

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Terkait

Referensi yang terkait dengan analisis keandalan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dapat dilihat pada penelitian yang dilakukan oleh Trisyia Wulandari (2011), yang melakukan penelitian tentang analisa kegagalan sistem dengan *Fault Tree Analisis* (FTA). Tujuan dari penelitian ini adalah menjelaskan langkah-langkah untuk mengkontruksi *fault tree*. Analisa *Fault Tree Analisis* (FTA) dalam penelitian ini menghasilkan *minimal cut set* yaitu penyebab – penyebab kegagalan sistem yang terjadi pada AC, dan probabilitas terjadinya kegagalan tersebut.

Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Achmad Suntoro (2012), yang melakukan penelitian tentang metode *Fault Tree Analisis* (FTA) yaitu “Potensi Ledakan Gas Hidrogen Pada Sistem Tungku Reduksi ME-11 Proses Pembuatan Bahan Bakar Nuklir PLTN”. Hasil dari penelitian ini ialah membuat diagram FTA yang dapat digunakan sebagai informasi tambahan dalam pembuatan program perawatan berkala dan langkah operasi tungku tersebut. Tujuan dilakukan penelitian ini yang berkaitan dengan metode yang dipakai adalah, untuk mengantisipasi penyebab terjadinya kecelakaan ledakan di dalam ruang tungku dan ruang pembakaran gas.

Penelitian terkait lainnya tentang metode *Fault Tree Analysis* (FTA) juga dilakukan oleh Emmy Hosea (2013) dengan judul penelitian, “analisa keandalan sistem transmisi dengan metode *Fault Tree Analisis* (FTA)”. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa Nilai keandalan sistem secara keseluruhan adalah 0.0008756 dimana nilai keandalan pada top event sangat dipengaruhi oleh nilai keandalan pada basic event pada minimal cut sets. Yang sangat mempengaruhi nilai keandalan dari sistem adalah Circuit breaker (CB) karena mempunyai nilai keandalan paling kecil yaitu sebesar 0.0098354. Hal ini dikarenakan banyaknya komponen penyusun dari *Circuit Breaker* (CB)

yang dianalisa berdasarkan data dari *Failure Tree Analysis* (FTA). Semakin banyak komponen penyusunnya, maka semakin rendah nilai keandalan sistem.

Penelitian terkait mengenai analisa *Cooling Water System* dan *Fuel Oil Supply* yang dilakukan oleh Wawan Hartono (2016) dengan judul penelitian “*Analysis Keandalan Instrumentasi pada Cooling Water System PLTD/G Unit 1 dan Fuel Oil Supply PLTD/G Unit 3 Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Studi Kasus PT. PLN PLTD/G Teluk Lembu Pekanbaru*”. Hasil dari penelitian ini didapatkan beberapa komponen kritis, seperti VTR 1 dengan RPN 192, *Tank* 1 dengan RPN 135 dan *Tank* 2 dengan RPN 135.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

PT. PLN PLTD/G Teluk Lembu Pekanbaru memiliki tiga unit Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) yang terintegrasi, yaitu PLTG unit 1, unit 2 dan unit 3. Kapasitas daya terpasang pada PLTG sebesar 21,6 MW, dan dengan daya mampu sebesar 16 MW. Selain itu PT. PLN PLTD/G Teluk Lembu juga memiliki satu unit PLTD dengan kapasitas daya 7,8 MW. (PT. PLN PLTD/G Teluk Lembu Pekanbaru).

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) merupakan suatu jenis pembangkit listrik yang menggunakan turbin gas sebagai penggerak utama generator, dengan gas sebagai fluida kerjanya. Proses kerja PLTG dimulai dari udara yang masuk melalui kompresor dikompresikan ke ruang bakar, sehingga suhu dan tekanannya naik. Secara bersamaan bahan bakar juga dimasukkan ke ruang bakar, kemudian pada ruang bakar terjadi proses pengkabutan antara udara dan bahan bakar, dengan proses pengapian maka terjadilah pembakaran. Dari proses pembakaran menghasilkan gas bertekanan tinggi, gas tersebut digunakan untuk memutar turbin gas, karena turbin dan generator satu poros maka generator pun ikut berputar, sehingga perputaran generator menghasilkan energi listrik Hendra (2012).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.2.2 Komponen Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

Berdasarkan proses kerjanya Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) merupakan pembangkit listrik yang prosesnya sederhana. Ada beberapa komponen utama dari Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) diantaranya yaitu kompresor, ruang bakar, turbin gas dan *generator* Hendra (2012).

1. Kompresor

Kompresor merupakan peralatan yang digunakan untuk mengompresikan udara dengan jumlah yang besar untuk proses pembakaran, pendinginan dan lain-lain. Jenis kompresor yang digunakan adalah kompresor aksial dengan 17 tingkat yang seporos dengan turbin. Sebelum masuk ke kompresor udara terlebih dahulu melalui *Air Filter* yang berfungsi untuk menyaring udara dari kotoran dan partikel-partikel yang tidak diperlukan.

Untuk penyaringan awal digunakan *Screen Filter* yang berfungsi untuk menyaring kotoran atau partikel yang besar. Kemudian *Guard Filter* yang berfungsi untuk menyaring udara dari partikel-partikel besar sebelum masuk ke *Air Filter Secoundary* yang merupakan filter kedua yang berfungsi sebagai penyaring udara dari partikel-partikel kecil dan kemudian masuk ke *FOD Screen* yang berfungsi sebagai saringan akhir udara sebagai campuran bahan bakar atau gas pada proses pembakaran.

Pada kompresor sendiri terdiri dari dua bagian kompresor yaitu, *Low Pressure Compressor* yang merupakan sudu kompresor untuk tekanan rendah dan *High Pressure Compressor* yang merupakan sudu kompresor tekanan tinggi. Selain itu untuk mengatur jumlah udara yang masuk melalui kompresor digunakan *Variable Inlet Guide Vanes* (VIGV), dan *Variable Stator Vanes* (VSV) sebagai pangatur aliran udara yang digunakan untuk pembakaran Hendra (2012).

2. Ruang Bakar

Ruang bakar merupakan komponen utama dalam pembangkit listrik tenaga gas, dimana pada ruang bakar ini terjadi proses pembakaran bahan bakar agar mendapatkan gas bertekanan tinggi yang akan menggerakkan

turbin. Berdasarkan konstruksinya ruang bakar terdiri dari 10 buah ruang bakar yang tersusun di sekeliling kompresor.

Ruang bakar ini terdiri dari dua bagian yang bagian luar disebut dengan ruang pembakaran (*Combustion Casing*) dan didalam tabung yang kedua disebut dengan *Combustion Linier*, antara ruang bakar satu dengan yang lainnya dipasang tabung lintasan api (*Cross Fire Tube*).

Bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar terlebih dahulu dikabutkan oleh *Nozzle* yang berjumlah 10 buah. Untuk bahan bakar minyak digunakan *Fuel Oil System* untuk sistem penyaluran bahan bakar dan *Fuel Gas System* untuk bahan bakar gas. Selanjutnya bahan bakar yang telah dikabutkan dicampur dengan udara yang dimampatkan dari kompresor melalui *Atomizing Air System* yang berfungsi untuk memasukkan udara keruang bakar. Kemudian dengan dibantu proses pengapian maka terjadilah pembakaran, hasil pembakaran ini menghasilkan gas bertekanan tinggi yang digunakan untuk memutar turbin Hendra (2012).

3. Turbin Gas

Turbin gas merupakan turbin dengan gas sebagai fluida kerjanya, turbin gas mengkonversikan gas panas bertekanan tinggi dari hasil pembakaran menjadi energi mekanik yang digunakan untuk memutar generator. Konstruksi turbin gas terdiri dari, sudu atur yang berfungsi yang mengatur gas yang masuk ke sudu turbin hasil pembakaran. Sudu gerak yang terletak pada bagian yang bergerak untuk memanfaatkan gas buang dari hasil pembakaran menjadi energi pada gerak turbin.

