

Deteksi Kerusakan Kompresor Torak Satu Silinder Dengan Sinyal Getaran

Achmad Widodo*, Satrio Budi Prasajo dan Ismoyo Haryanto

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH., Tembalang-Semarang, 50275, Indonesia. Telp. +62247460059

*email: awidodo2010@gmail.com

Abstrak.

Kompresor torak merupakan jenis kompresor yang paling tua yang didesain untuk produksi secara massal. Hingga saat ini, jenis kompresor torak ini masih menjadi pilihan utama dalam berbagai bidang karena kelebihanannya yaitu mampu memberikan kompresi udara yang tinggi dan laju aliran rendah. Ada banyak kasus kerusakan pada kompresor torak misalnya, kerusakan pada katup, *wrist pin*, dan *crank pin bore* pada *connecting rod*. Pada makalah ini, deteksi kerusakan kompresor torak satu silinder akibat katup buang yang malfungsi dan kerusakan pada *pin bore* akan dikaji berdasarkan sinyal getaran. Analisis sinyal domain waktu dan frekuensi menjadi dasar utama dilengkapi dengan fitur spektrogram dan auto-korelasi dua dimensi. Pola-pola sinyal hasil getaran dianalisis melalui plot fitur sinyal getaran, kemudian dibandingkan antara kondisi kompresor normal dan kompresor yang mengalami kerusakan sebagaimana disebutkan diatas. Dengan cara perbandingan fitur sinyal getaran tersebut, maka deteksi kerusakan kompresor dapat dilakukan.

Kata kunci : Deteksi kerusakan, kompresor, getaran, *spectrogram*, autokorelasi

Pendahuluan

Kompresor torak merupakan jenis kompresor paling tua yang di desain untuk produksi secara massal. Hingga saat ini, jenis kompresor torak ini masih menjadi pilihan utama dalam berbagai bidang karena kelebihanannya yang fungsional, terutama pada kebutuhan kompresi udara dengan laju aliran yang rendah.

Kompresor torak memiliki rentang ukuran dari yang kecil hingga 15,000 cfm (25,485 m³/h) dengan tekanan yang dihasilkan hingga 60,000 psig (413,790 kPa). Namun tekanan yang digunakan pada aplikasi umum adalah berkisar antara 10 to 300 psig (690 to 2,069 kPa) dan dengan kapasitas kurang dari 2,500 cfm (4,250 m³/h). Efisiensi kompresi bervariasi antara 0.85 dan 0.95. Sedangkan untuk efisiensi mekanisnya berada pada rentang 0.88 to 0.95. Efisiensi total merupakan hasil dari efisiensi kompresi dengan efisiensi mekanisnya [1].

Ada banyak kasus kerusakan yang terjadi pada kompresor torak. Sekitar 36% dari kasus kerusakan yang sering terjadi adalah karena kerusakan pada katup [2]. Pada tahapan desain katup, parameter yang digunakan adalah *sealing* yang baik, kecepatan katup dalam membuka dan menutup, luas aliran serta tahanan aliran yang rendah, dampak yang rendah, serta kemampuan dalam menahan gaya dampak dan temperatur tinggi. Namun, katup yang tidak mampu menahan beban dalam kondisi operasi yang luas, sering mengalami kebocoran pada rasio tekanan rendah dan akan mengurangi umur katup pada kondisi operasi bertekanan tinggi [3].

Komponen lain dari kompresor torak yang rawan mengalami kerusakan adalah pada *crank pin bore* dan *wrist pin*. Komponen tersebut rentan mengalami aus karena gesekan yang terjadi secara terus menerus dengan komponen lain, pada kasus ini dengan *crankshaft* dan dengan piston.

Pendeteksian secara dini dilakukan untuk mencegah level kerusakan yang lebih parah pada kompresor torak.

Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, pendeteksian kerusakan pada katup, *wrist pin* dan *crank pin bore* akan dipelajari dengan melihat karakteristik getaran kompresor. Dengan membandingkan fitur getaran pada kompresor dalam keadaan baik dengan kompresor yang mengalami kerusakan, maka kerusakan akan dapat terdeteksi pada frekuensi getaran yang dengan amplitudo yang tinggi.

