

Karakteristik Getaran dan Tekanan Ruang Silinder Akibat Variasi Putaran Kompresor pada Lima Model Profil Dudukan Katup Tekan Sebuah Kompresor Torak

Muhamad Abdurrochman, Bambang Daryanto Wonoyudo
Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: bambang@me.its.ac.id

Abstrak—Kompresor torak memainkan peranan utama di dalam proses industri sehingga ketersediaan dan keandalannya menjadi sangat penting. Pada kenyataannya, kegagalan katup kompresor menjadi penyebab utama *shutdown* tak terjadwal pada kompresor torak. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi dudukan katup tekan dengan memberikan ketirusan pada lubang dudukan katup tekan. Evaluasi dilakukan terhadap karakteristik getaran pada *cylinder head* dan tekanan ruang silinder kompresor torak *single stage, single acting*. *Tachometer optik* digunakan untuk *mentrigger vibration transducer* agar pengukuran getaran dan tekanan dilakukan pada *crank angle* yang sama. Pada penelitian ini digunakan variasi putaran kompresor dan profil dudukan katup tekan dengan 3 jenis kondisi tekanan kerja kompresor. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah adanya perbaikan level getaran sebagai akibat adanya modifikasi dudukan katup tekan, rentang waktu pembukaan katup tekan menjadi lebih lama dibandingkan katup tekan normal sehingga jumlah udara yang di salurkan lebih banyak. Dari keempat katup tekan modifikasi, diketahui bahwa level getaran paling rendah dihasilkan oleh katup tekan dengan sudut tirus 30° . Dari sisi P- Θ diagram, katup tekan dengan sudut tirus 30° mengalami rentang waktu pembukaan katup tekan paling lama dibandingkan dengan katup tekan modifikasi yang lain. Selain itu, peningkatan putaran pada kompresor menyebabkan level getaran meningkat serta sedikit pergeseran getaran berlebih ke kanan, pada 540 rpm sampai dengan 600 rpm. Pada P- Θ diagram, terlihat bahwa peningkatan putaran kompresor menyebabkan kenaikan titik puncak yang menunjukkan kenaikan tekanan ruang silinder.

Kata Kunci—Kompresor torak, katup tekan, getaran, tekanan.

I. PENDAHULUAN

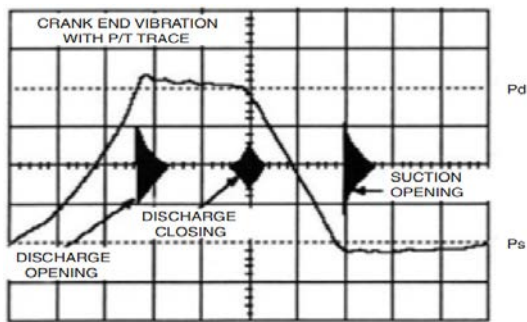
Kompresor torak memainkan peranan utama di dalam proses industri terutama industri kimia, petrokimia, dan gas. Hal ini menyebabkan kompresor torak menjadi sangat penting dalam proses industri. Oleh karena itu *condition monitoring* untuk menjaga keandalan kompresor torak menjadi kegiatan yang harus dilakukan oleh pengguna. Salah satu cara yang digunakan dalam kegiatan *condition monitoring* adalah analisis getaran. Dari survey yang telah dilakukan Dresser-Rand; sebuah perusahaan kompresor; tentang penyebab

shutdown tak terjadwal pada kompresor torak, ternyata ditemukan bahwa 36% *shutdown* tak terjadwal disebabkan oleh katup kompresor^[1].

Penelitian yang penulis lakukan merupakan studi eksperimental tentang pengaruh variasi putaran kompresor dan perubahan profil dudukan katup tekan terhadap karakteristik getaran dan tekanan ruang silinder pada sebuah kompresor torak (*single stage, single acting*). Pada penelitian ini, penulis melakukan modifikasi terhadap profil dudukan katup tekan. Perubahan profil dudukan katup tekan akan memberikan karakteristik getaran dan tekanan ruang silinder yang berbeda. Masing-masing diinvestigasi pada putaran kompresor yang berbeda.

Karakteristik getaran digunakan untuk mengevaluasi proses buka tutup katup sebagai konsekuensi dari perubahan profil dudukan katup tekan, sedangkan tekanan ruang silinder digunakan untuk mengetahui performansi dari kompresor torak tersebut. Karakteristik getaran dan tekanan dari putaran kompresor dan dudukan katup tekan normal digunakan sebagai pembanding. Dalam hal ini yang dimaksud dengan katup tekan normal adalah katup tekan yang tidak dimodifikasi dan *disupply* oleh *vendor*.

