

”Penerapan Pemantauan Kondisi Getaran Pada Sistem Turbin Gas Pengalir Gas Alam”

Wahyu Nirbito, Rizal Kurniahadi

Departemen Teknik Mesin – Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus UI Depok, Jawa Barat 16424
E-mail : bito@eng.ui.ac.id

ABSTRAK

Pemantauan kondisi getaran pada sistem turbin gas penggerak kompressor pengalir gas alam dilakukan terhadap unit turbin gas set di lapangan. Pemantauan dan pengambilan data getaran dilakukan pada 3 titik utama pada turbin gas set menurut suatu jadwal dan untuk suatu jangka waktu tertentu yang telah direncanakan. Data data hasil pengukuran tersebut diolah dan diperhitungkan regressinya sehingga didapat diperkirakan kecenderungan pertumbuhan kerusakan atau kemunduran kinerja dari mesin yang dipantau tersebut. Untuk jangka waktu pemantauan yang telah dilakukan ternyata regresi dari data data hasil pengukuran kondisi getaran mesin masih menunjukkan kondisi turbin gas set yang masih baik dengan penyimpangan ataupun pertumbuhan tingkat getaran yang menunjukkan kerusakan masih belum bermakna.

Pemantauan kondisi getaran dengan analisa menggunakan metode analisa frekuensi getaran adalah implementasi teknik pemeliharaan yang baik karena dapat memberikan gambaran ”kesehatan” dari suatu turbin gas set. Analisa frekuensi getaran dapat menunjukkan komponen mesin yang terindikasi rusak sehingga diagnosa terhadap kerusakan dapat segera ditentukan. Dengan menggunakan hasil analisa regresi terhadap data data hasil pengukuran dalam satu jangka waktu pemantauan yang tertentu, kecenderungan perubahan amplitudo getaran yang terjadi dapat dijadikan dasar untuk prakiraan waktu dimana mesin akan rusak.

Kondisi kinerja turbin gas set yang dipantau secara umum masih berada dalam kondisi ”kesehatan” yang baik. Beberapa komponen telah mulai menunjukkan kemunduran kualitas kerjanya dengan menunjukkan amplitudo getaran yang mulai menaik walaupun indikasi kerusakannya masih dalam batas toleransi dan dibawah batas siaga atau alert.

Kata Kunci : Pemantauan Kondisi Getaran, Turbin Gas, Kompressor, Penyaluran Gas Alam

1. PENDAHULUAN

Turbin gas merupakan salah satu sistem alat pembangkit daya. Daya yang dihasilkan dapat digunakan antara lain sebagai penggerak : generator listrik, pompa, propulsi kapal laut, propulsi pesawat terbang, kompressor, dan lain lain. Dalam industri minyak dan gas bumi, salah satu penggunaannya yang luas adalah sebagai pemompa atau pengalir produksi gas alam. Gas alam tersebut disalurkan ke suatu tujuan yang cukup jauh dengan menggunakan kompressor yang digerakkan oleh sistem turbin gas melalui jalur jalur pipa yang panjang. Proses penyaluran gas alam ini berlangsung secara menerus sehingga kinerja mesin mesin pelakunya dituntut untuk tetap handal setiap saat dalam pengoperasiannya.

Pemeliharaan (*maintenance*) adalah kunci keberhasilan dari pemenuhan tuntutan kualitas kinerja tersebut diatas. Pemeliharaan rutin saja tidaklah cukup untuk menjamin ketersediaan dari kinerja mesin selama mungkin dengan kehandalan yang tinggi. Pemeliharaan rutin yang berdasarkan pada waktu tertentu yang terjadwal akan menyebabkan berkurangnya ketersediaan kinerja mesin karena adanya waktu waktu yang dijadwalkan untuk menghentikan operasi mesin dan melakukan pemeliharaan. Disamping itu pula akan terjadi ”pemborosan” dari segi biaya karena suku cadang yang harus disediakan menjadi sangat banyak, komponen yang belum tentu rusak diganti yang baru, timbul risiko mesin yang tadinya tidak apa apa tetapi malah menjadi rusak karena di bongkar/overhaul hanya karena mengikuti jadwal disamping waktu berhenti mesin menjadi cukup lama.

Untuk mengurangi ”pemborosan” uang dan waktu produktif seperti tersebut diatas, dikembangkan sistem pemeliharaan prediktif yaitu pemeliharaan dilakukan berdasarkan perhitungan prediksi saat menjelang rusak satu komponen mesin [1]. Kunci keberhasilan dari sistem pemeliharaan ini adalah keakuratan dalam membuat prediksi atau prakiraan waktu kapan satu komponen mesin harus dibongkar dan diganti atau diperbaiki karena memang sudah mengalami kemunduran kinerja atau mulai rusak. Dengan demikian, komponen mesin yang diganti adalah komponen mesin yang benar

benar harus diganti dan karena sudah diketahui komponen mana maka pengerjaannya bisa lebih cepat sehingga waktu mesin berhenti bisa menjadi lebih pendek.

