



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA KEGAGALAN SISTEM
DENGAN *FAULT TREE***

SKRIPSI

**TRISYA WULANDARI
0305010661**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI SARJANA MATEMATIKA
DEPOK
JULI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA KEGAGALAN SISTEM
DENGAN *FAULT TREE***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains

**TRISYA WULANDARI
0305010661**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI SARJANA MATEMATIKA
DEPOK
JULI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Trisya Wulandari

NPM : 0305010661

Tanda Tangan : 

Tanggal : 14 Juli 2011

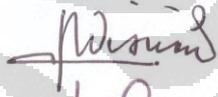
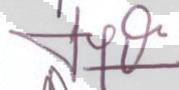
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Trisya Wulandari
NPM : 0305010661
Program Studi : Sarjana Matematika
Judul Skripsi : Analisa Kegagalan Sistem dengan *Fault Tree*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi S1 Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dra. Yahma Wisnani, M.Kom ()
Pembimbing II : Drs. Suryadi MT., M.T. ()
Penguji I : Dr. Al Haji Akbar B., M.Sc. ()
Penguji II : Dr. rer.nat Hendri Murfi, M.Kom ()
Penguji III : Dhian Widya, M.Kom ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 14 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur saya kepada Allah swt. atas semua rahmat dan karunia yang telah Dia berikan sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Matematika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Sangat disadari bahwa penyelesaian tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dra. Yahma Wisnani, M.Kom selaku pembimbing I dan Drs. Suryadi MT, M.T. selaku pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu dan pikiran serta memberikan masukan-masukan untuk saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini;
2. Dr. Yudi Satria, M.T. selaku ketua departemen, Rahmi Rusin, S.Si, M.Sc.Tech selaku sekretaris departemen, dan Dr. Dian Lestari selaku koordinator pendidikan yang telah banyak membantu proses penyelesaian tugas akhir ini;
3. Bapak dan Ibu Dosen yang menghadiri seminar UP, seminar KP, dan Kolokium atas saran yang diberikan;
4. Seluruh staf pengajar di Matematika UI atas ilmu pengetahuan dan seluruh karyawan di departemen Matematika UI atas bantuan yang telah diberikan;
5. Keluarga tercinta atas dukungannya;
6. Semua teman-teman di Matematika UI atas semangat dan dukungannya.

Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak, yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini. Akhir kata, saya mohon maaf jika terdapat kesalahan atau kekurangan dalam skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca.

Penulis

2011

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Trisya Wulandari
NPM : 0305010661
Program Studi : Sarjana Matematika
Departemen : Matematika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :
Analisa Kegagalan Sistem dengan *Fault Tree*.

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 14 Juli 2011
Yang menyatakan



(Trisya Wulandari)

ABSTRAK

Nama : Trisya Wulandari
Program Studi : Matematika
Judul : Analisa Kegagalan Sistem dengan *Fault Tree*

Sistem adalah kumpulan elemen yang bekerja sama untuk satu tujuan, contohnya sistem pada AC. Masalah timbul saat sistem mengalami kegagalan dalam bekerja. Salah satu cara mengatasinya adalah dengan menindaklanjuti penyebab dari kegagalan tersebut. Mencari penyebab kegagalan suatu sistem bisa menggunakan *fault tree* (FT). Dalam skripsi ini akan dibahas mengenai membangun FT dari sistem dan analisa kegagalan sistem dengan FT yang diaplikasikan pada sistem penggerak motor sederhana pada AC. Untuk membangun FT perlu diperhatikan cara kerja sistem dan batasannya. Dalam FT ada tiga simbol yang dipakai yaitu simbol gerbang, simbol transfer dan simbol kejadian. Hasil analisa kegagalan sistem dengan FT akan menghasilkan *minimal cut set* yaitu penyebab-penyebab kegagalan sistem terjadi, dan probabilitas terjadinya kegagalan.

Kata Kunci : sistem penggerak motor sederhana, *fault tree*, *minimal cut set*, probabilitas.
xi + 36 halaman ; 30 gambar
Daftar Pustaka : 11 (1981-2011)

ABSTRACT

Name : Trisya Wulandari
Study Program : Mathematics
Title : Analysis of System Failure with Fault Tree

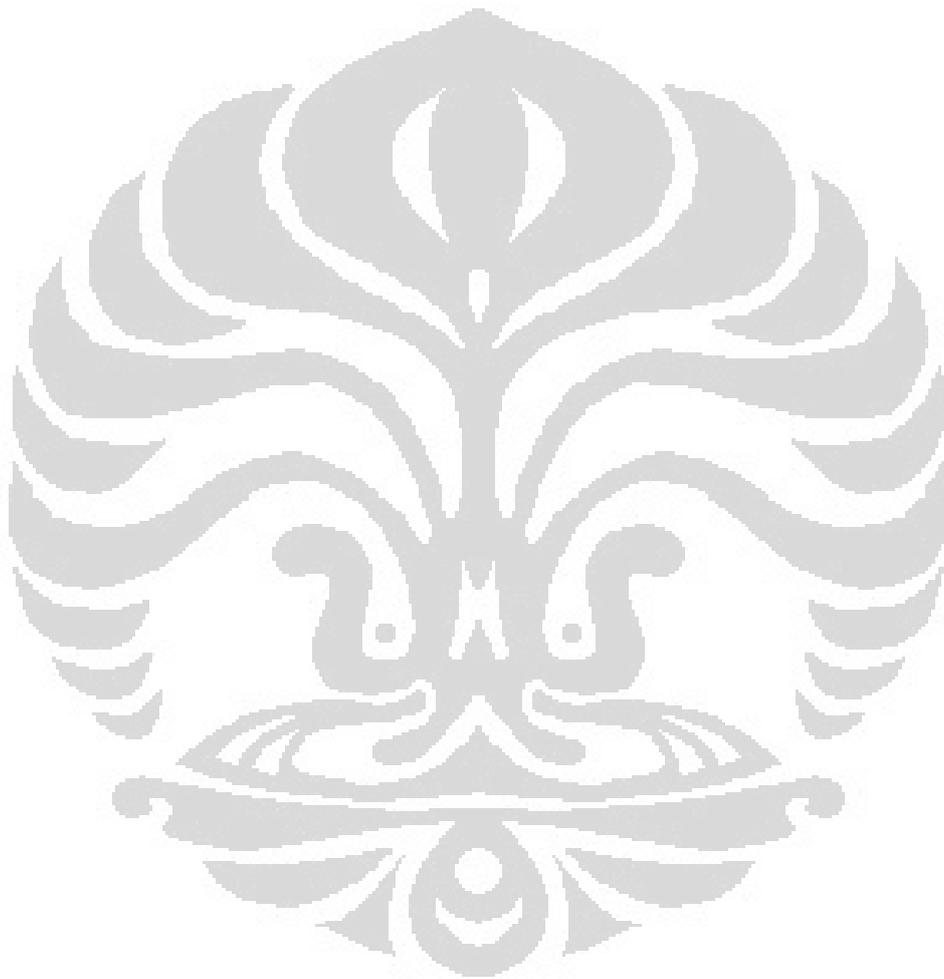
System is a collection of elements that work together for one purpose, for example in air conditioning systems. Problems arise when the system failure in the work. One way around that is to follow up the cause of failure. Finding the cause of the failure of a system can use the fault tree (FT). In this *skripsi* will be discussed on building the FT of the system and failure analysis with the FT system is applied to a simple motor drive system on the AC. To build the FT need to know how the system works and its limitations. In the FT, there are gate symbol, an event symbol and transfer symbol. The results of analysis by the FT from system failure is a minimal cut sets, that are the causes of system failure occurred, and the probability of failure.

Keywords : simple motor drive system, fault tree, minimal cut set, probability.
xi + 36 pages ; 30 pictures
Bibliography :11 (1981-2011)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah dan Ruang Lingkup	2
1.3 Tujuan penelitian	2
1.4 Jenis Penelitian dan Metode yang Digunakan	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 LANDASAN TEORI	4
2.1 Aljabar Boolean.....	4
2.2 Teori Probabilitas	6
BAB 3 SISTEM PENGGERAK MOTOR.....	9
3.1 AC dan Prinsip Kerjanya.....	9
3.2 Sistem Penggerak Motor dan Cara Kerjanya	10
3.3 Komponen dalam Sistem Pengerak Motor.....	11
3.3.1 <i>Power Supply</i>	11
3.3.2 <i>Switch</i>	12
3.3.3 <i>Wire</i>	12
3.3.4 <i>Fuse</i>	12
3.3.5 Motor	12
BAB 4 ANALISA KEGAGALAN SISTEM	14
4.1 <i>Fault Tree</i>	14
4.2 Simbol dan Istilah dalam <i>Fault Tree</i> :.....	15
4.2.1 Simbol Kejadian	15
4.2.2 Simbol Gerbang	18
4.2.3 Simbol Transfer	21
4.3 Aturan Membangun <i>Fault Tree</i>	22
4.4 Tahapan Membangun <i>Fault Tree</i>	23
4.5 <i>Minimal Cut Set</i>	29