Sudu tetap adalah sudu yang terletak pada bagian dinding turbin yang berfungsi untuk mengarahkan perputaran gas, agar menggerakkan turbin dapat dimanfaatkan seluruh oleh turbin. Sedangkan gas sisa hasil pembakaran yang sudah digunakan untuk menggerakkan turbin dialirkan melalui saluran buangan (*Exhaust*). Pada *Exhaust* temperatur udara perlu dikontrol dulu sebelum dibuang ke atmosfer Hendra (2012).

4. Generator

Generator merupakan suatu piranti (*Device*) yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator akan menghasilkan energi listrik apabila terjadi perputaran, dimana penggerak generator salah satu diantaranya adalah turbin gas Hendra (2012).

Pada generator ini berlaku hukum Faraday tentang induksi elektromagnetik dimana konduktor memotong medan magnet, maka pada konduktor tersebut akan mengalir arus listrik *Elektro Magnet Force* (E.M.F). Jadi arus listrik adalah gerakan elektron bebas yang ada pada penghantar karena pengaruh medan magnet. Kekuatan menggerakkan elektron sebagai akibat perbedaan potensial dan adanya hambatan sehingga berlaku hukum Ohm.

2.2.3 Prinsip Operasi Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

Turbin gas suatu Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) berfungsi untuk mengubah energi yang terkandung di dalam bahan bakar menjadi mekanis. Fluida kerja untuk memutar turbin gas adalah gas panas yang di peroleh dari proses pembakaran. Proses pembakaran memerlukan tiga unsur utama yaitu

1. bahan bakar
2. udara
3. panas

Dalam proses pembakaran ini bahan bakar disuplai oleh pompa bahan bakar (*Fuel Oil Pump*) apabila digunakan bahan bakar minyak, atau oleh kompresor gas apabila menggunakan bahan bakar gas alam. Pada umumnya kompresor gas disediakan oleh pemasok gas tersebut. Udara untuk pembakaran diperoleh dari kompresor utama, sedangkan panas untuk awal pembakaran dihasilkan oleh *Ignitor* (busi). Proses pembakaran dilaksanakan di dalam *Combustion Chamber* (ruang bakar). Energi mekanis yang dihasilkan oleh turbin gas digunakan untuk memutar generator listrik, sehingga diperoleh energi listrik. Tentu saja untuk dapat berjalannya operasi Pembangkit Listrik

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

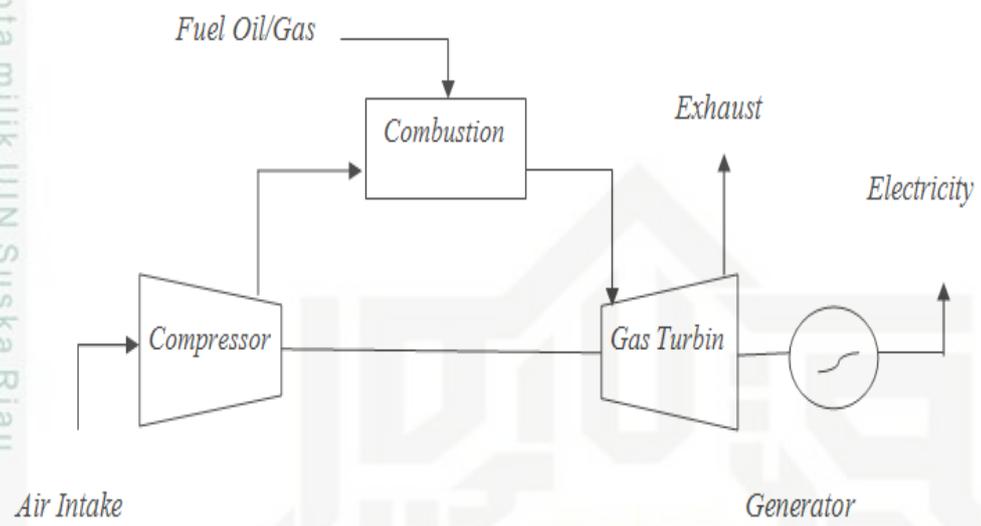
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tenaga Gas (PLTG) dengan baik perlu dilengkapi dengan alat-alat bantu, kontrol, instrumentasi, proteksi dan sebagainya.



Gambar 2.1 Blok Diagram Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)
 Sumber : Hartono (2016)

Secara garis besar urutan kerja dari proses pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) tersebut sebagai berikut Hendra (2012):

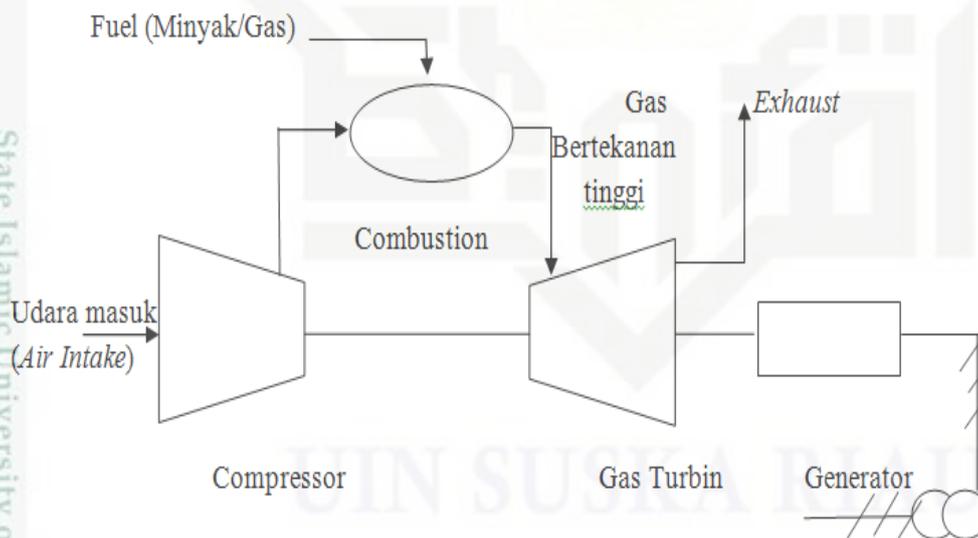
1. Proses *starting*
 Pada proses *Start* awal untuk memutar turbin menggunakan mesin diesel sampai putaran poros turbin/compressor mencapai putaran 1300 rpm maka secara otomatis diesel dilepas dan akan berhenti.
2. Proses kompresi
 Udara dari luar kemudian dihisap melalui *Air Inlet* oleh kompresor dan masuk ke ruang bakar dengan cara dikabutkan bersama bahan bakar lewat *Nozzle* secara terus menerus dengan kecepatan tinggi.
3. Transformasi energi *Thermis* ke mekanik
 Kemudian udara dan bahan bakar dikabutkan ke dalam ruang bakar diberi pengapian (*Ignition*) oleh busi (*Spark plug*) pada saat permulaan pembakaran. Pembakaran seterusnya terjadi secara terus-menerus dan hasil pembakarannya berupa gas bertemperatur dan bertekanan tinggi

dialirkan ke dalam cakram melalui sudu-sudu yang kemudian diubah menjadi tenaga mekanis pada perputaran porosnya

4. Transformasi energi mekanik ke energi listrik

Poros turbin berputar hingga 5.100 rpm, yang sekaligus memutar poros generator sehingga menghasilkan tenaga listrik. Putaran turbin 5.100 rpm diturunkan oleh *Load Gear* menjadi 3000 rpm, dan kecepatan putaran turbin ini digunakan untuk memutar generator. Udara luar yang dihisap masuk ke kompresor, kemudian dimanfaatkan hingga pada sisi keluarannya menghasilkan tekanan yang cukup tinggi. Bersama dengan udara yang bertekanan tinggi, bahan bakar dikabutkan secara terus-menerus dan hasil pembakaran tersebut dengan kecepatan yang tinggi mengalir dengan perantaraan *Transition Piece* menuju *Nozzle* dan sudu-sudu turbin dan pada akhirnya keluar melalui *Exhaust* dan dibuang ke *Atmosfir*.

2.2.4 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)



Gambar 2.2 Blok Diagram Prinsip kerja PLTG
 Sumber : Hartono (2016)

Sistem turbin gas menggunakan kompresor aksial, karena aliran udara yang melalui kompresor searah dengan poros dan rotor. Kompresor aksial dapat mencapai efisiensi 90% dan perbandingan tekanan yang dihasilkan

setiap tingkat sekitar 1,05-1,15 atm, maka untuk menghasilkan perbandingan tekanan yang tinggi diperlukan jumlah tingkat yang lebih banyak (17 tingkat atau lebih) hal ini mengakibatkan ukuran kompresor aksial lebih panjang.

