



TESIS - BM185407

***RISK ASSESSMENT MENGGUNAKAN HYBRID  
FAULT TREE ANALYSIS - MONTE CARLO  
SIMULATION PADA PROYEK INSTALASI GENSET  
PT. ABC DI KALIMANTAN, NTB , PAPUA,  
SULAWESI DAN MALUKU***

**AKHMAD KHILMY  
09211750024017**

**Dosen Pembimbing:  
Prof. Dr. Techn. Drs. M. Isa Irawan, M.T.**

**Departemen Manajemen Teknologi  
Fakultas Desain Kreatif dan Bisnis Digital  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2020**

# LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

**Magister Manajemen Teknologi (M.MT)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**Akhmad Khilmy**

**NRP: 09211750024017**

**Tanggal Ujian: 24 Juni 2020**

**Periode Wisuda: September 2020**

Disetujui oleh:

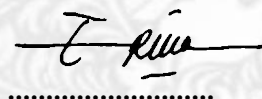
**Pembimbing:**

1. Prof. Dr.techn. Drs. Mohammad Isa Irawan, M.T. NIP: 196312251989031001

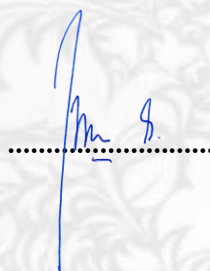


**Penguji:**

1. Ir. Ervina Ahyudanari, M.E., Ph.D. NIP: 196902241995122001



2. Dr. Ir. Endah Angreni, M.T.



**Kepala Departemen Manajemen Teknologi  
Fakultas Desain Kreatif Dan Bisnis Digital**

**Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng, Ph.D, CSCP**  
NIP: 196912311994121076

***RISK ASSESSMENT MENGGUNAKAN HYBRID FAULT TREE  
ANALYSIS - MONTE CARLO SIMULATION PADA PROYEK  
INSTALASI GENSET PT. ABC DI KALIMANTAN, NTB ,  
PAPUA, SULAWESI DAN MALUKU***

Nama : Akhmad Khilmy

NRP : 09211750024017

Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Techn. Drs. M. Isa Irawan, M.T.

**ABSTRAK**

Perusahaan ABC mendapatkan proyek instalasi genset di daerah Kalimantan, NTB, Papua, Sulawesi dan Maluku dengan estimasi waktu pengerjaan 16 bulan. Tetapi pada implementasinya, proyek ini mengalami keterlambatan menjadi 20 bulan yang mengakibatkan pembengkakan biaya yang dihadapi perusahaan. Padahal untuk kurun waktu ke depan, perusahaan akan mendapatkan proyek serupa. Untuk menghindari keterlambatan dan kerugian di proyek instalasi genset kedepannya, penelitian tesis ini memiliki tujuan untuk melakukan asesmen risiko menggunakan Fault Tree Analysis (FTA) dan Monte Carlo Simulation (MCS) untuk mendapatkan risiko kritis dan langkah mitigasinya. Dari hasil FTA dan perhitungan minimal cut set, didapati 13 kejadian dasar beserta probabilitasnya. Kemudian, penelitian ini menggunakan pendapat ahli untuk menentukan konsekuensi dari masing-masing kejadian tersebut. Setelah itu, nilai probabilitas kejadian dan konsekuensi menjadi input untuk melakukan simulasi monte carlo. Hasilnya, didapati 7 risiko kritis (*extreme*) penyebab terjadinya kegagalan pada proyek instalasi genset yang langkah penanganannya butuh untuk memperhatikan aspek teknis dan aspek non teknis. Terdapat 1 risiko bernilai tinggi (*high*) yang membutuhkan langkah mitigasi penggantian alat. Satu risiko dengan nilai sedang yang membutuhkan langkah mitigasi *transfer*, dan 4 risiko dengan nilai risiko rendah yang dapat diterima.

**Kata kunci:** *Genset, Risk Assessment, Fault Tree Analysis, Monte Carlo Simulation*

**RISK ASSESSMENT USING HYBRID FAULT TREE  
ANALYSIS - MONTE CARLO SIMULATION IN GENSET  
INSTALLATION PROJECT PT. ABC AT KALIMANTAN,  
NTB, PAPUA, SULAWESI AND MALUKU**

Nama : Akhmad Khilmy  
NRP : 09211750024017  
Supervisor : Prof. Dr. Techn. Drs. M. Isa Irawan, M.T.

**ABSTRACT**

The ABC company had an installation of generator set (genset) project in Kalimantan, NTB, Papua, Sulawesi and Maluku. This project has estimated to be completed in 16 months, but it delayed up to 20 months that caused cost overruns. This study has purpose to assess the risk that caused the project delay using Fault Tree Analysis (FTA) and Monte Carlo Simulation (MCS), since the company has to face the similar project in those areas in the future. Thus, the company can have suggestions about the mitigation of the risk. From the risk assessment using FTA and calculation using minimal cut set, it has found 13 basic events that caused risk and its probability. This research also asks for expert estimation to determine the consequence value for each event. The probability value and consequence value will be generated to run in MCS. The simulation results the risk value. Seven events are identified as a critical risk that have extreme risk value, therefore it needs to look for the technical aspects and non-technical aspects to mitigate the risk. One risk has a high risk value that needs to change the project's equipment to mitigate the risk. One risk has a medium risk value that needs to transfer the risk to the third party company to mitigate the risk. The last, there are four risks that can be accepted as they only have low risk value.

**Keywords:** *Genset, Risk Assessment, Fault Tree Analysis, Monte Carlo Simulation*

## KATA PENGANTAR

Segala Puji ke hadirat Allah SWT atas Rahmat, Nikmat dan Taufiknya, sehingga dapat diselesaikannya tesis yang berjudul “**RISK ASSESSMENT MENGGUNAKAN HYBRID FAULT TREE ANALYSIS - MONTE CARLO SIMULATION PADA PROYEK INSTALASI GENSET PT. ABC DI KALIMANTAN, NTB , PAPUA, SULAWESI DAN MALUKU**”. Buku tesis ini diajukan sebagai bagian dari penelitian tesis dalam rangka menyelesaikan studi di Program Magister Manajemen Teknologi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya bidang keahlian Manajemen Proyek.

Dalam penyelesaian tesis ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih setulusnya kepada:

1. Prof. Dr. Techn. Drs. M. Isa Irawan, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberi banyak sekali saran, masukan dan membantu dalam selama pengerjaan tesis ini.
2. Ir. Ervina Ahyudanari, M.E., Ph.D., Ph.D., Dr. Ir. Endah Angreni, M.T dan Moh. Arif Rahman, S.T. M.Sc., Ph.D., selaku dosen penguji yang juga telah memberikan saran dan kritik membangun selama masa penelitian.
3. Seluruh dosen pengajar yang telah memberikan pengajaran dan ilmu yang begitu banyak. Serta seluruh karyawan MMT-ITS yang telah banyak membantu dalam berbagai hal selama masa perkuliahan. Terima kasih atas ilmu yang telah diajarkan kepada penulis.
4. Kedua orang tua Sutrisno, S.Pd., M.Pd., dan Siti Suryati Rodiyah, S.Pd., yang telah menuangkan waktunya dalam membantu mengurus anak selama saya menyelesaikan perkuliahan dan penelitian.
5. Kedua mertua, Dr. Djunaedi, S.E., M.M. dan Dr. Nur Laely, S.E., M.M., yang telah memberikan doa, dukungan, materi, ilmu dan segala hal yang mendukung kesuksesan dan kelancaran tesis ini.
6. Istri Berlian Rahmy Lidiawaty, S.S.T., M.MT. yang telah memberikan banyak dukungan dan semangat selama perkuliahan dan selama pengerjaan tesis.

7. Adam Elfatih Berlikh, yang menjadi motivasi terbesar dalam menyelesaikan studi magistra.
8. Pandu Erman, Idong Wijono, Nurbudi, dan Sugeng selaku pakar yang membantu dalam salah satu proses penelitian.
9. Saudara Angga, Dita, Khusnul dan Fitri yang telah banyak membantu dalam memberi penghiburan, semangat, doa dan motivasi selama menjalani perkuliahan dan penelitian ini.
10. Seluruh rekan, kerabat dan keluarga besar yang telah memberikan motivasi dalam menyelesaikan penelitian.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak memberikan berbagai macam bantuan dalam penyusunan Tesis ini.

