

## OPTIMALISASI ANALISA VIBRASI UNTUK MENDETEKSI GEJALA *MISALIGNMENT* PADA MESIN BERPUTAR

**Wardjito, Hendra Dwi Nur Cahyo**

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gresik

### ABSTRAK

*Kerusakan pada mesin berputar yang disebabkan oleh misalignment dan perbedaan phase merupakan kerusakan yang mengakibatkan kegagalan dan keterlambatan yang mempengaruhi kapasitas serta pencapaian hasil produksi.*

*Pada penelitian ini dilakukan percobaan dengan menggunakan simulator mesin berputar dengan cara memberikan shims pada posisi fan dengan variasi ketebalan antara 0,5, 0,75, 1,00, dan 1,50, sehingga mesin simulator mengalami keadaan misalignment baik pada posisi angular maupun posisi parallel.*

*Disetiap item percobaan dilakukan pengukuran vibrasi dan perbedaan phase menggunakan peralatan CSI 2130 Machinery Health Analyzer dual channel.*

*Dari hasil analisa spectrum vibrasi dan perbedaan phase dapat disimpulkan bahwa angular misalignment ditandai dengan nilai tingginya vibrasi diarah axial terutama didekat kopling yang strukturnya lemah dan terjadi perbedaan phase diarah axial sebesar 180°, parallel misalignment ditandai dengan tingginya vibrasi diarah radial(horizontal dan vertical) dan perbedaan phase diarah radial(horizontal dan vertical) sebesar 180°, sehingga untuk mendeteksi gejala misalignment sebaiknya pengukuran perbedaan phase harus dilakukan sebagai tambahan untuk memperkuat diagnosa pengambilan kesimpulan gejala awal misalignment.*

**Kata kunci : Misalignment, Spectrum Vibrasi, dan Perbedaan Phase**

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

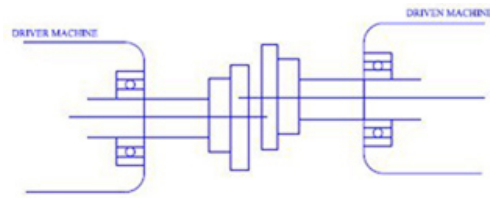
*Misalignment* adalah salah satu sumber getaran yang dapat menyebabkan kerusakan pada mesin yang sering terjadi pada mesin yang berputar.

*Misalignment* juga menimbulkan getaran yang berlebihan sehingga dapat menimbulkan kerusakan dini pada komponen mesin dan selanjutnya memperpendek umur operasi pada pompa atau mesin berputar. Mengetahui *misalignment* pada mesin yang sedang tidak berputar tidaklah sulit, hanya dengan melakukan pengukuran *misalignment* dengan menggunakan metode *alignment* yang sudah sangat familiar di dunia industri. Banyak *literature* yang menyajikan karakteristik getaran *misalignment* yang berbeda-beda namun tidak disertai dengan sistematis dengan berbagai kondisi dan parameter.

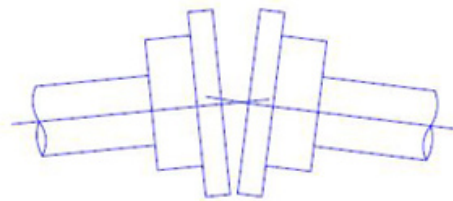
Diambil dari *Vibration Diagnostic Chart* yang dibuat oleh *Technical Associates of Charlotte* memberikan menganalisa karakteristik getaran *misalignment* pada sistem pada mesin berputar dimana kopling rigid sebagai elemen transmisi daya.

Tidak menutup kemungkinan menambah biaya perbaikan yang lebih besar pada mesin, metode pengecekan dengan perbedaan *phase* dapat membantu untuk mengoptimalkan terjadinya proses *misalignment* pada mesin berputar, sehingga kinerja mesin tetap optimal dan tingkat kekuatan poros akan lebih terjaga kualitas kerjanya.

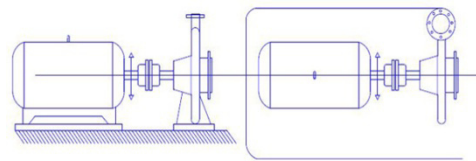
Dibawah ini contoh gambar pompa yang sedang mengalami *misalignment*.



Gambar 1.1 - Parallel misalignment.



Gambar 1.2 - Angular misalignment.



Gambar 1.3 - (a) Vertical alignment. (b) Horizontal alignment.

### Tujuan Penelitian

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk :

1. Untuk mengetahui cara mendeteksi gejala awal *misalignment*.
2. Untuk mengetahui pengaruh *misalignment* terhadap perbedaan *phase* pada mesin berputar.

### LANDASAN TEORI

#### Pengertian Mesin Berputar (*Rotating Equipment*)

Menurut (*Arthur R. Crawford*, tahun 1992) mesin/peralatan (*rotating equipment*) adalah suatu mesin yang mempunyai sistem kerja berputar searah jarum jam dengan kecepatan dan waktu tertentu sesuai kebutuhan dan fungsi mesin tersebut.

1. Jenis mesin berputar seperti dibawah ini :
  - a. Turbin
  - b. Generator
  - c. Mesin perkakas
  - d. Mesin tekstil
  - e. Pompa
  - f. Engine, dan sebagainya.

Jenis mesin berputar diatas mesin yang dapat diatur kecepatan/*speed* dan dapat disetting dengan waktu kerja mesin yang cukup lama sesuai fungsi mesin yang digunakan oleh sebuah perusahaan.

Produk yang termasuk *rotating equipment* merupakan produk yang membutuhkan teknologi presisi tinggi dalam proses pembuatannya. Contoh umum peralatan pabrik mesin produksi. Poros dalam sebuah mesin berfungsi untuk meneruskan tenaga bersama-sama dengan putaran.

Setiap elemen mesin yang berputar, seperti cakara tali, puli sabuk mesin, piringan kabel, tromol kabel, roda jalan dan roda gigi, dipasang berputar terhadap poros dukung yang tetap atau dipasang tetap pada poros dukung yang berputar.

Namun harus diwaspadai juga mesin berputar yang digunakan dalam jangka waktu panjang biasanya juga akan sering mengalami kerusakan ringan ataupun kerusakan yang berakibat fatal yang dapat merugikan suatu proses produksi.

2. Jenis kerusakan yang paling sering terjadi pada mesin berputar adalah :
3. *Unbalance*  
*Unbalance* adalah dimana pusat massa tidak sesumbu pada sumbu rotasi.
  - a. Penyebab *Unbalance*
    - 1) Kesalahan dalam proses permesinan atau *assembly*.
    - 2) Eksentrisitas komponen.

- 3) Adanya kotoran dalam proses pengecoran.
- 4) Korosi dan keausan.
- 5) *Distorsi geometri* adanya beban *thermal* dan beban mekanik.
- 6) Penumpukan material, misalnya debu pada *fan* kompresor atau blower.
- 7) Komponen yang bengkok atau patah.

b. Ciri – ciri *Unbalance*

*Analisis Spectrum* :

- 1) *Amplitudo* yang tinggi di 1 x rpm.
- 2) Rasio *amplitudo* antara pengukuran arah *horizontal & vertical* besar ( $H/V < 3$ ), kecuali
- 3) pada kasus khusus yang memiliki kekakuan yang tidak *simetris*.
- 4) *Amplitudo* yang rendah di 1 x rpm diarah *Axial* (kecuali untuk kasus mesin *overhung*).

*Analisis waveform*:

- 1) Sangat sinusoidal, bentuk *waveform* simetrik setiap 1 x putaran poros.

*Analisis Data Phase* :

- 1) Perbedaan *phase* antara pembacaan *horizontal & vertical* pada bearing yang sama adalah  $90^\circ$  *out off phase* ( $\pm 30^\circ$ ).
- 2) Perbedaan *phase* antara pembacaan *horizontal* atau *vertical* pada kedua bearing adalah se *phase/in phase* ( $\pm 30^\circ$ ).
- 3) Data ase relative stabil, perubahannya antara 15% ~ 20%.
- 4) *Amplitudo* tinggi di 1 x Rpm.

- 5) Vibrasi rendah di  $1 \times Rpm$  untuk arah axial, kecuali pada rotor yang over hung.
- 6) Pola  $1 \times Rpm$  tampak sinusoidal di waveform.

Catatan :

Jika pengukuran di arah *radial* terdapat  $1x$ ,  $2x$  dan  $3x rpm$  dicurigai masalah lain, bisa jadi *resonansi*.

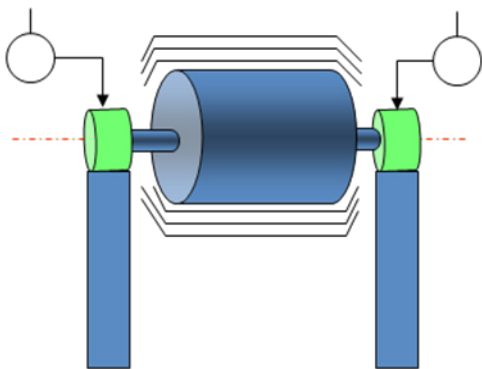
- a. *Unbalance* selalu di *peak 1x Rpm*, tapi  $1x Rpm$  tidak selalu *unbalance*.
- b. Cek posisi sudut phase dari *horizontal* ke *vertical*, sudut *phase*  $90^\circ \pm 30^\circ$ . Jika sudut *phase*  $0^\circ$  atau  $180^\circ \pm 30^\circ$  kemungkinan terdapat masalah *resonansi*.
- c. Jika sudut *phase* tidak *steady* terdapat masalah *looseness*.

#### 4. Macam – macam *unbalance Force/Static Unbalance*

***Force Unbalance*** berada pada *phase & steady*.

*Amplitudo* yang dihasilkan *unbalance* akan bertambah oleh hasil kali dari kecepatan.

( $3x$  pertambahan kecepatan =  $9x$  vibrasi yang lebih tinggi).  $1 \times rpm$  selalu lebih tinggi dan umumnya mendominasi *spectrum*. Dapat dikoreksi dengan menambah 1 penempatan pemberat bidang yang *unbalance* dari rotor/fan.