Udara atmosfer masuk ke *Air Inlet* seterusnya melalui kompresor dan masuk ke pompa *automiser* yang ukurannya lebih kecil sehingga tekanan udaranya menjadi besar. Karena tekanan udara yang besar mengakibatkan temperatur akan naik. Kemudian udara yang bertekanan dan bertemperatur tinggi itu masuk ke dalam ruang bakar (*Combustion Chamber*). Di dalam ruang bakar, bahan bakar dan udara yang dikabutkan kemudian diberi pengapian (*Ignition*) dari busi sehingga terjadi proses pembakaran. Proses pembakaran adalah ekivalen dengan proses pemasukan kalor pada siklus *Brayton*. Proses pembakaran ini terjadi secara kontinu sehingga temperatur gas pembakaran harus dibatasi sesuai dengan kekuatan material sudu-sudu turbin. Hal ini perlu dilaksanakan karena kekuatan material akan turun dengan naiknya temperatur.

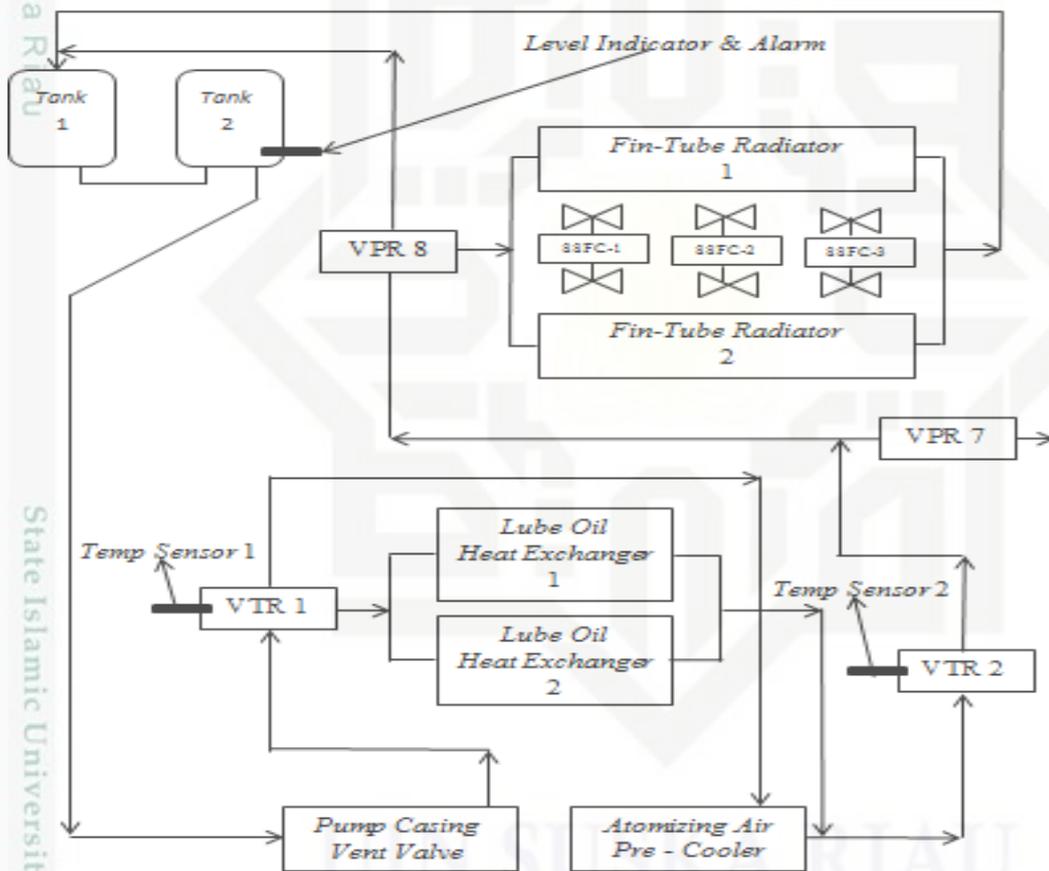
Tekanan ruang bakar berkisar antara 2,5 -10 atm, temperatur gas pembakaran yang keluar dari ruang bakar berkisar antara 500 - 1100° C. untuk membatasi temperatur gas pembakaran yang keluar dari ruang bakar maka sistem turbin gas memerlukan jumlah udara berlebih, dimana udara tersebut diperlukan untuk menyempurnakan proses pembakaran dalam waktu sesingkat-singkatnya. Gas panas yang dihasilkan dari proses pembakaran masuk ke dalam turbin sebagai fluida kerja yang memutar rotor turbin besudu yang terkopel dengan generator sinkron. Di dalam turbin terjadi proses ekspansi untuk menurunkan tekanan dan menambah kecepatan udara. Sekitar 60% daya yang dihasilkan dari turbin digunakan untuk memutar beban (generator listrik, pompa, kompresor, baling-baling dan sebagainya) (Hendra, 2012).

2.2.5 Cooling Water System

Cooling Water System adalah sistem pendingin yang digunakan pada turbin gas. Dan yang digunakan adalah air. Air dipakai untuk mendinginkan berbagai komponen pada bearing atau poros turbin. Dimana pada *Cooling*

Water System ini memiliki beberapa komponen yang mendukung dan masing-masing memiliki fungsi yang berbeda-beda. Beberapa komponen pada *Cooling Water System* diantaranya: *Cooling Water System* diantaranya *Tank 1*, *Tank 2*, *Level Indicator & Alarm*, *Temperature Sensor 1*, *Temperature Sensor 2*, *Pump Casing Vent Valve*, *VPR 7*, *VPR 8*, *88FC-1* (Motor 1), *88FC-2* (Motor 2), *88FC-3* (Motor 3), *Fin-Tube Radiator 1*, *Fin-Tube Radiator 2*, *Atomizing Air*, *Lube Oil Heat Exchanger 1*, *Lube Oil Heat Exchanger 2*, *VTR 1* dan *VTR 2*.

2.2.6 Proses *Cooling Water System*



Gambar 2.3 Blok Diagram *Cooling Water System*

Sumber : PLTD/G Teluk Lembu (2017)

Pertama proses *Cooling Water System* dimulai dari *tank* penampung air yang berisi air kira-kira sekitar 3800 liter air di setiap *tank*. Pada *Cooling Water System* ini terdapat dua *tank* penampung air yaitu *tank 1* dan *tank 2*, pada *tank* terdapat *level indicator* dan *alarm* yang berfungsi untuk mendeteksi

level air dan memberikan peringatan jika level air berada batas minimum yaitu 303 liter. Air yang berada di dalam *tank* di alirkan kemudian di pompa menuju VTR 1, VTR 1 akan membuka katub air yang akan di alirkan ke *Lube Oil Heat Exchanger* untuk menyerap panas dari *oil* dan menuju *Atomizing Air* untuk menjaga suhu tekanan udara berada pada temperatur normal sekitar 65°C – 85°C dengan batas temperatur maksimum yaitu 135°C .

Pada VTR 1 terdapat sensor temperatur yang digunakan untuk memastikan bahwa suhu air yang mengalir dari tangki air adalah air dingin dengan suhu air 0°C – 30°C , sehingga air dapat digunakan untuk proses pendinginan. Jika terdeteksi air yang mengalir dari tangki suhunya melebihi 30°C , maka air tidak dapat digunakan untuk proses pendinginan dan air akan langsung di alirkan menuju *Fin-Tube Radiator* untuk langsung didinginkan kembali.

Pada *Cooling Water System* ini memiliki dua *Fin-Tube Radiator (Fan Colled)*, dan pada *Fin-Tube Radiator (Fan Colled)* memiliki 3 motor yaitu 88FC-1, 88FC-2 dan 88FC-3. Motor ini berfungsi untuk mengalirkan atau memindahkan air dari *Fin-Tube Radiator (Fan Colled)* yang satu ke yang lainnya. Perpindahan ini dimaksudkan agar air yang berada di dalam bisa cepat menjadi dingin. Kemudian air yang berada di dalam *Fin-Tube Radiator (Fan Colled)* tadi dialirkan ke dalam *Lube Oil Heat Exchanger*, disini *Cooling Water System* juga memiliki 2 tabung atau 2 *Lube Oil Heat Exchanger* yang melalui VTR 1 (*Bearing Header Temperatur Regulator Valve*) yang berfungsi sebagai katup pendingin antara *Fin-Tube Radiator (Fan Colled)* ke *Lube Oil Heat Exchanger*.

