

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PENGERTIAN KELURUSAN

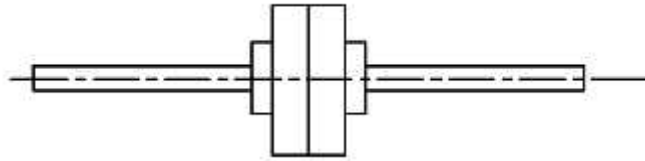
Kelurusan poros adalah posisi yang tepat dari garis sumbu penggerak dan komponen yang digerakkan (*gearbox*, pompa, dll). Penyelarasan dicapai melalui *shimming* atau *moving* komponen penggerak atau ketiganya. Tujuannya adalah untuk memperoleh sumbu rotasi pada operasi kesetimbangan dua pasang poros yang digabungkan dengan komponen *driven* (yang digerakkan) yang digabungkan dengan *shaft*.

Poros harus selaras sempurna untuk memaksimalkan kehandalan mesin, terutama untuk mesin yang memiliki kecepatan yang tinggi. Untuk memperoleh keselarasan, hal penting yang harus diperhatikan, mesin dan komponen *driven* yang langsung dihubungkan dengan *shaft* (poros) yang ditambahkan mesin yang terpisah, menurut jarak atau bahkan menggunakan kopling fleksibel. Hal ini penting karena apabila terjadi *misalignment* dapat mengakibatkan tingkat getaran yang tinggi, yang menyebabkan mesin cepat panas, putaran mesin tidak teratur, dan mengakibatkan mesin sering membutuhkan perbaikan.

Kelurusan poros dapat mengurangi konsumsi daya dan tingkat kebisingan, dan dapat membantu mencapai umur desain bantalan, segel, dan kopling lebih lama dan awet. Prosedur kelurusan poros didasarkan pada asumsi bahwa satu motor penggerak komponen *stasioner*, tingkat, dan didukung oleh plat dasar. Kedua keselarasan sudut dan *offset* harus dilakukan dalam arah vertikal dan bidang horizontal, yang dilakukan dengan menaikkan atau menurunkan komponen mesin yang lain atau memindahkan peralatan secara horizontal untuk menyelaraskan dengan rotasi dari poros stasioner. Komponen yang bergerak yang dipilih sebagai mesin yang akan dipindahkan MTBM (*Machine To Be Moved*) atau mesin yang akan di-*shimmed* (*Machine To Be Shimmed / MTBS*). MTBM mengacu pada koreksi pada bidang horizontal, sedangkan MTBS mengacu pada koreksi pada bidang vertikal. Ada beberapa kondisi keselarasan, yaitu keselarasan sempurna, *offset* atau *parallel misalignment*, dan *misalignment* sudut atau *angular misalignment*.

2.1.1 Kelurusan Sempurna

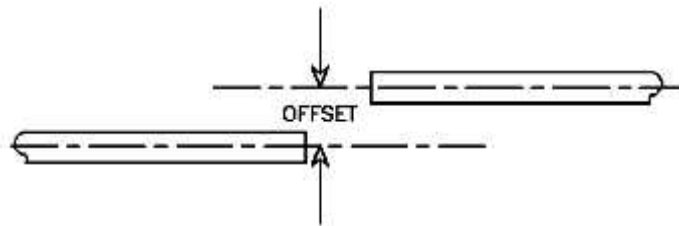
Dua poros yang segaris lurus / sejalan secara sempurna dan beroperasi sebagai poros, sangat jarang ditemukan tanpa prosedur kelurusan yang dilakukan pada poros tersebut. Selain itu, keadaan lurus sempurna harus selalu dipantau secara teratur untuk menjaga kondisi kelurusan yang sempurna. Contoh gambaran dari keterangan tadi:



Gambar 2.1 Kelurusan Sempurna (R. Keith Mobley (2004:74))

2.1.2 *Offset / Parallel Misalignment*

Offset juga disebut sebagai *parallel misalignment*, mengacu pada jarak antara dua garis sumbu dan umumnya diukur dalam seperseribu inchi. *Offset* bisa dalam bidang vertikal atau horizontal. Gambar berikut menunjukkan dua *shaft* yang sejajar satu sama lain tetapi tidak *co-linear*. Secara teoritis, *offset* diukur di tengah sambungan.



