

# KARAKTERISTIK VIBRASI PADA KOMPRESOR PISTON DUA TINGKAT DUA SILINDER

Parno Raharjo

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung

Email : [parno\\_raharjo@polban.co.id](mailto:parno_raharjo@polban.co.id)

## Abstrak

Pengujian vibrasi pada kompresor bertujuan untuk mengetahui karakteristik vibrasi pada kompresor piston yang meliputi amplitudo, time domain dan frequency domain. Pada time domain dapat diketahui besarnya amplitudo dan periode terjadinya pulsation pada kompresor. Pada frequency domain dapat diidentifikasi amplitudo pada harmonik pertama dan harmonik ke dua baik pada kompresor maupun motor. Amplitudo tinggi pada harmonik pertama dan ke dua pada kompresor disebabkan unbalance karena impulse atau pulsation tekanan kompresi kompresor. Untuk mengetahui karakteristik kerusakan pada kompresor piston dapat diketahui dengan melakukan pengujian dengan kerusakan tiruan.

**Kata kunci :** “Vibrasi”, “time domain”, “frequency domain”, “amplitude”, “frequency”, “pulsation”, “harmonic”

## 1. Pendahuluan

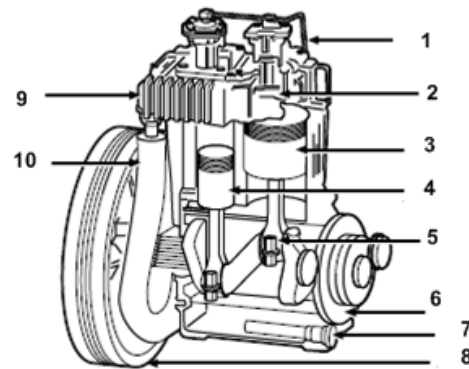
Kompresor adalah sebuah mesin atau peralatan yang berfungsi untuk memindahkan fluida mampu mampat seperti udara dan gas. Kompresor digunakan sebagai penyedia udara bertekanan yang selanjutnya dapat diaplikasikan untuk pengeringan, transportasi, *pneumatics* dan lain sebagainya. Kompresor piston merupakan bagian dari kompresor *positive displacement* termasuk katagori *reciprocating compressor* atau *piston compressor*. *Reciprocating compressor* dapat berbentuk *single acting* dan *double acting* serta *single stage* atau *multistage*.

Konstruksi *double stages* dan *double cylinders piston compressor* konstruksi menyudut ditunjukkan seperti pada gambar terberikut [Ingersoll Rand, 2009].



**Gambar 1. Double stages dan double cylinders piston compressor konstruksi V**

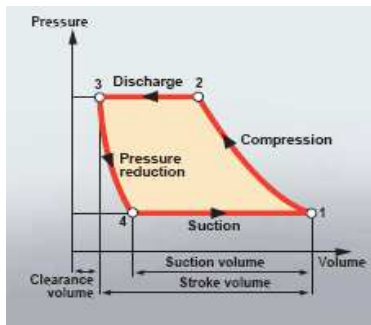
Bagian bagiannya antara lain silinder (1), saluran pendingin (2), batang piston (3), *oil level switch* (4), *centrifugal unloader* (5), *integral fan blade* (6), poros engkol (7), *splash lubrication* (8) dan *cast iron body* (9) Kompresor piston dua tingkat dua silinder konstruksi sejajar ditunjukkan seperti pada gambar berikut [CAGE, 2002].



**Gambar 2. Double stages dan double cylinders piston compressor konstruksi sejajar**

Komponen kompresor dua tingkat dua silinder dengan konstruksi sejajar antara lain *head un loader* (1), *valve plate* (2), *low pressure piston cylinder* (3), *high pressure piston cylinder* (4), *connecting rods* (5), *crank case* (6), *oil drain* (7), *fly wheel* (8), *head* (9) dan *inter stage cooler* (10).