4.6 Analisa Kualitatif.....	31
4.7 Analisa Kuantitatif.....	33
BAB 5 KESIMPULAN	35
DAFTAR PUSTAKA.....	37



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Siklus kerja AC (“Cara Kerja AC dan Bagian-bagiannya”)....	10
Gambar 3.2	Sistem penggerak motor (Pandey (2005)).....	10
Gambar 4.1	<i>Basic event</i>	15
Gambar 4.2	<i>Undeveloped event</i>	15
Gambar 4.3	<i>Conditioning event</i>	16
Gambar 4.4	<i>External event</i>	16
Gambar 4.5	<i>Intermediate event</i>	16
Gambar 4.6	Gerbang OR.....	17
Gambar 4.7	Kejadian A terjadi jika B atau C terjadi.....	17
Gambar 4.8	Contoh gerbang OR.....	18
Gambar 4.9	Gerbang AND.....	18
Gambar 4.10	Kejadian A terjadi jika B dan C terjadi.....	18
Gambar 4.11	Contoh gerbang AND.....	19
Gambar 4.12	Gerbang INHIBIT.....	19
Gambar 4.13	Gerbang INHIBIT dengan kejadian khusus	19
Gambar 4.14	Contoh gerbang INHIBIT.....	19
Gambar 4.15	Gerbang EXCLUSIVE OR.....	20
Gambar 4.16	Gerbang PRIORITY AND.....	20
Gambar 4.17	<i>Triangel-in</i>	20
Gambar 4.18	<i>Triangel-out</i>	21
Gambar 4.19	Contoh <i>fault tree</i>	21
Gambar 4.20	<i>Top event</i> untuk <i>fault tree</i> sistem penggerak motor.....	23
Gambar 4.21	<i>Fault tree-1</i>	24
Gambar 4.22	<i>Fault tree-2</i>	25
Gambar 4.23	<i>Fault tree-3</i>	26
Gambar 4.24	<i>Fault tree-4</i>	26
Gambar 4.25	<i>Fault tree-5</i>	27
Gambar 4.26	<i>Fault tree-6</i>	27
Gambar 4.27	Fault tree dari sistem penggerak motor.....	28
Gambar 4.28	Fault tree dengan pemisalan.....	30

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem adalah kumpulan dari elemen-elemen yang berinteraksi untuk mencapai suatu tujuan (Sadjad (2007)). Ada banyak sistem di dunia mulai dari sistem yang ada pada makhluk hidup, sistem pada kendaraan, sistem organisasi sampai sistem tata surya. Pada skripsi ini sistem yang dianalisa adalah yang terdapat pada perangkat keras yaitu sistem penggerak motor sederhana yang terdapat pada AC.

Kondisi ideal terjadi jika perangkat keras tersebut bekerja dengan baik dan benar. Tapi akan ada kondisi dimana perangkat tersebut mengalami gangguan dan gagal bekerja dengan semestinya. Jika kondisi yang demikian terjadi, maka kehidupan manusia akan terganggu. Karenanya perlu diambil suatu tindakan untuk mengatasi kegagalan tersebut dengan mencari penyebabnya dan mengambil langkah perbaikan.

Kegagalan bekerja pada perangkat dapat terjadi karena tiga hal, yaitu faktor dari luar seperti bencana alam, faktor kesalahan manusia atau disebut juga *human error* dan faktor dari dalam perangkat sistem itu sendiri (kegagalan pada sistem dan komponen didalamnya).

Untuk mengetahui penyebab kegagalan pada perangkat yang ada, salah satu metode yang sering digunakan adalah dengan membangun *fault tree*. *Fault tree* dibangun untuk memperlihatkan secara jelas kejadian-kejadian gagal pada sistem dan hubungan diantaranya. Ada tiga macam simbol yang digunakan, yaitu simbol kejadian, simbol gerbang dan simbol transfer. Untuk membangun *fault tree* dimulai dari menentukan kejadian gagal yang tidak diinginkan atau *top event*, kemudian dicari kejadian gagal yang menjadi penyebabnya, hingga didapat kegagalan-kegagalan lain yang sifatnya mendasar atau disebut juga *basic event* yang dapat menyebabkan *top event* terjadi. Setelah *fault tree* dibangun, kegagalan

sistem akan dianalisa dengan aljabar Boolean yang bersesuaian dengan bentuk *fault tree*-nya sehingga nantinya akan didapat beberapa *basic event* dan kombinasinya dimana jika *basic event* tersebut terjadi, maka *top event* juga terjadi. Himpunan *basic event* ini disebut *minimal cut set*. Analisa untuk mendapatkan kegagalan-kegagalan yang mengakibatkan *top event* disebut analisa kualitatif. Selain itu juga bisa dilakukan analisa kuantitatif yaitu untuk mendapatkan probabilitas terjadinya *top event*.

Langkah-langkah dari mulai menentukan *top event*, membangun *fault tree* sampai menganalisa kegagalan sistem dengan *fault tree* termasuk dalam metode Analisa Pohon Kegagalan atau *Fault Tree Analysis* (FTA) (Stamatelatos dkk (2002)). Metode FTA diperkenalkan pada tahun 1962 oleh Bell Telephone Laboratories untuk sistem peluru kendali angkatan udara Amerika Serikat yang kemudian dikembangkan oleh perusahaan Boeing.

Dalam skripsi ini akan dibahas langkah-langkah membangun *fault tree* dan menganalisa kegagalan sistem dengan *fault tree* serta bagaimana penerapannya pada perangkat sistem penggerak motor sederhana.

1.2 Perumusan Masalah dan Ruang Lingkup

Dalam skripsi ini, yang menjadi permasalahan adalah sebagai berikut:

- a) Bagaimana membangun *fault tree* dari sistem?
- b) Bagaimana menganalisa kegagalan sistem dengan *fault tree* menggunakan aljabar Boolean dan teori probabilitas?

Ruang lingkup pembahasan masalah dalam skripsi ini dibatasi untuk sistem penggerak motor sederhana pada AC.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut.

- a) Menjelaskan langkah-langkah untuk mengkonstruksi *fault tree* dari sistem .
- b) Mengetahui cara menganalisa kegagalan sistem dengan *fault tree* menggunakan aljabar boolean dan teori probabilitas.

1.4 Jenis Penelitian dan Metode yang Digunakan

Penelitian dalam skripsi ini bersifat penelitian dasar untuk memahami suatu metode analisa kegagalan sistem dengan *fault tree* dan dilakukan dengan studi pustaka.

1.5 Sistematika Penulisan

Skripsi ini terdiri dari 5 bab. Bab 1 yaitu Pendahuluan, berisi latar belakang, perumusan masalah dan ruang lingkup, tujuan penelitian, jenis penelitian dan metode yang digunakan, dan sistematika penulisan. Bab 2 yaitu Landasan Teori, berisi penjelasan tentang aljabar Boolean dan teori probabilitas. Bab 3 yaitu Sistem Penggerak Motor, berisi tentang AC dan prinsip kerjanya, sistem penggerak motor, cara kerja sistem penggerak motor, komponen dalam sistem. Bab 4 yaitu Analisa Kegagalan Sistem, berisi penjelasan tentang *fault tree*, simbol dan istilah dalam *fault tree*, aturan membangun *fault tree*, langkah-langkah membangun *fault tree*, analisa kualitatif, dan analisa kuantitatif. Bab 5 yaitu Kesimpulan.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Pada bab ini akan diberikan beberapa definisi dan konsep dasar dari aljabar Boolean dan teori probabilitas.

2.1 Aljabar Boolean

Aljabar Boolean merupakan aljabar yang berhubungan dengan variabel-variabel biner dan operasi-operasi logik. Dipelopori oleh George Boole pada abad ke-19. Definisi aljabar Boolean adalah misalkan B adalah himpunan yang didefinisikan pada dua operator biner, $+$ dan \cdot , dan sebuah operator uner, $'$. Misalkan 0 dan 1 adalah dua elemen yang berbeda dari B . Maka, tuple $\langle B, +, \cdot, ', 0, 1 \rangle$ disebut aljabar Boolean jika berlaku aksioma identitas, komutatif, distributif, dan komplemen (sering dinamakan juga Postulat Huntington) (Lipschutz dkk (1992)).

Misalkan $B = \{0,1\}$. Variabel x disebut variable Boolean jika nilai dari x merupakan anggota dari B (Rosen (2003)).

Fungsi dari B_n yaitu himpunan $\{(x_1, x_2, \dots, x_n) \mid x_i \in B, 1 \leq i \leq n\}$ disebut sebagai fungsi Boolean berderajat n (Rosen (2003)).

Fungsi Boolean dapat dinyatakan dengan ekspresi yang dibentuk dari variabel dan operasi Boolean. Ekspresi Boolean dengan variabel x_1, x_2, \dots, x_n didefinisikan secara rekursif sebagai berikut:

- $0, 1, x_1, x_2, \dots, x_n$ adalah ekspresi Boolean.
- Jika E_1 dan E_2 ekspresi Boolean, maka E_1' , $(E_1 \cdot E_2)$, dan $(E_1 + E_2)$ adalah ekspresi Boolean.

Operator-operator logik dasar yang ada pada aljabar Boolean adalah AND, OR dan NOT (komplemen).