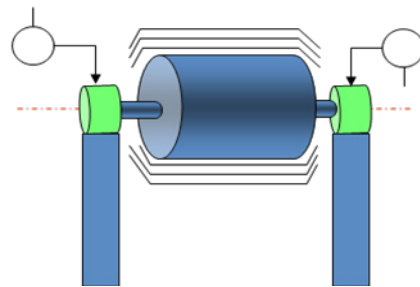


Gambar 2.1 *Force Unbalance* berada pada *phase & steady*.

#### **Couple Unbalance.**

*Couple Unbalance* cenderung mendekati  $180^\circ$  *Out-of-phase* pada poros yang sama.  $1x$  selalu terjadi dan umumnya mendominasi *spectrum*. *Amplitude* bervariasi dengan hasil kali dari bertambahnya kecepatan. Mungkin dapat terjadi vibrasi aksial yang tinggi seperti pada radial. Koreksi membutuhkan penempatan berat pembalance pada paling sedikit 2 bidang.

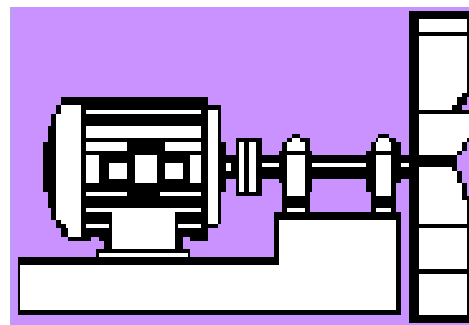
Catatan bahwa mendekati perbedaan *phase*  $180^\circ$  seharusnya ada antara *Outboard* dan *Inboard horizontal* seperti *Outboard* dan *Inboard verticals*.



Gambar 2.2 *Couple Unbalance*.

#### **Overhung rotor Unbalance**

*Overhung Rotor Unbalance* menyebabkan vibrasi tinggi pada kedua aksialnya maupun radialnya. Pembacaan aksial mungkin tidak *steady*, *overhung* rotor sering mempunyai kedua *force* maupun *couple unbalance*, masing-masing dari hal tersebut membutuhkan koreksi.



Gambar 2.3 *Overhung rotor Unbalance*

**Misalignment**

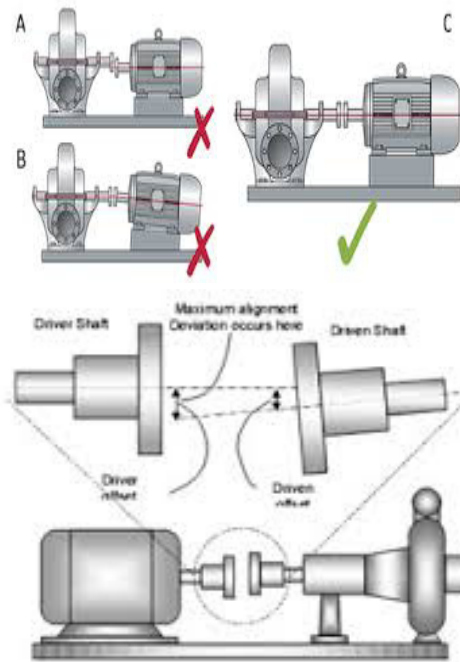
*Misalignment* adalah ketidaklurusan kedua poros. Jenis kerusakan diatas adalah yang sering dialami oleh mesin berputar, dengan demikian untuk mencegah sedini mungkin kerusakan yang dialami oleh mesin berputar sebaiknya dilakukan pendataan dan pengecekan secara berkala (perawatan mesin) pada semua mesin berputar yang ada pada suatu perusahaan yang berskala besar.

Menurut Agung Pikanandra Maintenance Agustus 14, 2012 *Misalignment* adalah proses terjadinya optimalisasi sebuah poros yang mencapai puncak kekuatan suatu poros, sehingga membuat kinerja mesin berkurang pada saat mesin sedang beroperasi. Membutuhkan energi lebih untuk tetap dapat beroperasi serta akan adanya dampak buruk dalam waktu jangka panjang jika mesin tetap dipaksa untuk beroperasi. Tidak menutup kemungkinan menambah biaya perbaikan yang lebih besar pada mesin anda, *condition monitoring* dapat membantu anda untuk meminimalisir terjadinya proses ketidak sejajaran suatu poros pada mesin anda, sehingga kinerja mesin tetap optimal dan tingkat kekuatan poros akan lebih terjaga kualitasnya, seperti contoh gambar dibawah ini menunjukkan terjadinya *misalignment* pada mesin berputar.

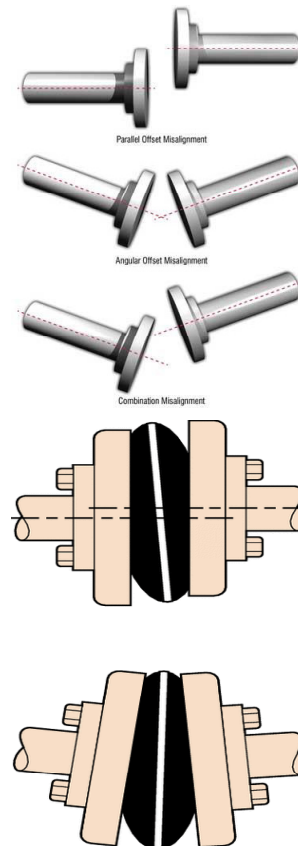
**Macam macam bentuk *misalignment*:**

1. *Paralel Misalignment* adalah posisi dari kedua poros dalam keadaan tidak sejajar dengan ketinggian yang berbeda.
2. *Angular Misalignment* adalah ketidaklurusan kedua poros yang posisinya saling menyudut, sedangkan kedua ujungnya (pada kopleng) mempunyai ketinggian yang sama.
3. *Combinasion Misalignment* adalah ketidaklurusan kedua poros yang

posisinya saling menyudut dan kedua ujungnya poros (kopleng) tidak sama.



Gambar 2. Kondisi Mesin Misalignment



**Gambar 2.4** Contoh kopleng pompa yang mengalami keadaan *misalignment*.

### Penyebab Misalignment dan Akibatnya

Dalam operasi awal selesai instalasi peralatan putar sudah dalam kondisi tidak ada *misalignment* tetapi setelah beberapa waktu operasi peralatan tersebut mengalami *misalignment* hal ini disebabkan oleh beberapa hal sbb:

#### Kendornya baut pengikat kaki-kaki peralatan pada pondasi.

Bila baut pengikat kaki pada *base plate* kendor atau kurang mampu menahan gaya-gaya yang terjadi pada kaki-kaki peralatan maka akan mengakibatkan bergesernya letak kaki peralatan tersebut dan tempat, yang semestinya hal inilah yang akan menyebabkan berubahnya kelurusan antara kedua poros penggerak dengan poros yang digerakkan, untuk itu selama perawatan rutin perlu adanya pengecekan terhadap baut-baut tersebut.

#### Sifat elastis ganjal (*Spring Shims*)

Jika melakukan *alignment* maka ada kemungkinan akan menambah atau mengurangi ganjal (*shims*) untuk membuat kedudukan peralatan menjadi segaris, dalam penambahan ganjal ini perlu dipertimbangkan jumlah ganjal yang akan dipakai, karena semakin banyak ganjal yang akan dipergunakan akan semakin besar kemungkinan ganjal itu mudah bergeser dan semakin besar sifat elastisnya (*fleksibel* karena ketebalan tumpukan).

Walaupun gerakan/geseran itu kecil tapi hal ini akan mengakibatkan terjadinya *misalignment*, untuk mengatasi hal ini biasanya dalam menggunakan ganjal tidak boleh dari tiga buah (atau disesuaikan dengan rekomendasi dari pabrik peralatan tersebut), dan yakinkan ukuran ketebalan yang sesuai dengan kebutuhan, serta yakinkan pula bahwa ganjal tersebut benar-benar bersih dan bebas dari *kontaminasi*.

### Akibat yang Ditimbulkan Misalignment

Akibat adanya *misalignment* akan banyak merugikan, karena dampaknya terhadap peralatan sangat besar, dan dapat mempengaruhi panjang pendeknya umur mesin.

#### Beberapa hal sebagai akibat adanya misalignment adalah sbb:

1. Dapat menimbulkan getaran yang berlebihan pada peralatan.
2. Dapat mengakibatkan poros bengkok.
3. Gesekan yang berlebihan pada bantalan sehingga menimbulkan panas yang berlebihan
4. Dengan timbulnya panas yang berlebihan akan mengakibatkan keausan dan kerusakan sifat-sifat minyak pelumas.
5. Dapat merusak *seal*.
6. Merusak baut-baut kopling.

### Manajemen Perawatan Industri

Menurut Supandi (1990) perawatan adalah suatu konsep dari semua aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kualitas peralatan agar tetap dapat berfungsi dengan baik seperti dalam kondisi sebelumnya.

Dari pengertian diatas dapat ditarik kesimpulan, bahwa :

1. Fungsi perawatan mesin dan peralatan lainnya sangat berhubungan erat dengan proses produksi.
2. Peralatan yang dapat digunakan terus untuk berproduksi adalah hasil adanya perawatan.
3. Aktivitas perawatan banyak berhubungan erat dengan pemakaian peralatan, bahan pekerjaan, cara penanganan dll.
4. Aktivitas perawatan harus dikontrol berdasarkan pada kondisi yang terjaga.

5. Filosofi perawatan adalah yang digunakan oleh proses industri yang berbeda, kita akan melihat sedikit kesamaan meskipun ada *variasi* dalam sifat operasionalnya.

Menurut Paresh Gidhar (2004) Filosofi perawatan ini biasanya dibagi menjadi empat kategori berbeda :

1. Perawatan Sesudah Rusak (*Breakdown*).
2. Perawatan Rutin (*preventive maintenance*).
3. Perawatan Ulang (*corrective maintenance*).
4. Perawatan Produktif (*predictive maintenance*).

#### **Perawatan sesudah rusak (*breakdown*)**

Pada mulanya di industri kimia dan industri lainnya semua pemeliharaan pabrik dilakukan dengan metode ini, prinsipnya jika ada mesin/peralatan yang sudah rusak, baru pemeliharaan dilakukan sesegera mungkin. Hingga akhirnya para *engineering* pemeliharaan tidak punya waktu untuk memberikan ide yang baik bagi pengembangan mendasar dalam usaha untuk meminimalkan kerusakan tersebut karena mereka semua sibuk dengan pekerjaan-pekerjaan yang bersifat rutin seperti pekerjaan perbaikan lainnya (*repair work*). Konsep dasar pemeliharaan adalah menjaga atau memperbaiki mesin atau pabrik hingga kalau boleh dapat kembali kekeadaan aslinya dengan waktu yang singkat dan biaya yang murah.

