

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan mengenai landasan teori dan referensi yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan penelitian. Tinjauan pustaka digunakan sebagai pedoman agar pelaksanaan penelitian dapat terfokus pada tujuan yang ingin dicapai dan bersumber dari beberapa literatur.

2.1 PENELITIAN TERDAHULU

Beberapa penelitian terdahulu terkait dengan pengukuran efektivitas produksi adalah sebagai berikut:

1. Rahmad, Pratikto, dan Wahyudi (2012). Penelitian dilakukan di sebuah Pabrik Gula PT. Y untuk mengimplementasikan *Total Productive Maintenance* (TPM) dengan menerapkan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Hasil penelitian menemukan masalah utama tentang *breakdown maintenance*. Berdasarkan perhitungan OEE, analisis *six big losses* dan juga analisis sebab-akibat yang dilakukan ditemukan bahwa faktor yang menyebabkan rendahnya efektivitas mesin di Pabrik Gula PT. Y ini adalah faktor *reduced speed loss* dan *breakdown loss*. Penyebab *reduced speed loss* umumnya disebabkan oleh faktor manusia, sedangkan penyebab *breakdown loss* umumnya disebabkan sistem perawatan mesin yang belum sesuai.
2. Susetyo (2009). Penelitian dilakukan pada mesin *cutter asahi* dan *paper machine* karena mesin tersebut mempunyai efek paling besar dalam proses produksinya. Berdasarkan pengolahan dan analisis data didapatkan besarnya nilai OEE yang masih dibawah standar perusahaan dunia yang disebabkan oleh *drop power energy* PLN, dan hasil identifikasi FMEA diperoleh nilai RPN tertinggi pada *paper machine* dengan mode kegagalan yaitu dirty, serta hasil identifikasi FTA mengindikasikan bahwa probabilitas kegagalan tertinggi pada bagian *paper machine*.

Dari hasil komparasi secara teoritis beberapa metode diatas dan hasil studi pendahuluan di lapangan, metode yang digunakan pada penelitian di PT Pindad (Persero) adalah *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) untuk mengetahui efektivitas mesin dan peralatan produksi yang diteliti. Selanjutnya peneliti juga melakukan analisis *six big losses* untuk mengetahui faktor penyebab *losses* yang paling besar dan

melakukan analisa akar masalah guna memberikan usulan perbaikan terhadap *losses* yang terjadi dengan implementasi *Total Productive Maintenance* (TPM).

Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan sekarang dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Tabel Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Ini

Peneliti Aspek	Rahmad, Pratikto, Slamet Wahyudi (2012)	Joko Susetyo (2009)	Penelitian ini (2015)
Judul	Penerapan <i>Overall Equipment Effectiveness</i> (OEE) dalam Implementasi <i>Total Productive Maintenance</i> (TPM).	Analisis Pengendalian Kualitas dan Efektivitas Dengan Integrasi Konsep <i>Failure Mode & Effect Analysis</i> Dan <i>Fault Tree Analysis</i> Serta <i>Overall Equipment Effectiveness</i>	Identifikasi <i>Losses</i> Dengan Metode <i>Overall Equipment Effectiveness</i> Untuk Implementasi Konsep <i>Total Productive Maintenance</i> .
Lokasi Penelitian	Pabrik Gula PT. Y	---	PT Pindad (Persero)
Metode dan analisis	OEE, analisis <i>six big losses</i> , diagram pareto, <i>fishbone</i> diagram, TPM.	OEE, FMEA, FTA	OEE, analisis <i>six big losses</i> , <i>fault tree analysis</i> , TPM.
Hasil penelitian	Nilai OEE, faktor terbesar penyebab <i>losses</i> dan usulan implementasi TPM.	Nilai OEE, nilai RPN, nilai probabilitas kegagalan, dan rekomendasi perbaikan	Nilai OEE, faktor terbesar penyebab <i>losses</i> , usulan perbaikan dengan konsep TPM.

2.2 SISTEM PEMELIHARAAN (*MAINTENANCE*)

Maintenance adalah semua kegiatan yang berhubungan untuk mempertahankan suatu mesin/peralatan agar tetap dalam kondisi siap untuk beroperasi, dan jika terjadi kerusakan maka diusahakan agar mesin/peralatan tersebut dapat dikembalikan pada kondisi yang baik. Peranan pemeliharaan baru akan sangat terasa apabila sistem mulai mengalami gangguan atau tidak dapat dioperasikan lagi. (Kostas N. D, 1981 : 695). Kegiatan *maintenance* yang dilakukan dapat berupa pemeriksaan, perbaikan, penggantian, penyetelan atau penyesuaian pada mesin. Perawatan (*maintenance*) merupakan kegiatan dalam suatu perusahaan yang sama pentingnya dengan kegiatan produksi. Kegiatan produksi yang sudah direncanakan sebelumnya akan terhambat apabila terjadi kerusakan pada mesin atau mesin tidak dapat beroperasi. Pemeliharaan adalah kegiatan memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan produksi dan mengadakan perbaikan atau penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai apa yang di rencanakan (Assauri, 2004:95).

2.3 JENIS PEMELIHARAAN

Aktivitas pemeliharaan (*maintenance*) dapat dibedakan dalam tiga jenis yaitu *preventive maintenance*, *corrective maintenace*, dan *predictive maintenance* (Assauri, 2004:95). Adapun penjelasannya adalah sebagai berikut:

1. *Preventive maintenance*

Menurut Assauri, (2004:95) *preventive maintenance* adalah kegiatan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan dan menemukan kondisi yang dapat menyebabkan fasilitas atau mesin produksi mengalami kerusakan pada waktu melakukan kegiatan produksi. *preventive maintenance* dapat dibedakan atas *routine maintenance* dan *periodic maintenance*.

Routine maintenance adalah kegiatan perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan secara rutin. Sebagai contoh yaitu kegiatan pelumasan, pengecekan isi bahan bakar, dll. Sedangkan *periodic maintenance* adalah kegiatan perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan secara *periodic* atau dalam jangka waktu tertentu.