Konsekuensi dari kebutuhan membuat prediksi yang cukup akurat adalah harus diketahui benar kondisi setiap komponen kritis mesin pada setiap saat. Hal ini bisa didapat dengan melakukan pemantauan yang rutin, teratur dan ketat. Pekerjaan pemantauan adalah pekerjaan kecil yang tidak rumit walaupun membutuhkan investasi yang cukup besar untuk peralatannya yang relatif mahal. Secara keseluruhan total biaya untuk pemeliharaan prediktif ini masih lebih rendah dibanding biaya pemeliharaan rutin yang dijelaskan dimuka [2].

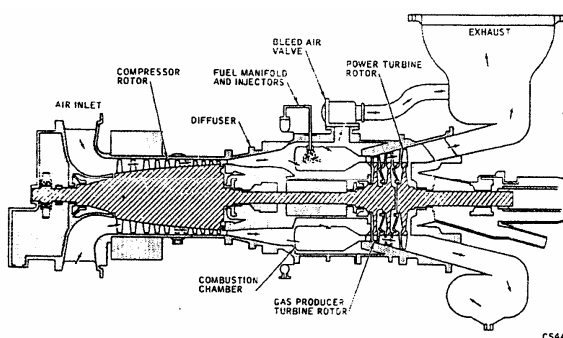
2. PEMANTAUAN KONDISI GETARAN

Pemantauan kondisi mesin secara umum biasa dilakukan dengan pengukuran : temperatur, bunyi bising, gerak perpindahan, jumlah partikel kontaminan didalam minyak pelumas yang sedang dipakai, spektografi minyak pelumas, dan getaran mesin. Dari hasil pemantauan terhadap besaran parameter kinerja mesin tersebut diatas yang diukur, masing masing memberikan tanda tanda adanya kerusakan yang spesifik. Akan tetapi ternyata hasil pengukuran getaran dapat memberikan tanda tanda kerusakan spesifik yang lebih banyak dibanding dari pengukuran lain. Dari pemantauan terhadap kondisi getaran mesin dapat dikenali tanda tanda kerusakan antara lain dari : bantalan bantalan, poros, sambungan, kopling, rotor, struktur, rodagigi, pulley dengan sabuknya, kualitas minyak pelumas. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pemantauan kondisi getaran mesin adalah : indikator terbaik untuk kondisi mesin, menunjukkan tuntutan dinamika dari mesin terhadap fondasi beserta lingkungan sekelilingnya, dan memberikan dasar untuk melakukan diagnosa serta menghilangkan kerusakan pada mesin [3].

Pengukuran getaran adalah dengan menggunakan sensor getaran yaitu transducer perpindahan, transducer kecepatan, transducer percepatan atau accelerometer. Cara pengukuran antara lain adalah sebagai berikut [4]:

- Transducers/sensors mengukur parameter dinamis berupa perpindahan, kecepatan atau percepatan gerak dari titik pengukuran. Pada umumnya adalah kecepatan atau percepatan.
- Pengukuran bisa dilakukan untuk sesaat dimana hasilnya menunjukkan parameter dinamis tersebut pada waktu sesaat.
- Pengukuran bisa dilakukan untuk satu lebar waktu tertentu dan kemudian dihitung rata ratanya atau maksimumnya.
- Pengukuran bisa dilakukan untuk satu lebar waktu tertentu dengan ditentukan pula jumlah banyaknya nilai pengukuran sebagai sampling rate. Hasil pengukuran ini adalah gelombang amplitudo getaran untuk satu waktu pengukuran tertentu. Disebut sebagai time wave form. Dengan alat Digital Signal Analyzer yang operasinya berdasarkan algoritma Fast Fourier Transfom, maka gelombang time wave tersebut dapat dirubah menjadi spektrum frekuensi.

3. IMPLEMENTASI DI LAPANGAN



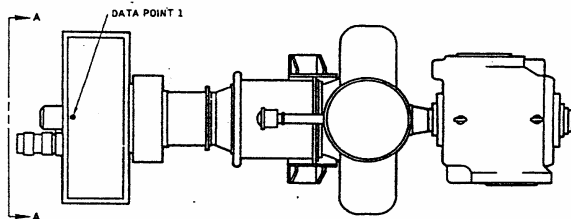
Gambar 1. Penampang melintang dari set mesin turbin gas penggerak kompressor

Pemantauan kondisi getaran dilakukan terhadap satu set turbin gas penggerak kompressor di satu lapangan pemompaan gas alam di daerah Jawa barat. Pemantauan dan pengukuran dilakukan pada komponen komponen yang ditentukan sebagai komponen kritis seperti : komponen penggerak asesoris (accessories drives), komponen kompressor dari set turbin gas penghasil gas (gas producer) dan komponen turbin daya (power turbine). Pada komponen komponen tersebut dipasang beberapa sensor dengan posisi pemasangan berbeda beda sesuai dengan kebutuhan pengukuran [5].

