

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Listrik

Merupakan motor arus bolak-balik (AC) berfungsi merubah energi listrik menjadi energi mekanik (Zulfikar et al., 2019; Triyanto, Sakti, et al., 2022). Motor induksi equipment yang paling luas digunakan karena kesederhanaannya, konstruksinya yang kuat dan karakteristik kerja yang baik. Motor induksi terdiri dari dua bagian utama yaitu stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang berputar). Kedua bagian ini dipisahkan oleh suatu celah yang disebut Air Gap (Radiansyah & Gifson, 2020). Prinsip kerja motor induksi yaitu dengan memanfaatkan induksi elektromagnetik dengan cara kumparan stator motor induksi dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa sehingga kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar (Artakusuma et al., 2018). Garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul emf (ggl) atau tegangan induksi (Asral & Handika, 2023). Karena penghantar (kumparan) sebuah rotor merupakan rangkaian yang tertutup di *shorted oleh endring*. Kondisi ini mengakibatkan aliran arus pada kumparan rotor dan terjadi perbedaan medan kutub magnet rotor menjadi berputar (Junior S & Saleh, 2022).

2.1.1 Keunggulan Motor 3 Fasa

a. Daya yang lebih besar

Motor 3 fasa memiliki daya yang lebih besar dibanding motor 1 fasa, sehingga lebih cocok digunakan untuk aplikasi industri yang membutuhkan daya yang besar.

b. Efisiensi yang lebih tinggi

Motor 3 fasa memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibanding motor 1 fasa karena daya yang lebih besar dan distribusi daya yang lebih merata.

c. Kinerja yang lebih stabil

Motor 3 fasa memiliki kinerja yang lebih stabil dan tidak terpengaruh oleh beban yang berubah-ubah seperti pada motor 1 fasa.

2.1.2 Kelebihan Motor Listrik 3 Fasa

a. Kemampuan untuk mengatasi beban berat

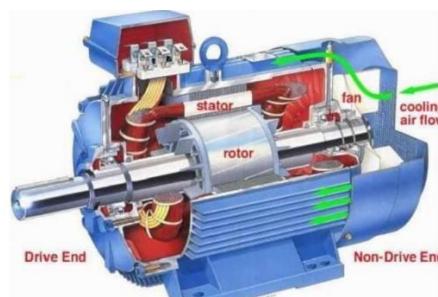
Motor listrik 3 fasa mampu mengatasi beban berat dan memastikan bahwa peralatan tetap berjalan dengan efisien.

b. Kemampuan untuk mengatasi suhu tinggi

Motor listrik 3 fasa mampu mengatasi suhu tinggi dan memastikan bahwa peralatan tetap bekerja dengan baik.

c. Kemampuan untuk mempertahankan daya

Motor listrik 3 fasa mampu mempertahankan daya dan memastikan bahwa peralatan tetap berfungsi dengan baik, meskipun beban berubah-ubah.

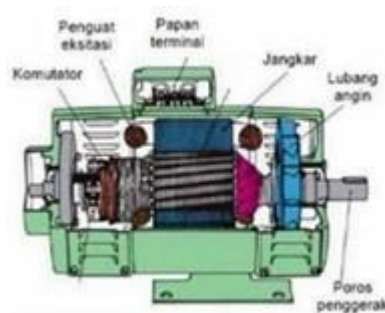


Gambar 2. 1 Motor listrik 3 *phase*

(Sumber: <https://gearboxelectro.com/blog/mengenal-motor-listrik-3-fasa>)

2.2 Generator DC

Generator DC merupakan suatu mesin DC yang dapat menghasilkan daya listrik arus searah (DC) dengan cara merubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan perantara energi magnet. Pada generator DC, energi mekanik yang berasal dari penggerak mula yang dikopel dengan rotor. Penggerak mula ini dapat berasal dari tenaga uap panas, tenaga potensial air, motor diesel, dan lain sebagainya. Energi listrik keluaran generator dikeluarkan pada kumparan jangkar generator yang juga terdapat pada rotornya. Generator DC menghasilkan listrik arus searah dalam penggunaannya, generator DC ini kadang- kadang ditempatkan secara tetap atau dalam keadaan bergerak bersama dengan bebanya. Generator DC yang diletakkan secara tetap contohnya adalah generator yang dipergunakan untuk pengisian accu pada perusahaan pengisi accu dan generator yang ditempatkan secara bergerak dengan bebanya misalnya pada pusat-pusat tenaga listrik arus bolak-balik, dimana generator DC ini berfungsi sebagai sumber eksitasi magnet (*exciter*) pada generator utama pembangkit listrik arus bolak balik (Muddin, David & Harza., 2021).



Gambar 2. 2 Generator DC

(Sumber: <https://trikueni-desain-sistem.blogspot.com/2014/08/prinsip-kerja-generator-DC.html>)

2.3 Flexible Coupling

Flexible coupling adalah komponen mekanis yang dirancang untuk menghubungkan dua poros yang tidak sepenuhnya sejajar dan mentransmisikan torsi dari satu poros ke poros lainnya. Salah satu keunggulan utama dari kopling ini adalah kemampuannya untuk mengakomodasi berbagai tingkat ketidaksejajaran hingga 3 derajat dan sedikit ketidaksejajaran sejajar. Selain itu, *flexible coupling* juga bisa berfungsi sebagai peredam getaran dan pengurang kebisingan dalam sistem mekanis, yang sangat penting untuk menjaga keandalan dan umur panjang sistem.

Penggunaan *flexible coupling* sangat umum dalam berbagai sistem transmisi daya industri. Salah satu alasan utama penggunaannya adalah untuk mengkompensasi ketidaksejajaran poros yang terjadi dalam sistem mekanis. Dalam banyak kasus, ketidaksejajaran ini bisa terjadi karena proses manufaktur, pemasangan, atau karena faktor lingkungan. *Fleksibel coupling* memungkinkan sedikit ketidaksejajaran ini tanpa merusak sistem, yang bisa sangat merugikan jika menggunakan kopling kaku. Selain itu, dalam beberapa aplikasi, *flexible coupling* juga memberikan perlindungan terhadap komponen lain dengan menyerap beban berlebih yang mungkin timbul akibat ketidaksejajaran atau getaran (Taliagung,2024). Keuntungan dari *flexible coupling* yaitu :

a. Kompensasi Ketidaksejajaran

Salah satu fungsi utama kopling fleksibel adalah kemampuannya untuk mengkompensasi ketidaksejajaran antara dua poros yang terhubung. Ini sangat penting dalam sistem yang memerlukan fleksibilitas tinggi dan presisi.

b. Reduksi Getaran dan Kebisingan

Flexible coupling berperan penting dalam meredam getaran yang dihasilkan oleh mesin, yang tidak hanya melindungi komponen lain dalam sistem tetapi juga mengurangi kebisingan. Ini penting dalam aplikasi di mana getaran berlebihan bisa merusak komponen mekanis atau menurunkan kinerja sistem secara keseluruhan.

c. Perlindungan Sensor dan Komponen Lain

Dalam beberapa aplikasi, seperti pengukuran torsi, *flexible coupling* digunakan untuk menghubungkan motor dan sensor torsi dengan komponen lain. Kopling ini sangat penting karena melindungi sensor dari beban berlebih yang dapat merusaknya, serta mengurangi kesalahan akibat ketidaksejajaran.

d. Fleksibilitas dalam Aplikasi

Kopling fleksibel dapat digunakan dalam berbagai aplikasi mulai dari sistem transmisi daya kecil hingga besar. Mereka mampu mentransmisikan torsi dengan karakteristik backlash yang rendah, kekakuan torsi yang baik, serta kemampuan menyesuaikan dengan ketidaksejajaran lateral dan sudut, menjadikannya cocok untuk berbagai kebutuhan mekanis.

