam dengan beban 1 baut



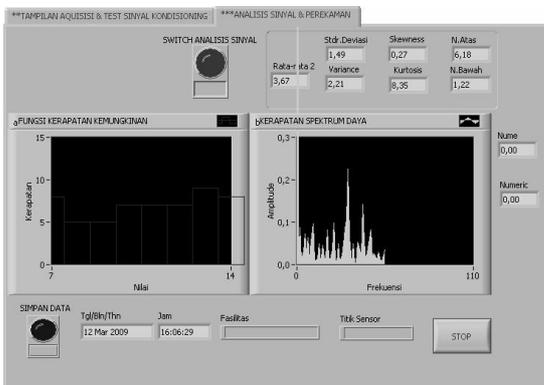
Gambar 6. Panel operasi sinyal terekam dengan beban 1 baut longgar



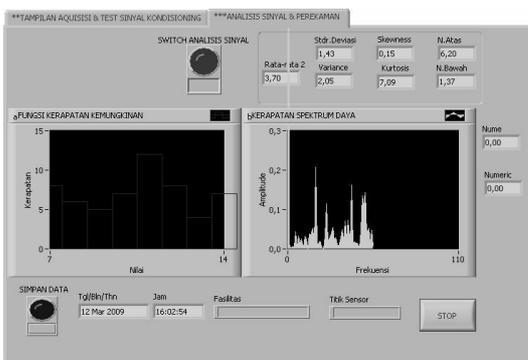
Gambar 7. Panel operasi sinyal terekam dengan tanpa beban baut



Gambar 10. Panel operasi analisis sinyal dengan tanpa beban baut



Gambar 8. Panel operasi analisis sinyal dengan beban 1 baut



Gambar 9. Panel operasi analisis sinyal dengan beban 1 baut longgar

Pada gambar panel operasi sinyal (Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7.) ditampilkan perekaman dari hasil pengukuran berturut-turut dengan mode beban 1 baut, beban 1 baut longgar dan mode tanpa beban. Biasanya pada gambar ini sulit untuk membedakan satu mode dengan mode yang lainnya, namun pada gambar 6 disini yaitu mode beban 1 baut longgar grafik akuisisi datanya dapat dibedakan dengan dua yang lainnya hal ini dimungkinkan pada baut longgar terjadi penambahan kompleksitas getaran. Hal tersebut dipertegas dengan tampilan kerapatan spektrum daya pada Gambar 9. Pada grafik tersebut terlihat kompleksitas puncak dibanding dengan grafik lainnya. Hal tersebut terjadi pula pada grafik fungsi kerapatan kemungkinan, yaitu pada beban baut longgar grafik ini mempunyai 3 puncak. Mode yang lain memiliki satu atau dua puncak saja.

Pada mode beban 1 baut, tampilan sinyal Gambar 5., agak sulit untuk membandingkan perbedaan dengan mode tanpa baut Gambar 7. Hal ini dikarenakan tidak terjadi atau hanya minim penambahan getaran (sebab baut terikat kencang pada piringan perangkat simulasi). Pada perbandingan Gambar 8. dan Gambar 10. baru dapat diperlihatkan ada perbedaan sinyal terekam. Pada gambar mode beban 1 baut Gambar 8. Grafik fungsi kerapatan kemungkinan, diperlihatkan memiliki 2 puncak, sedangkan pada gambar mode tanpa beban yaitu Gambar 10 memiliki satu puncak. Hal tersebut dapat dijelaskan kemungkinan pada mode tanpa beban getaran yang ditampilkan betul-betul hanya mewakili karakter getaran perangkat simulasi, sedangkan pada mode beban 1 baut ketika terjadi perputaran piringan ada sedikit ketidak seimbangan karena ditumpangkan satu baut sehingga karakter ini menambah puncak pada grafik fungsi kerapatan kemungkinan-nya.