Akhir kata, penulis berharap Tesis ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca. Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih jauh dari kata sempurna dan memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis mengharapkan masukan dan saran yang membangun dari pembaca untuk perbaikan ke depan dan memberikan manfaat bagi semua pihak yang berkepentingan.

Surabaya, Juni 2020

Penulis,  
Akhmad Khilmy

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PROPOSAL TESIS.....	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Rumusan masalah.....	5
1.3. Tujuan penelitian.....	5
1.4. Manfaat penelitian.....	6
1.5. Batasan penelitian .....	6
1.6. Sistematika penulisan.....	7
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	9
2.1. GENSET (Generator Set).....	9
2.2. Komponen Engine.....	11
2.3. Komponen Generator .....	13
2.4. Komponen Instalasi.....	13
2.4.1 Sistem bahan bakar.....	14
2.4.2 Sistem peredaman .....	15
2.4.3 Sistem Gas Buang .....	15
2.4.4 Sistem Elektrikal .....	16
2.4.5 Sistem Grounding.....	17
2.5. Risk Assessment.....	18
2.6. FTA (Fault Tree Analysis) .....	19
2.6.1 Tahapan Analisa FTA (Fault Tree Analysis) .....	21
2.6.2 Istilah-istilah dalam FTA .....	24
2.6.3 Perumusan konfigurasi Series dan Paralel (OR & AND Gate).....	25
2.6.4 Contoh Perumusan Aljabar Boolean dalam FTA.....	26
2.7. Metode Monte Carlo .....	26

2.7.1 Simulasi Monte Carlo .....	27
2.8. Kajian penelitian terdahulu .....	30
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
3.1. Skema Metode penelitian .....	33
3.2. Studi Literatur .....	34
3.3. Pengumpulan data .....	35
3.4. Model FTA.....	37
3.5. Minimal Cut Set.....	38
3.6. Mencari Probabilitas .....	39
3.7. Menghitung konseskuensi dari risiko suatu kejadian .....	39
3.8. Simulasi Monte Carlo .....	41
3.9. Analisa Risiko.....	42
3.10. Rencana Mitigasi .....	42
<b>BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>45</b>
4.1. Studi Lapangan .....	45
4.2. Pengumpulan Data.....	53
4.3. Identifikasi Penyebab Gangguan Genset .....	57
4.4. Analisa Faktor Penyebab Kerusakan Genset dengan FTA.....	57
4.5. Mencari minimal cut set.....	73
4.6. Mencari Nilai Konsekuensi .....	83
4.7. Analisa risiko kritis dengan simulasi monte carlo di software @Risk .....	89
<b>BAB 5 KESIMPULAN.....</b>	<b>101</b>
5.1. Kesimpulan .....	101
5.2. Implikasi.....	102
5.3. Saran.....	103
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>104</b>
<b>LAMPIRAN 1 Tabel pengumpulan data berita acara.....</b>	<b>107</b>
<b>LAMPIRAN 2 Tabel identifikasi jenis kejadian.....</b>	<b>109</b>
<b>LAMPIRAN 3 Flowchart FTA keseluruhan.....</b>	<b>110</b>
<b>LAMPIRAN 4 Contoh laporan hasil investigasi .....</b>	<b>113</b>
<b>LAMPIRAN 5 Hasil kuesioner dari responden .....</b>	<b>115</b>
<b>LAMPIRAN 6 Grafik PDF pada semua kejadian dasar .....</b>	<b>124</b>
<b>LAMPIRAN 7 Hasil Simulasi Monte Carlo menggunakan software @Risk .....</b>	<b>131</b>
<b>LAMPIRAN 8 Tabel kontrak pengadaan material instalasi .....</b>	<b>133</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Bentuk genset tipe open .....	10
Gambar 2.2. Gambar genset tipe silent .....	10
Gambar 2.3. Gambar Part BBM Engine.....	11
Gambar 2.4. Gambar Part Pendingin Engine .....	12
Gambar 2.5. Gambar Part Pelumasan Engine .....	12
Gambar 2.6. Gambar Part Generator.....	13
Gambar 2.7. Gambar Water separator.....	14
Gambar 2.8. Gambar Peredaman Ruang Genset.....	15
Gambar 2.9. Gambar Silencer gas buang.....	16
Gambar 2.10. Gambar Panel Sinkron.....	17
Gambar 2.11. Gambar instalasi grounding.....	17
Gambar 2.12. Contoh aliran blok dalam FTA.....	26
Gambar 3.1 skema metode penelitian .....	33
Gambar 3.2 Berita acara penyelesaian pekerjaan.....	36
Gambar 3.3 Kerangka event.....	38
Gambar 4.1 <i>Flow chart</i> Proyek Instalasi Genset.....	47
Gambar 4.2 peta lokasi instalasi Genset di Pulau Kalimantan .....	50
Gambar 4.3 peta lokasi instalasi Genset di Pulau NTB .....	51
Gambar 4.4 peta lokasi instalasi Genset di Pulau Maluku dan Sulawesi.....	52
Gambar 4.5 peta lokasi instalasi Genset di Pulau Papua.....	53
Gambar 4.6. Diagram pohon kegagalan utama .....	58
Gambar 4.7. Diagram pohon kegagalan sistem generator.....	59
Gambar 4.8. Diagram pohon kegagalan sistem engine .....	61
Gambar 4.9. Diagram pohon kegagalan sistem bantu.....	63
Gambar 4.10. Diagram pohon kegagalan sistem mekanik .....	65
Gambar 4.11. Diagram pohon kegagalan sistem elektrik .....	67
Gambar 4.12. Diagram pohon kegagalan kerusakan MCCB .....	68
Gambar 4.13. Diagram pohon kegagalan kerusakan pilot lamp RST .....	70
Gambar 4.14. Diagram pohon kegagalan kerusakan UVT .....	71
Gambar 4.15. Diagram pohon kegagalan kerusakan modul DSE.....	72

Gambar 4.16. Grafik hasil distribusi normal kualitas udara yang kurang baik.....	87
Gambar 4.17. Langkah simulasi pertama.....	90
Gambar 4.18. Langkah simulasi kedua.....	90
Gambar 4.19. Langkah simulasi ketiga.....	91
Gambar 4.20. Grafik regression Coefficients Risiko Kritis .....	91

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Keunggulan dan Kelemahan FTA.....	21
Tabel 2.2 Aturan dalam membuat FTA .....	22
Tabel 2.3 Operasi Hukum Aljabar Boolean.....	23
Tabel 2.4 Istilah dan Istilah dalam metode Fault Tree Analysis .....	24
Tabel 2.5 Penelitian terkait yang sudah dilakukan.....	30
Tabel 2.6 Perbedaan Risiko dari jenis Pembangkit.....	31
Tabel 3.1 Indikator Penyebab Keterlambatan Proyek.....	34
Tabel 3.2 Keterangan berita acara.....	37
Tabel 3.3. Kriteria rating probabilitas .....	39
Tabel 3.4. Kriteria rating konsekuensi .....	40
Tabel 3.5 Form Kuesioner Dampak Resiko .....	41
Tabel 3.6 Risk Matrix .....	42
Tabel 4.1 Kontrak Proyek Instalasi Genset.....	45
Tabel 4.2 Lokasi Instalasi Genset kapasitas 200 kw .....	48
Tabel 4.3 Lokasi Instalasi Genset kapasitas 100 kw .....	49
Tabel 4.4. Jenis Gangguan berdasarkan lokasi pulau besar .....	55
Tabel 4.5. Jenis Gangguan pada Proyek Instalasi Genset .....	56
Tabel 4.6. Kode kejadian.....	74
Tabel 4.7. Pengolahan data Kejadian Dasar.....	79
Tabel 4.8. Perhitungan nilai probabilitas pada kejadian dasar .....	82
Tabel 4.9. Pengolahan data responden .....	84
Tabel 4.10. detail data perhitungan probabilitas, konsekuensi dan risiko.....	88
Tabel 4.11. Kriteria dan Nilai Risiko .....	94
Tabel 4.12. Matrix kriteria risiko proyek instalasi genset.....	100

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

Bab ini membahas mengenai latar belakang yang mendasari pelaksanaan penelitian Thesis. Selain itu, di dalamnya terdiri dari perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan penelitian, dan sistematika penulisan.