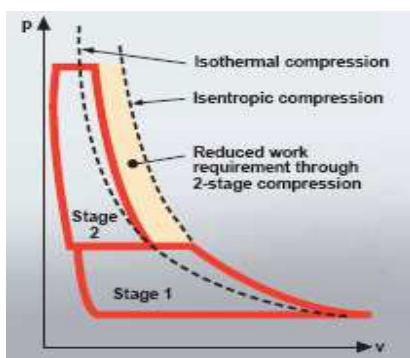
Proses kompresor piston tingkat tunggal terdiri dari langkah isap, langkah kompresi dan langkah *delivery*, selanjutnya udara dari atmosfer dihisap kembali. Diagram P-V nya ditunjukkan seperti pada gambar berikut [Piet Fordel, 2010].



**Gambar 3. Diagram P high pressure cylinder -V Kompresor tingkat tunggal**

Kompresor piston tingkat ganda terdiri dari proses isap dan kompresi pada *low pressure cylinder*, kemudian dikompresi lagi di, kemudian didelivery. Sebelum udara masuk ke *high pressure cylinder* dialirkan melalui *intercooler*.

Diagram P-V untuk kompresor piston dua tingkat dua silinder ditunjukkan seperti pada gambar berikut [Piet Fordel, 2010].



**Gambar 4. Diagram P-V Kompresor tingkat ganda**

Pada kompresor piston satu kali *delivery* udara diperlukan satu kali putaran poros engkol sehingga periode deliverinya diperlukan  $1/f$  (detik)

## 2. Vibrasi pada kompresor piston

Mesin dengan gerakan bolak baik (*reciprocating machinery*) membangkitkan gaya yang menyebabkan getaran.

Gaya pada kompresor yang menyebabkan vibrasi antara lain gaya beban gas (*gas load forces*), gaya beban inersia (*inertia load forces*), masa *unbalance* komponen bolak balik; momen atau kopel ketidaksepusatan titik berat komponen bolak; *misalignment* antara penggerak dan kompresor serta regangan silinder (*cylinder stretch*), serta gaya *unbalance* gas (*gas unbalance forces*) [Shelley and Luis,1996], [Gaia Rosi, 2013]

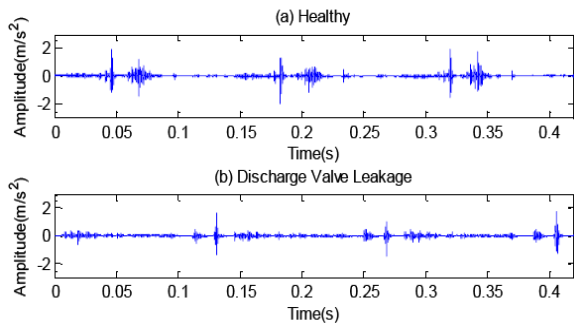
Gaya beban gas terjadi pada piston. Amplitude vibrasi tinggi terjadi pada satu kali dan kelipatan bilangan bulat dari kecepatan putar. Gaya beban inersia terjadi disebabkan karena percepatan komponen bolak baik seperti piston dan batang piston. Gaya *unbalance* massa berputar dan gerak bolak balik yang disebabkan ketidaksimetrisan perancangan poros engkol dan ketidakpresisian toleransi dan proses manufaktur, gaya ini mendominasi amplitudo vibrasi pada satu kali dan dua kali kecepatan putar kompresor. Gaya *unbalance* gas terjadi disebabkan karena *pulsation* pada *nosel silinder* dan pipa.[Gaia Rosi, 2013]

*Pulsation* adalah kenaikan dan penurunan tekanan yang sangat cepat terhadap suatu tekanan normal.

Proses kerja kompresor yang memiliki gaya yang paling tinggi yaitu ketika kompresor mencapai langkah kompresi. Untuk kompresor tingkat tunggal terjadi setiap satu kali putaran poros engkol.