2. *Corrective maintenace*

Corrective maintenace merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan setelah mesin atau fasilitas mengalami kerusakan atau gangguan. Dalam hal ini kegiatan *corrective maintenace* bersifat perbaikan yaitu menunggu sampai kerusakan terjadi terlebih dahulu, kemudian baru diperbaiki agar dapat beroperasi kembali (Assauri, 1999:104).

Berdasarkan definisi diatas dapat diketahui bahwa *corrective maintenace* dilakukan setelah fasilitas atau peralatan mengalami kerusakan sehingga tidak berfungsi dengan baik. Perbaikan yang dilakukan disebabkan karena adanya kerusakan yang terjadi akibat dilakukannya *preventive maintenance*, ataupun melakukan *preventive maintenance* tetapi sampai pada waktu tertentu fasilitas atau peralatan tersebut tetap rusak.

3. *Predictive maintenance*

Predictive maintenance didefinisikan sebagai pengukuran yang dapat mendeteksi degradasi sistem, sehingga penyebabnya dapat dieliminasi atau dikendalikan tergantung pada kondisi fisik komponen. Hasilnya menjadi indikasi kapabilitas fungsi sekarang dan masa depan.

Pada dasarnya, *predictive maintenance* berbeda dengan *perventive maintenance* dengan berdasarkan kebutuhan perawatan pada kondisi aktual mesin dari pada jadwal yang telah ditentukan. Dapat dikatakan bahwa, *preventive*

maintenance bersifat *time-based*, seperti penggantian oli setiap 3000 jam kerja. Hal ini tidak memperhatikan performa dan kondisi aktual mesin. Jika dilakukan pemeriksaan mungkin penggantian oli dapat diperpanjang hingga 5000 jam kerja. Hal ini lah yang membedakan antara *predictive maintenance* dengan *perventive maintenance* dimana *predictive maintenance* menekankan kegiatan perawatan pada kondisi aktual.

2.4 TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM)

Beberapa waktu belakangan ini hadirlah *Total Productive Maintenance* (TPM) sebagai sebuah strategi yang cukup diyakini mampu menjadi alat pemeliharaan berkualitas yang strategis dan dapat mengelola semua sumber daya yang ada dalam organisasi secara tepat, efektif dan efisien. Menurut Corder (dalam Ginting, 2007:5) Sistem TPM merupakan sistem Jepang yang unik dari suatu kepakaran manajerial, telah diciptakan pada tahun 1971, berdasarkan konsep pemeliharaan pencegahan atau pemeliharaan mandiri (*productive maintenance*) yang telah diperkenalkan dari Amerika Serikat pada tahun 1950-an sampai tahun 1960-an.

Program-program strategis TPM telah menunjukkan dampak yang besar pada kinerja perusahaan, disamping secara substansial meningkatkan kapasitas juga secara signifikan mengurangi tidak hanya biaya pemeliharaan tetapi juga biaya operasional secara keseluruhan. Keberhasilan pelaksanaan program TPM menciptakan tempat kerja yang jauh lebih aman dan lebih ramah lingkungan. Menurut Shirose (dalam Ginting, 2007:6) TPM dirancang untuk mencegah terjadinya suatu kerugian karena penghentian kerja, kerugian kecepatan, dan kerugian karena cacat dengan meningkatkan metode manufaktur dengan penggunaan dan pemeliharaan peralatan.

2.4.1 Definisi Total Productive Maintenance (TPM)

Total productive maintenance (TPM) adalah konsep pemeliharaan yang melibatkan seluruh pekerja yang bertujuan mencapai efektifitas pada seluruh sistem produksi melalui partisipasi dan kegiatan pemeliharaan yang produktif, proaktif, dan terencana. Menurut Nakajima (dalam Pujotomo, 2007:3) mendefinisikan *Total Productive Maintenance* sebagai suatu pendekatan yang inovatif dalam *maintenance* dengan cara mengoptimasi keefektifan peralatan serta mengurangi kerusakan dengan melakukan identifikasi terlebih dahulu. TPM pertama kali dikenalkan di Jepang pada tahun 1969 oleh Nipposendo Co.Ltd, bagian grup Toyota, dan mulai berkembang pada tahun 1970.

Kata “*Total*” pada *Total Productive Maintenance* mempunyai tiga pengertian yang menggambarkan prinsip TPM sebagai berikut:

1. *Total effectiveness*

Untuk mendapatkan efisiensi yang maksimal sehingga mempunyai nilai ekonomis yang tinggi dan keuntungan yang optimum, serta mengurangi hal-hal yang tidak berguna dan pemborosan.

2. *Total maintenance system*

Mencakup perencanaan perawatan mesin dan merupakan konsep pemeliharaan yang mandiri dari seluruh aspek siklus kerja peralatan.

a. *Maintenance prevention* yaitu memperpanjang daur hidup mesin.

b. *Maintainability improvement* yaitu memperpendek waktu yang diperlukan untuk memperbaiki mesin

c. *Preventive maintenance* yaitu perawatan pencegahan

3. *Total participation all of employee*

Mencakup perawatan mandiri oleh operator melalui kegiatan-kegiatan kelompok kecil serta keikutsertaan seluruh karyawan dan manajemen.

Tujuan utama dari penerapan TPM yang dilakukan adalah sebagai upaya peningkatan produktivitas dan efisiensi dengan cara menjaga mesin atau peralatan selalu dalam kondisi yang optimal sehingga menghasilkan produk yang bermutu tinggi dengan biaya yang ditekan serendah mungkin. Adapun beberapa tujuan penerapan dari TPM antara lain sebagai berikut:

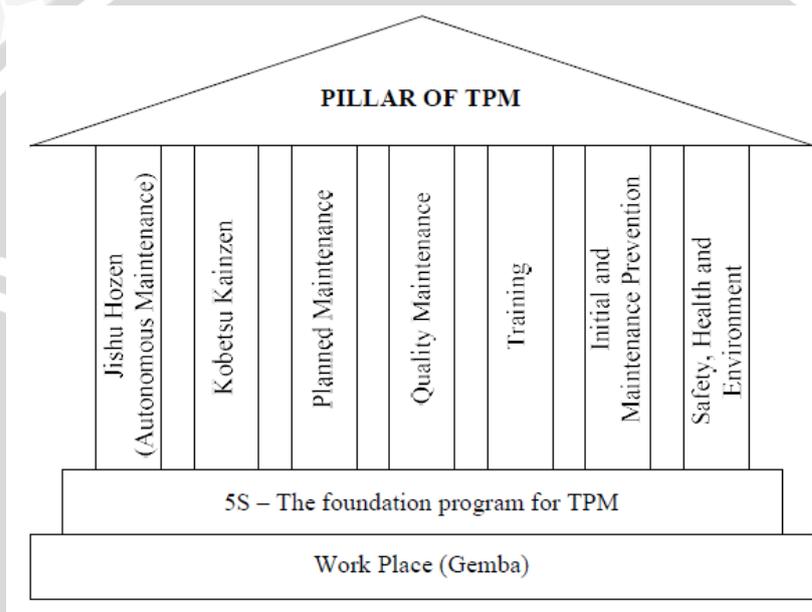
1. Memaksimalkan efektifitas kerja mesin-mesin dan peralatan secara menyeluruh.
2. Mengurangi waktu tunggu (*delay*) saat operasi.
3. Meningkatkan ketersediaan (*availability*) atau menambah waktu yang produktif.
4. Meningkatkan dan menjamin kelangsungan umur pemakaian peralatan atau mesin semaksimal mungkin.
5. Melibatkan pemakaian peralatan dan perawatan, dibantu oleh personil *maintenance*.
6. Melaksanakan pemeliharaan pencegahan.
7. Membangun kerjasama semua bagian yang terkait dalam suatu metode terpadu yang melibatkan bagian perencanaan, bagian produksi, dan bagian *maintenance*.

TPM menggunakan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) sebagai ukuran kuantitatif inti untuk mengukur kinerja sistem produktif (Jeong dan Phillips, 2001:1404). OEE digunakan untuk memberikan gambaran harian mengenai kinerja peralatan pabrik serta menggalakkan keterbukaan dalam berbagi informasi dan

pendekatan yang tidak saling menyalahkan dalam menangani isu-isu yang berhubungan dengan peralatan. Praktik-praktik dasar TPM sering disebut "pilar" atau "elemen" dari TPM. Seluruh bangunan TPM dibangun dan berdiri di atas delapan pilar.

2.4.2 Pilar-pilar TPM

TPM mengarahkan kepada perencanaan yang baik, pengorganisasian, pengawasan dan pengendalian melalui metodologi yang unik yang melibatkan pendekatan kedelapan pilar seperti yang disarankan oleh *Japan Institute of Plant Maintenance* – JIPM (Ireland dan Dale, 2001:183).



Gambar 2.1 Delapan Pilar TPM
Sumber: *TPM Resource* (2009)

Penjelasan dari delapan pilar TPM adalah sebagai berikut:

1. 5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke)

TPM dimulai dengan 5S karena dengan membersihkan dan mengatur tempat kerja dapat membantu tim untuk menemukan permasalahan. Membuat permasalahan menjadi nyata merupakan langkah pertama perbaikan. 5S merupakan langkah pembersihan dan pengaturan tempat kerja yang terdiri dari seiri (mengelompokkan), seiton (merapikan), seiso (membersihkan), seiketsu (membuat standar) dan shitsuke (disiplin).

2. Jishu Hozen (*Autonomous Maintenance*)

Autonomous Maintenance atau perawatan mandiri adalah kegiatan yang dirancang untuk melibatkan operator dengan sasaran utama untuk mengembangkan pola hubungan antara manusia, mesin dan tempat kerja yang bermutu. Perawatan

mandiri ini juga dirancang untuk melibatkan operator dalam merawat mesinnya sendiri. Kegiatan tersebut seperti: pembersihan, pelumasan, pengencangan baut atau mur, pengecekan harian, pendeteksian penyimpangan dan reparasi sederhana. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mengembangkan operator yang mampu mendeteksi berbagai sinyal dari kerugian (*loss*). Selain itu juga bertujuan untuk menciptakan tempat kerja yang rapi dan bersih, sehingga setiap penyimpangan kondisi normal dapat dideteksi dalam waktu sekejap. Dalam *Autonomous Maintenance* (perawatan mandiri) ada 7 langkah, yaitu:

a. *Initial Cleaning* atau Pembersihan Awal

Kegiatan yang dilakukan pada tahap ini adalah:

- 1) *Cleaning* berarti inspeksi
- 2) Kegiatan *cleaning* akan menemukan kondisi abnormal secara otomatis
- 3) Membuat *check sheet* “abnormal” list
- 4) Menstandarkan pengecekan *cleaning* nya.

b. Eliminasi sumber kontaminasi dan bagian yang tidak terjangkau

Kegiatan yang dilakukan pada tahap ini adalah:

- 1) Sebelum melakukan aktifitas ini pastikan operator sudah ditraining tentang mesinnya dan bagian-bagian mesin.
- 2) Tindak lanjut kondisi abnormal dengan membuat *ide improvement* yang berfokus pada pengurangan waktu *cleaning*.

Contoh kontaminasi adalah debu dan oli pada hidrolis, karat, kerak dan lain lain.

c. Mengembangkan dan merawat *cleaning* dan standard lubrikasi (pelumasan).