Berbagai kajian mengenai kompresor torak telah banyak dilakukan. Woollatt^[2] menjelaskan tentang pentingnya desain dan pemilihan material untuk katup yang secara khusus merupakan faktor pengontrol untuk menentukan penjadwalan *downtime* perawatan kompresor. Sebuah *paper* yang membahas tentang pentingnya *condition monitoring* pada kompresor torak menggunakan pendekatan berbasis resiko sebagai dasar untuk menentukan kekritisan suatu mesin sehingga dapat dipilih apakah kegiatan *condition monitoring* harus dilakukan secara *online, periodic* atau gabungan keduanya dikemukakan oleh Schultheis, S. M., dkk^[3]. Elhaj, M., dkk^[4] melakukan perbandingan dan evaluasi secara eksperimental terhadap dua metode *condition monitoring* yaitu *crankshaft instantaneous angular speed (IAS)* dan tekanan silinder dinamis untuk mendeteksi dan mendiagnosis kerusakan *valve* pada kompresor torak dua tingkat. Dalam tugas akhirnya, David Siregar^[5] meneliti tentang pengaruh perubahan profil *valve seat* pada sisi *discharge* terhadap profil



Gambar 1. Pola getaran dan tekanan ruang silinder pada sebuah kompresor torak.^[6]

getaran dan tekanan ruang silinder kompresor torak *single stage, single acting* dengan memberikan sudut ketirusan pada lubang *valve seat* sisi tekan bervariasi dari mulai 10° , 20° , 30° , dan 40° dimana kedalaman ketirusan $\frac{1}{4} t$, $\frac{1}{2} t$, dan $\frac{3}{4} t$ dengan t merupakan tebal *valve seat* sisi tekan.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Pola Getaran dan Tekanan Ruang Silinder Pada Kompresor Torak

Pada dasarnya, getaran yang terjadi pada kompresor torak disebabkan oleh proses buka tutup katup pada ruang silinder. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini dimana terjadi perubahan pola getaran yang ditandai dengan adanya getaran berlebih ketika proses buka tutup katup. Getaran yang terjadi utamanya disebabkan oleh *impact* pada saat proses buka tutup katup.

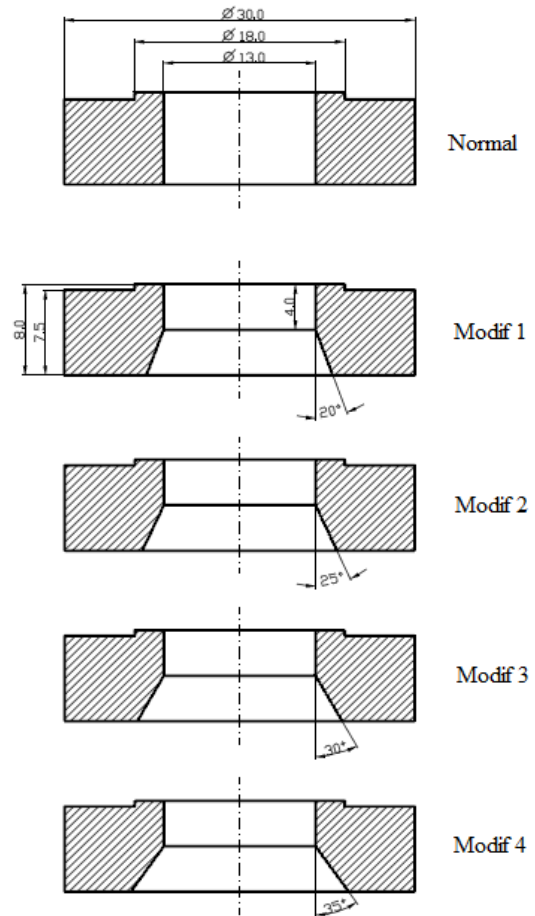
Selain kondisi getaran, diperlihatkan kondisi tekanan ruang silinder dalam P- θ diagram (lihat gambar 4). Dapat dilihat dari P- θ diagram bahwa kondisi tekanan ruang silinder naik saat langkah kompresi hingga melebihi tekanan discharge (Pd) yang menyebabkan katup tekan terbuka. Selanjutnya udara bertekanan dalam ruang silinder keluar menuju tangki penyimpanan pada langkah buang hingga katup tekan tertutup kembali. Udara sisa dalam ruang silinder kemudian berekspansi hingga tekanan ruang silinder turun dibawah tekanan suction (Ps) yang menyebabkan katup hisap terbuka. Udara atmosfer di luar ruang silinder kemudian mengalir masuk ke dalam ruang silinder pada langkah hisap hingga katup hisap tertutup kembali.