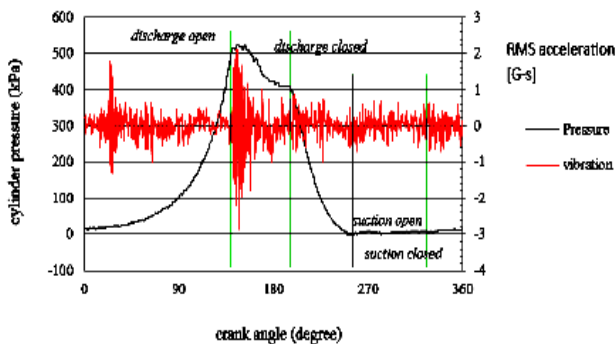
Respon vibrasi pada kompresor piston dinyatakan dalam *time domain* dan *frequency domain*. *Time domain* dan *frequency domain* vibrasi pada kompresor piston seperti pada kompresor sehat dan tidak sehat ditunjukkan

seperti pada gambar berikut [Ahmed Mahmud, 2012].



**Gambar 5. Time domain vibrasi pada kompresor piston sehat**

Amplitudo tinggi terjadi ketika langkah akhir kompresi yang digambarkan pada diagram amplitudo vibrasi dan tekanan fungsi terhadap posisi poros engkol seperti gambar berikut [Bambang Daryanto, 2014]



**Gambar 6. Vibrasi dan tekanan fungsi sudut poros engkol kompresor piston**

### 3. Metodologi pengujian vibrasi pada kompresor piston

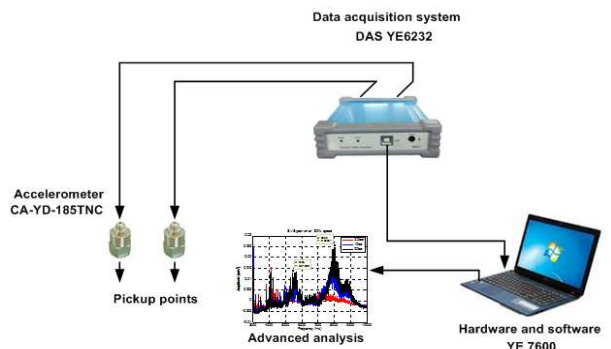
Kompresor yang diuji adalah kompresor piston dua tingkat dua silinder susunan sejajar. Templatnya menunjukkan tenaga 5.5 kWatt, putaran motor 2930 rpm atau 48.83 Hz, dengan menggunakan transmisi *double V belt* B83 dengan diameter puli motor 160 mm, diameter puli kompresor 560 mm, reduksi perbandingan putaran 0.285. Putaran kompresor 837.rpm atau 13.9 Hz, periodenya 1/13.9 yang besarnya 0.072 detik.

Kompresor sudah berumur cukup lama namun tidak terdapat data umur yang sebenarnya. Kondisi saat ini dianggap sebagai kondisi eksisting.

*Accelerometer* yang digunakan tipe NY-YD-185TNC dengan *frequency range* 0.5Hz-5000Hz dan *voltage sensitivity* 4.96 mV/(m/s<sup>2</sup>) [GST,2010]

*Dynamic data acquisition system* yang digunakan memiliki jumlah channel 4, *sampling rate* 384.0 kHz per channel, *sample frequency range* 96.0 kHz, *interface* USB 2.0 dan dilengkapi dengan *software* pengambilan dan penyimpanan data YE7600.

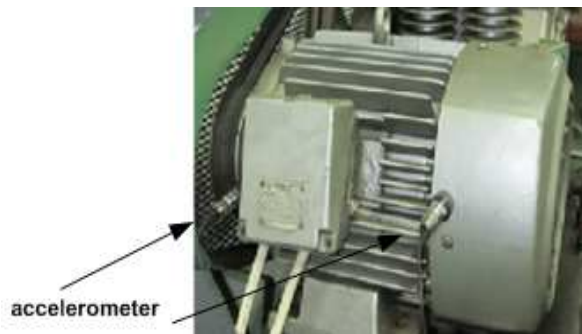
Titik pengukuran dilakukan pada rumah bantalan motor pada sisi DE(*drive end*) dan NDE (*non drive end*) arah horisontal. Pengukuran vibrasi pada DE dan NDE kompresor pada arah horisontal. Pengambilan data setiap titik pengukuran dilakukan 5 kali dan dilakukan pada putaran dan beban tetap. Skema sistem pengukuran dan data akuisisinya ditunjukkan seperti pada gambar berikut.