### **1.1. Latar belakang**

Di Indonesia Energi Listrik merupakan kebutuhan yang utama bagi semua orang untuk mendukung kemajuan pembangunan nasional baik secara langsung maupun tidak langsung. Energi listrik harus tercukupi karena sangat penting bagi seluruh masyarakat untuk membantu melakukan segala aktivitas kerja dan sebagai penerangan di malam hari. Negara Indonesia yang memiliki banyak pulau dengan jumlah penduduk yang terus meningkat pertahunnya mengakibatkan jumlah kebutuhan listrik semakin meningkat. Namun faktanya pemasokan energi listrik di Indonesia masih belum merata, seperti di daerah pedalaman dan kepulauan kecil yang jauh dari pembangkit listrik. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tahun 2016 tercatat total elektrifikasi Indonesia adalah 96,96%<sup>1</sup> dan belum maksimal seperti pada pulau Papua, NTB, Maluku, Sulawesi dan Kalimantan.

Selama ini energi listrik di Indonesia lebih banyak dihasilkan dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan total kapasitas terpasang 17.811,40 MW<sup>2</sup>. Namun pembangunan PLTU membutuhkan investasi yang tinggi dan jangka waktu pembangunan yang lama. Contoh permasalahan yang sering terjadi dalam pembangunan PLTU adalah memerlukan lahan yang luas, dimana nantinya akan menunggu proses pembebasan lahan warga yang memakan waktu lama dan biaya ganti rugi lahan yang besar.

---

<sup>1</sup> Statistik ketenagalistrikan 2016, Kementerian ESDM , Edisi No. 30, Halaman 33

<sup>2</sup> Statistik ketenagalistrikan 2016, Kementerian ESDM , Edisi No. 30, Halaman 9

Dilain sisi pembangunan PLTU akan jauh lebih efektif jika digunakan dalam kapasitas atau kebutuhan listrik yang besar, namun jika digunakan untuk kebutuhan yang kecil seperti di pedalaman dan plosok pedesaan atau pulau terpencil untuk meratakan elektrifikasi di Indonesia sangat tidak cocok. Oleh karena itu perlu Pembangkit listrik yang cepat dalam proses pembangunan, pengoperasian yang mudah, dan dapat menyuplai listrik sesuai kebutuhan warga setempat serta dapat dengan mudah diinstal di berbagai lokasi, sehingga nanti juga dapat membantu dalam proses perancangan hingga pembangunan PLTU di daerah tersebut.

PLTD dengan mesin Diesel atau Genset merupakan Pembangkit listrik yang efektif digunakan dalam keadaan darurat dan cepat dalam menyuplai listrik, serta tahan dalam pemakaian jangka waktu lama. Sebenarnya terdapat energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan seperti energi angin, surya, mikro hidro dan gelombang laut. Namun energi terbarukan tersebut membutuhkan kondisi serta keadaan alam yang sesuai. Sedangkan Genset merupakan pembangkit yang dapat dibangun di semua tempat dan semua kondisi.

Semua pembangkit listrik skala besar pasti memiliki sistem *Back-Up*, artinya pasti memiliki mesin Genset yang digunakan saat keadaan pembangkit utama shutdown. Proses suplai listrik pada mesin Genset juga tergolong cepat dan mudah. Tidak hanya itu di pedalaman Indonesia serta pulau-pulau kecil, genset masih menjadi mesin pembangkit utama dalam mensuplai listrik. Seperti proyek instalasi Genset berkapasitas 100&200 Kw dengan jumlah total 156 unit yang tersebar di Pulau Kalimantan, NTB, Papua, Sulawesi dan Maluku oleh perusahaan ABC dengan nilai proyek  $\pm 100M$ .

Dalam kasus proyek tersebut disebutkan bahwa waktu mulai proyek pada bulan April 2017 dengan batas pengiriman unit dan material instalasi sampai bulan Agustus 2017. Kemudian dilanjutkan dengan proses Instalasi dan Test Commissioning sampai bulan Februari 2018. Namun dalam prosesnya terdapat masalah yang tidak terduga, seperti sistem eror saat *test commissioning*, kerusakan komponen, proses pengiriman yang lama dan masalah lainnya, yang menyebabkan penyelesaian proyek instalasi genset terlambat hingga bulan Desember 2018. Untuk mengatasi permasalahan tersebut pastinya memerlukan biaya yang tidak sedikit, dan dapat mengakibatkan biaya *overhead* hingga mengakibatkan kerugian besar.

Masalah-masalah yang muncul dikarenakan kurang persiapan tim dalam mengidentifikasi dan membuat langkah mitigasi untuk risiko-risiko yang dapat terjadi selama proyek berlangsung. Oleh karena itu perlu dilakukan evaluasi dan perbaikan manajemen risiko untuk proyek selanjutnya jika akan dilakukan dengan jumlah unit yang lebih banyak, untuk menghindari pemasalahan yang dapat muncul dan mengakibatkan pembengkakan biaya.

Dalam studi literatur menyebutkan bahwa secara umum keterlambatan proyek terjadi karena beberapa faktor, diantaranya faktor tenaga kerja, material, peralatan kerja, eksternal, kontrak, komunikasi, keadaan lapangan, keuangan dan desain (Marzouk dan Rasas, 2013). Dari refresensi lain pada proyek konstruksi fasilitas minyak dan gas disebutkan detail faktor penyebab keterlambatan diantaranya kurang ketersediaan tenaga kerja yang kompeten, adanya perubahan spesifikasi material, adanya peralatan yang rusak, buruknya supervisi dan manajemen lokasi, keterlambatan proses pembayaran ke kontraktor (Sweis, dkk., 2008), kondisi cuaca yang tidak mendukung (Odeh dan Battaineh, 2002), permasalahan dengan penduduk sekitar, jenis atau tipe kontrak yang tidak sesuai dengan sifat proyek, kurang komunikasi antara stakeholder (Raquishi dan Bashir, 2013), kesalahan dalam defenisian spesifikasi, laporan data tanah yang salah, adanya *rework* karena kesalahan saat eksekusi (Doloi, dkk., 2012), dan juga pengumpulan data yang kurang lengkap saat survey (Assaf dan Heiji, 2006).

Pada penelitian lain yang fokus dengan *risk assessment genset* menyebutkan bahwa kerusakan peralatan *engine* dan generator merupakan faktor risiko terbesar yang mempengaruhi timbulnya permasalahan. Pada bagian *engine* sering terjadi kerusakan pada *water pump*, *exhaust pipe*, radiator, sensor, *oil filter*. Sedangkan di bagian generator yaitu *Automatic Voultage Regulator (AVR)*, baterai, transistor, dan diode (Ariyani dan Vanany, 2014). Jika dikaitkan dengan literatur sebelumnya kerusakan peralatan akan mengakibatkan keterlambatan jika terjadi dalam proyek. Oleh karena itu perlu dilakukan risk assessment untuk mengantisipasi risiko pada proyek instalasi genset, sehingga tidak terjadi keterlambatan dan kelebihan biaya kedepannya.

Dalam manajemen risiko terdapat banyak metode untuk menganalisa dan mengidentifikasi risiko, seperti metode *Fault Tree Analysis (FTA)*, *Failure*

*Mode Effect and Analysis (FMEA), Value At Risk (VAR), Management Oversight Risk Tree (MORT)* dan lain sebagainya, dimana masing – masing metode memiliki kelebihan serta kekurangan tersendiri. Dari berbagai metode risk assessment, FTA merupakan metode analisis risiko yang sering digunakan karena lebih sistematis dalam identifikasi dan analisa risiko dengan membuat jalur kesalahan logis dari dampak kegagalan ke penyebab utama, dapat menentukan tahapan penyebab kegagalan dan interaksi antar penyebab satu dengan yang lain, dapat dikembangkan secara bersamaan dengan pengembangan desain yang terjadi serta mudah dikonversi ke pengukuran probabilitas (Hoyland dan Rausand, 1994). Oleh sebab itu, penelitian ini menggunakan FTA untuk mengetahui interaksi antar penyebab suatu permasalahan dengan permasalahan lainnya dalam proyek instalasi genset, dengan cara mengidentifikasi permasalahan dari kejadian utama menuju sebab akar permasalahan. Sedangkan metode *risk assessment* yang lain kurang cocok digunakan pada penelitian ini. Misalnya pada metode FMEA berfokus pada perankingan permasalahan untuk mendapatkan efek yang yang dapat ditimbulkan pada sistem. Hal ini sangat bertolak belakang dengan latar belakang permasalahan, karena pada penelitian ini yang dicari adalah sebab terjadinya keterlambatan. Untuk metode VAR merupakan cara untuk mengukur besarnya risiko yang terjadi pada portofolio yang dimiliki investor dan MORT merupakan metode yang hampir sama dengan FTA namun lebih sering digunakan dalam bidang K3 serta memiliki waktu pengerjaan yang lebih lama.