Pada proses selanjutnya setelah air yang dipakai untuk mendinginkan *oil* tersebut keluar dari *Lube Oil Heat Exchanger* menuju VTR 2 (*Atomizing Air PreColler Temperatur Valve*) atau katup pendingin. Dan untuk proses terakhirnya air yang berada di dalam *Lube Oil Heat Exchanger* dialirkan kembali ke dalam *tank* penampungan awal yang selanjutnya akan dialirkan kembali sebagaimana proses pertama, dan begitu seterusnya.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.2.7 Fungsi Komponen

Berikut adalah penjelasan mengenai fungsi dari tiap-tiap komponen yang ada pada *Cooling Water System* (Hendra, 2012):

- a. *Tank 1* (200 gallon x 19 liter), Berfungsi sebagai tempat penampung air.
- b. *Tank 2* (200 gallon x 19 liter), Berfungsi sebagai tempat penampung air.
- c. *Level Indicator & Alarm*, berfungsi untuk mengukur ketinggian air yang berada pada *tank* dan *alarm* berfungsi untuk memberikan peringatan jika level air berada pada batas minimum yaitu 303 liter.
- d. *Temperature Sensor 1*, berfungsi untuk mendeteksi suhu air yang mengalir dari tank 1 dan tank 2 adalah air dingin.
- e. *Temperature Sensor 2*, berfungsi untuk mendeteksi suhu air yang mengalir dari *Heat Exchanger* adalah air panas.
- f. *Pump Casing Vent Valve*, berfungsi sebagai pemompa air dari tangki penampungan.
- g. VPR 7, berfungsi sebagai katup pembuka untuk mengalirkan air.
- h. 88FC-1 (Motor 1), berfungsi sebagai *fan* dari *Fin-Tube Radiator*.
- i. 88FC-2 (Motor 2), berfungsi sebagai *fan* dari *Fin-Tube Radiator*.
- j. 88FC-3 (Motor 3), berfungsi sebagai *fan* dari *Fin-Tube Radiator*.
- k. *Fin-Tube Radiator 1*, sebagai tempat terjadinya proses pendinginan air.
- l. *Fin-Tube Radiator 2*, sebagai tempat terjadinya proses pendinginan air.
- m. VTR 1, berfungsi sebagai katup pembuka untuk mengalirkan air menuju *Lube Oil Heat Exchanger* dan *Atomizing Air*.
- n. *Lube Oil Heat Exchanger 1*, berfungsi sebagai tempat terjadinya proses pendinginan oli. Bekerja mendinginkan oli yang panas karena proses.
- o. *Lube Oil Heat Exchanger 2*, Berfungsi sebagai tempat terjadinya proses pendinginan oli. Bekerja mendinginkan oli yang panas karena proses.
- p. VPR 8 (*Diesel Engine Water Outlet 3 Way Valve*), Berfungsi sebagai katup pembuka untuk air keluar setelah proses dari *Lube Oil Heat Exchanger*. Bekerja dengan membuka katup aliran.
- q. VTR 2 (*Atomizing Air PreColler Temperatur Valve*), Berfungsi sebagai katup pembuka untuk air masuk ke kembali ke penampungan awal. Bekerja dengan membuka katup.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

2.2.8 Fuel Oil supply

Fuel Oil supply merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk mensuplai bahan bakar solar atau *High Speed Diesel* (HSD) ke mesin. Dimana pada sistem ini bahan bakar minyak dari *Fuel Oil Tank* dipompakan ke *Fuel Oil System*. Dimana pada *Fuel Oil supply* ini memiliki beberapa komponen yang mendukung dan masing-masing memiliki fungsi yang berbeda-beda.



Gambar 2.4 Fuel Oil Supply

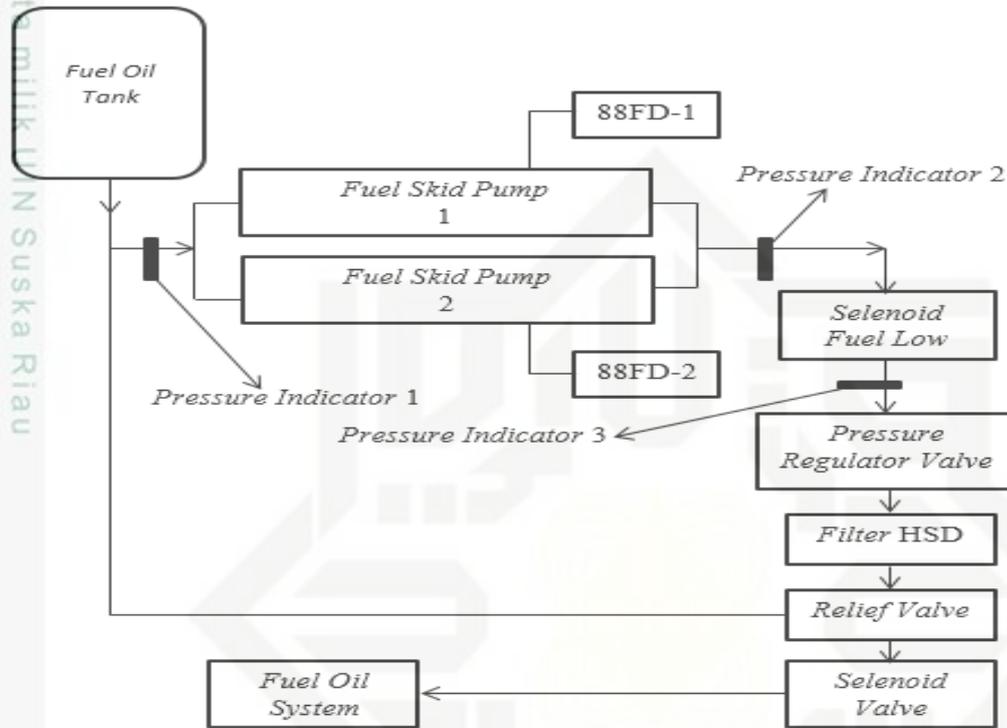
Sumber: PLTD/G Teluk Lembu (2017)

2.2.9 Proses Fuel Oil Supply

Proses lengkapnya dimulai dari bahan bakar yang ada pada tangki harian PLTG dipompakan terlebih dahulu melalui salah satu *Fuel Skid Pump* dimana putaran kerjanya 2835 rpm, pompa digerakkan oleh suatu *Motor Fuel Skid* (88FD-1 atau 88FD-2). Suatu *Pressure Indicator* dipasang pada pipa antara tangki harian dan *Fuel Skid pump* yang fungsinya untuk mengukur tekanan pada pipa. *Solenoid Fuel Low* (20FL) berfungsi untuk membuka dan menutup aliran bahan bakar, *Solenoid Fule Low* bekerja pada saat putaran pompa $\pm 20\%$.

Setelah melewati *Solenoid Fuel Low* aliran bahan bakar diukur tekanannya melalui suatu *Pressure Indicator*, kemudian melewati *Pressure Regulator Valve* (VRP35) yang fungsinya untuk mengontrol tekanan fluida. Setelah melewati *Pressure Regulator Valve* (VRP35) aliran bahan bakar melewati filter HSD tekanan tinggi yang fungsinya sebagai saringan bahan bakar dari partike-partikel atau kotoran. Untuk mengantisipasi tekanan lebih

pada fluida digunakan *Relief Valve* (VR50), dan *Solenoid Valve* (20FD) digunakan untuk menghentikan laju aliran fluida pada saat terjadi gangguan (Hendra, 2012).