KESIMPULAN

Mengingat reaktor nuklir merupakan jenis instalasi yang mahal, maka keterpeliharaan dan kesinambungan proses perlu dijaga setiap saat. Kegagalan suatu komponen akan dapat berakibat pada berhentinya proses dan kerugian secara ekonomis. Untuk menghindari hal tersebut, pengoperasian dan pemeliharaan sistem harus dilakukan secara tepat. Model pemeliharaan prediktif dengan memantau anomali pada setiap komponen proses merupakan pemeliharaan yang tepat. Telah dilakukan pengukuran, perekaman dan selanjutnya dilakukan pengamatan dan analisis getaran pada perangkat simulasi sistem instalasi khususnya instalasi nuklir, dengan tiga mode pengukuran yaitu mode dengan beban 1 baut, mode dengan beban 1 baut longgar (dianggap komponen akan lepas) dan mode tanpa beban (dianggap komponen lepas). Sistem analisis vibrasi yang dirancang disini mampu membedakan tiga mode kondisi yang disebut di atas pada perangkat simulasi instalasi. Dengan memahami karakter data getaran Instalasi pada suatu sistem dinamis instalasi maka dimungkinkan pendeteksian anomali secara lebih dini. Pendeteksian dini suatu perubahan sifat getaran atau anomali terhadap data acuan akan meningkatkan sistem keselamatan instalasi yang bersangkutan. Maka direkomendasikan untuk melakukan pengukuran analisis getar yang intens pada masing-masing objek komponen untuk analisis data agar diperoleh "respek pengukuran" dalam rangka mendapatkan jadwal "pengukuran periodik" yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. PURWANTO, AGUS SYARIP HIDAYAT, M. SOEKARNI, Carunia Mulya Firdausy, 2007," Pengembangan sumber energi alternatif: upaya mengurangi ketergantungan terhadap minyak", Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2E - LIPI).
2. SANGGUL H. SIREGAR, Pemeliharaan Prediktif untuk Peningkatan Performance Pembangkit Diesel, Direktorat Pengusahaan PT PLN (Persero), Mei 2007.
3. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006, Tentang Kebijakan Energi Nasional.
4. C.H. KING, M.S. OUYANG, S. C. LEE, 1989," Identification of Two-Phase Flow Regimes by Neutron Noise Analysis", Prog. Nuclear Energy, 86, 70.
5. KONNO, HIDETOSHI, 1993, " Lecture Notes on Advanced Signal Processing Method and Applications, University of Tsukuba, Japan
6. DJEN DJEN DJAINAL dkk. Characterization of Two-Phase Flow Patterns Using Fractal Techniques. Second International Conference on Multiphase Flow'95 Kyoto. 3-7 April 1995.
7. DJEN DJEN DJAINAL dkk. Pendeteksian dan Karakterisasi simulasi deret waktu dengan Instrumentasi PCL-818 HG. Kumpulan Makalah Fisika Instrumentasi, Biofisika/Fisika Medis, Fisika Komputasi dan Fisika Pendidikan Yogyakarta, 8-10 Desember 1998
8. KONNO, HIDETOSHI, 1993, " Lecture Notes on Advanced Signal Processing Method and Applications, University of Tsukuba, Japan
9. KOZMA R.,1995, "Studies on Relationship Between the Statistic of Void Fraction Fluctuations and the Parameter of Two-Phase Flows", Int. Journal of Multiphase Flow.
10. DJAINAL, DJEN DJEN, 1995, " Detection and Characterization of Coolant Flow Anomalies in Nuclear Reactor by Signal Fluctuation Analysis", Master Thesis Nuclear Engg', Tohoku University.
11. AHLIN, K., "On the use of Digital Filters for Mechanical System Simulation," Proc. Shock and Vibration Symposium, 2003.
12. National instruments, Labview Sound and Vibration Toolkit User Manual, August 2005.
13. LITA, I. VISAN, D.A. MUJEA, G. GHITA, D. Labview application for analysis of mechanical vibration from industrial environment. IEEEExplore,digital library 2005.
14. DENNIS DERICKSON AND MARCUS MUELLER (editors), *Digital Communications Test and Measurement*, Prentice Hall, Boston, 2007.

TANYA JAWAB

Pertanyaan :

1. Adakah standar pengukuran untuk baut dikatakan kencang atau longgar?
(Pipit, Fisika ITS)
2. Apakah sistem ini sudah bisa diterapkan untuk pemantauan kinerja komponen-komponen reaktor ? (misal pompa primer RSG)
Jika belum, kapan saya bisa pesan alat tersebut dan berapa harganya?
(Syarif, PTAPB BATAN):

Jawaban :

1. Dalam penelitian ini tidak pakai atau belum dipakai standar kencang atau longgar.
2. Bisa, mungkin lebih baik desain bukan masalah harga tapi kerjasama saling bantu dan tukar informasi.