Untuk menghindari kesalahan pendeteksian kerusakan, fungsi autokorelasi digunakan dalam pereduksian sinyal noise yang terbaca pada *transducer*. Dengan demikian, hasil akhir fitur getaran yang disajikan dalam domain waktu dan frekuensi akan lebih akurat.

Dasar Teori

Short Time Fourier Transform

Analisis waktu-frekuensi menggabungkan sinyal dalam domain waktu dan frekuensi sehingga metode ini memungkinkan untuk dapat mengetahui fitur transien seperti peristiwa impak yang terjadi pada waktu yang sangat singkat. Analisis ini memungkinkan untuk memantau sebuah kejadian tertentu pada mesin pada frekuensi dan waktu tertentu. Metode ini dikenal dengan nama *short-time fourier transform* (STFT).

Analisis STFT dilakukan dengan cara memindahkan *time windowing* sepanjang pengukuran dan mendapatkan *fourier spectrum* sebagai fungsi dari pergeseran waktu (*time shift*). Namun STFT mempunyai masalah dengan resolusi karena adanya ketidakpastian dalam suatu *time window*. Rumus dari STFT ditunjukkan di bawah ini [4] :

$$S(f, t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)w(t - \tau)e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (1)$$

Dimana $w(t)$ merupakan *windowing* yang berjalan sepanjang waktu pengukuran. *Window* dapat berupa *finite length* seperti *Hanning window* atau *infinite length* seperti *Gaussian window*.

Amplitudo atau spektra daya diperlihatkan dalam *decibel* (dB) untuk memudahkan melihat sinyal kecil dibandingkan yang besar [4].

$$x(t) = 10 \log \frac{P}{Pr} \quad (2)$$

dimana P adalah daya terukur dan Pr adalah referensi daya. Konvensi yang digunakan sebagai referensi adalah 1 V_{rms} untuk 0 dB. Plot dari besarnya nilai STFT disebut sebagai *spectrogram*.

Autokorelasi

Autokorelasi didefinisikan korelasi yang terjadi antar observasi satu atau lebih variable. Autokorelasi merupakan korelasi dari sebuah data *time series* untuk selang waktu (*lag*) yang berlainan. Dalam pendeteksian pola dan gambar, autokorelasi digunakan untuk melihat ada atau tidaknya *periodicity* dari sinyal getaran [5].

Metodologi Penelitian

Metode penelitian disusun sebagai pedoman dalam melaksanakan penelitian sehingga tujuan penelitian dapat tercapai. Gambar 1 menunjukkan diagram alir proses penelitian yang dilakukan dalam rangka deteksi kerusakan kompresor torak berdasarkan ekstraksi sinyal getaran.

Ekstraksi fitur sinyal getaran dilakukan pada kompresor torak pada kondisi normal dan kondisi abnormal (*faults*) baik dari sinyal domain waktu dan frekuensi. Metode STFT dilakukan pada sinyal getaran dari kompresor dengan beberapa kondisi tersebut di atas. Selanjutnya, dilakukan analisis perbedaan spektrogram dari masing-masing kondisi kompresor. Setelah itu, analisis autokorelasi 2d dilakukan dengan memperhatikan perbedaan pola-pola yang terjadi. Perbedaan signifikan masing-

