

PELATIHAN
PEMBINAAN dan SERTIFIKASI AHLI K3 LISTRIK

**PERSYARATAN K3 PEMELIHARAAN INSTALASI
PERLENGKAPAN DAN PERALATAN LISTRIK
DI TRANSMISI TENAGA LISTRIK**

HARTOYO

085640929467

hartoyo@uny.ac.id

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA



PATRARIJAYA CONSULTANT
BONTANG, 16 DESEMBER 2019



Hal seperti inilah yg harus terjadi



Hal seperti inilah yg harus terjadi



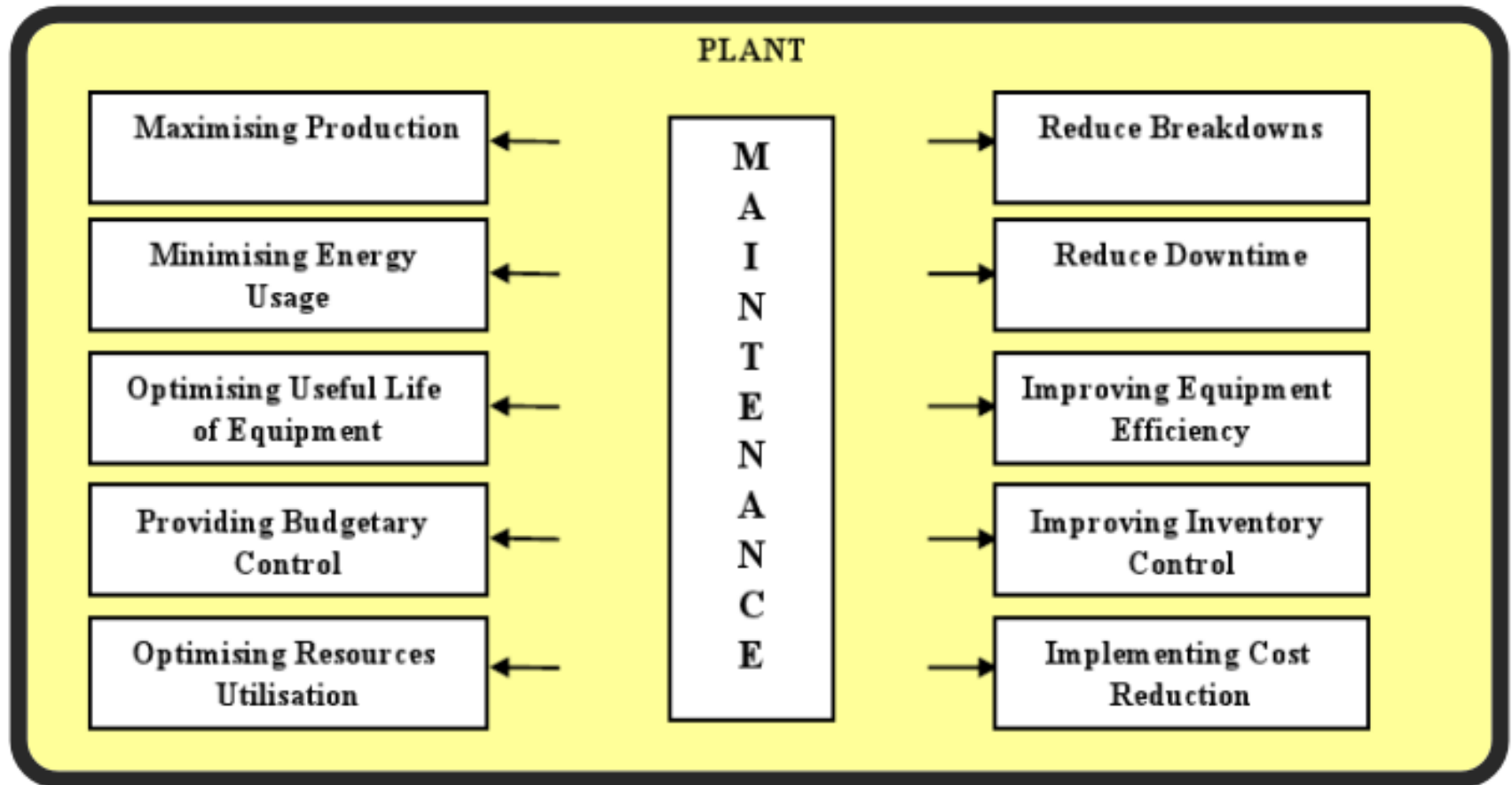
Definisi umum

Pemeliharaan adalah suatu usaha/kegiatan terpadu yang dilakukan terhadap instalasi pembangkit dan sarana pendukungnya, untuk mencegah kerusakan atau mengembalikan/memulihkan instalasi dan sarananya kepada keadaan yang layak, sehingga kontinuitas penyaluran tenaga listrik dapat terjamin.

Tujuan pemeliharaan

- Untuk meningkatkan reliability, availability dan efficiency.
- Untuk memperpanjang umur peralatan
- Mengurangi terjadinya kegagalan atau kerusakan peralatan
- Meningkatkan safety peralatan
- Mengurangi waktu padam akibat sering gangguan

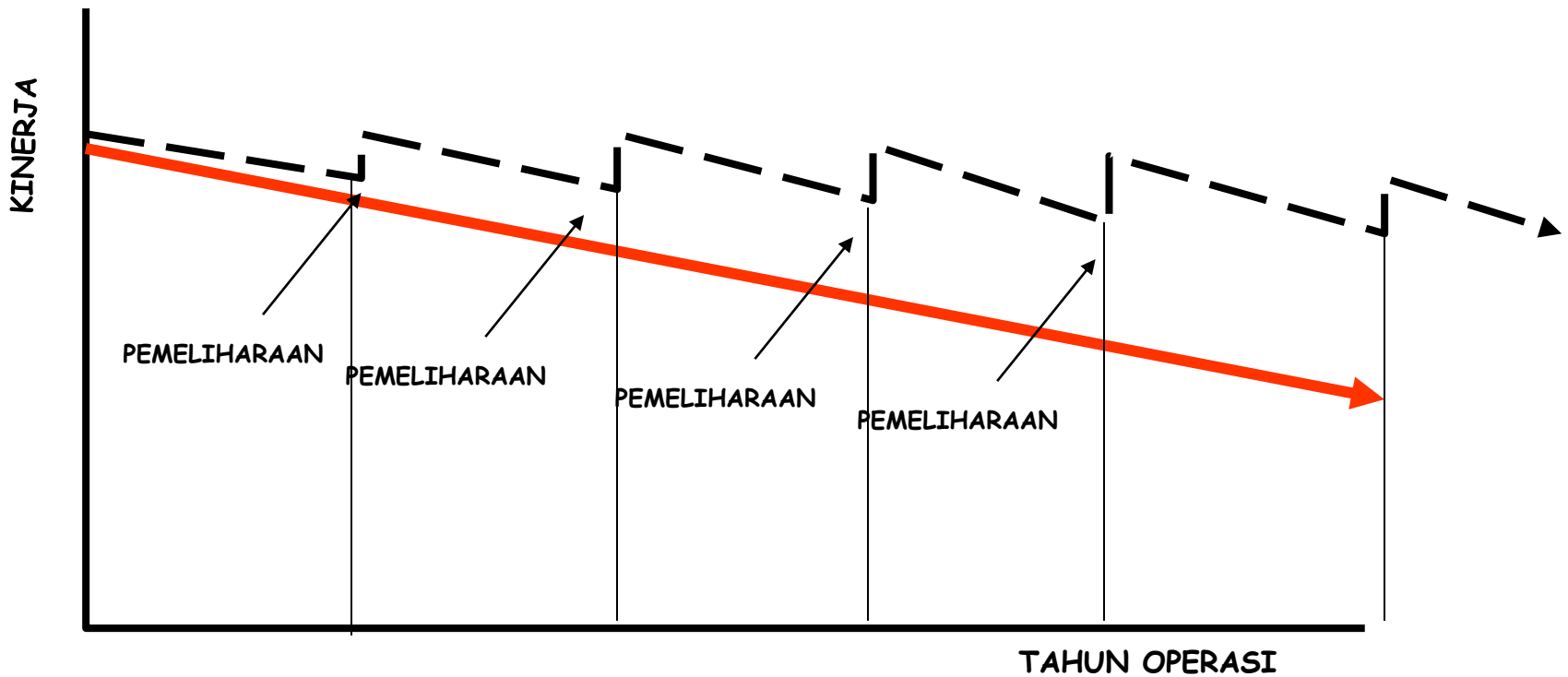
Hubungan antara Pemeliharaan dengan Sasaran Perusahaan



Mengapa peralatan harus dipelihara ?

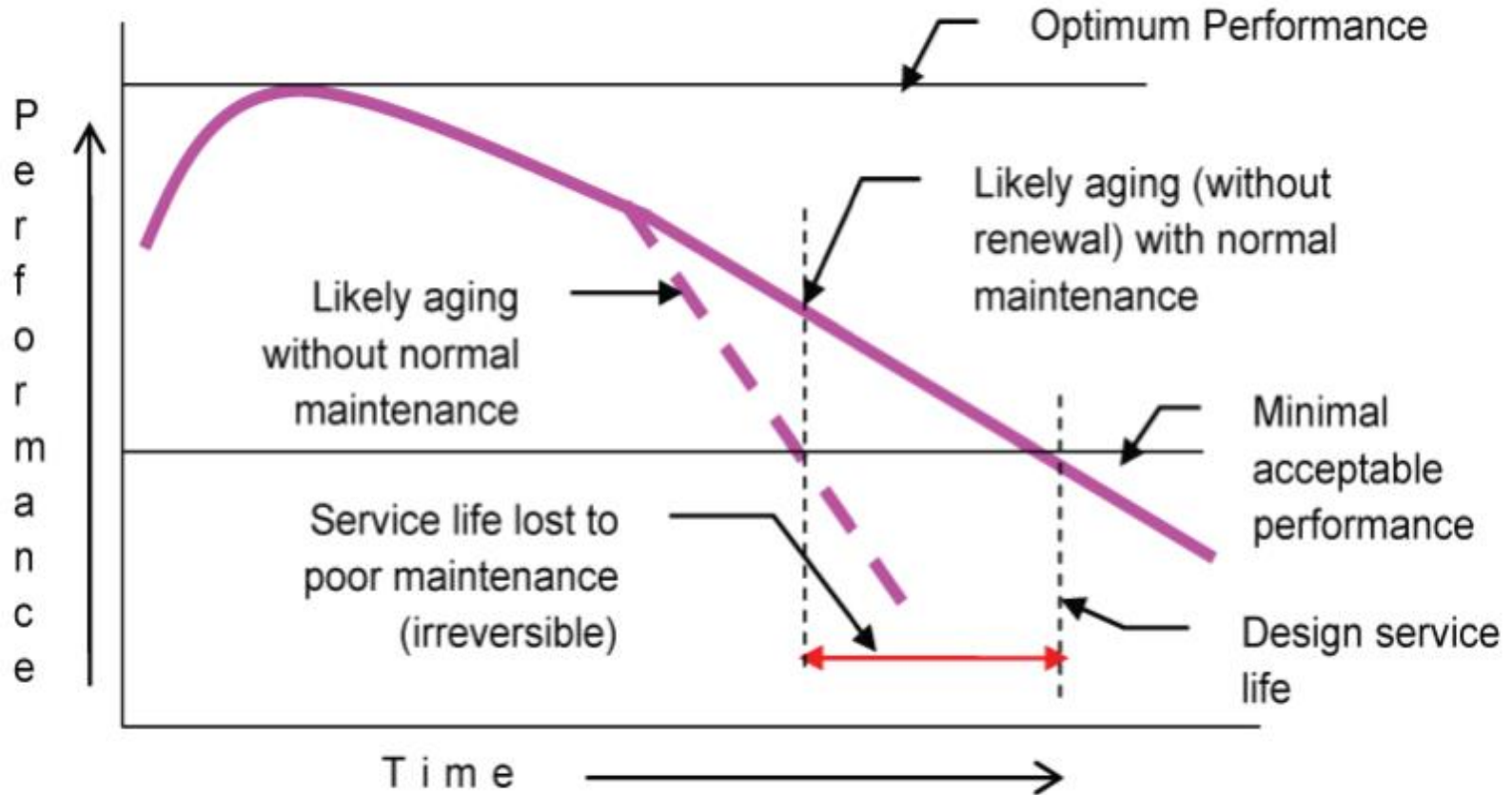
Semua peralatan yang beroperasi akan menuju rusak karena umurnya, maka perlu dipelihara untuk mempertahankan atau mengembalikan pada tingkat prestasi/unjuk kerja awalnya

KURVA KINERJA PERALATAN TERHADAP WAKTU



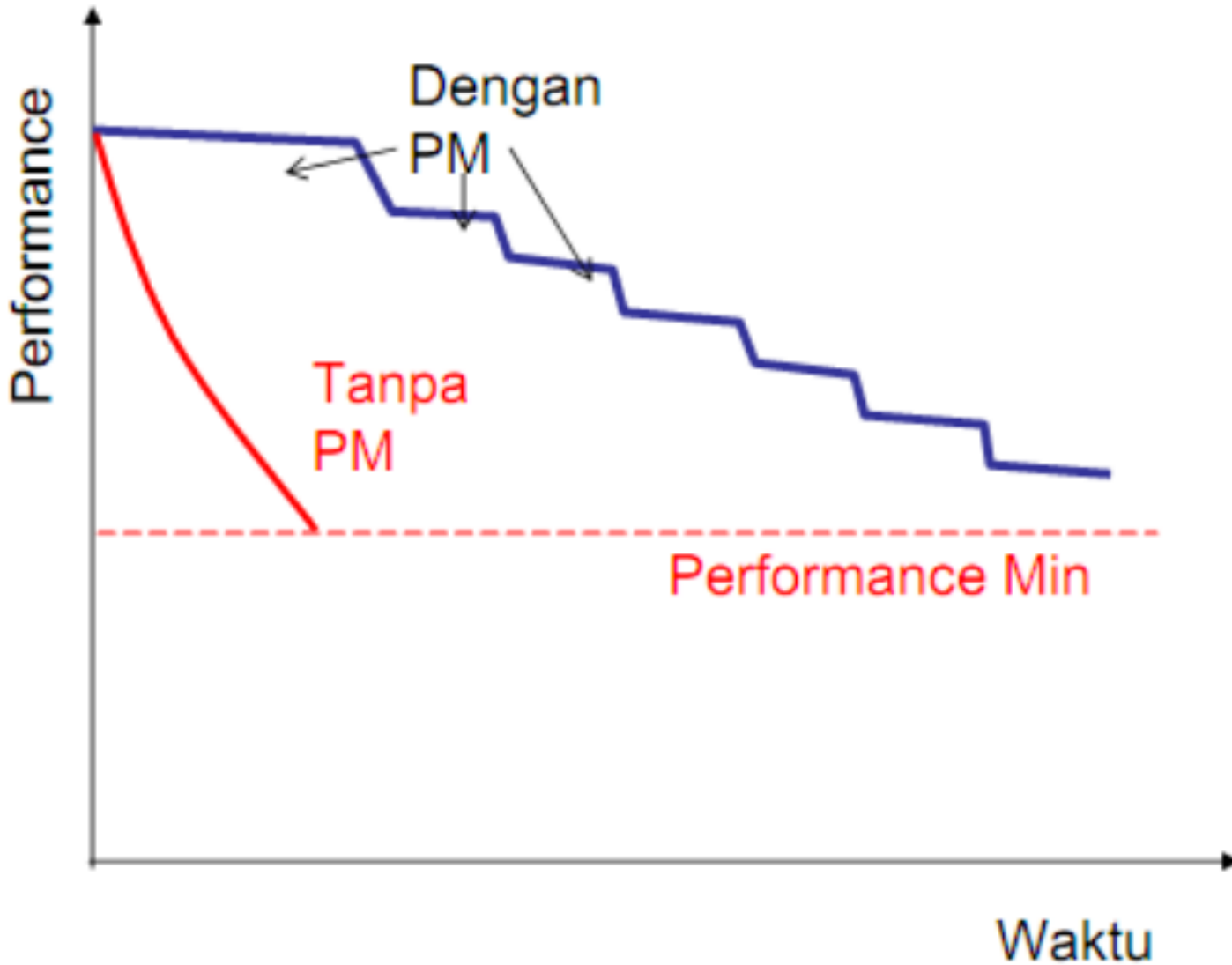
- Tidak dipelihara
- Dipelihara

Mengapa Perlu Pemeliharaan

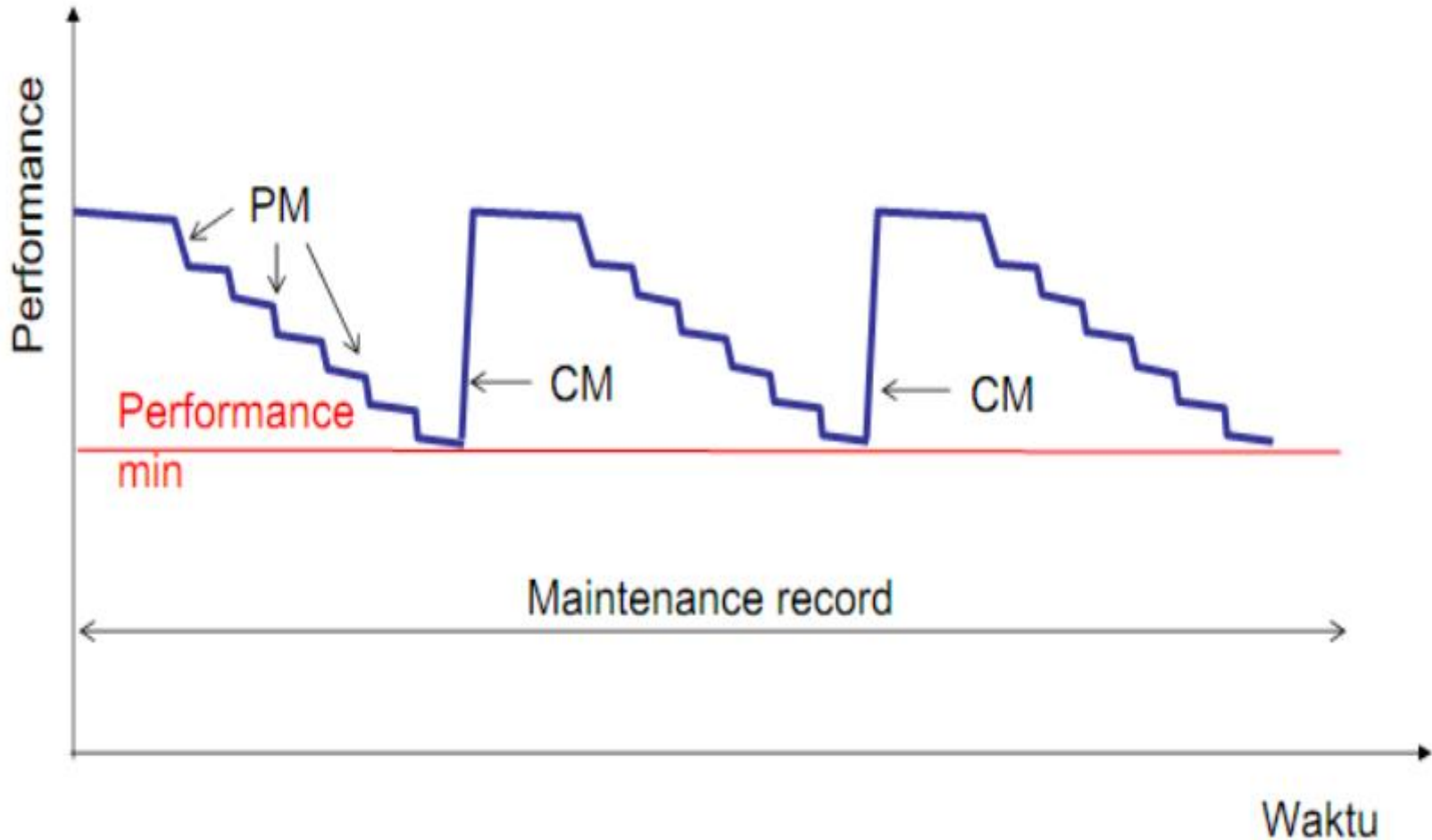


Effect of adequate and timely maintenance and repairs on the service life of a building (National Research Council 1998)