Gambar 2.5 Blok Diagram *Fuel Oil Supply*

Sumber : PLTD/G Teluk Lembu (2017)

2.2.10 Fungsi Komponen

Berikut adalah penjelasan mengenai fungsi dari tiap-tiap komponen yang ada pada *Fuel Oil supply* diantaranya (Hendra, 2012):

1. *Fuel Skid Pump* 1, berfungsi sebagai pemompa bahan bakar dari tangki harian. Bekerja apabila digerakkan oleh motor.
2. Motor (88FD-1), berfungsi sebagai penggerak pompa. Bekerja memutar pompa untuk bahan bakar.
3. *Pressure Switch* (63FD-1), berfungsi untuk mendeteksi tekanan aliran *oil* pada pipa dari *Fuel Oil Tank* ke *Fuel Skid Pump*.
4. *Fuel Skid Pump* 2, berfungsi sebagai pemompa bahan bakar dari tangki harian. Bekerja apabila digerakkan oleh motor.

5. Motor (88FD-2), berfungsi sebagai penggerak pompa. Bekerja memutar pompa untuk bahan bakar.
6. *Pressure Switch* (63FD-2), berfungsi untuk mendeteksi tekanan aliran *oil* pada pipa dari *Fuel Skid Pump* ke *Solenoid Fuel Low*.
7. *Solenoid Fuel Low* (20FL), berfungsi menutup aliran fluida saat unit tidak beroperasi. Bekerja pada saat putaran pompa $\pm 20\%$.
8. *Pressure Regulator Valve* (VRP35), berfungsi sebagai pengatur laju aliran. Bekerja untuk mengatur besarnya tekanan fluida antara sebelum dan setelah melewati *Filter HSD Tekanan Tinggi*.
9. *Pressure Switch 3* (63FD-3), berfungsi untuk mendeteksi tekanan aliran *oil* pada pipa dari *Solenoid Fuel Low* ke *Pressure Regulator Valve*.
10. *Filter HSD Tekanan Tinggi*, berfungsi sebagai saringan bahan bakar minyak. Bekerja untuk menyaring bahan bakar minyak dari partikel-partikel atau kotoran.
11. *Relief Valve* (VR50), berfungsi sebagai proteksi tekanan yang berlebih. Bekerja apabila tekanan pada pipa tinggi maka secara otomatis katup pada *relief valve* akan terbuka mengurangi tekanan.
12. *Solenoid Valve* (20FD), berfungsi menutup aliran saat terjadi gangguan. Bekerja apabila terjadi gangguan pada aliran.

2.3 Teori Instrumentasi

Instrumentasi dalam dunia *Engineerring* digunakan untuk mengontrol dan mengukur suatu variable sistem di dalam proses industri maupun perusahaan, seperti pembangkit listrik, kertas dan industri lainnya (Liptak, 2003). Instrumentasi merupakan sekumpulan perangkat dioperasikan untuk melakukan pengukuran dan pengendalian dari suatu sistem yang lebih besar dan kompleks.

Suatu instrumentasi tidak dapat bekerja sendiri tetapi perlu adanya *equipment* pendukungnya. Untuk itulah instrumentasi tidak dapat dipisahkan dari *equipment*, keduanya saling terintegrasi dalam pengontrolan suatu proses tertentu. Secara umum sistem instrumentasi mempunyai 3 fungsi utama:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Sebagai media pengukuran
Instrumentasi sebagai media pengukuran yang meliputi pengukuran suhu, tekanan, level dan sebagainya yang telah dikalibrasi sesuai standar.
2. Sebagai media analisa
Instrumentasi sebagai media analisa yang banyak dijumpai dibidang kimia dan kedokteran. karena sebelum mendiagnosa penyakit pasien perlu adanya media untuk menganalisa pasien
3. Sebagai media kendali
Instrumentasi sebagai media kendali yang banyak ditemukan dalam bidang elektronika, industri dan pabrik-pabrik. instrumentasi berperan sebagai sensor dan mengenali keadaan dalam suatu asset sistem.

Ada dua cara dalam melakukan pengukuran, analisa dan kendali dalam instrumentasi, yaitu dengan cara manual atau dengan melakukan analisa langsung secara otomatis dengan menggunakan komputer. Proses manual dan otomatis pada instrumentasi tidak bisa dipisahkan karena kedua tersebut saling berkaitan.

Instrumentasi bisa digunakan dalam pengukur dari semua jenis besaran fisis, kimia, mekanis, maupun besaran listrik. Pada sistem instrumentasi Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) besaran-besaran fisis yang diukur diantaranya, suhu, kelembaban, tekanan, aliran, level, radiasi, suara, cahaya, kecepatan, *torque*, sifat listrik (arus listrik, tegangan listrik, tahanan listrik), viskositas, densiti.

2.4 Teori Keandalan

Keandalan merupakan peluang (*probability*) dari suatu *item* untuk dapat melaksanakan fungsi yang telah ditetapkan, pada kondisi pengoperasian dan lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan. Priyanta (2000).

Secara umum teori keandalan dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok utama, yaitu :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Keandalan komponen dan sistem (*Component and system reliability*)
2. Keandalan struktur (*Structural reliability*)
3. Keandalan manusia (*Human reliability*)
4. Keandalan perangkat lunak (*Software reliability*)

Dalam menganalisa keandalan terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu kegagalan dari komponen maupun sistem harus jelas dan dapat diobservasi, waktu kegagalan dapat diidentifikasi, dan pada saat kondisi normal, *performance* dapat diobservasi dengan jelas. Menurut Priyanta (2012) dalam bukunya “keandalan perawatan” Secara umum, ada 2 metode yang digunakan melakukan analisa keandalan, yaitu:

a. Analisa Kuantitatif

Analisa kuantitatif dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu, analisa secara analitis dan menggunakan simulasi. Mode keandalan kuantitatif terdiri dari:

- Perhitungan langsung untuk sistem-sistem yang sederhana
- Pohon kegagalan (*Failure Tree*)
- Pohon kejadian (*Event Tree*)
- Metode Cut Set
- Metode Tie Set
- Rantai Markov (*Markov Chain*)
- Proses Markov (*Markov Proses*)
- Pendekatan dengan probabilitas kondisional

b. Analisa Kualitatif

Analisa kualitatif merupakan Analisa mode dan dampak kegagalan dengan metode FTA (*Fault Tree Analysis*), FMEA (*Failure Mode Effects and Analysis*), FMECA (*Failure Mode Effects Critically Analysis*) dan RCM (*reliability Centered Maintanance*).

2.5 Laju Kegagalan

laju kegagalan merupakan banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu Ebeling (1997). Dalam menganalisis kegagalan alat atau komponen, faktor yang perlu mendapat perhatian adalah laju kegagalan (*failure rate*) komponen setiap saat selama masa operasi. Ada beberapa cara yang dilakukan untuk menganalisis kegagalan, antara lain :

a. Cara Teknikal

Cara ini dilakukan dengan menentukan sebab-sebab terjadinya kegagalan pada alat berdasarkan aspek-aspek teknis dari peralatan.

b. Cara Statistikal

Menganalisis kegagalan dengan cara menentukan hubungan antara laju kegagalan alat dengan waktu. Cara ini biasa menggunakan histogram frekuensi relatif dengan mencatat *Time To Failure* sepanjang pengoperasian sistem.

Pengamatan terhadap karakteristik terjadinya kegagalan sangat penting untuk menetapkan langkah-langkah pencegahan terhadap kemungkinan terjadinya kegagalan yang lebih berat. Dari hasil pengamatan ini dapat disimpulkan dalam bentuk kalimat atau grafik yang nantinya dapat dianalisis lebih lanjut. Diketahui bahwa pola kegagalan komponen merupakan kurva yang berbentuk seperti bak mandi, atau biasa disebut *Bathub hazard rate curve*. Kurva ini terbagi dalam tiga area, yaitu :

- Area A, Disebut : *Burn In Region* (laju kegagalan menurun).
- Area B, Disebut : *Usefull Life Region* (laju kegagalan konstan).
- Area C, Disebut : *Wear Out Region* (laju kegagalan meningkat).