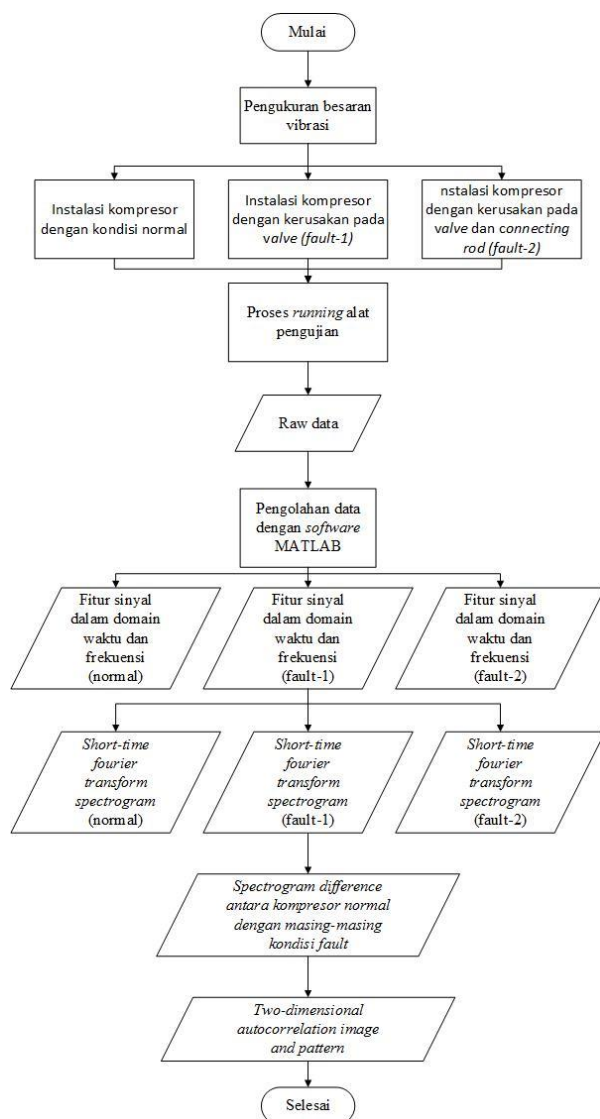
masing pola menunjukkan keberhasilan deteksi kerusakan yang dilakukan.

Eksperimen

Seperangkat alat *machine fault simulator* (MFS) digunakan untuk eksperimen deteksi kerusakan kompresor torak. Spesifikasi kompresor yang digunakan pada eksperimen ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi kompresor torak

Model	MSI 5.2 ML Schulz of America, Inc.
Tekanan Maksimal	120 psig
Daya	1 HP



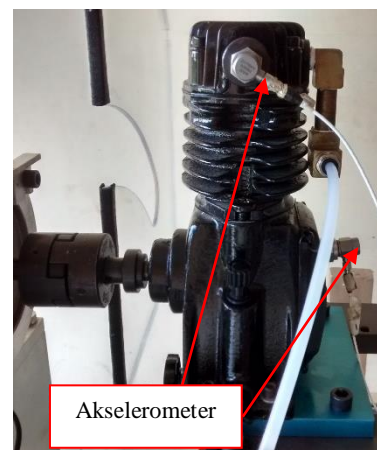
Gambar 1. Diagram alir penelitian

Kompresor tersebut digerakkan oleh motor listrik dengan daya 1 HP melalui sebuah kopling tetap seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Udara bertekanan sebagai hasil kompresi ditampung dalam tabung.



Gambar 2. Setup kompresor torak pada MFS

Data akuisisi getaran dilakukan dengan memasang dua buah sensor akselerometer pada silinder torak dan poros engkol dengan posisi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Proses data akuisis getaran dilakukan dengan SpectraPad 8 channel i/o melalui software VibraQuest dengan *setting* frekuensi limit 3600 Hz dan *sampling rate* 9.216 selama 2,2 detik. Jumlah data sinyal getaran adalah sebesar 20480 baris.



Gambar 3. Lokasi sensor akselerometer

Simulasi kondisi kompresor dengan kerusakan katup dilakukan menutup katup dengan baut pemberat sehingga menghalangi bukaan penuh katup tersebut. Pengondisian katup ditunjukkan pada Gambar 4.

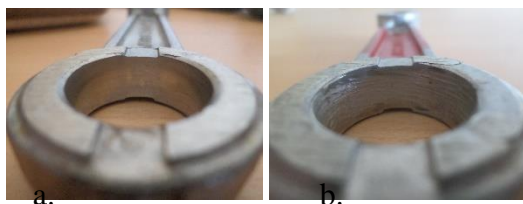


Gambar 4. Katup kompresor torak. (a) normal (b) kondisi rusak

Untuk kondisi kerusakan pada *connecting rod*, poros yang menghubungkan *connecting rod* dengan piston mengalami aus sehingga menghasilkan *clearance*. Sementara pada sisi *crank pin bore* permukaannya dibuat kasar. Kondisi kerusakan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