Maintenance Vs Performance



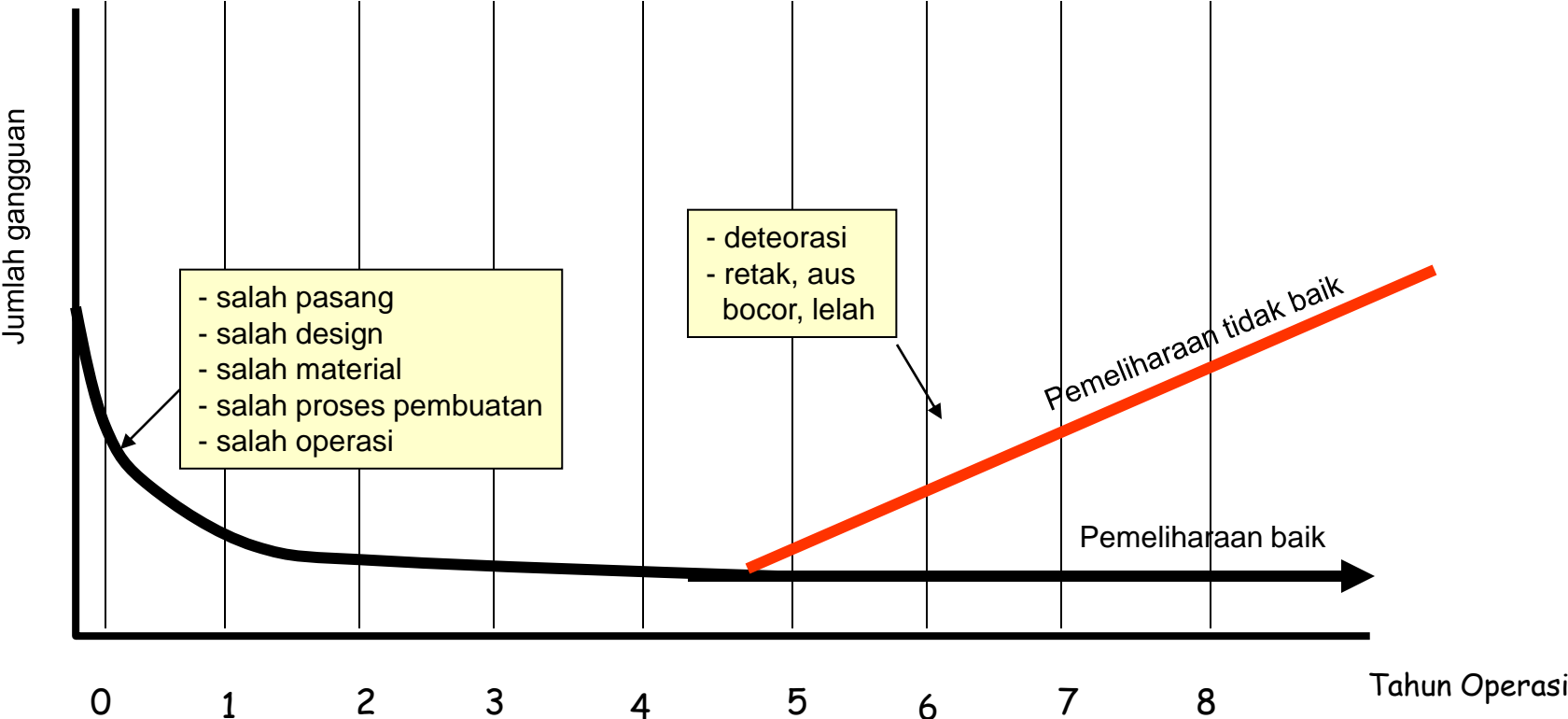
Koordinasi Maintenance



Kerusakan / gangguan peralatan terjadi antara lain karena :

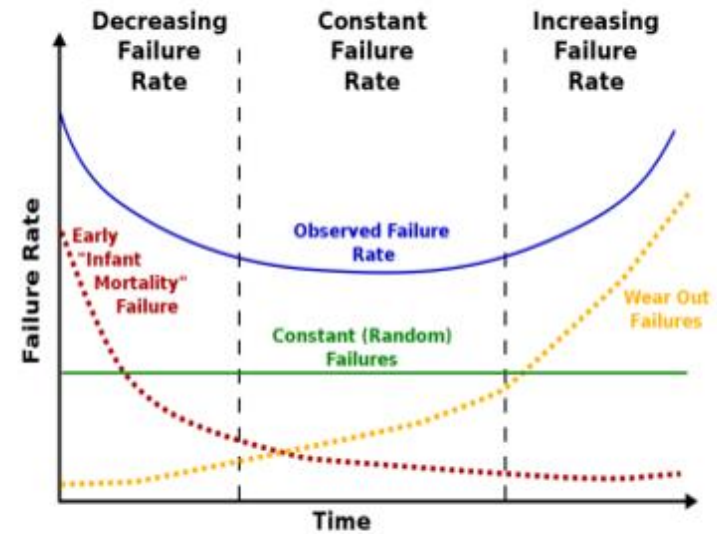
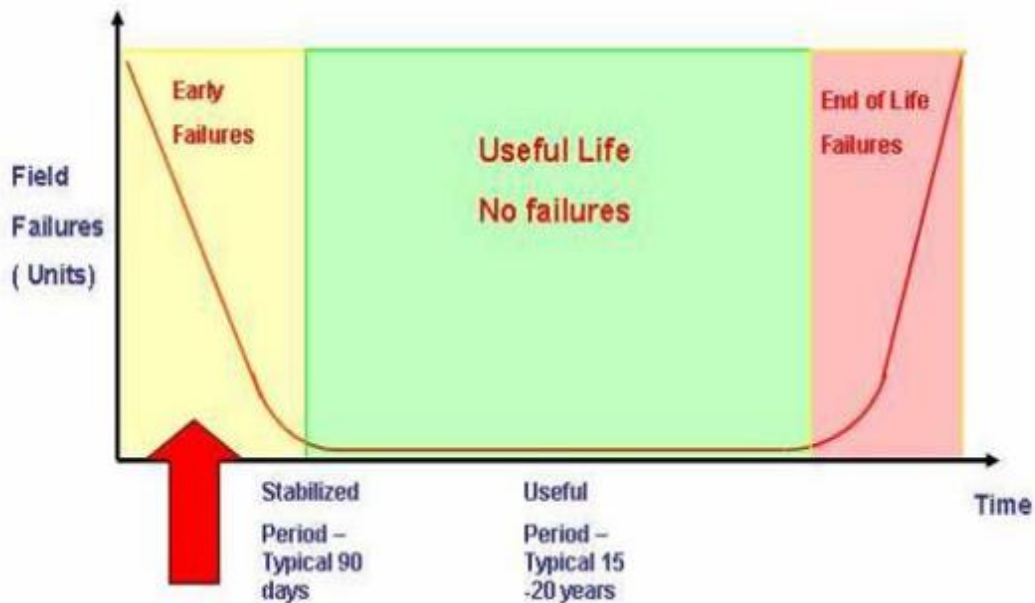
- **Kesalahan desain**
- **Kesalahan pemilihan material**
- **Kesalahan proses pembuatan**
- **Kesalahan pemasangan**
- **Kesalahan operasi**
- **Kesalahan pemeliharaan**

KURVA JUMLAH GANGGUAN TERHADAP WAKTU



Failure

The Bathub Curve



Failure

Failure

Wajar

- Aus (wear): scuffing, galling, fretting, abrasion
- Lelah (fatigue)
- Karat (corrosion)
- Erosi (erosion)
- Penuaan (aging)

Prematur

- Pelumasan tidak sempurna (kualitas, kuantitas pelumas, periode penggantian pelumas tidak sesuai)
- Kotor/kontaminasi
- Overheat
- Misalignment (pada kopling, bearing, belt, rantai, gear)

Failure

- **Start up cycle**

kerusakan terjadi karena ketidak sempurnaan material, pengerjaan, pemasangan, pelatihan operator. Pada saat awal komponen mesin akan saling menyesuaikan karena berbagai ketidak sempurnaan pembuatan (permukaan masih kasar yang saling menghaluskan)

- **Useful life**

Mesin memproduksi dengan baik karena komponennya sudah saling menyesuaikan

- **Break down cycle**

komponen mengalami fatigue, keausan berlebih, erosi, abrasi dlsb.
Bath tube curve cocok untuk komponen mekanik.

Yang mempercepat laju kerusakan peralatan/ memperpendek usia

Stress elektrik

- Over voltage / tegangan lebih
- Over current / arus lebih

Stress mekanikal

- Tarikan
- Puntiran
- Gesekan

Stress Thermal

- Hot Spot
- Over heating

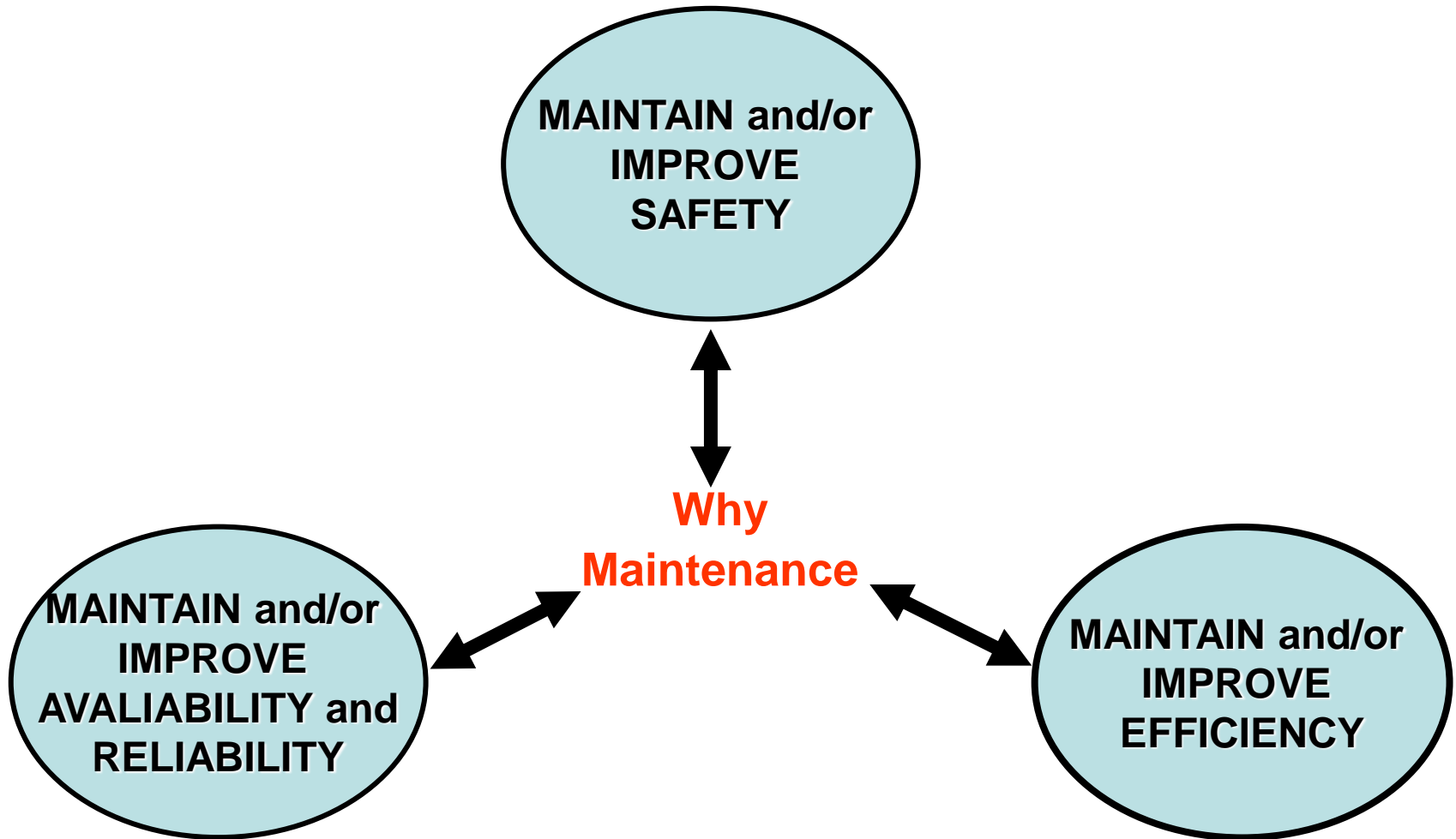
Chemical/kimia

- Oksidasi
- Korosi
- Dissolved gas

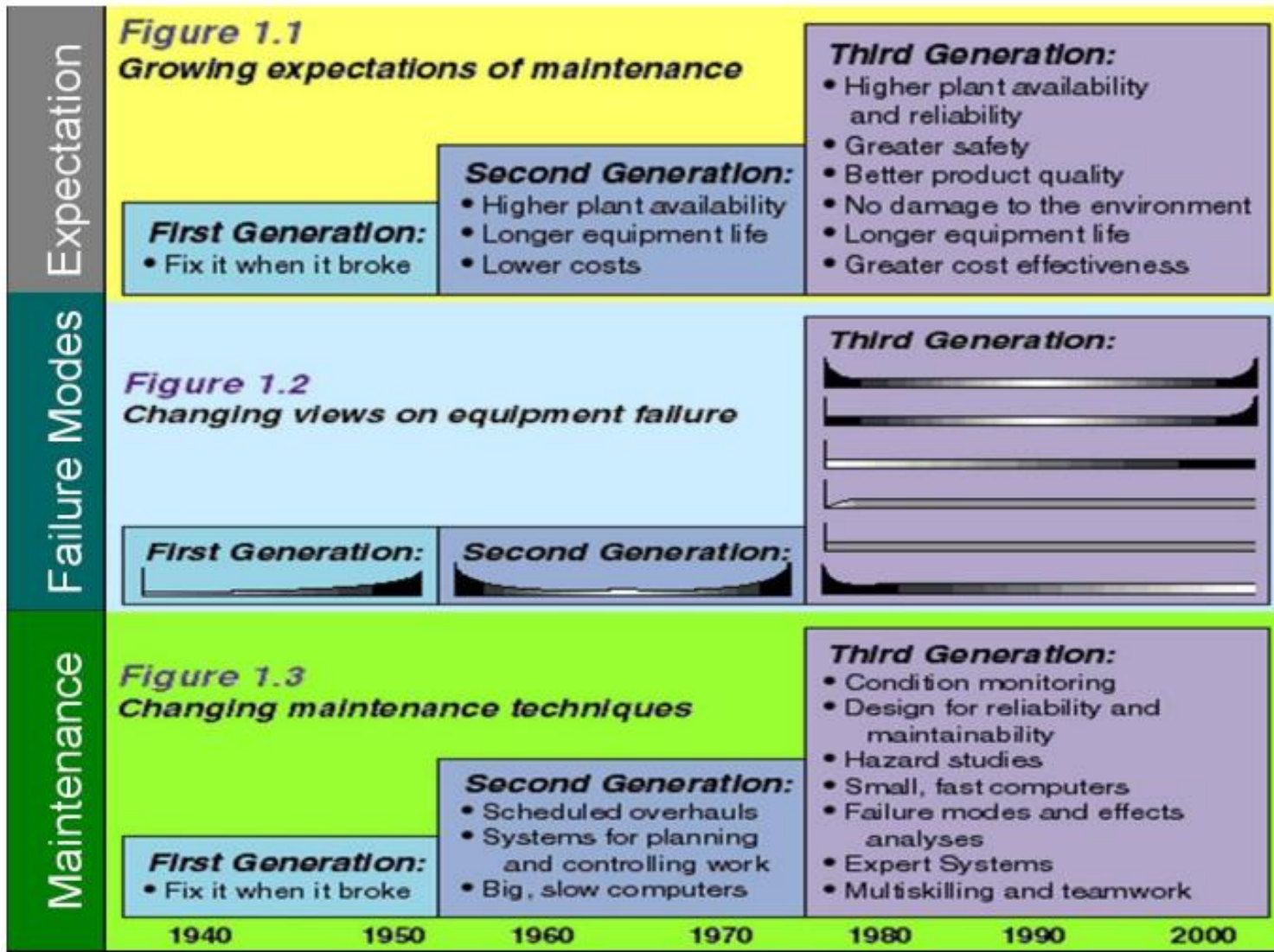
Unsur - unsur utama pemeliharaan

- ! **Manajemen yang efektif dan efisien**
- ! **SDM / tenaga kerja yang ahli dan terampil serta berdisiplin**
- ! **Material dalam jumlah yang cukup**
- ! **Dana yang tersedia pada waktunya**
- ! **Peralatan kerja yang memadai**

maintenance philosophy



Sejarah Pemeliharaan



Strategi Pemeliharaan

- **Break down (Reactive/run to failure) maintenance**
Mesin dioperasikan tanpa perawatan sampai kerusakan terjadi. Kerusakan primer hampir selalu menimbulkan kerusakan sekunder.
- **Preventive maintenance (PM) atau time base maintenance**
Mesin di"maintain" secara terjadwal setelah beroperasi dalam jangka waktu tertentu.
- **Predictive (on condition based) maintenance (PdM)**
Kondisi mesin dipantau secara menerus. Bila terdeteksi adanya ketidak normalan baru diambil tindakan.
- **Proactive (prevention) maintenance**
Kerusakan yang terjadi dicari penyebabnya untuk mencegah kerusakan yang sama berulang.

Breakdown Maintenance

Membiarkan mesin beroperasi sampai terjadi kerusakan. Tidak ada tindakan sebelum terjadi kegagalan.

Disebut juga dengan *Run To Failure Maintenance*

The philosophy is

“just let it break”



Breakdown Maintenance

Kelebihan:

- Murah
- Personil sedikit
- Mesin tidak dirawat secara berlebihan

Kekurangan:

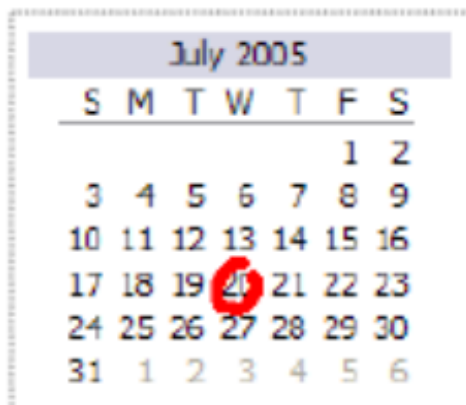
- Meningkatnya biaya akibat downtime yang tidak terencana dari peralatan
- Meningkatnya biaya pekerja, terutama jika dibutuhkan lembur
- Biaya tambahan terkait perbaikan dan penggantian peralatan
- Biaya tambahan akibat kerusakan yang menyebar ke komponen lain dan terjadinya kerusakan fatal (catastrophic)
- Kerugian produksi besar.
- Tidak efisiennya penggunaan dari pekerja

Preventive Maintenance

Dikenal juga sebagai *Calendar-based Maintenance*, jenis perawatan ini menggunakan teori yang menyebutkan bahwa umur mesin terbatas dan kemungkinan terjadinya kegagalan akan meningkat seiring dengan meningkatnya umur mesin.

