

## FENOMENA AKIBAT LEMAHNYA PROGRAM PERAWATAN DALAM OPERASI PERANGKAT LISTRIK

Achmad Suntoro  
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir - BATAN

### ABSTRAK

*Pengalaman dalam memperbaiki perangkat listrik telah memberi pelajaran praktis akan perlunya program perawatan diterapkan secara kontinyu. Tiga contoh fenomena praktis akibat lemahnya perawatan dan perlunya alat ukur, serta sebuah contoh cara menentukan titik-titik posisi perawatan-prediktif menggunakan FTA (Fault Tree Analysis) dibahas dalam makalah ini. Contoh-contoh tersebut merupakan bukti dan informasi (fakta) bahwa perawatan dan penggunaan alat ukur yang tepat mutlak harus diterapkan untuk menjaga keandalan operasi sistem perangkat maupun instalasi. Teknik FTA bukan hanya dapat digunakan pada fase disain, tapi juga dapat digunakan pada perencanaan perawatan.*

*Kata Kunci: FTA, perawatan-pencegahan, higroskopis, sambungan-jelek, stres-pada-baut.*

### ABSTRACT

*Some experiences on repairing of many electrical equipment have given some practical knowledges that how important of a maintenance program to be conducted continuously. Three examples of practical phenomena on lack of maintenance program and the necessity of measurement using a correct tool as well as an example of how to define the points of location under surveillance of predictive maintenace program using FTA (Fault Tree Analysis) will be discussed in this paper. These examples are the evidence and information (facts) that maintenance program and utilizing an apt measurement tool are absolutely necessary to be conducted to maintain the reliability of equipment as well as installation. FTA technique is not only used at a design phase but also can be used at planning and maintenace activities.*

*Keywords: FTA, preventive maintenance, hygroscoypis, bad contact, stres0n baut baut.*

### 1. PENDAHULUAN

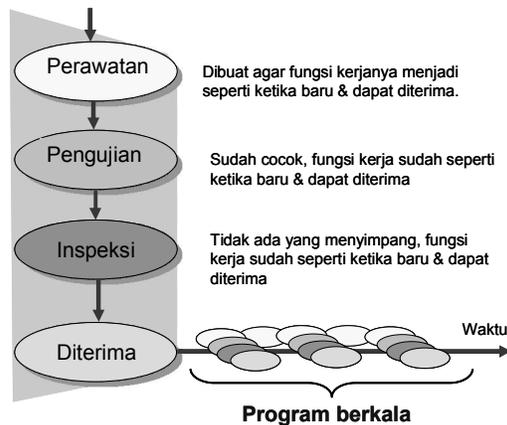
Keandalan operasi sebuah perangkat adalah jaminan bahwa perangkat tersebut dapat beroperasi secara normal dalam kurun waktu yang telah ditetapkan<sup>[1]</sup>. Jaminan tersebut akan terlaksana jika perangkat tersebut bekerja mengikuti spesifikasi perangkat secara detail sesuai dengan disainnya. Dalam operasi perangkat, tidak jarang perubahan atau penyimpangan dari spesifikasi tersebut terjadi karena sengaja, tidak sengaja, kondisi lingkungan, dan atau terlupakan sehingga perangkat tidak lagi bekerja mengikuti hal-hal yang dipersyaratkan dalam disain perangkat. Kondisi ini dapat mengakibatkan perangkat tidak lagi handal seperti yang dijanjikan. Oleh karena itu, pengaturan kembali dan

pengawasan parameter-parameter serta komponen-komponen perangkat perlu dilakukan secara berkala dalam sebuah program akifitas yang disebut program perawatan.

Makalah ini berisi contoh akibat lemahnya aktifitas program perawatan sehingga terjadi kerusakan komponen perangkat yang disebabkan bukan karena umur komponen telah terlewati, tetapi karena terjadi "accident" yang seharusnya bisa dicegah terjadinya jika aktifitas program perawatan dijalankan secara kontinyu. Teknik *Fault Tree Analysis* (FTA) dapat digunakan untuk menentukan titik-titik posisi dimana pengaturan dan pengawasan harus dilakukan untuk mencegah terjadinya "accident" yang dapat menurunkan tingkat kehandalan perangkat tersebut.