Beberapa karakteristik utama yang membuat *flexible coupling* sangat berguna dalam aplikasi industri meliputi :

a. Rendah atau *Nol Backlash*

Ini berarti kopling fleksibel memiliki toleransi yang sangat kecil terhadap pergerakan balik atau reaksi, sehingga sangat ideal untuk aplikasi yang memerlukan presisi tinggi.

b. Kekakuan Torsi yang Baik

Flexible coupling mampu mentransmisikan torsi dengan efisiensi tinggi tanpa

menyebabkan distorsi yang signifikan, menjadikannya andal dalam aplikasi yang memerlukan transmisi daya tinggi.

c. Kemampuan Menyesuaikan Ketidaksejajaran

Kopling ini dapat menyesuaikan ketidaksejajaran lateral dan sudut, sehingga cocok untuk sistem mekanis yang sering mengalami perubahan posisi atau getaran.



Gambar 2. 3 *Fcl coupling*

(Sumber: <https://id.shp.ee/u6XStcg>)

2.4 Heater

Heater merupakan peralatan yang banyak digunakan dalam industri proses (process industri) yang berfungsi untuk memanaskan suatu fluida. Biasanya, sisa panas yang berasal dari heater dimanfaatkan kembali untuk memanaskan fluida lain untuk meningkatkan efisiensi alat yang bisa digunakan adalah *heat exchanger*. *Heat exchanger* merupakan alat yang digunakan sebagai media untuk memindahkan panas dari fluida yang bertemperatur lebih tinggi menuju fluida yang bertemperatur lebih rendah. Dalam aplikasinya alat ini digunakan untuk menaikkan maupun menurunkan temperatur, dan juga mengubah fase fluida. Salah satu tipe *heat exchanger* yang banyak digunakan di dunia industri adalah *shell and tube heat exchanger*. Alat ini terdiri dari sebuah shell silindris di bagian luar dan sejumlah *tube* di bagian dalam berbentuk pipa, di mana temperatur fluida di dalam *tube*

berbeda dengan di luar *tube* (di dalam *shell*) sehingga terjadi perpindahan panas antara fluida di dalam tube dan di luar *tube*. Panas dari *Heater* kemudian dipakai untuk mentransfer panas menuju air yang temperaturnya rendah. *Heat Exchanger* dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung (*direct contact*). Proses perpindahan panas ini perlu untuk dikontrol agar diperoleh temperatur fluida sesuai dengan kriteria yang diinginkan, dan pemanfaatan sumber energi yang tersedia dapat digunakan lebih optimal dan tidak terdapat energi yang terbuang. Sebelum fluida memasuki *heat exchanger* fluida yang masuk pada *tube* harus berada pada kondisi panas. Maka dari itu fluida tersebut butuh dipanaskan menggunakan *heater* yang berfungsi memanaskan fluida sebelum masuk pada tube dari *heat exchanger*. (Said Sadad, 2016).



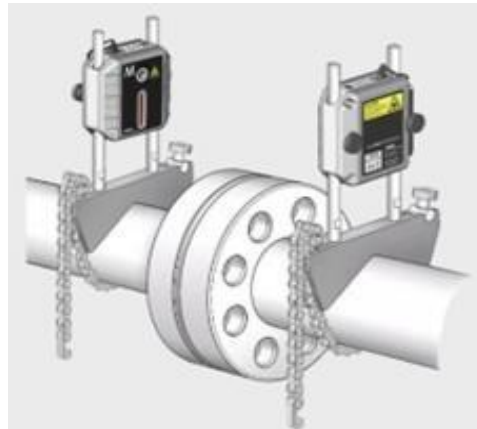
Gambar 2. 4 *Tubular heater*

(Sumber: <https://www.neo-indo.com/product/tubular-heater-p156669.aspx>)

2.5 Metode Alignment

Alignment adalah suatu pekerjaan yang meluruskan atau mensejajarkan dua sumbu poros hingga sentris (antara poros penggerak dengan sumbu poros yang digerakkan). Tujuan *alignment* untuk mendapatkan kelurusan/kesentrisan antara kedua poros pemutar dan poros yang diputar hingga tidak menimbulkan gesekan, getaran, dan lain-lain yang dapat memperpendek umur mesin yang tentunya akan menambah biaya

pengeluaran untuk perbaikan maupun penggantian mesin. Ketidaklurusan adalah Penyimpangan dari garis sumbu ke dua poros yang dipersambungkan, baik arah sejajar maupun arah aksial, sehingga terjadi ketidak sebarisan dari ke dua poros yang dipersambungkan tersebut (Giyats., 2022).



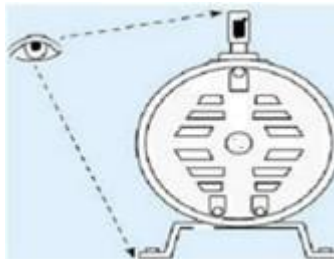
Gambar 2. 5 *Alignment*

(Sumber: <https://www.spminstrument.co.uk/measuring-techniques/shaft-alignment>)

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk meng-*alignment* poros sebagai berikut :

1. Metode Visual Line-Up

Metode *Visual Line-Up* adalah metode *alignment* yang paling umum dan mudah untuk dilakukan. Metode *visual line-up* umumnya digunakan pada instalasi awal, dimana metode ini memungkinkan teknisi atau operator dapat menganalisa kelayakan instalasi dan kondisi kerja.

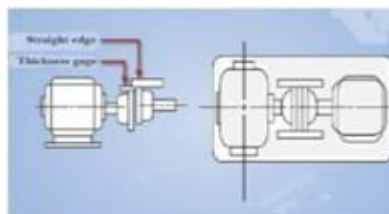


Gambar 2. 6 Metode *visual line-up*

(Sumber: <https://www.etsworlds.id/2020/02/jenis-jenis-metode-alignment.html>)

2. Metode Dial Indicator (*Face and Rim*)

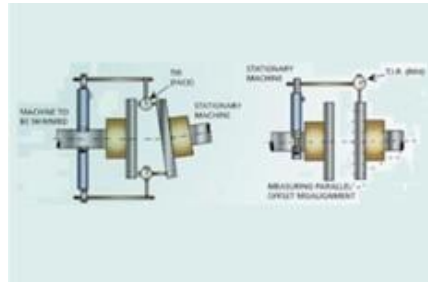
Metode *Straightedges* adalah metode *alignment* yang digunakan untuk menentukan *offset* pada bagian kopling. Koreksi metode ini dilakukan dibawah keempat kaki mesin. Metode *straightedges* menggunakan alat bantu berupa *feeler gauge* atau *taper gauge* yang berfungsi untuk mengukur jarak antara bagian kopling pada bagian atas dan bawah kopling.