Operator AND atau “dan” atau perkalian Boolean mempunyai simbol (\cdot) dimana untuk $x \in B$ mempunyai nilai

$1 \cdot 1 = 1$	$0 \cdot 1 = 0$
$1 \cdot 0 = 0$	$0 \cdot 0 = 0$

Operator OR atau “atau” atau penjumlahan Boolean mempunyai simbol ($+$) dimana $x \in B$ mempunyai nilai

$1 + 1 = 1$	$0 + 1 = 1$
$1 + 0 = 1$	$0 + 0 = 0$

Operator NOT atau komplemen dinotasikan ($'$) dimana $x \in B$ mempunyai nilai

$0' = 1$
$1' = 0$

Dalam aljabar Boolean ada banyak identitas yang bisa digunakan (secara khusus) untuk menyederhanakan desain suatu rangkaian. Identitas Boolean yang banyak digunakan adalah : untuk $x \in B, y \in B, z \in B$, berlaku

- Komutatif, dimana

$$x + y = y + x$$

$$x \cdot y = y \cdot x$$

- Distributif, dimana

$$x \cdot (y + z) = (x \cdot y) + (x \cdot z)$$

$$x + (y \cdot z) = (x + y) \cdot (x + z)$$

- Identitas, dimana

$$x + 0 = x$$

$$x \cdot 1 = x$$

- Asosiatif, dimana

$$x + (y + z) = (x + y) + z$$

$$(x \cdot y) \cdot z = x \cdot (y \cdot z)$$

- Idempotent, dimana

$$x + x = x$$

$$x \cdot x = x$$

- Berlaku hukum de' Morgan.

$$(x \cdot y)' = x' + y'$$

$$(x + y)' = x' \cdot y'$$

- Operasi dengan 1 dan 0 (sifat dominan/ikatan).

$$\begin{aligned}x + 1 &= 1 & x + 0 &= x \\x \cdot 0 &= 0 & x \cdot 1 &= x\end{aligned}$$

- Hukum penyerapan

$$\begin{aligned}x + (x \cdot y) &= x \\x \cdot (x + y) &= x\end{aligned}$$

Identitas-identitas tersebut nantinya akan dipakai untuk mencari *minimal cut set* yang merupakan penyederhanaan ekspresi Boolean yang didapat dari *fault tree*. Sebagai contoh : misalkan terdapat ekspresi Boolean : $Z = A'B + BC' + BC + AB'C'$. Akan dicari bentuk sederhananya menjadi :

$$\begin{aligned}Z &= A'B + BC' + BC + AB'C' \\&= A'B + BC + BC' + AB'C' \text{ (sifat komutatif)} \\&= A'B + BC + (BC' + BC) + AB'C' \text{ (sifat idempoten)} \\&= A'B + (BC + BC') + (BC' + AB'C') \\&= A'B + B(C+C') + C'(B+AB') \text{ (sifat distributif)} \\&= A'B + B + C'(B(1+A) + AB') \text{ (karena } C + C' = 1 \text{ dan sifat dominan)} \\&= (A'B + B) + C'(B+AB+AB') \text{ (sifat distributif)} \\&= B + C'(B+A) \text{ (hukum penyerapan dan karena } B + B' = 1) \\&= B + C'B + C'A \text{ (sifat distributif)} \\&= B(1+C') + C'A \text{ (sifat distributif)} \\&= B + C'A \text{ (sifat dominan)}\end{aligned}$$

Maka bentuk sederhana Z adalah $Z = B + C'A$.

2.2 Teori Probabilitas

Probabilitas suatu peristiwa adalah harga numerik yang menunjukkan seberapa besar kemungkinan bahwa peristiwa itu akan terjadi. Nilai probabilitas suatu peristiwa berada pada 0 sampai 1. Indeks numerik 0 akan mendefinisikan

suatu kejadian yang pasti tidak akan terjadi, sedang indeks numerik 1 akan mendefinisikan suatu kejadian yang pasti terjadi. Berikut diberikan definisi kejadian bebas, gabungan dan kondisional dari sumber Priyanta (2000).

Definisi **kejadian bebas** (*independent events*) adalah jika hasil dari satu *event* tidak mempengaruhi hasil dari *event* yang lain. Contoh dari kejadian bebas ini adalah bila kita melemparkan sebuah dadu dan dan sebuah koin secara bersama-sama. Apapun hasil keluaran yang dihasilkan oleh dadu tidak akan mempengaruhi hasil keluaran koin.

Definisi **kejadian gabungan eksklusif** (*mutually exclusive events*) adalah bila dua kejadian tersebut tidak dapat terjadi secara bersama-sama. Contoh dari kejadian gabungan eksklusif ini adalah bila kita melempar sebuah koin, keluaran yang mungkin adalah bagian atas atau bagian bawah dari uang logam itu, tetapi keduanya tidak mungkin terjadi secara bersama-sama. Contoh lainnya adalah bila kita melempar sebuah dadu, maka mata dadu yang keluar mungkin mata 1, 2, 3, 4, 5, atau 6, tetapi keenam mata dadu ini tidak mungkin keluar secara bersamaan.

Definisi **kejadian kondisional** (*conditional events*) adalah kejadian yang kondisi terjadinya tergantung dari kejadian lain. Misalkan ada dua kejadian A dan B. Probabilitas dari kejadian A adalah diekspresikan dengan $P(A)$ dan probabilitas dari kejadian B diekspresikan dengan $P(B)$, selain itu misalkan pula ada kejadian dari A setelah kondisi B terjadi. Probabilitas dari kejadian ini dapat dinotasikan dengan ekspresi $P(A|B)$. Ekspresi $P(A|B)$ dapat dibaca sebagai probabilitas kondisional kejadian A akan terjadi pada saat kejadian B telah terjadi. Secara matematis probabilitas kondisional ini dapat diekspresikan sebagai

$$P(B | A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)}, P(A) > 0$$

Untuk probabilitas gabungan dua peristiwa : jika terdapat peristiwa A dan B, gabungan kejadian yang mencakup semua unsur atau bagian dari A atau B atau keduanya, probabilitasnya adalah

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

Jika diketahui peristiwa A dan B *mutually exclusive* (saling lepas) maka

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$

Untuk probabilitas irisan dua peristiwa: irisan peristiwa A dan B adalah peristiwa yang mengandung semua unsur persekutuan peristiwa A dan B, probabilitasnya dapat dicari dengan rumus

$$P(A \cap B) = P(A).P(B|A) \text{ atau } P(A \cap B) = P(B).P(A|B)$$

Jika peristiwa A dan B saling bebas maka

$$P(A \cap B) = P(A).P(B)$$



BAB 3

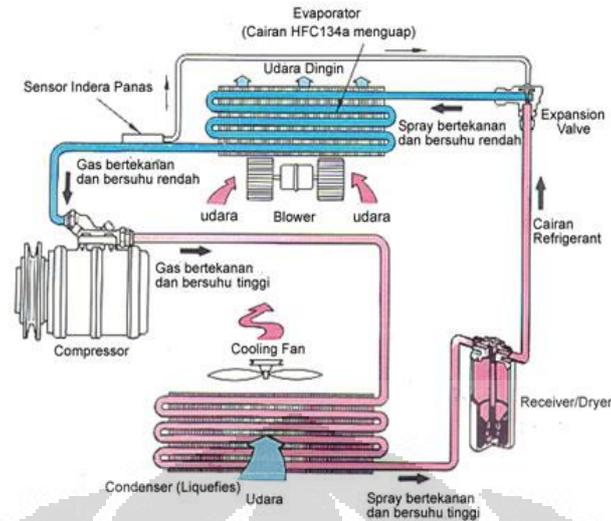
SISTEM PENGGERAK MOTOR

Pada bab ini akan dibahas sistem penggerak motor yang merupakan sub-sistem dari sistem yang bekerja pada AC.

3.1 AC dan Prinsip Kerjanya

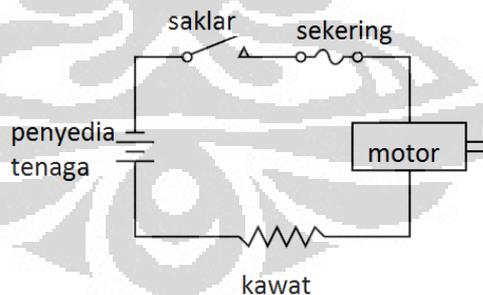
AC berfungsi untuk menyerap kalor dalam ruangan dan melepaskannya di luar. Komponen utama mesin AC adalah kompresor, kondensor, *refrigerant flow control* (katup ekspansi) dan evaporator (*cooling coil*). Disamping itu terdapat komponen bantu yang jenisnya tergantung dari aplikasi dan kapasitas mesinnya, antara lain pipa penghubung pada sisi tekanan rendah dan tekanan tinggi, *strainer*, *dryer*, *heat exchanger*, *fan*, pompa, katub, regulator dan *protector* dan *cooling tower*. Bagian kontrol mesin AC terdiri dari berbagai komponen yang bekerja secara elektrik, pnumatik dan elektronik, antara lain : motor penggerak kompresor dan kipas, kontaktor, relai, motor *starter*, *over load protection*, *capasitor*, *pressure switch*, *thermostat*, *humidistat*, *timer* serta berbagai alat bantu lain yang berupa regulator dan *protector*.

Prinsip kerja AC secara sederhana: untuk menyerap kalor dari udara di ruangan, digunakan cairan freon. Saat menyerap kalor dari ruangan, freon akan berubah menjadi uap bersuhu tinggi. Pompa yang dijalankan oleh motor listrik pada kompresor akan menyalurkan uap freon ke kondensor. Pada tahap ini, uap freon akan diubah mejadi cair dan kalor akan dilepaskan keluar. Cairan freon kemudian akan melewati katup ekspansi. Disini cairan akan diproses kembali menjadi uap. Selanjutnya uap akan masuk ke evaporator, mengambil kalor dari ruangan, sehingga suhu dalam ruangan turun. Uap freon bersuhu tinggi ini kemudian akan masuk ke dalam kompresor dan mengulang siklusnya (“Cara Kerja AC dan Bagian-bagiannya”).



Gambar 3.1 Siklus kerja AC (“Cara Kerja AC dan Bagian-bagiannya”)

Kegagalan utama yang bisa terjadi pada AC adalah AC tersebut rusak atau mati (tidak berfungsi). Kejadian tersebut bisa disebabkan oleh faktor dari luar seperti tidak ada listrik yang mengalir, faktor kesalahan manusia seperti terlalu sering digunakan, atau karena kerusakan pada sistem dan komponen itu sendiri, misalnya aliran freon terhenti karena motor pada kompresor tidak bekerja. Motor tersebut digerakan oleh sistem penggerak motor pada kompresor dan merupakan sub-sistem pada AC.