Gambar 2.2 *Offset / Parallel Misalignment* (R. Keith Mobley (2004:75))

2.1.3 *Misalignment Sudut / Angular Misalignment*

Misalignment sudut mengacu pada kondisi ketika poros tidak paralel tetapi berada dalam konstruksi yang sama, tetapi juga tidak ada *offset*. Berikut ilustrasi gambar *misalignment* sudut:



Gambar 2.3 *Misalignment* Sudut (R. Keith Mobley (2004:75))

2.2 KESEJAJARAN

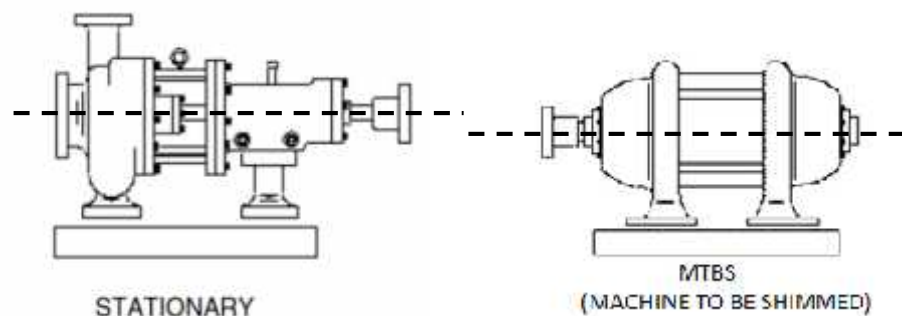
Ada dua misalignment yang benar, yaitu: vertical dan horizontal. Oleh karena itu, dalam kasus ini setidaknya dua mesin antara penggerak (motor listrik) dengan *driven* atau yang digerakkan (*gearbox* dan pompa), ada empat jenis misalignment yang dapat terjadi, yaitu: *vertical offset*, kekakuan karena kekurusan 9ertical, *horizontal offset*, dan horizontal kekakuan karena kekurusan. Semua hal ini dapat terjadi dalam kombinasi apapun.

2.2.1 Vertikal

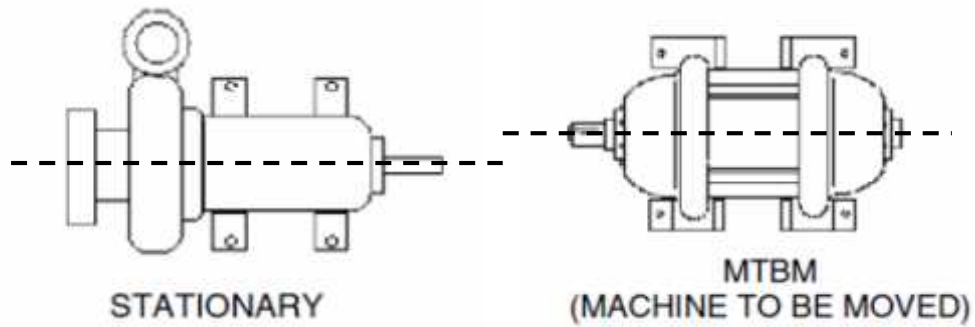
Kedua *misalignment* sudut dan *offset* dapat terjadi dalam bidang 9ertical. *Vertical misalignment* dapat dikoreksi dengan menggunakan *shims*, ilustrasi digambarkan dalam *side-view*.

2.2.2 Horizontal

Kedua *offset* dan *misalignment* sudut dapat terjadi pada bidang horizontal. *Shim* tidak dapat digunakan untuk mengoreksi *misalignment horizontal*, ilustrasi digambarkan dalam gambar *top-view*. Jenis *misalignment* adalah dikoreksi dengan cara fisik atau memindahkan MTBM tersebut.



Gambar 2.4 *Vertical Misalignment* (R. Keith Mobley (2004:80))

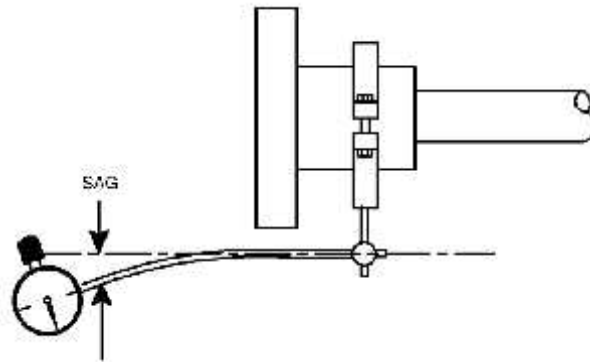


Gambar 2.5 *Horizontal Misalignment* (R. Keith Mobley (2004:80))

2.3 SAG INDICATOR

Sag indicator adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kelenturan pemasangan perangkat keras sebagai indikator yang diputar dari posisi teratas ke posisi bawah selama prosedur keselarasan. *Bending* dapat menyebabkan kesalahan yang signifikan dalam pembacaan indikator yang digunakan untuk menentukan misalignment vertikal, terutama di *rim* dan permukaan pembacaan.

Tingkat dimana pemasangan *sag indicator* tergantung pada panjang dan kekuatan materi perangkat keras. Untuk memastikan bahwa pembacaan yang benar diperoleh, yang diperlukan adalah menentukan angka yang tertera pada *sag indicator*. Dalam peralatan untuk memperbaiki bagian bawah atau 06:00 bacaan sebelum memulai proses penyelarasan.