B. Profil Dudukan Katup Tekan

Dalam studi ini, digunakan lima model profil dudukan katup tekan. Kelima model tersebut meliputi katup tekan normal dan katup tekan modifikasi dengan pemberian sudut ketirusan pada lubang dudukan katup tekan sebesar 20° , 25° , 30° , dan 35° . Kedalaman sudut ketirusan adalah setengah dari kedalaman dudukan katup tekan. Adapun katup tekan normal adalah katup tekan yang tidak dimodifikasi dan *disupply* oleh *vendor*. Kelima model profil dudukan katup tekan dapat dilihat pada Gambar 2.

C. Pengambilan Data

Data yang didapatkan dalam studi ini berasal dari



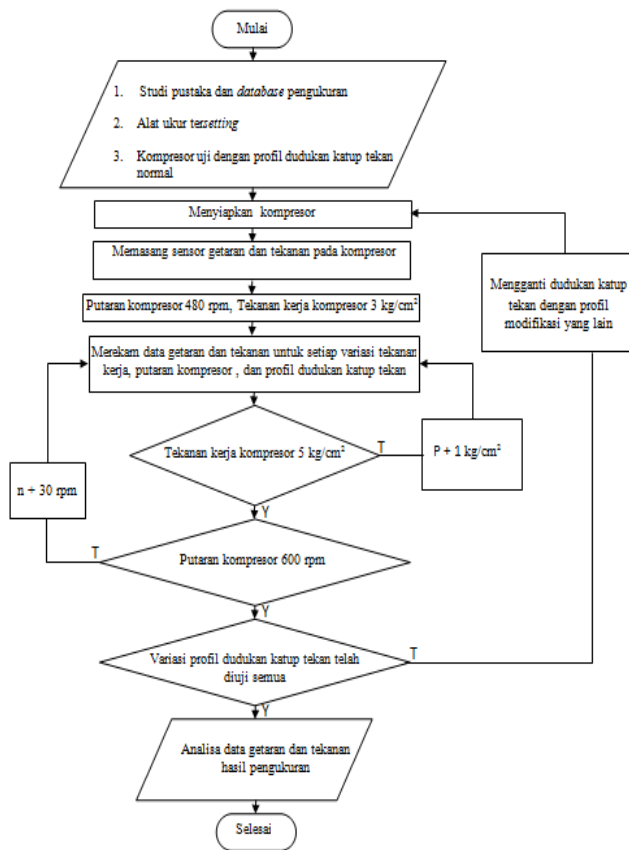
Gambar 2. Profil dudukan katup tekan normal dan modifikasi, Modif 1 (20°), Modif 2 (25°), Modif 3 (30°), dan Modif 4 (35°)

kompresor torak yang berada di Laboratorium Mekanika Fluida Jurusan Teknik Mesin FTI ITS dengan spesifikasi:

- tipe : PUMA, PU-32, *single stage, single acting*
- putaran : 540 rpm
- tekanan kerja: 7 kg/cm^2
- penggerak : motor listrik
- transmisi : *belt*.
- Motor listrik penggerak
- tipe : C 90 L-4, *3 phase induction motor*
- putaran : 1430 rpm
- frekuensi : 50 Hz
- daya : 2 HP

Variabel yang diukur meliputi akselerasi getaran pada *cylinder head* dan tekanan ruang silinder, sehingga digunakan *vibration* dan *pressure transducer*. Kedua *transducer* dipasang pada *cylinder head* untuk pengambilan data secara bersamaan. *Tachometer* optik digunakan untuk *mentrigger transducer* agar pengambilan data getaran dan tekanan dapat dilakukan pada *crank angle* yang sama. Data hasil pengukuran dicatat dalam sebuah *data logger*, yang kemudian diunggah ke komputer, sehingga dapat dianalisa.

Pengukuran getaran dan tekanan ruang silinder dilakukan pada lima model profil dudukan katup tekan. Profil ini akan diuji dengan variasi putaran kompresor dan 3 jenis tekanan



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian kerja kompresor. Variasi putaran kompresor diatur dengan mengubah frekuensi *inverter* Siemens Micromaster 440 yang dipasang pada motor listrik penggerak, sedangkan tekanan kerja akan diatur dengan *pressure regulator*.