Gambar 3.2 Sistem penggerak motor (Pandey (2005))

3.2 Sistem Penggerak Motor dan Cara Kerjanya

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan

untuk, misalnya, memutar *impeller* pompa, kipas atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (*mixer*, bor listrik, kipas angin) dan di industri.

Pada AC, sistem penggerak motor sederhana digunakan untuk memutar kompresor. Jika kompresor tidak berputar maka sirkulasi refrigerant terhenti sehingga AC tidak dapat digunakan untuk mendinginkan ruangan. Selain itu di dalam kompresor juga ada sistem tersendiri dimana jika gagal berfungsi, AC juga tidak dapat digunakan.

Untuk bekerjanya, sistem ini membutuhkan tenaga berupa aliran listrik. Sistem ini bekerja saat ada aliran listrik yang masuk ke *power supply* dan tombol *switch* atau saklar ditekan (diposisikan dalam kondisi tertutup atau *on*), sehingga arus listrik yang melewati kawat (*wire*) dan yang melewati saklar dan sekering dapat bertemu di motor sehingga motor bergerak. Jika hanya salah satu arus yang sampai ke motor, motor tidak dapat bergerak (Pandey (2005)).

3.3 Komponen dalam Sistem Penggerak Motor

Berikut akan dijelaskan sedikit mengenai komponen-komponen yang digunakan dalam sistem penggerak motor sederhana (Pandey (2005)).

3.3.1 Power supply

Power supply atau penyedia tenaga yang dalam sistem ini adalah arus listrik, merupakan komponen penting dalam sistem tersebut. Jika tidak ada arus listrik yang mengalir, maka sistem tidak dapat bekerja. Besarnya tegangan yang masuk juga harus disesuaikan, jika tegangan terlalu rendah, sistem tidak dapat bekerja, dan jika tegangan terlalu tinggi, sistem tersebut akan rusak, bahkan bisa menimbulkan kebakaran.

3.3.2 Switch

Switch atau tombol saklar biasa digunakan sebagai penyambung atau pemutus arus listrik jika suatu alat listrik tidak digunakan lagi. Tombol saklar disini juga mempunyai fungsi yang sama, yaitu sebagai penyambung atau

pemutus arus listrik. Jika tombol saklar berada dalam posisi *off* atau terbuka maka arus listrik tidak akan sampai ke motor, sehingga motor tidak bergerak.

Sebaliknya, jika tombol saklar dalam posisi *on* atau tertutup, maka arus listrik yang sampai ke motor dapat menggerakkan motor tersebut.

Tombol saklar ini gagal berfungsi jika tombol tersebut dibuka secara keliru.

3.3.3 Wire

Wire atau kawat merupakan penghubung arus listrik. Kawat penghubung mempunyai berbagai macam jenis, tergantung besarnya tegangan yang dapat ditampung oleh kawat tersebut. Oleh karena itu, perlu diperhatikan untuk memakai kawat yang sesuai dengan besarnya tegangan. Kawat penghubung bisa putus jika tegangan yang masuk ke dalamnya melebihi daya tampung.

3.3.4 Fuse

Fuse atau sekering adalah alat yang digunakan sebagai pengaman jika terjadi arus pendek yang bisa menyebabkan kebakaran atau jika ada kelebihan tegangan. Jika arus pendek atau kelebihan tegangan terjadi, sekering akan secara otomatis putus untuk menghentikan arus listrik yang mengalir. Namun dalam sekering itu sendiri bisa terjadi kesalahan komponen.

3.3.5 Motor

Motor dalam sistem ini merupakan komponen penting dimana sistem bekerja untuk menggerakkan motor. Motor bisa bergerak jika dimasuki dua arus listrik yang mengalir dari bawah (yang melewati kawat penghubung) dan yang mengalir diatas (yang melewati saklar dan sekering).

Isi dalam motor diantaranya gulungan kawat dan *bearing*. Motor bisa tidak bekerja jika gulungan kawat dalam motor terbakar, atau bisa juga karena bearing (tempat kedudukan as/poros motor) sudah aus.

BAB 4 ANALISA KEGAGALAN SISTEM

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengertian *fault tree analysis* dan *fault tree*, simbol dan istilah pada *fault tree*, aturan untuk membangun *fault tree*, langkah-langkah membangun *fault tree* dari sistem, dan analisa kegagalan sistem dengan *fault tree*.

4.1 *Fault Tree*

Metode FTA sering digunakan untuk menganalisa kegagalan sistem. *Fault Tree Analysis* (FTA) adalah metode analisa, dimana terdapat suatu kejadian yang tidak diinginkan disebut *undesired event* terjadi pada sistem, dan sistem tersebut kemudian dianalisa dengan kondisi lingkungan dan operasional yang ada untuk menemukan semua cara yang mungkin terjadi yang mengarah pada terjadinya *undesired event* tersebut (Vesely dkk, 1981).

Dengan metode FTA ini, akan dapat diketahui kegagalan-kegagalan yang menjadi penyebab terjadinya *undesired event*, dan probabilitas terjadinya *undesired event* tersebut. Mencari penyebab-penyebab *undesired event* adalah analisa secara kualitatif, dan mencari probabilitas adalah analisa secara kuantitatif. Dengan melakukan analisa kualitatif, maka dapat diketahui bagian mana dari sistem yang gagal dan perlu dilakukan tindakan perbaikan dan pencegahan berdasarkan kegagalan yang ada agar kejadian yang sama tidak terulang. Analisa kuantitatif dilakukan untuk mengetahui berapa probabilitas terjadinya *undesired event*. Jika angka tersebut mendekati 1, maka sistem perlu diperbaiki atau dilakukan perawatan pada bagian-bagian yang gagal dari hasil analisa kualitatif. Dengan menurunkan angka probabilitas kegagalan-kegagalan tersebut, sistem yang didapat akan semakin baik.

Untuk menganalisa kegagalan sistem dengan metode FTA, perlu dibuat pohon kegagalan atau *fault tree* dari sistem yang dianalisa terlebih dahulu. *Fault*

tree adalah model grafis dari kegagalan-kegagalan pada sistem dan kombinasinya yang menghasilkan terjadinya *undesired event* (Vesely dkk, 1981). Kegagalan yang ada pada sistem bisa dikarenakan kegagalan pada komponennya, kegagalan pada manusia yang mengoperasikannya atau disebut juga *human error*, dan kejadian-kejadian di luar sistem yang dapat mengarah pada terjadinya *undesired event*.

Fault tree dibangun berdasarkan pada salah satu *undesired event* yang dapat terjadi pada sistem. Hanya bagian-bagian tertentu dari sistem yang berhubungan beserta kegagalan-kegagalan yang ada, yang dipakai untuk membangun *fault tree*.

Pada satu sistem bisa terdapat lebih dari satu *undesired event* dan masing-masing *undesired event* mempunyai representasi *fault tree* yang berbeda-beda yang disebabkan faktor-faktor atau bagian-bagian sistem dan kegagalan yang mengarah pada satu kejadian berbeda dengan lainnya. Pada *fault tree*, *undesired event* yang akan dianalisa disebut juga *top event*.

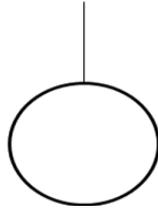
4.2 Simbol dan Istilah dalam *Fault Tree*

Simbol-simbol dan istilah yang digunakan dalam *fault tree* adalah simbol kejadian, simbol gerbang dan simbol transfer.

4.2.1 Simbol Kejadian

Simbol kejadian adalah simbol yang berisi keterangan kejadian pada sistem, yaitu :

- *Basic event*

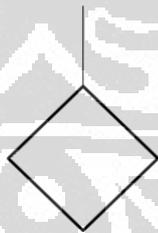


Gambar 4.1. *Basic event*

Simbol lingkaran ini digunakan untuk menyatakan *basic event* atau *primary event* atau kegagalan mendasar yang tidak perlu dicari penyebabnya. Artinya, simbol lingkaran ini merupakan batas akhir penyebab suatu kejadian.

Contohnya: saat terjadi kecelakaan lalu lintas seperti tabrakan di jalan raya, jika diketahui keadaan kendaraan dan sarana yang ada berfungsi dengan baik, maka penyebab kecelakaan tersebut adalah akibat kesalahan para pengemudi kendaraan (mengemudi dalam keadaan mengantuk, melaju terlalu kencang/ngebut, atau bertindak sembrono/ugal-ugalan). Maka kesalahan manusia (*human error*) merupakan *basic event* dari kecelakaan lalu lintas.

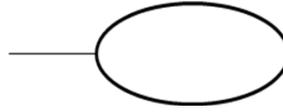
- *Undeveloped event*



Gambar 4.2 *Undeveloped event*

Simbol wajik atau *diamond* ini untuk menyatakan *undeveloped event* atau kejadian tidak berkembang, yaitu suatu kejadian kegagalan tertentu yang tidak dicari penyebabnya baik karena kejadiannya tidak cukup berhubungan atau karena tidak tersedia informasi yang terkait dengannya.

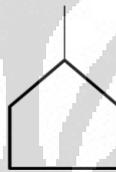
- *Conditioning event*



Gambar 4.3 *Conditioning event*

Simbol oval ini untuk menyatakan *conditioning event*, yaitu suatu kondisi atau batasan khusus yang diterapkan pada suatu gerbang (biasanya pada gerbang INHIBIT dan PRIORITY AND). Jadi kejadian *output* terjadi jika kejadian *input* terjadi dan memenuhi suatu kondisi tertentu.