## 2. TEORI

Ada tiga istilah yang sering muncul dalam konteks operasional perangkat instrumentasi, yaitu pengujian, inspeksi, dan perawatan. Ketiga istilah tersebut pada umumnya dilakukan ber-urutan dan berkala untuk meyakinkan bahwa perangkat dalam kondisi dapat diterima. Pola pelaksanaan program perawatan ditunjukkan secara garis besar seperti pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Program berkala perawatan.

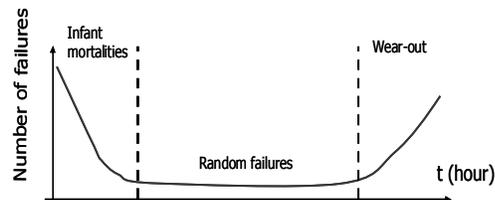
Perawatan adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu alat/perangkat atau memperbaikinya sampai pada suatu kondisi yang dapat diterima<sup>[2]</sup>. Tindakan perawatan dilakukan karena adanya penyimpangan operasi kerja perangkat atau tindakan program rutin secara berkala.

Tindakan Pengujian adalah memeriksa kesesuaian alat / perangkat dengan spesifikasinya sehingga dapat berfungsi sesuai dengan spesifikasi tersebut dengan titik berat pemeriksaan pada hal-hal teknis sehingga dapat diterima. Tindakan pengujian ini tidak harus dilakukan setiap kali tindakan perawatan dilakukan, tetapi dapat dilakukan sesuai dengan pola operasional kerja perangkat untuk menjamin bahwa perangkat selalu siap beroperasi.

Sedangkan inspeksi adalah memeriksa kesesuaian alat / perangkat dengan spesifikasinya sehingga dapat berfungsi sesuai dengan spesifikasi

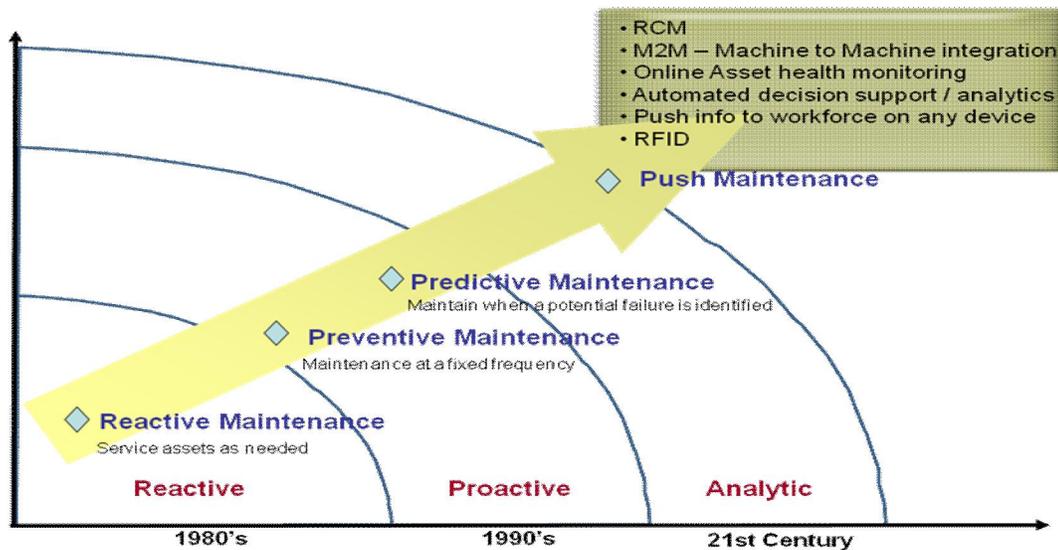
tersebut dengan titik berat pemeriksaan mencari kelemahannya (temuan) teknis maupun non-teknis dapat diterima<sup>[4]</sup>. Seperti halnya dengan pengujian, inspeksi tidak harus dilakukan setiap kali tindakan perawatan dilakukan.