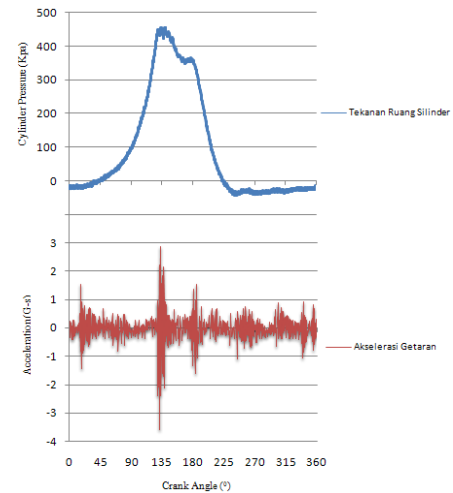
Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

III. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

A. Katup Tekan Normal

Gambar 4 di bawah ini menunjukkan *waveform* getaran dan P- Θ diagram dari katup tekan normal dalam kaitannya dengan proses buka-tutup katup kompresor. Sebagai contoh ditampilkan grafik akselerasi getaran dan P- Θ diagram untuk kondisi katup tekan normal pada tekanan kerja kompresor 4 kg/cm² dengan putaran 540 rpm.

Dari P- Θ diagram di atas, dapat diketahui kondisi tekanan dalam ruang silinder yang mencerminkan langkah dalam satu siklus kompresor. Diagram tersebut diawali oleh langkah kompresi yang ditandai dengan garis kurva yang naik hingga berakhir pada titik tertinggi. Pada kondisi titik tertinggi, tekanan ruang silinder telah melebihi tekanan *discharge line* sehingga katup tekan terbuka karena perbedaan tekanan ini. Keadaan ini terjadi sesaat sebelum titik mati atas. Terbukanya katup tekan menjadi awal dari langkah buang. Pada langkah buang, udara bertekanan dari ruang silinder mengalir kedalam tangki penyimpanan hingga katup tekan tertutup sesaat setelah titik mati atas. Tertutupnya katup tekan menjadi tanda



Gambar 4. *Waveform* getaran dan P- Θ diagram katup tekan normal pada tekanan kerja kompresor 4 kg/cm² putaran 540 rpm

dimulainya langkah ekspansi. Langkah ekspansi dapat dilihat pada P- Θ diagram dari garis kurva yang turun hingga titik terendah. Pada titik ini, tekanan ruang silinder lebih rendah dari tekanan pada *suction line* sehingga katup hisap terbuka karena perbedaan tekanan ini. Terbukanya katup hisap menjadi awal dimulainya langkah hisap. Pada langkah hisap, udara dari atmosfer masuk kedalam ruang silinder hingga berakhir pada saat katup hisap tertutup dan kembali dimulai langkah kompresi.

Dari grafik *time waveform* di atas, terlihat adanya getaran berlebih yang diakibatkan proses buka-tutup katup kompresor. Dalam proses buka-tutup katup kompresor terjadi benturan antara dudukan katup, *moving part*, dan juga *stop plate*. Benturan ini kemudian menimbulkan *impact* yang dapat dilihat sebagai getaran berlebih pada grafik *time waveform*.

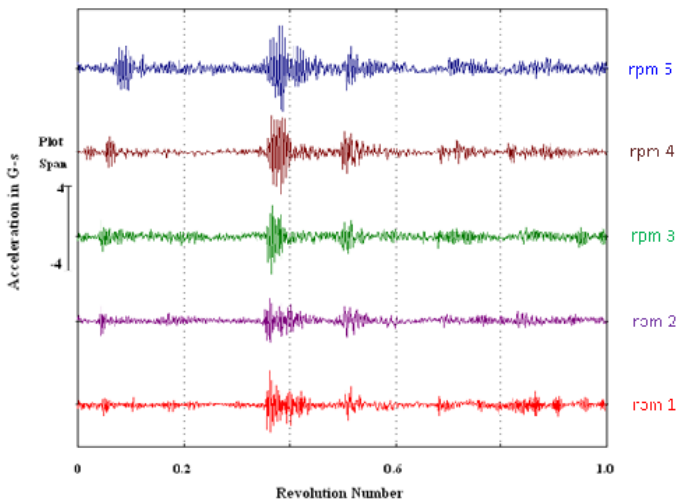
Getaran berlebih tersebut meliputi:

1. Proses tertutupnya katup hisap dimana terjadi *impact* antara *moving part* dengan *stop plate* pada katup hisap.
2. Proses terbukanya katup tekan dimana terjadi *impact* antara *moving part* dengan *stop plate* pada katup tekan.
3. Proses tertutupnya katup tekan dimana terjadi *impact* antara *moving part* dengan dudukan katup pada katup tekan.
4. Proses terbukanya katup hisap dimana terjadi *impact* antara *moving part* dengan dudukan katup pada katup hisap.