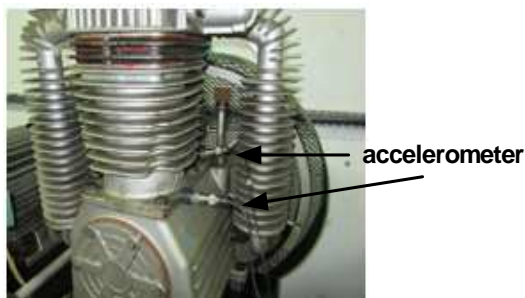
**Gambar 7. Skema sistem pengukuran dan data akuisisi**

Pengolahan dan analisa data menggunakan Mathlab yang meliputi *time domain* dan *frequency domain*.

Skema pemasangan *accelerometer* yang digunakan ditunjukkan seperti pada gambar berikut.



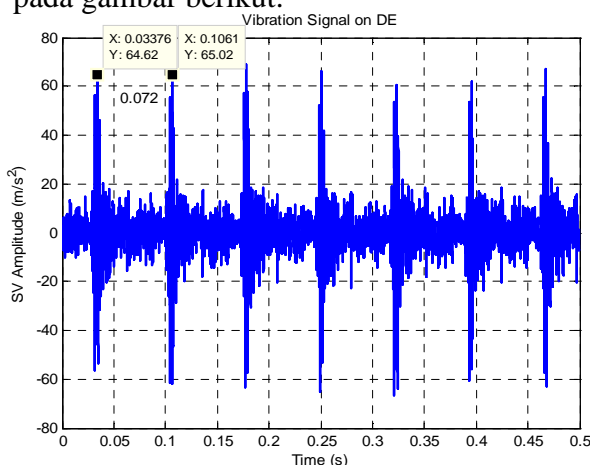
**Gambar 8a. Skema pemasangan instrumentasi uji vibrasi pada motor**



**Gambar 8b. Skema pemasangan instrumentasi uji vibrasi pada motor**

#### 4. Hasil pengujian dan analisa pengukuran vibrasi pada kompresor piston

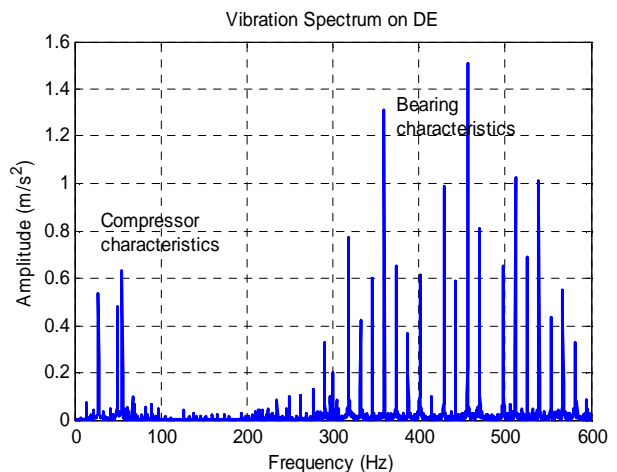
Sinyal atau time domain hasil pengujian vibrasi pada rumah bantalan kompresor pada sisi DE arah horisontal ditunjukkan seperti pada gambar berikut.



**Gambar 9. Sinyal vibrasi pada kompresor DE arah horisontal**

Sinyal vibrasi pada bantalan kompresor posisi DE arah horisontal menunjukkan terjadinya pulsation atau hentakan pada saat tertentu. Waktu dari pulsation satu dengan yang lain 0.0723 detik, ini menunjukkan periode pada saat kompresi yang besarnya  $1/f$  kompresor yang besarnya  $1/13.9$  yang nilainya 0.072 detik yang sama dengan periode pulsation (0.01061-0.03376). Pulsation tersebut terjadi pada saat akhir kompresi.