Dalam metode FTA juga terdapat tahap yang memerlukan input persentase probabilitas dari sebuah kejadian tak terduga. Namun pada dasarnya metode yang diterapkan adalah perhitungan persentase secara kuantitatif atau kualitatif dimana hasil dari perhitungan tidak menyangkup seluruh kejadian dan sulit memecahkan kejadian yang lebih kompleks. Sehingga pada langkah ini dapat ditambahkan sebuah metode dengan keakuratan dan kompleksitas yang tinggi. Metode yang ditambahkan pada penelitian ini adalah Monte Carlo *Simulation* (MCS).

Monte Carlo Simulation merupakan metode perhitungan yang sering digunakan untuk mengevaluasi probabilitas kejadian pada FTA, dengan kelebihan sistem yang lebih kompleks dan jumlah variable yang besar dari minimal cut set (Ejlali dan Miremadi, 2004). Perhitungan Monte Carlo Simulation memerlukan

data historical atau sampling kemudian dilakukan proses kumputasi dan iterasi data sampling secara acak untuk memperoleh hasil nilai probabilitas, sehingga pada umumnya MCS dilakukan menggunakan komputer atau software. Software atau alat yang biasa digunakan untuk membangkitkan data dalam simulasi untuk menentukan risiko dengan cara pembangkitan bilangan random yang memiliki keberhasilan tinggi dalam pemakaiannya adalah software @Risk. Dari pertimbangan beberapa metode maka penelitian ini mengkombinasi metode FTA dengan MCS untuk *study case* proyek instalasi genset agar mendapatkan hasil yang lebih akurat.

## **1.2. Rumusan masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dari penelitian tesis ini adalah:

1. Apa saja penyebab keterlambatan proyek instalasi genset di daerah Kalimantan, NTB, Papua, Sulawesi dan Maluku?
2. Bagaimana evaluasi dan tindakan mitigasi yang dilakukan terhadap risiko yang terjadi?

## **1.3. Tujuan penelitian**

Berdasarkan latar belakang dan rumusan permasalahan yang timbul, maka tujuan dari penelitian tesis ini adalah:

1. Mengetahui risiko-risiko kritis penyebab keterlambatan proyek instalasi genset di daerah Kalimantan, NTB, Papua, Sulawesi dan Maluku berdasarkan laporan permasalahan yang muncul di berita acara menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA).
2. Menentukan langkah mitigasi risiko berdasarkan besarnya nilai dan kriteria risiko yang didapatkan dari proses FTA dan perhitungan risiko kritis dengan metode *Monte Carlo Simulation*.



#### **1.4. Manfaat penelitian**

Manfaat dari penelitian tesis ini adalah:

1. Mengetahui risiko-risiko dalam proyek instalasi genset di Kalimantan, NTB , Papua, Sulawesi dan Maluku.
2. Sebagai kontribusi ilmu untuk manajemen risiko dengan Studi Kasus Proyek Instalasi Genset di Kalimantan, NTB , Papua, Sulawesi dan Maluku menggunakan metode Fault Tree Analysis dengan Monte Carlo Simulation.
3. Sebagai pengembangan ilmu pada *Risk Assesemnt* dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* ditambah dengan metode *Monte Carlo Simulation* pada kasus instalasi genset di lokasi – lokasi yang memiliki karakteristik berbeda.

#### **1.5. Batasan penelitian**

Penelitian ini memiliki ruang lingkup yang menjadi batasan dalam penelitian ini. Batasan penelitian sebagai berikut :

1. Risiko dilihat dari aspek mesin, generator, sistem bantu, material instalasi, komponen elektrikal dan mekanikal.
2. Data frekuensi kejadian didapatkan dari berita acara penyelesaian permasalahan yang terjadi di lokasi proyek.
3. Untuk kuesioner hanya diperlakukan untuk responden yang berpengalaman dalam pembangkit listrik tenaga diesel dan memiliki sertifikat tenaga ahli.
4. Software @Risk digunakan sebagai alat bantu simulasi dengan metode monte carlo.
5. Data yang diambil berdasarkan pada masing - masing lokasi instalasi, dimana dapat memiliki karakteristik keadaan yang berbeda
6. Semua Genset dibuat pada tahun yang sama yaitu pada tahun 2017

7. Pengambilan data akhir berdasarkan tanggal Berita Acara Serah Terima proyek ke – II yaitu Desember 2018 (Dalam Berita Acara satu mesin genset, tidak terdapat data dengan kasus atau jenis kerusakan yang sama

## **1.6. Sistematika penulisan**

Sistematika penulisan laporan proposal penelitian ini adalah sebagai berikut:

### **1. BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini berisi pendahuluan yang menjelaskan latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian serta sistematika penulisan.

### **2. BAB 2 KAJIAN PUSTAKA**

Bab ini berisi kajian terhadap teori dan penelitian-penelitian yang sudah ada sebelumnya. Kajian pustaka ini bertujuan untuk memperkuat dasar dan alasan dilakukan penelitian.

### **3. BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisi mengenai rancangan penelitian, lokasi dan tempat penelitian, serta tahapan-tahapan sistematis yang digunakan selama melakukan penelitian.

### **4. DAFTAR PUSTAKA**

Berisi daftar referensi yang digunakan dalam penelitian ini, baik jurnal, buku, maupun artikel.

**(Halaman sengaja dikosongi)**

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan tentang teori yang terkait dalam penyusunan tesis dan kajian pustaka relevan yang diambil dari penelitian sebelumnya. Kajian pustaka ini dibuat sebagai landasan dalam penelitian ini.

#### **2.1. GENSET (Generator Set)**

GENSET (Generator Set) merupakan pembangkit listrik dengan penggerak mesin diesel yang menghasilkan energi mekanis kemudian digunakan untuk memutar sebuah rotor pada generator agar menghasilkan energi listrik. Komponen dasar dari mesin diesel terdiri dari mekanisme yang meliputi silinder, piston, crankshaft, dan connecting rod. Dari mekanisme tersebut terbentuklah suatu ruangan di atas piston yang bisa disebut ruang bakar (combustion).

Bagian dari genset sendiri meliputi, generator, mesin diesel, turbocharged, radiator, tanki solar, engine panel, battery (Accu), baseframe, pelumasan, kompensator, dan silencer. Berdasarkan studi kasus dalam proyek instalasi genset di Kalimantan, NTB, Papua, Sulawesi dan Maluku merek engine yang digunakan adalah DEUTZ.

Di zaman yang maju ini mulai terdapat inovasi genset. Awalnya genset hanya ada tipe open, sekarang terdapat tipe silent, dimana tipe silent adalah genset yang praktis karena genset sudah dikemas dalam bentuk kanopi/kontainer dan sudah termasuk dengan peredaman suara serta ventilasi udara. Dibanding dengan tipe open, genset silent dapat diletakan di ruang terbuka tanpa ada bangunan power house/rumah genset, yang nantinya memerlukan instalasi seperti peredaman ruangan, ducting untuk sirkulasi udara, instalasi pipa gas buang, dan instalasi pipa bahan bakar yang memerlukan biaya lebih besar. Berikut adalah bentuk dari genset tipe open pada gambar 2.1 dan tipe silent pada gambar 2.2