Gambar 2. 7 Metode *straightedges*

(Sumber: : <https://www.etsworlds.id/2020/02/jenis-jenis-metode-alignment.html>)

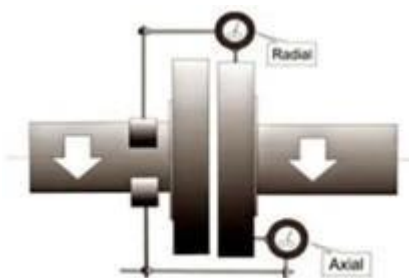
Metode *Face and Rim* pada prinsipnya serupa dengan metode *straightedges* atau *feeler gauge*, tetapi pada metode *rim and face* lebih akurat karena menggunakan dial indikator. Pembacaan tepi (*rim*) berfungsi untuk mengukur *offset* antara bagian kopling. Sedangkan Pembacaan wajah (*face*) berfungsi untuk mengukur perbedaan sudut antara wajah kopling.



Gambar 2. 8 Face and rim

(Sumber: <https://www.etsworlds.id/2020/02/jenis-jenis-metode-alignment.html>)

Cara penggunaan dengan memutar kedua poros dalam waktu bersamaan dan searah jangan lupa selalu tandai (*marking*) titik awal dari *plunjer* (jarum penunjuk) pada kedua poros agar bacaan angka tidak berubah-ubah dalam setiap putaran. Bisa digunakan pada poros berdiameter besar maupun kecil pada mesin putaran tinggi. Namun, alat ini sangat sensitif. Pemasangan dial harus teliti dan kokoh untuk menghindari salah baca.



Gambar 2. 9 Memutar kedua poros

(Sumber: <https://www.cnzahid.com/2015/02/tools-for-alignment.html>)

- Keuntungan :
 - a. Metode ini cukup akurat,
 - b. Cukup efisien untuk poros berdiameter besar maupun kecil,
 - c. Dengan menggambar atau mudah melihat posisi kedua poros,
 - d. Dapat dilakukan untuk kedua poros yang dapat diputar ataupun hanya satu,
 - e. Alat cukup murah dibanding laser atau alat lain,
 - f. Mudah di gambar, dibuat perhitungan-perhitungan, sehingga pekerjaan dapat diselesaikan lebih cepat,
 - g. Cukup sesuai untuk mesin-mesin besar, putaran tinggi.
- Kerugian :
 - a. Mengerjakannya harus sangat teliti/hati-hati, pemasangan dial harus kokoh, sehingga dapat menghindari salah baca/salah petunjuk,
 - b. Toleransi, *run-out*, *sag* harus diketahui atau di cek dahulu,
 - c. Jika permukaan kopling tidak rata atau *run-out* nya besar, maka penunjukan *dial indicator* menjadi tidak sebenarnya, sehingga selanjutnya perhitungan-perhitungan menjadi salah,
 - d. Aksial *clearence* sangat mempengaruhi kesalahan,
 - e. Membaca dial merupakan hal yang paling dasar yang harus dipahami dan dimengerti oleh pelaksana, hasil bacaan salah akan mengakibatkan hasil salah dan fatal,
 - f. Penunjukan bisa salah, hal itu bisa disebabkan karena pemasangan dial tidak kokoh : kendor, ada *sag*, tidak sejajar, dan posisi tidak tepat,
 - g. Kesalahan pada alat ada histiris, tidak lancar naik-turun plunjer,

h. Pemahaman membaca dial salah, terbalik-balik, pemahaman skala salah sehingga hasil perhitungan atau penggambaran salah.

- Reposisi matematis *offset misalignment* (Raharjo, Wicaksono dan Irianto, 2016)

➤ $\text{Kopling Offset Vertikal} = \frac{\text{Rim Dial (DIR)TIR}}{2} = \frac{\text{Arah jam 12} - \text{Arah jam 6}}{2}$

➤ $\text{Kopling Offset Horizontal} = \frac{\text{Rim Dial (DIR)TIR}}{2} = \frac{\text{Arah jam 3} - \text{Arah jam 9}}{2}$

- Perhitungan matematis *angular misalignment* (Raharjo, Wicaksono dan Irianto, 2016)

• $\text{Kopling Angular Vertikal} = \frac{\text{Face Dial (DIF)TIR}}{A \text{ Dimension}} = \frac{\text{Arah jam 12} - \text{Arah jam 6}}{A \text{ Dimension}}$

• $\text{Kopling Angular Horizontal} = \frac{\text{Rim Dial (DIF)TIR}}{A \text{ Dimension}} = \frac{\text{Arah jam 3} - \text{Arah jam 9}}{A \text{ Dimension}}$

Dimana:

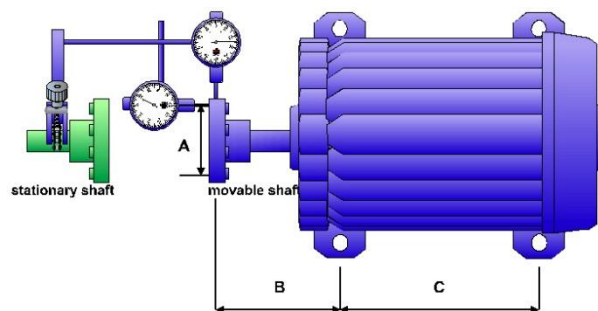
A = Diameter kopling

DIR = Dial indikator rim

DIF = Dial indikator face

TIR = Total indikator reading

- Reposisi dengan perhitungan matematis



Gambar 2. 10 Sketsa pengaplikasian formula matematis

(Sumber : <https://www.alignmentknowledge.com/wp-content/uploads/2019/03/Rim-Face-Calculations-1.jpg>)

- Kaki depan (*Front Foot*)

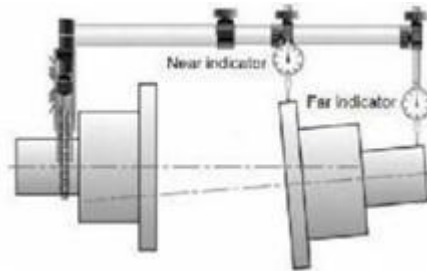
$$\Delta F = \left(\frac{\text{Face TIR}}{A} \times B \right) + \frac{1}{2} \text{ Rim TIR}$$

- Kaki depan (*Front Foot*)

$$\Delta F = \left(\frac{\text{Face TIR}}{A} \times (B + C) \right) + \frac{1}{2} \text{ Rim TIR}$$

3. Metode *Double Dial Indicator*

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 *Double dial indicator*

(Sumber: [Shaft Alignment Handbook, Jhon Piotrowski, Third Edition](#))

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 :

- a. Teknik metode yang baik untuk digunakan dalam situasi dimana salah satu poros mesin tidak dapat diputar atau sulit untuk memutar salah satu poros mesin,
- b. Metode yang baik untuk digunakan saat pembacaan *dial indicator* jarak dekat dan jauh,
- c. Lokasi pengukuran dapat jauh secara terpisah,
- d. 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,
- e. Apabila mesin didukung dengan jenis bantalan aksial ketika memutar poros untuk menangkap pembacaan data, hampir tidak ada efek pada keakuratan pembacaan yang diambil.

- Kerugian :

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

- Prosedur :

- a. Pasang braket penyelarasan dengan kuat ke salah satu braket poros dan posisikan indikator pada parameter dari poros lainnya. Diperlukan untuk mengatur kedua indikator secara bersamaan (yaitu, atur di lokasi “dekat”, lalu atur lagi di lokasi “jauh”),

- b. Nolkan indikator pada posisi jam dua belas,
- c. Putar perlahan susunan poros dan braket melalui interval.