Periode, komposisi, dan isi dari program berkala tersebut (perawatan, pengujian, dan inspeksi) pada Gambar 1 ditentukan oleh jenis, aktifitas, dan lingkungan dimana perangkat bersangkutan berada. Program berkala perlu dilakukan mengingat karakteristik masa pakai alat/perangkat mempunyai batas seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Jumlah kerusakan yang tinggi pada Gambar 2 terjadi pada awal produksi/pemakaian, hal ini pada umumnya disebabkan oleh permasalahan disain. Kondisi tak terduga dalam disain baru dapat diketahui dalam perjalanan waktu operasi, sehingga detail disain produk baru dapat disempurnakan kemudian dan jumlah kerusakanpun dapat ditekan. Dengan kondisi jumlah kerusakan minimal inilah produk dari pabrik pembuatnya dilepas ke pasaran.



**Gambar 2.** Karakteristik pola kerusakan<sup>[1]</sup>.

Namun demikian, jumlah kerusakan kembali akan meningkat dari kondisi normal, karena masalah umur masa pakai alat/perangkat telah tercapai. Dengan program berkala pada Gambar 1, daerah pemakaian normal pada Gambar 2 dapat dipertahankan, dan bahkan dapat dilebarkan ke arah kanan dari titik kritis, yang berarti memperpanjang umur pakai perangkat. Tetapi tanpa program berkala yang konsisten, kerusakan sangat mungkin terjadi pada daerah pemakaian normal atau titik kritis bergeser ke arah kiri (daerah pemakaian normal menjadi sempit), yang berarti memperpendek umur pakai perangkat.



Gambar 3. Perkembangan program perawatan<sup>[3]</sup>.

Program perawatan berkembang mengikuti perkembangan teknologi seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Perawatan Reaktif adalah tindakan perawatan yang hanya dilakukan jika perangkat telah mengalami kerusakan. Untuk perangkat yang tidak menyangkut dengan keselamatan, program perawatan ini boleh saja dijalankan. Program perawatan yang selalu dilaksanakan secara kontinyu berkala tergolong dalam jenis Perawatan Prefentif dan Prediktif. Perawatan Prefentif dilakukan berdasarkan periode waktu yang tetap, sedangkan Perawatan Prediktif berdasarkan periode fungsi kerja dan atau masukan dari Perawatan Prefentif.

Perkembangan teknologi komputasi dan deteksi dini telah menciptakan cara baru secara analitis. Cara ini dapat memberi informasi (peringatan dini) kepada petugas perawatan untuk melakukan perawatan yang sesuai pada perangkatnya secara otomatis dan *on-line*. *Push Maintenance* adalah cara analitis yang terus berkembang mengikuti perkembangan teknologi yang diterapkan pada program perawatan<sup>[3]</sup>.

