TUGAS AKHIR

DETEKSI KAVITASI PADA POMPA PERIPHERAL DENGAN METODE SPEKTRUM GETARAN

OLEH :

EVAN PRAWIRA NUGRAHA

D211 16 008

DEPARTEMEN MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020

TUGAS AKHIR

DETEKSI KAVITASI PADA POMPA PERIPHERAL DENGAN METODE SPEKTRUM GETARAN

OLEH :

EVAN PRAWIRA NUGRAHA

D211 16 008

Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL:

DETEKSI KAVITASI PADA POMPA PERIPHERAL DENGAN METODE SPEKTRUM GETARAN

EVAN PRAWIRA NUGRAHA
D211 16 008

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Dr. Ir. Luther Sule, MT.	**Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc**
NIP. 19770103 200801 1 009	**NIP. 19760216 201012 1 002**

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin,

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT.
NIP. 19720825 200003 1 001

Dipindai dengan CamScanner

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda – tangan dibawah ini:

NAMA : EVAN PRAWIRA NUGRAHA

NIM : D21116008

JUDUL SKRIPSI : DETEKSI KAVITASI PADA POMPA PERIPHERAL DENGAN METODE SPEKTRUM GETARAN

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin

Demikian pernyataan ini saya buat,

Gowa, 27 November 2020

Yang membuat pernyataan,

METERAI TEMPEL

6000

ENAM RIBU RUPIAH

Evan Prawira Nugraha

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya lah sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul "**Deteksi Kavitasi Pada Pompa Peripheral Dengan Metode Spektrum Getaran".** yang mana merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Selama proses pengerjaan skripsi ini penulis menerima begitu banyak bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu peneliti ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta Semuel Takarana dan M. Fitriany Fenny serta semua keluarga yang selalu mendampingi, memberi semangat, dan mendoakan.
2. Dr. Ir. Luther Sule, MT dan Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc selaku dosen pembimbing dalam menyelesaikan tugas sarjana ini. Terima kasih atas bimbingan, pelajaran, dan semangat yang telah diberikan baik dalam pengerjaan tugas sarjana maupun dalam kehidupan.
3. Prof. Dr. Ir. Onny Sutresman, MT dan Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST. MT. selaku anggota tim penguji yang telah memberikan saran-saran selama proses pengerjaan skripsi.
4. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT. sebagai Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.

5. Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu, nasehat, dan pengalaman kepada penulis selama menempuh studi di dunia perkuliahan.
6. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2016/COMPREZZOR'16 yang senantiasa mendukung dan berjuang bersama sejak mahasiswa baru hingga saat ini.
7. HMM FT-UH, yang telah menjadi tempat belajar dan mencoba banyak hal di kampus tercinta.
8. Pihak-pihak yang telah membantu yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna walaupun telah menerima bantuan dari berbagai pihak. Apabila terdapat kesalahan-kesalahan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis dan bukan para pemberi bantuan. Kritik dan saran yang membangun akan lebih menyempurnakan skripsi ini.

Gowa, 27 November 2020

Penulis,

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR i

LEMBAR PENGESAHAN ii

LEMBAR KEASLIAN iii

ABSTRAK iv

KATA PENGANTAR v

DAFTAR ISI vii

DAFTAR GAMBAR x

DAFTAR TABEL xiii

NOMENKLATUR xiv

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1. Latar Belakang 1

1.2. Rumusan Masalah 3

1.3. Tujuan Penelitian 3

1.4. Batasan Masalah 3

1.5. Manfaat Penelitian 4

BAB II TEORI DASAR 5

2.1. Pompa 5

2.1.1. Definisi Pompa 5

2.1.2. Klasifikasi Pompa 5

2.1.3. Pompa Peripheral 8

2.1.4. Kehilangan *Head* Pada Pompa 10

2.1.5. Gangguan Operasi Pompa 13

2.1.6. Performa Pompa 16
2.2. Getaran 21
2.2.1. Definisi Getaran 21
2.2.2. Karakteristik Getaran 23
2.2.3. Metode Spektrum Getaran 25
2.2.4. Standar *Vibration* ISO 10816 28
BAB III METODELOGI PENELITIAN 31
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian 31
3.2. Instalasi Pengujian 31
3.3. Alat dan Bahan Penelitian 34
3.4. Diagram Alir Penelitian 37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 38
4.1. Indikasi Terjadinya Kavitasi 38
4.1.1. Deteksi Kavitasi Dengan Pengamatan 38
4.1.2. Deteksi Kavitasi Dengan Perbandingan NPSH 40
4.2. Performa Pompa Saat Terjadi Kavitasi 42
4.2.1. Hubungan Bukaan Katup Dengan Kapasitas 42
4.2.2. Hubungan Bukaan Katup Dengan *Head* 44
4.2.3. Hubungan Bukaan Katup Dengan Effisiensi 46
4.3. Metode Spektrum Getaran 49
4.3.1. Bentuk Spektrum Getaran Kondisi Normal 49
4.3.2. Bentuk Spektrum Getaran Kondisi Kavitasi 53

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....57

5.1. Kesimpulan.....57

5.2. Saran.....58

DAFTAR PUSTAKA 59

LAMPIRAN.....61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Klasifikasi *Dynamic Pump* 6

Gambar 2.2. Klasifikasi *Diplacement Pump* 7

Gambar 2.3. Pompa Peripheral 8

Gambar 2.4. Impeller Pompa Peripheral 8

Gambar 2.5. Sirkulasi Fluida Pada Impeller Pompa Peripheral 9

Gambar 2.6. Grafik Perbandingan Head Pompa Sentrifugal dan Peripheral 9

Gambar 2.7. Diagram Fase Air 13

Gambar 2.8. *Water Hammer* 15

Gambar 2.9. Fluktuasi Tekanan Pada Pompa Sentrifugal 16

Gambar 2.10. Konstanta Kavitasi Thoma 20

Gambar 2.11. Gerak Harmonik 22

Gambar 2.12. Gerak Periodik 22

Gambar 2.13. Gerak Acak 23

Gambar 2.14. Karakteristik Getaran 23

Gambar 2.15. *Phase* Getaran 25

Gambar 2.16. Data Overall 26

Gambar 2.17. Data Spektrum 27

Gambar 2.18. Data *Waveform* 28

Gambar 3.1. Skema Instalasi Pengujian 32

Gambar 3.2. (a). Tampak Keseluruhan PBOC 33

(b). Bagian Katup Keluar Pompa 33

(c). Sistem Pompa Peripheral 33

Gambar 3.3. *Interface Instrument* 33

Gambar 3.4. Komputer.....34

Gambar 3.5. *Vibexpert* II.....34

Gambar 3.6. Gunting.....35

Gambar 3.7. Busur Derajat.....35

Gambar 3.8. Selang 35

Gambar 3.9. Katup 35

Gambar 3.10. Penjepit Pipa.....36

Gambar 4.1. Saluran Masuk Pompa Pada Saat Belum Terjadi Kavitasi 39

(a). Katup Hisap Tertutup 0° Kecepatan Putaran 750–3000 rpm 39

(b). Katup Hisap Tertutup 20° Kecepatan Putaran 750–3000 rpm ...39

(c). Katup Hisap Tertutup 30° Kecepatan Putaran 750–1500 rpm ...39

(d). Katup Hisap Tertutup 60° Kecepatan Putaran 750 rpm 39

Gambar 4.2. Saluran Masuk Pompa Pada Saat Terjadi Buih.....39

(a). Katup Hisap Tertutup 40° Kecepatan Putaran 2250 rpm 39

(b). Katup Hisap Tertutup 40° Kecepatan Putaran 3000 rpm 39

(c). Katup Hisap Tertutup 60° Kecepatan Putaran 1500 rpm 39

Gambar 4.3. Saluran Masuk Pompa Pada Saat Terjadi Kavitasi.....40

(a). Katup Hisap Tertutup 60° Kecepatan Putaran 2250 rpm 40

(b). Katup Hisap Tertutup 60° Kecepatan Putaran 3000 rpm 40

Gambar 4.4. Grafik Bukaan Katup Hisap VS Kapasitas 43

Gambar 4.5. Grafik Bukaan Katup Hisap VS *Head* 45

Gambar 4.6. Grafik Bukaan Katup Hisap VS Effisiensi.....48

Gambar 4.7. Bentuk Spektrum Getaran Pompa Peripheral 50

(a). Arah Aksial.....50

(b). Arah Radial 50

Gambar 4.8. Rover Pompe *Drill* 20.....51

(a). Katalog Rover Pompe 51

(b). Alat PBOC 51

Gambar 4.9. Bentuk Spektrum Getaran Kondisi Normal.....52

(a). Arah Aksial 2250 rpm 52

(b). Arah Radial 2250 rpm.....52

(c). Arah Aksial 3000 rpm 52

(d). Arah Radial 3000 rpm.....53

Gambar 4.10. Bentuk Spektrum Getaran Kondisi Kavitasi 54

(a). Arah Aksial 2250 rpm 54

(b). Arah Radial 2250 rpm.....54

(c). Arah Aksial 3000 rpm 55

(d).Arah Radial 3000 rpm.....55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Koefisien Kehilangan Pada Perlengkapan Perpipaan 12