Gambar 2.6 *Dial Sag Indicator* (R. Keith Mobley (2004:85))

Dial indicator terdiri dari jepit poros, yang menjepit batang sambungan luar, ketika poros keduanya sempurna dan sejalan. Pemasangan batang harus sejajar dengan sumbu rotasi poros. Namun kelengkungan batang atau *sag* dengan jumlah tertentu diukur dalam mils (seper seribu inchi) karena berat sambungan batang dan pembacaan indicator melekat pada ujung batang. *Sag indicator* yang baik ditentukan dengan *me-mount dial indicator* di atas pipa lurus panjang yang sama seperti pada aplikasi yang sebenarnya. Memposisikan nol *dial indicator* pada pukul 12 atau tegak lurus, kemudian berputar 180 derajat ke posisi pukul 6. Apabila pembacaan yang diperoleh menjadi angka negative berarti ukuran indicator pemasangan berotasi sebesar 180 derajat, rotasi tersebut disebut faktor *sag*.

Dial indicator mempunyai tiga metode penyetaraan terhadap mesin. Metode ini adalah (1) metode dua indicator yaitu dengan pembacaan diambil pada mesin stasioner, (2) metode dua indicator dengan pembacaan yang diambil pada mesin yang akan di *shimmed*, dan (3) metode terbalik indicator. Pada metode 1 dan 2 sering dianggap sebagai satu metode yang sama, yang disebut sebagai *rim and face*.



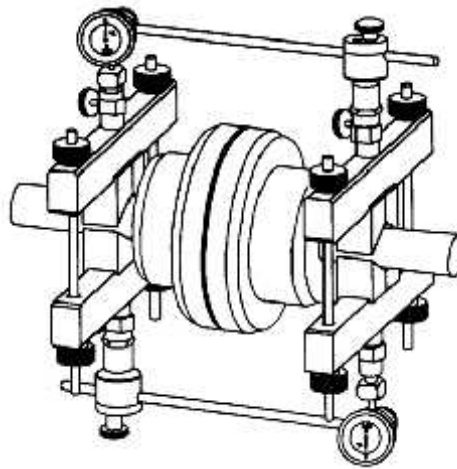
Gambar 2.7 *Dial Indicator*

Gambar *Dial Indicator* di atas memperlihatkan indicator yang umum yang sering disebut dengan pengukur *runout*. Sebuah *dial indicator* yang memiliki instrument yang baik adalah bantalan polos, dan bagian presisi lainnya dirancang untuk menghasilkan pengukuran yang akurat. Hal ini dimungkinkan untuk melakukan pengukuran mulai dari seperseribu (10 micron atau 0,01 mm). Titik kontak poros melekat ke *spindle* dan rak. Ketika terjadi persimpangan, *spindle* akan bergerak, gerakan ini ditransmisikan ke sebuah *pinion* melalui serangkaian roda gigi, dan pada penunjuk tangan atau *pointer* menggerakkan jarum petunjuk pada *dial indicator* untuk memperlihatkan hasil data yang terbaca di suatu pengukuran.

Pengukuran yang diambil dengan perangkat ini didasarkan pada titik referensi di “posisi nol (0)”, yang didefinisikan sebagai *fixture* keselarasan di bagian atas poros yang disebut sebagai posisi pukul 12. Untuk melakukan prosedur keselarasan, pembacaan juga diperlukan pada posisi pukul 3, 6, dan 9. Sangat penting untuk memahami pembacaan data yang tergantung lokasi pengambilan data tersebut. Pembacaan rim diperoleh dari

poros yang diputar dan batang *dial indicator* kontak poros pada sudut 90 derajat. Pembacaan pada permukaan digunakan untuk menentukan *misalignment* sudut, yang diperoleh dari poros yang diputar pada posisi batang sejajar dengan garis tengah poros yang menyentuh permukaan poros sambungan.

Ada juga metode pengukuran dengan *Reverse Dial Indicator*, yaitu teknik pengukuran *offset* pada dua titik, dan jumlah horizontal dan koreksi vertikal untuk *offset* dan kekakuan karena kekurusan. Biasanya diambil secara simultan pada masing-masing empat posisi (pukul 12, 3, 6, dan 9) untuk mesin yang bergerak (MTBS / MTBM) dan mesin stasioner. Seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.8 Pengukuran Metode *Reverse Dial Indicator* (R. Keith Mobley (2004:90))

Konfigurasi dan pembacaan ganda *runout* yang baku dipasang pada perlengkapan khusus yang melekat pada kedua *shaft*. Alat pengukur *runout* dipasang pada *shaft*, sehingga kedua pembacaan poros dapat diperoleh

dengan 360 derajat per rotasi. Ketika *fixture* terbalik, dial dipasang pada poros sambungan dengan pengaturan yang disesuaikan dengan titik nol alat ukur *runout*. Kemudian perhatikan secara seksama, putar alat ukur secara perlahan memutar poros sebesar 90 derajat secara bertahap. Baca pembacaan *runout* dari kedua alat pengukur, terbaca tanda positif atau negatif ketika *fixture* pada posisi pukul 12, 3, 6, dan 9. Keterbatasan alat ukur mempunyai potensi kesalahan atau masalah yang membatasi keakuratan *alignment* ini. Yang umum terjadi kesalahan pembacaan data yaitu kegagalan untuk mengoreksi *sag indicator*, kelonggaran mekanik dalam instalasi *fixture*, dan kegagalan untuk memposisikan posisi nol atau mengkalibrasikan *dial indicator*.