4. Metode Reverse Dial Indicator

Metode *reverse dial* menggunakan dua buah *dial indicator* yang membaca dari poros ke poros dan hampir serupa dengan metode *cross dial*, perbedaannya pada *dial indicator* yang berada pada bidang yang sama satu sama lain. *Offset* dan angularitas digabungkan dalam perhitungan pada metode ini.

Digunakan jika ada poros yang sulit diputar atau tidak memiliki ruang untuk penyetelan (*dial*). Keuntungan dari *reverse dial indicator* adalah proses *alignment* cukup diterapkan pada satu poros. Dengan begitu, pemasangan mesin yang tidak memiliki *axial bearing* bisa tetap disetel. *Reverse dial indicator* cocok untuk *alignment* motor listrik. Dengan memasang dua pasang dial seperti gambar dibawah adalah cara yang sangat cerdas untuk menghemat waktu. Dengan sekali putar menghasilkan dua penunjukan.



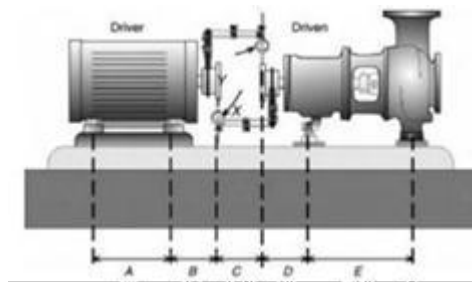
Gambar 2. 12 *Reverse dial indicator*

(Sumber: <https://www.etsworlds.id/2020/02/jenis-jenis-metode-alignment.html>)

- Keuntungan :
 - a. Cukup satu poros *shaft* yang perlu diputar, sehingga sangat baik untuk *alignment* pasangan mesin dimana salah satunya sulit diputar ataupun mesin yang tidak memiliki *thrust bearing*
 - b. Baik untuk *alignment* motor listrik tidak memiliki *bearing* aksial, tidak perlu diputar, karena jika diputar dapat menimbulkan kesalahan penunjukan *dial indicator*
 - c. Cukup cocok untuk kopling dengan diameter besar, karena ada ruang untuk penempatan *dial indicator*
 - d. Dengan mudah bisa melihat atau menggambarkan posisi poros
- Kerugian :
 - a. Sulit mendapatkan data yang akurat pada muka kopling jika rotor mempunyai *thrust bearing* yang *hydrodinamis*, karena pemindahan aksial
 - b. Sulit juga untuk motor listrik yang tidak mempunyai *thrust bearing*, karena jika diputar akan lari ke arah aksial atau maju-mundur
 - c. Biasanya memerlukan melepas *spool* kopling,
 - d. Agak sulit digambarkan untuk kalkulasi perpindahan.
- Perhitungan :

Ada hubungan matematis antara ukuran mesin yaitu, dimana baut kaki berada, tempat dilakukannya pengukuran posisi poros, dan poros pengukuran itu sendiri. Setelah semua pengukuran telah dilakukan, dan poros diplot ke dalam model penyelarasan, solusi gerakan korektif dapat dicapai. Menunjukkan hubungan matematis antara dimensi mesin dan pembacaan dial indicator ditangkap menggunakan teknik indikator terbalik. Persamaannya akan menyelesaikan

langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk memperbaiki kondisi *misalignment* yaitu, membawa poros ke dalam hubungan *cooler* ketika *off-line*, pada satu mesin atau mesin lainnya. Kasus ini adalah kondisi jika anda memutuskan untuk menjaga pengemudi tetap diam, menyelesaikan gerak pada mesin yang digerakkan atau sebaliknya (piotrowski, 2006).



Gambar 2. 13 *Shaft alignment metode reverse dial*

(Sumber: [Shaft Alignment Handbook, Jhon Piotrowski, Third Edition](#))

Dimana :

A,B,C,D,E = Jarak ditampilkan (dalam).

N = Setengah yang digerakkan perbedaan pembacaan pelek (dari atas ke bawah atau sisi ke sisi dalam mil).

Y = Setengah dari yang digerakkan perbedaan pembacaan pelek (dari atas ke bawah atau sisi ke sisi dalam mil).

$$\begin{aligned} \text{Inboard feet of driver} &= (B + C) \left[\frac{(F - N)}{C} \right] - (F) & \text{Inboard feet of driven} &= (C + D) \left[\frac{(F - N)}{C} \right] + (N) \\ \text{Outboard feet of driver} &= (A + B + C) \left[\frac{(F - N)}{C} \right] - (F) & \text{Outboard feet of driven} &= (C + D + E) \left[\frac{(F - N)}{C} \right] + (N) \end{aligned}$$

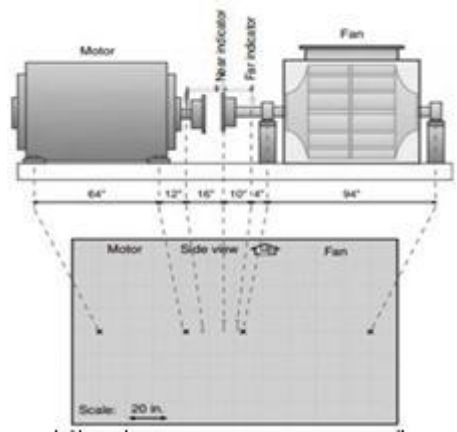
Gambar 2. 14 Rumus metode *reverse dial*

(Sumber: <https://www.etsworlds.id/2020/02/jenis-jenis-metode-alignment.html>)

Prinsip dasar pengukuran teknik radial ganda adalah menangkap dua (atau lebih jika diinginkan) pembacaan melingkar pada titik-titik berbeda sepanjang poros.

Ada enam informasi yang Anda perlukan untuk menyusun posisi poros dengan benar menggunakan teknik ini:

- a. Jarak dari kaki tempel ke dalam kapal (bidang baut) mesin pertama
- b. Jarak dari bidang perbautan bagian dalam mesin pertama ke titik pada poros dimana letak braket pada mesin pertama
- c. Jarak dari tempat indikator dial dekat menangkap pembacaan pelek pada mesin kedua hingga titik di mana indikator dial jauh menangkap pembacaan pelek mesin kedua
- d. Jarak dari tempat indikator dial jauh menangkap pembacaan pelek pada mesin kedua ke bidang perbautan bagian dalam mesin kedua
- e. Jarak dari kaki bagian dalam ke bagian luar (bidang baut) dari mesin kedua
- f. Delapan pembacaan *dial indicator* diambil di bagian atas, bawah, dan kedua sisi pada kedua poros setelah mengkompensasi *barshake* yaitu, berapa sepenuhnya *barshake* diukur. Fakta bahwa mungkin akan ada dua jumlah penurunan yang berbeda masing-masing lokasi indikator dial.