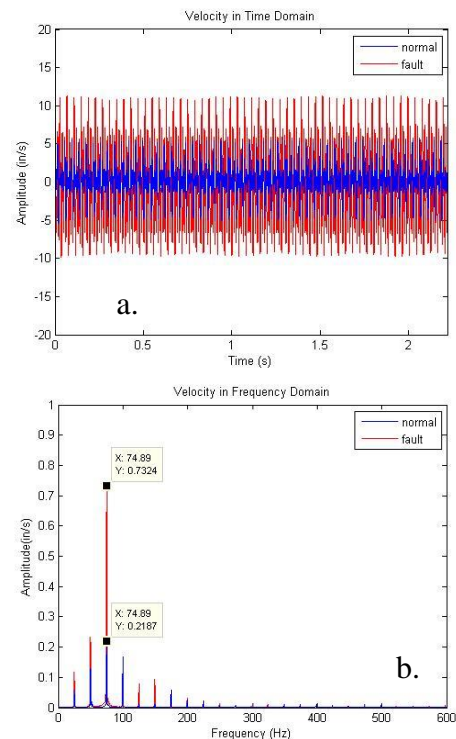
Gambar 5. Wrist pin: a. normal; b. Aus



Gambar 5. Crankpin bore: a. normal; b. aus

Hasil dan Analisis

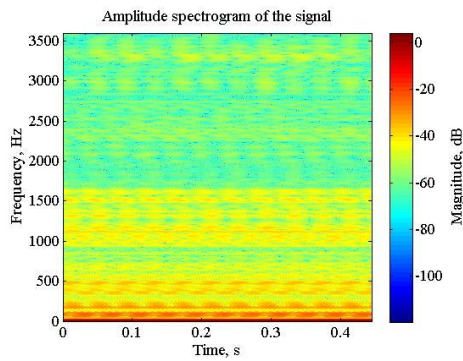
Hasil pengukuran getaran kompresor torak diolah menggunakan *software* MATLAB. Gambar 7 menunjukkan perbedaan sinyal getaran antara kompresor normal dengan kompresor rusak pada domain waktu dan frekuensi.



Gambar 7. Sinyal getaran kompresor: a. domain waktu; b. domain frekuensi

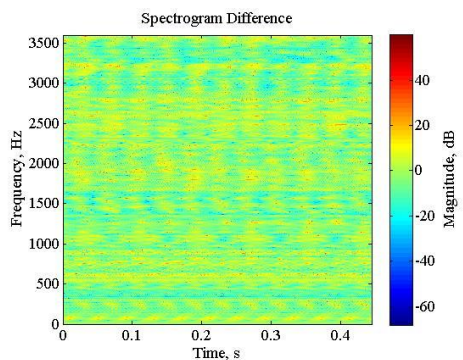
Sinyal getaran pada Gambar 7 diambil pada kecepatan putar 1500 rpm dengan pembebanan 100%. Pada gambar tersebut terlihat bahwa terjadi perbedaan amplitudo getaran secara signifikan antara kondisi normal dan *fault*. Kerusakan terjadi pada kompresor dibuktikan dengan munculnya frekuensi harmonik 3X dengan peningkatan amplitudo yang relatif tinggi yaitu dari 0,21 in/det menjadi 0.73 in/det.

Pada analisis spektrogram, digunakan spektrogram pada kondisi normal sebagai referensi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8. Spektrogram ini menjadi dasar untuk pendeteksian kerusakan pada kompresor torak.