Jadi kegiatan perawatan akan dilaksanakan sebelum mesin membutuhkannya (berdasarkan waktu atau jam operasi mesin)

The philosophy is

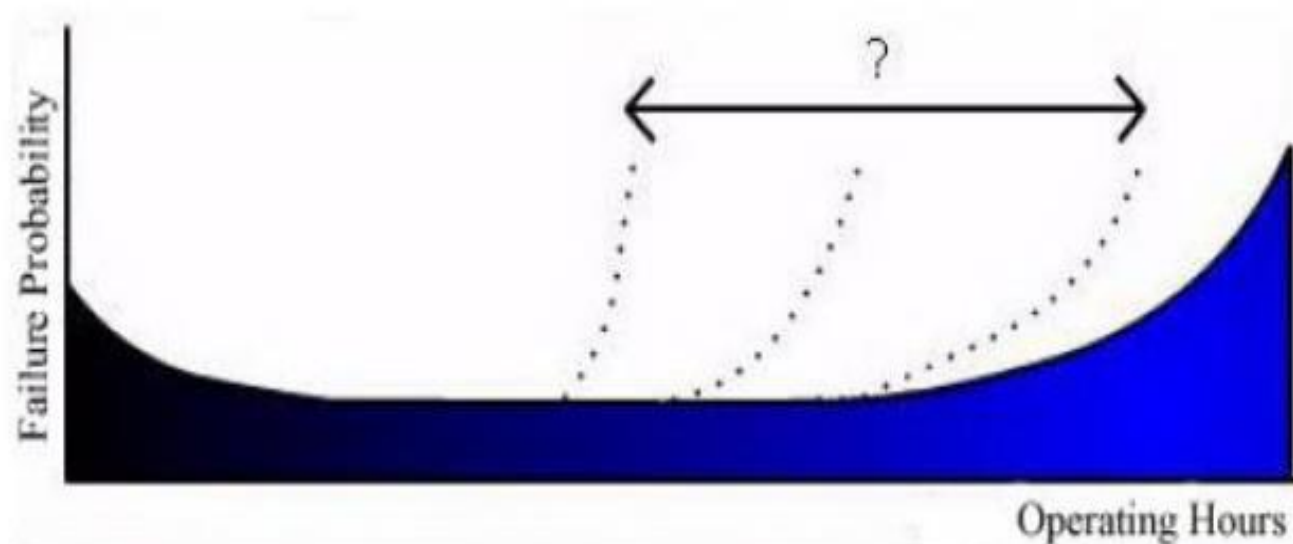


| July 2005 | | | | | | |
|-----------|----|----|----|----|----|-----|
| S | M | T | W | T | F | S |
| | | | | | | 1 2 |
| 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 31 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

“fix it before it break”

Preventive Maintenance

Terdapat masalah dalam memperkirakan umur dari mesin sebelum mesin itu mengalami kegagalan.



Preventive Maintenance

Kelebihan:

- Cost effective, karena perawatan dilakukan pada waktu yang sudah ditentukan dan dipersiapkan.
- Meningkatkan life cycle dari komponen
- Mengurangi kegagalan pada equipment dan terganggunya jalan produksi
- Ada pengaturan yang jelas terhadap penyimpanan komponen cadangan dan biaya.
- Estimasi 12% s/d 18% saving biaya jika dibandingkan dengan breakdown maintenance

Kekurangan:

- Mesin terlalu sering diperbaiki bahkan pada saat dimana mesin itu sebenarnya tidak mengalami masalah sama sekali.
- Tindakan perawatan berpotensi menambah masalah daripada mengurangnya.
- Masih terjadi unscheduled breakdowns/catastrophic failures
- Labor intensive

Preventive Maintenance

| Type of Task | Example |
|-----------------------|--|
| Inspection | Look for leak in hydraulic system |
| Cleaning | Remove debris from machines |
| Tightening | Tighten anchor bolts |
| Operating | Warming up machine/prepare for operation |
| Adjusting | Adjust tightening bolt |
| Take reading | Read temperature, pressure, vibration |
| Lubricate | Add oil |
| Scheduled replacement | Remove and replace pump |
| Analysis | History analysis of a type of machine |
| Interview operator | Ask operator how machine is operating |

Preventive Maintenance

| Description | Week | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Check Oil Filter | O | | | | | O | | | | | O | |
| Replace Oil | | | | | | | | | | | | O |
| Inspect bearing | | | | | | O | | | | | | |
| Replace Bearing | | | | | | | | | | O | | |
| Check liner condition | | O | | | | | | | | | | O |
| Check vibration | | | O | | | O | | | O | | | O |
| Tighten bolts | O | | | O | | | O | | | O | | |
| Check Motor Insulation | | | | | | O | | | | | | |
| Check terminals | | | O | | | | O | | | | | |

Predictive Maintenance

Predictive maintenance dapat didefinisikan sebagai berikut:

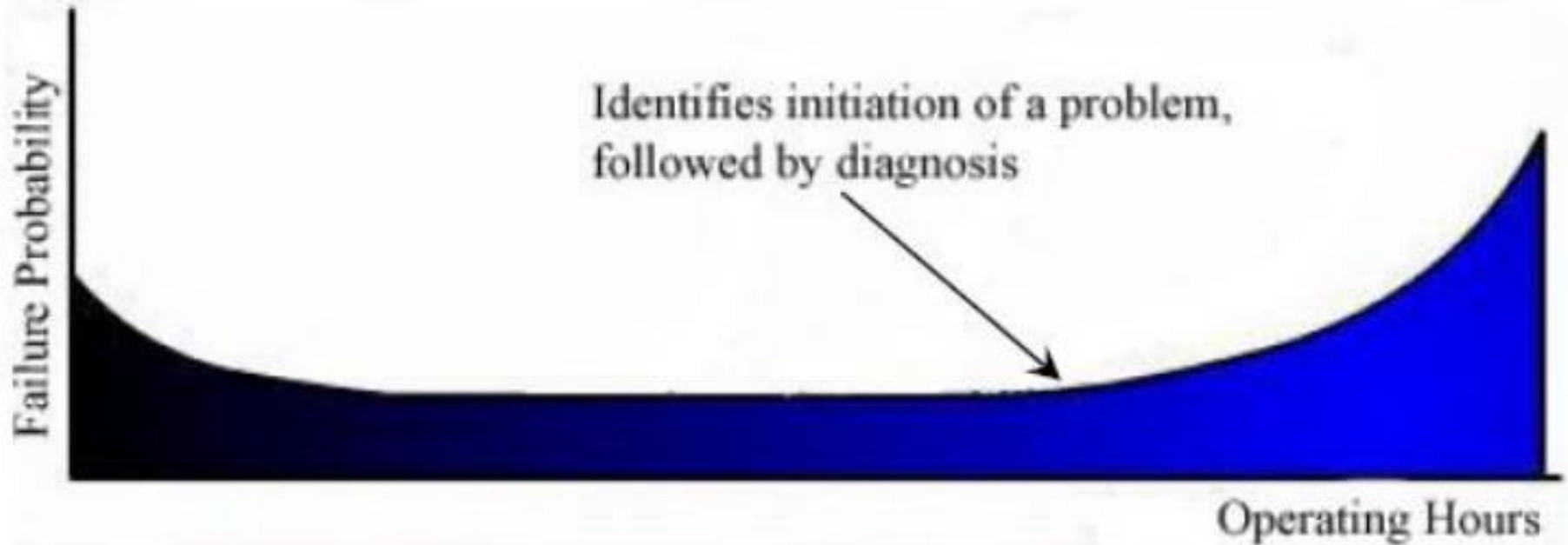
Pengukuran yang dilakukan untuk mendeteksi gejala mekanisme kerusakan, sehingga memungkinkan untuk mencegah atau mengontrol kerusakan yang biasa terjadi sebelum terjadi penurunan performa/ kerusakan yang signifikan terhadap kondisi fisik peralatan tersebut

The philosophy is

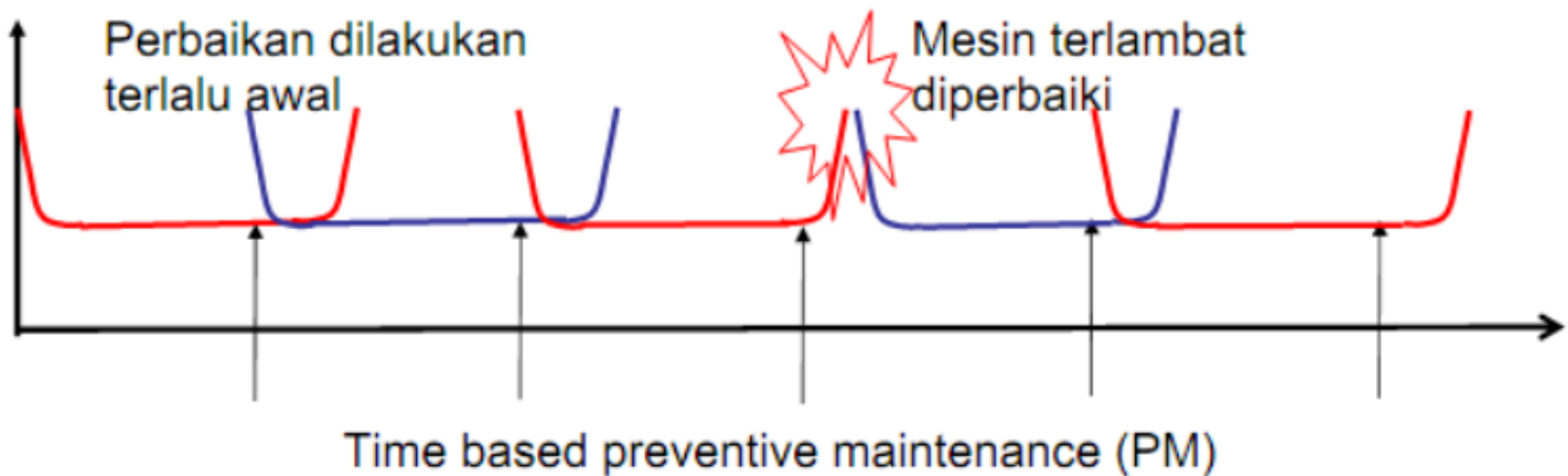
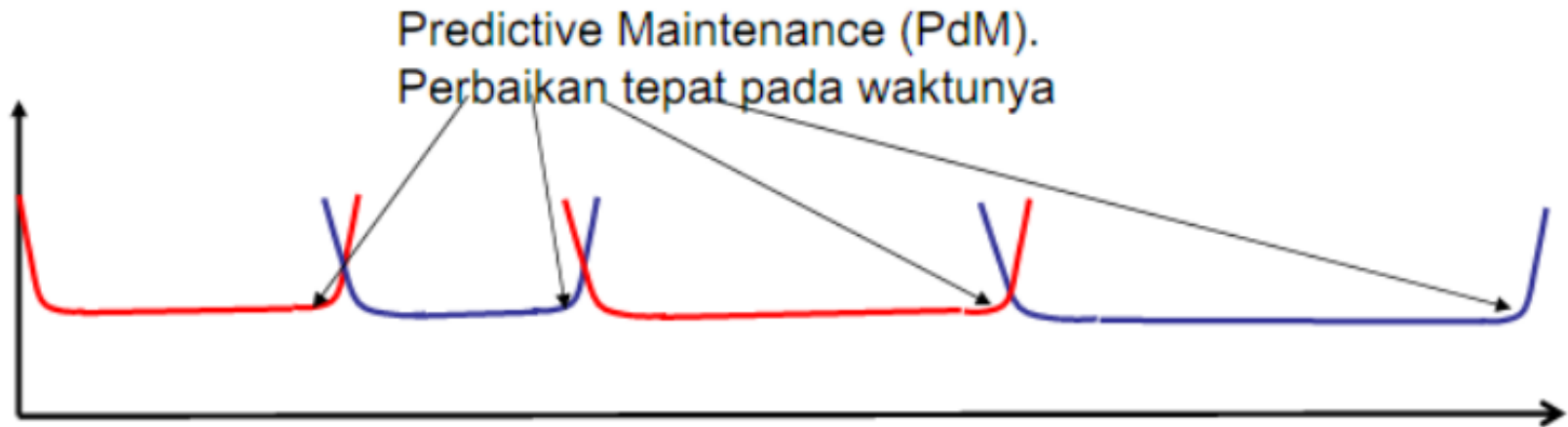


"if it ain't broken, don't fix it"

Predictive Maintenance



Predictive Maintenance



Predictive Maintenance

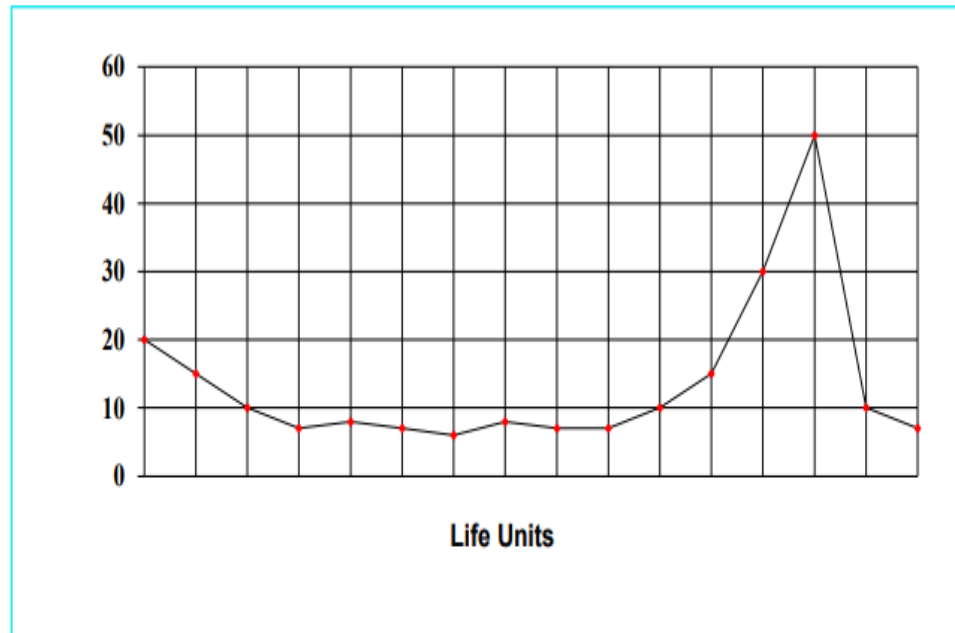
Kelebihan:

- Meningkatkan umur operasi komponen/peralatan
- Memungkinkan untuk dilakukan tindakan preemptive corrective
- Kerusakan mesin (*downtime*) yang tidak terduga dapat dikurangi.
- Komponen hanya dipesan saat dibutuhkan jadi penumpukan stok komponen bisa lebih dikurangi.
- Kualitas produksi yang lebih baik
- Tindakan perawatan bisa lebih direncanakan.
- Menurunkan biaya untuk suku cadang dan tenaga kerja
- Meningkatkan keselamatan pekerja dan lingkungan kerja
- Meningkatkan moral pekerja

Kelemahan:

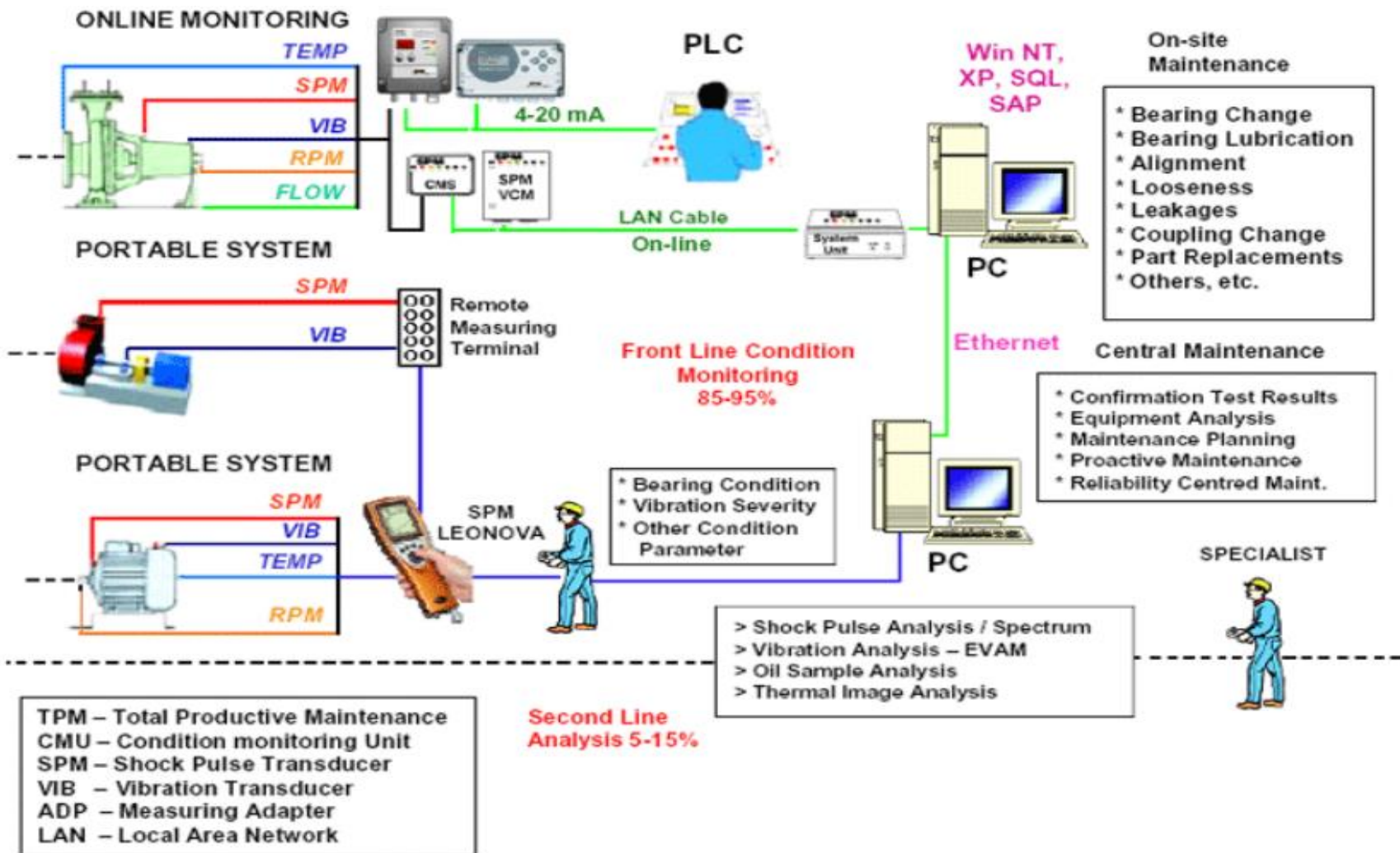
- Biaya yang tinggi dalam mempersiapkan peralatan instrumen dan tenaga ahli.
- Tidak ada kepastian apakah umur mesin bisa lebih panjang.
- Potensi penghematan tidak dapat langsung dilihat oleh management