Pada fase A umumnya terjadi tingkat kegagalan, pada fase B laju kegagalan konstan dan pada fase C laju kegagalan meningkat sampai pada masanya sistem tersebut tidak dapat dipakai lagi.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

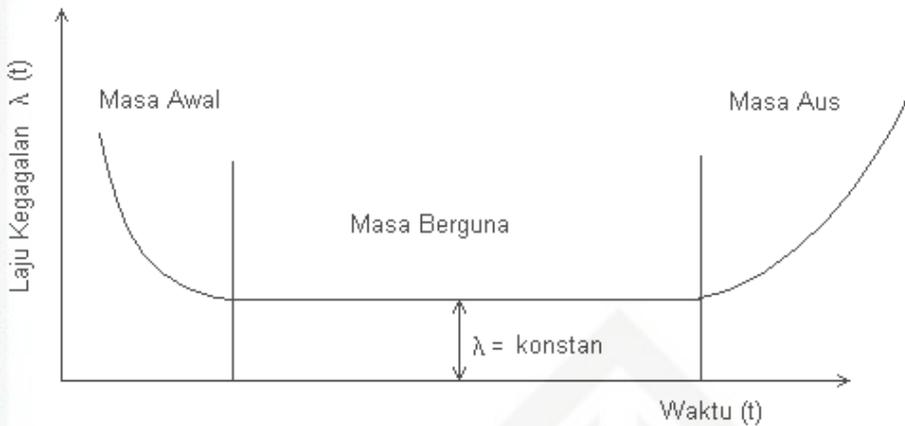
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Saifuddin Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.6 Kurva Laju Kegagalan

Sumber : Priyanta (2000)

Keterangan :

- a. Fase A : Kegagalan Awal (*Early failure* atau *infant mortality*).
 Pada fase ini, laju kegagalan (*hazard rate*) suatu sistem mengalami penurunan, dan biasanya hal ini merupakan ciri awal penggunaan mesin. Fase ini sering disebut *burn in region*; *debugging region* atau *break in region*. Fase ini dimulai dari $t_{(0)}$ sampai $t_{(1)}$. Pada fase ini menunjukkan terjadinya kegagalan dini (*early failure*) yang menurun hingga $t_{(1)}$. Probabilitas kegagalan pada saat ini akan lebih besar dibanding pada saat yang akan datang.
- b. Fase B : Kegagalan yang *random* (*failure random in time*).
 Fase ini dimulai dari $t_{(1)}$ sampai $t_{(2)}$. pada fase ini memiliki laju kegagalan yang cenderung konstan dan merupakan laju kegagalan yang rendah. Fase ini biasa disebut *usefull life*. Kegagalan yang terjadi pada fase ini biasanya diakibatkan oleh pembebanan yang tiba-tiba yang besarnya diluar batas kemampuan komponen atau kondisi ekstrim lainnya.
- c. Fase C : Pengoperasian melebihi umur komponen (*Wear out operation*).
 Fase ini dimulai dari $t_{(2)}$ sampai seterusnya. Fase ini memiliki laju kegagalan yang cenderung tajam atau meningkat, hal ini dikarenakan mulai memburuknya kondisi alat atau komponen sehingga fase ini

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

disebut pemakaian yang melebihi umur komponen (*wear out*). Biasanya penggantian alat terjadi pada saat $t_{(1)}$ dan $t_{(2)}$. Tetapi penentuan $t_{(1)}$ dan $t_{(2)}$ terasa sulit, maka sukar sekali untuk melakukan atau mengadakan penggantian peralatan pada saat yang tepat.

2.6 Ketersediaan

Ketersediaan (*availability*) didefinisikan sebagai peluang sebuah komponen atau sistem dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang dibutuhkan pada waktu tertentu yang berada pada kondisi normal. Tingkat ketersediaan atau *availability* dipengaruhi oleh nilai interval penggantian dan perbaikan. Rumus yang digunakan untuk menghitung *availability* adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997):

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}, \text{ dimana } \lambda = \frac{\text{jumlah kegagalan}}{\text{total waktu operasi (jam)}} \quad (2.1)$$

$$MTTR = \frac{\text{lama perbaikan}}{\text{jumlah kegagalan}} \quad (2.2)$$

Sehingga :

$$\text{Ketersediaan} = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR} \quad (2.3)$$

2.7 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial merupakan salah satu alternatif model yang banyak digunakan. Distribusi eksponensial sering digunakan dalam berbagai bidang, terutama dalam teori keandalan. Hal ini disebabkan karena pada umumnya data kerusakan mempunyai perilaku yang dapat dicerminkan oleh distribusi eksponensial. Distribusi eksponensial akan tergantung pada nilai λ , yaitu laju kegagalan (konstan). Fungsi-fungsi dari distribusi eksponensial sebagai berikut:

1. Fungsi Kepadatan Probabilitas

Pada fungsi ini menunjukkan bahwa kerusakan terjadi secara terus menerus (*continious*). Pengukuran kerusakan dilakukan dengan menggunakan data variabel seperti tinggi, jarak dan jangka waktu.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

2. Fungsi Distribusi Kumulatif

Fungsi ini menyatakan probabilitas kerusakan.

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.5)$$

3. Fungsi Keandalan

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.6)$$

Nilai $e = 2,718 \dots$

4. Fungsi Laju Kerusakan

$$h(t) = \lambda \quad (2.7)$$

dimana $\lambda = \frac{\text{jumlah kegagalan}}{\text{total waktu operasi}}$

5. Pemodelan Keandalan Sistem

Dalam mengevaluasi keandalan hal yang harus dilakukan ialah dengan memodelkan komponen atau sistem ke dalam diagram blok keandalan. Diagram blok ini yang kemudian dihitung keandalannya. Pemodelan diagram blok keandalan sistem terbagi dalam dua jenis yaitu, (Priyanta, 2000).

- a. Pemodelan sistem seri, yaitu untuk dapat melaksanakan fungsinya atau beroperasi suatu sistem, maka semua komponen dalam sistem tersebut harus beroperasi, jika salah satu komponen mengalami kerusakan maka secara keseluruhan sistem mengalami kerusakan. Sistem seri dapat digambarkan sebagai berikut:

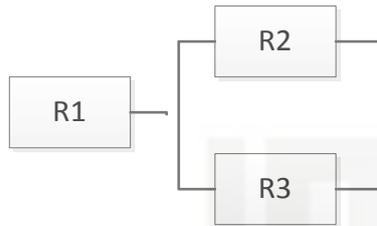


Gambar 2.7 Model Keandalan Sistem Seri

Jika Keandalan masing-masing komponen adalah $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$, maka keandalan sistem seri adalah

$$R_s = R_1 \times R_2 \times R_3 \times \dots \times R_n \quad (2.8)$$

- b. Pemodelan sistem paralel, yaitu suatu sistem dapat melaksanakan fungsinya jika minimal satu komponen dari penyusunnya beroperasi, maka apabila salah satu komponen sistem gagal beroperasi sistem masih dapat beroperasi. Sistem paralel gagal bila seluruh komponen penyusunnya gagal. Sistem paralel dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.8 Model Keandalan Sistem Paralel

Jika Keandalan masing-masing komponen adalah $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$, maka keandalan sistem seri adalah

$$R_p = 1 - [(1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \dots \times (1 - R_n)] \quad (2.9)$$

2.8 Teori Perawatan

Perawatan adalah suatu konsepsi dari semua aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kualitas peralatan agar tetap berfungsi dengan baik seperti dalam kondisi sebelumnya Supandi (1998). Dari pengertian tersebut dapat ditarik kesimpulan, sebagai berikut :