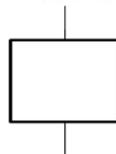
- *External event*



Gambar 4.4 *External event*

Simbol rumah digunakan untuk menyatakan *external event* yaitu kejadian yang diharapkan muncul secara normal dan tidak termasuk dalam kejadian gagal.

- *Intermediate event*



Gambar 4.5 *Intermediate event*

Simbol persegi panjang ini berisi kejadian yang muncul dari kombinasi kejadian-kejadian *input* gagal yang masuk ke gerbang.

4.2.2. Simbol Gerbang

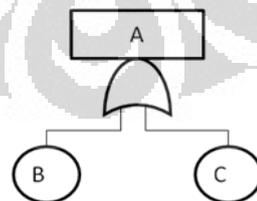
Simbol gerbang dipakai untuk menunjukkan hubungan diantara kejadian input yang mengarah pada kejadian output dengan kata lain, kejadian output disebabkan oleh kejadian input yang berhubungan dengan cara tertentu. Simbol gerbang yaitu:

✓ Gerbang OR



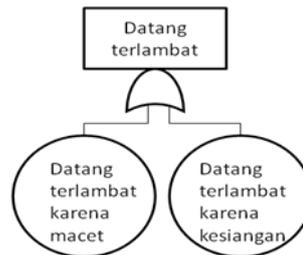
Gambar 4.6. Gerbang OR

Gerbang OR dipakai untuk menunjukkan bahwa kejadian yang akan muncul terjadi jika satu atau lebih kejadian gagal yang merupakan inputnya terjadi. Kejadian A terjadi jika *basic event* B terjadi, *basic event* C tidak terjadi. Kejadian A juga terjadi jika *basic event* C terjadi, *basic event* B tidak terjadi. Kejadian A terjadi jika kedua *basic event* terjadi.



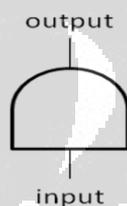
Gambar 4.7. Kejadian A terjadi jika B atau C terjadi

Contohnya: datang terlambat karena macet atau kesiangan. Jika macet, maka datang terlambat, jika kesiangan, juga datang terlambat, jika kesiangan dan macet, juga datang terlambat.



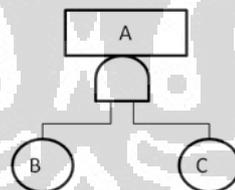
Gambar 4.8. Contoh gerbang OR

✓ Gerbang AND



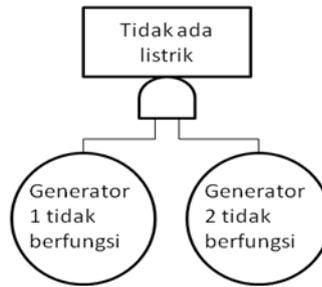
Gambar 4.9. Gerbang AND

Gerbang AND digunakan untuk menunjukkan kejadian *output* muncul hanya jika semua *input* terjadi.



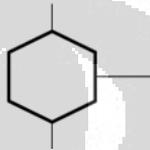
Gambar 4.10. Kejadian A terjadi jika B dan C terjadi

Kejadian A terjadi jika kejadian B terjadi, kejadian C juga terjadi pada satu waktu. Contohnya: tidak adanya listrik disebabkan oleh generator 1 tidak berfungsi, generator 2 tidak berfungsi. Jika salah satu generator masih berfungsi, maka masih ada listrik, jika dua-duanya tidak berfungsi, maka tidak ada listrik.



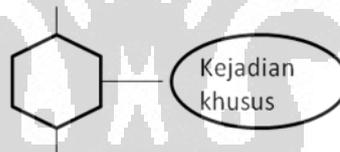
Gambar 4.11. Contoh gerbang AND

✓ Gerbang INHIBIT



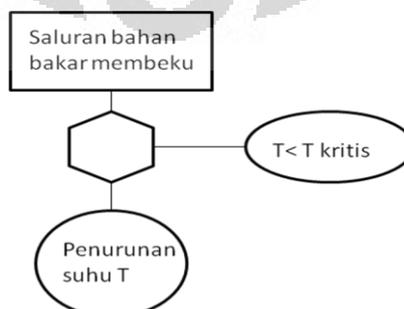
Gambar 4.12. Gerbang INHIBIT

Gerbang INHIBIT, dilambangkan dengan segi enam, merupakan kasus khusus dari gerbang AND. Output disebabkan oleh satu input, tetapi juga harus memenuhi kondisi tertentu sebelum input dapat menghasilkan output.



Gambar 4.13. Gerbang INHIBIT dengan kejadian khusus

Contohnya: saluran bahan bakar (bensin) membeku jika terjadi penurunan suhu dimana suhu tersebut lebih kecil dari suhu kritis.



Gambar 4.14. Contoh gerbang INHIBIT

- ✓ Gerbang EXCLUSIVE OR



Gambar 4.15. Gerbang EXCLUSIVE OR

Gerbang EXCLUSIVE OR adalah gerbang OR dengan kasus tertentu, yaitu kejadian output muncul jika tepat satu kejadian ikut muncul.

- ✓ Gerbang PRIORITY AND



Gambar 4.16 gerbang PRIORITY AND

Gerbang PRIORITY AND adalah gerbang AND dengan syarat dimana kejadian output muncul hanya jika semua kejadian input muncul dengan urutan tertetu.

4.2.3 Simbol Transfer

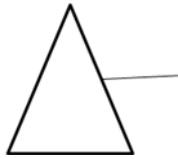
- *Triangle-in*



Gambar 4.17. *Triangle-in*

Triangle-in atau *transfers-in*, titik dimana *sub-fault tree* bisa dimulai sebagai kelanjutan pada *transfers out*.

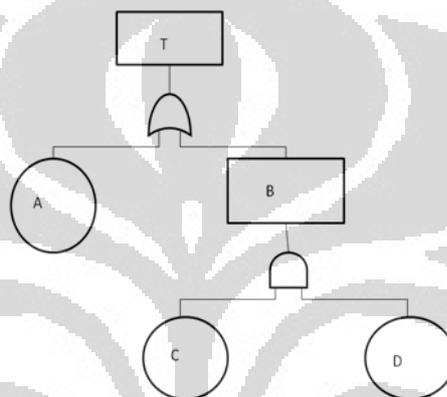
- *Triangle out*



Gambar 4.18. *Triangle-out*

Triangle-out atau *transfers out*, titik dimana *fault tree* dipecah menjadi *sub-fault tree*.

Contoh *fault tree*:



Gambar 4. 19. Contoh *fault tree*

Gambar 4.19 menyatakan bahwa kejadian *top event* T terjadi jika kejadian A terjadi atau kejadian B terjadi. Kejadian A merupakan *basic event* yang tidak diselidiki lagi penyebabnya, sedangkan kejadian B merupakan *intermediate event* dan terjadi jika kejadian C dan kejadian D terjadi. Kejadian C dan D merupakan *basic event*.

4.3 Aturan Membangun *Fault Tree*

Untuk membangun *fault tree* dari kegagalan sistem dibutuhkan aturan, yaitu (Pandey (2005)):

1. Aturan I: “tuliskan semua pernyataan yang dimasukkan ke dalam simbol kejadian sebagai kesalahan, tentukan apa keagalannya dan kapan kegagalan tersebut muncul”

Artinya, pendefinisian kegagalan harus jelas, apa keagalannya dan kapan terjadinya.

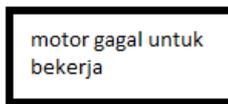
2. Aturan II: “jika jawaban dari pertanyaan “apakah kegagalan disebabkan kegagalan komponen?” adalah “ya”, masukkan kejadian tersebut sebagai kondisi kegagalan komponen. Jika jawabannya “tidak”, masukkan sebagai kondisi kegagalan sistem”
3. Aturan III: “kondisi kegagalan sistem menggunakan gerbang AND, OR, atau INHIBIT, atau tidak menggunakan gerbang sama sekali”
4. Aturan IV: “kondisi kegagalan komponen selalu menggunakan gerbang OR”
5. Aturan V. *No gate-to-gate*: “gerbang input harus mendefinisikan kejadian kesalahan secara tepat, dan gerbang tidak boleh secara langsung dihubungkan dengan gerbang yang lain”
6. Aturan VI. *No miracle*: “jika fungsi normal dari komponen membuat barisan kesalahan, maka diasumsikan komponen tersebut berfungsi secara normal”
7. Aturan VII: Dalam gerbang OR, input tidak menyebabkan output
8. Aturan VIII: Di gerbang AND definisikan hubungan sebab
9. Aturan IX: Gerbang INHIBIT menyatakan hubungan antara satu kesalahan dengan kesalahan lain, tetapi harus disertakan kondisi.

4.4 Langkah-langkah Membangun *Fault Tree*.

Langkah-langkah membangun *fault tree* dari sistem:

- I. Langkah 1. Menentukan tujuan yang akan dicapai dari FTA. Tujuan FTA sekarang adalah mengetahui penyebab-penyebab AC tidak bekerja. Karena terlalu besar, maka akan diperkecil pada sub-sistemnya. Sub-sistem yang dipakai sistem penggerak motor, karenanya tujuan dari FTA menjadi mencari penyebab-penyebab motor di kompresor tidak bekerja yang menjadi salah satu penyebab AC tidak bekerja.