Condition Monitoring

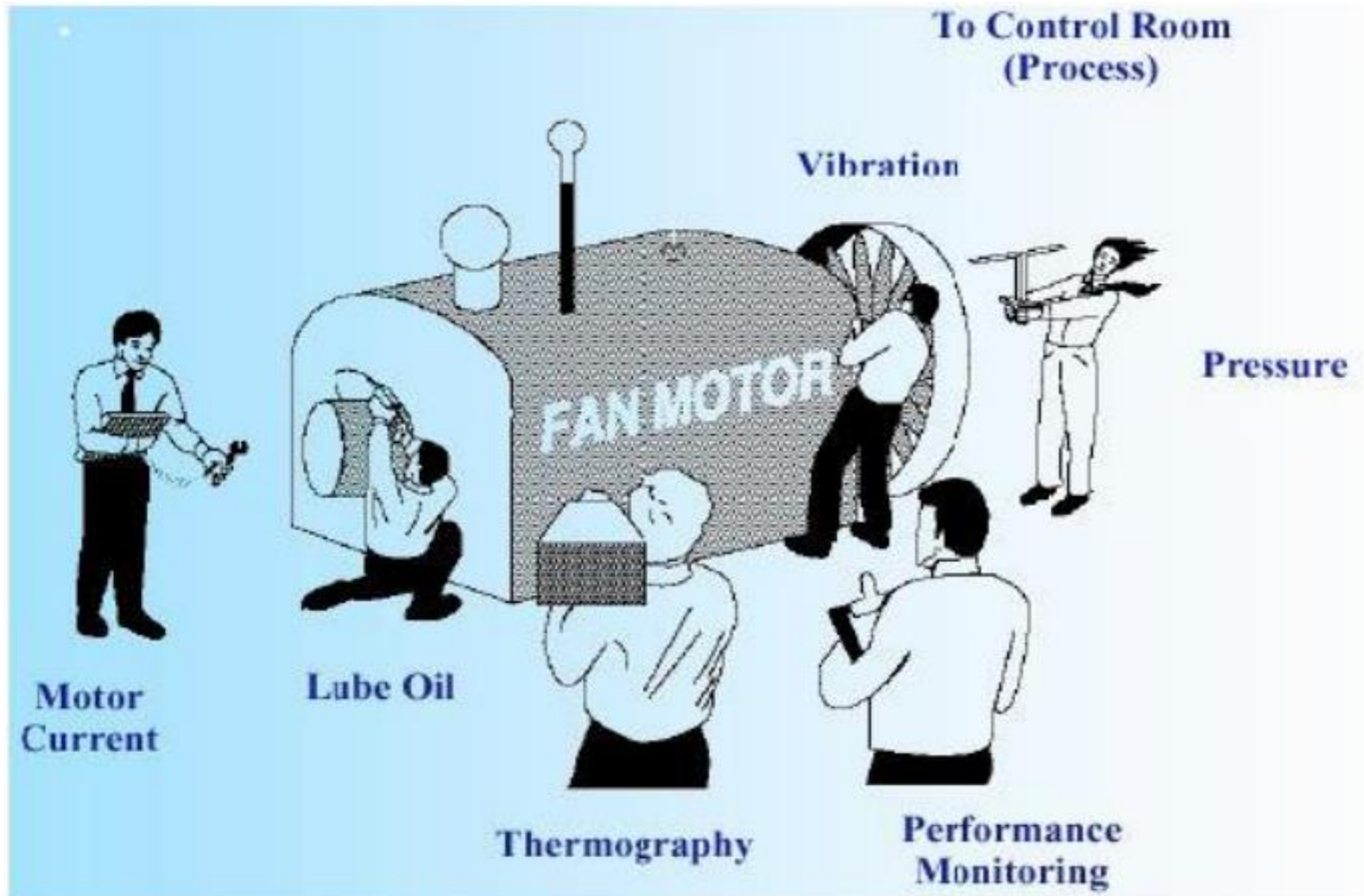


CM tergantung pada tren parameter yang merupakan indikator dari kondisi modus kegagalan peralatan

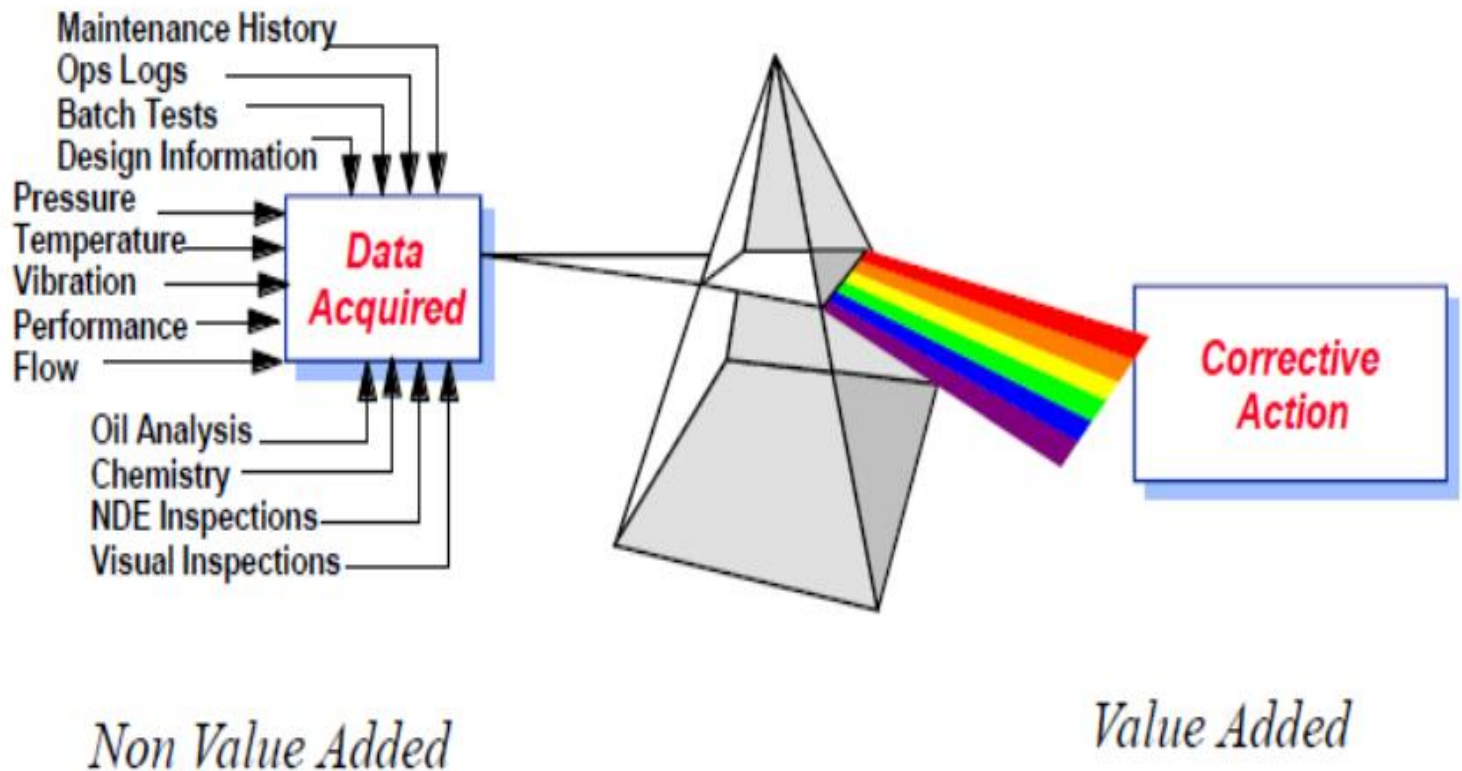
Monitoring



Monitoring



Integrated Condition Monitoring

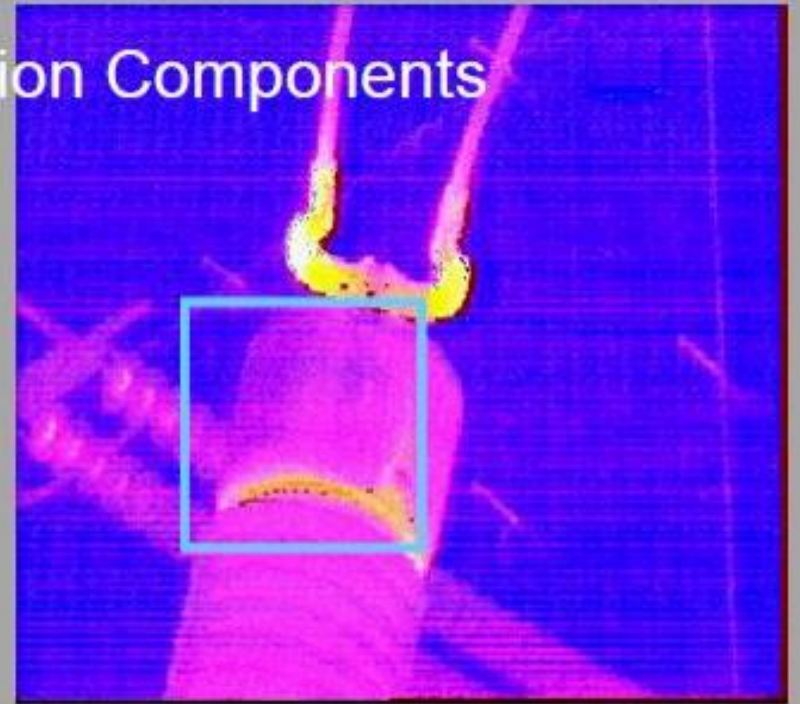


Menghasilkan informasi yang berguna untuk menentukan apakah harus melakukan tindakan korektif dan tindakan korektif apa yang harus dilakukan.

Thermography

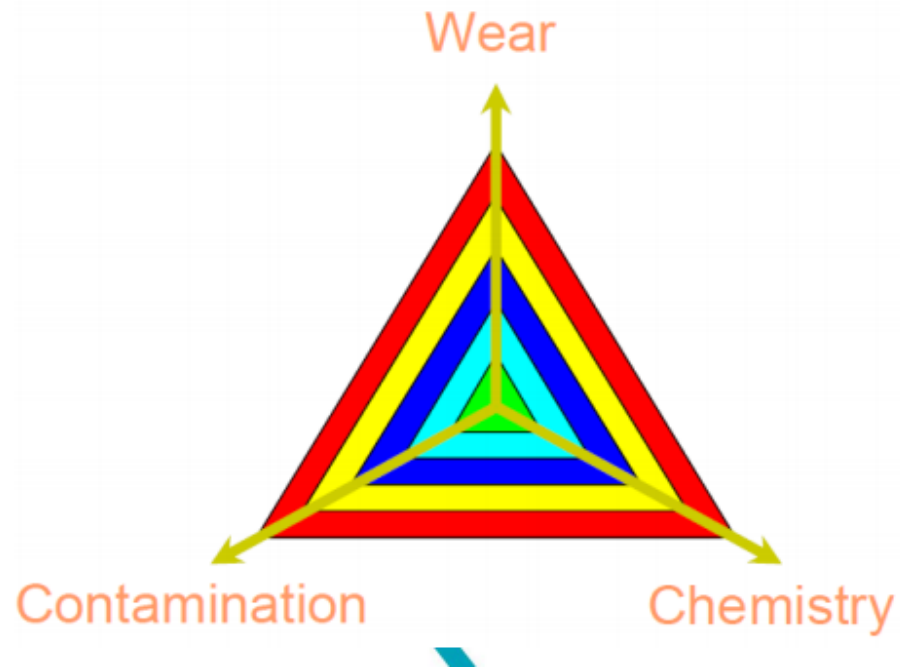


Problem?



Oil Analysis

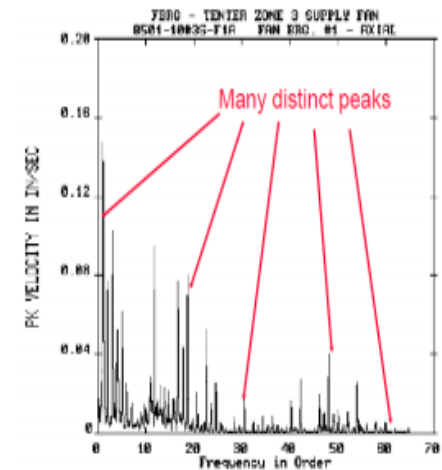
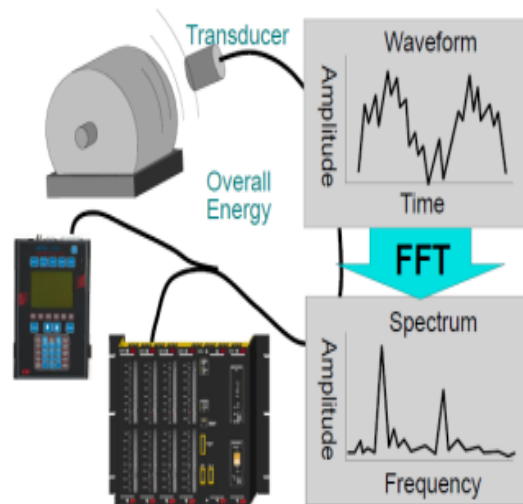
- Turbines
- Boiler feed pumps
- Electrohydraulic control systems
- Hydraulics
- Any system where oil cleanliness is directly related to longer lubricant life, decreased equipment wear, or improved equipment performance
- Servo valves
- Gearboxes
- Roller bearings
- Anti-friction bearings



Vibrasi

Pemantauan dan analisa vibrasi dapat digunakan untuk menemukan dan mendiagnosis berbagai masalah yang berkaitan dengan rotating equipment. Daftar berikut ini memberikan beberapa kondisi / kerusakan peralatan umum yang dapat diterima di mana teknologi pemeliharaan prediktif ini dapat digunakan dalam mendefinisikan masalah yang ada:

- Unbalance
- Misalignment
- Bearing problems
- Gear problems
- Mechanical looseness
- Rotor rub



Vibrasi

| Technologies | Applications | Pumps | Electric Motors | Diesel Generators | Condensers | Heavy Equipment/ Cranes | Circuit Breakers | Valves | Heat Exchangers | Electrical Systems | Transformers | Tanks, Piping |
|-------------------------------------|--------------|-------|-----------------|-------------------|------------|----------------------------|------------------|--------|-----------------|--------------------|--------------|---------------|
| Vibration Monitoring/Analysis | | X | X | X | | X | | | | | | |
| Lubricant, Fuel Analysis | | X | X | X | | X | | | | | X | |
| Wear Particle Analysis | | X | X | X | | X | | | | | | |
| Bearing, Temperature/Analysis | | X | X | X | | X | | | | | | |
| Performance Monitoring | | X | X | X | X | | | | X | | X | |
| Ultrasonic Noise Detection | | X | X | X | X | | | X | X | | X | |
| Ultrasonic Flow | | X | | | X | | | X | X | | | |
| Infrared Thermography | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| Non-destructive Testing (Thickness) | | | | | X | | | | X | | | X |
| Visual Inspection | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Insulation Resistance | | | X | X | | | X | | | X | X | |
| Motor Current Signature Analysis | | | X | | | | | | | | | |
| Motor Circuit Analysis | | | X | | | | X | | | X | | |
| Polarization Index | | | X | X | | | | | | X | | |
| Electrical Monitoring | | | | | | | | | | X | X | |

Proactive Maintenance

Dikenal juga sebagai *Precision Maintenance* dan *Reliability Based Maintenance*. Metode perawatan ini lebih menitikberatkan pada indentifikasi akar permasalahan dan memperbaikinya untuk mengurangi kemungkinan mesin akan rusak.

The philosophy is

“fix it once and fix it right”



Proactive Maintenance

Memaksimalkan umur operasi mesin dan meningkatkan keandalan serta efisiensinya melalui :

- Analisa penyebab kegagalan (*Root Cause Failure Analysis*)
- Instalasi mesin dilakukan dengan kepresisian yang tinggi.
- Pelatihan personel.

3 hal yang harus ditelusuri:

- Mengapa mesin selalu mengalami kegagalan berulang-ulang ?
- Jenis tindakan apa yang harus dilakukan ?
- Apakah mesin beserta komponen-komponennya telah terpasang dengan benar ?

Proactive Maintenance

Keuntungan:

- Umur operasi mesin bisa lebih diperpanjang
- Keandalan mesin meningkat
- Kegagalan mesin dapat dikurangi
- Biaya perawatan keseluruhan bisa dikurangi

Kelemahan:

- Investasi dengan biaya tinggi untuk peralatan instrumen dan keahlian personel
- Diperlukan keahlian khusus dari para personelnnya.
- Dibutuhkan investasi waktu untuk menerapkan metode ini.
- Butuh perubahan cara berpikir (filosofi) dari mulai level manajemen sampai ke level paling bawah.

Reliability Centered Maintenance

Pengantar:

- 1) RCM merupakan pendekatan yang sangat unggul dalam membangun program pemeliharaan terjadwal
- 2) Fakta sejarah : RCM telah dijalankan dengan sangat efektif di berbagai perusahaan industri, penerbangan sipil dan militer, perkapalan sipil dan militer, perusahaan pembangkit listrik, dan industri kimia.
- 3) Dalam perkembangannya, RCM telah menjadi pilihan ketika keandalan sangat penting untuk alasan keselamatan atau lingkungan, atau untuk menjaga agar plant beroperasi pada kapasitas maksimumnya.

Pengertian RCM

RCM adalah sebuah proses logis dan teknis untuk menentukan *maintenance task* apa yang dapat memastikan sistem disain yang andal, dalam kondisi operasi yang spesifik dan dalam lingkungan operasi spesifik.

RCM menentukan bagaimana mengimprove perencanaan pemeliharaan, didasarkan pada pengalaman dan teknik optimasi.

Dengan *RCM decision logic*, kita pilih task / intervensi pemeliharaan yang tepat untuk menurunkan jumlah kegagalan, mendeteksi dan meramalkan kapan peralatan menjadi cukup membahayakan, menjamin pengambilan tindakan / keputusan yang tepat, mengeliminasi, atau menerimanya sampai kegagalan terjadi.

Tujuan RCM

1. Untuk mengembangkan desain yang sifat mampu dipeliharanya (maintainability) baik.
2. Untuk memperoleh informasi yang penting untuk melakukan improvement pada desain awal yang kurang baik.
3. Untuk mengembangkan sistem maintenance yang dapat mengembalikan kepada reliability dan safety seperti awal mula equipment dari deteriorasi yang terjadi setelah sekian lama dioperasikan.
4. Untuk mewujudkan semua tujuan di atas dengan biaya minimum.

Tujuan RCM

Dengan kata lain, tujuan dari RCM adalah untuk menjadikan setiap sistem sehandal disainnya, dengan cara memastikan bahwa:

- The right maintenance is performed
- At the right time
- By the right people
- In the right way
- With the right timing and tools

Dasar-dasarnya :

- a) Tiap komponen punya kombinasi modus dan tingkat kegagalan yang unik
- b) Tiap kombinasi komponen juga unik, dan kegagalan satu komponen dapat menyebabkan lainnya gagal.
- c) Tiap "sistem" beroperasi pada dalam lingkungannya sendiri : lokasi, ketinggian, kedalaman, atmosfer, tekanan, temperatur, kelembaban, *salinity*, kecepatan, percepatan dsb.
- d) Bergantung pada kondisi-kondisi ini, kegagalan-kegagalan tertentu dapat mendominasi.