Kegiatan yang dilakukan pada tahap ini adalah:

- 1) *Updating tentative cleaning* dan *Lubricating* standard. *Improvement step* kedua telah mengurangi waktu *cleaning*.
- 2) Sekali dibuat standard, operator harus mengikuti dan supervisor bertanggung jawab terhadap kebersihannya.

d. *General inspection*

Kegiatan yang dilakukan pada tahap ini adalah:

- 1) Siapkan *maintenance teaching manual*
- 2) *Improve skill* dari *group leader circle*
- 3) Menciptakan inspeksi menyeluruh terutama pada bagian mesin yang sering rusak
- 4) Atur *schedule* dan lakukan *general inspection*

e. *Autonomous maintenance inspection.*

Kegiatan yang dilakukan pada tahap ini adalah:

- 1) Evaluasi kembali *standard inspeksi tentative*
- 2) Disinkronkan dengan *standard* yang dibuat team QCC
- 3) Lakukan koreksi dan penyederhanaan

f. *Workplace organization dan house keeping*

Kegiatan yang dilakukan pada tahap ini adalah:

- 1) *Promote* simplikasi dan *tidiness* tempat kerja
- 2) Evaluasi peraturan operator dan klarifikasi tanggung jawab.

g. Penerapan program *autonomous maintenance*

Kegiatan yang dilakukan pada tahap ini adalah:

- 1) Fokus pada penghilangan enam *losses*
- 2) *Promote audit* untuk *autonomous maintenance system*

3. Perbaikan Bertahap (Kaizen)

Pada dasarnya Kaizen berarti perbaikan kecil, tapi dilakukan pada pola yang berkelanjutan dan melibatkan semua orang dalam organisasi. Pilar ini bertujuan mengurangi *losses* di tempat kerja yang mempengaruhi efisiensi. Dengan menggunakan suatu prosedur yang rinci dan cermat, menghilangkan *losses* dengan suatu metode sistematis menggunakan berbagai *tools* Kaizen. Aktivitas ini tidak dibatasi di area produksi dan dapat juga diimplementasikan di area administrasi.

4. Pemeliharaan Terencana (*Planned Maintenance*)

Hal ini ditujukan untuk menjalankan mesin dan peralatan bebas masalah sehingga dapat memproduksi barang bebas cacat untuk kepuasan konsumen secara total. *Planned maintenance* dibagi menjadi empat, yaitu *Preventive maintenance*, dan *Corrective maintenance*. Dengan pemeliharaan terencana, usaha dan metode reaktif dikembangkan menjadi proaktif dan memanfaatkan staff terlatih pemeliharaan untuk membantu melatih operator agar lebih baik menjaga peralatan mereka.

5. Pemeliharaan Kualitas (*Quality Maintenance*)

Aktivitas *Quality Maintenance* adalah menetapkan kondisi peralatan yang mencegah cacat kualitas produk, berdasarkan pada konsep pemeliharaan peralatan untuk menjaga kualitas produk. Kondisi tersebut diperiksa dan diukur dalam periode waktu untuk menunjukkan ukuran nilai standar guna mencegah cacat. Transisi dari ukuran dipantau untuk memperkirakan kemungkinan terjadi cacat dan untuk menentukan tindakan pencegahannya.

6. Pelatihan (*Training*)
Bertujuan untuk mempersiapkan karyawan yang multi – keahlian yang bermoril tinggi dan mau bekerja dan melaksanakan semua fungsi secara efektif dan mandiri. Pelatihan diberikan kepada operator untuk meningkatkan kemampuan mereka.
7. Organisasi Kerja (*Office TPM*)
Office TPM baru bisa dimulai jika telah melewati empat pilar lain (Pemeliharaan mandiri, Kaizen, pemeliharaan terencana, dan pemeliharaan kualitas). *Office TPM* harus diikuti untuk memperbaiki produktivitas, efisiensi di fungsi administrasi, serta mengetahui dan menghilangkan *losses*. Hal ini meliputi analisa proses dan prosedur menuju *office* mandiri.
8. Keamanan (*Safety*), Kesehatan (*Health*), dan Lingkungan (*Environment*)
Target dari pilar ini adalah *zero accident*, *zero health damage*, dan *zero fires*. Pilar ini berfokus untuk menciptakan suatu tempat kerja yang aman, dan lingkungan yang tidak rusak akibat proses atau prosedur.

2.5 OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE)

OEE diusulkan oleh Nakajima sebagai suatu pendekatan untuk mengevaluasi kemajuan yang dicapai melalui inisiatif-inisiatif perbaikan sebagai bagian dari filosofi TPM. Nakajima mendefinisikan OEE sebagai metrik atau ukuran untuk mengevaluasi efektivitas peralatan. OEE berupaya untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi *losses* yang terkait untuk memaksimalkan output (Jeong dan Phillips, 2001:1404). Secara matematis formula pengukuran nilai OEE adalah sebagai berikut:

$$OEE = AR \times PR \times QR \quad (2-1)$$

Keterangan:

AR : *Availability Rate*

PR : *Performance Rate*

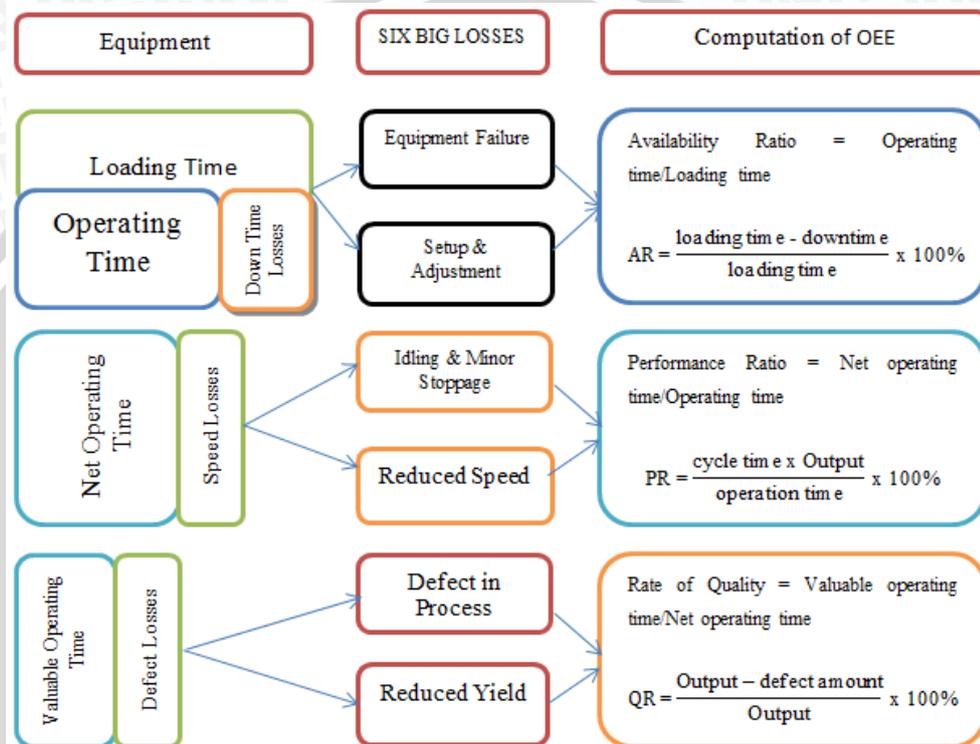
QR : *Rate of Quality*

2.5.1 Availability Rate

Availability Rate mengukur keseluruhan waktu dimana sistem tidak beroperasi karena terjadinya kerusakan alat, persiapan produksi dan penyetulan. Dengan kata lain *Availability* diukur dari total waktu dimana peralatan dioperasikan setelah dikurangi waktu kerusakan alat dan waktu persiapan dan penyesuaian mesin yang juga mengindikasikan rasio aktual antara *Operating Time* terhadap waktu operasi yang

tersedia (*Planned Time Available* atau *Loading Time*). Waktu pembebanan mesin dipisahkan dari waktu produksi secara teoritis serta waktu kerusakan dan waktu perbaikan yang direncanakan. Tujuan batasan ini adalah memotivasi untuk mengurangi *Planned Downtime* melalui peningkatan efisiensi penyesuaian alat serta waktu untuk aktifitas perawatan yang sudah direncanakan.

$$Availability = \frac{Loading\ Time - Down\ Time}{Loading\ Time} \times 100\% \quad (2-2)$$



Gambar 2.2 Tahap Perhitungan OEE
Sumber: Nakajima (1988)

2.5.2 Performance Rate

Performance Rate diukur sebagai rasio kecepatan operasi aktual dari peralatan dengan kecepatan ideal berdasarkan kapasitas desain. Nakajima mengatakan bahwa Performansi mengindikasikan deviasi dari *ideal cycle time*.

$$Performance = \frac{Output \times Cycle\ Time\ Optimal}{Operating\ Time} \times 100\% \quad (2-3)$$

$$Operating\ Time = Loading\ Time - Down\ Time - Setup\ Time \quad (2-4)$$

2.5.3 Rate of Quality

Rate of Quality difokuskan pada kerugian kualitas berupa berapa banyak produk yang rusak yang terjadi berhubungan dengan peralatan, yang selanjutnya dikonversikan

menjadi waktu dengan pengertian seberapa banyak waktu peralatan yang dikonsumsi untuk menghasilkan produk yang rusak tersebut.

$$Quality = \frac{Output - Defect Amount}{Output} \times 100\% \quad (2-5)$$

2.6 SIX BIG LOSSES

Six big losses adalah enam faktor yang menyebabkan rendahnya efisiensi mesin/peralatan. *Six big losses* dibagi atas tiga kategori besar yaitu (Nakajima: 1988):

1. Downtime

Downtime adalah waktu yang terbuang, dimana proses produksi tidak berjalan seperti biasanya diakibatkan oleh kerusakan maupun setting mesin. *Downtime* terdiri dari 2 macam kerugian yaitu:

a. Equipment Failure (breakdown losses)

Yang tergolong dalam jenis ini adalah kerugian yang disebabkan kerusakan mesin/peralatan. Kerugian jenis ini akan mengakibatkan waktu yang terbuang sia-sia yang mengakibatkan kerugian bagi perusahaan akibat berkurangnya volume produksi atau kerugian material akibat produk cacat yang dihasilkan. Besarnya persentase efektivitas mesin yang hilang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-6).

$$Breakdowns losses = \frac{waktu downtime}{planned production time} \times 100\% \quad (2-6)$$

b. Set-up and adjustment losses

Kerugian jenis ini adalah semua waktu *set-up* termasuk waktu penyesuaian (*adjustment*) yang diperlukan untuk *set-up* mesin mulai dari mesin berhenti hingga mesin beroperasi dengan normal. Besarnya persentase efektivitas mesin yang hilang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-7).

$$Setup and adjustment losses = \frac{waktu setup}{planned production time} \times 100\% \quad (2-7)$$

2. Speed Losses

Speed Losses merupakan suatu keadaan dimana kecepatan proses produksi terganggu sehingga produksi tidak mencapai tingkat yang diharapkan. *Speed Losses* terdiri dari 2 macam kerugian yaitu:

a. Reduced speed Losses

Menurunnya kecepatan produksi timbul jika kecepatan operasi aktual lebih kecil dari kecepatan mesin yang telah dirancang beroperasi dalam kecepatan

normal. Peralatan mungkin bekerja dibawah kecepatan idealnya dengan beberapa alasan, tidak standar atau kesulitan *raw material*, masalah mekanik, atau kelebihan beban kerja terhadap peralatan tersebut, dan bisa juga kecepatan sengaja dikurangi untuk mencegah timbulnya masalah pada mesin dan kualitas produk. Besar persentase *reduced speed* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-8).

$$\text{Reduced speed} = \frac{\text{operating time} - (\text{ideal cycle time} \times \text{total pieces})}{\text{planned production time}} \times 100\% \quad (2-8)$$

b. *Idling and Minor Stoppages*

Idling losses ini terjadi ketika peralatan/ mesin tetap beroperasi (menyala) walaupun tanpa menghasilkan. *Minor stoppages losses* terjadi ketika peralatan berhenti dalam waktu singkat akibat masalah sementara. Contohnya, *minor stoppage* terjadi ketika sebuah bagian pekerjaan terlewatkan atau ketika sensor aktif dan menghentikan mesin. Secepat mungkin operator akan memindahkan bagian pekerjaan tersebut atau mematikan sensor sehingga dapat beroperasi normal kembali. Karena kerugian ini mengganggu kerja, maka dapat dikategorikan sebagai *breakdown*. Namun demikian, keduanya berbeda, dimana *minor stoppage* dapat diselesaikan dengan cepat ketika diketahui. Besar persentase *small stops* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-9).