2.4 METODE *ALIGNMENT*

Metode *dial indicator* adalah metode yang paling banyak dilakukan karena ketelitiannya cukup dapat dipertanggungjawabkan, terutama jika dilakukan dengan profesional. Dan harga alat tersebut relatif murah dan terjangkau. Ada dua metode cara mengukur *alignment* dengan menggunakan alat ini:

- *Rim and face dial indicator* : kedua poros diputar secara bersamaan.
- *Reverse dial indicator* : cukup memutar salah satu poros.
- *Double Radial* : metode pengukuran menggunakan dial ketika salah satu poros tidak dapat diputar.

2.4.1 Metode *Rim and Face*

Memasang pegangan dial pada mesin yang mudah diputar dan *dial indicator* jarum menunjuk pada *face* (permukaan) dan *rim* (lingkar kopling) pada mesin yang diam. Semua langkah *pre-alignment* ABC (*runout, soft-foot, sag, safety*) tersebut diatas sudah dilakukan.

Untuk perhitungan cara matematis maupun grafis, harus diambil dengan pengukuran:

- Jarak antara kopling diambil dari titik jarum penunjuk (c),
- Jarak kaki mesin atau jarak baut kaki (a,b,d,e),
- Diameter lingkaran kopling yang dilalui jarum dial,
- Cek *soft-foot, runout, sag, pipe strain*, dan lain-lain,
- Cek semua peralatan yang diperlukan untuk pengukuran dalam keadaan baik,
- Pasang pemegang / *bracket* pada mesin yang mudah diputar hingga cukup kokoh tidak goyang atau kendur, agar tidak terjadi salah pembacaan data atau petunjuk,
- Pemasangan seperti gambar, *bracket* pada salah satu poros mesin dan dial ke *rim and face* pada mesin lainnya,
- Reset angka nol pada alat ukur *dial indicator* ke posisi pukul 12,
- Jika memungkinkan, putar kedua kopling secara bersamaan, guna untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.
- Putar poros dan *bracket* dengan perlahan ke posisi pukul 3, 6, dan 9. Catat pembacaan data yang ada (positif atau negatif),

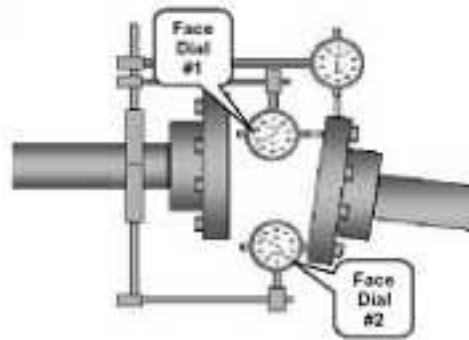
- Kembali ke posisi pukul 12 (yang seharusnya dial akan menunjuk ke nol lagi), apabila tidak kembali ke angka nol maka terjadi kesalahan tertentu,
- Untuk mendapat hasil yang lebih teliti, pengukuran harus dilakukan dua kali hingga empat kali yang kemudian dirata-rata.

Beberapa keuntungan dengan menggunakan pengukuran *Rim and Face Dial Indicator*:

- Poros dapat diputar, sehingga sangat baik untuk meng-*alignment* pasangan mesin dimana salah satunya sulit diputar atau mesin yang tidak memiliki *thrust bearing*.
- Untuk *alignment* motor listrik tidak memiliki *bearing* aksial tidak perlu diputar, karena apabila diputar dapat menimbulkan kesalahan penunjukan pada *dial indicator*.
- Cocok untuk kopleng yang berdiameter besar, karena masih terdapat ruang untuk penempatan *dial indicator*.
- Dapat dengan mudah untuk melihat atau menggambarkan posisi poros.

Dan beberapa kerugian apabila menggunakan metode pengukuran *Rim and Face Dial Indicator*:

- Sulit mendapatkan data yang akurat pada muka kopling jika rotor mempunyai *thrust bearing* yang *hydrodinamis*, karena perpindahan aksial.
- Sulit untuk motor listrik yang tidak memiliki *thrust bearing*, karena jika diputar akan lari ke arah aksial atau bergerak maju-mundur.
- Biasanya diperlukan untuk melepas *spool* kopling.
- Agak sulit digambar untuk kalkulasi pemindahan pemasangan dial ganda.