Tujuan RCM

RCM memperhitungkan:

- Pemeliharaan preventive berdasarkan karakteristik failure (kegagalan) dalam konteks operasinya
- Perubahan desain
- Perkembangan training
- Perubahan operasional
- Penggantian peralatan
- Run to failure apabila lebih murah (cost effective) dan tidak berdampak pada permasalahan safety/lingkungan

RCM = Less corrective maintenance

RCM = More proactive approach

Prinsip RCM

- 1) RCM is Function Oriented
- 2) RCM is System Focused
- 3) RCM is Reliability Centered
- 4) RCM Acknowledges Design Limitations
- 5) RCM is Driven by Safety and Economics
- 6) RCM Defines Failure as Any Unsatisfactory Condition
- 7) RCM Uses a Logic Tree to Screen Maintenance Tasks
- 8) RCM Tasks Must Be Applicable
- 9) RCM Tasks Must Be Effective
- 10) RCM Acknowledges Three Types of Maintenance Tasks
- 11) RCM is a Living System

Reliability Maintenance

Reactive

- *Small items*
- *Non-critical*
- *Inconsequential*
- *Unlikely to fail*
- *Redundant*

Preventive

- *Subject to wear-out*
- *Consumable replacement*
- *Failure pattern known*

Predictive

- *Random failure patterns*
- *Not subject to wear*
- *PM induced failures*

Proactive

- *RCFA*
- *Age Exploration*
- *FMEA*

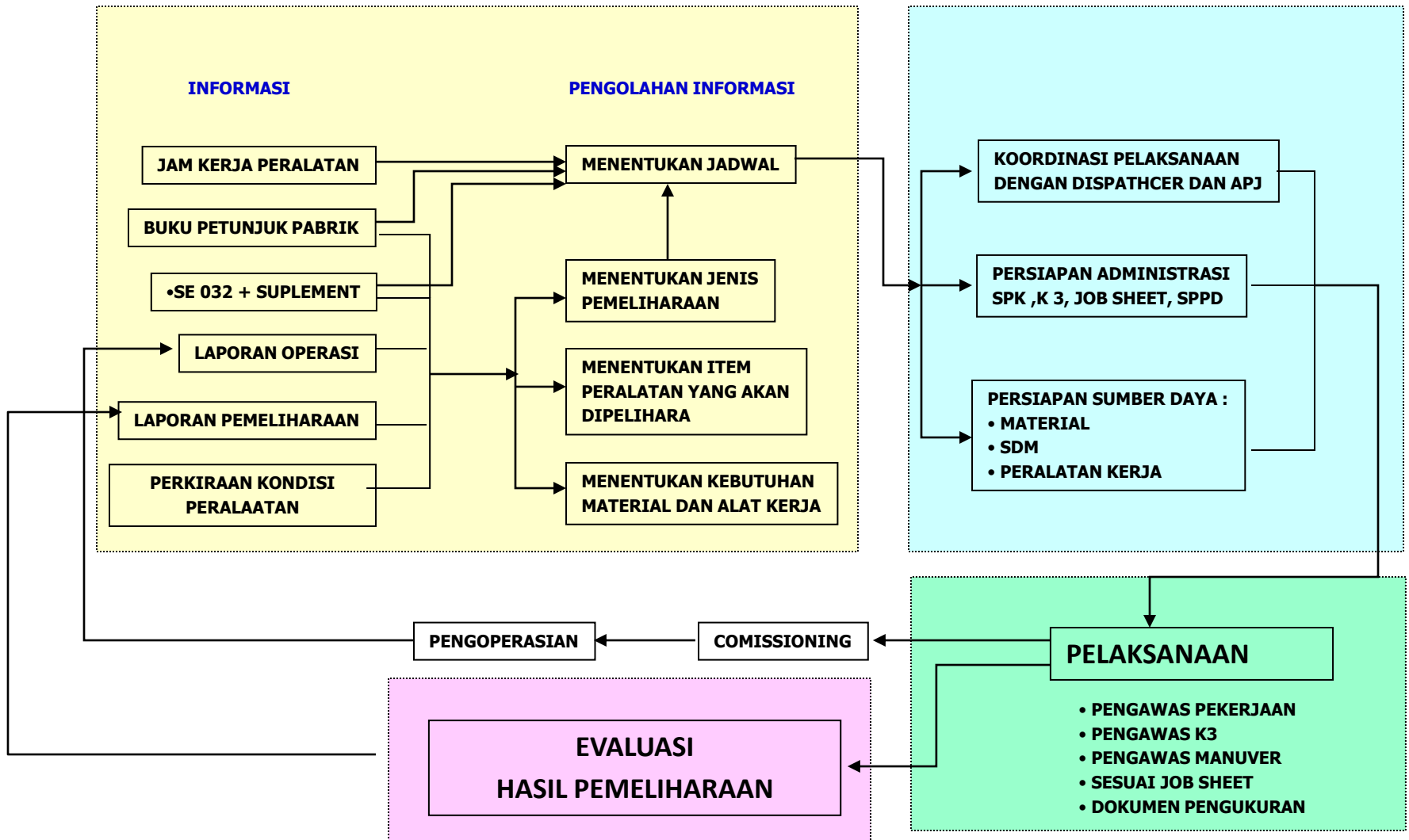
Mekanisme pemeliharaan

- **P L A N N I N G** (perencanaan)
- **O R G A N I Z I N G** (organisasi)
- **A C T U A T I N G** (pelaksanaan)
- **C O N T R O L L I N G** (evaluasi)

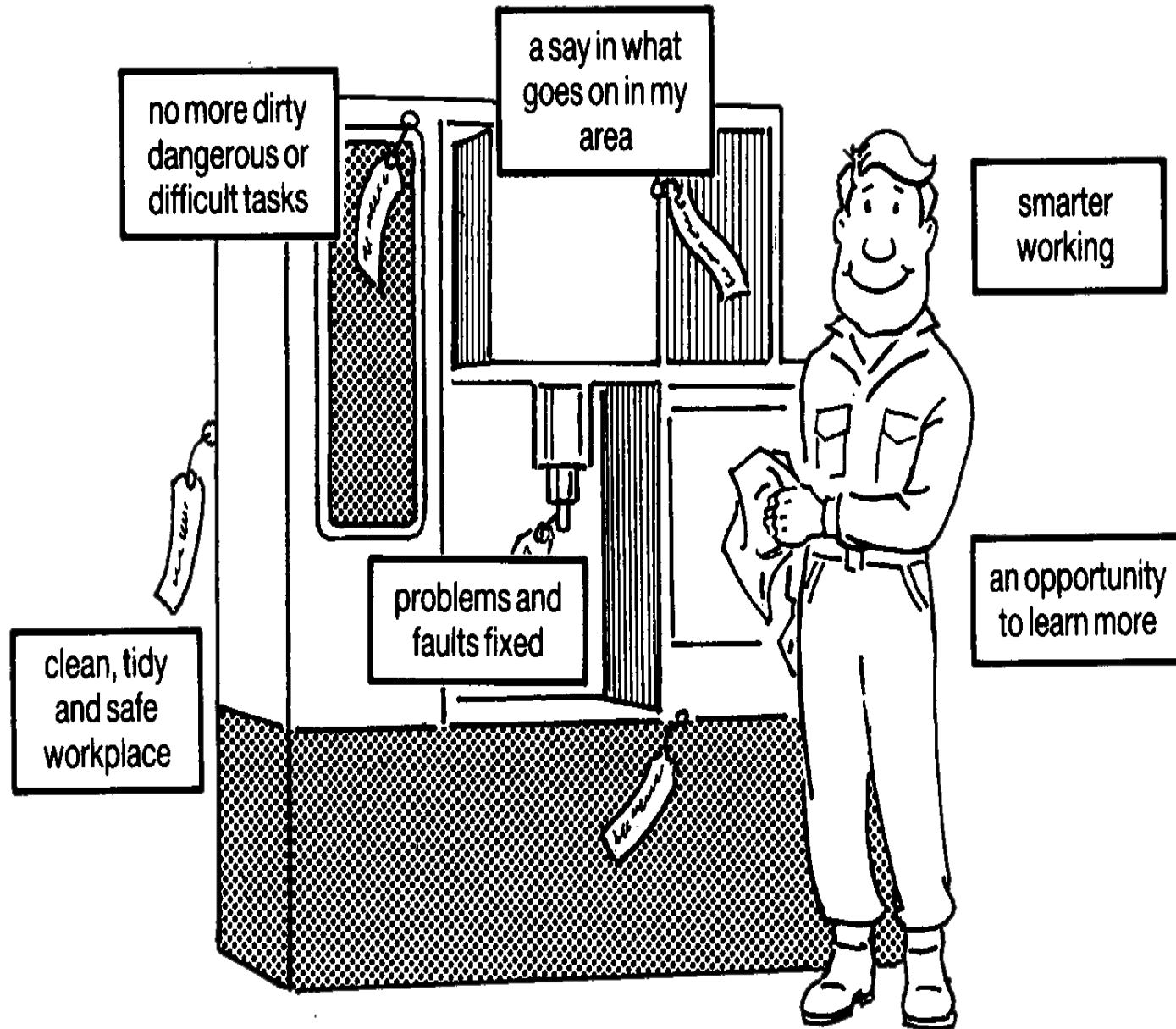
IMPLEMENTASI POAC DALAM PEMELIHARAAN

PERENCANAAN

DIORGANISIR



Manfaat Manajemen Pemeliharaan



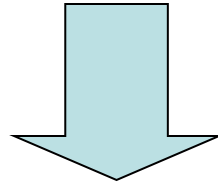
**ACUAN PEMELIHARAAN PERALATAN
DI LINGKUNGAN PLN P3B JB**

SE 032/PST/1984 + SUPLEMEN

PERALATAN YANG DIPELIHARA

- **Transformator (Trafo Tenaga).**
- **Pemutus Tenaga (PMT)**
- **Pemutus Tenaga (PMT) u/ Sektor Transmisi TET**
- **Pemisah (PMS Bus dan PMS Line)**
- **Trafo Arus (CT)**
- **Trafo Tegangan (PT)**
- **Lightning Arrester (LA)**
- **Neutral Grounding Resistor (NGR)**
- **GIS & Compartement GIS**
- **Busbar**
- **Sistim DC (Batere)**
- **Sistim Proteksi**
- **Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)**
- **Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT)**
- **Saluran Kabel Laut Tegangan Tinggi (SKLT)**
- **Kompensator (Induktor / Kapasitor)**
- **M e t e r**
- **Digital Fault Recorder (DFR).**

TIME BASE MAINTENANCE



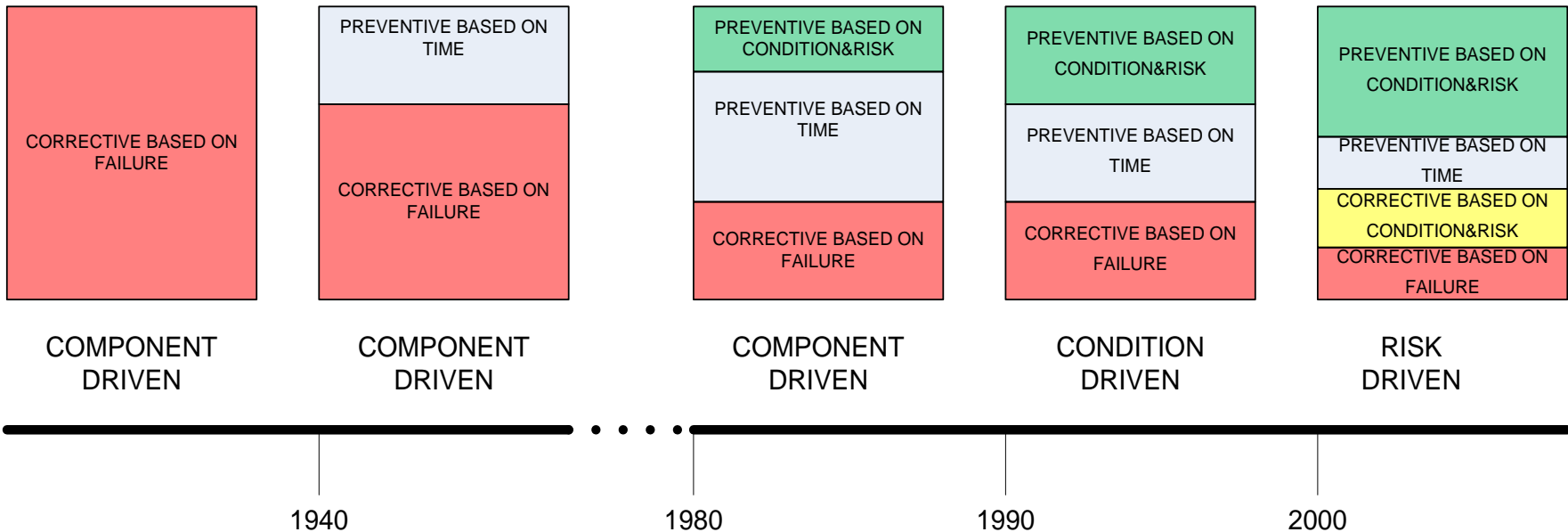
CONDITION BASE MAINTENANCE

- **Condition-Based Maintenance** adalah strategi maintenance yang memanfaatkan kondisi peralatan sebagai dasar penentuan kegiatan maintenance terhadap suatu peralatan .

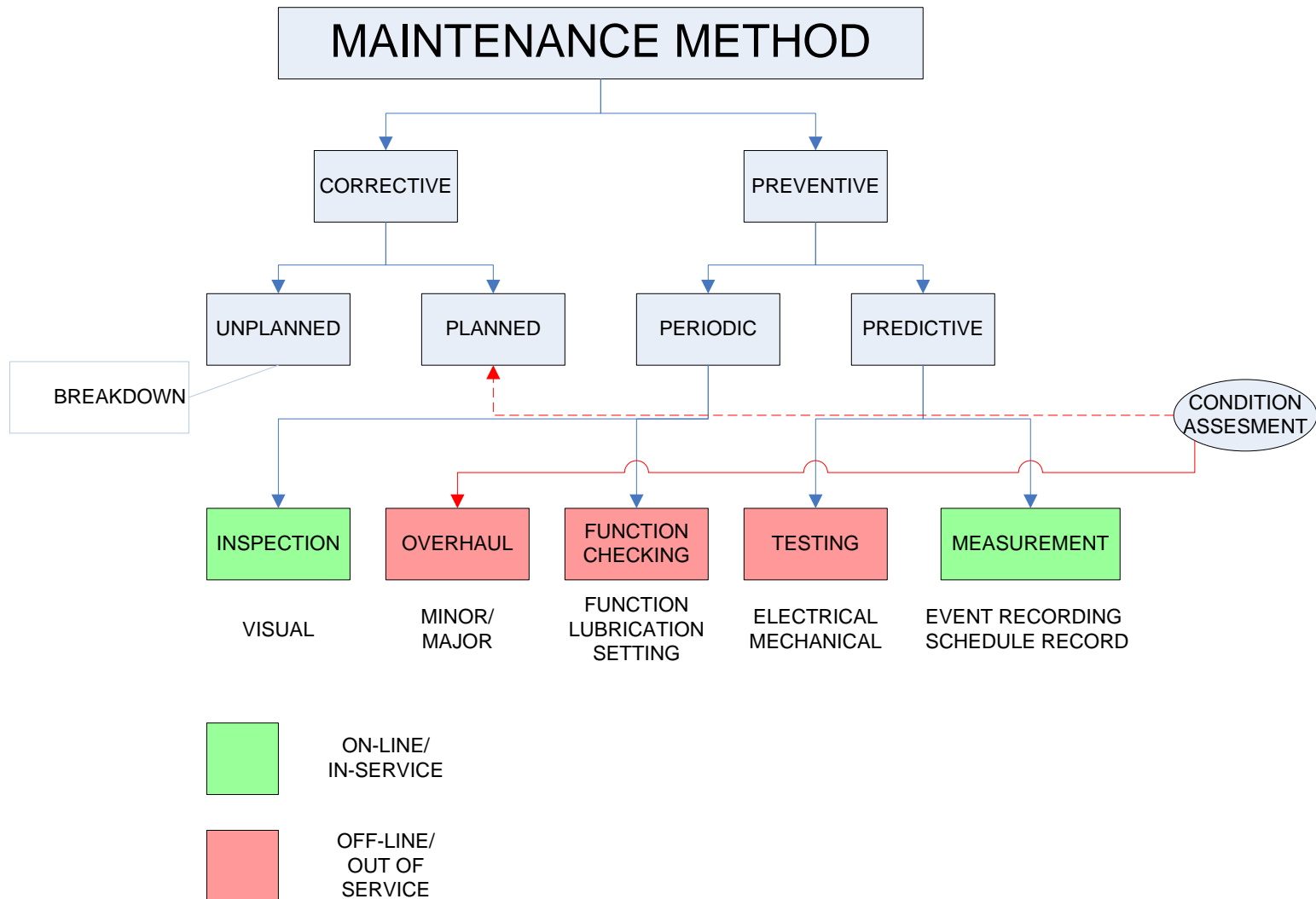
PEMELIHARAAN



PERKEMBANGAN PEMELIHARAAN



PEMELIHARAAN DI PLN (SE 032)



KONSEP CONDITION BASED MAINTENANCE

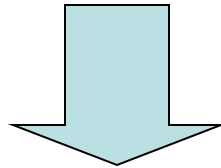
**PEMELIHARAAN YANG DILAKUKAN BERDASARKAN
KONDISI PERALATAN**

STATUS KONDISI PERALATAN :

- MENGGUNAKAN HASIL MONITORING
(OFF / ON LINE) DAN HASIL PEMELIHARAAN
SEBELUMNYA.**
- MERUJUK PADA MODE KEGAGALAN PERALATAN**
- MERUJUK PADA PROSES PENUAAN PERALATAN**