Tabel 2.2. Spektrum Getaran dan Penyebabnya 27

Tabel 2.3. Standar *Vibration* ISO 10816.....29

Tabel 4.1. Tabel Perihitungan NPSH.....41

Tabel 4.2. Hasil Pengukuran Kapasitas Pompa Peripheral 42

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan *Head* Pompa Peripheral.....45

Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Effisiensi Pompa Peripheral 47

ABSTRAK

Pompa peripheral telah banyak digunakan sebagai pompa umpan boiler pada boiler kecil, sebagai pompa penambah tekanan dan untuk semua aplikasi di mana laju aliran rendah harus dipompakan pada tekanan tinggi. Namun, dalam penggunaannya sering sekali didapati penurunan performa, salah satu indikasi terjadinya penurunan performa pompa adalah kavitasi. Kavitasi dapat menyebabkan terjadinya getaran yang tinggi dan suara bising. Penelitian ini membahas deteksi kavitasi pada pompa peripheral dengan memanfaatkan spektrum getaran. Kavitasi dibuat dengan cara memvariasikan bukaan katup hisap kemudian getaran yang terjadi diukur dengan alat *Vibexpert* II. Pengukuran dilakukan pada pompa peripheral dengan kecepatan putaran 750 rpm, 1500 rpm, 2250 rpm dan 3000 rpm serta variasi bukaan pada sisi hisap sebesar 0°, 20°, 40°, dan 60°. Performa dan bentuk spektrum getaran pompa peripheral sebelum dan setelah terjadinya kavitasi dibandingkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kavitasi tersebut. Pada Penelitian ini didapatkan kavitasi terjadi pada saat katup hisap tertutup sebesar 60° dengan kecepatan putaran 2250 dan 3000 rpm. Saat terjadi kavitasi performa pompa peripheral akan semakin menurun. Kavitasi yang terjadi pada pompa peripheral ditandai dengan adanya peningkatan amplitudo getaran pada 4 dan atau 5 kali frekuensi.

Kata Kunci : Pompa Peripheral, Kavitasi, Getaran.

ABSTRACT

Peripheral pumps have been widely used as boiler feed pumps in small boilers, as pressure booster pumps and for all applications where low flow rates must be pumped at high pressure. However, in its use, there is often a decrease in performance, one indication of a decrease in pump performance is cavitation. Cavitation can cause high vibrations and noise. This research discusses the detection of cavitation in peripheral pumps by utilizing the vibration spectrum. Cavitation is made by varying the opening of the suction valve and then the vibration that occurs is measured with a Vibexpert II tool. Measurements were made at peripheral pumps with rotation speeds of 750 rpm, 1500 rpm, 2250 rpm and 3000 rpm and variations of openings on the suction side of 0 °, 20 °, 40 °, and 60 °. The performance and shape of the peripheral pump vibration spectrum before and after cavitation were compared to determine how much influence the cavitation had. In this study, it was found that cavitation occurred when the inlet valve was closed at 60° with a rotation speed of 2250 and 3000 rpm. When cavitation occurs, the performance of peripheral pumps will decrease. Cavitation that occurs in peripheral pumps is characterized by an increase in the vibration amplitude at 4 and 5 times the frequency.

Key Word : Peripheral Pump, Cavitation, Vibration.

NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
Q	Kapasitas Aliran	m^3/s
P_f	Daya Input Pompa	W
P_w	Daya Hidrolis Pompa	W
H	Tinggi Total Pompa	m
P_1	Tekanan Masuk Fluida	Pa
P_2	Tekanan Keluar Fluida	Pa
v_1	Kecepatan Masuk Fluida	m/s
v_2	Kecepatan Keluar Fluida	m/s`
A_1	Luas Penampang Saluran Masuk	m^2
A_2	Luas Penampang Saluran Keluar	m^2
z_1	Tinggi Saluran Masuk Pompa	m
z_2	Tinggi Saluran Keluar Pompa	m
ρ	Massa Jenis Fluida	kg/m^3
g	Gaya gravitasi	m/s^2
ω	Kecepatan Sudut	rad/sec
n	Kecepatan Putar	rpm
T	Torsi	Nm

η	Effisiensi Pompa	%
N_s	Putaran Spesifik	-
$NPSH_A$	*Net Positif Suction Head Available*	M
$NPSH_R$	*Net Positif Suction Head Required*	M
σ	Bilangan Thoma	-

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pompa merupakan salah satu mesin fluida yang berfungsi untuk memindahkan fluida tak mampu mampat (*incompressible fluids)* dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara mengubah energi mekanik yang didapatkan dari putaran motor menjadi energi tekanan pada fluida untuk melawan tahanan-tahanan yang terdapat pada saluran-saluran instalasi pompa yang akan dilalui oleh fluida tersebut.

Secara umum ada beberapa jenis pompa yang banyak digunakan dalam perindustrian, salah satunya adalah pompa peripheral. Pompa periferal, juga disebut sebagai pompa regeneratif adalah pompa sentrifugal dengan desain impeler khusus berbentuk peripheral. Saat ini pompa peripheral telah banyak digunakan oleh industri pengolahan dan pendistribusian. Namun, dalam penggunaannya sering sekali didapati penurunan performa dari pompa yang digunakan karena terjadinya kerusakan. Kerusakan yang sering terjadi pada pompa peripheral yaitu korosi, kerusakan pada bearing sampai dengan kerusakan pada impeller pompa. Penyebab dari kerusakan yang terjadi sangatlah beragam salah satunya karena terjadinya kavitasi. (Berli dkk, 2019)

Kavitasi adalah gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir, karena tekanannya berkurang sampai dibawah tekanan uap jenuh. Misalnya air pada tekanan 1 atmosfir akan mendidih dan menjadi uap jenuh pada temperatur 100℃. Tetapi jika tekanan direndahkan maka air akan mendidih pada temperatur yang

lebih redah. Jika tekanannya cukup rendah maka pada temperatur kamarpun air dapat mendidih. Jika pompa mengalami kavitasi, maka akan timbul suara berisik dan getaran. Ketika pompa tetap dijalankan dalam keadaan kavitasi secara terus menurus dalam jangka lama, maka permukaan dinding saluran dan disekitar aliran yang berkavitasi akan mengalami kerusakan (Sularso & Tahara, 2006). Sehingga kavitasi yang terjadi harus segera dideteksi, salah satu metode deteksi kavitasi yang sering digunakan yaitu dengan menggunakan spektrum getaran.

Spektrum getaran digunakan untuk menentukan kondisi operasi dan mekanik peralatan. Keuntungan utama adalah bahwa spektrum getaran dapat mengidentifikasi masalah yang berkembang sebelum mereka menjadi terlalu serius dan menyebabkan *downtime* yang tidak terjadwal. Ini bisa dicapai dengan melakukan pemantauan berkala getaran mesin baik secara terus menerus atau pada interval terjadwal. Pemantauan getaran secara teratur dapat mendeteksi bantalan yang memburuk atau rusak, kerugian mekanis dan gigi aus atau rusak. Spektrum getaran juga dapat mendeteksi ketidakselarasan dan ketidakseimbangan sebelum kondisi ini menyebabkan kerusakan pada bantalan atau poros. (Scheffer dan Girdhar, 2004).

Berdasarkan uraian diatas, penulis tertarik untuk mengadakan penelitian untuk mengetahui bentuk spektrum getaran yang terjadi pada pompa peripheral jika terjadi fenomena kavitasi. Penelitian ini berjudul : "**DETEKSI KAVITASI PADA POMPA PERIPHERAL DENGAN METODE SPEKTRUM GETARAN**".

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa besarkah variasi bukaan katup dan kecepatan putaran (rpm) saat terjadinya kavitasi ?
2. Bagaimana performa dari pompa peripheral ketika terjadi kavitasi ?
3. Bagaimana bentuk spektrum getaran pada pompa peripheral ketika terjadi kavitasi ?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa kavitasi yang terjadi akibat variasi bukaan katup dan variasi kecepatan putaran.
2. Menganalisa performa pompa peripheral ketika terjadi kavitasi.
3. Menganalisa bentuk spektrum getaran dari pompa peripheral akibat terjadinya kavitasi.