- II. Langkah 2. Definisikan *top event*. Karena kondisi awal dari sistem adalah pada saat motor bergerak, maka kita memilih *top event* yaitu pada saat “motor gagal untuk bekerja”. Setelahnya akan dimulai membuat struktur dari *fault tree*.



Gambar 4.20. *top event* untuk *fault tree* sistem penggerak motor

- III. Langkah 3. Definisikan batasan, cakupan dari sistem dan perhatikan aturan dari FTA. Pada langkah pertama membuat *fault tree* akan didefinisikan kegunaan atau tujuan dari sistem tersebut, batasan fisiknya, batasan analitis, dan kondisi awal dari sistem.

1. Kegunaan dari sistem. Sistem ini dirancang agar bisa menggerakkan motor listrik yang ada dalam sistem.
2. Batasan fisik. Sistem ini hanya bisa dijalankan jika ada arus listrik yang mengalir didalamnya. Jika tidak ada arus listrik, maka sistem tidak dapat digunakan sesuai fungsinya.
3. Batasan analitis. Batasan ini mencakup pada semua kemungkinan atau kontribusi yang bisa terjadi pada sistem.
4. Kondisi awal. Kondisi awal dari sistem ini adalah saat dimana tombol saklar dalam keadaan tertutup sehingga menggerakkan motor.

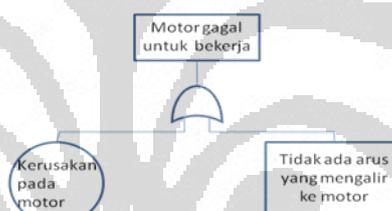
- IV. Langkah 4. Memulai membuat *fault tree* dari atas. Disini akan diselidiki kejadian apa saja yang bisa mengakibatkan *top event* terjadi.

Jika motor gagal untuk untuk beroperasi, padahal sesuai kondisi awal tombol saklar dalam posisi tertutup dan motor bekerja , bisa disebabkan karena beberapa hal. Karena tombol saklar dalam kondisi tertutup dan seharusnya motor tersebut bekerja, maka yang bisa menyebabkan motor tersebut tidak bekerja adalah terdapat kerusakan pada motor tersebut. Kerusakan dalam motor bisa berupa terbakarnya gulungan dalam motor atau bearing yang perlu diberi minyak.

Karena tidak diberikan keterangan untuk motor yang lebih detil, maka kejadian rusaknya motor menjadi *basic event*.

Selain karena rusaknya motor tersebut, kejadian yang memungkinkan terjadinya motor tidak bekerja adalah tidak ada arus listrik yang sampai ke motor walaupun menurut kondisi awal, tombol saklar yang tertutup harusnya dapat mengalirkan listrik dari *power supply* ke motor.

Karena salah satu dari dua kejadian, rusaknya motor dan tidak arus yang sampai ke motor, bisa menyebabkan motor tidak bekerja, maka gerbang pertama yang dipakai mengarah langsung ke *top event* adalah gerbang OR (kegagalan sistem atau kegagalan komponen). Disini kejadian tidak ada arus yang mengalir bisa diselidiki lagi penyebabnya, sehingga kejadian tersebut bukan *basic event*. Dengan demikian didapat kejadian yang mengarah pada *top event* yaitu kerusakan pada motor dan tidak ada arus yang mengalir dengan gerbangnya OR seperti pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21. *fault tree-1*

Sekarang untuk dicari penyebab yang mungkin terjadi sehingga bisa terjadi tidak ada arus listrik yang mengalir ke motor.

Kejadian tidak ada arus listrik yang mengalir bisa dikarenakan ke empat komponen yang ada mengalami kesalahan saat bekerja. Kenapa langsung ke empatnya? Karena jika salah satu komponen tersebut mengalami gangguan, maka sistem tidak dapat bekerja karena ada gangguan pada arus listrik yang mengalir.

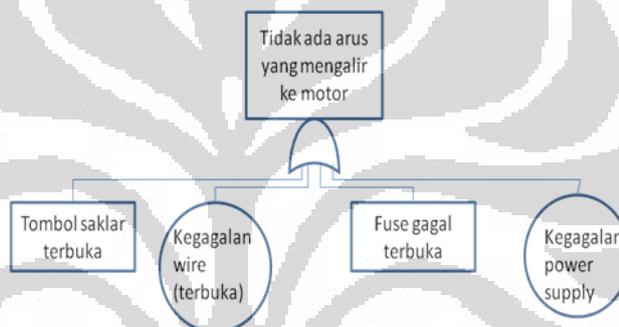
Kejadian tidak ada arus yang mengalir ke motor bisa terjadi karena:

1. tombol saklar dalam keadaan terbuka
2. kesalahan pada kabel (ada kabel yang terbuka)
3. sekering gagal terbuka
4. kegagalan dalam *power supply*

Kejadian pertama yaitu tombol saklar dalam keadaan terbuka bisa dicari penyebabnya, sehingga bukan merupakan *basic event*. Kejadian kedua yaitu terdapat kegagalan dalam kawat penghubung. Kejadian ini termasuk pada *basic event* karena tidak ada informasi tentang kawat yang dipakai sehingga tidak bisa ditindaklanjuti.

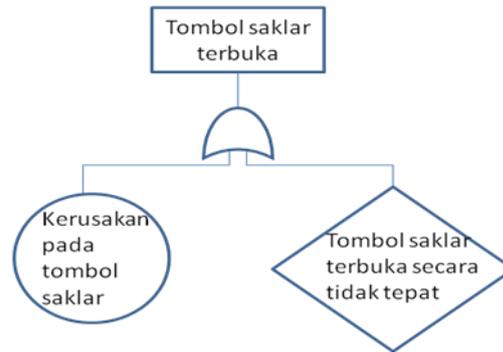
Ada beberapa kemungkinan yang bisa terjadi untuk menyebabkan kejadian ketiga yaitu sekering yang gagal terbuka muncul. dan untuk kegagalan dalam *power supply* termasuk dalam *basic event*.

Diantara keempat kejadian tersebut, jika salah satu terjadi maka kejadian tidak ada arus yang mengalir ke motor bisa terjadi, sehingga gerbang kedua yang dipakai adalah OR. Hasil pada tahap ini ditunjukkan pada Gambar 4.22.

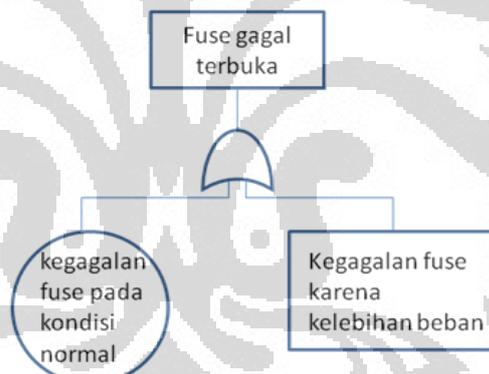


Gambar 4.22. *fault tree-2*

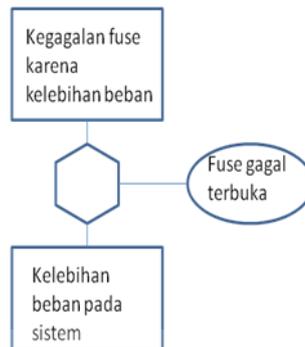
Yang selanjutnya akan diselidiki adalah mengapa tombol saklar bisa terbuka. Kejadian ini bisa terjadi karena tombol saklar terbuka yang disebabkan karena kerusakan pada tombol saklar tersebut, atau karena tombol terbuka secara tidak tepat. Kejadian dimana tombol saklar terbuka merupakan *basic event* karena kerusakan ada pada tombol, sedangkan tombol saklar yang terbuka secara tidak tepat bisa terjadi karena faktor manusia yang menekan tombol tersebut. Faktor manusia disini bisa dikembangkan lebih lanjut, namun karena informasi yang tidak cukup untuk mengembangkannya, kejadian ini dimasukkan dalam symbol wajik. Gerbang ketiga yang dipakai adalah gerbang OR karena jika salah satu dari dua kejadian tersebut terjadi, maka bisa mengakibatkan tombol saklar dalam kondisi terbuka. Gambar 4.23 menunjukkan hasil analisa untuk kejadian tombol saklar terbuka.

Gambar 4.23. *fault tree-3*

Untuk kejadian kegagalan dalam sekering penyebab yang mungkin adalah kegagalan dalam sekering itu sendiri atau karena kelebihan beban arus yang mengalir. Gerbang keempat yang dipakai adalah OR. Karena terdapat kesalahan dalam sekering itu sendiri, kejadian ini termasuk *basic event*. sedangkan untuk kelebihan beban yang diterima bisa diselidiki lagi penyebabnya. *Fault tree* untuk kejadian sekering gagal terbuka adalah seperti pada Gambar 4.24.

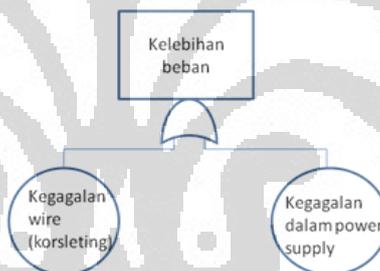
Gambar 4.24. *fault tree-4*

Sekering digunakan untuk memutus aliran listrik jika aliran tersebut melebihi beban yang sanggup diterima. Sekering akan terbuka jika terjadi kelebihan beban yang melewatinya. Kegagalan sekering karena kelebihan beban muncul jika sekering gagal untuk terbuka setiap kali terjadi kelebihan beban. Kejadian kedua ini terjadi jika ada kelebihan beban pada sistem dan sekering yang gagal terbuka. Kejadian gagalnya sekering untuk membuka adalah kondisi khusus yang harus dipenuhi jika ada kelebihan beban pada sistem, sehingga dipakai gerbang INHIBIT seperti pada Gambar 4.25.