TUJUAN CBM

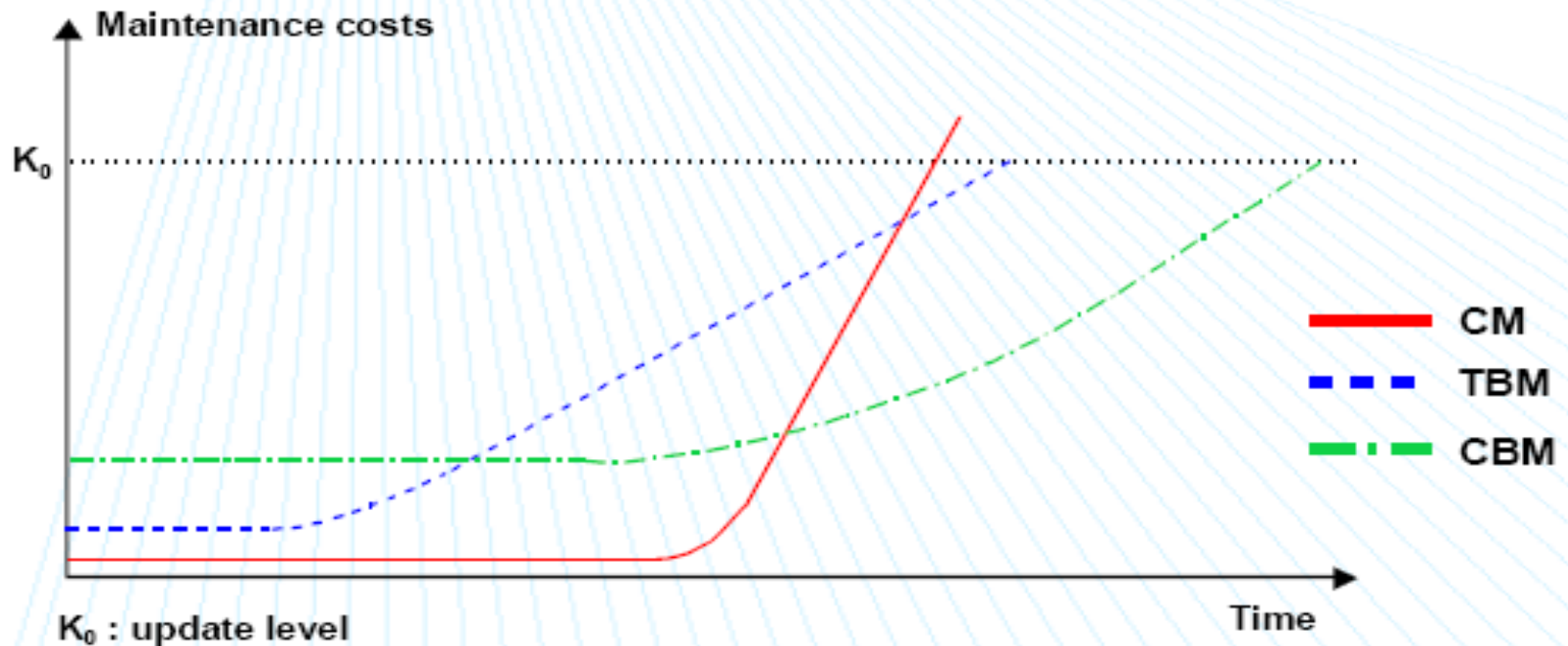
- MENGENALI KARAKTERISTIK PERALATAN
- PEMELIHARAAN FOKUS PADA KOMPONEN KRITIS
- PERIODE PEMELIHARAAN SESUAI KEBUTUHAN
- MEMPERPANJANG UMUR PERALATAN



EFISIENSI BIAYA PEMELIHARAAN

POLA BIAYA PEMELIHARAAN

POLA BIAYA PADA 3 METODE PEMELIHARAAN



EVOLUSI PEMELIHARAAN

- **TIME BASED
MAINTENANCE**

- **BERBASIS WAKTU**
- **DATA DARI OFF LINE
MONITORING**
- **BIAYA & MANHOURS TINGGI,
EFISIENSI RENDAH**

- **CONDITION BASED
MAINTENANCE**

- **BERBASIS KONDISI**
- **DATA DARI OFF/ON LINE
MONITORING, REKAMAN
OPERASIONAL**
- **BIAYA & MANHOURS RENDAH,
EFISIENSI TINGGI**

Pemeliharaan Listrik terdiri dari :

1.Preventive Maintenance (PM) = Overhaul

= Service = Shutdown
= Turn Around (TA), dll.

Ciri-cirinya :

- Off line (equipment dalam keadaan dimatikan)
- Terjadwal (Scheduled):
 - Berdasarkan kalender : mingguan, bulanan, tahunan, 3 tahunan, 5 tahunan, dlsb.
 - Berdasarkan “running hours”: setiap 10.000 jam, dlsb
 - Berdasarkan “running distances”: setiap 5.000 km,dll

2.Predictive Maintenance (PdM) = Condition Monitoring

Ciri-cirinya :

- On line (equipment dalam keadaan hidup), atau Off line
- Contoh : Vibration Monitor, Thermography, On line Partial Discharge, dll

3.Corrective Maintenance (CM) → terencana

≈ Breakdown Maintenance → tidak terencana = Fix it when it broke
= Repair = Perbaikan

- Bisa Off line line, maupun On line.

Figure 1.3 shows how the classical emphasis on overhauls and administrative systems has grown to include many new developments in a number of different fields.

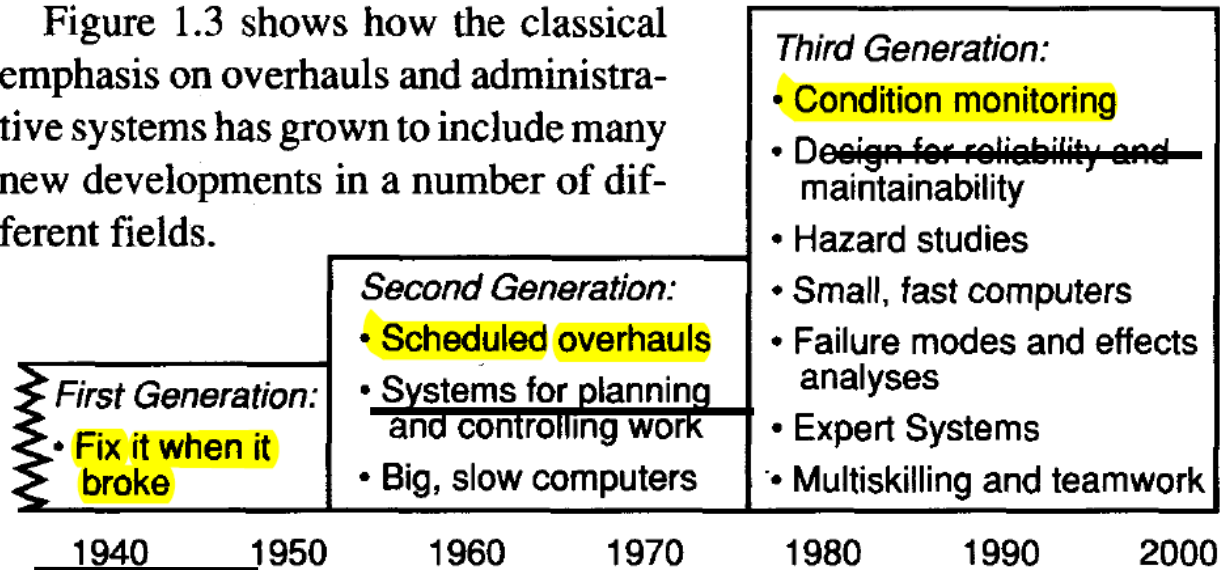


Figure 1.3: Changing maintenance techniques

- Scheduled Overhauls = Service = Shutdown = Turn Around (TA)
= Preventive Maintenance (PM)
- Condition Monitoring = Predictive Maintenance (PdM)
- Fix it when it broke = Repair = Perbaikan
= Corrective Maintenance (CM) / Breakdown Maintenance

1.1. UMUM

- ⚡ Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTETI) adalah sarana instalasi tenaga listrik diatas tanah untuk menyalurkan tenaga listrik dari Pusat Pembangkit ke Gardu Induk (GI) atau dari GI ke GI lainnya (antar GI).

- ⚡ SUTT/SUTETI merupakan peralatan buatan manusia. Peralatan ini pada dasarnya bisa rusak baik karena salah pengoperasian, kesalahan saat konstruksi maupun telah melampaui masa kerjanya (life time).
Pengertian Pemeliharaan adalah kegiatan yang meliputi:
 - ✓ Perawatan/pemeriksaan
 - ✓ Perbaikan
 - ✓ Penggantian
 - ✓ Pengujian

- ⚡ Mempertahankan kemampuan kerja peralatan
- ⚡ Memperpanjang live time peralatan
- ⚡ Menghilangkan, mengurangi resiko kerusakan
- ⚡ Mengembalikan kemampuan kerja peralatan
- ⚡ Mengurangi kerugian secara ekonomis
- ⚡ Memberi keyakinan keandalan operasinya

BAB II

JENIS – JENIS PEMELIHARAAN

SUTT, SUTET & TRANSMISI TENAGA

- ⚡ Banyak metoda pemeliharaan yang dilakukan mulai dari yang paling sederhana hingga yang rumit. Beberapa jenis pemeliharaan antara lain :
 - ✓ Pemeliharaan rutin (Preventive Maintenance)
 - ✓ Pemeliharaan Korektif (Corrective Maintenance)
 - ✓ Pemeliharaan darurat (Emergency Maintenance)
 - ✓ Pemeliharaan yang berdasar kondisi / karakter peralatan (Condition Base Maintenance / CBM)

- ⚡ Pemeliharaan rutin merupakan kegiatan / usaha yang secara periodik dilakukan untuk mempertahankan kondisi jaringan agar selalu dalam keadaan baik dengan keandalan dan daya guna yang optimal.
- ✓ Dalam pelaksanaannya pemeliharaan rutin terdiri dari :
 - ✓ Pemeliharaan tahunan
 - ✓ Pemeliharaan lima tahunan

- ⚡ Pemeriksaan rutin merupakan pemeriksaan secara visual (inspeksi):
 - ✓ Ground patrol
 - ✓ Climb up inspection
- ⚡ Hasil pemeriksaan merupakan data yang dapat dipakai:
 - ✓ Evaluasi / perencanaan / pengembangan
 - ✓ Penanggulangan dan pencegahan
 - ✓ Perbaikan / perubahan / modifikasi
 - ✓ Penggantian

⚡ **Ground patrol**

✓ Ground patrol adalah jenis pekerjaan pemantauan/pemeriksaan harian terhadap jalur transmisi tanpa memanjat tower dilakukan oleh Line walker secara terjadwal. Obyek yang diperiksa adalah :

- Kawat penghantar
- Ground wire
- Ruang bebas (Right of Way/ROW)
- Tower dan halamannya
- Lingkungan dan aktifitas masyarakat sekitarnya

⚡ **Climb up inspection**

✓ Climb up inspection adalah jenis pekerjaan pemeriksaan terhadap tower berikut perlengkapannya dilakukan oleh Climber dengan cara memanjat tower pada SUTT/SUTET yang dalam keadaan bertegangan.

- ✓ Obyek yang diperiksa adalah:
 - Besi Tower dan kelengkapannya
 - Kawat penghantar sekitar tower
 - Ground wire sekitar tower
 - Klem pemegang kawat dan asesorisnya
 - Isolator dan asesorisnya
 - Benda asing yang terdapat pada tower , isolator dan kawat

- ✓ Melalui pemeriksaan ini diharapkan secara dini dapat ditemukan abnormaly atau kelainan-kelainan yang dapat menimbulkan gangguan. sehingga kerusakan dapat segera ditanggulangi yang pada akhirnya keandalan penyaluran tenaga listrik tetap terjaga dengan baik.

2.4. PEMERIKSAAN SISTEMATIS

- ⚡ Pemeriksaan Sistematis adalah pekerjaan pengujian yang dimaksudkan untuk menemukan kerusakan atau gejala kerusakan yang tidak dapat ditemukan atau diketahui pada saat inspeksi untuk kemudian disusun saran-saran perbaikannya.
- ⚡ Pelaksanaan Pemeriksaan Sistematis ini lebih luas dan lebih teliti dari pada pemeriksaan rutin. Untuk memperoleh tingkat ketelitian yang tinggi dipergunakan peralatan bantu.
- ⚡ Contoh dari pemeriksaan ini misalnya adalah pengujian kemampuan isolator di laboratorium, pemeriksaan kondisi sambungan dengan menggunakan Infra red thermovision, pemeriksaan tegangan tembus isolator dengan corona detector,
- ⚡ Beberapa hal yang mempengaruhi pola pemeliharaan rutin antara lain :
 - ✓ Kondisi alam setempat
polutif alami, polutif industri, gempa, kondisi normal, pertumbuhan tanaman sepanjang jalur dan disekitar jalur, petir, longsor dan lain sebagainya.
 - ✓ Karakteristik kerja peralatan biasanya berdasarkan buku petunjuk pabrik atau pengalaman yang terjadi selama ini: isolator gelas yang sering pecah
 - ✓ Sosial kemasyarakatan
penggalan liar, pencurian : grounding – member tower dan lain sebagainya.

- ⚡ Pemeliharaan Korektif (corrective maintenance) adalah pekerjaan pemeliharaan yang dilakukan karena peralatan mengalami kerusakan atau memerlukan penyempurnaan.
- ⚡ Pemeliharaan korektif kebanyakan terjadi karena jarang atau tidak pernah dilakukan pemeriksaan rutin.

- ⚡ Pemeliharaan Darurat dilakukan karena telah terjadi kerusakan pada SUTT/SUTET yang disebabkan oleh hal-hal diluar rencana seperti : banjir, gempa bumi, longsor, gunung meletus, kebakaran, tertabrak kendaraan dan lain sebagainya.
- ⚡ Pemeliharaan jenis ini sifatnya darurat dan memerlukan penanganan ekstra serta segera untuk mengatasinya. Biayanya tentu saja tidak bisa direncanakan dan mungkin bisa dimasukkan dalam katagori biaya tak terduga karena memang kejadiannya diluar kendali manusia. Salah satu solusinya ialah memasang tower emergency.

2.7. PEMELIHARAAN BERDASARKAN KONDISI/KARAKTER PERALATAN (CBM)

- ⚡ Pemeliharaan ini tidak lagi berdasar waktu, namun berdasar kondisi/karakter peralatan. Dalam satu tahun bisa saja dilakukan beberapa kali kunjungan atau pemeriksaan tergantung tingkat potensi gangguan.
- ⚡ Kerusakan yang terjadi menjadi statistik dan dapat disimpulkan sebagai trend peralatan. Namun adakalanya kerusakan akibat fenomena alam yang tidak terlihat sewaktu patroli. Contoh yang dapat dilakukan CBM adalah :
 - ✓ Pemeriksaan isolator dan asesoris isolator maupun clamp pada daerah yang polusinya tinggi.
 - ✓ Pemeriksaan jarak tower dan lendutan kawat pada kawasan luas yang mengalami longsor secara perlahan
 - ✓ Pemeriksaan kondisi pondasi pada daerah longsor
 - ✓ Pemeriksaan isolator pada daerah yang sering tersambar petir
 - ✓ Pengukuran nilai pentanahan tower pada daerah pegunungan atau musim kemarau.

- ⚡ Berbagai macam pemeliharaan yang pernah terjadi di jaringan SUTT / SUTET antara lain :
 - ✓ Penggantian isolator pecah atau rusak lapisan permukaannya
 - ✓ Pembersihan isolator karena polusi
 - ✓ Perbaiki kawat rantas
 - ✓ Perbaiki kawat putus
 - ✓ Pengencangan klem-klem jumper
 - ✓ Pembersihan kawat dari layang-layang
 - ✓ Ground patrol
 - ✓ Climb up inspection
 - ✓ Pemeriksaan stabilitas pondasi tower (leveling, retak)
 - ✓ Pemeriksaan kelengkapan tapak tower (patok tanda batas tanah PLN, urugan tanah tapak tower)
 - ✓ Pengecekan Tahanan Pembumian
 - ✓ Pemeriksaan jarak bebas konduktor dengan benda di sekitarnya
 - ✓ Perbaiki tower yang mengalami deformasi / bengkok-bengkok akibat tanah sekeliling pondasi longsor

- ✓ Pondasi turun/amblas karena tanah dasar pondasi mengalami sliding/gelincir oleh arus air bawah tanah
- ✓ Pengelasan baut-baut tower untuk mencegah pencurian
- ✓ Perbaikan spacer yang lepas dari konduktor
- ✓ Penggantian pentanahan tower /grounding
- ✓ Penebangan pohon atau antena komunikasi yang tumbang ke arah konduktor (diluar row)
- ✓ Penggantian besi tower karena pencurian
- ✓ Penggantian Tension clamp konduktor
- ✓ Pemasangan kembali / reposisi damper yang melorod ke tengah gawang
- ✓ Penggantian lampu aviasi yang mati/rusak
- ✓ Penyambungan kembali kawat yang putus atau rusak berat
- ✓ Penggantian asesoris / clamp yang karatan
- ✓ Perbaikan klem kawat jumper yang putus
- ✓ Pemasangan pengaman halaman tower

- ⚡ Material pengganti existing: isolator; besi diagonal, kawat penghantar, ground wire, dan lain sebagainya
- ⚡ Repair sleeve
- ⚡ Mid span joint
- ⚡ Armor rod
- ⚡ BBM mesin
- ⚡ Minyak hydraulic
- ⚡ Sakapen
- ⚡ Majun
- ⚡ Minyak WD

6.1. URAIAN KEGIATAN PEMELIHARAAN

○/○ = Jenis dan Siklus Waktu Pemeliharaan

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Ektra Tinggi (SUTET)

| No | Kegiatan | Jenis Pemeliharaan | | | Periode Pemeliharaan | | | | | | | | | Dilaksanakan | | Peralatan Kerja |
|----|---|--------------------|-----------|-----------|----------------------|----------|---------|------------|----------|---------|-----------|------------|-----------------|-------------------|---|---------------------------------|
| | | Preventive | Corective | Detective | Harian | Mingguan | Bulanan | Triwulanan | Semester | Tahunan | 5 Tahunan | 10 Tahunan | Bila diperlukan | Kondisi peralatan | RP: Regu Patroli atau PP:Petugas Pemeliharaan | |
| 1 | Pemeriksaan Ruang Bebas sepanjang Row | ○ | | | | ○ | | | | | | | | ON | PP | Visual, Tero pong ranging meter |
| 2 | Pemeriksaan Konstruksi Tiang dan Perlengkapannya : Penghalang Panjat, plat tanda phasa/nomer tower, Kawat grounding | ○ | | | | ○ | | | | | | | | ON | PP | Visual |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|---|--|--|---|--|---|---|--|--|---|----|----|---------------------------|
| 3 | Pemeriksaan Isolator dari korosi/keretakan | ○ | | | | ○ | | | | | | | ON | PP | Visual, Teropong |
| 4 | Pemeriksaan Pondasi dan Tanah disekitar pondasi, apakah terdapat keretakan/pecah dan tanahnya tergenang air, ambles / longsor dan pembersihan halaman | ○ | ○ | | | ○ | | | | | | ○ | ON | PP | Visual waterpass teodolit |
| 5 | Pemeriksaan Kawat petir (CSW/OPCW, Konduktor,jumper wire, apakah ada yang rantas), benda-benda asing (layang-layang, plastik); andongan PP apakah memenuhi PP syarat | ○ | ○ | | | ○ | | | | | | ○ | ON | PP | Visual teropong |
| 6 | Pengukuran Hot Spot dengan termovision | ○ | ○ | | | | | ○ | ○ | | | ○ | ON | PP | Thermo Vision |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|---|---|--|--|--|--|--|--|---|---|--|---|-----|----|--------------------------|
| 7 | Pengukuran Tahanan Pentanahan kaki tower | ○ | ○ | | | | | | | ○ | | | ○ | ON | PP | Megger Pentanahan |
| 8 | Pengencangan Mur / baut / tower, klem dan pembersihan isolator kotor, pengukuran jarak (GAP) Arching Horn | ○ | ○ | | | | | | | | ○ | | ○ | OFF | PP | Kunci-kunci |
| 9 | Pembersihan Isolator dari debu dan polutan | ○ | ○ | | | | | | | | | | ○ | OFF | PP | Shacaven, lap majun, air |
| 10 | Pembersihan ruang bebas sepanjang row | ○ | ○ | | | | | | | | | | ○ | ON | PP | Parang, sabit dll. |

- ⚡ Setiap peralatan kerja yang berupa mesin maupun alat ukur wajib mengikuti buku instruksi yang dikeluarkan oleh pabrikan
- ⚡ Setiap alat kerja wajib diketahui Safe Working Loadnya (SWL)
- ⚡ Setiap beban yang akan ditanggung oleh alat kerja wajib diketahui besarnya
- ⚡ Setiap petugas wajib mengetahui Safety faktor (SF)
- ⚡ Setiap petugas wajib mengetahui tanda-tanda kerusakan pada alat kerja
- ⚡ Setiap alat kerja tidak boleh digunakan kecuali sebagai fungsinya

- ⚡ Pemeliharaan komponen transmisi wajib mengikuti prosedur kerjanya atau Instruksi Kerja, agar tercapai satu kesepakatan untuk menyelesaikan pekerjaan secara runtut/bertahap; tertib; lancar dan aman.
- ⚡ Instruksi Kerja komponen transmisi antara lain:
 - ✓ Pemeliharaan isolator
 - ✓ Pemeliharaan kawat penghantar
 - ✓ Pemeliharaan ground wire
 - ✓ Pemeliharaan rangka tower
 - ✓ Pemeliharaan halaman tower
 - ✓ Pemeliharaan ruang bebas

- ⚡ Pekerjaan pemeliharaan yang telah diselesaikan harus dilaporkan ke pemberi tugas yang memuat :
 - ✓ Proses persiapan
 - ✓ Tanggal, hari, jam pelaksanaan
 - ✓ Personel yang terlibat
 - ✓ Organisasi kerjanya
 - ✓ Peralatan yang dipakai
 - ✓ Material yang digunakan
 - ✓ Tata laksana kerja
 - ✓ Kendala yang dihadapi
 - ✓ Solusi yang telah diterapkan
 - ✓ Pelaksanaan/penerapan K3
 - ✓ Masalah lingkungan
 - ✓ Biaya yang telah dikeluarkan
 - ✓ Saran dan usulan untuk perbaikan
 - ✓ Kesimpulan

- ⚡ Manfaat laporan pekerjaan :
 - ✓ Data
 - ✓ Bahan analisa untuk pebaikan dan pengembangan
 - ✓ Penilaian unjuk kerja
 - ✓ Lain-lain

2.