1.4. Batasan Masalah

Untuk mempermudah penelitian maka dilakukan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan menggunakan pompa peripheral pada alat *multipump testing bench*
2. Variasi bukaan katup pada sisi hisap pompa yaitu katup hisap tertutup sebesar 0°, 20°, 40°, dan 60°.

3. Variasi kecapatan putaran pada pompa peripheral sebesar yaitu sebesar 750 rpm, 1500 rpm, 2250 rpm, dan 3000 rpm.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Menyediakan informasi sebagai referensi tambahan yang ingin melakukan riset secara khusus mengenai *predictive maintenance* menggunakan analisis spektrum getaran.
2. Data karakteristik spektrum getaran yang diperoleh dapat dijadikan acuan untuk mengetahui terjadinya kavitasi pada pompa peripheral.
3. Data-data yang diperolah dalam penelitian ini dapat menjadi acuan untuk menghindari terjadinya kavitasi pada pompa peripheral.

BAB II

TEORI DASAR

2.1. Pompa

2.1.1. Definisi Pompa

Pompa merupakan salah satu mesin fluida yang berfungsi untuk memindahkan fluida tak mampu mampat (*incompressible fluids)* dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara mengubah energi mekanik yang didapatkan dari putaran motor menjadi energi tekanan pada fluida untuk melawan tahanan-tahanan yang terdapat pada saluran-saluran instalasi pompa yang akan dilalui oleh fluida tersebut. Hambatan-hambatan pengaliran itu dapat berupa perbedaan tekanan, perbedaan ketinggian atau hambatan gesek. (Suarda, 2016; Siregar, 2012)

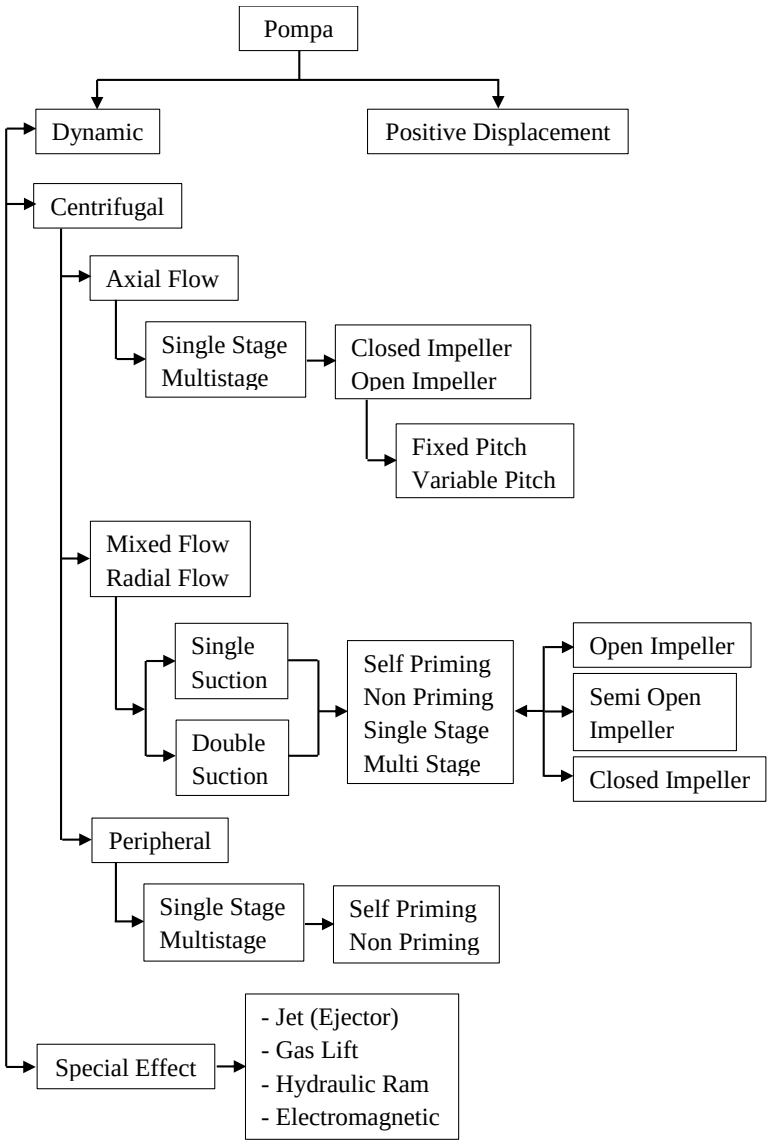
Pompa memiliki dua kegunaan utama :

1. Memindahkan fluida cair dari satu tempat ke tempat lainnya (misalnya air dari bawah tanah ke tangki penyimpan air)
2. Mensirkulasikan fluida cair melalui suatu sistem (misalnya air pendingin atau pelumas yang melewati mesin-mesin dan peralatan)

2.1.2. Klasifikasi Pompa

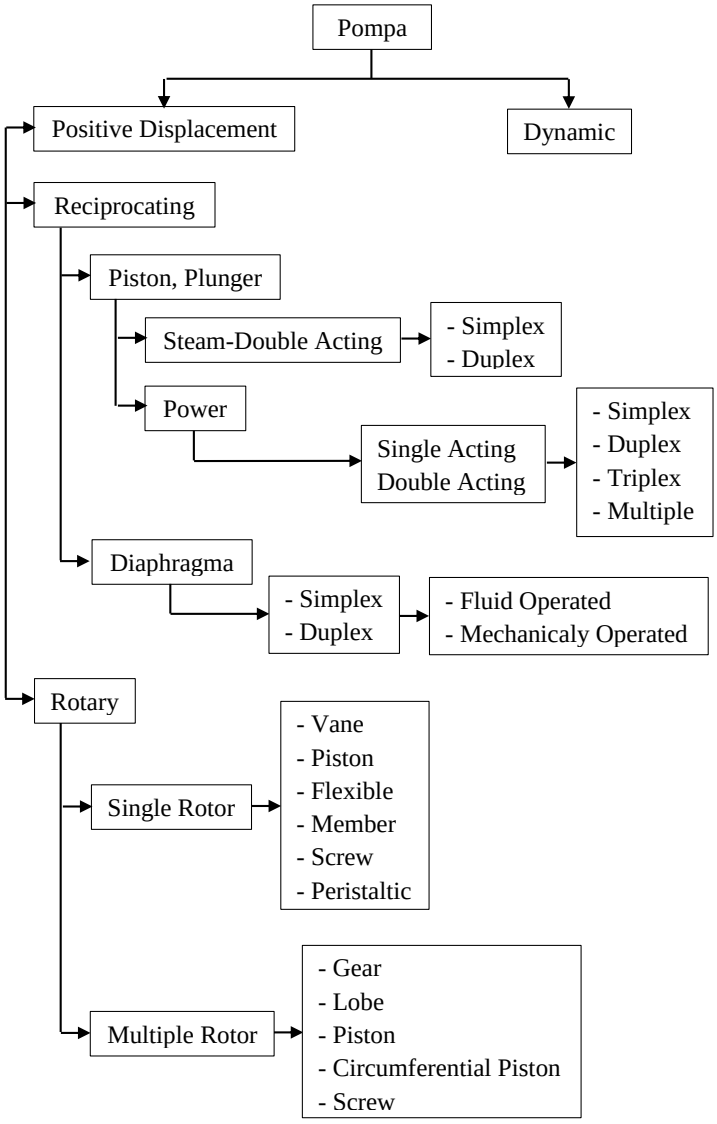
Pompa dapat diklasifikasikan dalam beberapa cara yang berbeda, misalnya berdasarkan kondisi kerjanya, jenis fluida yang dipindahkan, bentuk elemen yang bergerak, jenis penggeraknya, serta berdasarkan cara mentransfer fluida dari dari pipa hisap ke pipa tekan. Namun secara general pompa dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Pompa dinamis (*dynamic pump*), dimana pada pompa ini energi ditambahkan secara terus-menerus untuk meningkatkan kecepatan fluida didalam mesin ke nilai yang lebih besar daripada yang terjadi pada saat pembuangan sehingga penurunan kecepatan didalam atau diluar pompa dapat menghasilkan peningkatan tekanan. (Igor dkk, 2008). Klasifikasi pompa dinamis dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Klasifikasi *dynamic pump* (Tim guru, 2017)

2. Pompa perpindahan (*displacement pump*), dimana pada pompa ini energi ditambahkan secara berkala dengan menerapkan gaya pada daerah tertentu yang mengandung fluida yang akan dipompakan, menghasilkan peningkatan tekanan langsung hingga mencapai nilai yang dibutuhkan untuk memindahkan fluida melalui katup atau port ke saluran pembuangan. (Igor dkk, 2008). Klasifikasi pompa perpindahan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



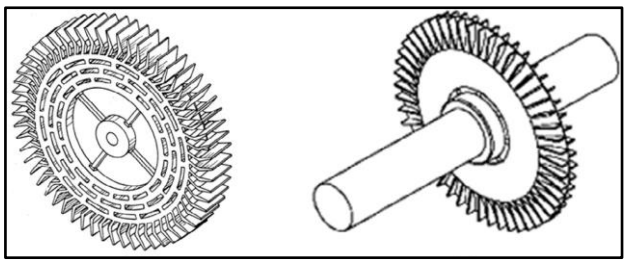
Gambar 2.2. Klasifikasi *displacement pumps* (Tim guru, 2017)

2.1.3. Pompa Peripheral

Pompa peripheral merupakan penggabungan antara pompa sentrifugal dan pompa perpindahan positif (*positve displacement pump*) (Gambar 2.3). Pompa ini menggabungkan antara tekanan keluar yang tinggi dari pompa perpindahan dan operasi yang fleksibel dari pompa sentrifugal.