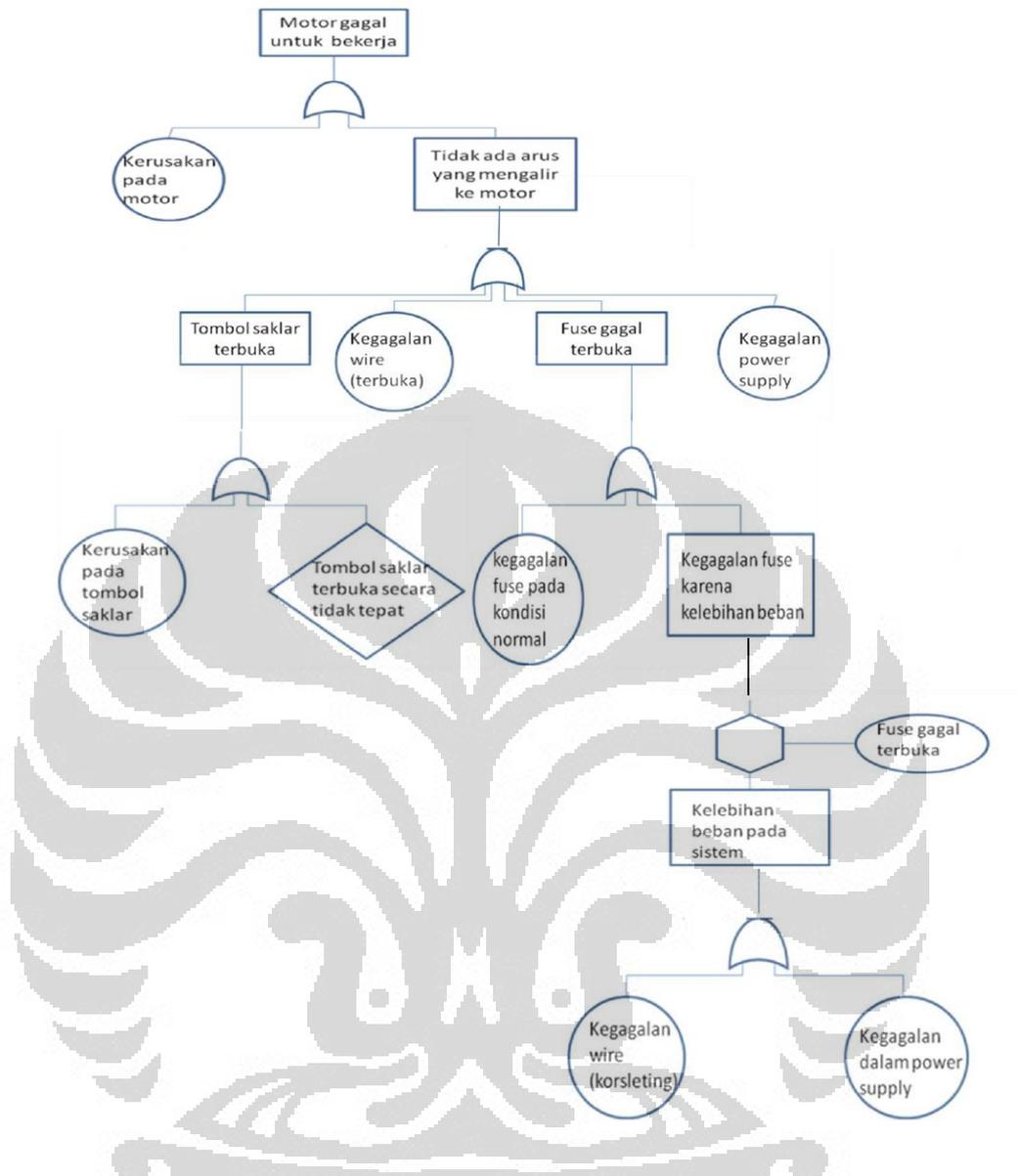
Gambar 4.25. fault tree-5

Kejadian kelebihan beban pada sistem, bisa terjadi karena korsleting (kegagalan pada kawat penghubung) atau kelebihan tegangan dari *power supply*. Kedua kejadian ini termasuk dalam *basic event*. Karena jika salah satu terjadi bisa mengakibatkan kelebihan beban pada sistem, maka gerbang yang dipakai adalah OR. Hasil *fault tree* untuk kelebihan beban adalah pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26. fault tree-6

Karena tidak ada yang bisa diselidiki lagi, maka langkah 4 selesai. Hasil akhir *fault tree*nya adalah:



Gambar 4.27 *Fault Tree* dari sistem penggerak motor

V. Langkah 5. Menganalisa FT secara kualitatif dan kuantitatif.

Untuk menganalisa secara kualitatif dan kuantitatif, dari *fault tree* yang didapatkan diatas, akan dicari terlebih dahulu *minimal cut set*nya dengan 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.

4.5 Minimal Cut Set

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 (Vesely dkk, 1981).

Berikut ini akan dijelaskan mencari *minimal cut set* dengan menggunakan metode aljabar Boolean. Pada Gambar 4.27, simbol gerbang yang dipakai adalah gerbang OR, AND dan INHIBIT. Gerbang OR adalah gerbang yang menyatakan gabungan dari kejadian yang ada dan bersesuaian dengan operasi penjumlahan dalam aljabar boolean, sedangkan gerbang AND dan INHIBIT adalah gerbang yang menyatakan irisan dari kejadian (untuk gerbang INHIBIT termasuk kondisi khusus yang harus dipenuhi) yang ada dan bersesuaian dengan operasi perkalian dalam aljabar Boolean.

Pertama beri pemisalan pada tiap-tiap gerbang dan kejadian.

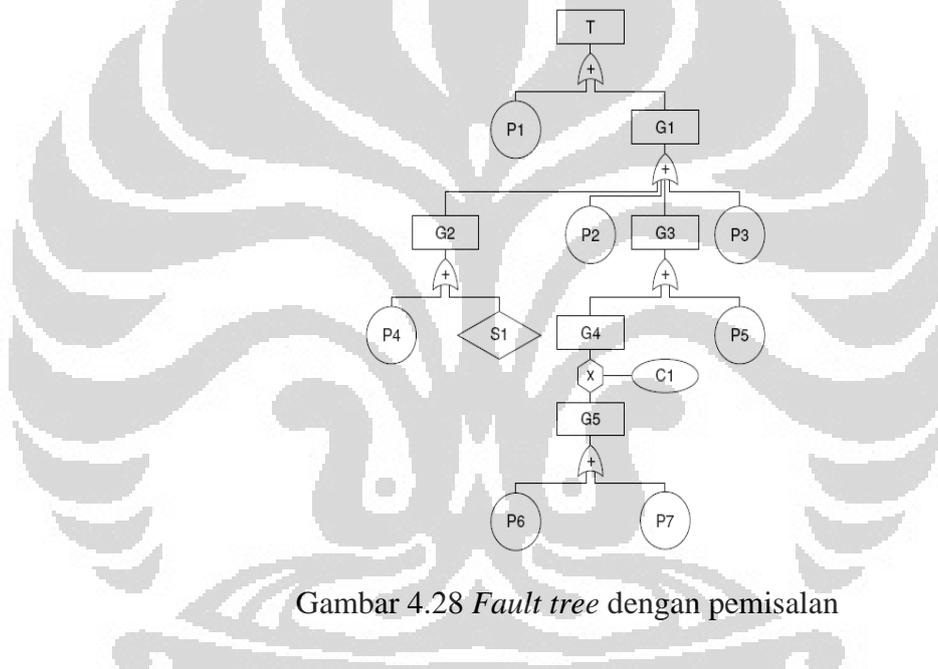
Misalkan : T adalah *top event*
 P adalah *primary event (basic event)*
 G adalah *intermediate event*
 S adalah *undeveloped event*
 C adalah *conditioning event*

Dan misalkan:

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

Dengan menempatkan tiap pemisalan pada tempat yang bersesuaian, sesuai dengan Gambar 4.27 akan didapat *fault tree* seperti dibawah ini:



Gambar 4.28 *Fault tree* dengan pemisalan

Dari gambar bisa didapat persamaan Booleannya :

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

Menggunakan pendekatan dari atas ke bawah, didapat:

$$T = P1 + G1 \text{ (karena } G1 = P2 + P3 + G2 + G3)$$

$$\begin{aligned}
&= P1+P2+P3+G2+G3 \text{ (karena } G2=P4+S1, G3=G4+P5) \\
&= P1+P2+P3+P4+S1+G4+P5 \text{ (karena } G4=C1.G5) \\
&= P1+P2+P3+P4+S1+(C1.G5)+P5 \text{ (karena } G5=P6+P7) \\
&= P1+P2+P3+P4+S1+P5+(C1.(P6+P7)) \text{ (sifat distributif)} \\
&= P1+P2+P3+P4+S1+P5+(C1.P6)+(C1.P7)
\end{aligned}$$

Maka *minimal cut set* dari Gambar 4.28 adalah adalah {P1}, {P2}, {P3}, {P4}, {P5}, {S1}, {C1,P6}, {C1,P7}

4.6 Analisa Kualitatif

Analisa kualitatif adalah untuk mendapatkan kombinasi kegagalan yang menyebabkan *top event* pada suatu sistem atau *minimal cut set* itu sendiri. Dari *minimal cut set* dapat diketahui berapa banyak kejadian yang dapat langsung menyebabkan *top event* terjadi. Jika terdapat satu *basic event* yang dapat langsung menyebabkan *top event* terjadi, maka *basic event* tersebut lebih dahulu diperhatikan dalam perbaikan sistem dibandingkan dengan yang disebabkan dua *basic event*, karena jika terdapat dua *basic event* dalam *minimal cut set*, berarti kedua *basic event* tersebut harus terjadi baru kemudian *top event* terjadi (Priyanta, 2000).