Data data hasil pengukuran dari semua sensor yang dipasang dikumpulkan dalam suatu *database* untuk kemudian diolah dan dianalisa. Data data tersebut adalah data yang sifatnya historis yaitu berdasarkan jadwal waktu tertentu dalam harian (24 jam) dengan masa pemantauan yang menerus sampai dianggap cukup yaitu sudah dapat diputuskannya suatu prediksi waktu untuk dilakukan tindakan pemeliharaan atau perbaikan.

Gambar potongan dari set turbin gas yang dipantau kondisi getarannya dapat dilihat pada gambar 1 di halaman sebelum ini. Kemudian ditentukan titik pemantauan pada setiap komponen yang harus dipantau yaitu titik titik tempat dimana sensor sensor harus dipasang. Dipersiapkan pula semua data frekuensi getaran yang harus diperhatikan yaitu frekuensi frekuensi yang menunjukkan komponen yang rusak bila amplitudonya sangat tinggi [6, 7].

3.1. PENGUKURAN PADA BAGIAN PENGGERAK ASSESORIES



Gambar 2. Lokasi pemasangan transducer/sensor untuk pengambilan data

Pada bagian penggerak assesories dipasang 15 buah sensor pengukur getaran untuk memantau kondisi getaran. Lokasi pemasangannya pada bagian penggerak assessories ini bisa dilihat pada gambar 2 disamping ini.

Jenis jenis sensor yang dipasang serta posisi pemasangannya dapat dilihat pada tabel I dibawah ini. Pada tabel II berikutnya dapat dilihat daftar frekuensi frekuensi kritis yang harus dipantau besar amplitudonya karena berhubungan langsung dengan kerusakan komponen penggerak assesories yaitu rangkaian roda roda gigi.

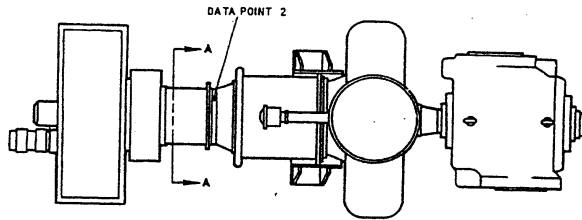
No.	Posisi	Alat pengukur	Batasan frekuensi (Hz)	Keterangan pengambilan data getaran
1	AD1	Velocity Transducer	0-5000	Arah jam 12
2	AD2	Accelerometer	0-10.000	Arah jam 12
3	AD3	Accelerometer	0-20.000	Arah jam 12
4	AD4	Velocity Transducer	0-5000	Arah jam 8
5	AD5	Accelerometer	0-10.000	Arah jam 8
6	AD6	Accelerometer	0-20.000	Arah jam 8
7	AD7	Velocity Transducer	0-5000	Arah jam 4
8	AD8	Accelerometer	0-10.000	Arah jam 4
9	AD9	Accelerometer	0-20.000	Arah jam 4
10	A12	Velocity Transducer	0-2000	Arah jam 12
11	A08	Velocity Transducer	0-2000	Arah jam 8
12	A04	Velocity Transducer	0-2000	Arah jam 4
13	ADX	Accelerometer	0-10.000	BNC
14	ADY	Accelerometer	0-20.000	BNC
15	ADZ	Velocity Transducer	0-2000	BNC

Tabel I. Daftar sensor yang dipasang pada bagian penggerak assesories menurut posisi pemasangan, model sensor, kisaran frekuensi pengukuran dan arah pengukuran

No.	Nama Bagian	Jumlah Gigi	Frekuensi (Hz)
1	First-stage drive pinion	39	9555
2	Intermediate gear	106	2934,6
3	Lube and hydraulic pump gear	86	2928,7
4	Servo pump gear	41	2934,6
5	Seal oil or fuel pump gear	86	2928,7
6	Power takeoff gear	86	2928,7
7	First-stage gear	94	9557,5
8	Second-stage pinion	29	2948,6

Tabel II. Spesifikasi dan Frekuensi dari Roda Gigi yang ada pada bagian penggerak assesories

3.2. PENGUKURAN PADA BAGIAN PENGHASIL GAS (gas producer)



Gambar 3. Lokasi pemasangan transducer/sensor untuk pengambilan data di bagian penghasil gas (gas producer, kompresor)

Pada bagian penghasil gas dipasang 11 buah sensor pengukur getaran untuk memantau kondisi getaran. Lokasi pemasangannya pada bagian penghasil gas ini adalah pada seksi kompresor yang bisa dilihat pada gambar 3 dibawah ini.

Jenis jenis sensor yang dipasang serta posisi pemasangannya dapat dilihat pada tabel III di dibawah ini. Pada tabel IV berikutnya dapat dilihat daftar frekuensi frekuensi kritis yang harus dipantau besar amplitudonya karena berhubungan langsung dengan kerusakan komponen dari kompresor pada bagian penghasil gas.