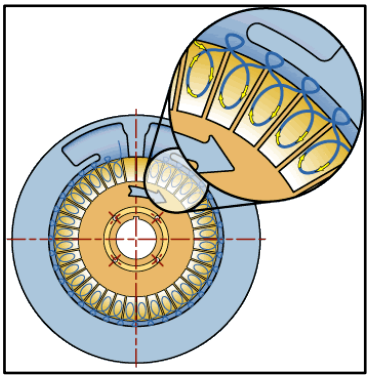
Gambar 2.3. Pompa Peripheral

Pompa peripheral ini cocok untuk memompa cairan yang tidak terkontaminasi. Sebagai contoh untuk pompa umpan boiler pada boiler kecil, sebagai pompa penambah tekanan (*booster pump*), pompa cuci mobil, sebagai pompa untuk industri kimia dan untuk semua aplikasi dimana laju aliran rendah harus dipompa pada tekanan tinggi.

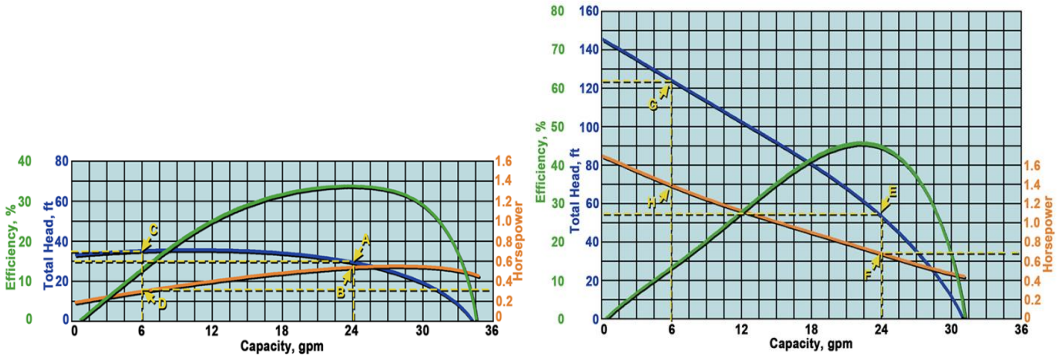


Gambar 2.4. Impeler Pompa Peripheral (Karlsen-Davies & Aggidis, 2016)

Perbedaan utama antara pompa sentrifugal dan peripheral terdapat pada impellernya. Dalam pompa peripheral impellernya didesain khusus berbentuk peripheral dimana impeller tersebut berputar didalam sebuah saluran (Gambar 2.4). Fluida yang memasuki pompa sentrifugal hanya sekali saja melewati impellernya, sehingga kenaikan tekanan hanya terjadi ketika fluida bergerak dari tengah ke ujung impeller.



Gambar 2.5. Sirkulasi Fluida Pada Impeller Pompa Peripheral (Karlsen-Davies & Aggidis, 2016)



Gambar 2.6. Grafik Perbandingan *Head* Pompa Sentrifugal dan Peripheral (Karlsen-Davies & Aggidis, 2016)

Pada pompa peripheral, fluida yang mengalir masuk kemudian dihisap dan diambil oleh impeller. Didalam impeller fluida bersirkulasi ulang membentuk jalur seperti ulir (Gambar 2.5.) sehingga kenaikan tekanan terjadi selama fluida bersirkulasi ulang dari sisi hisap ke sisi buang pompa. Setelah melewati hampir

satu putaran didalam saluran, fluida memiliki kecepatan tinggi yang akan membuatnya keluar. Karena itu tekanan pada yang terjadi pada fluida akan menjadi sangat tinggi (Gambar 2.6.).

Karakteristik lain pompa peripheral adalah bahwa, tidak seperti pompa sentrifugal lainnya, pompa peripheral dapat mengangkut cairan dengan kandungan gas yang relatif tinggi. Bahkan pembentukan gelembung uap yang parah tidak akan menyebabkan aliran terputus atau berdampak besar pada kelancaran pompa. Namun, tentu saja terjadinya kavitasi tetap saja akan berpengaruh pada kinerja pompa peripheral, sehingga tetap harus dilakukan pencegahan untuk mengatasi kavitasi tersebut.

2.1.4. Kehilangan *Head* Pada Pompa

Kehilangan *Head* adalah ukuran pengurangan *Head* total (jumlah *Head* elevasi, *Head* kecepatan dan *Head* tekanan) fluida saat bergerak melalui intalasi perpipaan. Kehilangan *Head* pada pompa dapat terjadi karena 2 hal sebagai berikut :

1. Mayor *Losses* adalah kehilangan *Head* yang terjadi karena gesekan antara fluida dan dinding pipa yang terjadi saat fluida mengalir melalui pipa lurus. Kehilangan *Head* ini berbanding lurus dengan panjang pipa, kuadrat kecepatan fluida, dan faktor gesekan. Namun, berbanding terbalik dengan diameter pipa. (U.S. Department of Energy, 1992). Minor *losses* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$H_L = f\frac{L\ v^2}{D\ 2\ g} \quad \text{.....(1)}$$

Dimana :

H_L = Kehilangan *Head* (m)

f = Faktor Gesekan

L = Panjang Pipa (m)

D = Diameter Pipa (m)

v = Kecepatan Fluida (m/s)

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

2. Mayor *losses* adalah kehilangan *Head* yang terjadi pada intalasi perpipaan karena tekukan, siku, sambungan, katup, dan lain-lain. Kehilangan *Head* ini berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan dan nilai koefisien kehilangan (U.S. Department of Energy, 1992). Nilai koefisien kehilangan (k) untuk situasi dan perlengkapan perpipaan dapat dilihat pada tabel 2.1. Minor *losses* yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$H_L = k\frac{v^2}{2\ g} \quad \text{.....(2)}$$

Dimana :

k = Koefisien Kehilangan

v = kecepatan fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Tabel 2.1. Koefisien kehilangan Pada Perlengkapan Perpipaan (U.S. Department of Energy, 1992).

Valves and Fittings	Opening	K coeffisient
90° elbow standard	-	0,75
90° elbow long radius	-	0,45
45° elbow standard	-	0,35
45° elbow long radius	-	0,2
Coupling / Union	-	0,04
Gate Valve	Open	0,17
	3/4 Open	0,9
	1/2 Open	4,5
	1/4 Open	24
Diaphragma Valve	Open	2,3
	3/4 Open	2,6
	1/2 Open	4,3
	1/4 Open	21
Globe Valve – Plug Disk	Open	9
	3/4 Open	13
	1/2 Open	36
	1/4 Open	112
Angle Valve	Open	2 to 4
Ball Valve	Open	0
	Close 5°	0,05
	Close 10°	0,29
	Close 20°	1,56
	Close 40°	17,3
	Close 60°	206
Butterfly Valve	Open	0
	Close 5°	0,24
	Close 10°	0,52
	Close 20°	1,54

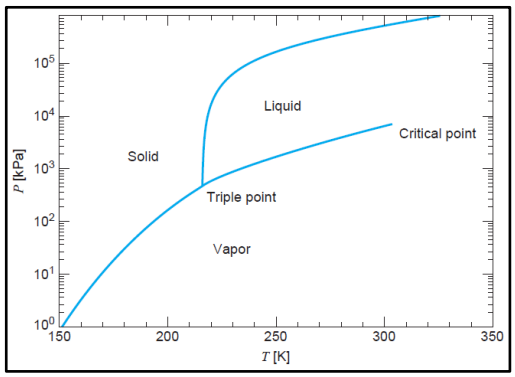
	Close 40°	10,8
	Close 60°	118
Swing Check Valve	-	2

2.1.5. Gangguan Operasi Pompa

Pada instalasi pompa sering dijumpai berbagai kerusakan peralatan, misalnya kerusakan pada katup, pipa, sambungan, dan pada komponen dalam pompa itu sendiri. Kerusakan-kerusakan tersebut diakibatkan oleh gangguan-gangguan yang terjadi selama pompa beroperasi. Gangguan-gangguan yang sering terjadi adalah kavitasi, benturan air (*water hammer*), surjing dan fluktuasi tekanan.