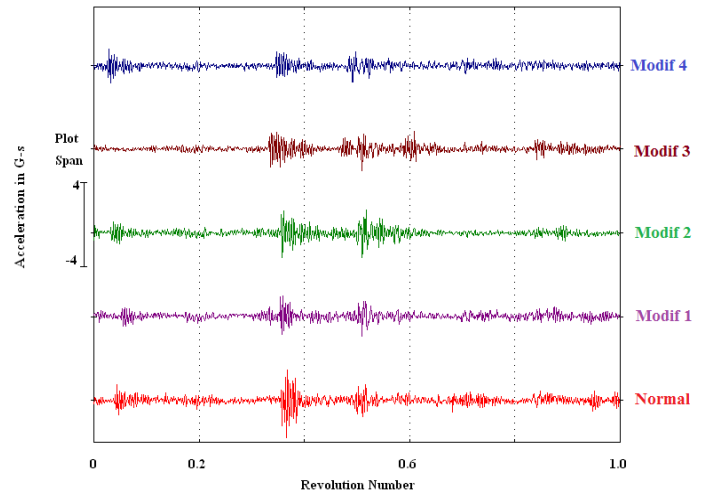
Pada grafik *time waveform* terlihat bahwa level getaran dari proses buka tutup katup tekan lebih tinggi dibandingkan dengan level getaran pada proses buka tutup katup hisap. Hal ini disebabkan proses buka tutup katup tekan terjadi pada kondisi tekanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses buka tutup katup hisap sehingga *impact* yang terjadi juga lebih besar.

Berikut ditampilkan grafik *time waveform* getaran untuk dudukan katup tekan normal sebagai contoh pada tekanan kerja kompresor 4 kg/cm² dengan lima jenis putaran kompresor.

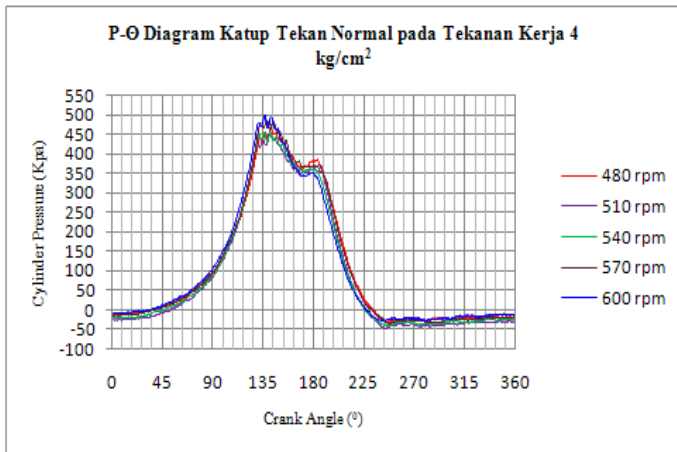
Gambar 5 di bawah ini menampilkan akselerasi getaran dalam rms yang terukur pada kepala silinder. Dari *waveform* tersebut, diketahui adanya kecenderungan peningkatan level



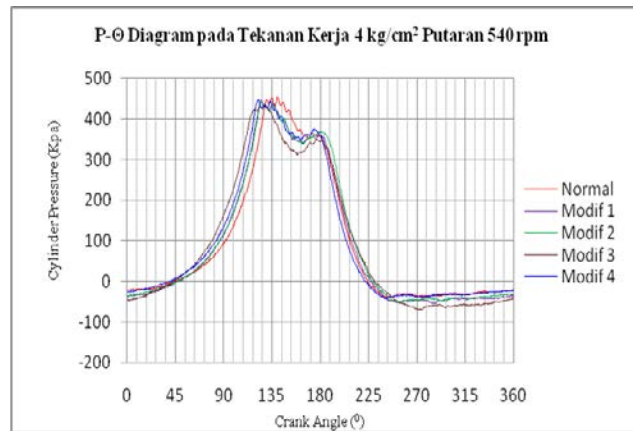
Gambar 5. Waveform getaran katup tekan normal pada tekanan kerja kompresor 4 kg/cm² dengan lima jenis putaran kompresor



Gambar 7. Waveform getaran katup tekan normal dan modifikasi pada putaran 540 rpm dengan tekanan kerja kompresor 4 kg/cm²



Gambar 6. P-Θ diagram katup tekan normal pada tekanan kerja kompresor 4 kg/cm² dengan lima jenis putaran kompresor



Gambar 8. P-Θ diagram katup tekan normal dan modifikasi pada putaran 540 rpm dengan tekanan kerja kompresor 4 kg/cm²

getaran akibat peningkatan putaran kompresor. Hal ini disebabkan makin besarnya frekuensi yang ditimbulkan pada proses buka tutup katup tekan sehingga *impact* yang terjadi akan semakin besar. Terlihat dari waveform di atas bahwa peningkatan putaran kompresor menyebabkan getaran berlebih sedikit bergeser ke kanan terutama pada rpm 3 sampai dengan rpm 5.