$$\text{Small stops} = \frac{\text{nonproductive time}}{\text{planned production time}} \times 100\% \quad (2-9)$$

3. *Quality Losses*

Quality Losses adalah suatu keadaan dimana produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. *Quality Losses* terdiri dari 2 macam kerugian yaitu:

a. *Start – up losses (reduced yield)*

Kerugian ini terjadi di awal produksi, dari mesin dinyalakan sampai mesin stabil untuk berproduksi dengan kualitas yang sesuai standar. Volume dari kerugian ini tergantung dari derajat kestabilan proses. Hal ini bisa dikurangi dengan peningkatan level pemeliharaan terhadap peralatan/ mesin, peningkatan kemampuan teknik operator, dll. Besar persentase *startup rejects* dapat dihitung dengan persamaan (2-10).

$$\text{Startup rejects} = \frac{\text{ideal cycle time} \times \text{jumlah cacat saat setting}}{\text{planned production time}} \times 100\% \quad (2-10)$$

b. *Quality defect (process defect)*

Proses *defect* menunjukkan bahwa ketika suatu produk yang dihasilkan rusak dan harus diperbaiki, maka lama waktu peralatan memproduksinya adalah kerugian. Kerugian ini relatif lebih kecil dibandingkan dengan kerugian yang lain. Namun dalam lingkungan “*Total Quality*” sekarang ini, diharapkan tidak ada *reject*, terutama yang disebabkan oleh peralatan. Oleh karenanya kerugian ini harus ditekan seminimal mungkin. Besar persentase *production rejects* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-11).

$$Production\ rejects = \frac{ideal\ cycle\ time\ x\ jumlah\ cacat\ saat\ produksi}{planned\ production\ time} \times 100\% \quad (2-11)$$

2.7 FAULT TREE ANALYSIS

Fault Tree Analysis adalah suatu analisis pohon kesalahan yang secara sederhana dapat diuraikan sebagai suatu teknik analitis. Pohon kesalahan adalah suatu model grafis yang menyangkut berbagai penyebab paralel dan kombinasi kesalahan-kesalahan yang akan mengakibatkan kejadian dari peristiwa yang tidak diinginkan yang sudah didefinisikan sebelumnya, atau juga dapat diartikan merupakan gambaran hubungan timbal balik yang logis dari peristiwa-peristiwa dasar yang mendorong ke arah peristiwa yang tidak diinginkan menjadi peristiwa puncak dari pohon kesalahan tersebut.

Fault Tree Analysis adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi resiko yang berperan terhadap terjadinya kegagalan. Metode ini dilakukan dengan pendekatan yang bersifat *top down*, yang diawali dengan asumsi kegagalan atau kerugian dari kejadian puncak (*Top Event*) kemudian merinci sebab-sebab suatu *Top Event* sampai pada suatu kegagalan dasar (Vesely et al, 1981:1). FTA membutuhkan data yang spesifik berkenaan dengan komponen tingkat kesalahan atau kegagalan. Menurut Foster (dalam Pitasari dkk, 2014:168) FTA menunjukkan kemungkinan-kemungkinan penyebab kegagalan sistem dari beberapa kejadian dan bermacam-macam masalah. Teknik ini berguna untuk mendeskripsikan dan menilai kejadian-kejadian di dalam sistem. Hubungan penyebab masalah dapat diidentifikasi dengan hubungan “*and*” dan “*or*” atau kombinasi dari keduanya.

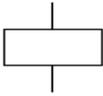
Dalam membangun model pohon kesalahan (*fault tree*) dilakukan dengan cara wawancara dengan manajemen perusahaan dan melakukan pengamatan langsung terhadap proses produksi di lapangan. Selanjutnya sumber-sumber permasalahan tersebut digambarkan dalam bentuk model pohon kesalahan (*fault tree*). Analisis pohon

kesalahan (*Fault Tree Analysis*) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisa akar penyebab dari suatu masalah.

2.7.1 Simbol-simbol Dalam *Fault Tree Analysis*

Adapun simbol-simbol dalam *Fault Tree Analysis* menurut Vesely (1981:34) dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Simbol *Fault Tree Analysis*

Simbol	Keterangan
	<i>Top Event</i> Kejadian puncak yang harus dijelaskan lebih rinci / <i>incident</i> yang terjadi
	Gerbang OR (<i>Or Gate</i>) Kejadian di atas <i>symbol</i> muncul jika " <i>input event</i> " meskipun hanya salah satu dapat menyebabkan kejadian di atasnya.
	<i>Logic gate (AND Gate)</i> Kejadian di atas <i>symbol</i> muncul jika semua " <i>input event</i> " bersama-sama menyebabkan kejadian di atasnya.
	<i>Transferred event</i> Segitiga digunakan "sebagai <i>symbol transfer</i> ". Garis dari puncak segitiga menunjukkan " <i>transfer in</i> ", dan garis dari samping menunjukkan " <i>transfer out</i> ". Biasanya digunakan untuk menjamin bahwa perkembangan " <i>sub tree</i> " ada di halaman lain atau pada bagian diagram yang cocok.
	<i>Undeveloped Event (Basic Event)</i> : Suatu kejadian yang tidak perlu diuraikan lagi karena sudah tersedia informasi yang cukup.
	<i>Basic Event</i> Suatu kejadian yang tidak membutuhkan pengembangan lebih lanjut/tidak perlu diuraikan lagi, biasanya berasal dari data empiris atau analisa fisik kegagalan.
	Simbol elips Simbol kondisi yang disisipkan disamping <i>event</i> untuk menunjukkan <i>event</i> itu hanya akan terjadi apabila kondisi tersebut dapat dipenuhi
	Gerbang INHIBIT Merupakan kasus khusus dari gerbang AND. Output disebabkan oleh satu input, tetapi juga harus memenuhi kondisi tertentu sebelum input dapat menghasilkan output.