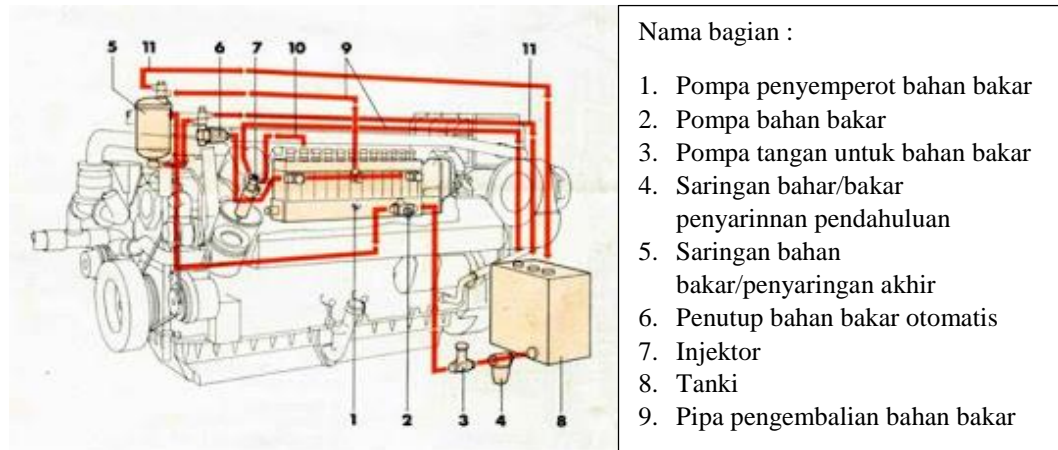
Gambar 2.1. Bentuk genset tipe open



Gambar 2.2. Gambar genset tipe silent

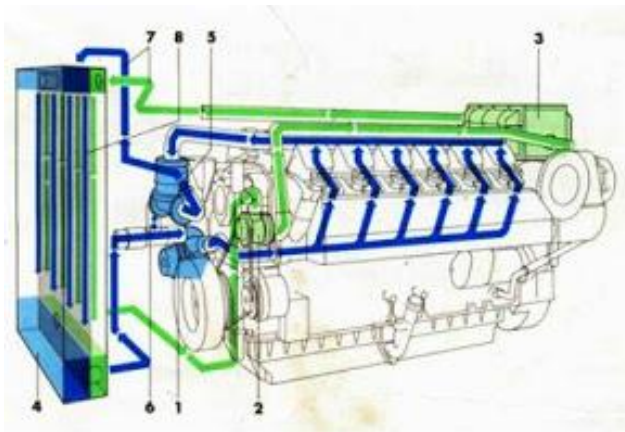
## 2.2. Komponen Engine

Komponen terpenting dalam genset adalah engine atau mesin diesel yang berfungsi sebagai sumber energi penggerak genset untuk dikonversi menjadi energi listrik. Dalam mesin diesel bahan bakar yang digunakan sebagai proses pembakaran adalah solar. Dalam proses pembakaran, terjadi siklus ekspansi – kompresi atau sering disebut siklus rankine untuk menggerakkan piston. Piston–piston yang saling berhubungan akan menggerakkan secara berputar poros engine. Berikut bagian–bagian dari part Engine yang bertugas dalam mendistribusikan bahan bakar, dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3. Gambar Part BBM Engine

Pada saat genset beroperasi membutuhkan sistem pendingin untuk menjaga temperatur mesin agar tidak overheated. Pada bagian genset yang berperan utama dalam proses pendinginan adalah part radiator, dimana terjadi proses heat exchanger antara air panas yang didinginkan oleh blower kemudian fluida air masuk kembali dalam sistem. Berikut bagian part engine yang bertugas dalam sistem pendinginan, dapat dilihat pada gambar 2.4

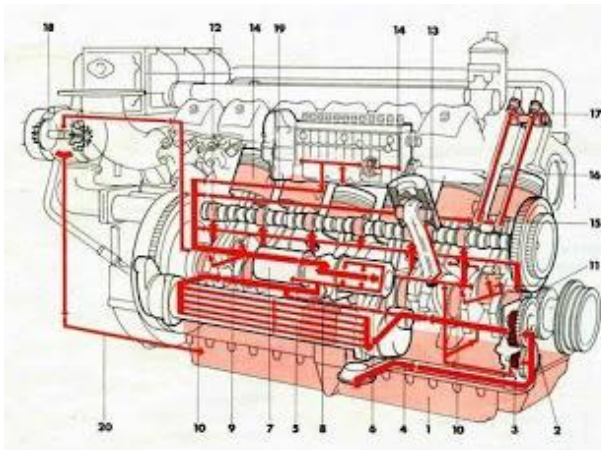


Nama bagian :

1. Pompa air untuk pendingin mesin
2. Pompa air untuk pendinginan intercooler
3. Inter cooler (Alat pendingin udara yang telah dipanaskan)
4. Radiator
5. Thermostat
6. Bypass (jalan potong)
7. Saluran pengembalian lewat radiator
8. Blower

Gambar 2.4. Gambar Part Pendingin Engine

Dalam komponen engine terdapat part yang selalu bekerja aktif seperti, bearing yang berputar secara terus menerus, gesekan antar gear dan part lainnya. Oleh karena itu, untuk menjaga kualitas part agar tetap baik perlu adanya sistem pelumasan pada part tersebut. Berikut bagian part engine yang bertugas sebagai sistem pelumasan engine , dapat dilihat pada gambar 2.5



Nama bagian :

1. Tangki minyak/oli
2. Pompa pelumas
3. Pompa minyak pendingin
5. Pendingin minyak pelumas
7. Saringan minyak pelumas
10. Bearing poros engkol
11. Bearing ujung besar
12. Bearing poros-bubungan
13. Sprayer atau nozzle
14. Piston
18. Pemasat udara

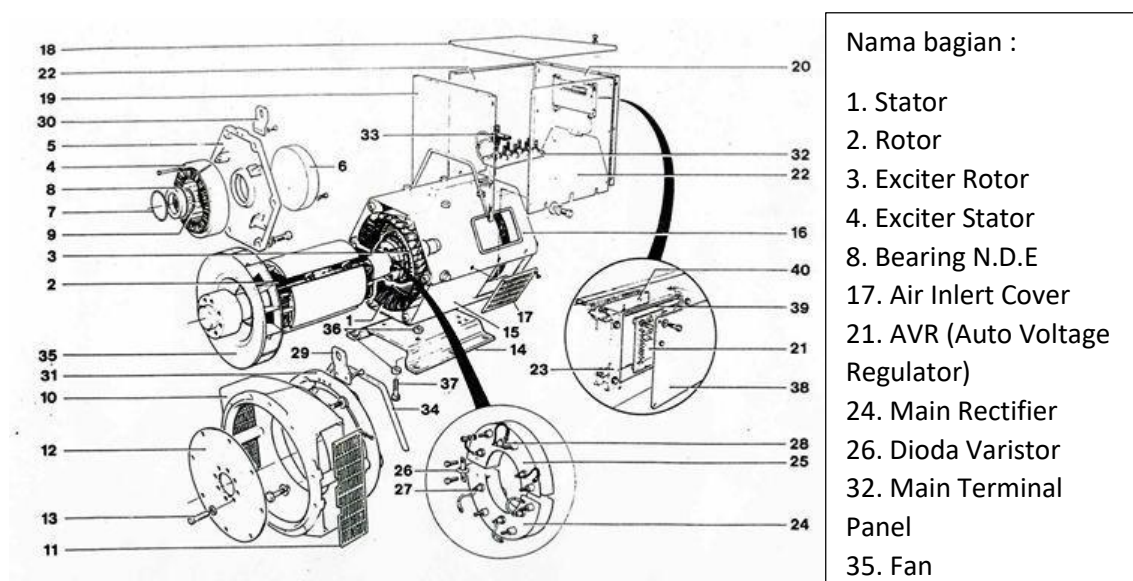
Gambar 2.5. Gambar Part Pelumasan Engine

Jadi energi yang dikeluarkan oleh genset tergantung oleh kondisi dari part bahan bakar, pendinginan dan pelumasan. Jika terdapat kerusakan atau permasalahan dari part tersebut, maka engine tidak akan bekerja secara optimal. Jika permasalahan yang terjadi besar, maka genset tidak bisa beroperasi karena ada

proteksi kemudian alarm akan menyala yang artinya perlu dilakukan pengecekan atau perbaikan terlebih dahulu.

### 2.3. Komponen Generator

Dalam genset terdapat komponen generator yang berfungsi sebagai pengubah energi mekanik engine berupa putaran poros menjadi energi listrik. Sebagai output sumber listrik dari genset, generator juga memerlukan sistem pendukung lainnya untuk mengatur besarnya power yang dihasilkan agar sesuai dengan sistem, yaitu dengan AVR (Auto Voltage Regulator). Tidak hanya AVR masih ada part lainnya dalam generator sebagai part pendukung, berikut adalah part - part yang terdapat di generator, dapat dilihat pada gambar 2.6



Gambar 2.6. Gambar Part Generator

### 2.4. Komponen Instalasi

Dalam menunjang sistem genset agar berjalan dengan baik, secara umum genset memerlukan sistem instalasi diluar sistem genset itu sendiri. Pada umumnya komponen instalasi genset terdiri dari 5 (enam) sistem yaitu :



1. Sistem bahan bakar
2. Sistem peredaman
3. Sistem gas buang
4. Sistem elektrik
5. Sistem grounding

Dari masing-masing sistem tersebut saling memberikan pengaruh pada performa genset untuk menghasilkan power yang baik dan menjaga agar genset tetap dalam kondisi prima saat digunakan. Berikut dijelaskan secara umum bagian – bagian dari sistem instalasi genset.