Tujuan pemakaian metode ini adalah untuk mendapatkan penghematan waktu dan biaya dan perbaikan dilakukan pada keadaan yang benar-benar perlu. Pada pemeliharaan sistim ini pekerjaan pemeliharaan hanya akan bekerja setelah terjadi kerusakan pada mesin atau pabrik.

Jika kita memakai sistim ini kerusakan mesin atau *equipment* akan terjadi berkali-kali dan *frekuensi* kerusakannya hampir sama saja setiap tahunnya. Artinya beberapa mesin atau *equipment* pada pabrik tersebut ada yang sering diperbaiki, pada pabrik yang beroperasi secara terus menerus, dianjurkan untuk menyediakan cadangan mesin (*stand by machine*) bagi mesin/peralatan yang *vital*.

Sifat-sifat lain dari sistim pemeliharaan ini adalah sistim data dan *file* informasi. Data dan *file* informasi untuk perbaikan mesin/*equipment* ini harus dijaga oleh seorang *engineering* yang bertanggung jawab terhadap data tersebut.

Sistim ini untuk pembongkaran pabrik tahunan tidak dipakai karena pada saat dilakukannya penyetulan dan perbaikan, unit cadanganlah yang dipakai. Dan ini memerlukan tenaga kerja tetap yang sangat banyak dibandingkan dengan sistim lain.

#### **Perawatan Rutin (*preventive maintenance*).**

Pada sistim pemeliharaan *breakdown* kita sudah merasakan perlunya melakukan pemeriksaan atau perbaikan pada mesin atau *equipment* yang berbahaya pada operasi keseluruhan pabrik, biaya perbaikan akan dapat diminimalkan bila telah kita ketahui kerusakan tersebut secara dini. *Tipe* pemeriksaan dan perbaikan *preventive* ini dibuat dengan mempertimbangkan ketersediaan tenaga kerja, suku cadang, bahan untuk perbaikan dan faktor-faktor lainnya.

Keuntungan melakukan pemeriksaan dan perbaikan secara periodik dan pada saat yang tepat pada semua mesin/peralatan adalah dapat di rencanakan total perbaikan pada seluruh sistim pabrik

oleh para unit pemeliharaan. Selanjutnya, bila kesalahan atau kerusakan mesin/*equipment* dapat direncanakan lebih awal dengan melihat fenomena kenaikan getaran mesin, kenaikan *temperatur*, suara, dan lain-lain. Dalam hal ini perbaikan dilakukan segera sebelum terjadi kerusakan yang lebih fatal. Biaya perbaikan dan lamanya mesin/*equipment* tidak beroperasi dapat diminimalkan dibandingkan dengan perbaikan mesin yang sama tetapi dilakukan setelah mesin itu rusak total.

Sistim pemeliharaan pabrik meliputi rencana inspeksi dan perbaikan secara periodik. (periode inspeksi dan perbaikan dapat berbeda tergantung pada *tipe* mesin dan penting tidaknya pencegahan kerusakan tersebut) dengan perbaikan pabrik atau pencegahan kerusakan sedini mungkin hingga dapat diketahui perlu tidaknya dilaksanakan pekerjaan perbaikan sebelum kerusakan yang lebih serius terjadi, aspek yang terpenting dari pemeliharaan rutin adalah dapat diperhitungkan umur mesin/*equipment* tersebut.

Pendeteksian keadaan yang tidak normal pada mesin/*equipment* sedini mungkin dilakukan oleh tim inspeksi yang berada dibawah bagian pemeliharaan dan peralatan mesin/*equipment*. Tetapi bantuan dan laporan dari pihak produksi akan sangat membantu bagian pemeliharaan, hingga dapat dibuat perencanaan yang optimum. Tim perencanaan dan inspeksi adalah merupakan bagian dari sistim pemeliharaan rutin.

Tim pemeliharaan ini melakukan pemeriksaan rutin pada mesin-mesin dan *equipment*, pada saat terjadinya perbaikan mesin, menyiapkan inspeksi dan membuat rencana perbaikan, termasuk pengontrolan biaya dan pengembangan teknis dari *equipment* tersebut.

Jika pembongkaran pabrik yang tidak diharapkan dan kerusakan mesin/*equipment* berkurang atau turun, kebutuhan jumlah operator dan pergantian tugas jaga mesin akan berbeda pada tingkatan ini. Pengurangan kemungkinan kerusakan mesin/*equipment* merupakan tujuan yang paling penting dari pemeliharaan pabrik sistim *preventive*, tetapi kemajuan perkembangan bahan tidak sejalan dengan perkembangan pemeliharaan sistim *preventive*. Sistim pemeliharaan ulang (*corrective maintenace*) berikut ini dianjurkan untuk mengatasi masalah tersebut. Bila pemeliharaan rutin dilaksanakan dengan baik, maka beberapa mesin cadangan yang ada tidak akan terpakai karena umur mesin akan bertambah panjang hingga perbaikan hanya perlu dilakukan pada saat pembongkaran mesin-mesin skala besar dipabrik tersebut (*turnaround*), maka mesin-mesin cadangan boleh ditiadakan yang artinya akan mengurangi biaya perawatan.

Data dan informasi sehubungan dengan inspeksi dan perbaikan mesin/*equipment* akan tercatat dengan sistimatis dan ini merupakan data dasar untuk merumuskan rencana pemeliharaan selanjutnya dan peningkatan fasilitas yang dilakukan oleh bagian perencanaan dan inspeksi. Data ini merupakan masukan yang sangat akurat untuk bagian pergudangan yang mengontrol suku cadang dan bahan untuk pemeliharaan rutin.

Dengan memakai sistim pemeliharaan rutin ini tenaga kerja untuk pemeliharaan harian dapat dikurangi hingga 60%.

#### **Perawatan Ulang (*corrective maintenace*).**

Setelah beberapa tahun pemeliharaan rutin dilaksanakan di pabrik,

dari data inspeksi yang dilakukan rutin maka bisa diketahui umur dan biaya pemeliharaan dari masing-masing mesin/*equipment*. Dari informasi ini kita dapat menentukan prioritas unit mana yang harus segera diperbaiki.

Bagian inspeksi dan perencanaan, bekerja sama dengan bagian produksi dan pekerja lapangan akan menginformasikan kondisi masing-masing mesin dan *equipment* dengan cara sebagai berikut :

1. Bagaimana perencanaan aslinya, kapasitas dan apakah kinerja berubah setelah masa perawatan yang lama, suku cadang mana yang mudah rusak.
2. Adakah cara lain untuk mencegah kerusakan tersebut?
3. Mencari dimana letak permasalahan dari sistem tersebut.
4. Menetapkan umur dari mesin-mesin dan *equipment* untuk menangkul munculnya masalah yang lebih besar.

Selanjutnya data perbaikan dan pemeriksaan yang rutin akan memungkinkan kita mendeteksi terjadinya kerusakan dan mempersiapkan kerja untuk jenis kerusakan tersebut. Ini akan menghasilkan prosedur perbaikan yang tepat dan dapat meminimalkan waktu yang dipakai untuk pekerjaan tersebut.

Sifat yang menonjol dari sistem pemeliharaan ulang adalah efisien dan dekat serta eratnya hubungan diantara bagian perencanaan, bagian inspeksi dan para pekerja seperti ahli bahan, *engineering* mesin, kimia, dan lain-lain. Disini masalah yang muncul dilapangan dapat diatasi karena adanya kerjasama dari seluruh bagian-bagaian yang ada dipabrik. Meminimalkan *frekuensi* kerusakan pabrik setiap bulan dapat dilakukan dengan cara menjaga kualitas bahan, memodifikasi rancangan mesin, proses dan lain-lain.

Informasi dari penyedia barang (*supplier*) mengenai barang/bahan yang terbaru, ini akan sangat membantu perencanaan selanjutnya, tetapi pemakaian bahan-bahan ini harus kita mengerti benar dan disesuaikan dengan keperluan dasar pabrik.

Tugas dari seorang *engineer* pemeliharaan tidak hanya sebatas merawat mesin dan *equipment* yang ada saja. Tugasnya adalah memaksimalkan keuntungan pabrik dengan mengurangi jumlah kerusakan mesin dan *equipment* dan juga mengurangi biaya pemeliharaan, ini dilakukan dengan mempelajari/ mengembangkan teknologi terbaru.

Konsep pembiayaan pada pengembangan bahan untuk suku cadang mesin atau *equipment* tertentu adalah sangat penting dan orang yang ahli bahan harus bekerja sama dengan bagian pemeliharaan. Awalnya pada pemeliharaan ulang, tenaga kerja tambahan dan penanaman modal diperlukan, tetapi modal tersebut akan kembali dalam waktu yang singkat dengan dinaikkannya pelayanan, bertambahnya penurunan kerusakan, terjadinya penurunan biaya perbaikan, dan bertambah panjangnya umur dari fasilitas-fasilitas tersebut.

Kebanyakan pabrik-pabrik mengikuti konsep terbaru yaitu pabrik besar yang terpadu didalam satu lokasi, hingga tidak diperlukan lagi mesin atau *equipment* cadangan, disini kondisi masing-masing mesin/*equipment* sudah sangat terjamin, ini disebabkan karena pemeliharaan ulang dijalankan. Tenaga kerja untuk pemeliharaan harian dapat ditekan hingga 50%.

### **Perawatan Produktif (*predictive maintenance*)**

Sistem pemeliharaan yang telah diuraikan diatas mempunyai asumsi dasar, bahwa makin tinggi efisiensi

makin tinggi keuntungan yang akan diperoleh, maka bila efisiensi yang tinggi tadi tidak membawa keuntungan yang diinginkan, maka konsep baru dari sistim pemeliharaan perlu dipikirkan.

Dibawah kondisi ini konsep baru mungkin diperlukan.