Gambar 2. 15 *Shaft alignment metode reverse dial*

Sumber: [Shaft Alignment Handbook, Jhon Piotrowski, Third Edition](#)

Tata cara pembuatan plot teknik radial ganda adalah sebagai berikut:

- Gambarkan poros tempat braket dijepit di atas garis tengah grafik.
- Mulailah dengan pembacaan indikator dial dari atas ke bawah atau dari sisi ke sisi pada poros lainnya (yaitu, yang tidak Anda gambar pada garis tengah grafik)
- Plot posisi garis tengah poros lainnya dengan memulai dari perpotongan grafik garis tengah dan titik di mana indikator dial dekat menangkap pembacaan di poros lainnya. Jika pembacaan bawah (atau samping) negatif, beri titik setengahnya pembacaan bawah (atau samping) dari garis tengah grafik ke arah atas grafik. Jika pembacaan bagian bawah (atau samping) positif, beri titik di separuh bagian bawah (atau samping) pembacaan dari garis tengah grafik ke arah bawah grafik (sama seperti pada teknik pemodelan *point-to-point*). Jangan menarik garis apa pun dulu.
- Selanjutnya, mulailah dari perpotongan garis tengah grafik dan titik letak dial jauh indikator menangkap pembacaan pada poros. Jika pembacaan bawah (atau samping) adalah negatif, tempatkan setengah titik pembacaan bawah (atau samping)

sampling) dari garis tengah grafik menuju bagian bawah grafik. Jika pembacaan bawah (atau sampling) positif, tempatkan titik setengah pembacaan bawah (atau sampling) dari garis tengah grafik ke arah atas grafik (kebalikan dari teknik pemodelan *point-to-point*).

- e. Kedua titik yang ditandai pada grafik pada titik pembacaan dial indikator ini menentukan garis pandangan (yaitu, garis tengah rotasi) dari poros lainnya. Gambarlah garis lurus melaluinya dua titik ini dari ujung kopling ke ujung luar poros lainnya.

5. Metode Laser

Metode *alignment* laser mirip dengan metode *rim and face*, namun pada metode ini menggunakan cahaya laser untuk menjangkau jarak antar poros. *Misalignment* dapat ditentukan oleh pergerakan sinar laser pada permukaan detektor dengan menggerakkan kedua buah poros secara bersamaan.



Gambar 2. 16 *Shaft alignment* metode laser

(Sumber: <https://www.etsworlds.id/2020/02/jenis-jenis-metode-alignment.html>)

- Kelebihan *alignment* metode Laser:
 - a. Merupakan metode *alignment* yang paling akurat,
 - b. Perhitungan alignment dapat dibuat dengan cepat langsung ke komputer,
 - c. Hanya membutuhkan 180 derajat poros rotasi,
 - d. Kemampuan bergerak secara horizontal.

- Sumber kesalahan alignment metode Laser:
 - a. Pengaruh Panas dan dingin pada udara dapat merusak komponen laser dan mempengaruhi hasil perhitungan *alignment*,
 - b. Kelonggaran dalam braket atau perlengkapan,
 - c. Kopling *backlash*.

2.6 Misalignment

Misalignment adalah ketidaklurusan antara kedua poros. *Misalignment* terjadi karena adanya pergeseran atau penyimpangan salah satu bagian mesin dari garis pusatnya. *Misalignment* sendiri mengakibatkan getaran dalam arah *axial* (Chaniago, Witanto, Suryadi., 2023). Gejala vibrasi yang diakibatkan oleh *misalignment* hampir sama dengan gejala *unbalance* akan tetapi dengan menggunakan *vibrometer* yang memadai akan lebih mudah membedakan antara *unbalance* dan *misalignment* yaitu dari analisa sudut fasanya. Terdapat beberapa jenis *misalignment*, seperti *misalignment* pada 18 sambungan kopling, sabuk, rantai, roda gigi dan lain-lain (Kalam Diaz A, B Setyoko, 2023). Jika *misalignment* terjadi pada kopling maka akan mempercepat kerusakan kopling, *bearing*, dan menimbulkan vibrasi berlebihan (Andi Ulfiana, 2016). Bagian-bagian yang mengalami kerusakan akibat ketidaklurusan poros (*misalignment*) (Junior dan Saleh, 2022) :

1. Poros, terjadi getaran yang berlebihan pada masing-masing poros.
2. Bantalan, terjadinya gesekan yang berlebihan pada bantalan mengakibatkan timbulnya panas yang berlebihan.
3. Baut –baut kopling akan rusak / putus.

4. Mempercepat kebocoran cairan yang dipompa pada *stuffing box*.
5. Pada pompa menurunkan efesiensi mekaniknya.
6. Kumputan pada motor listrik akan bergesekan sehingga dapat menimbulkan hubungan pendek.

2.6.1 Toleransi Misalignment

Menurut ANSI/ASA S2.75-2017/Part 1, batas toleransi *alignment* dipengaruhi oleh kecepatan putaran mesin dan jenis kopling yang digunakan. Pada sistem dengan kopling FCL 90 (*elastomeric flexible coupling*) dan putaran 2850 RPM, toleransi *alignment* yang diperbolehkan adalah *offset* sekitar 0,07–0,075 mm dan *angular* sekitar 0,2 mm. Semakin tinggi kecepatan putaran, nilai toleransi yang diizinkan semakin kecil, sehingga hasil alignment harus dijaga dalam batas ini agar kinerja poros dan kopling tetap andal serta umur pakai komponen lebih panjang (ANSI/ASA, 2017).

Tolerance range for flex planes separation 75 mm (3 inches) or greater, or couplings with elastomeric CML	Values @ RPM							
	900		1200		1800		3600	
	Offset μm (mils)	Angle $\mu\text{m}/\text{mm}$ or mils/in	Offset μm (mils)	Angle $\mu\text{m}/\text{mm}$ or mils/in	Offset μm (mils)	Angle $\mu\text{m}/\text{mm}$ or mils/in	Offset μm (mils)	Angle $\mu\text{m}/\text{mm}$ or mils/in
Minimal	191 (7.5)	1.5	178 (7.0)	1.4	157 (6.0)	1.2	122 (4.5)	0.9
Standard	106 (4.0)	0.8	97 (3.5)	0.7	87 (3.0)	0.6	66 (2.5)	0.5
Precision	51 (2.0)	0.4	46 (1.8)	0.3	41 (1.6)	0.3	30 (1.3)	0.2

Gambar 2. 17 Batas toleransi *alignment*

2.6.2 Macam macam *Misalignment* dibagi menjadi 3

1. *Offset Misalignment*

Offset misalignment adalah posisi dari kedua poros dalam keadaan tidak sejajar dengan ketinggian yang berbeda pada kedua poros tersebut.

2. *Angular Misalignment*

Angular misalignment adalah ketidaklurusan yang terjadi pada kedua poros yang posisinya saling menyudut, sedangkan kedua ujungnya (pada kopling) memiliki ketinggian yang sama.

3. *Combination Misalignment*

Combination misalignment adalah ketidaklurusan kedua poros dengan saling menyudut dan kedua ujung poros tidak sama.



Gambar 2. 18 Macam - macam **misalignment**

(Sumber: https://eprints.untirta.ac.id/34633/1/LAPORAN%20KP_Putu%20Evan%20Raditya%20S_3331200099.pdf)

2.6.3 *Penyebab Misalignment*

Ada beberapa penyebab terjadinya *misalignment*, diantaranya adalah (Putra, Taufika & Saefudin, 2016):

1. Defleksi yang terjadi pada poros
2. Kesalahan pemilihan kopling untuk menghubungkan dua buah poros
3. Kesalahan karena adanya perubahan kedudukan mesin yang satu (misal: settlement pondasi) relatif terhadap pasangannya.