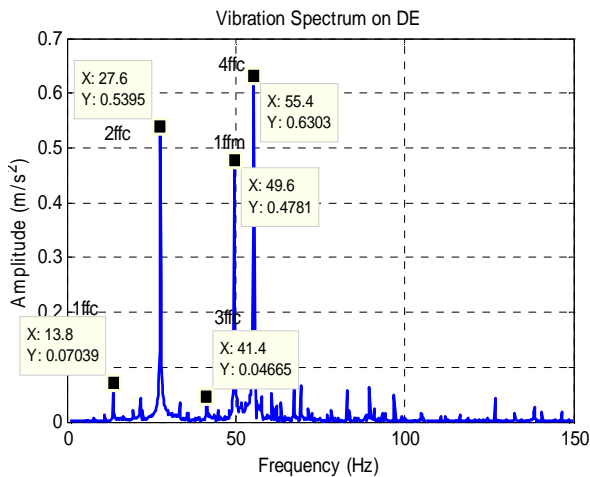
Spektrum vibrasi pada bantalan kompresor pada *frequency range* 1 sampai dengan 600 Hz.



**Gambar 10. Spektrum vibrasi pada kompresor DE arah horisontal pada 1-600Hz**

Spektrum pada kompresor menunjukkan amplitude tinggi jadi pada dua macam frequency range sampai 1-100 Hz dan 200-600 Hz. Kelompok pertama berhubungan dengan karakteristik kompresor dan kelompok kedua berhubungan dengan *rooling bearing compressor*.

Untuk mengetahui frekuensi amplitude dengan frekuensi motor atau kompresor dapat dilihat spektrum vibrasi pada frekuensi dari 1-150 Hz gambar berikut.



**Gambar 11. Spektrum vibrasi pada kompresor DE arah horisontal pada 1-150Hz**

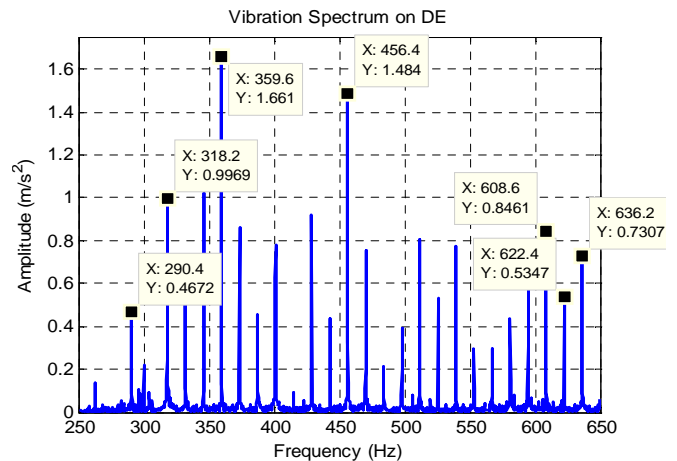
Pada gambar tersebut terlihat bahwa amplitude tinggi terjadi 1x frekuensi fundamental kompresor atau ffc (13.8 Hz) dan 2x frekuensi fundamental kompresor (27.6Hz). Amplitudo tertinggi terletak pada frekuensi 55.4 Hz (4 x frekuensi kompresor). Amplitudo tinggi yang lain terletak pada frekuensi 49.5 Hz yang ekuivalen dengan frekuensi fundamental motor penggerak. Sedangkan amplitude yang lain yaitu amplitude pada frekuensi 37.8 Hz, frekuensi ini adalah *belt pass frequency* tidak dapat diidentifikasi dengan jelas.. Besarnya *belt pass frequency* dinyatakan dalam persamaan berikut [Ludeca, 2011].

$$BPF = \frac{\pi \cdot d \cdot f}{L}$$

D menunjukkan diameter puli (mm), f frekuensi puli (cycle/s) dan L adalah panjang sabuk (mm)

Amplitudo tinggi yang terletak pada 1ffc dan 2ffc berasal dari unbalance yang disebabkan karena tekanan kompresi gas/udara pada silinder.

Spektrum vibrasi pada rentang 250Hz–650Hz ditunjukkan seperti pada gambar berikut.