1. Bila produksinya maximum, hingga pasar tidak dapat membelinya.
2. Pabrik-pabrik tertentu tidak memerlukan pemeliharaan yang rutin.
3. Jika suatu pabrik didirikan pada daerah industri dimana fasilitas-fasilitas penunjangnya telah disediakan, maka dalam hal ini fasilitas-fasilitas penunjang untuk pabrik kita bisa lebih hemat lagi.

Sistim pemeliharaan yang baik adalah berbeda untuk masing-masing pabrik karena masing-masing pabrik berbeda pemakaian bahan dan energinya, sistim pemeliharaan dimulai dengan mengoptimumkan sistim pemeliharaan itu sendiri berkaitan dengan beberapa kondisi yang dialami oleh pabrik tersebut, ini adalah konsep pemeliharaan produktif. Pengurangan kerusakan yang tidak diinginkan merupakan elemen yang sangat penting bagi semua tipe sistim pemeliharaan, pengurangan ini dapat diperoleh dengan teknologi yang dapat mengidentifikasi umur mesin dan *equipment* tanpa harus mesinnya dibongkar.

Kerjasama yang baik diantara bagian perencanaan, bagian inspeksi, dan bagian produksi harus dijaga untuk mengoptimumkan sistim yang dipakai pada pemeliharaan produktif. Tujuan dari pemeliharaan atau perencanaan lain adalah untuk merencanakan pemeliharaan dari masing-masing fasilitas yang ada sesuai dengan umur masa pakainya dan dengan mengurangi biaya pemeliharaan

tahunan, dengan cara pendekatan inspeksi dan pekerjaan perbaikan pada waktu diadakannya pembongkaran pabrik tahunan atau pemeliharaan yang lain-lain.

Optimisasi perencanaan biaya pemeliharaan untuk pekerja lapangan pada saat pembongkaran pabrik dan pekerjaan pemeliharaan harian dapat dievaluasi langsung melalui sifat-sifat dari pabrik.

Keperluan memasang mesin cadangan/*equipment* ditentukan oleh hasil dari konsep pemeliharaan produktif. Biaya tambahan untuk unit-unit cadangan dapat ditentukan dengan membandingkan biaya investasi dengan uang yang kembali bila memakai sistim pemeliharaan rutin untuk seluruh mesin yang ada dalam pabrik tersebut.

Secara umum mesin atau *equipment* yang besar dan mahal diharapkan dapat berjalan secara rutin pada masa-masa pemeliharaan tersebut, hingga mesin-mesin cadangan dapat ditiadakan.

### Dasar Vibrasi

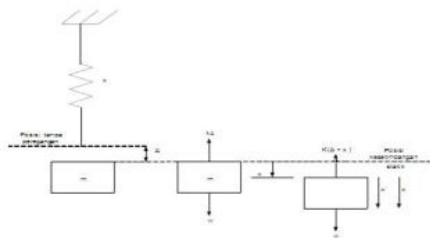
*Vibrasi* adalah gerakan bolak-balik dalam suatu *interval* waktu tertentu (KEP.-51/MEN/1999). *Vibrasi* berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya yang berhubungan dengan gerak tersebut (J.M. Harington, 1996:187). *Vibrasi* juga dapat disebabkan oleh udara atau getaran *mekanis*, seperti mesin berputar/alat *mekanis* lainnya (J.F. Gabriel, 1996:96).

Semua benda yang mempunyai *massa* dan *elastisitas* mampu bergetar, jadi kebanyakan mesin dan *struktur* rekayasa (*engineering*) mengalami getaran sampai *derajat* tertentu dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat aslinya.

Ada dua kelompok getaran yang umum yaitu :

**Getaran Bebas.**

Getaran bebas terjadi jika sistem *bersilasi* karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri (*inherent*), dan jika ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergerak pada satu atau lebih *frekuensi naturalnya*, yang merupakan sifat sistem dinamika yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekuatannya. Semua sistem yang memiliki *massa* dan *elastisitas* dapat mengalami getaran bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan.

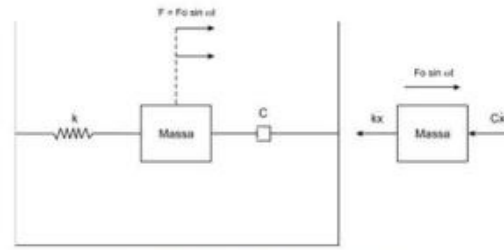


Gambar. Sistem Pegas – massa dan diagram benda bebas

**Gambar 2.5 Massa dan benda bebas**

**Getaran Paksa.**

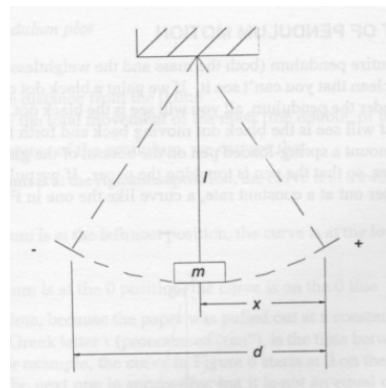
Getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut *bersilasi* maka sistem dipaksa untuk bergetar pada *frekuensi* rangsangan. Jika *frekuensi* rangsangan sama dengan salah satu *frekuensi* natural sistem, maka akan didapat keadaan *resonansi* dan *osilasi* besar yang berbahaya mungkin terjadi. Kerusakan pada struktur besar seperti jembatan, gedung atau pun sayap pesawat terbang, merupakan kejadian menakutkan yang disebabkan oleh *resonansi*. Jadi perhitungan frekuensi natural merupakan hal yang utama.



Gambar. Getaran paksa dengan peredam

**Gambar 2.6 Getaran paksa**

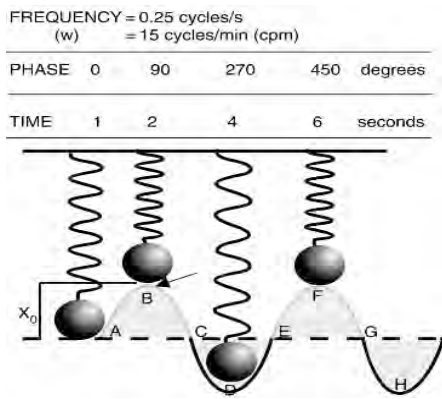
**Karakteristik Vibrasi**



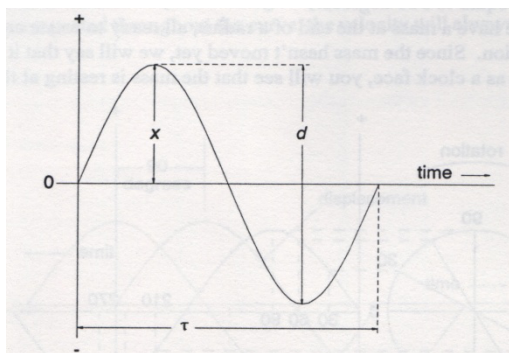
**Gambar 2.11 Karakteristik vibrasi.**

Perhitungan pada *vibrasi* dapat menggunakan rumus dibawah ini :

1.  $x$  = Simpangan :  
Jarak dari posisi diam  
 $d = Displacement = peak\ to\ peak = pp = 2x$
2.  $v$  = *Velocity* / kecepatan :  
Perubahan posisi per satuan waktu.  
Pada posisi  $(+)_{max}$  dan  $(-)_{max}$ ,  $mk\ v = 0$
3.  $a$  = *Acceleration* / percepatan :  
Perubahan kecepatan per satuan waktu.  
Pada posisi  $(+)_{max}$  dan  $(-)_{max}$ ,  $a = max$

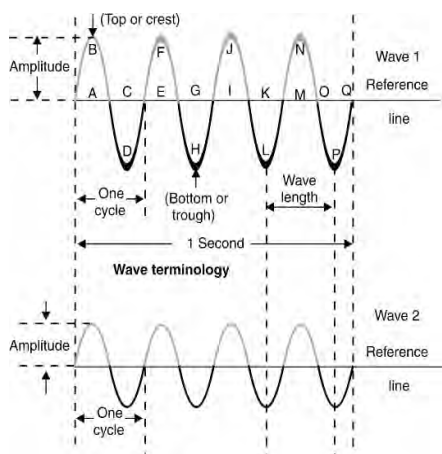


Gambar 2.12 Frekuensi Vibrasi.



Gambar 2.13 Periode Vibrasi berdasarkan waktu yang diperlukan

4.  $T = \text{periode} = \text{waktu yang diperlukan untuk mencapai 1 siklus } (360^\circ)$
5.  $f = \text{frekwensi} = \text{jml siklus per satuan waktu} = 1/T$



Gambar 2.14 Amplitude Vibrasi.

Gambar menunjukkan Wave 1 dan Wave 2 yg mempunyai frekuensi

sama, namun beda *amplitudo*. Suatu seri gelombang *continue mis A s/d Q* disebut *Wave Train*.

### Analisa Terhadap Vibrasi

Menurut *Arthur R.Crawford* (1992) semua parameter yang dapat diukur dalam dunia industri pada saat ini, tidak ada yang mempunyai informasi sebanyak yang dipunyai oleh gejala *vibrasi*. Walaupun untuk melakukan pemeliharaan yang benar terhadap peralatan industri, kita mungkin memerlukan pengukuran atau *monitoring* dari parameter lainnya seperti :

1. temperatur
2. tekanan
3. jumlah aliran
4. tegangan
5. arus listrik
6. daya
7. torsi

Akan tetapi dalam kenyataannya gejala *vibrasi* mempunyai lebih banyak informasi dari pada keadaan mesin/peralatan dan karakteristik operasi dibandingkan dengan parameter lainnya.

Kita tidak mengatakan bahwa pada saat ini kita sudah bisa mengambil semua informasi dalam gejala *vibrasi* yang terjadi pada suatu peralatan. Namun, kemampuan kita untuk mengambil serta menganalisa informasi yang didapat dari data *vibrasi* sudah berkembang sedemikian pesatnya pada dasa warsa terakhir ini.