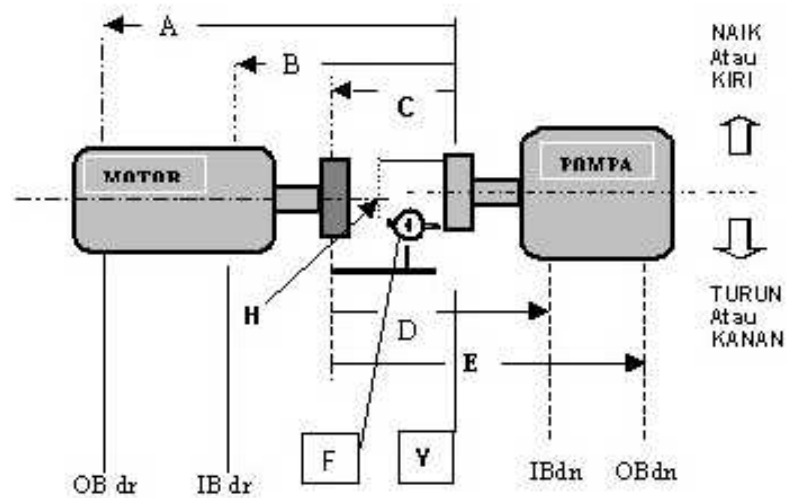


Gambar 2.9 Metode *Rim and Face*

Dengan memasang dua pasang seperti gambar di atas adalah cara yang sangat cerdas untuk menghemat waktu. Dengan sekali putar menghasilkan dua penunjukan kemudian dirata-rata, sehingga menghasilkan angka yang lebih teliti, tetapi harus lebih hati-hati dalam mencatat dan kalkulasi agar tidak terjadi kesalahan.

Untuk melakukan *alignment* dapat dikalkulasi secara matematis yang dapat dilakukan dengan cara memutar kedua mesin jika

memungkinkan tetapi jika tidak sebaiknya memasang dial pada mesin yang mudah diputar, jarum pada mesin yang akan di re-posisi.



Tabel 2.1 Perhitungan Matematis *Rim and Face*

Perpindahan untuk motor / driver	Perpindahan untuk pompa / driven
$IBdr = \frac{H \cdot B}{\sqrt{H^2 - F^2}} - (Y)$	$OBdn = \frac{H [(E) - (C)]}{\sqrt{H^2 - F^2}} + (Y)$
$OBdr = \frac{F \cdot O}{\sqrt{H^2 - F^2}} - (Y)$	$IBdn = \frac{F [(D) - (C)]}{\sqrt{H^2 - F^2}} + (Y)$

Soemarno (2009)

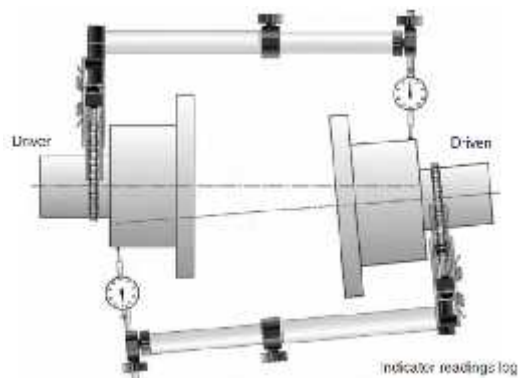
F = Pengukuran diambil pada permukaan kopling di pukul 6.

H = Diameter kopling, pengukuran diambil pada permukaan kopling.

Y = Setengah nilai dari pembacaan dial, dimana *bracket* dipasang pada *shaft driver*, dan pengukuran diambil dari *shaft driven unit*. Pilih salah satu rumus yang ada yang memungkinkan untuk mere-posisi mesin yang mudah, apakah motor atau *gearbox*, *gearbox* atau pompa.

2.4.2 Metode *Reverse Dial Indicator*

Metode *Reverse Dial Indicator* adalah metode yang digunakan ketika jarak antara titik pengukuran pada setiap rentang poros 3-30mm. metode *reverse dial indicator* memakai dua *bracket* dan dua *dial indicator* disaat yang sama dalam teknisnya. Seperti yang terlihat pada gambar berikut:



Gambar 2.10 Metode *Reverse*

Cara pengukuran dengan menggunakan metode ini adalah dengan cara memasang *bracket* pada masing-masing poros dan memasang *dial indicator* pada ujung *bracket*. Dengan metode ini pengukuran dilakukan dengan cara menempelkan *dial indicator* pada kopling poros yang satunya.

Selanjutnya lakukan pengukuran tersebut dengan memutar poros yang terpasang *bracket* dan ambil empat titik pada bagian kopling untuk diambil data dari hasil penunjuk *dial indicator*. Keuntungan dari menggunakan metode ini adalah:

- Biasanya lebih akurat daripada mode *rim and face* karena jarak dari pemasangan titik *bracket* ke titik indikator lebih besar keakuratannya dari jarak pembacaan *face* yang diambil.
- Jika mesin didukung dalam *sliding type bearings* dan *floating shaft* atau sejenis aksial ketika memutar poros hampir tidak ada efek pada akurasi pembacaan.