Gambar 6 di bawah ini menampilkan P-Θ diagram untuk kedudukan katup tekan normal, sebagai contoh untuk tekanan kerja kompresor 4 kg/cm² dengan lima jenis putaran kompresor.

Dari P-Θ diagram tersebut, dapat dilihat adanya kecenderungan kenaikan titik puncak akibat adanya peningkatan putaran kompresor. Hal ini menunjukkan adanya kenaikan tekanan ruang silinder. Dari P-Θ diagram, terlihat bahwa tidak terjadi pergeseran titik puncak yang signifikan baik ke kiri maupun ke kanan dengan adanya peningkatan putaran kompresor. Hal ini menunjukkan pada putaran yang berbeda, katup tekan terbuka pada sudut poros engkol yang hampir sama.

B. Katup Tekan Modifikasi

Gambar 7 dan Gambar 8 di bawah ini menampilkan *time waveform* getaran dan P-Θ diagram untuk katup tekan normal dan modifikasi, dimana sebagai contoh diambil pada putaran 540 rpm dengan tekanan kerja kompresor 4 kg/cm².

1) Perbandingan Katup Tekan Modifikasi dengan Katup Tekan Normal

Dari grafik *waveform* getaran pada Gambar 7 di atas, dapat dilihat adanya perbaikan pola getaran katup tekan modifikasi dibandingkan dengan katup tekan normal sebagai akibat diberikannya sudut ketirusan pada kedudukan katup tekan. Hal tersebut kemungkinan disebabkan adanya *smoothing* aliran yang melewati katup tekan akibat pemberian ketirusan pada kedudukan katup. Dengan adanya ketirusan akan mengurangi terbentuknya olakan aliran fluida yang sebelumnya terjadi karena penampang katup tekan normal yang tajam. Olakan ini dapat mengganggu aliran fluida.

Dilihat dari getaran berlebih yang menandakan waktu pembukaan katup tekan, terlihat jelas dari *waveform* getaran yang bergeser ke kiri yang menunjukkan pembukaan katup tekan berlangsung lebih awal akibat adanya pemberian ketirusan pada kedudukan katup tekan. Adapun waktu penutupan

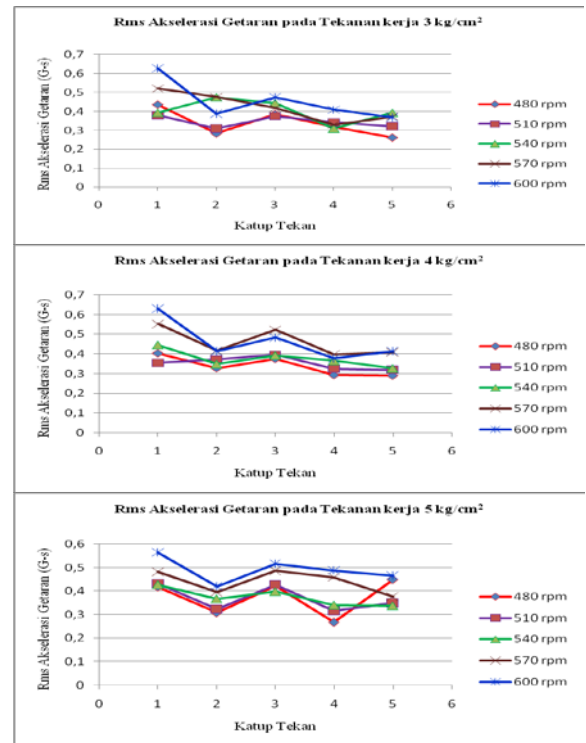
katup tekan relatif konstan yang menunjukkan penutupan katup tekan berlangsung pada waktu yang sama. Hal ini mengindikasikan bahwa rentang waktu pembukaan katup tekan lebih lama yang berarti jumlah udara yang disalurkan ke tangki penyimpanan lebih banyak dengan adanya pemberian sudut ketirusan pada kedudukan katup tekan.