Objek pemeliharaan :

Tranformator,
Saluran Udara Tegangan Tinggi,
Gardu Induk, Pemisah (PMS),
Pemutus Tenaga Listrik (PMT),

Objek pemeliharaan :

Penggerak Pemutus Tenaga, Kompesator, Peralatan SCADA dan Telekomunikasi, PLC, Peralatan Kopling, Kapasitor Kopling, Wave trap, Line Matching Unit, Peralatan Pengaman, Sistem Pentanahan Titik Netral, Kabel Tenaga, Proteksi Sistem Penyaluran,



Objek pemeliharaan :

Charger (Rectifier),

Automatic Voltage Regulator (AVR),

Rangkaian voltage Dropper,

Rangkaian Proteksi Tegangan Surja

Hubung, Baterai (DC Power)

Pemeliharaan pada Transmisi Listrik



pendingin trafo type ONAF



SUTETI 500 kV
Suralaya - Cilegon



Kabel bawah laut



Gardu induk

Transformator

Klasifikasi transformator tenaga

Transformator tenaga dapat di klasifikasikan menurut sistem pemasangan dan cara pendinginannya.

1. Pemasangan

- Pemasangan dalam
- Pemasangan luar

2. Pendinginan

Menurut cara pendinginannya dapat dibedakan sebagai berikut:

1) Fungsi dan pemakaian

- Transformator mesin (untuk mesin-mesin listrik)
- Transformator Gardu Induk
- Transformator Distribusi

2) Kapasitas dan Tegangan

Contoh transformator 3 phasa dengan tegangan kerja di atas 1100 kV dan daya di atas 1000 MVA ditunjukkan pada Gambar berikut ini.



(a) transformator 1100MVA



(b) transformator 4500MVA



(c) Transformator 1000MVA

Contoh Transformator 3 Phasa dengan Tegangan Kerja di Atas
1100 kV dan Daya di Atas 1000 MVA

Dalam usaha mempermudah pengawasan dalam operasi, transformator dapat dibagi menjadi: transformator besar, transformator sedang, dan transformator kecil.

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

- Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) adalah sarana instalasi tenaga listrik diatas tanah untuk menyalurkan tenaga listrik dari Pusat Pembangkit ke Gardu Induk (GI) atau dari GI ke GI lainnya (antar GI).
- SUTT/SUTET terdiri dari kawat/konduktor yang direntangkan antara tiang-tiang melalui isolator–isolator dengan sistem tegangan tinggi (30 kV, 70 kV, 150 kV dan 500 kV).

- SUTT/SUTET merupakan peralatan buatan manusia. Peralatan ini pada dasarnya bisa rusak baik karena salah pengoperasian, kesalahan saat konstruksi maupun telah melampaui masa kerjanya (life time). Salah satu cara untuk meningkatkan kemampuan kerja dari SUTT / SUTET adalah dengan melakukan pemeliharaan SUTT / SUTET.

- Komponen Saluran udara tegangan tinggi terdiri Saluran Udara, Saluran Kabel, Perlengkapan SUTTT/SUTET, Tower, Bagian-bagian tower , Kondukror, Kawat Tanah, Pentanahan Tower, Isolator.

Perlengkapan Gardu Induk

- Busbar/Rel, Gardu Induk dengan single busbar, Gardu Induk dengan Doble busbar , Gardu Induk dengan satu setengah / one half busbar, Arrester, Transformator Instrumen, Transformator Tegangan, Transformator Arus, Transformator Bantu, Transformator Ukur

PMS & PMT

PMS terdiri dari Pemisah Engsel, Pemisah Putar, Pemisah Siku, Pemisah Luncur

PMT terdiri : PMT dengan Media pemutus menggunakan udara, PMT dengan Hampa Udara, PMT dengan Media pemutus menggunakan Minyak, PMT dengan Sedikit Minyak, Penggerak Pemutus Tenaga

Peralatan Pengaman

Terdiri dari : Lightning Arester ,
Aplikasi PLC, Komunikasi Suara,
Penggunaan Kanal
Suara, Teleproteksi Protection
Signalling, Remote Terminal Unit
(RTU), Rele Proteksi, Annunciator.

Sistem pentanahan gardu induk

- Gardu Induk merupakan suatu sistem Instalasi listrik yang terdiri dari beberapa peralatan listrik dan menjadi penghubung listrik dari jaringan transmisi ke jaringan distribusi primer.
- Gardu Induk berfungsi sebagai penyalur daya (KVA, MVA) sesuai dengan tegangan operasinya.

- Karena peranannya yang sangat penting dalam menyalurkan daya listrik dan menjadi penghubung listrik dari jaringan transmisi ke jaringan distribusi primer maka harus diterapkan sistem pentanahan yang memenuhi persyaratan sistem pengaman yaitu :

Persyaratan Sistem Pentanahan

- Sistem pentanahan Gardu Induk harus peka terhadap gangguan yang terjadi, dan secara proposional mampu mendeteksi gangguan dengan tepat di area atau zona yang di amankan

- Sistem Pentanahan Gardu Induk harus handal. Tidak boleh gagal, mampu bekerja sesuai dengan pengaturan yang diterapkan pada sistem pentanahan tersebut.

Berbagai macam pemeliharaan yang pernah terjadi di jaringan SUTT / SUTET antara lain :

- Penggantian isolator pecah
- Pembersihan isolator karena polusi
- Perbaiki kawat rantas
- Pembersihan kawat dari layang-layang
- Pengecekan member tower termasuk number & danger plate

- Pemeriksaan pondasi tower (leveling, retak)
- Pemeriksaan kelengkapan tapak tower (patok tanda batas tanah PLN, urugan tanah tapak tower)
- Pengecekan Tahanan Pembumian
- Pemeriksaan jarak bebas konduktor dengan benda di sekitarnya
- Tanah sekeliling pondasi longsor
- Pondasi turun, tanah dasar pad mengalami sliding arus air bawah tanah
- Kualitas beton pondasi tower

- Ketahanan beton terhadap jenis materi tanah/bahan di sekelilingnya
- Grounding (cek periodik, rawan pencurian)
- Pohon tumbang (diluar row)
- Pencurian baut & member tower termasuk fenomena penggergajian member tower
- Kawat rantis (karena : haspel, pelaksanaan, petir, akibat lain)
- Layang-layang

- Pohon/benda di dalam jarak bebas
- Tension clamp konduktor (tekanan mesin pres, pemilihan mata dies, bahan, manusia)
- Tension clamp gsw (material)
- Suspension clamp konduktor
- Joint sleeve (tekanan mesin pres, pemilihan mata dies, bahan, manusia)
- Joint box opgw (rawan pencurian)

Instalasi Listrik

Instalasi Listrik pada Transmisi Listrik

Secara umum, Transmisi listrik menyalurkan tenaga listrik arus bolak-balik tiga fasa melalui Tower .

Tegangan generator paling tinggi yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit listrik adalah 23 kV.

Pada saat ini, dalam tingkat riset sedang dikembangkan generator yang dapat membangkitkan tegangan listrik sampai 150 kV.

Diagram satu garis instalasi tenaga listrik pada pusat pembangkit listrik sederhana ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

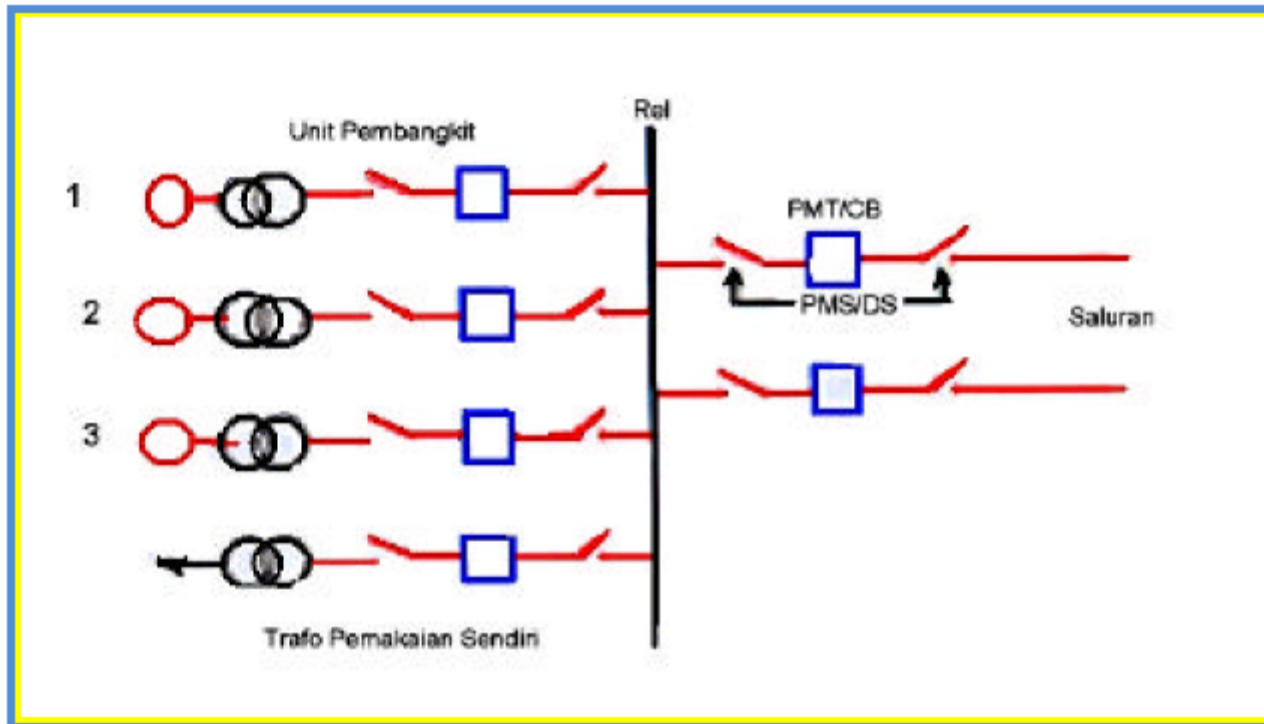


Diagram satu garis instalasi tenaga listrik pada pusat pembangkit listrik sederhana

Keterangan:

PMT/CB = Pemutus Tenaga (*Circuit Breaker*)

PMS/DS = Sakelar Pemisah (*Disconnecting Switch*)

Pusat pembangkit listrik yang sudah beroperasi secara komersial secara umum ditunjukkan pada Gambar.

Tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator sinkron dinaikkan dengan menggunakan transformator listrik sebelum dihubungkan pada rel (busbar) melalui pemutus tenaga (PMT).

Semua generator listrik yang menghasilkan energi listrik dihubungkan pada rel (busbar).

Begitu pula semua saluran keluar dari pusat listrik dihubungkan dengan rel pusat listrik.

Saluran yang keluar dari rel pusat pembangkit listrik digunakan untuk mengirim tenaga listrik dalam jumlah besar ke lokasi pemakai (beban) dan digunakan untuk menyediakan tenaga listrik di lokasi sekitar pusat pembangkit listrik.

Selain itu juga ada saluran (feeder) yang digunakan menyediakan tenaga listrik untuk keperluan pusat pembangkit sendiri yang digunakan untuk sumber tenaga listrik pada instalasi penerangan, mengoperasikan motor-motor listrik (motor listrik sebagai penggerak pompa air pendingin, motor listrik sebagai penggerak pendingin udara, motor listrik sebagai penggerak peralatan pengangkat, keperluan kelengkapan kontrol, dan lain-lain).

Pada pusat pembangkit listrik juga memiliki instalasi listrik dengan sumber tegangan listrik arus searah.

Sumber listrik arus searah pada pusat pembangkit tenaga listrik digunakan untuk menggerakkan peralatan mekanik pada pemutus tenaga (PMT) dan untuk lampu penerangan darurat.

Sumber listrik arus searah yang digunakan pada pusat pembangkit listrik adalah baterai aki yang diisi oleh penyearah.

Proteksi

Proteksi sistem tenaga listrik adalah suatu proses menjadikan Pembangkitan, Transmisi, Distribusi, dan Pemanfaatan (konsumsi) energi listrik seaman mungkin dari efek-efek kegagalan dan kejadian yang menempatkan sistem tenaga pada risiko.

Tidak mungkin kita menjadikan sistem tenaga listrik 100% aman (safe) atau 100% dapat diandalkan (reliable), karena biayanya akan sangat mahal.

Oleh karena itu perlu penilaian risiko (risk assessment) untuk menentukan tingkat bahaya yang dapat diterima terhadap kecelakaan atau biaya akibat kerusakan.

Tujuan proteksi dan koordinasi sistem listrik menurut ANSI/IEEE Std 242 1986/2001

Prinsip Utama :

Tujuan dari proteksi dan koordinasi sistem listrik adalah :

- Mencegah kecelakaan pada manusia**
- Meminimalisasi kerusakan pada peralatan**
- Membatasi durasi pemadaman listrik**

Note :

ANSI = American National Standards Institute

IEEE = Institute of Electrical and Electronics Engineers

Paper of ANSI/IEEE Std 242 1986/2001 (Objectives of Electrical System Protection)

Recognized as an American National Standard (ANSI)

IEEE Std 242-1986

(Revision of IEEE Std 242-1975)

IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems

1. First Principles

1.1 Objectives

The objectives of electrical system protection and coordination are to prevent injury to personnel, to minimize damage to the system components, and to limit the extent and duration of service interruption whenever equipment failure, human error, or adverse natural events occur on any portion of the system. The circumstances causing system malfunction are usually unpredictable, though sound design and preventive maintenance can reduce the likelihood of their happening. The electrical system, therefore, should be designed and maintained in such a way as to protect itself automatically.

II.10.

Persyaratan K3 Pemeliharaan Instalasi, Perlengkapan, dan Peralatan Listrik di Transmisi Listrik

M I.10
Persyaratan K3 Pemeliharaan
Instalasi, Perlengkapan dan Peralatan di
Transmisi Listrik

**Diharapkan agar
Calon ahli K3 Listrik
Mampu memahami dan melakukan
pembinaan, pengawasan, dan
penanggulangan K3 Listrik (=pencegahan
bahaya listrik dan mitigasinya) pada
Pemeliharaan Instalasi, Perlengkapan
dan Peralatan di
Transmisi Listrik**

1.

**Ruang lingkup pemeliharaan
pada Instalasi Transmisi,
Perlengkapan Transmisi,
Peralatan Transmisi**

1.1.

Pengertian dan tujuan pemeliharaan pada Instalasi Transmisi, Perlengkapan Transmisi, Peralatan Transmisi

2.

Objek pemeliharaan :

Tranformator,
Saluran Udara Tegangan Tinggi,
Gardu Induk, Pemisah (PMS),
Pemutus Tenaga Listrik (PMT),

Objek pemeliharaan :

Penggerak Pemutus Tenaga, Kompesator, Peralatan SCADA dan Telekomunikasi, PLC, Peralatan Kopling, Kapasitor Kopling, Wave trap, Line Matching Unit, Peralatan Pengaman, Sistem Pentanahan Titik Netral, Kabel Tenaga, Proteksi Sistem Penyaluran,

-

Objek pemeliharaan :

Charger (Rectifier),

Automatic Voltage Regulator (AVR),

Rangkaian voltage Dropper,

Rangkaian Proteksi Tegangan Surja

Hubung, Baterai (DC Power)

Pemeliharaan pada Transmisi Listrik



pendingin trafo type ONAF



SUTETI 500 kV
Suralaya - Cilegon



Kabel bawah laut



Gardu induk

Transformator

Klasifikasi transformator tenaga

Transformator tenaga dapat di klasifikasikan menurut sistem pemasangan dan cara pendinginannya.

1. Pemasangan

- Pemasangan dalam
- Pemasangan luar

2. Pendinginan

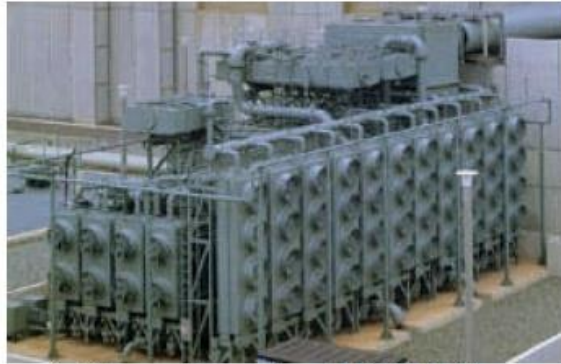
Menurut cara pendinginannya dapat dibedakan sebagai berikut:

1) Fungsi dan pemakaian

- Transformator mesin (untuk mesin-mesin listrik)**
- Transformator Gardu Induk**
- Transformator Distribusi**

2) Kapasitas dan Tegangan

Contoh transformator 3 phasa dengan tegangan kerja di atas 1100 kV dan daya di atas 1000 MVA ditunjukkan pada Gambar berikut ini.



(a) transformator 1100MVA



(b) transformator 4500MVA



(c) Transformator 1000MVA

Contoh Transformator 3 Phasa dengan Tegangan Kerja di Atas
1100 kV dan Daya di Atas 1000 MVA

**Dalam usaha mempermudah pengawasan dalam operasi, transformator dapat dibagi menjadi:
transformator besar, transformator sedang, dan transformator kecil.**

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

- Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) adalah sarana instalasi tenaga listrik diatas tanah untuk menyalurkan tenaga listrik dari Pusat Pembangkit ke Gardu Induk (GI) atau dari GI ke GI lainnya (antar GI).
- SUTT/SUTET terdiri dari kawat/konduktor yang direntangkan antara tiang-tiang melalui isolator–isolator dengan sistem tegangan tinggi (30 kV, 70 kV, 150 kV dan 500 kV).