Sumber: Vesley (1981)

2.7.2 Penyusunan *Fault Tree Analysis*

Fault Tree Analysis menggunakan langkah-langkah terstruktur dalam melakukan analisis pada sistem. Adapun langkah-langkah FTA, yaitu:

1. Mengidentifikasi kejadian/peristiwa terpenting dalam sistem (*top level event*)

Langkah pertama dalam FTA ini merupakan langkah penting karena akan mempengaruhi hasil analisis sistem. Pada tahap ini, dibutuhkan pemahaman tentang sistem dan pengetahuan tentang jenis-jenis kerusakan (*undesired event*) untuk mengidentifikasi akar permasalahan sistem. Pemahaman tentang sistem dilakukan dengan mempelajari semua informasi tentang sistem dan ruang lingkungannya.

2. Membuat pohon kesalahan.

Setelah permasalahan terpenting teridentifikasi, langkah berikutnya adalah menyusun urutan sebab akibat pohon kesalahan. Pada tahap ini, *cause and effect diagram (Ishikawa)* dapat digunakan untuk menganalisis kesalahan dan mengeksplorasi keberadaan kerusakan-kerusakan yang tersembunyi. Pembuatan pohon kesalahan dilakukan dengan menggunakan simbol-simbol *Boolean*. Standarisasi simbol-simbol tersebut diperlukan untuk komunikasi dan konsistensi pohon kesalahan.

3. Menganalisis pohon kesalahan.

Analisis pohon kesalahan diperlukan untuk memperoleh informasi yang jelas dari suatu sistem dan perbaikan-perbaikan apa yang harus dilakukan pada sistem. Tahap-tahap analisis pohon kesalahan dapat dibedakan menjadi 3, yaitu:

a. Menyederhanakan pohon kesalahan.

Tahap pertama analisis pohon kesalahan adalah menyederhanakan pohon kesalahan dengan menghilangkan cabang-cabang yang memiliki kemiripan karakteristik. Tujuan penyederhanaan ini adalah untuk mempermudah dalam melakukan analisis sistem lebih lanjut

b. Menentukan peluang munculnya kejadian atau peristiwa terpenting dalam sistem (*top level event*).

Setelah pohon kesalahan disederhanakan, tahap berikutnya adalah menentukan peluang kejadian paling penting dalam sistem. Pada langkah ini, peluang semua input dan logika hubungan digunakan sebagai pertimbangan penentuan peluang.

c. Mereview hasil analisis.

Review hasil analisis dilakukan untuk mengetahui kemungkinan perbaikan yang dapat dilakukan pada sistem.

Output yang diperoleh setelah melakukan *Fault Tree Analysis* adalah peluang munculnya kejadian terpenting dalam sistem dan memperoleh akar permasalahan sebabnya. Akar permasalahan tersebut kemudian digunakan untuk memperoleh prioritas perbaikan permasalahan yang tepat pada sistem.

Kelebihan *Fault Tree Analysis* dapat terlihat dengan jelas, karena *tools* ini dapat digunakan untuk kualitatif dan kuantitatif analisis. Metode yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Kuantitatif

Metode kuantitatif pada *Fault Tree Analysis* ini menggunakan probabilitas. Jadi dapat digunakan untuk menentukan mana risiko yang harus diprioritaskan berdasarkan probabilitas kejadian yang terbesar.

2. Kualitatif

Metode ini menggunakan Boolean, makudnya dalam menentukan prioritas risiko dapat digunakan *shortcut minimum* yang biasa kita analisa menggunakan fungsi “and” dan “or”. Meskipun bersifat kualitatif tetapi tidak perlu menggunakan *ranking* di *Fault Tree Analysis*, sehingga subjektifitas dapat dikurangi.

Untuk menganalisa secara kualitatif dan kuantitatif dari *fault tree analysis* perlu dicari terlebih dahulu *minimal cut set*-nyadengan menggunakan aljabar boolean. Setelah didapat *minimal cut set*, analisa kualitatif akan mendapatkan kegagalan-kegagalan yang mengarah langsung pada terjadinya *top event* dan analisa kuantitatif dengan menggunakan teori probabilitas akan didapat probabilitas *top event* terjadi. Contoh *Fault Tree Analysis* dapat dilihat pada gambar 2.3

Cut set adalah himpunan dari *basic event* dimana jika semua *basic event* tersebut muncul, akan terjadi *top event*. *Minimal cut set* adalah himpunan kombinasi terkecil dari *basic event* dimana jika *basic event* tersebut terjadi, akan menyebabkan *top event* terjadi (Vesley dkk, 1981). Untuk mencari *minimal cut set* yang pertama dilakukan adalah beri permisalan pada setiap gerbang dan kejadian. Misalkan:

T adalah *top event*

P adalah *primary event (basic event)*

G adalah *intermediate event*

S adalah *undeveloped event*

C adalah *Conditioning event*

Sehingga T = motor gagal bekerja (*top event*)

P1 = kerusakan pada motor

P2 = Kegagalan kawat (terbuka)