Dari P- Θ diagram pada Gambar 8 di atas, dapat dilihat dengan jelas adanya pergeseran garis kompresi dan titik puncak ke kiri yang menunjukkan waktu pembukaan katup tekan yang lebih awal dibandingkan dengan katup tekan normal. Dibandingkan dengan katup tekan normal, titik puncak pada katup tekan modifikasi terlihat lebih rendah. Fenomena ini terjadi kemungkinan karena adanya pemberian sudut tirus pada kedudukan katup tekan yang memaksa fluida menempuh jarak yang lebih jauh dibandingkan dengan kedudukan katup tekan normal. Hal ini memaksa fluida mengalir lebih cepat sehingga menurut Hukum Bernoulli, tekanannya akan turun. Adapun waktu penutupan katup tekan relatif konstan yang ditunjukkan dengan titik puncak kedua yang relatif sama meskipun ada indikasi terjadi sedikit pergeseran titik puncak ke kanan. Garis ekspansi antara katup tekan modifikasi dengan katup tekan normal terlihat berhimpit, meskipun menunjukkan karakteristik yang berbeda antara satu garis dengan garis yang lain. Sedangkan waktu pembukaan dan penutupan katup hisap relatif konstan, meskipun ada indikasi waktu pembukaan katup hisap sedikit bergeser ke kanan. Garis vakum mengalami penurunan (lebih rendah) pada katup tekan modifikasi dibandingkan dengan katup tekan normal.

2) *Perbandingan Empat Jenis Katup Tekan Modifikasi*

Dari keempat modifikasi yang dilakukan, dapat dilihat pada grafik *waveform* getaran dimana terjadi pembukaan katup tekan yang ditandai dengan adanya getaran berlebih paling awal terjadi pada katup tekan modifikasi 3 atau katup tekan dengan sudut tirus 30⁰ kemudian disusul katup tekan modifikasi 4 atau katup tekan dengan sudut tirus 35⁰. Adapun untuk katup tekan modifikasi 2 atau katup tekan dengan sudut tirus 25⁰ hampir sama dalam hal waktu pembukaan katup tekan dengan katup tekan modifikasi 1 atau katup tekan dengan sudut tirus 20⁰. Sedangkan untuk waktu penutupan katup tekan yang ditandai dengan getaran berlebih berikutnya relatif konstan atau terjadi dalam waktu yang bersamaan. Hal ini menunjukkan katup tekan modifikasi 3 memiliki rentang waktu pembukaan katup tekan yang lebih lama dibandingkan dengan katup tekan modifikasi yang lain. Hal ini juga selaras dengan besarnya akselerasi getaran dalam rms yang menunjukkan katup tekan modifikasi 3 memiliki nilai rms yang paling kecil dibandingkan dengan katup tekan modifikasi yang lain. Gambar 9 menunjukkan nilai rms dari akselerasi getaran untuk katup tekan normal dan modifikasi.

Apabila kita perhatikan P- Θ diagram secara keseluruhan, pada umumnya menunjukkan fenomena yang sama dimana titik puncak pertama yang menunjukkan waktu pembukaan katup tekan terjadi lebih awal pada katup tekan modifikasi 3 atau katup tekan dengan sudut tirus 30⁰ kemudian katup tekan modifikasi 4 atau katup tekan dengan sudut tirus 35⁰. Katup tekan modifikasi 2 atau katup tekan dengan sudut tirus 25⁰



Gambar 9. Nilai rms akselerasi getaran untuk katup tekan normal dan modifikasi

memiliki titik puncak yang berhimpit dengan katup tekan modifikasi 1 atau katup tekan dengan sudut 20⁰. Titik puncak dari keempat katup tekan modifikasi menunjukkan titik puncak tertinggi yaitu katup tekan modifikasi 4 atau katup tekan dengan sudut tirus 35⁰ yang memiliki ketinggian sama dengan katup tekan modifikasi 2 atau katup tekan dengan sudut tirus 25⁰ dan katup tekan modifikasi 1 atau katup tekan dengan sudut tirus 20⁰, baru kemudian titik puncak terendah yaitu katup tekan modifikasi 3 atau katup tekan dengan sudut tirus 30⁰.

Adapun titik puncak kedua pada P- Θ diagram yang menunjukkan waktu penutupan katup tekan relatif terjadi dalam waktu yang bersamaan. Hal ini mengindikasikan bahwa rentang waktu pembukaan katup tekan yang paling lama adalah katup tekan modifikasi 3 atau katup tekan dengan sudut tirus 30⁰ kemudian disusul katup tekan modifikasi 4 atau katup tekan dengan sudut tirus 35⁰. Kemudian rentang waktu yang bersamaan yaitu katup tekan modifikasi 2 atau katup tekan dengan sudut tirus 25⁰ dan katup tekan modifikasi 1 atau katup tekan dengan sudut tirus 20⁰. Waktu pembukaan dan penutupan katup hisap relatif konstan. Garis vakum menunjukkan adanya perbedaan ketinggian dimana garis vakum terendah ditunjukkan oleh katup tekan modifikasi 3 atau katup tekan dengan sudut tirus 30⁰ kemudian katup tekan modifikasi 2 atau katup tekan dengan sudut tirus 25⁰ dan katup tekan modifikasi 1 atau katup tekan dengan sudut tirus 20⁰ yang berhimpit dan yang tertinggi adalah garis vakum katup tekan modifikasi 4 atau katup tekan dengan sudut tirus 35⁰.