Defleksi yang terjadi pada poros dapat menghasilkan misalignment terhadap sumbu putarnya. Defleksi pada poros ini dapat disebabkan oleh berbagai hal, antara lain (Putra, Taufika & Saefudin, 2016):

1. Dimensi poros yang terlalu panjang sehingga adanya bending akibat massa dari poros tersebut
2. Letak *bearing* yang tidak tepat, misalnya *bearing* tidak diletakkan di dekat konsentrasi beban yang besar.
3. Terjadi kesalahan pada waktu pemasangan kembali komponen mesin setelah diperbaiki.
4. Pergeseran bantalan atau landasan akibat getaran yang besar.
5. Pemuaian material akibat perubahan temperatur yang disebabkan oleh adanya gesekan pada bantalan.

2.6.4 Dampak Akibat Misalignment

Misalignment yang terjadi dapat mengakibatkan beberapa dampak negatif. Dampak negatif yang ditimbulkan oleh misalignment antara lain adalah (Putra, Taufika & Saefudin, 2016):

1. Getaran yang dibangkitkan bertambah besar dan dapat menimbulkan kebisingan (*noise*).
2. Terjadinya beban fatik pada poros yang disebabkan oleh tegangan dinamik yang terjadi. Keadaan ini dapat menyebabkan patah pada poros. Tegangan dinamik tersebut timbul karena adanya beban bending dan torsi.
3. Adanya konsentrasi tegangan yang besar bekerja pada *bearing*, sehingga dapat menurunkan umur pakai *bearing*.
4. Mempercepat terjadinya keausan pada *seal*.
5. Konsumsi energi makin tinggi dan terjadi penurunan performansi mesin karena tidak semua torsi diteruskan.

2.7 Keuntungan dan Kerugian Mesin di Alignment

2.7.1 Keuntungan Mesin di Alignment

Umur pakai mesin sangat diharapkan agar *reliable*/handal dan dapat dioperasikan selama mungkin tanpa kerusakan. Bahkan sistem “Manajemen Pemeliharaan” yang canggih pun menjadi tidak berarti jika mesin-mesin tidak di-*alignment* dengan benar mesin-mesin rotasi harus handal agar:

1. Mengurangi beban aksial dan radial yang berlebih pada *bearing* untuk mendapatkan umur *bearing* yang lebih panjang dan stabilitas rotor pada kondisi operasi dinamis.
2. Mengurangi kemungkinan poros patah akibat kelelahan *cyclic*.
3. Mengurangi keausan pada komponen kopling.
4. Mengurangi bend poros dari titik transmisi tenaga pada kopling ke *bearing*.
5. Mengurangi rotor *internal clearance* yang sesuai.
6. Level vibrasi yang lebih rendah pada casing mesin, rumah *bearing* dan rotor.
7. Unit produksi *reliable* / handal, dapat beroperasi sesuai dengan target waktu operasi yang diinginkan.
8. Ongkos pemeliharaan rendah, karena tidak terjadi kerusakan premature yang mengakibatkan kehilangan produksi dan membayar ongkos perbaikan/*spare part*.
9. Target produksi bisa dicapai sesuai dengan perencanaan produksi yang disesuaikan dengan kebutuhan / permintaan pasar.

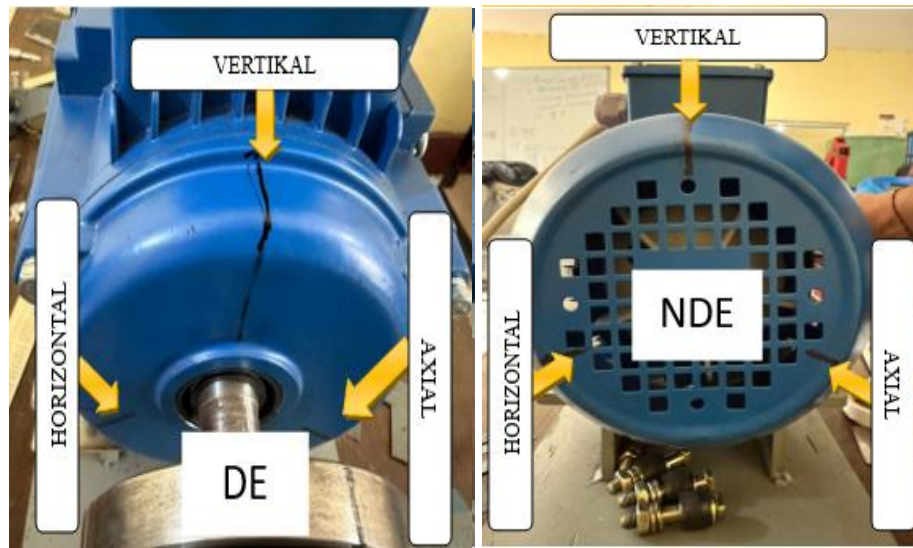
2.7.2 Kerugian Mesin Tidak di Alignment

Biasanya Biasanya kerusakan mesin rotasi disebabkan oleh *misalignment*, hal ini tentu saja sangat merugikan. Sedangkan sebab utama *misalignment* lebih banyak disebabkan oleh faktor manusia antara lain: karena tidak tahu, tahu tetapi belum bisa mengerjakan, tahu dan bisa mengerjakan tetapi malas melakukan.

1. Konsumsi energi (listrik, bahan bakar, steam) penggerak meningkat sekitar 5 - 10%. (Dwi20)
2. Beban yang diderita mesin bertambah, umur *bearing* berkurang dengan faktor dari bertambahnya beban.
3. Kerusakan prematur pada *bearing*, poros, *seal*, kopling dan lain-lain.
4. Temperatur tinggi pada *casing*, *bearing* atau minyak lubrikasi.
5. Kebocoran pada *seal*-nya *bearing*, *mechanical seal*.
6. Kopling menjadi panas dan cepat rusak.
7. Baut koping mudah kendur / patah. Baut pondasi kendur.
8. Vibrasi tinggi kearah radial dan axial

2.8 Getaran

Pengambilan data getaran diambil di tiga titik pengukuran dengan jenis karakteristik getaran kecepatan (*velocity*), hal ini berdasarkan pada pembahasan tinjauan pustaka bahwa *velocity* adalah satu indikator yang paling baik untuk mengetahui masalah *vibrasi* pada kondisi *misalignment*. Berikut adalah bagian-bagian yang akan diukur.



Gambar 2. 19 Titik pengukuran DE dan NDE

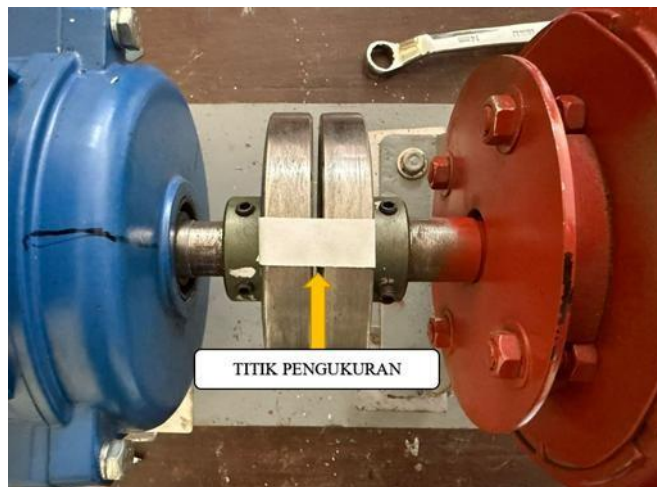
Pada titik pengukuran secara *vertical* adalah menempatkan alat pada posisi *vertikal* berbanding 90° dengan arah *horizontal* pada rumah motor, dan *axial* sejajar garis lurus dengan poros. Pengambilan pada tiga sumbu berfungsi untuk melihat kondisi vibrasi pada masing-masing sumbu seperti yang sudah dibahas di atas karena di setiap sumbu mempunyai vibrasi yang berbeda, dan pada setiap kondisi dapat ditentukan karakteristik kerusakan dengan melihat sinyal vibrasi dari masing-masing sumbu pengukuran.