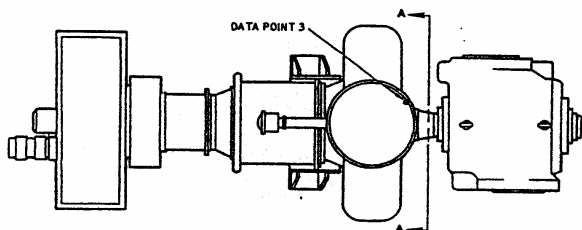
No.	Posisi	Alat pengukur	Batasan frekuensi (Hz)	Keterangan pengambilan data getaran
1	GP1	Velocity Transducer	0-500	Horizontal
2	GP2	Velocity Transducer	0-2000	Horizontal
3	GP3	Accelerometer	0-20000	Horizontal
4	GP4	Velocity Transducer	0-500	Vertikal
5	GP5	Velocity Transducer	0-2000	Vertikal
6	GP6	Accelerometer	0-20000	Vertikal
7	GP7	Velocity Transducer	0-500	Aksial
8	GP8	Velocity Transducer	0-2000	Aksial
9	GP9	Accelerometer	0-20000	Aksial
10	GP10	Velocity Transducer	0-500	BNC
11	GP11	Velocity Transducer	0-2000	BNC

Tabel III. Daftar sensor yang dipasang pada bagian penghasil gas menurut posisi pemasangan, model sensor, kisaran frekuensi pengukuran dan arah pengukuran

No. Tingkat	Jumlah Sudu-sudu	Frekuensi (Hz) 100 %	99 %	98 %	97%
1	33	8258	8167.5	8085	8036.82
2	35	8759	8662.5	8575	8523.9
3	38	9510	9405	9310	9254.52
4	60	15015	14850	14700	14612.4
5	63	15766	15592.5	15435	15343.02
6	65	16266	16087.5	15925	15830.1
7	67	16767	16582.5	16415	16317.18
8	81	20250	20047.5	19845	19726.74
9	77	19269	19057.5	18865	18752.58
10	73	18268	18067.5	17885	17778.42
11	71	17768	17572.5	17395	17291.34

Tabel IV. Spesifikasi dan Frekuensi dari Rotor Kompresor yang ada pada bagian penghasil gas

3.3. PENGUKURAN PADA BAGIAN TURBIN DAYA (power turbine)



Gambar 4. Lokasi pemasangan transducer/sensor untuk pengambilan data di bagian turbin daya (power turbine)

Pada bagian turbin daya dipasang 5 buah sensor pengukur getaran untuk memantau kondisi getaran. Lokasi pemasangannya pada bagian penghasil gas ini adalah pada seksi turbin daya yang bisa dilihat pada gambar 4 disamping ini.

Jenis jenis sensor yang dipasang serta posisi pemasangannya dapat dilihat pada tabel V di halaman berikut. Pada tabel VI berikutnya dapat dilihat daftar frekuensi frekuensi kritis yang harus dipantau besar amplitudonya karena berhubungan langsung dengan kerusakan komponen dari rotor turbin daya.

No.	Posisi	Alat pengukur	Batasan frekuensi (Hz)	Keterangan pengambilan data getaran
1	PT1	Velocity Transducer	0-500	Horizontal
2	PT2	Velocity Transducer	0-2000	Horizontal
3	PT3	Accelerometer	0-20000	Horizontal
4	PT4	Velocity Transducer	0-500	BNC
5	PT5	Velocity Transducer	0-2000	BNC

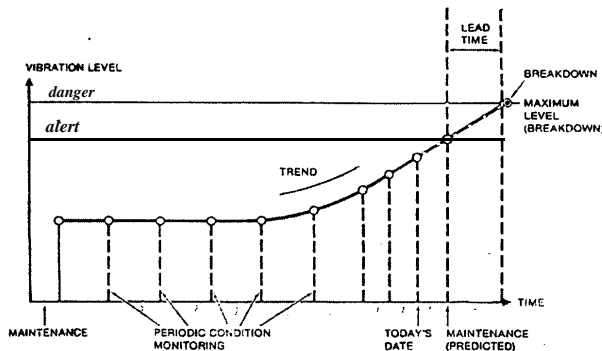
Tabel V. Daftar sensor yang dipasang pada bagian turbin daya menurut posisi pemasangan, model sensor, kisaran frekuensi pengukuran dan arah pengukuran

No. Tingkat	Jumlah Sudu-sudu	Frekuensi (Hz) 100 %	83,6 %	85,6 %	87,2 %	88,8 %
1	61	15265	12761	13067	13311	13555
2	61	15265	12761	13067	13311	13555
3	69	18113	15142	15505	15794	16084

Tabel VI. Spesifikasi dan Frekuensi dari Rotor Turbin Daya

4. PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA

Data data hasil pengukuran getaran pada setiap komponen yang dipantau adalah bersifat data historis berdasarkan jadwal waktu yang tertentu untuk jangka waktu yang tertentu pula. Data data ini dikelompokkan menurut komponen dan titik pengukurannya. Bila suatu kumpulan data dari satu kelompok di plot membentuk suatu grafik, maka akan terlihat dengan jelas perubahan perubahan nilai tingkat getarannya yang diukur dari waktu ke waktu. Selama data hasil pengukuran getaran tersebut masih dibawah batas aman yaitu batas waspada (*alert*) maka berarti bahwa komponen mesin itu masih bekerja dengan baik dan kinerjanya masih prima.