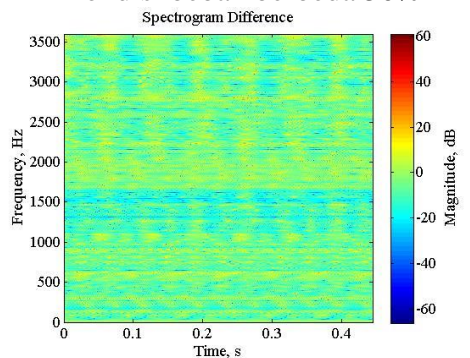


Gambar 8. Spektrogram kondisi normal, 1500 rpm, *full load*

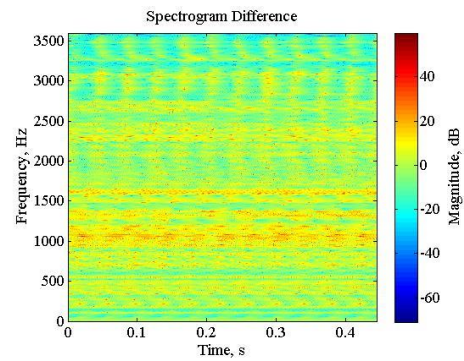
Selanjutnya spektrogram dari berbagai kondisi rusak, akan dibandingkan dengan spektrogram acuan dengan variasi pembebanan dan kecepatan putar (rpm). Terdapat selisih nilai antara spektrogram kondisi rusak dengan spektrogram acuan yang disebut dengan matrik beda spektrogram [6]. Matrik beda spektrogram ini disajikan pada Gambar 9 sampai dengan 12.



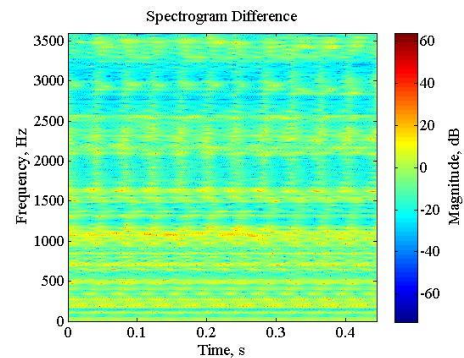
Gambar 9. Matrik beda spektrogram kondisi beban berbeda 50%



Gambar 10. Matrik beda spektrogram kondisi putaran operasi 1500 dan 900 rpm



Gambar 11. Matrik beda spektrogram dengan kondisi katup rusak

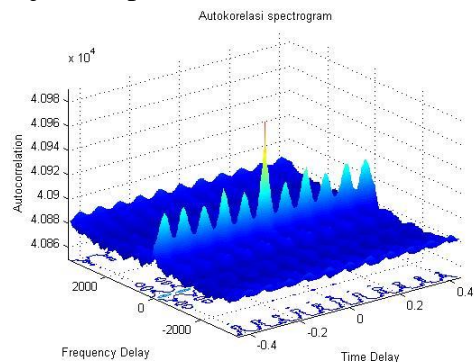


Gambar 12. Matrik beda spektrogram dengan kondisi *connecting rod* rusak

Analisa Autokorelasi

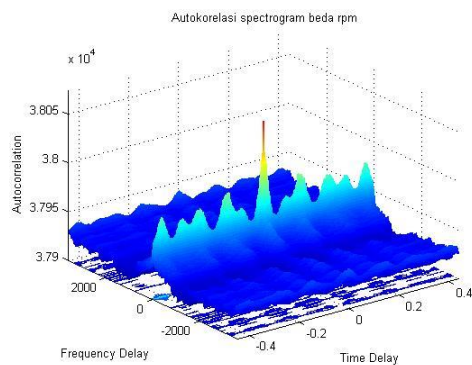
Perbedaan spektrogram yang telah didapat antara acuan dan spektrogram berbagai kondisi dianalisis dengan fungsi autokorelasi. Fungsi autokorelasi akan memberikan informasi tentang hubungan korelasi suatu sinyal dengan dirinya sendiri pada *delay* waktu-frekuensi.

Grafik autokorelasi sinyal getaran dari matrik beda spektrogram pada Gambar 9 ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik autokorelasi sinyal
getaran dari Gambar 9

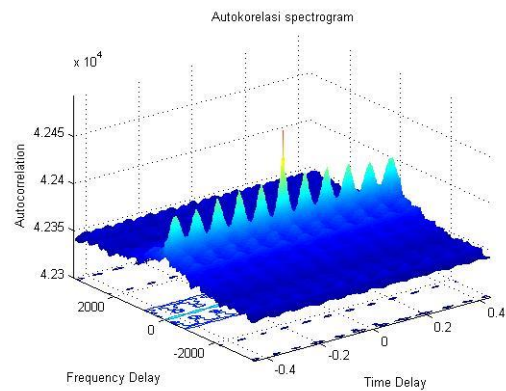
Sinyal getaran dengan variasi pembebanan berbeda 50% memiliki autokorelasi yang relatif tinggi pada pusat sumbu waktu-frekuensi. Terdapat 11 titik puncak autokorelasi yang besarnya relatif seragam kecuali pada pusat sumbu waktu-frekuensi.