Pengukuran vibrasi dilakukan dengan putaran mesin sebesar 100% yaitu sebesar 2850 RPM. Pengukuran putaran mesin menggunakan alat bantu *tachometer* non-contact. Cara kerja *non-contact tachometer* adalah dengan menempelkan bahan reflektif pada komponen yang berputar. *Tachometer* kemudian memancarkan seberkas cahaya

Inframerah yang diarahkan ke target reflektif. Ketika sinar cahaya mengenai target, sinar dipantulkan kembali ke sensor cahaya yang ditempatkan di dalam *tachometer*. Berikut titik pengukuran putaran mesin.

Pengukuran vibrasi dilakukan dengan putaran mesin sebesar 100% yaitu

sebesar 2850 RPM. Pengukuran putaran mesin menggunakan alat bantu *tachometer* non-contact. Cara kerja *non-contact tachometer* adalah dengan menempelkan bahan reflektif pada komponen yang berputar. *Tachometer* kemudian memancarkan seberkas cahaya inframerah yang diarahkan ke target reflektif. Ketika sinar cahaya mengenai target, sinar dipantulkan kembali ke sensor cahaya yang ditempatkan di dalam *tachometer*. Berikut titik pengukuran putaran mesin.



Gambar 2. 20 Titik pengukuran putaran mesin

Setiap pengambilan data vibrasi harus dilakukan pengecekan putaran mesin terlebih dahulu. Pengecekan putaran menggunakan dua titik pengukuran untuk memastikan bahwa putaran sesuai dengan yang disepakati sebelumnya yaitu 2850 rpm.



Gambar 2. 21 Pengecekan putaran mesin

2.8.1 Standar Getaran Untuk Mesin *Rotating* Menurut ISO 10816

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

Kategori getaran:

- **Good:** < 0.71 mm/s $\rightarrow$ Mesin dalam kondisi sangat baik dan stabil.
- **Satisfactory:** $0.71 - 2.80$ mm/s $\rightarrow$ Masih dapat diterima untuk operasi jangka panjang.
- **Unsatisfactory:** $2.80 - 7.10$ mm/s $\rightarrow$ Getaran mulai tinggi, perlu pemeriksaan.
- **Unacceptable:** > 7.10 mm/s $\rightarrow$ Tidak aman, harus segera dilakukan perbaikan.

- b. 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.

Kategori getaran:

- **Good:** $< 1.12 \text{ mm/s}$ → Mesin dalam kondisi baik dan efisien.
 - **Satisfactory:** $1.12 - 2.80 \text{ mm/s}$ → Masih aman untuk operasi normal.
 - **Unsatisfactory:** $2.80 - 7.10 \text{ mm/s}$ → Indikasi adanya ketidakseimbangan atau misalignment.
 - **Unacceptable:** $> 7.10 \text{ mm/s}$ → Melebihi batas, berpotensi merusak komponen.
- c. Class III, mesin dengan penggerak utama yang lebih besar dan mesin besar lainnya dengan rotating masses terpasang mati pada fondasi padat dan fondasi berat yang indikatornya sulit bagi penalaran getaran.

Kategori getaran:

- **Good:** $< 1.80 \text{ mm/s}$ → Mesin stabil dan tidak ada indikasi gangguan.
 - **Satisfactory:** $1.80 - 4.50 \text{ mm/s}$ → Dapat diterima untuk operasi berkelanjutan.
 - **Unsatisfactory:** $4.50 - 11.20 \text{ mm/s}$ → Getaran meningkat, perlu evaluasi.
 - **Unacceptable:** $> 11.20 \text{ mm/s}$ → Kondisi kritis, operasi harus dihentikan.
- d. 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.

Kategori getaran:

- **Good:** $< 2.80 \text{ mm/s}$ → Mesin bekerja dengan sangat baik.

- Satisfactory: 2.80 – 7.10 mm/s → Masih dalam batas aman operasi.
- Unsatisfactory: 7.10 – 18.00 mm/s → Getaran tinggi, perlu pemeriksaan sistem.
- Unacceptable: > 18.00 mm/s → Getaran berbahaya, harus segera dihentikan.

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816						
Machine			Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
Vibration Velocity Vrms	in/s	mm/s				
	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				

Gambar 2. 22 Standar vibrasi

2.8.2 Parameter Getaran

Getaran merupakan fenomena kompleks yang dapat diukur dengan berbagai cara. Tiga parameter terpenting yang digunakan untuk mengukur getaran adalah perpindahan (*displacement*), kecepatan (*velocity*), dan percepatan (*acceleration*). Masing masing parameter ini memiliki kelebihan dan kekurangannya sendiri, yang jika digunakan dengan tepat kan memberi wawasan mengenai sifat getaran.

1. Perpindahan (*Displacement*)

Perpindahan menunjukkan jarak antara objek yang berputar dan sensor yang berlaku. Jarak yang ditempuh dari puncak ke puncak atau *peak to peak*. Perpindahan diukur dalam satuan micron (μm) atau mils. Perpindahan paling efektif dalam getaran frekuensi sangat rendah umumnya di bawah lima kali kecepatan berjalan pada mesin yang bergerak lambat.

2. Kecepatan (*Velocity*)

Kecepatan adalah laju perubahan perpindahan dari waktu ke waktu dan diukur dalam satuan milimeter per detik (mm/s) (peak) atau inci per detik (in/s atau ips). Yang paling umum digunakan, kecepatan biasanya dianggap sebagai "jalan tengah yang tepat" antara perpindahan dan percepatan. Sementara perpindahan paling baik untuk mengukur getaran kecepatan/frekuensi yang sangat rendah, dan percepatan paling cocok untuk getaran kecepatan tinggi/frekuensi tinggi, kecepatan adalah solusi yang seimbang untuk sebagian besar kecepatan dan frekuensi. Beberapa potensi kesalahan dapat diidentifikasi dengan kecepatan seperti ketidaksejajaran, ketidakseimbangan, kelonggaran mekanis, getaran terkait baling-baling atau impeller, dan daftarnya terus bertambah.

Parameter kecepatan selalu berubah sepanjang jarak yang ditempuhnya, dimana pada posisi positif maximum dan negatif maximum kecepatan adalah nol, sedangkan pada posisi gerakan melewati daerah netral kecepatan adalah maximum.

3. Percepatan (*Acceleration*)

Akselerasi adalah laju perubahan kecepatan dari waktu ke waktu.

Akselerasi diukur dalam satuan meter per detik kuadrat (m/s^2) atau g. Akselerasi paling efektif dalam mendeteksi getaran yang berfrekuensi tinggi. Percepatan selalu

berubah sepanjang jarak yang ditempuhnya, dimana maximum pada saat displacement mencapai positif *maximum* atau mendekati negatif *maximum*.