1. Kavitasi

Kavitasi adalah gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir, karena tekanannya berkurang sampai dibawah tekanan uap jenuhnya. Misalnya, air pada tekanan 1 atmosfir akan mendidih dan menjadi uap jenuh pada temperatur 100℃. Tetapi jika tekanan direndahkan maka air akan menguap pada temperatur yang lebih redah. Jika tekanannya cukup rendah maka pada temperatur kamarpun air dapat menguap. (Gambar 2.7.). (Sularso & Tahara, 2006).



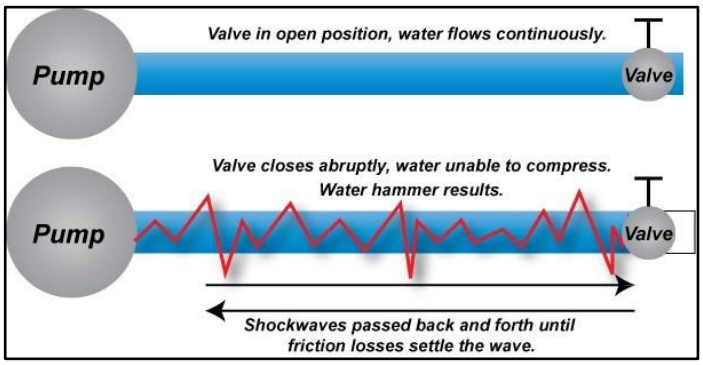
Gambar 2.7. Diagram Fase Air (Borgnakke & Sonntag, 2009)

Apabila zat cair mendidih, maka akan timbul gelembung-gelembung uap zat cair. Hal ini dapat terjadi pada zat cair yang sedang mengalir didalam pompa. Tempat-tempat yang bertekanan rendah dan/atau yang berkecepatan tinggi didalam aliran, sangat rawan terhadap terjadinya kavitasi. Pada pompa misalnya, bagian yang mudah mengalami kavitasi adalah pada sisi hisapnya. Kavitasi akan timbul bila tekanan hisap terlalu rendah.

Jika pompa mengalami kavitasi, maka akan timbul suara berisik dan getaran. Ketika pompa tetap digunakan dalam keadaan kavitasi secara terus menurus dalam jangka lama, maka permukaan dinding saluran dan komponen pompa yang disekitar aliran yang berkavitasi akan mengalami kerusakan (Sularso & Tahara, 2000). Sehingga kavitasi yang terjadi harus segera dideteksi, salah satu metode deteksi kavitasi yang sering digunakan yaitu dengan menggunakan spektrum getaran.

2. Benturan Air (*Water Hammer*)

Water hammer adalah fenomena terjadinya fluktuasi tekanan yang diakibatkan oleh penutupan katup yang cepat ataupun matinya pompa secara tiba-tiba. Hal ini akan berdampak buruk terhadap instalasi perpipaan terutama pipa sebagai jalur utama fluida dialirkan. Perubahan tekanan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terjadinya dampak yang buruk bagi sistem perpipaan, diantaranya adalah rusaknya atau pecahnya pipa dengan konsekuensi seluruh system peralatan harus mati total. *Water hammer* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



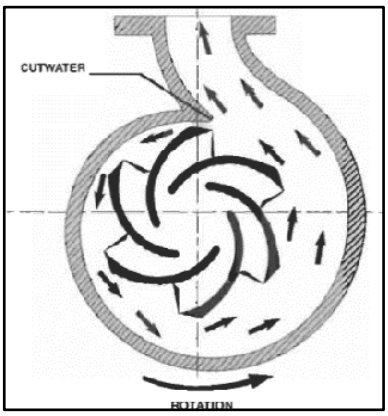
Gambar 2.8. *Water Hammer* (Mahardika & Budiyanto, 2019)

3. Gejala Surjing

Gejala surjing sering terjadi pada operasi pompa, yang mengakibatkan laju aliran berubah-ubah secara periodik dan pada aliran terjadi fluktuasi tekanan. Gejala ini timbul karena pompa beroperasi dengan *Head* yang semakin menurun dan *Head* sistem yang naik. Atau, *Head* pompa tidak mampu mengatasi *Head* dari sistem secara normal. Untuk mecegah surjing harus dipilih pompa dengan *Head* yang cukup tinggi, sehingga pada waktu pompa *Head* nya menurun tidak sampai terjadi surjing.

4. Fluktuasi Tekanan

Gejala tekanan yang berubah-ubah atau berfluktuasi sepanjang aliran banyak terjadi pada pompa sentrifugal. Didalam pompa ada daerah antara sisi luar impeler dan ujung dari volut yang apabila setiap kali impeler berputar dan melewati daerah ini, tekanan zat cair akan berdenyut. Denyut yang terus-menerus akan dirasakan sebagai fluktuasi tekanan yang merambat pada zat cair didalam pipa keluar. Apabila denyut tekanan zat cair beresonansi dengan kolom air akan menyebabkan getaran dan bunyi. Fluktuasi tekanan dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Fluktuasi Tekanan Pada Pompa Sentrifugal (Berli, 2015)

2.1.6. Performa Pompa

Performa pompa yang utama adalah kapasitas discharge atau laju aliran (Q), dan *Head* total pompa (H). Kedua parameter tersebut harus diketahui dalam pemilihan pompa, disamping karakteristik lainnya seperti efisiensi, daya, putaran dan lain sebagainya. (Made, 2016) Cara untuk menentukan nilai-nilai dari performa pompa yang telah dikemukakan diatas akan diuraikan sebagai berikut dan disesuaikan dengan perhitungan dengan *Edibon Practical Exercise Manual Multipump Testing Bench* :

1. Kapasitas Pompa (Q)

   Kapasitas adalah banyaknya air yang mengalir dalam satu satuan waktu contohnya meter kubik per sekon (m^3/s) atau liter per menit (l/min). Dari ilmu mekanika fluida debit air yang mengalir dari suatu tempat penampungan ditentukan oleh kecepatan aliran dan luas penampang alirannya.

$$Q = A \cdot v \quad \text{.....} (2)$$

Dimana :

A = Luas penampang aliran (m^2)

v = Kecepatan aliran (m/s)

2. *Head* Total Pompa (H)

Head merupakan tinggi tekanan yang dihasilkan oleh pompa. *Head* pada umumnya dinyatakan dalam tinggi kolom air dan umumnya dalam satuan meter. Pada dasarnya, pompa meningkatkan tekanan fluida antara saluran masuk dan keluar. Dengan mempertimbangkan aliran stasioner dan mengecualikan viskositas dan efek pipa panas, maka perubahan ini diwakili oleh ketinggian kolom air (H) (Edibon, 2011) :

$$H = \left(\frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z\right)_2^{\text{outlet}} - \left(\frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z\right)_1^{\text{inlet}} = h_s - h_f \quad \text{.....(3)}$$

Dimana h_s adalah *Head* yang diberikan oleh pompa dan h_f adalah kerugian *Head* yang terjadi . Dalam kondisi normal, bagian saluran masuk dan keluar pompa apa pun sama ($A_1 = A_2$) dan dengan mempertimbangkan bahwa semua fluida yang masuk ke pompa sama dengan yang keluar, maka kecepatan saluran masuk dan keluar pompa cairannya sama ($v_1 = v_2$). Jadi ketinggian manometrik pada dasarnya sebanding dengan kenaikan tekanan statis, yaitu :

$$H \approx \frac{P_2 - P_1}{\rho g} = \frac{\Delta P}{\rho g} + (z_2 - z_1) \quad \text{.....(4)}$$

Dimana :

H = Tinggi total pompa (m)

P_1 = Tekanan masuk pompa (bar)

P_2 = Tekanan keluar pompa (bar)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

z_1 = Tinggi elevasi hisap pompa (m)

z_2 = Tinggi elevasi buang pompa (m)

3. Daya Hidrolis Pompa (P_w)

Daya hidrolis pompa adalah daya yang diberikan pompa kepada fluida sama dengan massa jenis fluida dan tinggi pompa. Dapat dituliskan dengan persamaan berikut :

$$P_w = \rho g Q H \quad \text{.....} (5)$$

dimana P_w adalah daya hidrolis pompa dengan satuan watt.