Gambar 14. Grafik autokorelasi sinyal
getaran dari gambar 10

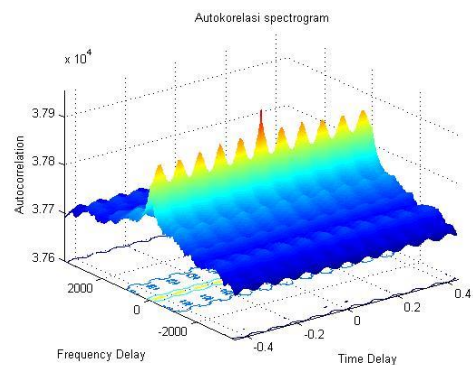
Gambar 14 menunjukkan autokorelasi sinyal getaran pada kecepatan 1500 rpm dan 900 rpm. Terdapat nilai puncak-puncak autokorelasi yang cukup tinggi tetapi cenderung tidak seragam. Besarnya harga autokorelasi lebih kecil dibandingkan dengan kondisi autokorelasi beda pembebanan pada Gambar 13.

Autokorelasi sinyal getaran acuan dan kondisi katup rusak ditampilkan pada Gambar 15. Autokorelasi menunjukkan nilai yang tertinggi dibandingkan dengan dua kondisi sebelumnya. Terdapat puncak-puncak yang relatif seragam pada seluruh sumbu waktu yang dianalisis.



Gambar 15. Grafik autokorelasi sinyal
getaran dari Gambar 11

Grafik autokorelasi kondisi kerusakan ganda (katup dan connecting rod) dengan sinyal acuan ditunjukkan pada Gambar 16. Jenis kerusakan ganda (relatif lebih parah) memberikan pola autokorelasi yang lebih menonjol berbentuk gunung yang lebih curam dari kondisi sebelumnya. Namun demikian, distribusi nilai-nilai puncak sepanjang sumbu waktu cukup tinggi dan relatif seragam.



Gambar 17. Grafik autokorelasi sinyal
getaran dari Gambar 12

Kesimpulan

Kondisi kerusakan pada kompresor torak secara umum menyebabkan kenaikan amplitudo getaran yang terlihat dari presentasi sinyal domain waktu maupun domain frekuensi.

Pada domain frekuensi, sinyal getaran pada kompresor yang rusak akan tinggi pada frekuensi harmonik 3X, yang

merupakan karakteristik kerusakan pada kompresor torak.

Grafik autokorelasi dari beberapa variasi pengukuran menghasilkan karakter yang berbeda. Variasi pembebanan menghasilkan distribusi nilai puncak yang relatif seragam sedangkan variasi kecepatan menghasilkan variasi nilai-nilai puncak yang cenderung tidak seragam namun dengan pola teratur. Autokorelasi dengan kerusakan ganda (relatif parah) menghasilkan pola autokorelasi berbentuk gunung yang lebih curam daripada kondisi-kondisi sebelumnya. Namun demikian, distribusi nilai-nilai puncaknya relatif seragam.

Referensi

- [1] T.L. Henshaw, Fans Pumps and Compressors, in: A.A. Eugene, Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers, McGraw Hill, New York, 1996.
- [2] S. Foreman, Compressor Valves and Unloaders for Reciprocating Compressors -An OEM's Perspective. Dresser-Rand, New York, 2002.
- [3] K. Brun, Valve Performance And Life Of Reciprocating Compressors, Proceedings of the Forty-First Turbomachinery Symposium, Texas, 2012.
- [4] S.W. Smith, The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, second ed., California, 1999.
- [5] J.P. Lewis, Fast template matching, In: Vision Interface, vol. 95, Canadian Image Processing and Pattern Recognition Society (1995) 120–123
- [6] K. Pichler, et al., Fault Detection In Reciprocating Compressor Valves Under Varying Load Conditions, Mechanical Systems and Signal Processing 70-71 (2015) 104-119.