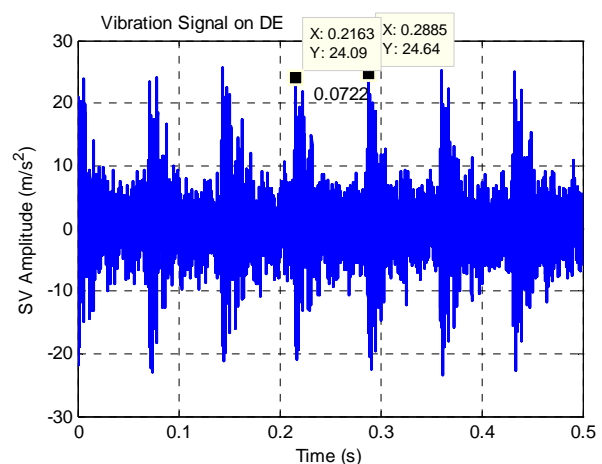


**Gambar 12. Spektrum vibrasi pada kompresor DE arah horisontal pada 250-650Hz**

Spektrum kompresor pada frekuensi dengan rentang antara 250 Hz sampai dengan 650 Hz menunjukkan bahwa amplitude tinggi terletak pada frekuensi ini dan amplitude tertinggi terletak pada 359.5 Hz diikuti pada 456.Hz dan diikuti yang lain. Amplitudo ini berhubungan dengan kondisi bantalan bola pada kompresor tersebut.

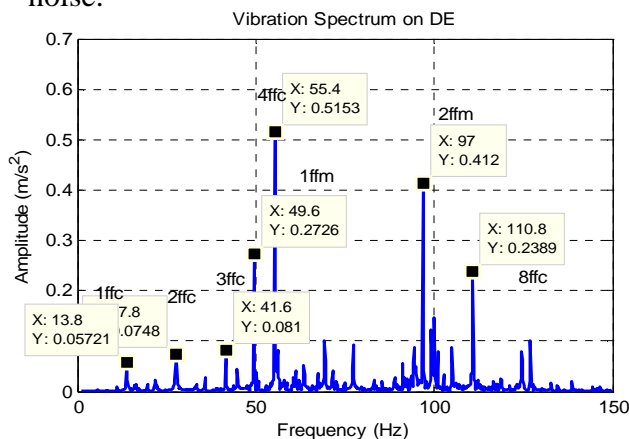
Pangukuran sinyal vibrasi dan spektrum juga dilakukan pada motor listrik pada posisi motor DE dan motor NDE.

Sinyal atau *time domain* vibrasi pada motor bearing posisi ditunjukkan seperti pada gambar berikut.



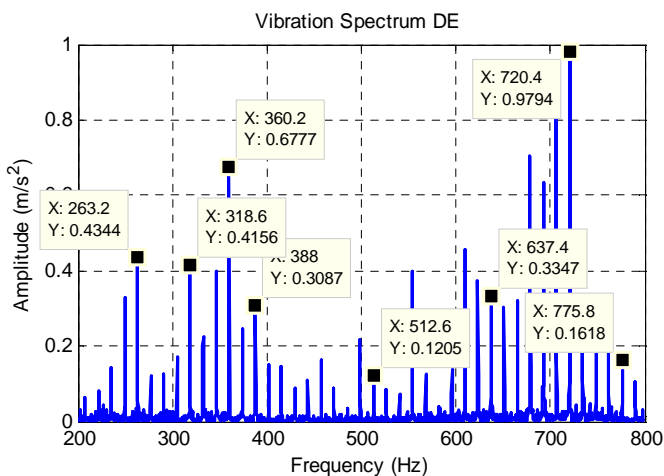
**Gambar 13. Sinyal vibrasi pada motor DE arah horisontal**

Sinyal vibrasi pada motor DE juga menunjukkan bahwa impulse terjadi pada periode 0.0722 detik yang merupakan periode kompresi pada kompresor. Perbedaan sinyal vibrasi pada kompresor dan pada motor pada amplitude maksimum dan sinyal noise.



**Gambar 14. Spektrum vibrasi pada motor DE arah horisontal pada 1-150Hz**

Spektrum vibrasi pada motor DE juga dapat dideteksi harmonik pertama frekuensi motor (49.6 Hz) dan harmonik kedua frekuensi motor (97 Hz). Harmonik frekuensi kompresor pertama (13.8 Hz) kedua, ketiga dan ke empat masing-masing 27.8 Hz, 41.6 Hz dan 55.4 Hz dapat juga dideteksi. *Belt pass frequency* 38.0 Hz juga tidak nampak.