2.9 Daya Input Output dan Efisiensi

Daya *input* pada motor listrik merupakan energi listrik yang disuplai dari sumber, V adalah tegangan, I adalah arus, dan $\cos \varphi$ adalah faktor daya. dimana dapat dihitung dengan persamaan (Pabla, 2005).

$$P_{in} = V \times I \cos \varphi$$

Daya *output* pada generator adalah energi listrik yang dihasilkan dari energi mekanik yang ditransfer melalui kopling, untuk beban resistif murni atau dapat diukur langsung menggunakan alat ukur daya listrik, dengan persamaan umum (Chapman, 2012).

$$P_{out} = V \times I \cos \varphi$$

Nilai efisiensi ini menunjukkan seberapa efektif konversi energi terjadi dari input ke output, di mana kehilangan daya biasanya disebabkan oleh rugi-rugi listrik, mekanik, maupun panas pada sistem (Fitzgerald et al., 2003). Dalam penelitian ini, pengukuran daya input dilakukan dengan *Chauvin Arnoux PEL 103* sebagai *power & energy logger*, sedangkan daya *output* generator diukur dengan Lutron DW 6093 sebagai digital *power meter*. Efisiensi sistem motor-generator dinyatakan sebagai perbandingan antara daya keluaran dengan daya masukan, yaitu

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

2.10 Pengukuran Temperatur Mesin dengan Infrared Thermography

Pengukuran temperatur pada mesin listrik dapat dilakukan melalui metode kontak maupun non-kontak. Metode kontak biasanya menggunakan sensor seperti termokopel atau RTD, sedangkan metode non-kontak memanfaatkan *infrared thermometer* atau kamera termal. Prinsip kerja pengukuran non-kontak adalah mendeteksi radiasi inframerah yang dipancarkan oleh permukaan benda, kemudian mengonversinya menjadi nilai temperatur (Çengel & Ghajar, 2015).

Faktor penting dalam pengukuran temperatur inframerah adalah emisivitas (ϵ), yaitu kemampuan suatu permukaan untuk memancarkan radiasi dibandingkan dengan benda hitam ideal. Nilai emisivitas bervariasi dari 0 hingga 1, di mana permukaan non-logam atau berlapis cat/karet memiliki emisivitas tinggi sekitar 0.95, sedangkan permukaan logam mengkilap seperti baja poles hanya sekitar 0.30 (Kaplan, 2007). Untuk meningkatkan akurasi pada permukaan logam dengan emisivitas rendah, biasanya digunakan cat hitam atau tape hitam sebagai lapisan tambahan.

Dalam penelitian ini digunakan FLIR TG-165, yaitu kamera termal genggam yang mengombinasikan citra inframerah dengan pengukuran titik temperatur. Alat ini diterapkan untuk memantau temperatur pada titik kritis mesin motor-generator, meliputi bearing sisi *Drive End (DE)* dan *Non-Drive End (NDE)* motor, *coupling*, serta housing generator. Nilai emisivitas disesuaikan dengan material permukaan yang diukur, yaitu 0.95 untuk permukaan non-logam atau berlapis cat/karet, dan 0.30 untuk permukaan logam mengkilap. Dengan pengaturan tersebut, hasil pengukuran temperatur dapat lebih merepresentasikan kondisi aktual mesin (FLIR Systems, 2015).

2.11 Simulasi Static Struktural

Simulasi *Static Struktural* adalah suatu metode analisis berbasis *Finite Element Method* (FEM) yang digunakan untuk mengetahui respon mekanik komponen akibat beban statis atau konstan. Analisis ini umumnya menghasilkan distribusi tegangan, deformasi, serta faktor keamanan (*factor of safety*). Dengan pendekatan FEM, komponen kompleks dapat dianalisis lebih detail dibandingkan perhitungan manual sederhana (Prakash et al., 2025).

Metode Elemen Hingga (FEM) bekerja dengan membagi struktur menjadi elemen kecil (*meshing*) yang saling terhubung di titik simpul (*node*). Setiap elemen memiliki fungsi bentuk (*shape function*) untuk menghitung regangan dan tegangan.

SolidWorks memiliki modul *Simulation* yang mendukung analisis statik linear untuk berbagai komponen mesin. Pada analisis poros, *SolidWorks* dapat menghitung distribusi tegangan akibat torsi maupun gaya tangensial, serta memprediksi deformasi puntir. Penelitian pada poros reel baja menggunakan *SolidWorks* menunjukkan bahwa hasil simulasi *Von Mises stress* dan defleksi sesuai dengan perhitungan manual, sehingga valid untuk digunakan dalam evaluasi desain (Pravin et al., 2018).

1. Pre-processing

Tahap awal simulasi dimulai dengan *pre-processing*, yaitu pembuatan model CAD komponen (misalnya poros atau kopling) di *SolidWorks* dan pendefinisian properti material. Material didefinisikan berdasarkan data modulus elastisitas, rasio Poisson, densitas, dan tegangan luluh. Selain itu, model kemudian didiskretisasi ke dalam elemen-elemen kecil melalui proses *meshing* untuk mempermudah analisis numerik. Penelitian oleh Prakash et al. (2025) menunjukkan bahwa pemodelan

CAD yang tepat serta meshing yang baik sangat berpengaruh pada akurasi distribusi tegangan *Von Mises* yang dihasilkan dalam analisis kopling flange kaku.

2. *Boundary Condition*

Setelah model dibuat, kondisi batas (*boundary condition*) perlu ditentukan agar simulasi mendekati kondisi nyata di lapangan. Pada umumnya, salah satu ujung poros atau hub didefinisikan sebagai *fixed support* untuk menahan gerakan, sementara bagian lain menerima beban berupa torsi atau gaya tangensial. Penetapan kondisi batas ini krusial karena jika tidak sesuai, hasil simulasi dapat menyimpang jauh dari kondisi riil. Vijay et al. (2021) dalam studinya tentang poros engkol membuktikan bahwa kondisi batas yang akurat sangat menentukan dalam memprediksi tegangan maksimum pada titik kritis.

3. *Loading*

Tahap berikutnya adalah memasukkan beban yang bekerja pada komponen. Pada analisis poros motor–generator, beban umumnya berupa torsi yang dihitung dari daya dan putaran motor dengan persamaan.

Torsi ini dapat dikonversi menjadi gaya tangensial ekuivalen pada diameter kopling. Zheng et al. (2016) dalam penelitiannya pada mesin CNC lima sumbu menggunakan gaya pemesian sebagai input beban untuk mengevaluasi deformasi poros secara realistis dengan SolidWorks Simulation.

4. *Solving*

Setelah semua parameter dimasukkan, perangkat lunak FEM menyelesaikan sistem persamaan kesetimbangan global. Proses ini dilakukan secara otomatis oleh *solver* di SolidWorks Simulation. Tee (2021) menjelaskan bahwa penyusunan dan penyelesaian matriks kekakuan global merupakan inti dari FEM yang

memungkinkan analisis distribusi tegangan dan deformasi lebih akurat dibanding metode manual.

5. Post-processing

Tahap terakhir adalah *post-processing*, yaitu interpretasi hasil simulasi berupa visualisasi kontur tegangan Von Mises, deformasi total, regangan, serta faktor keamanan (*factor of safety*). Informasi ini digunakan untuk mengevaluasi apakah desain poros maupun kopling masih berada dalam batas aman material. Pravin et al. (2018) menunjukkan bahwa hasil simulasi pada poros reel baja dapat divalidasi dengan perhitungan manual, di mana Von Mises stress dan deformasi masih di bawah batas luluh material sehingga desain dinyatakan aman.