P3 = kegagalan power supply

P4 = kerusakan pada tombol saklar

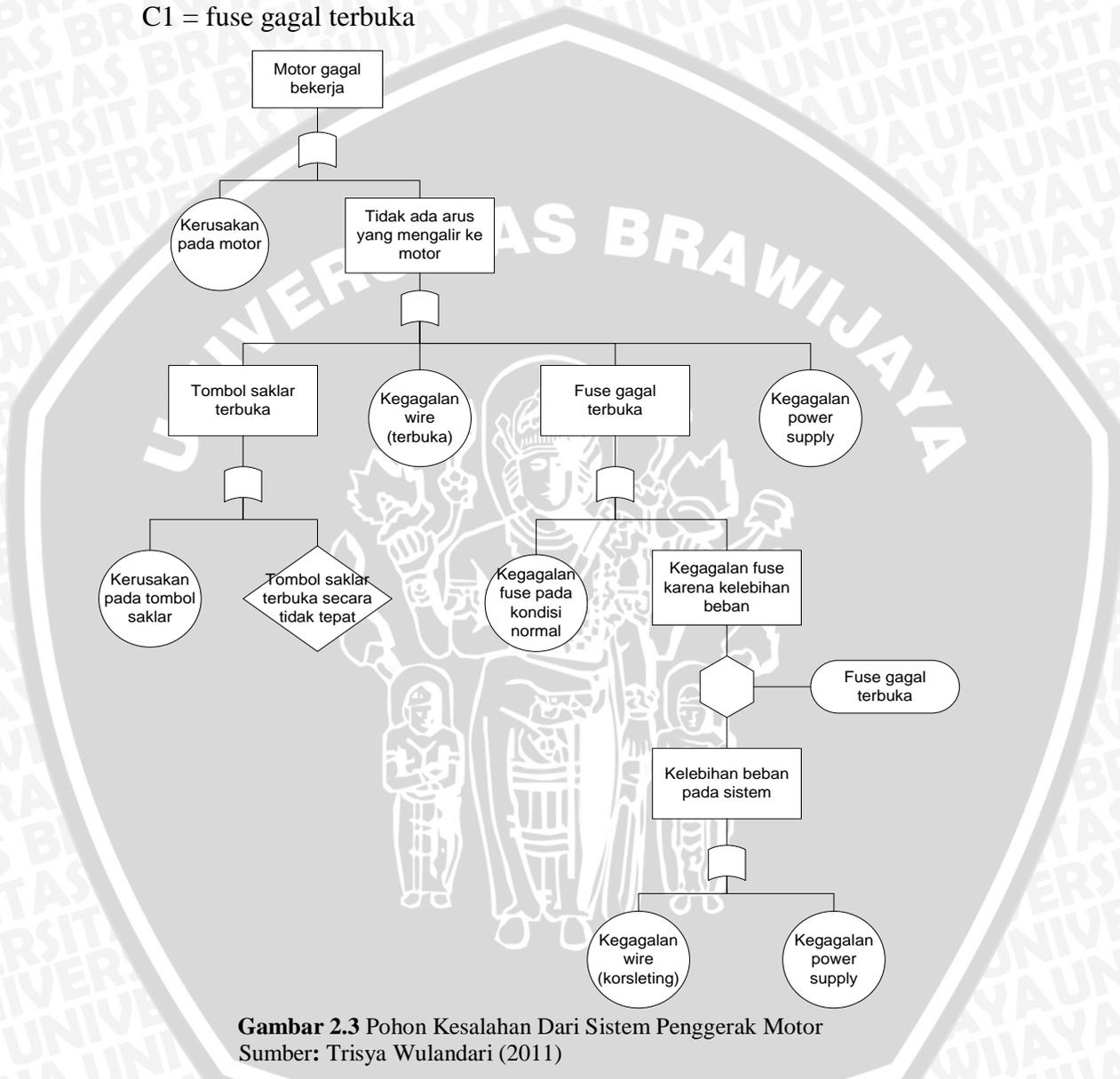
P5 = tombol saklar terbuka pada kondisi normal

P6 = kegagalan kawat (korsleting)

P7 = kegagalan power supply

G1 = tidak ada arus ke motor

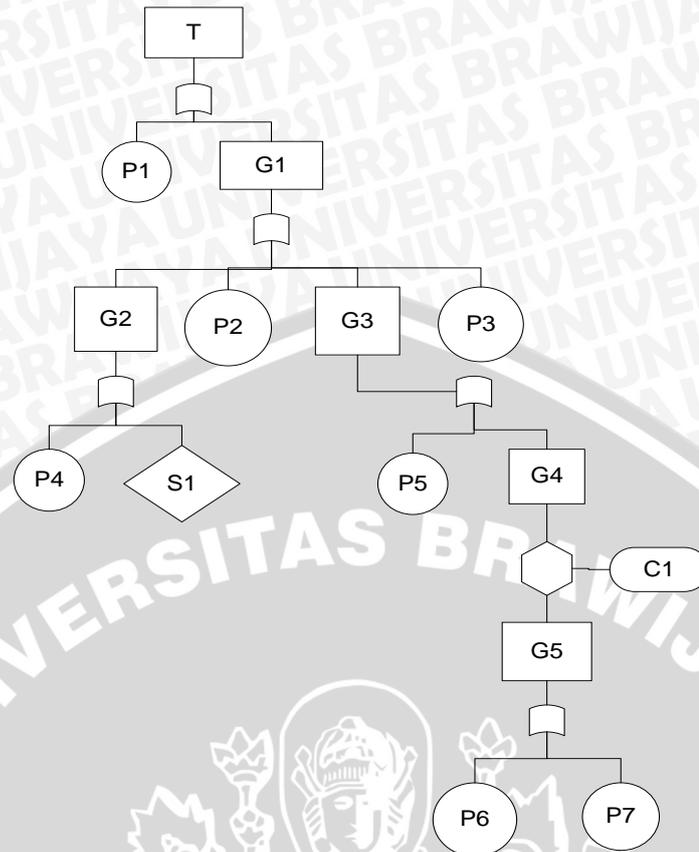
- G2 = sekering gagal terbuka
- G3 = tombol saklar terbuka
- G4 = kegagalan sekering karena kelebihan beban
- G5 = kelebihan beban
- S1 = tombol saklar terbuka secara tidak tepat
- C1 = fuse gagal terbuka



Gambar 2.3 Pohon Kesalahan Dari Sistem Penggerak Motor
 Sumber: Trisyia Wulandari (2011)

Dengan menempatkan tiap pemisalan pada tempat yang bersesuaian, sesuai dengan Gambar 2.1 akan didapat *fault tree* dengan pemisalan pada Gambar 2.4.





Gambar 2.4 Fault Tree Dengan Pemisalan
 Sumber: Trisya Wulandari (2011)

Dari gambar 2.2 bisa didapat persamaan Booleannya yaitu:

- T = P1 + G1
- G1 = P2 + P3 + G2 + G3
- G2 = P4 + S1
- G3 = G4 + P5
- G4 = C1 x G5
- G5 = P6 + P7

Dengan menggunakan pendekatan dari atas ke bawah maka didapatkan:

$$T = P1 + P2 + P3 + P4 + S1 + P5 + (C1 \times P6) + (C1 \times P7)$$

Maka *minimal cut set* dari gambar 2.2 adalah (P1), (P2), (P3), (P4), (P5), (S1), (C1,P6), (C1,P7)