4. Daya Input Pompa (P_f)

Daya input pompa adalah daya mekanis yang diberikan ke pompa oleh motor dan dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_f(W) = \omega(\text{rad/sec})\, T(Nm) = \frac{2\pi}{60} n(\text{rpm}) T(Nm) \quad \text{.....} (6)$$

dimana ω adalah kecepatan sudut dalam (rad/sec), n kecepatan putar dalam (r.p.m.) dan T torsi disumbu dalam (N·m), untuk mendapatkan daya dalam Watt.

5. Effisiensi Pompa (η)

Efisiensi pemompaan didefinisikan sebagai daya hidrolik antara tenaga mekanik, yaitu, hasil bagi antara daya yang diberikan untuk fluida dan daya yang diberikan ke pompa oleh motor penggerak :

$$\eta = \frac{P_w}{P_f} = \frac{\rho g Q H}{\omega T} = \frac{\rho g Q H}{\frac{2\pi}{60} n T} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

Jika tidak ada kerugian, $P_w = P_f$, dan efisiensinya 100%.

6. Putaran Spesifik Pompa (N_s)

Dari grafik efisiensi pompa, ambil nilai kapasitas aliran dan tinggi manometrik (H*, Q*) pada titik efisiensi maksimum yang sesuai dengan kecepatan putaran n yang diberikan (r.p.m). Untuk kecepatan putaran itu, hitung kecepatan spesifik sesuai dengan persamaan :

$$N_s = \frac{n\sqrt{Q^*}}{H^{*3/4}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

7. NPSH (*Net Positive-Suction Head*) dan Bilangan Thoma

$NPSH_A$ (*Net Positive-Suction Head Available*) adalah tinggi tekan yang tersedia disaluran masuk pompa untuk menghindari kavitasi atau penguapan cairan. Saluran masuk pompa atau area isap adalah area dimana tekanan lebih rendah dan dimana kavitasi dapat terjadi . NPSH didefinisikan sebagai :

$$NPSH_A = \frac{P_a}{\rho g} + \frac{{v_1}^2}{2g} - \frac{P_v}{\rho g} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

Dimana P_1 dan v_1 adalah tekanan dan kecepatan disaluran masuk pompa dan P_v adalah tekanan uap cairan. Jika saluran masuk pompa berada pada ketinggian z_1 diatas tangki yang permukaan bebasnya pada tekanan Pa, kita dapat menggunakan persamaan Bernoulli untuk menulis ulang NPSH sebagai :

$$\mathrm{NPSH_A} = \frac{\mathrm{P_a}}{\rho g} \pm z_1 - h_{fi} - \frac{\mathrm{P_v}}{\rho g} \quad \text{.....(10)}$$

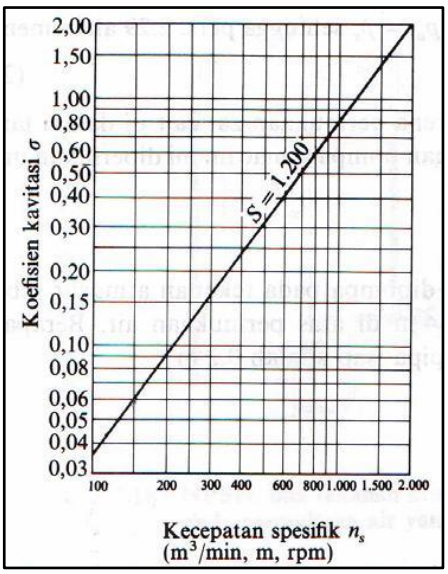
Dimana h_{fi} adalah kehilangan tinggi antara tangki dan saluran masuk pompa. Mengetahui P_a dan h_{fi}, kita dapat menempatkan pompa pada ketinggian z_i sehingga NPSHa lebih besar dari NPSHr.

$NPSH_R$ (*Net Positive-Suction Head Required*) ini biasanya dapat diperoleh dari pabrik pembuat pompa. Namun, sebagai pendekatan kasar dapat dihitung dengan konstanta kavitasi thoma (σ) seperti yang diuraikan pada persamaan dibawah ini.

Jika $NPSH_R$ pompa pada titik efisiensi maksimum dinyatakan $NPSH_R^*$, maka konstanta kavitasi thoma dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{\mathrm{NPSH_R}^*}{\mathrm{H}^*} \quad \text{.....(11)}$$

Dalam hal ini kontanta kavitasi thoma dapat ditentukan dengan menggunakan Gambar 2.9. dan $NPSH_R$ dapat ditaksir dengan grafik sebagai berikut :



Gambar 2.10. Konstanta Kavitasi Thoma (Sularso & Tahara, 2006)

$$NPSH_R^* = \sigma H^* \quad (12)$$

NPSH tersebut diatas sangat penting untuk dihitung untuk mengecek kemungkinan terjadinya kavitasi pada instalasi pompa. Syarat agar tidak terjadi kavitasi adalah

$$NPSH_A > NPSH_R \quad (13)$$

Jadi $NPSH_A$ yang tersedia harus lebih besar dari $NPSH_R$ yang dibutuhkan pompa.

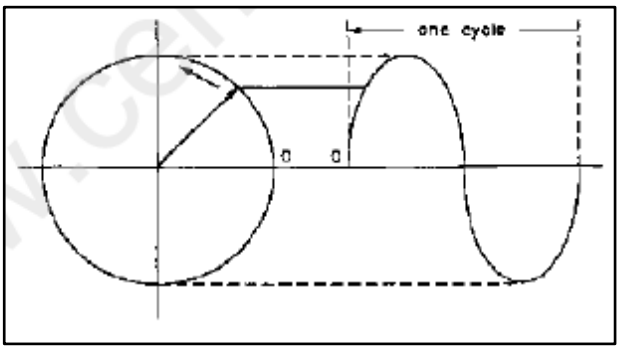
2.2. Getaran

2.2.1. Definisi Getaran

Getaran adalah gerakan bolak-balik dalam suatu interval waktu tertentu. Semua benda yang mempunyai massa dan elastisitas mampu bergetar, jadikebanyakan mesin dan struktur rekayasa (*engineering*) mengalami getaran sampai derajat tertentu dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat osilasinya. Gerakan bolak-balik ini bisa terjadi secara harmonik, periodik, dan / atau acak. Gerakan acak berarti mesin bergerak dengan cara yang tidak terduga.

1. Gerak Harmonik

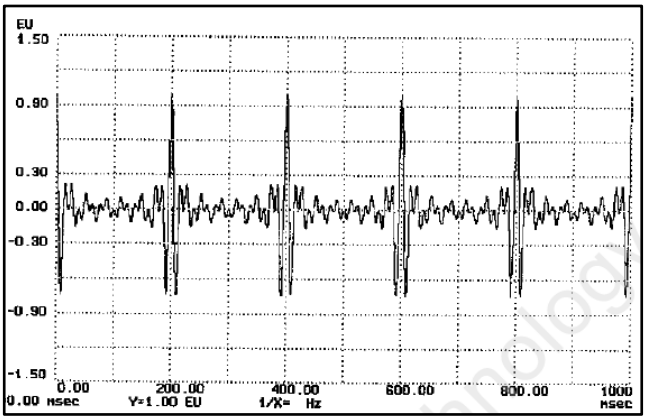
Gerak harmonik adalah gerak bolak-balik secara teratur melalui titik keseimbangannya dengan banyaknya getaran benda dalam setiap sekon selalu sama atau konstan. Semua gerak harmonik bersifat periodik, artinya berulang dibeberapa titik waktu (Gambar 2.11). Dalam sistem linier, ketidakseimbangan dalam peralatan berputar dapat menghasilkan gerakan harmonis. Namun, dengan banyak variabel seperti masalah gigi, kelonggaran, cacat bantalan, misalingment, dll, gerak harmonik semacam itu tidak sering ditemukan. (James, 2003)



Gambar 2.11. Gerak Harmonik (James, 2003)

2. Gerak Periodik

Gerakan periodik adalah semua gerakan yang berulang secara berkala. Gerakan periodik adalah setiap gerakan yang tergulangi sendirinya dalam periode waktu yang sama (Gambar 2.12.). Misalnya, kopling motor yang tidak selaras dan longgar dapat memiliki tonjolan sekali per putaran poros. Meskipun gerakan ini tidak harmonis, ini adalah gerakan periodik. (James, 2003)