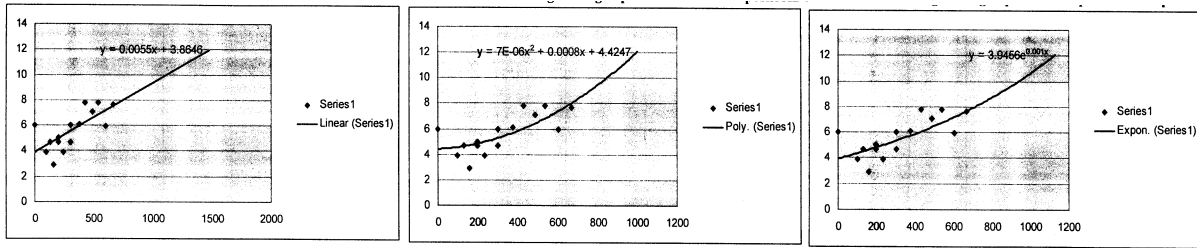
Gambar 5. contoh grafik trending yang menunjukkan kecenderungan kerusakan

Dengan plot data data tersebut maka dapat dibuat grafik kecenderungannya atau yang disebut sebagai "trending" dengan analisa regresi secara linier, polinomial maupun eksponensial. Dengan demikian perpotongan antara garis grafik kecenderungan atau "trending" dengan garis batas "alert" dapat menunjukkan prediksi waktu dari kondisi komponen mesin itu mulai akan rusak dan kinerjanya turun. Sisa waktu menuju titik tersebut adalah waktu yang dapat digunakan

untuk mempersiapkan segala sesuatu untuk melakukan pemeliharaan atau perbaikan yang dibutuhkan. Hal ini adalah salah satu keunggulan teknik pemeliharaan prediktif karena jatuh tempo komponen akan mulai

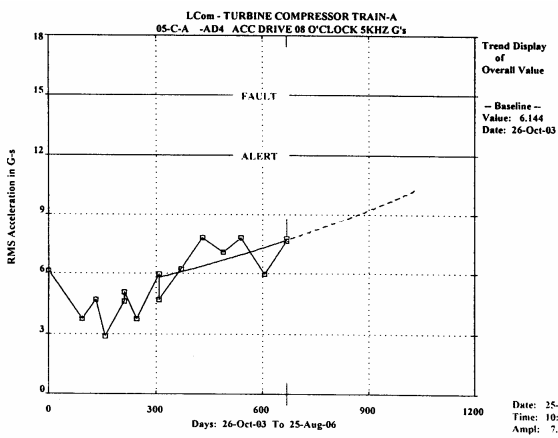
benar rusak dan harus diganti atau diperbaiki telah dapat diprediksi serta masih tersedia waktu sisa yang disebut sebagai "lead time" sebelum komponen itu benar benar rusak. Plot data pengukuran sebagai pemantauan kondisi getaran mesin yang membentuk garis grafik kecenderungan (*trending*) sehingga memotong garis batas *alert* dapat dilihat pada gambar 5 contoh diatas [6, 7].

Data data pengukuran yang merupakan pemantauan kondisi getaran pada bagian penggerak assesories dapat diplot dari data pertama diambil sampai data terakhir untuk masing masing setiap titik pengukuran. Dari plot tersebut dapat dibuat regressinya sehingga didapat garis grafik kecenderungannya. Analisa regresi dapat dilakukan dengan pendekatan linier, polinomial ataupun eksponensial tergantung kecocokannya dengan penyebaran titik plot data yang ada. Sebagai contoh diambil data dari titik pengukuran **AD4** pada bagian penggerak assesories yang dapat dilihat pada gambar 6 di halaman berikut ini.