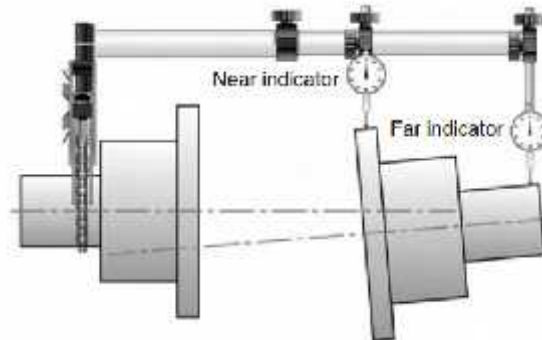
Di sisi lain terdapat kekurangan yang dimiliki dengan menggunakan metode ini, yaitu:

- Kedua poros harus diputar.
- Sulit untuk mem-visualisasikan posisi poros dari bacaan *dial indicator*.
- *Bracket* pada *sag* harus diukur dan dikompensasi.

2.4.3 Metode *Double Radial*

Metode *Double Radial* dikenal sebagai alat yang tidak memiliki beberapa keuntungan dibanding dengan metode yang lain. Metode ini hanya boleh digunakan jika terdapat setidaknya 3 inchi atau lebih dari jarak antara posisi pengukuran indikator. Keakuratan teknik ini meningkat apabila jarak antara *point* pembacaan semakin jauh, pada metode ini biasanya pada poros tidak tepat atau cukup jauh dengan posisi *dial*

indicator, kecuali dalam keadaan tertentu. Metode ini biasa digunakan ketika salah satu poros yang diukur tidak dapat diputar.



Gambar 2.11 Metode *Double Radial*

Dari gambar tersebut di atas, pengukuran dengan menggunakan metode *double radial* hanya menggunakan satu *bracket* yang dipasang dua *dial indicator* yang ditempelkan pada dua titik, pada titik dekat yaitu di bagian ujung depan kopling sedangkan pada titik jauh yaitu pada kopling yang mendekati poros yang akan diukur *misalignment*-nya.

Keuntungan dengan menggunakan metode ini yaitu:

- Teknik metode yang baik untuk digunakan dalam situasi dimana salah satu poros mesin tidak dapat diputar atau sulit untuk memutar salah satu poros mesin.
- Metode yang baik untuk digunakan saat pembacaan *dial indicator* jarak dekat dan jauh.
- Lokasi pengukuran dapat jauh secara terpisah.
- Metode ini hampir untuk mendekati akurasi dari metode sebelumnya (metode *indicator reverse*) ketika jarak antara dua set pembacaan *dial indicator* ditangkap pada satu poros yang

sama atau melebihi rentang pembacaan titik dari poros ke poros.

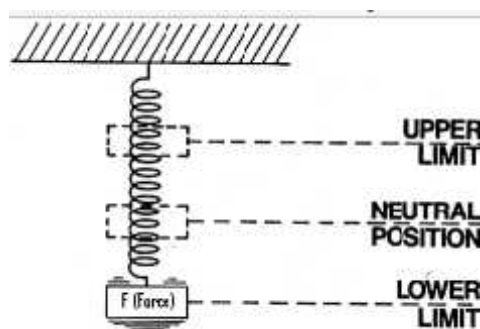
- Apabila mesin didukung dengan jenis bantalan aksial ketika memutar poros untuk menangkap pembacaan data, hampir tidak ada efek pada keakuratan pembacaan yang diambil.

Di sisi lain, metode ini memiliki memiliki kerugian untuk pembacaan data:

- Penggunaan metode *double radial* terkadang tidak seluruhnya mengenai permukaan dari poros atau koping yang akan diukur, biasanya pengukuran kurang akurat dibandingkan dengan metode *rim and face* dan metode *reverse*.

2.5 GETARAN MESIN

Getaran mesin adalah gerakan suatu bagian mesin maju dan mundur (bolak-balik) dari keadaan diam / netral ($F=0$). Contoh sederhana untuk menunjukkan suatu getaran yaitu pegas.



Gambar 2.12 Pegas pada saat netral / $F=0$ (Fajar (2012))

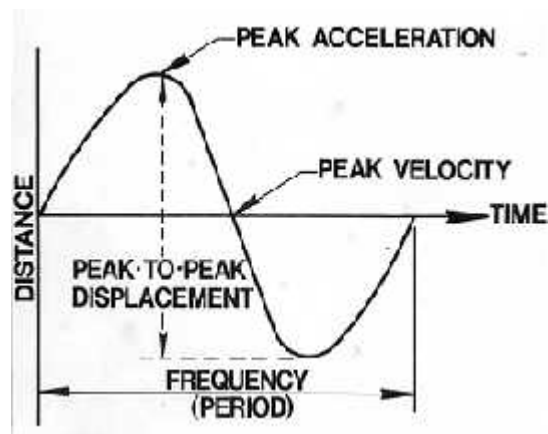
2.5.1 Karakteristik Getaran Mesin

Kondisi suatu mesin dan masalah-masalah yang terjadi dapat diketahui dengan mengukur karakteristik getaran pada mesin tersebut.