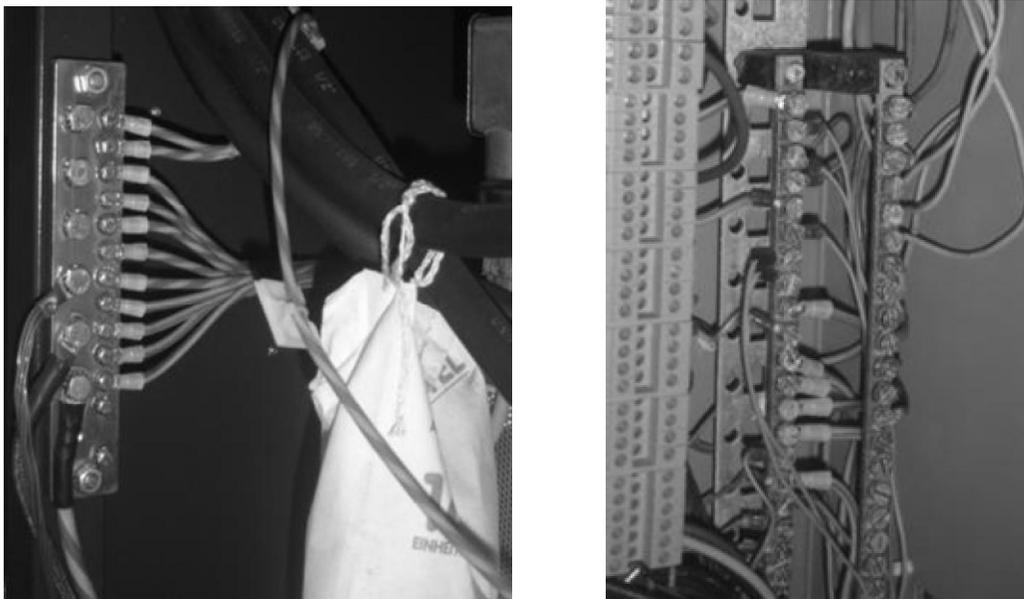
### 3. FENOMENA TEKNIS

#### 3.1 KELEMBABAN UDARA

Indonesia adalah negara tropis karena berlokasi di daerah katulistiwa sehingga udara panas dan kelembaban yang tinggi menjadi ciri lingkungan udaranya. Dua parameter tersebut harus dikendalikan jika bersinggungan dengan perangkat elektronik. Udara panas dapat mempengaruhi titik kerja rangkaian elektronik dalam perangkat, sedangkan kelembaban dapat menyuburkan tumbuhnya jamur pada komponen perangkat yang pada akhirnya dapat merusak komponen kelistrikan.

Sebuah fenomena teknis di ruang yang sama tetapi di dalam kabinet perangkat yang berbeda. Salah satu kabinet didalamnya dilengkapi dengan kantong berisi zat higroskopis (Gambar 4.a) dan kabinet lainnya tidak dilengkapi dengan zat higroskopis karena terlewat atau diambil dan tidak dikembalikan (Gambar 4.b). Setelah 15 tahun berlalu dengan kondisi tersebut, Gambar 4 memperlihatkan akibatnya. Terminal kabel yang tidak dilengkapi dengan zat higroskopis penuh ditumbuhi jamur, sedangkan yang dilengkapi dengan zat higroskopis keadaannya tetap bersih. Kelalaian memberi kantong higroskopis menyebabkan rusaknya beberapa komponen listrik di dalam kabinet

tersebut yang seharusnya komponen tersebut belum waktunya rusak.



**Gambar 4.** (a) Tidak ada jamur tumbuh di terminal kabel karena penempatan zat higroskopis dalam kabinet perangkat.  
(b) Jamur tumbuh di terminal kabel akibat tidak ada zat higroskopis dalam kabinet perangkat.

### 3.2 SAMBUNGAN LISTRIK JELEK

Sambungan listrik yang jelek dapat merusak sambungan itu sendiri dan atau merusak komponen lain dalam rangkaian. Sebuah kasus pada perangkat tungku seperti Gambar 5 dimana filamen tungku bersifat resistif (induktansinya kecil). Kendornya sambungan pada titik (X) berakibat rusaknya kontaktor salah satu *solenoid relay* pengendali pemanas tersebut.

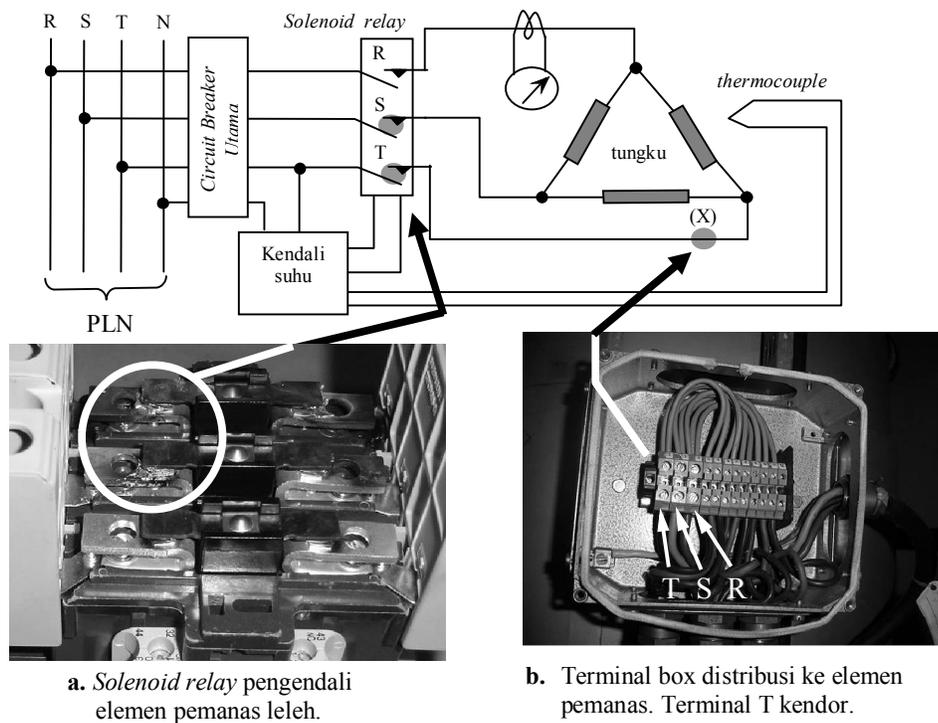
Telah beberapa kali kontaktor *solenoid relay* yang leleh tersebut diganti, tetapi kontaktor tersebut selalu leleh hingga kendornya terminal box Gambar 5.b tersebut ditemukan.