### Hal-hal yang Perlu dilakukan Sebelum Melakukan Analisa Vibrasi

Tak lebih dari satu generasi yang lalu, *kwalitas* dari operasi suatu peralatan dilihat dari sudut *vibrasi* tak lebih dan tak kurang hanya ditentukan dengan menggunakan sekeping uang logam

yang ditempelkan pada bagian bearing suatu mesin. Jika kepingan uang logam tersebut tetap tegak pada saat mesin sedang beroperasi, maka *inspector* akan mengatakan bahwa *bearing* mesin tersebut dalam keadaan baik *vibrasi* mesin masih diperbolehkan, namun apabila kepingan uang logam tersebut jatuh, maka dikatakan bahwa *bearing* mesin tersebut jelek dan perlu dilakukan *balancing*.

Inspektor seringkali mengambil kesimpulan bahwa mesin *vibrasi* karena adanya *unbalance* atau *misalignment* kemungkinan penyebab lainnya (seperti, *shaft* bengkok, *bearing* rusak dll) jarang ditinjau/dipertimbangkan. Contoh lain, pabrik mesin perkakas besar yang bisa dikategorikan mesin yang *presisi*, akan mengirimkan mesinnya hanya berdasarkan perasaan si *inspector* terhadap gejala *vibrasi*.

*Rotor dibalance* hanya dengan menggunakan kapur tulis yang dipegangi *inspector* untuk menentukan titik *unbalance*, kemudian mekanik akan melihat lokasi *unbalance* tersebut dan memperkirakan besarnya *unbalance*.

Untuk menentukan besarnya *vibrasi*, mekanik hanya cukup menggunakan sebatang pensil kayu dan melihat dengan matanya seberapa besarnya *vibrasi* dengan cara memperkirakan *gap* antara ujung pensil dengan *shaft*.

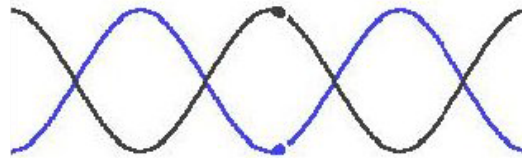
Apabila kemudian *frekwensinya* bertambah, makin sulit untuk memperkirakan besarnya *vibrasi*. Pada waktu itu tidak umum untuk melihat besarnya *vibrasi* suatu mesin dengan menggunakan *dial indicator*.

**Phase Vibrasi**

Menurut *vibrasi* on 20 March 2009 *phase* adalah penggambaran akhir dari pada karakteristik suatu *vibrasi* yang terjadi pada suatu mesin.

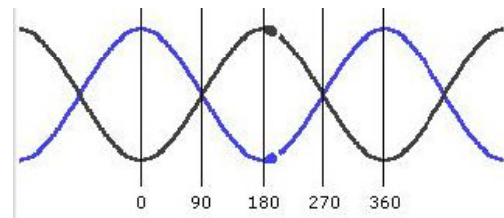
*Phase* adalah perpindahan atau perubahan posisi pada bagian bagian yang bergetar secara relative untuk menentukan titik *referensi* atau titik awal pada bagian lain yang mengalami *vibrasi*.

Dapat dilihat pada grafik di bawah ini dua gelombang yang mempunyai *amplitudo* dan *frekuensi* yang sama tetapi mempunyai perbedaan posisi/*timing* yang berbeda relatif satusama lain.



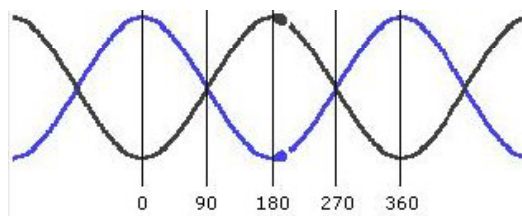
**Gambar 2.15 Grafik Frekuensi dan Amplitudo beda Posisi/Timing**

Fasa sebenarnya adalah perbedaan *timing*, dimana satu *event* muncul relative terhadap *event* yang lainnya. Jika suatu *event* terjadi pada waktu yang sama maka disebut *in-phase* jika tidak *out of phase*.



**Gambar 2.16 Phase In dan Phase Out**

Fasa dapat dilihat juga pada grafik di bawah ini, gelombang hitam mencapai puncaknya 180° setelah gelombang biru. Oleh karena itu dikatakan 180° *out of phase*.



**Gambar 2.17 Gelombang Phase**

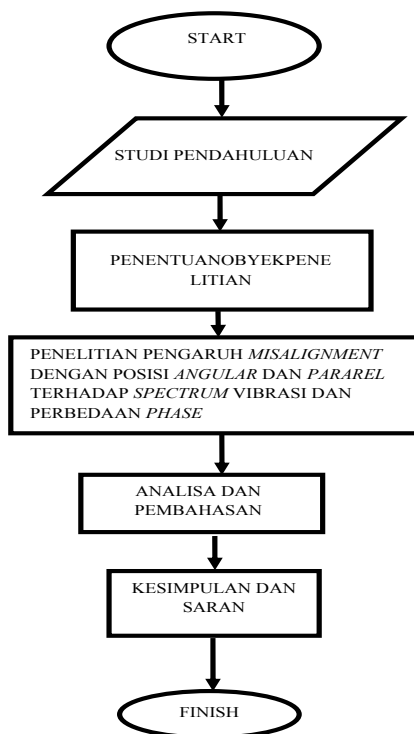
## METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan gambaran mengenai langkah yang sesuai, sehingga akan memudahkan dalam melakukan penelitian. Kerangka penelitian ini merupakan proses yang terdiri dari tahap yang saling terkait antara satu tahap dalam melakukan penelitian dimulai dari awal yaitu mengangkat permasalahan hingga penarikan kesimpulan.

1. Lokasi dan Waktu penelitian  
Penelitian di laksanakan di **Ruang Lab. Fisika Teknik Mesin Universitas Gresik**
2. Jenis Penelitian  
Jenis penelitian yaitu tentang analisa vibrasi dan *misalignment*.
3. Pengumpulan Data  
Pengumpulan data dari :
  - a. Pengukuran *Vibrasi*.
  - b. Pengukuran Perbedaan *Phase*.

## Proses Penelitian

Diagram alir proses penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

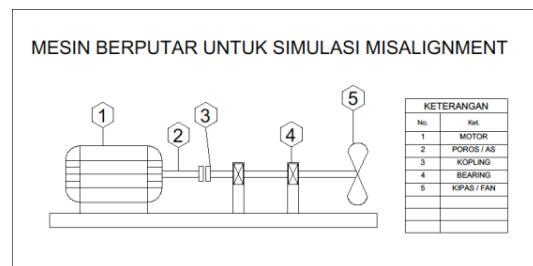


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah penelitian diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

Tahap identifikasi meliputi beberapa aktifitas dibawah ini :

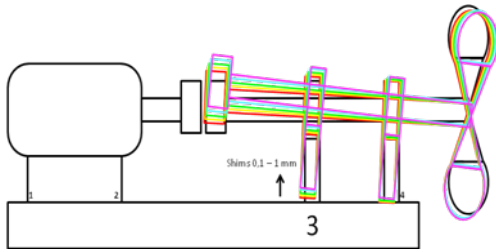
1. Studi Pendahuluan.  
Studi pendahuluan merupakan kegiatan pengumpulan informasi dengan melakukan identifikasi awal untuk mengetahui masalah yang terjadi, kemudian menguraikan masalah tersebut secara detail yang didukung dengan beberapa teori dasar pencarian solusi dalam masalah tersebut.
2. Penentuan Objek Penelitian.  
Simulator mesin berputar di Lab. Fisika Teknik Mesin Universitas Gresik.



Gambar 3.2 Mesin berputar sebagai simulasi analisa *misalignment*.

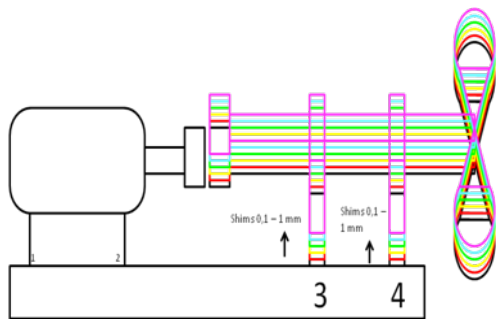
3. Penelitian.  
Penelitian pengaruh *misalignment* terhadap *spectrum vibrasi* dan perbedaan *phase* bertujuan untuk mengetahui secara dini kerusakan poros pada mesin berputar serta untuk mengurangi tingkat kerusakan yang disebabkan oleh *vibrasi* pada mesin berputar.
4. Analisa dan Penelitian.  
Analisa dan penelitian yang dilakukan pada simulasi mesin berputar adalah pada posisi *angular* dan *pararel* seperti pada simulasi dibawah ini :

a. Posisi *angular*



Gambar 3.3 Posisi *angular* dengan *shims* 0,1 – 1 mm pada *point* 3

b. Posisi *Pararel*

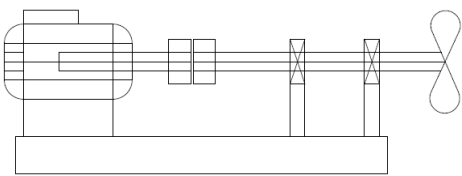


Gambar 3.4 Posisi *pararel* dengan *shims* 0,1 – 1 mm pada *point* 3 & 4

Simulasi diatas merupakan penelitian yang dianalisa dengan perbedaan *phase* menggunakan *shims* dengan ukuran 0,1 – 1mm yang diletakkan disisi fan agar bisa didapatkan hasil analisa dari *spectrum* vibrasi dan perbedaan *phase*.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Analisa *Spectrum* *Vibrasi* dan Perbedaan *Phase*



Gambar 4.1 Simulasi Mesin Berputar



Gambar 4.2 CSI 2130 Machinery Health Analyzer





**Gambar 4.3 Simulasi Pengukuran Mesin Berputar**  
(Pengukuran *Spectrum* Vibrasi dan Perbedaan *Phase*)

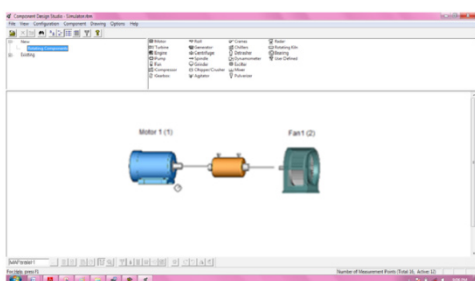
Pembahasan *optimalisasi* analisa mesin berputar ini untuk mengetahui *spectrum* vibrasi dan perbedaan *phase* pada mesin berputar ketika mesin tersebut mengalami keadaan *misalignment* dan dapat diketahui juga perubahan derajat ketika mesin berputar mengalami keadaan *misalignment*.