#### **2.4.1 Sistem bahan bakar**

Pada umumnya sistem bahan bakar genset adalah sebuah sistem dalam mendistribusikan aliran solar dari tempat penyimpanan solar / storage tank menuju inlet suplai engine. Dalam mendistribusikan solar media yang dipakai adalah pipa besi atau black steel pipe. Part tambahan yang digunakan dalam pipa distribusi solar seperti valve, check valve, fitting dan sebagai mediasi penyaringan air dalam solar adalah water separator. Part water separator biasa digunakan dalam instalasi bahan bakar genset karena sangat efektif untuk menyaring kandungan air yang bercampur dalam solar dan juga dapat dijadikan sebagai penyaring tambahan sebelum pre filter solar yang langsung masuk dalam engine. Berikut adalah gambar dari water separator pada gambar 2.7



Gambar 2.7. Gambar Water separator

### 2.4.2 Sistem peredaman

Sistem peredaman genset merupakan instalasi ruang genset dengan menggunakan teknik peredaman suara dengan material tertentu, seperti rockwool, busa, dan material peredaman lainnya. Tujuan dari sistem ini adalah sebagai peredaman suara bising yang dihasilkan oleh genset saat beroperasi. Suara bising yang ditimbulkan oleh genset saat beroperasi bisa mencapai 95dB hingga 115 dB, jika menggunakan peredaman ruang maka suara bising genset dapat berkurang hingga 75 dB. Berikut gambar instalasi peredaman ruang genset, dapat dilihat pada gambar 2.8 .



Gambar 2.8. Gambar Peredaman Ruang Genset

### 2.4.3 Sistem Gas Buang

Sistem gas buang genset adalah sistem pembuangan gas dari ruang pembakaran genset. Temperature yang masih panas dari ruang pembakaran genset ini harus dibuang ke ekosistem agar tidak terjadi back pressure pada genset. Pada realitanya pemasangan sistem gas buang ini menggunakan pipa gas yang tahan temperature tinggi, biasanya sebagai pelengkap ditambahkan silencer / muffler untuk meredam suara dan menyaring asap karbon yang bercampur dengan gas

buang. Terdapat jenis – jenis silencer yang biasa digunakan dalam instalas gas buang seperti industrial, residential dan crtical silencer dimana masng-masing jenis tersebut memiliki tingkat peredaman suara yang berbeda. Berikut adalah gambaran dari silencer, dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9. Gambar Silencer gas buang

#### **2.4.4 Sistem Elektrikal**

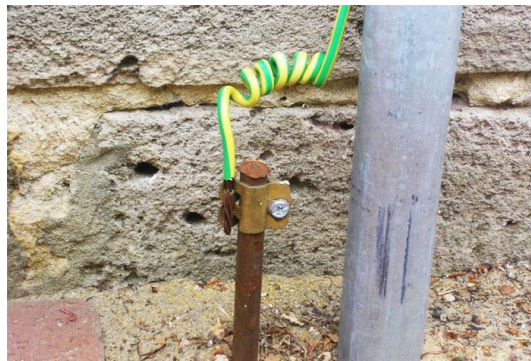
Sistem elektrikal genset adalah sistem kontrol power output dari genset, dimana terdapat engine panel dan sistem sinkron didalamnya untuk mengatur dan memonitor kinerja genset. Dalam sistem sinkron output dari 2 (dua) genset atau lebih akan disatukan dan disinkronisasi untuk mendapatkan frekuensi yang sama sebelum masuk ke beban rumah tangga. Berikut gambar panel sinkron genset, dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Gambar Panel Sinkron

#### 2.4.5 Sistem Grounding

Sistem grounding atau pembumian merupakan sistem yang penting dalam instalasi alat elektrikal seperti genset, pompa, moto, komponen yang dilalui listrik dan panel yang mengatur distribusi listrik harus ada sistem grounding. Hal ini bertujuan sebagai proteksi atau pengaman komponen dari medan listrik yang dihasilkan oleh sumber listrik, oleh karena itu dalam instalasinya grounding akan ditanam dalam tanah dimana jika dilihat dengan alat ukur memiliki hambatan sebesar 0 - 5  $\Omega$  (ohm). Dalam praktiknya standard penanaman grounding adalah kurang lebih sedalam 6 m dari permukaan tanah serta lokasi yang dekat dengan aliran air. Berikut adalah gambar pemasangan grounding, dapat dilihat pada gambar 2.11



Gambar 2.11. Gambar instalasi grounding

## 2.5. Risk Assessment

Risk Assessment adalah metode sistematis untuk menentukan risiko dari suatu aktivitas dimana risiko tersebut dapat diterima atau tidak. Hal ini bermanfaat jika hasil yang sudah teridentifikasi dapat diprioritaskan dan dapat dikendalikan dengan cara yang benar. Sehingga dapat memilih alternatif untuk mengendalikan risiko dengan strategi pengendalian yang tepat dan hemat biaya . Besarnya dampak dari risiko dapat dianalisis dalam dua perspektif, yaitu: probability (kecenderungan atau peluang) dan impact atau consequence (besaran dari terealisirnya risiko). Dengan demikian, besarnya risiko (risk) merupakan perkalian antara probability dan consequence, dengan rumusan sebagai berikut :

$$R = P \times I \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

R : Tingkat risiko

I : *Tingkat dampak (Impact) risiko yang terjadi*

P : *Kemungkinan (Probability) risiko yang terjadi*

Penilaian risiko dapat menggunakan dua teknik analisa, yaitu: (1) *Qualitative Analysis*; dan (2) *Quantitative Analysis*.

### a. Qualitative Analysis

Analisa Kualitatif menggunakan bentuk kata atau skala deskriptif untuk menjelaskan seberapa besar kondisi dampak dan kemungkinan kejadian tersebut. Dengan menggunakan beberapa tools seperti self-assessment (low, medium, high), questionnaires, dan internal audit reviews.

### b. Quantitative Analysis

Sementara itu, Analisa kuantitatif menggunakan h a s i l d a t a berbentuk angka/numerik untuk setiap konsekuensi dan kemungkinan yang diperoleh dari:

1. Hasil percobaan atau prototype
2. Pengalaman kejadian yang relevan
3. Laporan kejadian yang sudah terjadi
4. Literatur yang beredar dan relevan
5. Benchmarking (Mengukur dan membandingkan data kejadian).

Dengan sumber data tersebut hasil analisis memiliki keakuratan lebih tinggi dibandingkan dengan analisa kualitas.

## **2.6. FTA (Fault Tree Analysis)**

*Fault Tree Analysis* (FTA) adalah suatu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi risiko yang memungkinkan akan terjadinya kegagalan. Metode ini dilakukan dengan pendekatan yang bersifat *top down*, yang diawali dengan asumsi kegagalan atau kerugian dari kejadian puncak (*top event*) kemudian merinci sebab-sebab suatu top event sampai pada suatu kegagalan dasar (*root cause*).

FTA merupakan teknik untuk mengidentifikasi kegagalan (*failure*) dari suatu system. FTA berorientasi pada fungsi atau yang lebih dikenal dengan "*top down approach*" karena analisa ini berawal dari system level (*top*) dan meneruskannya ke bawah (Priyanta, 2000).

FTA merupakan sistem representasi dari kombinasi logika sebuah sistem dan kemungkinan yang merujuk pada satu kejadian utama atau *top event*. FTA merupakan suatu alat yang digunakan untuk memprediksi kejadian atau alat identifikasi setelah terjadinya sebuah kegagalan dengan melakukan analisis proses kejadian. FTA merupakan metode yang paling efektif dalam menemukan inti permasalahan, karena FTA merupakan kerangka berpikir terbalik, dimana evaluasi berawal dari insiden kemudian dikaji penyebab dan akar penyebabnya.

Konsep mendasar dari FTA adalah menterjemahkan dan menganalisis suatu kegagalan dari suatu sistem ke dalam bentuk diagram visual dan model logika. FTA mempunyai nilai penting dalam penyelesaian suatu proyek, karena analisis ini:

1. Dapat menganalisis kegagalan sistem secara deduktif;
2. Dapat mencari aspek dari sistem yang terlibat dalam kegagalan utama
3. Membantu pihak manajemen mengetahui perubahan dalam sistem;
4. Membantu mengalokasikan penganalisis untuk berkonsentrasi pada suatu bagian kegagalan.