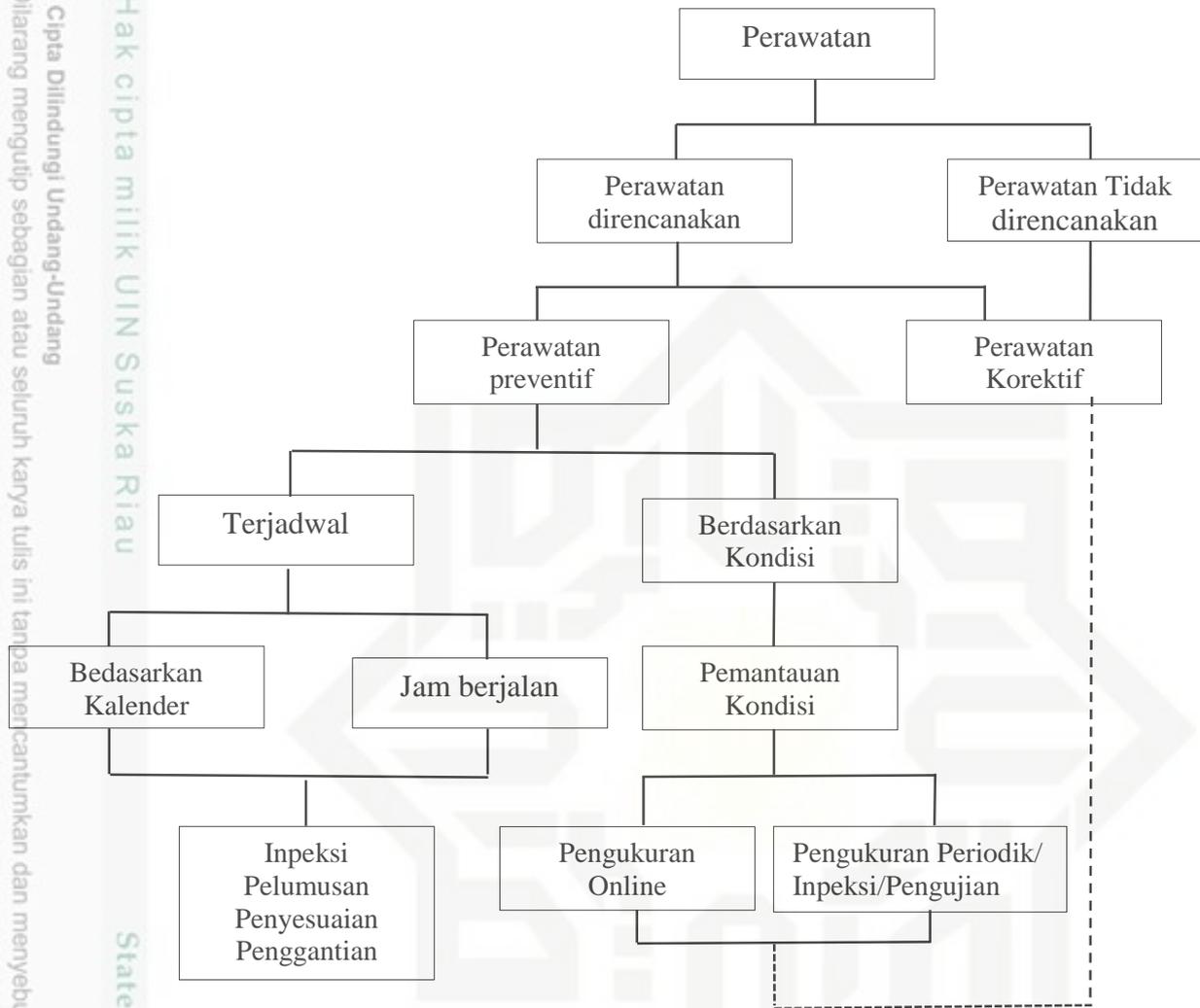
1. Fungsi perawatan sangat berhubungan erat dengan proses industri.
2. Peralatan yang dapat digunakan terus untuk berproduksi adalah hasil adanya perawatan.
3. Aktivitas perawatan harus dikontrol berdasarkan kepada kondisi yang terjaga.

Kegiatan perawatan dilakukan untuk perbaikan yang bersifat kualitas, meningkatkan suatu kondisi ke kondisi lain yang lebih baik. Tujuan dilakukannya perawatan yaitu menjaga mesin agar beroperasi secara tepat, meminimalkan biaya yang diakibatkan dari mesin yang mengalami kerusakan parah, memperpanjang waktu pakai mesin, meminimumkan frekuensi

terjadinya gangguan-gangguan selama proses operasi dan menjaga agar mesin aman.

Menurut Priyanta, (2000) dalam bukunya “Keandalan dan Perawatan”. Ada berbagai jenis perawatan yang banyak dilakukan secara praktis, yang secara umum dibagi menjadi dua yaitu, *Planned maintenance* (perawatan terencana) dan *unplanned maintenance* (perawatan tak terencana). Perawatan terencana adalah perawatan yang dirganasasikan dan dilakukan dengan perencanaan dan pengontrolan yang sudah ditentukan terlebih dahulu. sedangkan perawatan tidak terencana adalah satu jenis perawatan yang dilakukan tanpa perencanaan terlebih dahulu. Bentuk-bentuk perawatan dibagi kedalam beberapa kelompok, antara lain:

1. Perawatan preventif adalah perawatan yang dilakukan pada interval waktu yang sudah ditentukan – contoh dari strategi ini adalah *scheduled maintenance* - atau berhubungan dengan kriteria yang sudah ditentukan - contoh dari strategi ini adalah *condition maintenance*.
2. Perawatan korektif adalah perawatan yang dilakukan setelah peralatan mengalami kegagalan dan perawatan ini dimaksudkan untuk mengembalikan sistem ke keadaan dimana sistem tersebut dapat melakukan fungsinya kembali.
3. Perawatan preventif dapat dibagi lagi menjadi *scheduled maintenance* (perawatan terjadwal) dan *condition based maintenance* (Perawatan yang berbasis pada kondisi sistem).
4. *Condition based maintenance* (perawatan yang berbasis pada kondisi sistem) adalah perawatan terhadap suatu yang dilakukan sebagai hasil dari suatu kondisi yang sudah diketahui dari hasil pemantauan secara kontinyu atau secara periodik.
5. *Condition monitoring* (pemantauan kondisi) adalah pengukuran secara periodik dan kontinyu dan menginterpretasikan data yang menunjukkan kondisi dari peralatan dan menentukan apakah peralatan tersebut perlu membutuhkan perawatan atau tidak.



Gambar 2.7 Jenis-jenis Perawatan
 sumber : Priyanta (2000)

Menurut Supandi (1998), dalam bukunya yang berjudul “Manajemen Perawatan Industri”, Perawatan ditinjau dari saat pelaksanaan pekerjaan, perawatan dapat dibagi menjadi dua cara, yaitu :

1. Perawatan yang direncanakan (*Planned Maintenance*).
 Pengorganisasian pekerjaan perawatan yang dilakukan dengan pertimbangan ke masa depan, terkontrol dan tercatat.
2. Perawatan yang tidak direncanakan (*Unplanned Maintenance*).

Cara pekerjaan perawatan darurat yang tidak direncanakan (*Unplanned emergency maintenance*).

2.8 Metode *Fault Tree Analysis* (FTA)

Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) sering digunakan untuk menganalisa kegagalan sistem. *Fault Tree Analysis* merupakan sebuah teknik dimana banyak peristiwa yang berinteraksi menghasilkan kejadian lain yang dapat dikaitkan dengan menggunakan hubungan logis sederhana Pandey (2005). *Fault Tree Analysis* merupakan metode yang efektif dalam menemukan inti permasalahan karena memastikan bahwa suatu kejadian yang tidak diinginkan tidak berasal dari satu titik kegagalan. *Event* potensial yang menyebabkan terjadinya kegagalan dari suatu sistem *Engineering* dapat ditentukan dengan FTA. FTA berorientasi pada fungsi atau yang lebih dikenal dengan “*Top Down*”. Kerena analisa ini pengindetifikasikan mode kegagalan pada top level dari suatu sistem Priyanta (2000). Untuk menganalisa kegagalan dari suatu komponen dengan metode FTA, perlu dibuat pohon kegagalan atau *Fault Tree* dari alat yang dianalisa terlebih dahulu.

Fault Tree Analysis mengilustrasikan keadaan dari komponen-komponen sistem (*Basic Event*) dan hubungan antara *Basic Event* dan *Top Event*. Simbol grafis yang dipakai untuk menyatakan hubungan disebut gerbang logika (*Logic Gate*). *Fault Tree analysis* (FTA) secara umum dapat dikerjakan dengan 5 tahapan, yaitu : Mendefinisikan masalah kondisi batas (*boundary condition*) dari suatu sistem, Pengkonstruksian *Fault Tree*, Mengidentifikasi minimal *Path Set*, Analisa kualitatif *Fault Tree* dan Analisa kuantitatif *Fault Tree*.