Gambar 6. Garis grafik kecenderungan yang dibuat dari data pengukuran sensor AD4 dengan regresi linier, regresi polinomial, regresi eksponensial

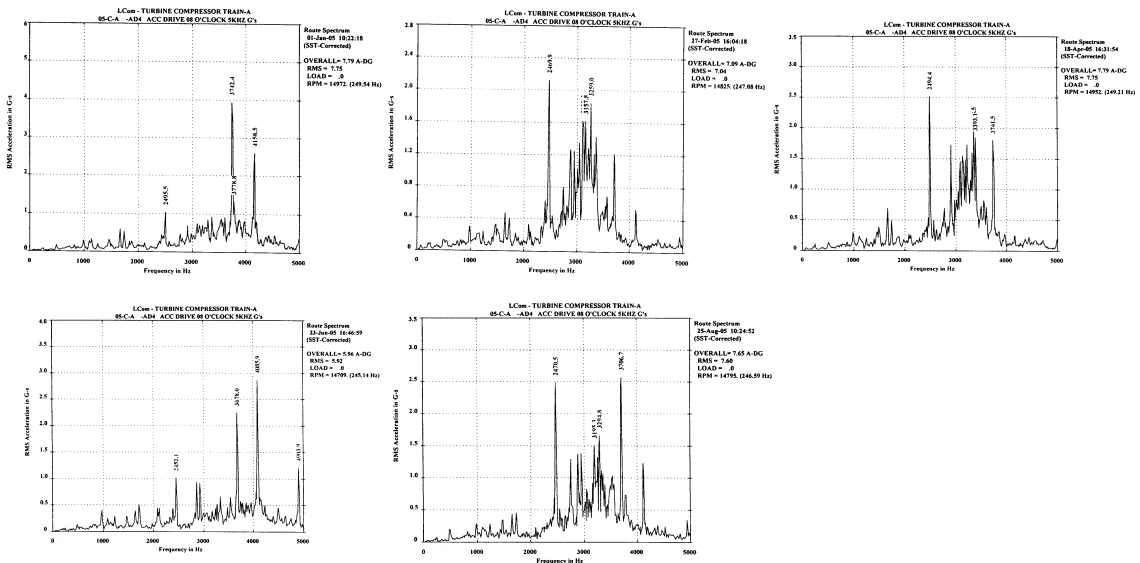
4.1. PEMANTAUAN PADA BAGIAN PENGGERAK ASSESORIES



Sebagai contoh diambil data dari titik pengukuran AD4 pada bagian penggerak assesories. Pada aktivitas pemantauan kondisi getaran yang sebenarnya di lapangan, grafik kecenderungan yang dibuat untuk kumpulan data data pengukuran dari sensor AD4 adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 7 disamping ini.

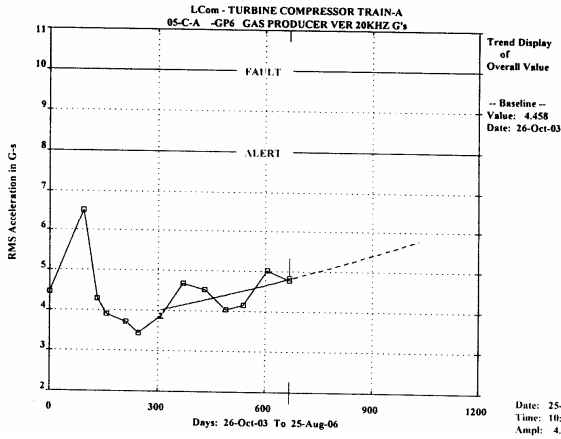
Data data pengukuran pada setiap titik dikumpulkan dan disimpan dalam bentuk besaran overall yaitu satu nilai RMS untuk dapat diplot, serta dalam bentuk spektrum frekuensi untuk setiap datanya. Contoh data spektrum frekuensi yang didapat dari pengukuran pada AD4 setiap kali pengukuran dapat dilihat pada gambar 8 berikut dibawah ini.

Gambar 7. Grafik kecenderungan dari data pengukuran AD4



Gambar 8. Contoh data pengukuran AD4 dalam bentuk spektrum frekuensi untuk setiap hari pengukuran

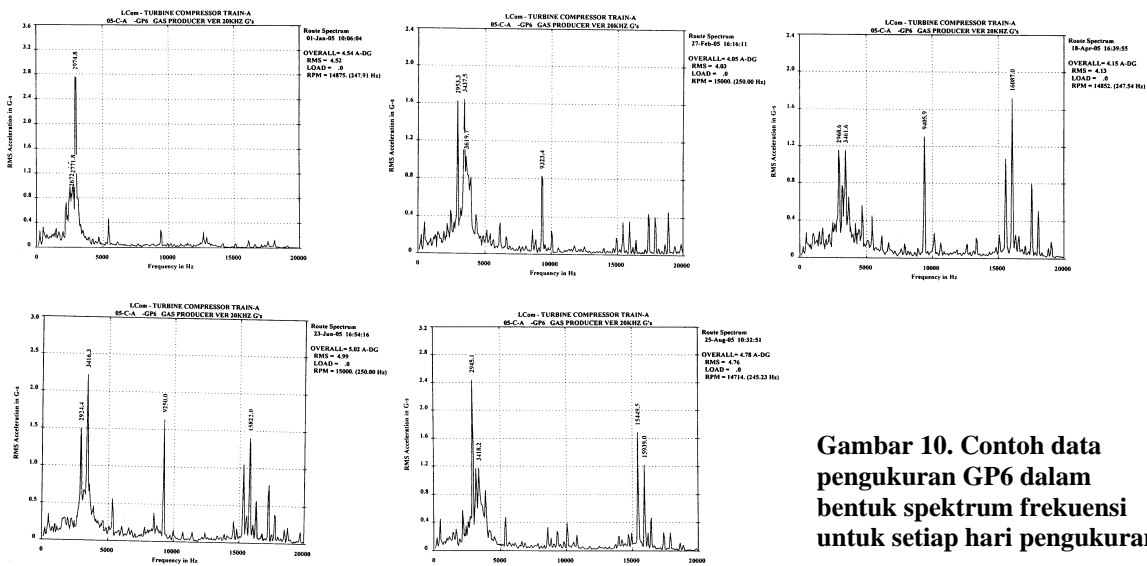
4.2. PEMANTAUAN PADA BAGIAN PENGHASIL GAS