Karakteristik-karakteristik getaran yang penting antara lain adalah:

- a. Frekuensi Getaran
- b. Perpindahan Getaran (*Vibration Displacement*)
- c. Kecepatan Getaran (*Vibration Velocity*)
- d. Percepatan Getaran (*Vibration Acceleration*)
- e. Phase Getaran

Dengan mengacu pada getaran pada pegas, kita dapat mempelajari karakteristik suatu getaran dengan memetakan gerakan dari pegas tersebut terhadap fungsi waktu. Gerakan bandul pegas dari posisi netral ke batas atas dan kembali lagi ke posisi netral, dan dilanjutkan ke batas bawah dan kembali lagi ke posisi netral, gerakan tersebut disebut satu siklus getaran (satu periode). Berikut gambar satu periode pada getaran:



Gambar 2.13 Siklus Getaran (Fajar (2012))

a. Frekuensi Getaran

Gerakan periodik atau getaran selalu berhubungan dengan frekuensi yang menyatakan banyaknya gerakan bolak-balik (satu siklus penuh) tiap satuan waktu. Hubungan antara frekuensi dan periode suatu getaran dapat dinyatakan dengan rumus sederhana, yaitu: $\text{frekuensi} = 1/\text{periode}$ (satu per periode). Frekuensi dari getaran tersebut biasanya dinyatakan sebagai jumlah siklus getaran yang terjadi tiap menit (CPM = *Cycles per Minute*). Sebagai contoh, sebuah mesin bergetar 60 kali, maka siklusnya yaitu dalam 1 menit, frekuensi getaran mesin tersebut adalah 60 CPM. Frekuensi bisa juga dinyatakan dalam satuan CPS (*Cycles per Second*) atau Hertz (Hz) dan putaran mesin dinyatakan dalam RPM (*Rotation per Minute*).

b. Perpindahan Getaran (*Vibration Displacement*)

Jarak yang ditempuh dari suatu ujung (A) ke ujung yang lain (C) disebut perpindahan dari ujung ke ujung (*peak to peak displacement*). Perpindahan tersebut pada umumnya dinyatakan dalam satuan micron (μm) atau mils. $1 \mu\text{m} = 0.001 \text{ mm}$, $1 \text{ mils} = 0.001 \text{ inch}$.

c. Kecepatan Getaran (*Vibration Velocity*)

Karena getaran merupakan suatu gerakan maka getaran tersebut pasti mempunyai kecepatan. Pada getaran, di gambar 2.22 kecepatan maksimum terjadi pada titik B (posisi netral) sedangkan kecepatan minimum (nol) terjadi pada titik A dan titik C. Kecepatan getaran ini biasanya dalam satuan mm/det (*peak*). Karena kecepatan ini selalu berubah secara sinusoida, maka seringkali digunakan pula satuan

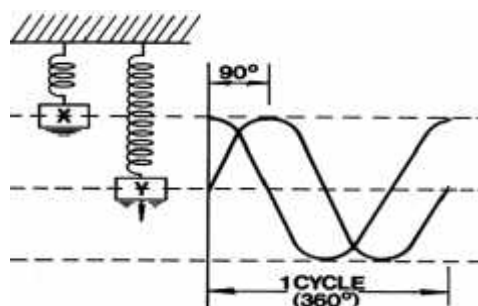
mm/sec (rms). Nilai *peak* = 1.414 x nilai rms. Terkadang digunakan juga satuan inch/sec (*peak*) atau inch/sec (rms). (1 inch = 25.4 mm).

d. Percepatan Getaran (*Vibration Acceleration*)

Pada gambar di atas, di titik A atau C kecepatannya adalah nol, tetapi pada bagian-bagian tersebut akan mengalami percepatan yang maksimum. Sedangkan pada titik B (netral) percepatan getarannya adalah nol. Secara teknis percepatan adalah laju perubahan dari kecepatan. Percepatan getaran pada umumnya dinyatakan dalam satuan g 's'peak, dimana satu g adalah percepatan yang disebabkan oleh gaya gravitasi pada permukaan bumi. Sesuai dengan perjanjian internasional, satuan gravitasi pada permukaan bumi adalah $9,80665 \text{ m/det}^2$ ($386,087 \text{ inch/det}^2$ atau $32,1739 \text{ feet/40}$).