FTA merupakan sebuah *analytical tool* yang menerjemahkan secara grafik kombinasi-kombinasi dari kesalahan yang menyebabkan kegagalan dari sistem. Teknik ini berguna mendeskripsikan dan menilai kejadian didalam sistem (Foster, 2004). FTA menggunakan dua simbol utama yang disebut events dan gates. Ada tiga tipe event yaitu:

#### *1. Primary event*

Primary event adalah sebuah tahap dalam proses penggunaan produk yang mungkin saat gagal. Primary event lebih lanjut dibagi menjadi tiga kategori yaitu:

- a. Basic event
- b. Undeveloped events
- c. External events

#### *2. Intermediate event*

Intermediate event adalah hasil dari kombinasi kesalahan-kesalahan, beberapa diantaranya mungkin primary event. Intermediate event ini ditempatkan di tengah-tengah sebuah fault tree.

#### *3. Expanded Event*

Expanded Event membutuhkan sebuah fault tree yang terpisah dikarenakan kompleksitasnya. Untuk fault tree yang baru ini, expanded event adalah undesired event dan diletakkan pada bagian atas fault tree.

Dari berbagai penjelasan mengenai dasar teori Fault Tree Analysis, terdapat ringkasan keunggulan dan kekurangan dari metode FTA dengan metode lain, yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Keunggulan dan Kelemahan FTA

<b>Keunggulan</b>	<b>Kekurangan</b>
Pendekatan yang metodologis dan terstruktur	Memakan waktu yang cukup lama dalam pembuatannya
Menampilkan desain flowchart proses secara rinci	Memerlukan analisa yang memiliki pengalaman dan pelatihan cukup
Mengikuti Alur kesalahan Dalam Batasan sistem	
Dapat Dilakukan perhitungan probabilitas	
Dapat digunakan untuk permasalahan yang kompleks	

Pada latar belakang, telah dijelaskan bahwa keterlambatan proyek bisa terjadi karena adanya kerusakan. Kemudian, pada batasan masalah juga telah disebutkan beberapa risiko yang akan menjadi top event untuk pemodelan FTA, diantaranya adalah kerusakan mesin, kerusakan generator, alat instalasi dan keadaan lingkungan. Karena top event telah diketahui dan salah satu keuntungan FTA yang ada pada Tabel 2.1 yaitu dapat digunakan untuk permasalahan yang kompleks, maka metode FTA dipilih untuk meneliti risk assessment penyebab keterlambatan proyek instalasi genset. Mengenai kelemahan FTA yang memerlukan analisa oleh orang yang memiliki pengalaman dapat diatasi, karena proyek ini dikerjakan oleh perusahaan yang tentunya telah memiliki pengalaman dan sertifikasi di bidangnya.

### 2.6.1 Tahapan Analisa FTA (Fault Tree Analysis)

Menurut Priyanta (Priyanta, 2000), terdapat 4 tahapan untuk melakukan analisa dengan *Fault Tree Analysis* (FTA), yaitu sebagai berikut.

1. Mendefinisikan Masalah dan Kondisi Batas dari Suatu Sistem



Langkah ini bertujuan untuk mencari *top event* yang merupakan definisi dari kegagalan suatu system, ditentukan terlebih dahulu dalam menentukan sebuah model grafis FTA.

## 2. Penggambaran Model Grafis Fault Tree

Tahapan kedua membuat model grafis *Fault Tree*. Aturan dalam membuat FTA dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Aturan dalam membuat FTA

Nomor	Aturan
1.	Mendesripsikan <i>fault event</i> (kejadian gagal)
2.	Mengevaluasi fault event
3.	Melengkapi semua gerbang logika ( <i>logical gate</i> )

Model grafis FTA memuat beberapa symbol, yaitu symbol kejadian, symbol gerbang dan symbol transfer. Simbol kejadian adalah symbol yang berisi kejadian pada system yang dapat digambarkan dengan bentuk lingkaran, persegi dan yang lainnya, yang mempunyai arti masing-masing. Contoh dari symbol kejadian adalah intermediate event dan basic event. Sedangkan untuk symbol gerbang, menyatakan hubungan kejadian input yang mengarah pada kejadian output. Hubungan tersebut dimulai dari top event sampai ke event yang paling mendasar. Contoh dari symbol gerbang adalah AND dan OR.

## 3. Penggambaran Model Grafis Fault Tree

Tahapan ketiga yaitu mencari *minimal cut set*. Mencari *minimal cut set* merupakan analisa kualitatif yang mana dipakai Aljabar Boolean. Aljabar Boolean merupakan aljabar yang dapat digunakan untuk melakukan penyederhanaan atau menguraikan rangkaian logika yang rumit dan kompleks menjadi rangkaian yang lebih sederhana (Widjanarka, 2006).

4. Melakukan Analisa Kuantitatif dari Fault Tree

Langkah terakhir yaitu melakukan analisa kuantitatif, yang mana dipakai teori *realibilitas* untuk menyelesaikannya. Keandalan/*Realibility* dapat didefinisikan sebagai nilai probabilitas bahwa suatu komponen atau suatu system akan sukses menjalani fungsinya, dalam jangka waktu dan kondisi operasi tertentu. Keandalan bernilai antara 0-1, dimana nilai 0 menunjukkan system gagal menjalankan fungsi dan 1 menunjukkan sistem 100% berfungsi.

Dari empat tahapan dalam penyelesaian FTA, langkah terakhir membutuhkan analisa pohon kegagalan. Di dalam menyelesaikan analisa pohon kegagalan, dilakukan tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Mengubah logika pohon kegagalan menjadi persamaan Boolean
2. Menyederhanakan (mereduksi) persamaan Boolean menjadi bentuk sederhana aturan seperti Tabel 2.3.
3. Proses: kuantifikasi dan penyederhanaan persamaan aljabar Boolean dilakukan dengan perangkat lunak.





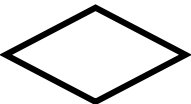
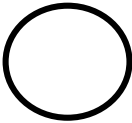
Tabel 2.3 Operasi Hukum Aljabar Boolean

NO	AND	OR	KETERANGAN
1	$(A.B).C = A.(B.C)$	$(A+B)+C = A+(B+C)$	Hukum Asosiatif
2	$A.B = B.A$	$A+B = B+A$	Hk. Komutatif
3	$(A+B).(A+C) = A+(B.C)$	$(A.B)+(A.C) = A(B+C)$	Hk. Distributif
4	$A.O = O$	$A+1 = 1$	Hk. Identitas
5	$A.A = A$	$A+A = A$	Hk. Idempoten
6	$A.A' = O$	$A+A' = 1$	Hk. Inversi / Negasi
7	$A = A$	$A = A$	Hk. Negasi Ganda
8	$A.O = O$	$A+O = A$	Hk. Hubungan Dgn
	$A.1 = A$	$A+1 = 1$	Suatu Konstanta
9	$A.(A+B) = A$	$A+(A.B) = A$	Hk. Absorbsi

### 2.6.2 Istilah-istilah dalam FTA

Dalam Model FTA terdapat simbol - simbol yang perlu dimengerti seperti simbol gate untuk menentukan uraian kejadian, berikut simbol gate dan istilah yang digunakan dalam pemodelan FTA dapat dilihat pada tabel 2.4

Tabel 2.4 Istilah dan Istilah dalam metode Fault Tree Analysis

Simbol	Istilah	Keterangan
	Top Event	Kejadian yang dikehendaki pada puncak yang akan diteliti lebih lanjut ke arah kejadian dasar lainnya dengan menggunakan gerbang logika untuk menentukan penyebab kegagalan
	Logic Event AND	Hubungan secara logika antara input dinyatakan dalam AND, yang menyatakan kedua event terjadi
	Logic Event OR	Hubungan secara logika antara input dinyatakan dalam OR, yang menyatakan jika salah satu dari dua event terjadi
	Transferred Event	Segitiga yang digunakan simbol transfer. Simbol ini menunjukkan bahwa uraian lanjutan kejadian berada di halaman lain.
	Undeveloped Event	Kejadian yang tidak akan dikembangkan lebih lanjut karena tidak tersedianya informasi sehingga dianggap kurang penting .
	Basic Event	Kejadian yang tidak diharapkan yang dianggap sebagai penyebab dasar sehingga tidak memerlukan pengembangan atau uraian lebih lanjut

### 2.6.3 Perumusan konfigurasi Series dan Paralel (OR & AND Gate)

Pada sub bab menjelaskan tentang rumus yang dipakai untuk perhitungan probability dalam FTA saat menggunakan jenis gate OR dan AND atau sering disebut konfigurasi series dan parallel. Untuk konfigurasi series dapat dilihat ada persamaan 2.2

$$F(t) = 1 - \prod_{i=2}^n [1 - F_i(t)] \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana

$F(t)$  : probabilitas kejadian atau kesalahan peristiwa keberadaan

$t$  : waktu

$i$  : Jumlah data  $\geq 2$

Ekspresi matematika tersebut terkait dalam keandalan sistem operasional jika salah satu komponen 1 OR atau komponen 2 OR gagal, maka salah satu tetap beroperasi, Jika semua komponen gagal maka sistem gagal.