Gambar 9. Grafik kecenderungan dari data pengukuran GP6

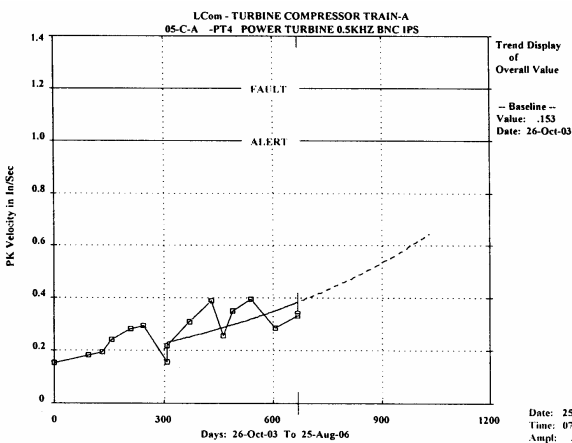
Sebagai contoh diambil data dari titik pengukuran **GP6** di seksi kompresor pada bagian penghasil gas. Pada aktivitas pemantauan kondisi getaran yang sebenarnya di lapangan, grafik kecenderungan yang dibuat untuk kumpulan data data pengukuran dari sensor **GP6** adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 9 disamping ini.

Data data pengukuran pada setiap titik dikumpulkan dan disimpan dalam bentuk besaran *overall* yaitu satu nilai RMS untuk dapat diplot, serta dalam bentuk spektrum frekuensi untuk setiap datanya. Contoh data spektrum frekuensi yang didapat dari pengukuran pada **GP6** setiap kali pengukuran dapat dilihat pada gambar 10 berikut dibawah ini.



Gambar 10. Contoh data pengukuran GP6 dalam bentuk spektrum frekuensi untuk setiap hari pengukuran

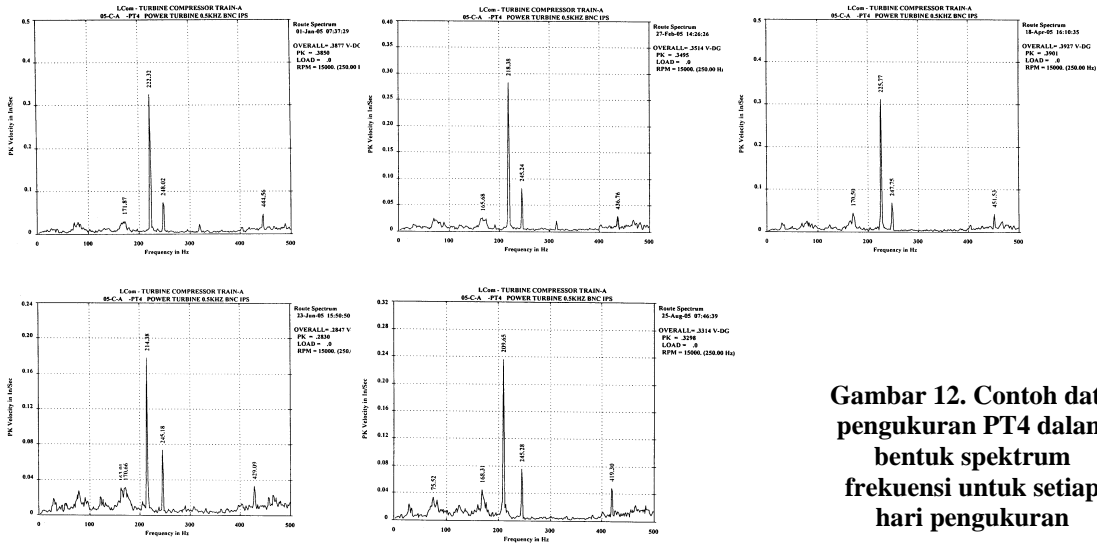
4.3. PEMANTAUAN PADA BAGIAN TURBIN DAYA



Sebagai contoh diambil data dari titik pengukuran **PT4** pada bagian turbin daya. Pada aktivitas pemantauan kondisi getaran yang sebenarnya di lapangan, grafik kecenderungan yang dibuat untuk kumpulan data data pengukuran dari sensor **PT4** adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 11 disamping ini.