Hasil analisa kualitatif dari kegagalan sistem pada sistem penggerak motor sederhana dengan *top event* yaitu motor tidak bekerja adalah *top event* terjadi jika kejadian di bawah ini, yaitu kejadian:

- a. Kerusakan pada motor
- b. Kegagalan pada kawat
- c. Kegagalan pada power supply (tidak ada arus)
- d. Kerusakan pada saklar
- e. Kegagalan saklar terbuka pada kondisi normal
- f. Saklar terbuka secara keliru
- g. Kegagalan pada sekering dan kawat
- h. Sekring gagal terbuka dan tidak ada power supply

Dengan mengetahui penyebab-penyebab yang mengakibatkan motor pada sistem penggerak motor sederhana di AC tidak bekerja, seorang tukang reparasi AC dapat langsung melakukan perbaikan pada bagian sistem yang mengalami kerusakan.

4.7 Analisa Kuantitatif

Analisa kuantitatif dilakukan untuk menaksir kemungkinan atau probabilitas dari kejadian yang akan diselidiki. Analisa ini sangat penting dilakukan dalam hal-hal yang mengandung resiko besar, seperti pelaksanaan peluncuran roket ke luar angkasa dan pemasangan instalasi nuklir, dimana jika terjadi suatu kejadian yang tidak diinginkan, ada resiko kematian bagi orang-orang yang terlibat didalamnya, belum termasuk kerugian materil dan kerusakan pada lingkungan. Salah satu metode untuk menaksir probabilitas dari risiko adalah *Probabilistic Risk Assessment* (PRA) seperti yang dipakai oleh NASA untuk menaksir probabilitas suksesnya mengirim astronot ke bulan dan mengembalikannya ke bumi dengan selamat (Stamatelatos (2002)).

Perlu diperhatikan bahwa, banyak hal yang harus dipertimbangkan untuk bisa menaksir probabilitas resiko suatu perangkat sistem, misalnya kondisi saat sistem bekerja, gangguan dari luar sistem, dan seberapa sering perawatan sistem dilakukan. Namun dalam skripsi ini, hal tersebut tidak dibahas lebih lanjut.

Analisa kuantitatif dari FTA memberikan manfaat khusus, namun memerlukan konsep dasar tentang probabilitas. Top *event* dapat direpresentasikan sebagai gabungan dari minimal cut set. Maka probabilitas dari top *event* dapat ditaksir dengan penjumlahan dari probabilitas masing-masing cut set. Tipe aproksimasi ini berlaku jika probabilitas *basic event* kurang dari 0,1 (disebut *rare event approximations*) (Beresh, dkk (2008)).

Contoh kasus untuk analisa kuantitatif. Diketahui probabilitas kegagalan pada masing-masing *basic event* (Pandey, 2005):

Table 1. Probabilitas kegagalan

Simbol	Deskripsi	Probabilitas
P1	Kerusakan pada motor	0,01
P2	Kegagalan pada kawat (terbuka)	0,01
P3	Kegagalan pada power supply (tidak ada arus)	0,01
P4	Kerusakan pada saklar	0,01
P6	Kegagalan pada kawat (hubungan pendek)	0,01
P5	Kegagalan saklar terbuka pada kondisi normal	0,01
P7	Kegagalan power (arus yang tiba-tiba)	0,01
S1	Saklar terbuka secara keliru	0,001
C1	Sekering gagal terbuka	0,50

Minimal cut set yang didapat dari analisa kualitatif adalah {P1}, {P2}, {P3}, {P4}, {P5}, {S1}, {C1,P6}, {C1,P7}. Maka dari probabilitas *basic event* di atas, didapat probabilitas *top event* (T) terjadi adalah

$$\begin{aligned}
 T &= P1 + P2 + P3 + P4 + S1 + P5 + (C1 \cdot P6) + (C1 \cdot P7) \\
 &= 0.01 + 0.01 + 0.01 + 0.01 + 0.001 + 0.01 + (0.50)(0.01) + (0.50)(0.01) \\
 &= 0.061.
 \end{aligned}$$

Maka probabilitas munculnya kejadian motor tidak bekerja pada sistem penggerak motor sederhana dari probabilitas yang diketahui adalah 0,061. Angka ini menunjukkan sistem tersebut dalam keadaan layak digunakan. Jika angka probabilitas mendekati 1, sistem tidak layak digunakan.

BAB 5 KESIMPULAN

Pada pembahasan di bab-bab sebelumnya, dapat diambil kesimpulan bahwa analisa kegagalan sistem dilakukan jika kegagalan dari sistem yang dimaksud dapat mengakibatkan kerusakan besar pada lingkungan dan masyarakat sekitar. Metode untuk menganalisa kegagalan sistem salah satunya adalah dengan membangun *fault tree* dari sistem tersebut. *Fault tree* adalah model grafis dari kegagalan-kegagalan pada sistem dan kombinasinya yang menghasilkan terjadinya kejadian gagal yang akan dianalisa.

Membangun *fault tree* dimulai dari menentukan tujuannya. Tujuan ini biasanya berhubungan dengan kejadian gagal dari sistem yang akan dianalisa. Setelah menentukan tujuannya, kemudian menentukan kejadian gagal yang akan dianalisa. Kejadian gagal ini disebut *top event*. *Top event* ini berada pada bagian paling atas dari struktur *fault tree*. Kemudian ditentukan kondisi awal dan batasan-batasan dari sistem. Dari *top event* tadi, mulai dicari kegagalan-kegagalan apa saja yang menyebabkannya, dan begitu seterusnya sampai kegagalan yang ada tidak dapat dicari penyebabnya. Kegagalan ini disebut *basic event*. Setelah semua cabang yang keluar dari *top event* sampai di *basic event*, maka selesai sudah membangun *fault tree*.

Analisa dengan *fault tree* dilakukan untuk mendapatkan *minimal cut set* dari sistem yaitu himpunan *basic event* yang jika terjadi maka *top event* pasti terjadi atau disebut juga analisa secara kualitatif. Selain itu dengan data probabilitas tiap *basic event*, dengan teori probabilitas akan didapat probabilitas terjadinya *top event* atau disebut analisa kuantitatif.

Pada *fault tree* digunakan simbol-simbol yang menunjukkan hubungan antar kejadian gagal, yaitu simbol kejadian, simbol gerbang dan simbol transfer. Simbol gerbang pada *fault tree* ekuivalen dengan operasi yang ada pada aljabar Boolean dan teori probabilitas, sehingga analisa kegagalan sistem dengan *fault tree* dapat menggunakan aljabar Boolean dan teori probabilitas.

Minimal cut set didapat dari ekspresi Boolean yang merupakan presentasi dari fault tree. Ekspresi Boolean tersebut kemudian disederhanakan dengan identitas aljabar Boolean.

Hasil analisa kualitatif dari sistem penggerak motor sederhana pada AC adalah kerusakan pada motor, kegagalan pada kawat, kegagalan pada power supply (tidak ada arus), kerusakan pada saklar, kegagalan saklar terbuka pada kondisi normal, saklar terbuka secara keliru, kegagalan pada sekring dan kawat, sekring gagal terbuka dan tidak ada *power supply*. Artinya jika terjadi kegagalan yaitu motor gagal bekerja pada sistem penggerak motor sederhana di AC, penyebabnya bisa salah satu dari kejadian tersebut, sehingga perbaikan dapat langsung dilakukan.

Hasil analisa kuantitatif dari sistem tersebut dengan *top event* motor gagal bekerja adalah 0,061. Probabilitas tersebut menunjukkan bahwa sistem cukup bagus untuk digunakan dan peristiwa motor tidak bekerja kemungkinannya cukup kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Henley, E.J. dan H. Kumamoto. 1996. *“Probabilistic Risk Assessment And Management For Engineers And Scientists.”* 2nd edition. New York : IEEE Press.
- Lipschutz, Seymour dan Marc Lars Lipson. 1992. *“2000 Solved Problems in Discrete Mathematics”*. New York : McGraw-Hill.
- Pandey, M. 2005. *“Engineering and Sustainable Development: Fault Tree Analysis”*. Waterloo : University of Waterloo.
- Priyanta, Dwi. 2000. *“Keandalan dan Perawatan : Modul 1 Probabilitas”*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember .
- Rosen, Kenneth H. 2003. *“Discrete Mathematics and Its Application”*. New York : McGraw-Hill.
- Sadjad, Rhiza S. 2007. *“Modul 1: Pengertian Sistem dan Analisis Sistem”*. Makassar : Universitas Hasanuddin.
- Stamatelatos, Michael dan kawan-kawan. 2002. *“Fault Tree Handbook with Aerospace Application.”* Washington D.C.
- Stamatelatos, Michael dan kawan-kawan. 2002. *“Probabilistic Risk Assessment: Procedures Guide for NASA Managers and Practitioners.”* Washington D.C.
- Vesely, W. E, dan kawan-kawan. 1981. *“Fault Tree Handbook”*. Washington D.C. : U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- Walpole, Ronald E. 1992. *“Pengantar Statistika”*. Edisi ke-3. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- “Cara Kerja AC dan Bagian-bagiannya”*. (n.d.). 18 Juni 2011.
<http://ac.solutions-teknik.com/2011/06/18/cara-kerja-ac/>