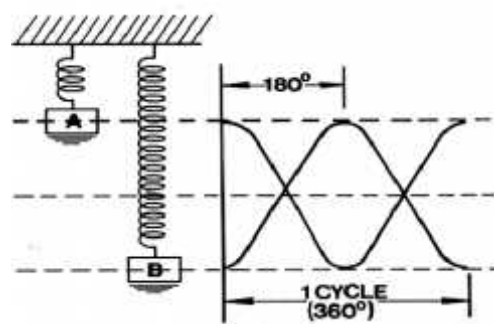
e. Phase Getaran

Pengukuran phase getaran memberikan informasi untuk menentukan suatu bagian getar yang relatif terhadap bagian yang lain, atau untuk menentukan posisi suatu bagian getar pada waktu tertentu terhadap suatu bagian lain yang bergetar dengan frekuensi yang sama. Beberapa contoh pengukuran phase:



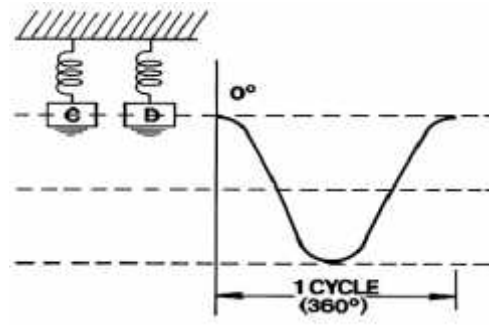
Gambar 2.14 Contoh pengukuran phase dua bandul (Fajar (2012))

Dua bandul pada Gambar 2.23 bergetar dengan frekuensi dan *displacement* yang sama, bandul X berada posisi batas atas dan bandul Y pada waktu yang sama berada pada batas bawah. Untuk menyatakan perbandingan tersebut dapat digunakan phase yaitu dengan memetakan gerakan kedua bandul tersebut pada satu siklus penuh, dapat dilihat bahwa titik puncak *displacement* kedua bandul tersebut terpisah dengan sudut 180° (satu siklus penuh 360°). Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa kedua bandul tersebut bergetar dengan beda phase 180° .



Gambar 2.15 Pengukuran phasa dengan waktu yang sama beringan
(Fajar (2012))

Pada gambar 2.24 disaat yang sama bandul A berada pada posisi batas atas dan bandul B berada pada posisi netral bergerak pada posisi batas bawah. Sehingga dapat dikatakan bahwa kedua bandul tersebut bergetar pada beda phase 90° .



Gambar 2.16 Pengukuran Phasa dengan waktu yang sama (Fajar (2012))

Pada gambar 2.25 pada waktu yang sama kedua bandul C dan D berada pada batas atas. Sehingga dapat dikatakan bahwa kedua bandul tersebut bergetar dengan sudut phase 0 atau se-phase.

2.5.2 Satuan-satuan Pengukuran Getaran

Ada beberapa satuan yang digunakan dalam suatu pengukuran getaran. Nilai *Peak - to - peak* adalah nilai amplitudo dari gelombang sinusoida mulai dari batas atas sampai ke batas bawah. Pengukuran *displacement* suatu getaran biasanya menggunakan nilai peak-to-peak dengan satuan mils atau micron. Nilai Peak adalah nilai peak-to-peak dibagi dua atau setengah dari nilai peak-to-peak. Nilai RMS (*root-means-square*), nilai ini digunakan untuk mengklasifikasikan keparahan getaran dari suatu mesin. Nilai RMS ini mengukur nilai energi efektif yang dipakai untuk menghasilkan getaran pada suatu mesin.

Untuk gerak sinusoidal nilai RMS adalah $0.707 \times$ nilai *peak*. Sedangkan nilai *Average* dari suatu gelombang sinusoidal adalah $0.637 \times$ nilai *peak*.

Tabel 2.2 Satuan Pengukur Getaran

CONVERSION FACTOR	PEAK TO PEAK	PEAK	RMS	AVERAGE
PEAK TO PEAK	1	0.5	0.354	0.318
PEAK	2	1	0.71	0.64
RMS	2.83	1.414	1	0.90
AVERAGE	3.14	1.571	1.111	1

(Fajar (2012))

2.5.3 Alat Ukur Getaran



Gambar 2.17 Vibrasimeter

Cara Pengukuran Getaran dengan Menggunakan Vibrasimeter

1. Periksa Alat:
 - a. Sensor Getaran - Kabel Sensor - *Power ON/OFF*
 - b. Tombol - *Battery Componen* - *Display/LCD*
2. Hidupkan Alat dengan menekan tombol *Power ON/OFF*

3. Tempelkan Sensor ke sumber getaran
 4. Catat angka yang muncul di *display*
 5. Pastikan Tingkat getaran dengan cara :
 - a. Modus (Nilai yang sering muncul)
 - b. Median (Nilai Tengah) Angka terendah + Angka Tertinggi lalu dibagi 2
- Nilai Rata-rata (Jumlah keseluruhan sample dibagi jumlah sample)