Dengan menggunakan *shims* 0,5, 0,75, 1,00, dan 1,5 yang diletakkan pada sisi *fan* dengan posisi *parallel* dan *angular*.

Dari situ kita bisa mengetahui hasil analisa yang diambil dari *spectrum* vibrasi dan perbedaan *phase* pada mesin berputar yang mengalami keadaan *misalignment*.

### Pembuatan Konfigurasi Analisa Mesin Berputar.

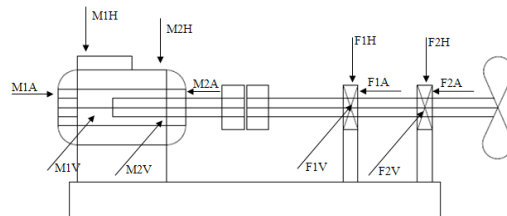
#### Langkah-langkah *install* konfigurasi mesin berputar.



**Gambar 4.4 Langkah awal konfigurasi mesin berputar**

Gambar diatas langkah awal untuk melakukan pengukuran *spectrum vibrasi* dan perbedaan *phase* dan pengambilan data hasil pengukuran.

*Point – point* yang akan dilakukan pengukuran *spectrum* vibrasi dan perbedaan *phase*.

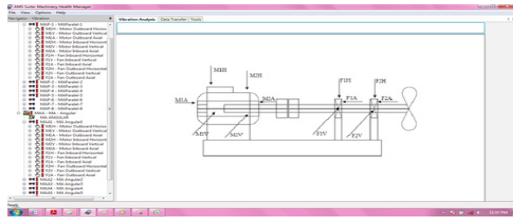


**Gambar 4.5 Point pengukuran simulasi mesin berputar**

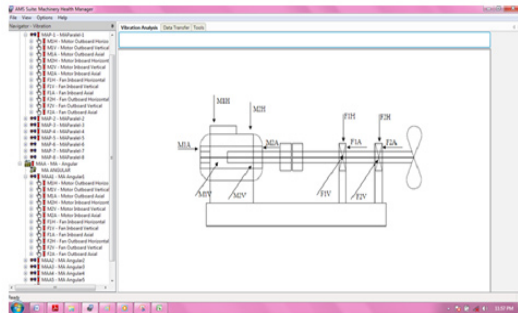
Keterangan :

1. *M1H* = Motor Outboard Horizontal
2. *M1V* = Motor Outboard Vertical
3. *M1A* = Motor Outboard Axial
4. *M2H* = Motor Inboard Horizontal
5. *M2V* = Motor Inboard Vertical
6. *M2A* = Motor Inboard Axial
7. *F1H* = Fan Outboard Horizontal
8. *F1V* = Fan Outboard Vertical
9. *F1A* = Fan Outboard Axial
10. *F2H* = Fan Inboard Horizontal
11. *F2V* = Fan Inboard Vertical
12. *F2A* = Fan Inboard Axial

Keterangan diatas merupakan titik pengukuran yang akan dilakukan pengukuran untuk mendapatkan data sehingga bisa digunakan acuan apakah mesin simulasi tersebut mengalami *misalignment* atau pun tidak, Pengukuran kami ambil dari 2 posisi yaitu *angular* dan *parallel*, untuk pengukuran posisi antara *angular* dan *parallel* sama, perbedaan akan kita dapat dari hasil pengukuran tersebut.



Gambar 4.6 point dari misalignment paralel yang akan dilakukan pengukuran



Gambar 4.7 point dari misalignment angular yang akan dilakukan pengukuran

Dari gambar diatas menunjukkan point vertical, horizontal, dan axial yang akan dilakukan pengukuran dari percobaan paralel dan angular proses konfigurasinya sama serta point yang diukur juga sama.

Maka setelah pembuatan konfigurasi kita melakukan pengukuran dan pengambilan data dari pengukuran spectrum vibrasi dan pengukuran bedaphase.

**Hasil Pengukuran Spectrum Vibrasi dan Perbedaan Phase.**

Dibawah ini data dari hasil pengukuran Spectrum Vibrasi dan Perbedaan Phase

**Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Spectrum Vibrasi dan Perbedaan Phase Angular misalignment**

MAA1	->	MA	Angular1	
Point	Date	Time	Level	Spectral
M1H	15-May-15	19:57	0.97	Vel
M1V	15-May-15	19:57	0.86	Vel
M1A	15-May-15	19:58	1.18	Vel
M2H	15-May-15	19:58	1.11	Vel
M2V	15-May-15	19:58	0.97	Vel
M2A	15-May-15	19:58	1.43	Vel
F1H	15-May-15	20:02	0.93	Vel
F1V	15-May-15	20:02	1.02	Vel
F1A	15-May-15	19:58	2.57	Vel
F2H	15-May-15	20:01	1.08	Vel
F2V	15-May-15	20:01	0.98	Vel
F2A	15-May-15	19:58	1.58	Vel
<i>Thickness shims 0,50 mm</i>				

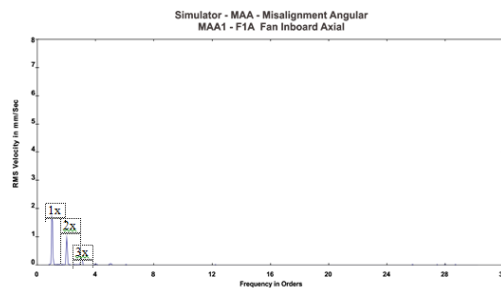
MAA2	->	MA	Angular2	
Point	Date	Time	Level	Spectral
M1H	15-May-15	20:06	1.26	Vel
M1V	15-May-15	20:06	1.51	Vel
M1A	15-May-15	20:06	1.62	Vel
M2H	15-May-15	20:06	1.67	Vel
M2V	15-May-15	20:06	1.43	Vel
M2A	15-May-15	20:06	2.04	Vel
F1H	15-May-15	20:07	1.56	Vel
F1V	15-May-15	20:07	1.03	Vel
F1A	15-May-15	20:07	3.5	Vel
F2H	15-May-15	20:08	1.74	Vel
F2V	15-May-15	20:08	1.69	Vel
F2A	15-May-15	20:07	2.44	Vel
<i>Thickness shims 0,75 mm</i>				

MAA3	-->	MA	Angular3	
Point	Date	Time	Level	Spectral
M1H	15-May-15	20:13	1.45	Vel
M1V	15-May-15	20:13	1.65	Vel
M1A	15-May-15	20:14	1.98	Vel
M2H	15-May-15	20:14	1.05	Vel
M2V	15-May-15	20:14	1.81	Vel
M2A	15-May-15	20:14	2.48	Vel
F1H	15-May-15	20:15	1.42	Vel
F1V	15-May-15	20:15	1.84	Vel
F1A	15-May-15	20:15	6.44	Vel
F2H	15-May-15	20:15	1.25	Vel
F2V	15-May-15	20:15	1.65	Vel
F2A	15-May-15	20:15	3.22	Vel
<i>Thickness shims 1,00 mm</i>				

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Perbedaan Phase Angular Misalignment

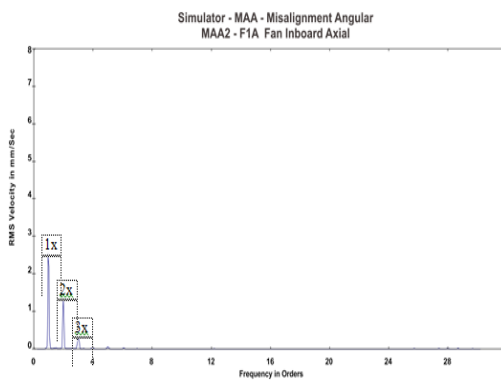
Hasil Pengukuran Beda Phase (deg)			
Ketebalan Shim	Axial	Horizontal	Vertical
0.5	35°	40°	143°
0.75	39°	48°	153°
1	47°	45°	180°
1.5	50°	47°	180°

Pengukuran Spectrum Vibrasi Angular Misalignment



Gambar 4.8 Spectrum Vibrasi Angular Misalignment dengan shim 0,5 mm

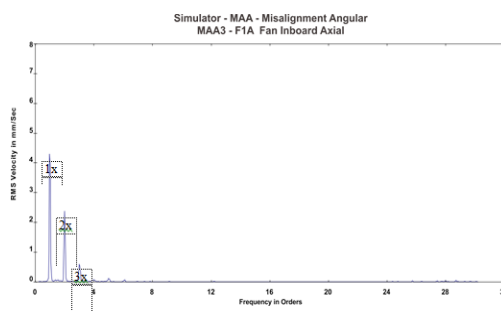
MAA4	-->	MA	Angular4	
Point	Date	Time	Level	Spectral
M1H	15-May-15	20:28	1.76	Vel
M1V	15-May-15	20:28	1.76	Vel
M1A	15-May-15	20:28	2.09	Vel
M2H	15-May-15	20:28	1.19	Vel
M2V	15-May-15	20:28	1.63	Vel
M2A	15-May-15	20:28	3.01	Vel
F1H	15-May-15	20:26	1.92	Vel
F1V	15-May-15	20:26	1.97	Vel
F1A	15-May-15	20:29	9.88	Vel
F2H	15-May-15	20:29	1.92	Vel
F2V	15-May-15	20:29	1.41	Vel
F2A	15-May-15	20:29	5.04	Vel
<i>Thickness shims 1,50 mm</i>				



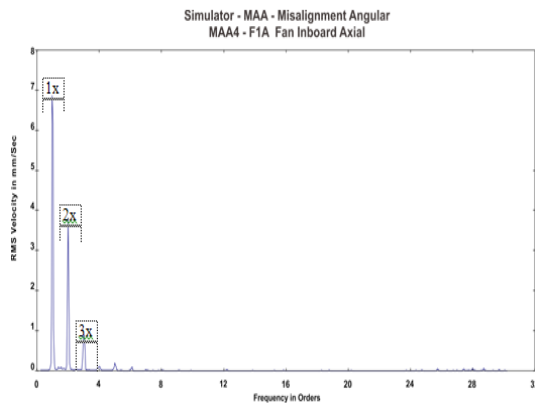
Gambar 4.9 Spectrum Vibrasi Angular Misalignment dengan shim 0,75 mm