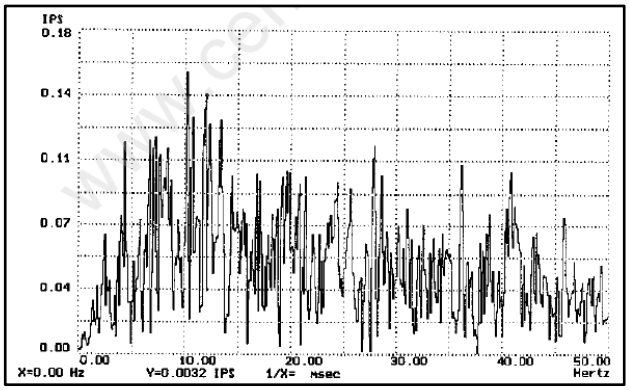


Gambar 2.12. Gerak Periodik (James, 2003)

3. Gerak Acak

Gerak acak adalah gerakan yang terjadi secara tidak menentu dan tidak dapat diulang. Contohnya adalah hujan yang menghantam atap dan pin bowling yang terjatuh. Gerak acak juga disebut noise. Sinyal waktu dari

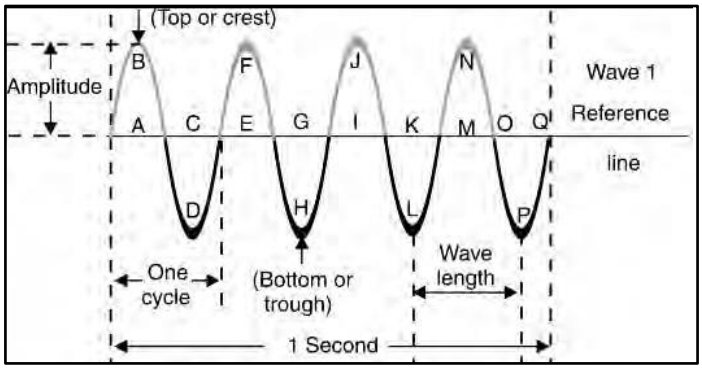
gerak acak ini akan berisi semua frekuensi dalam rentang yang diberikan (Gambar 2.13.). Seringkali, gerakan acak dalam mesin disebabkan oleh kelonggaran yang parah. (James, 2003)



Gambar 2.13. Gerak Acak (James, 2003)

2.2.2. Karakteristik Getaran

Mengacu pada pergerakan pegas, kita dapat mempelajari karakteristik getaran dengan memetakan pergerakan pegas sebagai fungsi waktu. Karakteristik getaran yang penting lainnya dapat dilihat pada Gambar 2.14.



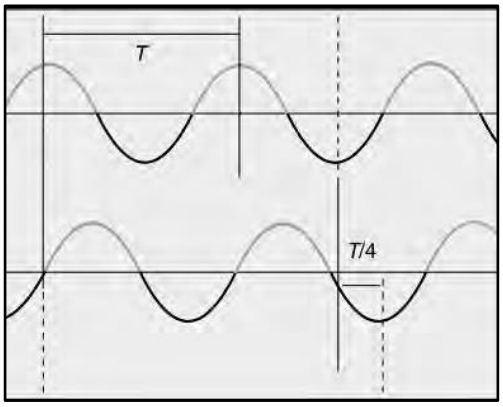
Gambar 2.14. Karakteristik Getaran (Scheffer dan Girdhar, 2004)

1. Frekuensi getaran (*vibration displacement*) menunjukkan jumlah gerakan bolak-balik (satu siklus lengkap) per unit waktu. Hubungan antara frekuensi dan periode getaran dapat dinyatakan dengan rumus sederhana : frekuensi = 1 / periode. Frekuensi getaran biasanya

dinyatakan sebagai jumlah siklus getaran yang terjadi setiap menit (CPM = Siklus per menit). Misalnya, mesin bergetar 60 kali dalam 1 menit maka frekuensi getaran motor adalah 60 CPM, frekuensi juga dapat dinyatakan dalam CPS (siklus per detik) atau dalam Hertz

2. Perpindahan Getaran (*vibration displacement*) adalah jarak yang ditempuh dari satu puncak ke puncak getaran lainnya. Perpindahan biasanya dinyatakan dalam satuan mikron (μm) atau mil. (1 μm = 0.001 mm dan 1 mils = 0.001 inch).
3. Kecepatan Getaran (*vibration velocity*). Karena getaran adalah gerakan, sehingga memiliki kecepatan. Dalam gerak periodik kecepatan maksimum terjadi pada saat posisi netral, sedangkan kecepatan minimum adalah pada saat posisi puncak (*peak*). Kecepatan getaran ini biasanya dinyatakan dalam mm/det. Karena kecepatan ini selalu berubah secara sinusoidal, mm/detik (nilai rms) sering digunakan. Kadang-kadang juga digunakan dalam satuan inci/detik(*peak*) atau inci/detik(rms). 1 inci = 25,4 mm.
4. Percepatan Getaran (*vibration acceleration*) adalah fitur getaran penting lainnya. Pada saat posisi puncak kecepatan getaran sama dengan nol tetapi dibagian ini, akselerasi akan maksimum. Pada saat posisi netral, akselerasi getaran adalah nol. Secara teknis, akselerasi adalah laju perubahan kecepatan. Akselerasi getaran biasanya dinyatakan dalam satuan puncak gs, dimana g adalah akselerasi yang disebabkan oleh gaya gravitasi dipermukaan bumi.

5. *Phase* Getaran**.** Pengukuran *phase* getaran memberikan informasi untuk menentukan bagaimana suatu bagian bergetar relatif terhadap bagian yang lain, atau untuk menentukan posisi suatu bagian yang bergetar pada suatu saat, terhadap suatu referensi atau terhadap bagian lain yang bergetar dengan frekuensi yang sama. *Phase* getaran dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. *Phase* Getaran (Scheffer dan Girdhar, 2004)

2.2.3. Metode Spektrum Getaran

Metode spektrum getaran digunakan untuk menentukan kondisi operasi dan mekanik peralatan. Keuntungan utama adalah bahwa metode spektrum getaran dapat mengidentifikasi masalah yang berkembang sebelum mereka menjadi terlalu serius dan menyebabkan *downtime* yang tidak terjadwal.

Semua mesin yang berputar menghasilkan getaran yang merupakan fungsi dari dinamika mesin tersebut, seperti *misalignment* dan *unbalance* dari bagian-bagian yang berputar. Mengukur amplitudo getaran pada frekuensi tertentu dapat memberikan informasi berharga tentang keakuratan, kelurusan dan keseimbangan poros, kondisi bantalan atau roda gigi, dan efeknya pada mesin karena resonansi dari selubung, pipa dan struktur lainnya. Pengukuran spektrum getaran adalah

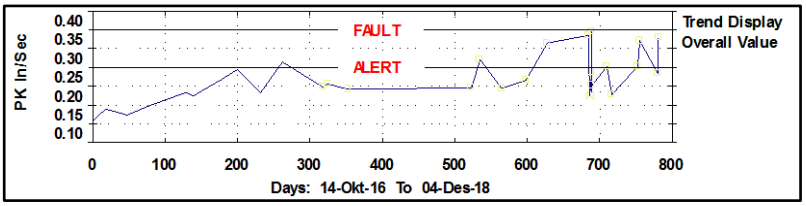
metode yang efektif dan tidak mengganggu untuk memantau kondisi alat berat saat *start-up*, *shutdown*, dan operasi normal. Metode spektrum getaran digunakan terutama pada peralatan berputar seperti turbin uap dan gas, pompa, motor, kompresor, mesin kertas, pabrik *rolling*, peralatan mesin dan *gearbox*. (Scheffer dan Girdhar, 2004).

Ini bisa dicapai dengan melakukan pemantauan berkala getaran mesin baik secara terus menerus atau pada interval terjadwal. Pemantauan getaran secara teratur dapat mendeteksi bantalan yang memburuk atau rusak, kerugian mekanis dan gigi aus atau rusak. Metode spektrum getaran juga dapat mendeteksi ketidakselarasan dan ketidakseimbangan sebelum kondisi ini menyebabkan kerusakan pada bantalan atau poros. (Scheffer dan Girdhar, 2004).

Pada dasarnya data getaran dapat ditampilkan dalam 3 bentuk grafik yaitu :

1. Data *Overall*

Data *overall* adalah pengukuran yang tidak difilter pada daerah frekuensi tertentu. Tujuannya adalah memperoleh Gambaran kondisi mesin secara umum. Contoh data *overall* dapat dilihat pada Gambar 2.16.