Kontaktur tersebut seharusnya tidak leleh jika program perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) dijalankan dan dapat menemukan kendornya terminal box tersebut. Rangkaian listrik yang bersifat resistif membolehkan terjadinya perubahan arus listrik mendadak, sehingga  $di/dt$  yang tinggi bisa terjadi. Perubahan arus ( $di/dt$ ) yang tinggi telah menimbulkan

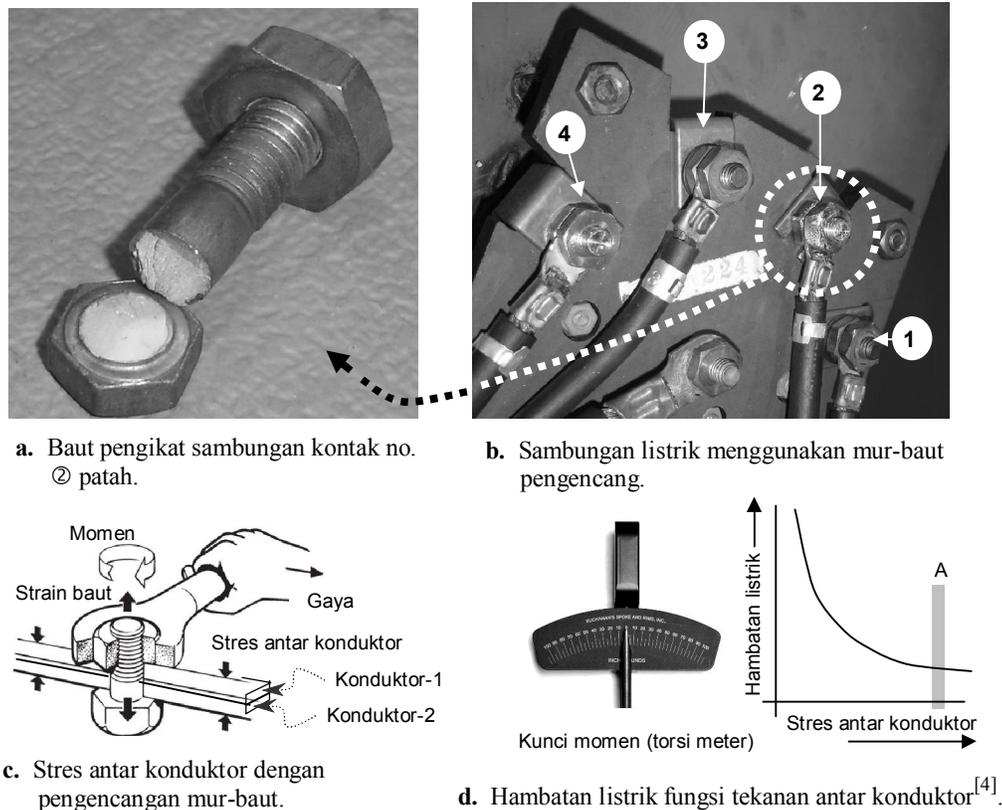
panas yang mampu melelehkan kontaktor solenoid relay pada titik T. Sambungan jelek pada titik X menjadi sumber terbentuknya  $di/dt$  yang berulang-ulang dan bersifat sangat merusak komponen yang ada dalam lingkaran arus tertutup rangkaian tersebut.