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Overall Spectrum Vibrasi Angular Misalignment

Hasil Pengukuran Spectrum Vibrasi Angular Misalignment Overall (mm/sec RMS)												
Ketebalan Shim	M1H	M1V	M1A	M2H	M2V	M2A	F1H	F1V	F1A	F2H	F2V	F2A
0.5	0.97	0.86	1.18	1.11	0.97	1.43	0.93	1.02	2.57	1.08	0.98	1.58
0.75	1.26	1.51	1.62	1.67	1.43	2.04	1.56	1.03	3.5	1.74	1.69	2.44
1	1.45	1.65	1.98	1.05	1.81	2.48	1.42	1.84	6.44	1.25	1.65	3.22
1.5	1.76	1.76	2.09	1.19	1.63	3.01	1.92	1.97	9.88	1.92	1.41	5.04



Gambar 4.10 Spectrum Vibrasi Angular Misalignment dengan shim 1,00 mm



Gambar 4.11 *Spectrum Vibrasi Angular Misalignment dengan shim 1,5 mm*

Tabel 4.4 *Data Hasil Pengukuran Spectrum Vibrasi dan Beda Phase Paralel Misalignment*

MAP-1	→	MAParalel-1		
Point	Date	Time	Level	Spectral
M1H	15-May-15	21:06	1.32	Vel
M1V	15-May-15	21:06	0.86	Vel
M1A	15-May-15	21:07	0.91	Vel
M2H	15-May-15	21:07	1.77	Vel
M2V	15-May-15	21:07	0.78	Vel
M2A	15-May-15	21:07	0.87	Vel
F1H	15-May-15	21:11	2.1	Vel
F1V	15-May-15	21:11	1.88	Vel
F1A	15-May-15	21:09	0.65	Vel
F2H	15-May-15	21:09	1.85	Vel
F2V	15-May-15	21:09	1.28	Vel
F2A	15-May-15	21:09	0.74	Vel
<i>Thickness Shims Plate 0,50 mm</i>				

MAP-2	→	MAParalel-2		
Point	Date	Time	Level	Spectral
M1H	15-May-15	20:50	1.09	Vel
M1V	15-May-15	20:50	0.06	Vel
M1A	15-May-15	20:50	1.99	Vel
M2H	15-May-15	20:51	1.32	Vel
M2V	15-May-15	20:51	1.02	Vel
M2A	15-May-15	20:50	1.3	Vel
F1H	15-May-15	20:52	3.62	Vel
F1V	15-May-15	20:52	3.04	Vel
F1A	15-May-15	20:51	0.3	Vel
F2H	15-May-15	20:51	2.92	Vel
F2V	15-May-15	20:51	2.25	Vel
F2A	15-May-15	20:51	1.03	Vel
<i>Thickness Shims Plate 0,75 mm</i>				

MAP-3	→	MAParalel-3		
Point	Date	Time	Level	Spectral
M1H	15-May-15	20:59	2.95	Vel
M1V	15-May-15	20:59	1.45	Vel
M1A	15-May-15	20:59	1.32	Vel
M2H	15-May-15	20:59	2.89	Vel
M2V	15-May-15	20:59	2.84	Vel
M2A	15-May-15	20:59	1.14	Vel
F1H	15-May-15	21:01	5.97	Vel
F1V	15-May-15	21:01	5.86	Vel
F1A	15-May-15	21:01	1.37	Vel
F2H	15-May-15	21:01	3.68	Vel
F2V	15-May-15	21:01	3.81	Vel
F2A	15-May-15	21:01	1.53	Vel
<i>Thickness Shims Plate 1,00 mm</i>				

MAP-4	→	MAParalel-4		
Point	Date	Time	Level	Spectral
M1H	15-May-15	20:40	3.33	Vel
M1V	15-May-15	20:40	2.67	Vel
M1A	15-May-15	20:40	1.25	Vel
M2H	15-May-15	20:40	3.97	Vel
M2V	15-May-15	20:40	3.67	Vel
M2A	15-May-15	20:40	1.21	Vel
F1H	15-May-15	20:43	9.86	Vel
F1V	15-May-15	20:43	8.55	Vel
F1A	15-May-15	20:41	1.27	Vel
F2H	15-May-15	20:40	5.76	Vel
F2V	15-May-15	20:40	4.72	Vel
F2A	15-May-15	20:41	1.67	Vel
<i>Thickness Shim Plate 1,5 mm</i>				

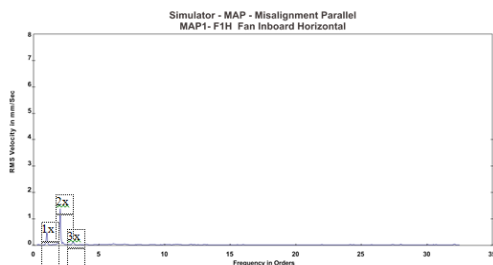
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Overall Spectrum Vibrasi Paralel Misalignment

Hasil Pengukuran Spectrum Vibrasi Paralel Misalignment Overall (mm/sec RMS)												
Ketebalan Shim (mm)	M1H	M1V	M1A	M2H	M2V	M2A	F1H	F1V	F1A	F2H	F2V	F2A
0.5	1.32	0.86	0.91	1.77	0.78	0.87	2.1	1.88	0.65	1.85	1.28	0.74
0.75	1.09	0.06	1.99	1.32	1.02	1.3	3.62	3.04	0.3	2.92	2.25	1.03
1	2.95	1.45	1.32	2.89	2.84	1.14	5.97	5.86	1.37	3.68	3.81	1.53
1.5	3.33	2.67	1.25	3.97	3.67	1.21	9.86	8.55	1.27	5.76	4.72	1.67

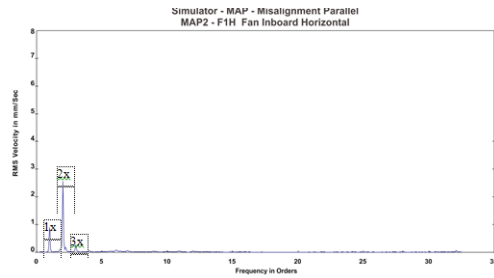
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Perbedaan Phase Paralel Misalignment

Ketebalan Shim (mm)	Beda Phase (deg)		
	Horizontal	Vertical	Axial
0.5	84	94	30
0.75	144	154	33
1	179	175	35
1.5	180	180	29

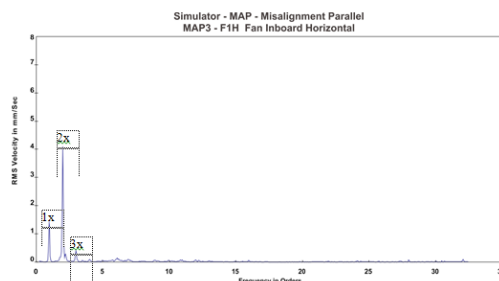
Pengukuran Spectrum Vibrasi Paralel Misalignment



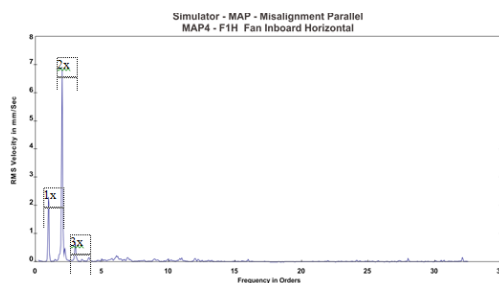
Gambar 4.12 Spectrum Vibrasi Paralel Misalignment dengan shim 0,5 mm



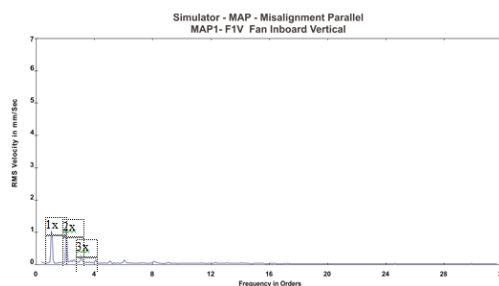
Gambar 4.13 Spectrum Vibrasi Paralel Misalignment dengan shim 0,75 mm



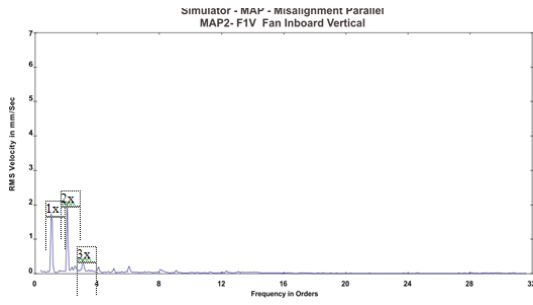
Gambar 4.14 Spectrum Vibrasi Paralel Misalignment dengan shim 1,00 mm



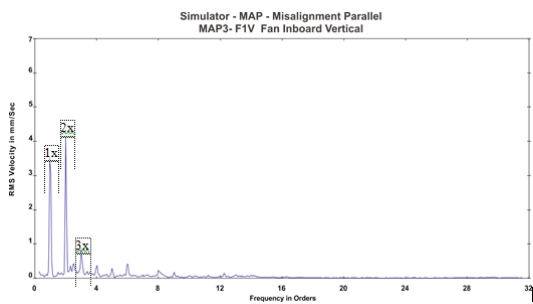
Gambar 4.15 Spectrum Vibrasi Paralel Misalignment dengan shim 1,5 mm



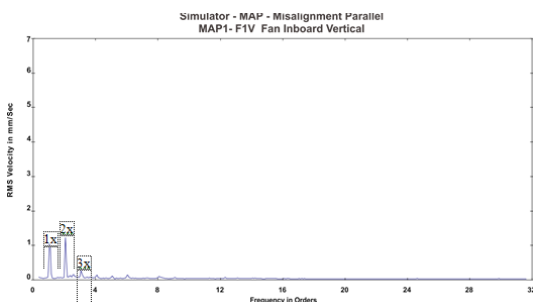
Gambar 4.16 Spectrum Vibrasi Paralel Misalignment dengan shim 0,5 mm