Gambar 11. Grafik kecenderungan dari data pengukuran PT4

Data data pengukuran pada setiap titik dikumpulkan dan disimpan dalam bentuk besaran *overall* yaitu satu nilai RMS untuk dapat diplot, serta dalam bentuk spektrum frekuensi untuk setiap datanya. Contoh data spektrum frekuensi yang didapat dari pengukuran pada **PT4** setiap kali pengukuran dapat dilihat pada gambar 12 berikut dibawah ini.



Gambar 12. Contoh data pengukuran PT4 dalam bentuk spektrum frekuensi untuk setiap hari pengukuran

5. KONKLUSI

Analisa terhadap data data pengukuran hasil pemantauan kondisi getaran pada tanggal terakhir menunjukkan bahwa kondisi dan kinerja set turbin gas secara umum masih dalam keadaan baik. Walaupun demikian, sudah mulai terlihat adanya indikasi pertumbuhan kerusakan dari mulai terbentuknya grafik kecenderungan yang mengarah keatas. Tingkat keparahan kondisi getaran yang diukur masih dibawah batas waspada (*alert*) sehingga mesin turbin gas ini masih aman untuk terus dioperasikan.

Dengan melakukan analisa regresi, kecenderungan kerusakan komponen dapat diperhitungkan sehingga waktu untuk melakukan pemeliharaan ataupun perbaikan dapat diprediksi. Dengan menggunakan regresi polinomial, waktu untuk melakukan pemeliharaan terhadap bagian penggerak assesories diprediksi adalah pada hari ke 984 dimana dapat dilakukan penggantian bagian penggerak assesories. Sedangkan untuk seksi kompressor pada bagian penghasil gas, dapat diprediksi waktu untuk pemeliharaan adalah pada hari ke 1060 dimana dapat dilakukan pembersihan sudu sudu kompressor, dan untuk bagian turbin daya diprediksi akan jatuh tempo pada hari ke 1147. Dari prediksi prediksi per bagian ini dapat juga dikonsolidasi menjadi satu prediksi untuk overhaul lengkap yang mencakup keseluruhan set dari turbin gas tersebut. Pengumpulan data pengukuran dalam bentuk spektrum frekuensi didalam data base membuat analisa frekuensi akan menjadi mudah karena lengkapnya data yang ada sehingga diagnosa "kesehatan" mesin bisa menjadi lebih cepat dan lebih akurat.

Penerapan pemantauan kondisi getaran pada sistim turbin gas pengalir gas alam ini meningkatkan kinerja dan kehandalan mesin disamping memberikan dampak penghematan karena memperpanjang selang waktu antara interhaul (produktivitas naik, biaya pemeliharaan turun), meniadakan mesin rusak secara mendadak (semakin handal, produktivitas naik), meniadakan kerusakan sekunder (kerusakan komponen awal segera terdeteksi dan dapat diperbaiki), meniadakan pemborosan komponen (yang diganti hanya yang rusak dan tidak dapat diperbaiki), meniadakan stok suku cadang berlebihan (komponen yang harus diganti sudah diprediksi sehingga bisa direncanakan), mengurangi terhentinya usaha karena kerusakan alat dan menurunkan biaya premi asuransi, dan mengurangi waktu untuk perbaikan (karena sudah terencana sebelumnya).

6. PENGHARGAAN DAN TERIMA KASIH

Para penulis makalah ini dan Institusi asalnya menyampaikan penghargaan setinggi-tingginya dan terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak PT Indo Turbine dan terutama kepada Bapak Ir. Wimpy Andaria beserta seluruh stafnya. Penghargaan dan terima kasih ini adalah atas kesempatan yang diberikan kepada para penulis untuk ikut dalam operasi perawatan prediktif terhadap unit turbin gas yang beroperasi di lapangan serta atas akses data yang diberikan sehingga penelitian ini bisa terlaksana. Hal ini sangat menunjang sehingga pemahaman dan pengetahuan para penulis bertambah luas dan dalam terutama didalam bidang turbin gas dan pemantauan kondisi getaran (vibration condition monitoring).

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ____, "*Turbine Engine Condition Monitoring Techniques*", Solar Turbine Inc., San Diego – USA.
- [2]. Dickert, Arby, "*Reliability Based Maintenance Seminar*", Jakarta, 1994.
- [3]. ____, "*Vibration Measurement and Analysis*", Solar Turbine Inc., San Diego – USA.
- [4]. ____, "*Basic Vibration Analysis*", Computational System Inc., 1997.
- [5]. ____, "*Turbomachinery Technology Seminars*", Solar Turbine Inc., San Diego – USA.
- [6]. ____, "*Machine Diagnosis, Methods and Instruments for Analysing Machine Condition and For Early Recognition of Machine Damage Using Vibration Measurement*", Schenk, Germany.
- [7]. ____, "*Compressor Sets*", Solar Turbine Inc., San Diego – USA.