IV. KESIMPULAN

Dari pembahasan yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Modifikasi katup tekan berupa pemberian sudut ketirusan pada dudukan katup tekan menyebabkan level getaran semakin baik dibandingkan dengan katup tekan normal yang diperkuat dengan nilai rms akselerasi getaran.
2. Dari sisi P- Θ diagram, modifikasi katup tekan menyebabkan titik puncak bergeser ke kiri yang menunjukkan pembukaan katup tekan terjadi lebih awal dibandingkan dengan katup tekan normal, sedangkan penutupan katup tekan relatif konstan. Pembukaan dan penutupan katup hisap relatif konstan meskipun ada indikasi waktu pembukaan katup hisap sedikit bergeser ke kanan.
3. Modifikasi katup tekan berupa pemberian sudut ketirusan pada dudukan katup tekan menyebabkan rentang waktu pembukaan katup tekan menjadi lebih lama yang berarti jumlah udara terkompresi yang dikirim ke tangki penyimpanan lebih banyak.
4. Dari keempat katup tekan modifikasi yang dilakukan, diketahui bahwa level getaran paling kecil dihasilkan oleh katup tekan modifikasi 3 atau katup tekan dengan sudut ketirusan 30⁰.
5. Dari sisi P- Θ diagram, katup tekan modifikasi 3 atau katup tekan dengan sudut ketirusan 30⁰ menunjukkan titik puncak yang paling awal terbuka dengan titik puncak kedua yang relatif konstan dari keempat katup tekan modifikasi.
6. Peningkatan putaran pada kompresor menyebabkan level getaran meningkat dan getaran berlebih sedikit bergeser ke kanan pada 540 rpm sampai dengan 600 rpm.
7. Pada P- Θ diagram, terlihat bahwa peningkatan putaran kompresor menyebabkan kenaikan titik puncak yang menunjukkan kenaikan tekanan ruang silinder.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Foreman, S., *Compressor Valves and Unloaders for Reciprocating Compressor – An OEM's Perspective*, Dresser-Rand, New York, www.dresser-rand.com, 2002.
- [2] Woollatt, *Reciprocating Compressor Valve Design: Optimizing Valve Life and Reliability*, Dresser Rand, New York, www.dresser-rand.com, 2003.
- [3] Schultheis, S. M., Lickteig, C.A., dan Parchewsky, R., *Reciprocating Compressor Condition Monitoring*, "Proceedings of The Thirty-Sixth Turbomachinery Symposium", Texas A&M University, PP. 107-113, www.turbolab.tamu.edu, 2007.
- [4] Elhaj, M., Almrabet, M., Rgeai, dan Ehtiweh, I., *A Combined Practical Approach to Condition Monitoring of Reciprocating Compressors using IAS and Dynamic Pressure*, World Academy of Science, Engineering and Technology 39, PP. 186-192, www.waset.org/journals/waset/v39/v39-33.pdf, 2010.
- [5] Siregar, D., *Studi Eksperimental Profil Getaran dan Tekanan Ruang Silinder Kompresor Torak Single-Stage, Single-Acting: Pengaruh Perubahan Profil Valve Seat pada Sisi Discharge*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin- Fakultas Teknologi Industri- Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2012.
- [6] Hanlon, P. C., *Compressor Handbook*, McGraw-Hill, New York, 2001.
- [7] Mitchell, J. S., *Introduction to Machinery Analysis and Monitoring Second Edition*, Penwell Publishing Company, Oklahoma, 1993.
- [8] Park, J. dan Mackay, S., *Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control System*, Elsevier, London, 2003.

- [9] Sularso dan Tahara, H., *Pompa dan Kompresor : Pemilihan, Pemakaian, dan Pemeliharaan*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1983.
- [10] Wowk, V., *Machinery Vibration : Measurement and Analysis*. : McGraw-Hill, Boston, 1991.
- [11] Bloch, H. P., *A Practical Guide to Compressor Technology*, McGraw-Hill, New York, 1996.
- [12] Scheffer, C. dan Girdar, P., *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*, Elsevier, Amsterdam, 2004.