### 3.3 PENGENCANGAN MUR-BAUT TANPA UKURAN

Mur dan baut didisain untuk mengencangkan ikatan dua logam, dan kekuatan ikatan tersebut mempunyai batas yang tidak boleh dilewati. Pengencangan tanpa menggunakan alat ukur (kunci momen) dapat mematahkan baut seperti kejadian pada mesin pada Gambar 6. Patahnya baut bisa terjadi langsung pada saat dikencangkan atau tidak langsung setelah beberapa waktu. Kasus yang terjadi yaitu baut patah setelah beberapa bulan dikencangkan, saat perangkat tersebut sedang beroperasi (beraliran listrik) sehingga patahnya baut tersebut berakibat telah merusak komponen lain.



**Gambar 5.** Sambungan jelek sumber di/dt berulang pada perangkat tungku pemanas.



**Gambar 6.** Pengencangan mur-baut berlebihan berpotensi merusak.

#### 4. PEMBAHASAN

Kelembaban ruangan akan meningkatkan potensi tumbuhnya jamur dan juga karat. Jamur atau karat diantara dua konduktor akan berpotensi menaikkan nilai hambatan (R) antar dua konduktor tersebut. Kondisi ini berakibat menaikkan suhu sambungan ketika dialiri arus listrik yang dapat merusak kedua konduktor tersebut.

Panas berlebihan yang terjadi pada komponen, diluar kemampuan komponen untuk menahannya, merupakan salah satu penyebab rusaknya komponen tersebut. Untuk peralatan listrik, panas berasal dari arus listrik yang mengalir pada komponen tersebut. Panas yang ditimbulkan (W) sebanding dengan kwadrat arus yang mengalir (I) dan hambatan listrik (R) dimana arus listrik tersebut mengalir, seperti pada persamaan berikut.

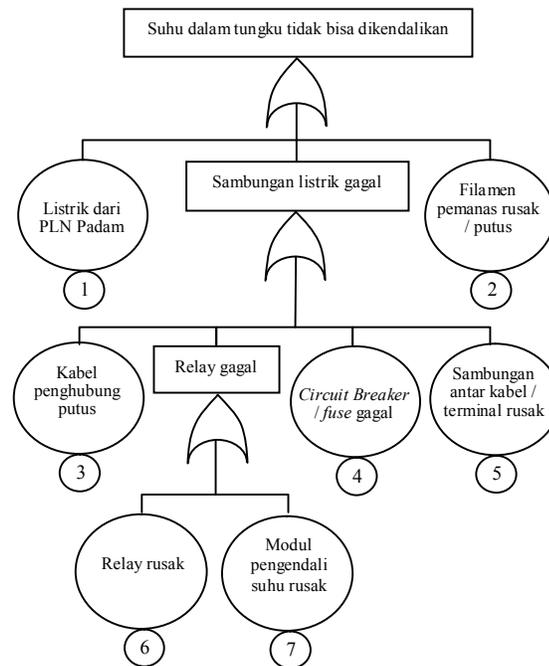
$$W \sim I^2 R \quad [1]$$

Makin besar hambatan listrik (R) dan arus listrik (I) yang mengalir pada hambatan, berarti makin besar panas yang ditimbulkannya. Dua konduktor yang disambung menggunakan mur-baut misalnya, makin kuat pengencangan mur-baut makin kecil hambatan R kedua konduktor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.d. Pengencangan dengan nilai stress diatas nilai A pada Gambar 6.d tidak akan mengurangi nilai R yang berarti. Oleh karena itu pengencangan harus dihentikan pada stress nilai A menggunakan kunci momen. Diatas nilai stress A akan berpotensi melewati kekuatan daya tahan dari mur-baut sehingga berpotensi untuk patah (rusak) seperti pada Gambar 6.a.

Lemahnya pengencangan (kendor) akan menaikkan nilai hambatan R yang berakibat menaikkan suhu pada sambungan. Juga sangat mungkin konduktor tersebut bergetar ketika dialiri arus besar yang akan menyebabkan putus-hubung serta membangkitkan pulsa-pulsa arus listrik di/dt yang sangat tinggi pada rangkaian

yang bersifat resisitip. Kondisi ini terjadi pada Gambar 5.