**Gambar 15. Spektrum vibrasi pada motor DE arah horisontal pada 200-800Hz**

Spektrum pada motor DE pada rentang frekuensi 200-800 Hz, menunjukkan kelompok harmonik pertama spectrum bantalan gelinding motor, sedangkan kelompok ke dua merupakan harmonik ke dua spectrum bantalan. Harmonik pertama frekuensi 263.2 Hz, frekuensi harmonik ke duanya 512.6Hz. Frekuensi pertama yang lain 318.6Hz, frekuensi harmonik ke dua 637.4Hz. Begitu juga frekuensi pertama 388.0Hz, frekuensi harmonik ke duanya 775.8 Hz.

Untuk mengidentifikasi *ball pass frequency inner race* (BPFI), *ball pass frequency outer race* (BPFO), *ball spin frequency* (BSF) dan *fundamental train frequency* (FTF) diperlukan data bantalan bola yang digunakan secara lengkap.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan data dan penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa pada *time domain* vibrasi pengukuran pada kompresor dapat diketahui besarnya amplitudo vibrasi (*peak*) dan *pulsation periods* yang merupakan saat terjadinya kompresi pada silinder. *Time domain* vibrasi pengukuran pada motor juga menunjukkan *pulsation periods* tetapi besarnya amplitudo vibrasinya lebih kecil dari amplitudo vibrasi pengukuran pada kompresor.

*Frequency domain* pada kompresor dapat menunjukkan amplitudo vibrasi dan frekuensi fundamental kompresor harmonik pertama serta amplitudo vibrasi dan frekuensi fundamental kompresor harmonik kedua kompresor. Amplitudo dan frekuensi bantalan kompresor dapat juga dapat diidentifikasi.

*Frequency domain* pada motor dapat diidentifikasi amplitudo dan frekuensi harmonik pertama dan harmonik ke dua.

Spektrum harmonik pertama dan kedua dari bantalan pada motor juga dapat diidentifikasi.

*Belt pass frequency* tidak dapat diidentifikasi dengan dari frequency domain baik pada pengukuran vibrasi pada kompresor dan motor.

Untuk mengetahui karakteristik kerusakan pada kompresor diperlukan simulasi pengujian getaran dengan kerusakan tiruan.

## 6. Daftar Pustaka

- Ingersoll Rand Industrial Technologies, 2009, *Reciprocating Single and Two Stage Air Compressor 2-25 Hp*, Ingersoll Rand Company.
- CAGE, 2001, *Air Compressor Selection and Application 1/4 HP through 30 HP*, 5<sup>th</sup> Edition, Compressor Air and Gas Institute, 2001
- Sheely, D, G, Luis de la Roche, (1996), *Introduction to Vibration and Pulsation in Reciprocating Compressor*, Beta Machinery Analysis Ltd.
- Piet Fordel, 2010, *Compressed Air Manual*, 7<sup>th</sup> Edition, Atlas Copco Airpower NV, Belgium.
- Gaia Rosi, 2013, *Vibration Analysis for Reciprocating Compressor*, Technology Insight.
- F Ahmed, F, Gu, F, Ball, A, 2012, *Fault Detection of Reciprocating Compressor a Model from Principles Component Analysis of Vibration*, 25<sup>th</sup> International Congress on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering, Journal of Physics, Conference Series 364.
- Bambang Daryanto Wonoyudo dan David A. Siregar, 2014, *Vibration and Cylinder Chamber Pressure Characteristics of an Air Reciprocating Compressor*, IPTEK, Journal of Proceeding Series, Vol. 1, p 114-118.
- GST, 2010, *General Purpose Piezoelectrics*, YD-5 4251, Unit 1, 26 Fairholme Rd, Manchester, M20 4NT, UK.
- Ludeca, 2011, *Machinery Fault Diagnosis, A Basic Guide to Understanding Vibration Analysis for Machinery Diagnosis*.