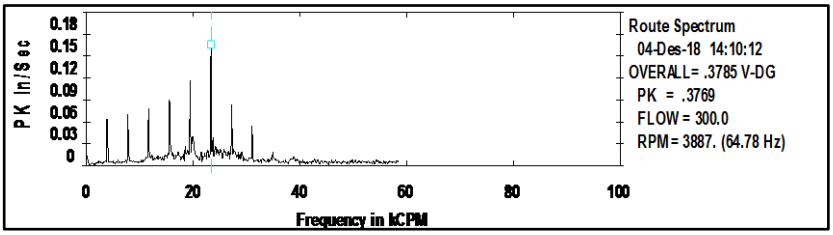
Gambar 2.16. Data *Overall* (Algazali, 2019)

2. Data Spektrum

Data spektrum adalah data yang digunakan untuk menemukan masalah dan penyebabnya dengan mengkaji pola perbandingan besarnya

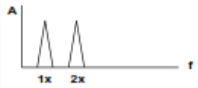
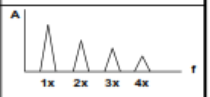
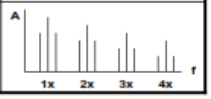
amplitudo getaran pada semua frekuensi yang mungkin terjadi. Contoh data spektrum dapat dilihat pada Gambar 2.17.

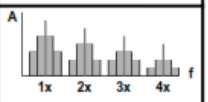
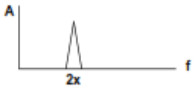
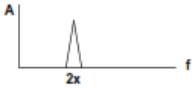
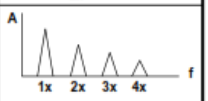
Dilihat dari tingkat keberhasilan dalam mendeteksi kelainan dan kerusakan mesin berdasarkan tingkat getarannya maka analisa spektrum merupakan cara yang paling berguna dibandingakan dengan cara analisa orbit maupun analisa fasa. Hal ini juga telah dibuktikan bahwa 85% masalah mekanis pada rotating machinery dapat diidentifikasikan dengan cara melihat pada hasil pengukuran amplitude getaran vs frekuensi ini. (Algazali, 2019)



Gambar 2.17. Data Spektrum (Algazali, 2019)

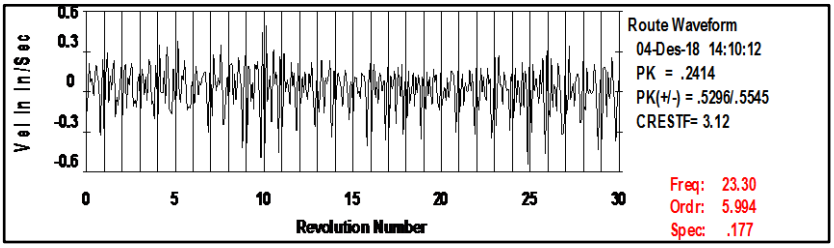
Tabel 2.2. Spektrum Getaran dan Penyebabnya (Algazali, 2019)

PENYEBAB	AMPLITUDO	FREKUENSI	FASE	KETERANGAN	GAMBAR SPECTRUM
1. Unbalance	Sebanding dgn ketidak balance, dominan pd radial (2x aksial)	1 x rpm	Single reference mark	Kondisi sering ditemui	
2. Misalignment kopling atau poros bengkok	Dominan pd aksial, 50% atau lebih dari arah radial	Sering 1 x & 2 x rpm. Kadang 3 x rpm	Single double triple	Ditandai timbulnya vibrasi aksial. Gunakan alat laser-alignment. Apabila mesin baru dipasang terjadi vibrasi, maka kemungkinan besar karena misalignment.	
3. Anti friction bearing buruk	Tidak stabil, ukur acceleration untuk freq. tinggi	Sangat tinggi, beberapa kali Rpm, 1x, 2x, 3x, 4x … 10x… x	Tdk tentu, Berubah-rubah	Vibrasi akan timbul apabila bearing sdh parah. Gunakan enveloping & shockpulse	
4. Sleeve, metal, Jurnal bearing (friction bearing)	Tidak besar, aksial lebih tinggi	1 x rpm, seolah-olah seperti unbalance	Single	pd rodagigi vibrasi segaris dengan pusat kontak. pd motor/gen vibrasi hilang bila mesin dimatikan. pd pompa/blower kemungkinan unbalance	
5. Rodagigi buruk atau bersuara	Rendah, ukur kecepatan & percepatan, gunakan accel.	Sangat tinggi Jumlah gigi x rpm	Tdk tentu	Awal rusak bersuara, semakin lama keras. Vibrasi biasanya dalam toleransi.	

PENYEBAB	AMPLITUDO	FREKUENSI	FASE	KETERANGAN	GAMBAR SPECTRUM
6. Gear mesh buruk atau bersuara pada saat start/stop	Rendah, ukur kecepatan & percepatan, gunakan accel.	Sangat tinggi Jumlah gigi x rpm	Tdk tentu	Sering terjadi pada saat pemasangan	
7. Mechanical looseness (Housing bearing aus)	Tinggi pada aksial	2 x rpm	2 referensi agak kacau	Sering bersamaan dgn unbalance / misalignment	
8. Mechanical Looseness (Pondasi kendor – dudukan lemah/karatan – baut kendor)	Tinggi pada vertikal	Kurang dari 1 x rpm	Tdk tentu	Kencangkan baut Untuk memastikan	
9. Mechanical looseness (Pondasi melengkung)	Tinggi pada vertikal, horizontal & aksial	2 x rpm	2 referensi agak kacau	Sering bersamaan dgn unbalance / misalignment	
10. Drive belt buruk	Tdk tentu/berpulsa	1,2,3 atau 4 x rpm belt	1 atau 2 tergantung frekuensi, tdk tetap	Biasanya terjadi karena belt tdk berada pada tempatnya secara sempurna.	

3. Data waveform

Data waveform adalah grafiik *Amplitudo vs Time*. *Data waveform* adalah data gabungan antara beberapa putaran beda yang akan menghasilkan data *waveform* yang akan menghasilkan grafik yang lebih spesifik, yang akan dibaca dengan FFT (*fast fourier transform*) yang akan menghasilkan data *spectrum.* Contoh data *waveform* dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18. Data *Waveform* (Algazali, 2019)

2.2.4. Standar *Vibration* ISO 10816

Standar ini dapat digunakan untuk menentukan tingkat getaran yang dapat diterima bagi berbagai kelas permesinan. Dengan demikian, untuk menggunakan standar ini, pertama-tama perlu mengklasifikasikan permesinan yang akan diuji

sesuai Tabel 2.2. yang menunjukkan pedoman bagi kelayakan permesinan (ISO 10186-1:1995).

Tabel 2.3. Standar *Vibration* ISO 10816

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816						
Machine			Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
	in/s	mm/s				
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28				
	0.02	0.45				
	0.03	0.71		good		
	0.04	1.12				
	0.07	1.80				
	0.11	2.80		satisfactory		
	0.18	4.50				
	0.28	7.10		unsatisfactory		
	0.44	11.2				
	0.70	18.0				
	0.71	28.0		unacceptable		
	1.10	45.0				

Dengan membaca tabel diatas kita dapat mengkaitkan kondisi kerusakan permesinan dengan getaran sebagai monitoring perawatan berbasis kondisi. Standar yang digunakan adalah parameter kecepatan (rms) untuk mengindikasikan kerusakan. Warna – warna seperti terlihat pada Tabel mengklasifikasikan tingkat keparahan sesuai dengan kelas permesinan, sebagai berikut:

a. Zona Good, getaran dari mesin sangat baik dan dibawah getaran yang diizinkan.

b. Zona Satisfactory, getaran dari mesin baik dan dapat dioperasikan karena masih dalam batas yang diizinkan.

c. Zona Unsatisfactory, getaran dari mesin dalam batas toleransi dan hanya dioperasikan dalam waktu terbatas.

d. Zona unacceptable, getaran dari mesin dalam batas berbahaya dan kerusakan dapat terjadi pada mesin.

e. Class I, bagian mesin dan motor listrik terpisah, secara integral bagian mesin dikaitkan sebagai permesinan lengkap dalam kondisi pengoperasian normal (motor listrik sampai 15 kW)

f. Class II, peralatan permesinan berukuran sedang (*motor* listrik dengan output 15-75 kW) tanpa fondasi khusus, mesin terpasang mati (hingga 300 kW) dengan fondasi khusus.

g. Class III, mesin dengan penggerak utama yang lebih besar dan mesin-mesin besar lainnya dengan *rotating masses* terpasang mati pada fondasi padat dan fondasi berat yang indikatornya sulit bagi penjalaran getaran.

h. Class IV, mesin dengan penggerak utama yang lebih besar dan mesin-mesin besar lainnya dengan rotating masses-terpasang pada fondasi yang indikatornya mudah bagi pengukuran getaran