*Fault Tree Analysis* (FTA) adalah sebuah bentuk analisis keselamatan yang sering diterapkan pada dunia penerbangan angkasa luar, elektronik, dan industri nuklir<sup>[5]</sup>. FTA adalah pendekatan *Top-Down* untuk menentukan penyebab potensi terjadinya sebuah kegagalan dalam sistem yang mengarah kepada sebuah kecelakaan. Analisis dilakukan dari kegagalan tersebut mundur kebelakang hingga semua kemungkinan penyebabnya diketahui. FTA dalam makalah ini digunakan untuk menentukan titik-titik pemeriksaan dalam program perawatan prediktif. Kemungkinan penyebab gagal adalah titik dimana pemeriksaan harus dilakukan secara berkala dalam program perawatan prediktif tersebut. Simbol-simbol bagan FTA dalam makalah ini mengacu pada [6].



**Gambar 7.** Bagan FTA gagalnya pengendalian suhu

Gambar 7 adalah bagan FTA gagalnya pengendalian suhu pada perangkat tungku Gambar 5. Dari bagan tersebut terdapat 7 kemungkinan penyebab kegagalan (bagan lingkaran

pada Gambar 7). Penyebab gagal ① terjadi diluar kemampuan pengelola perangkat, karena berasal dari gagalnya listrik dari PLN. Kemungkinan terjadinya gagal ② dan ③ sangat kecil, oleh karena itu perawatan reaktif dilakukan. Program perawatan prediktif harus dilakukan untuk penyebab gagal ④⑤⑥ dan ⑦. Perawatan pada Gagal ⑦ harus mengacu pada perawatan modul pengendali suhu yang digunakan. Pada umumnya pabrik pembuat modul memberikan langkah2 perawatan yang diperlukan. Untuk gagal ④⑤⑥ program perawatan dapat dilakuan dengan melakukan pengukuran menggunakan alat thermography.



**Gambar 9.** Pengukuran dengan thermography.

Alat thermography melakukan pengukuran berdasarkan panas yang dihasilkan oleh obyek yang diukur. Penyebab gagal ④⑤⑥ diawali oleh adanya arus listrik yang berlebihan sehingga menyebabkan kerusakan. Arus listrik berlebihan ini akan menimbulkan panas sehingga dapat dideteksi oleh alat thermography. Program perawatan prediktif akan

menemukan panas berlebihan akibat arus listrik berlebihan tersebut sebelum obyek menjadi rusak (gagal).

## 5. KESIMPULAN

Program perawatan mutlak harus dilakukan jika umur pakai perangkat ingin dipertahankan sesuai dengan disain dari perangkat tersebut. Umur pakai perangkat bahkan bisa lebih panjang dari disain yang ditetapkan jika perawatan selalu dijalankan. Untuk perangkat listrik, alat thermography sangat tepat digunakan pada program perawatan prediktif, karena panas berlebihan yang terjadi akan mudah ditemukan dan menjadi masukan bagi program perbaikan (*corrective maintenance*) untuk memperbaikinya.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Cramer S, Genesis R, dan Wray I., Preventive Maintenance., M2M United.  
[http://www.providentpartners.net/m2m/united/track\\_b/18.ppt](http://www.providentpartners.net/m2m/united/track_b/18.ppt), diambil 1 Mei 2010.
- [2]. Daryus A., Manajemen Pemeliharaan mesin., Univ. Darma Persada., 2007.
- [3]. Gerogiannis VC, Caragiannins IE, Tsoukarellas MA., A General Framework for Applying Safety to Safety Critical Real-Time Applications Using Faul Tree., IEEE 1., 1997.
- [4]. McBride JW., Relationship between Surface Wear and Contact Resistance during the Fretting of in-vivo Electrical Contacts., IEEE Transaction Components and Packaging Technologies, Vol 31, No. 3, September 2008., pp. 592-600.
- [5]. Pandey M., Fault Tree Analysis  
<http://www.civil.uwaterloo.ca/maknigh/course/CIVE240-05/Week%2011/Fault%20Tree%Analysis.pdf>.  
Diambil 1 Maret 2011.
- [6]. Uyemura, John P, Introduction to VLSI Circuits and Systems, John Wiley & Sons, Inc. New York, 2002.