- SUTT/SUTET merupakan peralatan buatan manusia. Peralatan ini pada dasarnya bisa rusak baik karena salah pengoperasian, kesalahan saat konstruksi maupun telah melampaui masa kerjanya (life time). Salah satu cara untuk meningkatkan kemampuan kerja dari SUTT / SUTET adalah dengan melakukan pemeliharaan SUTT / SUTET.

- Komponen Saluran udara tegangan tinggi terdiri Saluran Udara, Saluran Kabel, Perlengkapan SUTTT/SUTET, Tower, Bagian-bagian tower , Kondukror, Kawat Tanah, Pentanahan Tower, Isolator.

Perlengkapan Gardu Induk

- Busbar/Rel, Gardu Induk dengan single busbar, Gardu Induk dengan Doble busbar , Gardu Induk dengan satu setengah / one half busbar, Arrester, Transformator Instrumen, Transformator Tegangan, Transformator Arus, Transformator Bantu, Transformator Ukur

PMS & PMT

PMS terdiri dari Pemisah Engsel, Pemisah Putar, Pemisah Siku, Pemisah Luncur

PMT terdiri : PMT dengan Media pemutus menggunakan udara, PMT dengan Hampa Udara, PMT dengan Media pemutus menggunakan Minyak, PMT dengan Sedikit Minyak, Penggerak Pemutus Tenaga

Peralatan Pengaman

Terdiri dari : Lightning Arester ,
Aplikasi PLC, Komunikasi Suara,
Penggunaan Kanal
Suara, Teleproteksi Protection
Signalling, Remote Terminal Unit
(RTU), Rele Proteksi, Annunciator.

Sistem pentanahan gardu induk

- Gardu Induk merupakan suatu sistem Instalasi listrik yang terdiri dari beberapa peralatan listrik dan menjadi penghubung listrik dari jaringan transmisi ke jaringan distribusi primer.
- Gardu Induk berfungsi sebagai penyalur daya (KVA, MVA) sesuai dengan tegangan operasinya.

- Karena peranannya yang sangat penting dalam menyalurkan daya listrik dan menjadi penghubung listrik dari jaringan transmisi ke jaringan distribusi primer maka harus diterapkan sistem pentanahan yang memenuhi persyaratan sistem pengaman yaitu :

Persyaratan Sistem Pentanahan

- Sistem pentanahan Gardu Induk harus peka terhadap gangguan yang terjadi, dan secara proposional mampu mendeteksi gangguan dengan tepat di area atau zona yang di amankan

- Sistem Pentanahan Gardu Induk harus handal. Tidak boleh gagal, mampu bekerja sesuai dengan pengaturan yang diterapkan pada sistem pentanahan tersebut.

Berbagai macam pemeliharaan yang pernah terjadi di jaringan SUTT / SUTET antara lain :

- Penggantian isolator pecah
- Pembersihan isolator karena polusi
- Perbaiki kawat rantas
- Pembersihan kawat dari layang-layang
- Pengecekan member tower termasuk number & danger plate

- Pemeriksaan pondasi tower (leveling, retak)
- Pemeriksaan kelengkapan tapak tower (patok tanda batas tanah PLN, urugan tanah tapak tower)
- Pengecekan Tahanan Pembumian
- Pemeriksaan jarak bebas konduktor dengan benda di sekitarnya
- Tanah sekeliling pondasi longsor
- Pondasi turun, tanah dasar pad mengalami sliding arus air bawah tanah
- Kualitas beton pondasi tower

- Ketahanan beton terhadap jenis materi tanah/bahan di sekelilingnya
- Grounding (cek periodik, rawan pencurian)
- Pohon tumbang (diluar row)
- Pencurian baut & member tower termasuk fenomena penggergajian member tower
- Kawat rantis (karena : haspel, pelaksanaan, petir, akibat lain)
- Layang-layang

- Pohon/benda di dalam jarak bebas
- Tension clamp konduktor (tekanan mesin pres, pemilihan mata dies, bahan, manusia)
- Tension clamp gsw (material)
- Suspension clamp konduktor
- Joint sleeve (tekanan mesin pres, pemilihan mata dies, bahan, manusia)
- Joint box opgw (rawan pencurian)

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|---|---|---|--|--|---|--|---|--|--|--|---|-----|----|----------------------------|
| 12 | Pemeriksaan debu pada isolator / bushing. | ○ | | | | | ○ | | | | | | | ON | PP | Visual. |
| 13 | Pemeriksaan silikal-gel (pempasan). | ○ | | | | | ○ | | | | | | | ON | PP | Visual. |
| 14 | Pemeriksaan beja OLTC. | ○ | | | | | ○ | | | | | | | ON | PP | Counter |
| 15 | Pembersihan strip pendingin statim OFAF. | ○ | | | | | | | ○ | | | | | ON | PP | Majun & steam cleaner. |
| 16 | Pemeriksaan diafragma. | ○ | | | | | | | ○ | | | | | OFF | PP | Visual. |
| 17 | Pengukuran tekanan statim pentaanan. | ○ | | | | | | | ○ | | | | | OFF | PP | Megger Pentana h an. |
| 18 | Pemeriksaan pengaman Bucholtz, Sudden Pressure, pengujian dan kalibrasi rele dan meter temperatur. | ○ | | | | | | | ○ | | | | | OFF | PP | Thermo meter Standard |
| 19 | Pembersihan body, bushing | ○ | | | | | | | ○ | | | | | OFF | PP | Majun, vrr. |
| 20 | Pengencaman baut terminal, bushing, bodi dan pentaanan | ○ | | | | | | | ○ | | | | | OFF | PP | Kunci - Kunci |
| 21 | Pemeriksaan Spark Gap bushing primer / skunder | ○ | | | | | | | ○ | | | | | OFF | PP | Visual, Megger & Meter |
| 22 | Pemeriksaan kondisi bushing (mungkin retak / bocor). | ○ | X | | | | ○ | | | | | | X | ON | PP | Visual, teropong |
| 23 | Pemeriksaan sistem pendingin (motor pompa dan kipas). | ○ | X | | | | ○ | | | | | | X | ON | PP | Mult Meter, Visual. |
| 24 | Pemeriksaan pompa minyak Hot Line Oil Purifier. | ○ | X | | | | ○ | | | | | | X | ON | PP | Avo meter, Visual. |
| 25 | Pengukuran Partial Discharge. | ○ | X | | | | | | ○ | | | | X | ON | PP | Alat Uji Partial Discharge |
| 26 | Pemeriksaan noktah panas (hot spot thermovision). | ○ | | X | | | | | ○ | | | | X | ON | PP | Intra Red Thermovision. |
| 27 | Pengencaman baut wiring pada box kontrol dan proteksi. | ○ | X | | | | | | ○ | | | | X | OFF | PP | Kunci-Kunci Pas atau Ring. |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|---|-----|----|---------------------------|
| 28 | Pengukuran tekanan isolasi (megger test). | ○ | X | | | | | | | | | | ○ | | | X | OFF | PP | Megger. |
| 29 | Pemeriksaan kontrol mekanik motor, limit switch, pemberian oil vet pada gigi dan indikator OLTC | ○ | X | | | | | | | | | | ○ | | | X | OFF | PP | VET, Avo meter |
| 30 | Pengukuran tegangan (ratio test). | ○ | X | | | | | | | | | | ○ | | | X | OFF | PP | Multi-meter |
| 31 | Pengujian kontinuitas positif OLTC secara remote / lokal. | ○ | X | | | | | | | | | | ○ | | | X | OFF | PP | Multi-meter |
| 32 | Pemeriksaan minyak (dielektrik, kadar asam, kadar air, viscositas, warna dll). | ○ | X | X | | | | | | | | | ○ | | | X | ON | PP | Laborato-rium minyak. |
| 33 | Pengukuran kandungan gas minyak tello dan OLTC dengan DGA. | ○ | X | X | | | | | | | | | ○ | | | X | ON | PP | Gas Chromatography |
| 34 | Pengukuran tegangan tembus minyak. | ○ | X | X | | | | | | | | | ○ | | | X | ON | PP | Alat Uji Teg Tembus Oil |
| 35 | Pemeriksaan kontak Diverter Switch OLTC. | ○ | X | | | | | | | | | | ○ | | | X | OFF | PP | Craw, Minyak |
| 36 | Penggantian minyak Diverter Switch OLTC. | | X | | | | | | | | | | | | | X | OFF | PP | Filter minyak |
| 37 | Pemeriksaan keretakan dan penurunan pondasi. | | X | | | | | | | | | | | | | X | ON | PP | Visual, Water Pass, |
| 38 | Pembersihan debu pada isolator / bushing. | | X | | | | | | | | | | | | | X | OFF | PP | Lap majun, steam cleaner. |
| 39 | Pengukuran tekanan beltan (R dc). | | X | X | | | | | | | | | | | | X | OFF | PP | Jamba ten Wheat stone |
| 40 | Pengukuran dengan metode tanga delta. | | X | X | | | | | | | | | | | | X | OFF | PP | Tangan Delta Test. |
| 41 | High Voltage - AC Withstand Test. | | X | X | | | | | | | | | | | | X | OFF | PP | AC - HV Test |
| 42 | Penanggulangan kebocoran minyak. | | X | X | | | | | | | | | | | | X | OFF | PP | Kunci-Kunci dan Packing |
| 43 | Penyaringan dan penam-bahan minyak. | | X | X | | | | | | | | | | | | X | ON | PP | Media Filter minyak. |

URAIAN KEGIATAN PEMELIHARAAN PERALATAN LISTRIK

○ / ● = Jenis dan siklus waktu pemeliharaan.

4.11. Sistim Proteksi.

| No. | Kegiatan | Jenis pemeliharaan | | | Periode pemeliharaan | | | | | | | | Dilaksanakan | | Peralatan Kerja | |
|-----|--|--------------------|------------|-----------|----------------------|----------|---------|-----------|----------|---------|-----------|------------|-----------------|-------------------|-----------------|--|
| | | Preventive | Corrective | Detective | Harian | Mingguan | Bulanan | Triwulian | Semester | Tahunan | 5 tahunan | 10 tahunan | Bila diperlukan | Kondisi Peralatan | | RP : Regu Patroli atau PP : Petugas Pemel. |
| 1 | Pengecekan kesiapan rangkaian trip dengan menekan tombol lampu test "healthy trip". (ul gardu induk yang ada fasilitas peralatan ter-sebut). | ○ | | | | ○ | | | | | | | | ON | RP | Manual. |
| 2 | Pemeriksaan lampu-lampu led indikator kesiapan rele proteksi (jenis elektronik). | ○ | | | | ○ | | | | | | | | ON | PP | Visual. |

| No. | Kegiatan | Jenis pemeliharaan | | | Periode pemeliharaan | | | | | | | | Dilaksanakan | | Peralatan Kerja | |
|-----|--|--------------------|------------|-----------|----------------------|----------|---------|----------|----------|---------|-----------|------------|-----------------|-------------------|-----------------|--|
| | | Preventive | Corrective | Detective | Harian | Mingguan | Bulanan | Triwulan | Semester | Tahunan | 5 tahunan | 10 tahunan | Bila diperlukan | Kondisi Peralatan | | RP : Regu Patroli atau PP : Petugas Pemel. |
| 3 | Pemeriksaan kesiapan lam-pu annunciator (test lamp annunciator). | ○ | | | | ○ | | | | | | | | ON | RP | Manual. |
| 4 | Pemeriksaan kesiapan tegangan AC & DC pada panel kontrol / proteksi. | ○ | ⊗ | | | ○ | | | | | | ⊗ | | ON | PP | Visual, multi meter. |
| 5 | Pembersihan panel Kontrol dan Rele. | ○ | | | | | ○ | | | | | | | ON | PP | Majun, vacum cleaner |
| 6 | Pengencangan mur-baut pada terminal-terminal wiring. | ○ | | | | | | | | ○ | | | | ON / Off | PP | Tool kit. |
| 7 | Pembersihan kontak-2 rele dengan contact cleaner (jenis elektromekanik). | ○ | | | | | | | | ○ | | | | Off | PP | Kontak Cleaner. |

| No. | Kegiatan | Jenis pemeliharaan | | | Periode pemeliharaan | | | | | | | | Dilaksanakan | | Peralatan Kerja | |
|-----|--|-----------------------|----------------------------------|-----------|----------------------|----------|---------|----------|-----------------------|---------|-----------------------|------------|----------------------------------|-------------------|-----------------|--|
| | | Preventive | Corrective | Detective | Harian | Mingguan | Bulanan | Triwulan | Semester | Tahunan | 5 tahunan | 10 tahunan | Bila diperlukan | Kondisi Peralatan | | RP : Regu Patroli atau PP : Petugas Pemel. |
| 8 | Pengujian Individual / karakteristik rele elektro-mekanik pada settingnya. | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | | | | | | <input type="radio"/> | | | | <input checked="" type="radio"/> | ON / Off | PP | Alat uji rele proteksi. |
| 9 | Pengujian fungsi rele pro-teksi. | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | | | | | | <input type="radio"/> | | | | <input checked="" type="radio"/> | Off | PP | Alat uji rele proteksi. |
| 10 | Pengujian Individual / karakteristik rele elektronik / di-gital pada settingnya. | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | | | | | | | | <input type="radio"/> | | <input checked="" type="radio"/> | ON / Off | PP | Alat uji rele proteksi. |
| 11 | Pengukuran tahanan iso-lasi dari rangkaian wiring. | | <input checked="" type="radio"/> | | | | | | | | | | <input checked="" type="radio"/> | Off | PP | Megger 500 Volt. |

| No. | Kegiatan | Jenis pemeliharaan | | | Periode pemeliharaan | | | | | | | | Dilaksanakan | | Peralatan Kerja | |
|-----|---|--------------------|------------|-----------|----------------------|----------|---------|----------|----------|---------|-----------|------------|-----------------|-------------------|-----------------|--|
| | | Preventive | Corrective | Detective | Harian | Mingguan | Bulanan | Triwulan | Semester | Tahunan | 5 tahunan | 10 tahunan | Bila diperlukan | Kondisi Peralatan | | RP : Regu Patroli atau PP : Petugas Pemel. |
| 12 | Pemeriksaan pentanahan panel dan kabel wiring. | | ☉ | | | | | | | | | | ☉ | ON | PP | Megger tanah |
| 13 | Pemeriksaan wiring kontrol dengan thermovision. | | ☉ | | | | | | | | | | ☉ | ON | PP | Thermovision |

6.
**Checklist Identifikasi Potensi
bahaya listrik
(Shock, Arc, Blast dan bahaya
lainnya) pada Instalasi
Transmisi, Perlengkapan
Transmisi, Peralatan Transmisi**

CHECK LIST Cara mencegah bahaya SHOCK

| Uraian | Temuan | Rekomendasi |
|--|--------|-------------|
| 1. Jangan membiasakan diri mencoba secara sengaja maupun tidak sengaja memegang benda-benda logam yang kemungkinan bisa ada tegangan listriknya. | | |
| 2. Isolasi bagian-bagian terbuka yang bertegangan. | | |
| 3. Beri tutup yang aman pada bagian-bagian yang bertegangan | | |
| 4. Beri pagar pengaman pada bagian-bagian bertegangan yang kemungkinan bisa tersentuh manusia secara tidak sengaja, pasang peralatan Interlocking (bila perlu). | | |
| 5. Pasang Grounding pada Instalasi listrik | | |
| 6. Pasang Grounding pada bagian-bagian yang kemungkinan bisa bertegangan (misalnya frame dari motor, dan lain-lain) | | |
| 7. Pasang ELCB (Earth Leakage Circuit Breaker) dengan sensitivity maksimum 30 mA. Nama lain dari ELCB adalah GPAS (Gawai Proteksi Arus Sisa), alias RCCB (Residual Current Circuit Breaker), alias RCD (Residual Current Detector), alias GFCI (Ground Fault Current Interrupter). | | |
| 8. Laksanakan LOTO (Lock Out Tag Out) sewaktu melakukan pekerjaan listrik. | | |
| 9. Gunakan PPE yang benar | | |

CHECK LIST Cara mencegah bahaya ARC FLASH

| Uraian | Temuan | Rekomendasi |
|---|---------------|--------------------|
| 1. Pada saat melakukan pekerjaan Pemeliharaan, harus selalu listriknya dimatikan dulu (off & LOTO), kecuali terpaksa. | | |
| 2. Hindarkan kemungkinan terjadinya short circuit, dan pastikan harus ada alat proteksi (CB atau Fuse) | | |
| 3. Hindari Kondisi tidak aman (Unsafe condition) dan Perilaku yang tidak aman (Unsafe Act) | | |
| 4. Gunakan Alat Pelindung Diri (APD) yang baik dan benar | | |

CHECK LIST Cara mencegah bahaya ARC yang menyebabkan Kebakaran (FIRE)

| Uraian | Temuan | Rekomendasi |
|---|---------------|--------------------|
| 1. Hindarkan kemungkinan terjadinya short circuit, dan harus ada alat proteksi (CB atau Fuse) | | |
| 2. Gunakan kualitas kabel (kawat dan isolasi) yang baik | | |
| 3. Gunakan jenis kabel yang benar | | |
| 4. Gunakan ukuran kawat yang sesuai dengan KHA (Ampacity)nya. | | |
| 5. Hindari terjadinya "Loss connection" | | |

**Cara mencegah bahaya BLAST karena
Pemeliharaan yang kurang baik pada Peralatan**

| Uraian | Temuan | Rekomendasi |
|--|---------------|--------------------|
| 1.Laksanakan pekerjaan Pemeliharaan (PM, PdM, dan CM) sesuai dengan prosedur-prosedur pemeliharaan (Maintenance Procedures). | | |
| 2.Lakukan JSA (Job Safety Analysis) untuk setiap pekerjaan Pemeliharaan (PM, PdM, CM) | | |

**Cara mencegah BLAST yang terjadi karena
Interrupting Rating yang tidak benar pada CB & Fuse**

| Uraian | Temuan | Rekomendasi |
|---|---------------|--------------------|
| 1. Hindari kemungkinan terjadinya short circuit | | |
| 2. Pastikan Breaking Capacity dari Fuse dan Circuit Breaker adalah lebih besar daripada Maximum Short Circuit pada titik terjadinya short circuit tersebut. Maximum Short Circuit pada setiap titik Bus dihitung menggunakan software misalnya ETAP (Electrical Transient Analyzer Program), atau dengan menggunakan Tabel seperti contoh dari PLN. | | |

Cara mencegah bahaya listrik lainnya

| Uraian | Temuan | Rekomendasi |
|---|--------|-------------|
| a. Bahaya Induksi Electromagnetic ketika sedang melakukan pekerjaan pemeliharaan listrik | | |
| b. Bahaya radiasi ketika sedang melakukan pekerjaan pemeliharaan listrik | | |
| c. Bahaya radiasi ketika sedang melakukan pekerjaan pemeliharaan listrik | | |
| d. Bahaya terpeleset ketika sedang melakukan pekerjaan pemeliharaan listrik | | |
| e. Bahaya jatuh dari ketinggian ketika sedang melakukan pekerjaan pemeliharaan listrik | | |
| f. Bahaya jatuh dari ketinggian ketika sedang melakukan pekerjaan pemeliharaan listrik | | |
| g. Bahaya tersentuh panas pada peralatan listrik ketika sedang melakukan pekerjaan pemeliharaan listrik | | |
| h. Dan lain-lain : | | |



● TERIMA KASIH