1. Mendefinisikan masalah kondisi batas dari suatu sistem

Aktivitas pertama dari FTA terdiri dari 2 step yaitu:

- mendefinisikan kritikal event yang akan dianalisa
- mendefinisikan *Boundary Condition* atau kondisi batas untuk dianalisa.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Kritikal event yang akan dianalisa secara normal disebut dengan *Top Event*. Diskripsi dari *Top Event* harus memberikan jawaban dari pertanyaan apa (*What*), dimana (*Where*), dan kapan (*When*).

What : Mendiskripsikan tipe dari *critical event* yang sedang terjadi, sebagai contoh kebakaran (*fire*).

Where : Mendiskripsikan dimana *critical event* terjadi, sebagai contoh *critical event* terjadi di *process oxidation reactor*.

When : Mendiskripsikan dimana *critical event* terjadi, sebagai contoh *critical event* terjadi pada saat pengoperasian normal.

2. Pengkonstruksian *Fault Tree*

Pengkonstruksian *Fault Tree* bermula dari top event. Oleh sebab itu, berbagai *Fault Event* harus secara teliti diidentifikasi. Level pertama sering disebut sebagai *Top Structure* dari sebuah *Fault Tree*. *Top Structure* biasa diambil dari kegagalan modul utama sistem atau fungsi utama dari sistem. Analisa dilanjutkan level demi level sampai semua *Fault Event* telah dikembangkan pada resolusi yang ditentukan.

Ada beberapa aturan yang harus terpenuhi dalam konstruksi *Fault Tree*. Berikut aturan yang akan dipakai, yaitu Priyanta (2000):

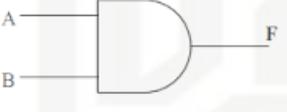
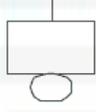
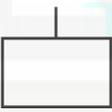
1. Diskripsikan *Fault Event*

Dalam hal ini, masing masing *basic event* harus didefinisikan secara teliti.

2. Analisa *Fault Event*

Sebuah normal basic event di dalam sebuah fault tree merupakan sebuah *primary failures* yang menunjukkan bahwa komponen merupakan penyebab dari dari kegagalan. *Secondary failures* dan *command faults* merupakan *intermediate event* yang membutuhkan investigasi lebih mendalam untuk mengi-dentifikasi alasan utama.

Tabel 2.1 Simbol *Fault Tree*

| Nama | Simbol | Diskripsi |
|-----------------------------|---|--|
| <i>Logic Gates</i> | <p>OR-Gate</p>  | OR-Gate menunjukkan <i>Output</i> F terjadi jika sembarang input terjadi |
| | <p>AND-Gate</p>  | AND-Gate menunjukkan <i>Output</i> F akan terjadi jika semua input terjadi secara serentak |
| <i>Input Events</i> | <p><i>Basic Event</i></p>  | <i>Basic Event</i> menyatakan kegagalan yang tidak memerlukan penelitian lebih lanjut |
| | <p><i>Undeveloped Event</i></p>  | Menyatakan sebuah <i>Event</i> yang tidak diteliti lebih lanjut karena tidak tersediannya informasi |
| <i>Description of State</i> | <i>Comment Rectangle</i> | Dimanfaatkan untuk informasi tambahan |
| <i>Transfer Symbol</i> | <p><i>Transfer-out</i></p> <p><i>Ttransfer-in</i></p> | Menunjukkan bahwa <i>Fault Tree</i> dikembangkan lebih jauh dan berkaitan dengan simbol <i>Transfer-in</i> |

Sumber : Priyanta (2000)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Sebuah normal *basic event* di dalam sebuah *fault tree* merupakan sebuah *primary failures* yang menunjukkan bahwa komponen merupakan penyebab dari dari kegagalan. *Secondary failures* dan *command faults* merupakan *intermediate event* yang membutuhkan investigasi lebih mendalam untuk mengidentifikasi alasan utama.

3. Mengidentifikasi *minimal Cut Set*

Minimal cut set adalah himpunan kombinasi terkecil dari *basic event* dimana jika *basic event* tersebut terjadi akan menyebabkan *top event* terjadi Pandey (2005).

Sebuah *Fault Tree* memberikan informasi yang berharga tentang berbagai kombinasi dari *Fault Event* yang mengarah pada *Critical Failure* sistem. Kombinasi dari berbagai *Fault Event* disebut dengan cut set. Pada terminologi *Fault Tree*, sebuah cut set didefinisikan sebagai *Basic Event* yang bila terjadi (secara simultan) akan mengakibatkan terjadinya *Top Event*. Sebuah *cut set* dikatakan sebagai *minimal cut set* jika *cut set* tersebut tidak dapat direduksi tanpa menghilangkan statusnya sebagai *cut set*.

Jumlah *Basic Event* yang berbeda di dalam sebuah minimal cut set disebut dengan orde cut set. Untuk *Fault Tree* yang sederhana adalah mungkin untuk mendapatkan minimal cut set dengan tanpa menggunakan prosedur formal / algoritma. Untuk *Fault Tree* yang lebih besar, maka diperlukan sebuah algoritma untuk mendapatkan minimal cut set pada fault tree. MOCUS (*Method for Obtaining Cut Sets*) merupakan sebuah algoritma yang dapat dipakai untuk mendapatkan minimal cut set dalam sebuah *Fault Tree*.

4. Analisa kualitatif *Fault Tree*

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).

Analisa kualitatif dari sebuah *fault tree* dapat dilakukan berdasarkan *minimal cut set*. Kekritisannya dari sebuah *cut set* jelas tergantung pada jumlah *basic event* di dalam *cut set* (orde dari *cut set*). Sebuah *cut set* dengan orde satu umumnya lebih kritis daripada sebuah *cut set* dengan orde dua atau lebih.

Jika sebuah *fault tree* memiliki *cut set* dengan orde satu, maka *TOP event* terjadi sesaat setelah *basic event* yang bersangkutan terjadi. Jika sebuah *cut set* memiliki dua *basic event*, kedua *event* ini harus terjadi secara serentak agar *TOP event* dapat terjadi. Faktor lain yang penting adalah jenis *basic event* dari sebuah *minimal cut set*. Kekritisannya dari berbagai *cut set* dapat diranking berdasarkan dari *basic event*, antara lain:

3. *Human Error*.
4. Kegagalan komponen/peralatan yang aktif (*active equipment failure*).
5. Kegagalan komponen/peralatan yang pasif (*passive equipment failure*).

Peringkat ini disusun berdasarkan asumsi bahwa *Human Error* lebih sering terjadi dari pada kegagalan komponen aktif dan kegagalan komponen aktif lebih rentan terhadap kegagalan.

5. Analisa Kuantitatif *Fault Tree*

Analisa kuantitatif dilakukan untuk menaksir kemungkinan atau probabilitas dari kejadian yang akan diselidiki. Analisa ini sangat penting dilakukan dalam hal-hal yang mengandung risiko besar. Secara umum ada dua buah metode untuk menganalisa sebuah *fault tree* secara kuantitatif. Kedua metode ini adalah metode dengan menggunakan pendekatan aljabar *boolean* (*boolean algebra approach*) serta metode perhitung langsung (*direct numerical approach*) Priyanta (2000).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

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*.

2.9 Tujuan dan Manfaat Metode *Fault Tree Analysis* (FTA)

2.9.1 Tujuan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA)

Adapun tujuan dari metode *Fault Tree Analysis* (FTA) adalah :

- c. untuk mengidentifikasi kombinasi dari *equipment failure* dan *human error* yang dapat menyebabkan terjadinya suatu kejadian yang tidak dikehendaki (*accident events*).
- d. untuk memprediksi kombinasi yang tidak dikehendaki, sehingga dapat dilakukan koreksi untuk meningkatkan *product safety*.

2.9.2 Manfaat Metode *Fault Tree Analysis* (FTA)

Adapun Manfaat dari metode *Fault Tree Analysis* (FTA) adalah :

1. Dapat menentukan faktor penyebab yang kemungkinan besar menimbulkan kegagalan
2. Menemukan tahapan kejadian yang kemungkinan besar sebagai penyebab kegagalan
3. Menganalisa kemungkinan sumber – sumber resiko sebelum sebelum kegagalan timbul
4. Menginvestigasi suatu kegagalan.