Gambar 4.17 *Spectrum Vibrasi Paralel Misalignment dengan shim 0,75 mm*



Gambar 4.18 *Spectrum Vibrasi Paralel Misalignment dengan shim 1,00 mm*



Gambar 4.19 *Spectrum Vibrasi Paralel Misalignment dengan shim 1,5 mm*

**Pembahasan Dari Hasil Analisa Spectrum Vibrasi dan Perbedaan Phase.**

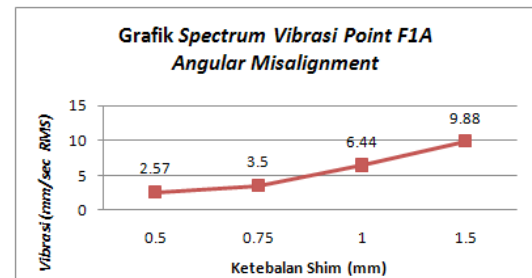
Dari data yang ada diatas kita dapat mengetahui pada posisi shim dengan ketebalan tertentu akan menunjukkan perubahan point dengan nilai lebih tinggi seperti yang terlampir pada tabel dan grafik dibawah ini :

**Hasil Pengukuran Analisa Spectrum Vibrasi angular Misalignment.**

**Tabel 4.7 Pengukuran Spectrum Vibrasi Angular Misalignment Overall.**

Hasil Pengukuran Spectrum Vibrasi Angular Misalignment Overall (mm/sec RMS)												
Ketebalan	MH	MV	MA	MH	MV	MA	F1H	F1V	F1A	F2H	F2V	F2A
Shim(mm)												
0.5	0.97	0.86	1.18	1.11	0.97	1.43	0.93	1.02	2.57	1.08	0.98	1.58
0.75	1.26	1.51	1.62	1.67	1.43	2.04	1.56	1.03	3.5	1.74	1.69	2.44
1	1.45	1.65	1.98	1.05	1.81	2.48	1.42	1.84	6.44	1.25	1.65	3.22
1.5	1.76	1.76	2.09	1.19	1.63	3.01	1.92	1.97	9.88	1.92	1.41	5.04

Ketebalan	Vibrasi Overall F1A (mm/sec RMS)
Shim	F1A
0.5	2.57
0.75	3.5
1	6.44
1.5	9.88



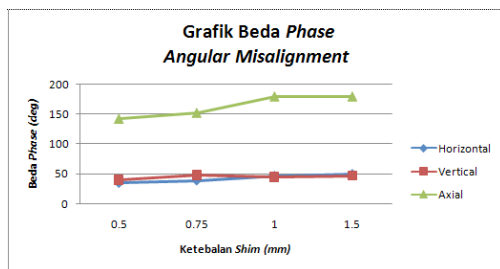
**Gambar 4.20 Grafik Spectrum Vibrasi Angular Misalignment**

Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan titik pengukuran pada spectrum vibrasi yang dilakukan pengukuran dengan ketebalan shim tertentu, dari kenaikan nilai diatas menunjukkan pada point F1A terlihat kenaikan nilai sangat signifikan sehingga pada point F1A terdeteksi oleh alat pengukur vibrasi bahwasanya mesin simulator mengalami misalignment pada point F1A (Fan Inboard Axial).

Sedangkan pada pengukuran beda phase didapat nilai point pada tabel dan grafik dibawah ini :

**Tabel 4.8 Pengukuran Beda Phase Angular Misalignment.**

Ketebalan Shim (mm)	Beda Phase (deg)		
	Horizontal	Vertical	Axial
0.5	35	40	143
0.75	39	48	153
1	47	45	180
1.5	50	47	180



**Gambar 4.21 Grafik Beda Phase Angular Misalignment**

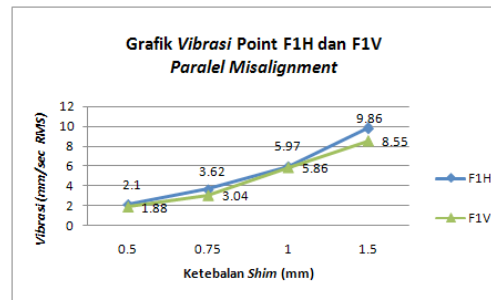
Pada tabel dan grafik diatas pada pengukuran beda *phase* terlihat jelas pada posisi *axial* sudah terlihat dari hasil pengukuran dengan *shim* 0,5 mm menunjukkan nilai yang cukup tinggi dari *horizontal* maupun *vertical*, jadi bisa dikatakan ketika analisa suatu mesin berputar dan alat pengukur mendeteksi bahwa pada posisi *axial* menunjukkan nilai yang cukup tinggi maka diputuskan bahwasanya mesin berputar tersebut mengalami *misalignment*.

**Pengukuran Analisa Spectrum Vibrasi Paralel Misalignment.**

**Tabel 4.9 Pengukuran Spectrum Vibrasi Paralel Misalignment Overall**

Hasil Pengukuran Spectrum Vibrasi Paralel Misalignment Overall (mm/sec RMS)												
Shim (mm)	M1H	M1V	M1A	M2H	M2V	M2A	F1H	F1V	F1A	F2H	F2V	F2A
0.5	1.32	0.86	0.91	1.77	0.78	0.87	2.1	1.88	0.65	1.85	1.28	0.74
0.75	1.09	0.06	1.99	1.32	1.02	1.3	3.62	3.04	0.3	2.92	2.25	1.03
1	2.95	1.45	1.32	2.89	2.84	1.14	5.97	5.86	1.37	3.68	3.81	1.53
1.5	3.33	2.67	1.25	3.97	3.67	1.21	9.86	8.55	1.27	5.76	4.72	1.67

Ketebalan Shim (mm)	Vibrasi Overall F1A (mm/sec RMS)	
	F1H	F1V
0.5	2.1	1.88
0.75	3.62	3.04
1	5.97	5.86
1.5	9.86	8.55



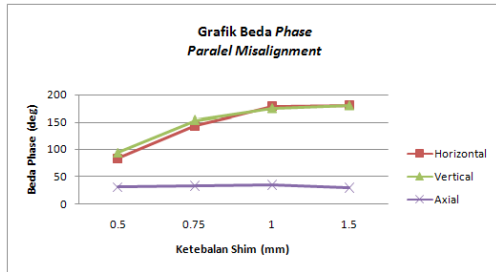
**Gambar 4.22 Grafik Spectrum Vibrasi Paralel Misalignment**

Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan titik pengukuran pada *spectrum vibrasi* yang dilakukan pengukuran dengan ketebalan *shim* tertentu, dari kenaikan nilai diatas menunjukkan pada point F1H & F1V terlihat kenaikan nilai sangat signifikan sehingga pada point F1H & F1V terdeteksi oleh alat pengukur *vibrasi* bahwasanya mesin simulator mengalami *misalignment* pada point F1H (*Fan Inboard Horizontal*) dan point F1V (*Fan Inboard Vertical*).

Sedangkan pada pengukuran beda *phase* didapat nilai point pada tabel dan grafik dibawah ini :

**Tabel 4.10 Pengukuran Beda Phase Paralel Misalignment.**

Ketebalan Shim (mm)	Beda Phase (deg)		
	Horizontal	Vertical	Axial
0.5	84	94	30
0.75	144	154	33
1	179	175	35
1.5	180	180	29



**Gambar 4.23 Grafik Benda Phase Paralel Misalignment**

Pada tabel dan grafik diatas pada pengukuran beda *phase* terlihat jelas pada posisi *horizontal* dan *vertical* sudah terlihat dari hasil pengukuran dengan *shim* 0,5 mm menunjukkan nilai yang cukup tinggi dari posisi *axial*, jadi bisa dikatakan ketika analisa suatu mesin berputar dan alat pengukur mendeteksi bahwa pada posisi *horizontal* dan *vertical* menunjukkan nilai yang cukup tinggi maka diputuskan bahwasanya mesin berputar tersebut mengalami *misalignment*.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. *Angular misalignment* ditandai dengan nilai tingginya *vibrasi* pada posisi *axial* terutama didekat kopling yang strukturnya lemah, dan terjadi perbedaan *phase* pada posisi *axial* sebesar  $180^\circ$ .
2. *Paralel misalignment* ditandai dengan tingginya nilai *vibrasi* pada posisi radial (*horizontal* dan *vertical*) dan perbedaan *phase* pada posisi radial (*Horizontal* dan *Vertical*) sebesar  $180^\circ$ .
3. Untuk mendeteksi *misalignment* yang paling cepat dan akurat adalah dengan mengukur perbedaan *phase* (untuk *parallel* beda *phase horizontal* dan *vertical* sedangkan untuk *angular* beda *phase axial*).

## Saran

Untuk mendeteksi gejala *misalignment* pada mesin berputar maka sebaiknya :

1. Pengukuran perbedaan *phase*, sebagai tambahan untuk memperkuat *diagnosa* pengambilan kesimpulan gejala awal *misalignment*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arthur R. Crawford, *Computational System, Incorporated (CSI)*.
- Girdhar, Paresh, 2004, *Maintenance, Newnes An imprint of Elsevier*
- ISO 10816, 1995, *Mechanical vibrations measurement on non-rotating parts*
- ISO 10816 *Vibration Severity Chart, August 2000*
- [http://www.usedvibration.com/vibration\\_analysis\\_severity\\_charts.htm](http://www.usedvibration.com/vibration_analysis_severity_charts.htm)
- [http://www.reliabilitydirect.com/vibrationmeterproducts/ISO\\_10816.htm](http://www.reliabilitydirect.com/vibrationmeterproducts/ISO_10816.htm)
- tanggal 10 April 2011, pukul 22.04 wib).
- Jackson, C. Shop testing, *Orbit - Bently Publishing Co., Minden, NV, (June 1998)*
- Maedel, Jr, P. *Vibration Standards and Test Codes, Shock and Vibration Handbook 5<sup>th</sup> edition (Cyril Harris, editor), McGraw Hill Publishing Co. (2001)*
- Maurice L. Adams, JR (2004), *Rotating machinery vibration from analysis to troubleshooting, Marcell Dekker, Inc, New York.*
- Mobley, R. Keith, 2002, *An Introduction of predictive maintenance, second edition, Plant engineering.*
- Supandi (1990). *Manajemen Perawatan Industri. Statistika Induktif edisi*