Untuk perumusan jenis konfigurasi paralel dapat dilihat pada persamaan 2.3

$$F(t) = \prod_{i=2}^n F_i(t) \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana

$F(t)$  : probabilitas kejadian atau kesalahan peristiwa keberadaan

$t$  : waktu

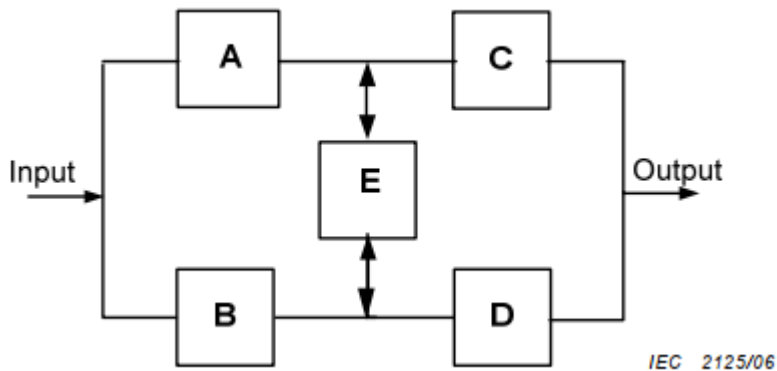
$i$  : Jumlah data  $\geq 2$

Ekspresi matematika tersebut terkait dalam keandalan sistem operasional jika salah satu komponen 1 AND atau komponen 2 AND gagal, maka semuanya gagal, Jika semua komponen diterima maka sistem tetap beroperasi (IEC, 2006) .

### 2.6.4 Contoh Perumusan Aljabar Boolean dalam FTA

Pada sub bab ini akan dijelaskan rumus penyederhanaan dalam aljabar Boolean pada metode FTA. Fungsi dari ekspresi matematika aljabar Boolean sendiri dapat mempermudah dalam membantu memecahkan permasalahan yang kompleks jika ditulis menggunakan diagram blok keandalan. Namun perhitungan penyederhanaan Aljabar Boolean memerlukan perangkat lunak dan perangkat keras (IEC, 2006).

Contoh perhitungan aljabar boolean dalam sebuah aliran blok dalam FTA ditunjukkan pada gambar 2.12.



Gambar 2.12. Contoh aliran blok dalam FTA

Dari gambar 2.12 dapat dirumuskan seperti persamaan 2.4 :

$$R_S = (R_A + R_B - R_A \cdot R_B) \cdot (R_C + R_D - R_C \cdot R_D) \cdot R_E + (R_A \cdot R_C + R_B \cdot R_D - R_A \cdot R_B \cdot R_C \cdot R_D) \cdot (1 - R_E) \dots\dots\dots(2.4)$$

### 2.7. Metode Monte Carlo

Metode Monte Carlo secara umum adalah metode yang digunakan untuk menghitung atau memperkirakan nilai atau solusi menggunakan angka acak, probabilitas, dan statistik. Dalam literatur lain, Metode Monte Carlo didefinisikan untuk mewakili solusi dari masalah sebagai parameter populasi hipotesis, dan menggunakan urutan angka acak untuk membangun sebuah sampel dari populasi, dimana perkiraan statistik dari parameter dapat diperoleh (Metropolis dan Ulam, 2007).

Metode Monte Carlo merupakan dasar untuk semua algoritma dari metode simulasi yang didasari pada pemikiran penyelesaian suatu masalah untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dengan cara memberi nilai sebanyak-banyaknya (nilai bangkitan/*Generated Random Number*) untuk mendapatkan ketelitian yang lebih tinggi. Metode ini menganut system pemrograman yang bebas tanpa telalu banyak diikat oleh rule atau aturan tertentu (PMI, 2004).

Metode Monte Carlo ini cukup sederhana dalam menguraikan atau menyelesaikan suatu persoalan. Oleh karen kesederhanaan metode ini, metode ini memiliki tiga batasan dasar yang perlu diperhatikan. Diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Apabila suatu persoalan sudah dapat diselesaikan atau dihitung jawabannya secara matematis dengan tuntas, maka metode Monte Carlo tidak diperlukan.
2. Apabila sebagian persoalan tersebut dapat diuraikan secara analitis dengan baik, maka penyelesaiannya lebih baik dilakukan secara terpisah, yaitu sebagian dengan cara analitis dan yang lainnya dengan simulasi Monte Carlo untuk kemudian disusun kembali keseseluruhan sebagai penyelesaian akhir.
3. Apabila mungkin maka dapat digunakan simulasi perbandingan. Kadangkala metode Monte Carlo dibutuhkan apabila dua sistem dengan perbedaan-perbedaan pada parameter, distribusi, cara-cara pelaksanaannya.

### **2.7.1 Simulasi Monte Carlo**

Simulasi Monte Carlo, yang berasal dari sampling statistik, pertama kali disampaikan oleh Metropolis dan Ulam (2007). Simulasi Monte Carlo adalah salah satu metode simulasi sederhana yang dapat dibangun secara cepat dengan hanya menggunakan spreadsheet, seperti : Ms. Excell (Cahyo, 2008). Simulasi Monte Carlo adalah metode untuk mengevaluasi iteratif model deterministik menggunakan nomor acak sebagai masukan (Yeh dan Sun, 2013).

Simulasi Monte Carlo didefinisikan sebagai semua teknik sampling statistik yang digunakan untuk memperkirakan solusi terhadap masalah-masalah kuantitatif (PMI, 2004).

Simulasi Monte Carlo dapat didefinisikan sebagai Simulasi sistem nyata yang di alam merupakan unit atau partikel, dengan mengamati perilaku sejumlah unit atau partikel yang memiliki kondisi secara acak menurut distribusi populasi, mirip dengan sistem nyata melalui generasi nomor acak (Setiawan, 2013).

Simulasi Monte Carlo adalah pengambilan sampel dengan menggunakan bilangan-bilangan acak (random numbers) dengan prinsip kerja adalah membangkitkan bilangan - bilangan acak atau sampel dari suatu variabel acak yang telah diketahui distribusinya, sehingga seolah-olah dapat diperoleh data dari lapangan, atau dengan kata lain Simulasi Monte Carlo meniru kondisi lapangan secara numerik (Kwak dan Stoddard, 2004).

Pembangunan model Simulasi Monte Carlo didasarkan pada probabilitas yang diperoleh data historis sebuah kejadian dan frekuensinya :

$$P_i = \frac{f_i}{n} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana:

- $P_i$  : Probabilitas kejadian  $i$
- $f_i$  : Frekuensi kejadian  $i$
- $n$  : Jumlah frekuensi semua kejadian

Simulasi Monte Carlo dikategorikan sebagai metode sampling karena input yang dihasilkan secara acak dari probabilitas distribusi untuk mensimulasikan proses sampling dari populasi yang sebenarnya dan beberapa penulis mengadopsinya untuk mengukur keandalan sistem karena keuntungan dari kemudahan dan akurasi (Yeh dan Sun, 2013).

Simulasi Monte Carlo dapat digunakan di bidang manajemen proyek, untuk menganalisa risiko dan ketidakpastian yang umum terjadi dalam pembiayaan proyek. Hasil simulasi Monte Carlo dapat membantu manajer proyek dalam menentukan ekspektasi pembiayaan proyek yang lebih realistis (PMI, 2004).

Caranya dengan melakukan simulasi terhadap beberapa risiko yang muncul, untuk mengetahui perkiraan terjadinya risiko pada beberapa permasalahan yang terjadi di dunia proyek.

Dalam simulasi Monte Carlo, terdapat tiga langkah penting yang perlu dilakukan selama proses simulasi, di antaranya adalah sebagaimana dijelaskan berikut:

1. Membangun distribusi populasi yang erat mewakili distribusi populasi dari sistem nyata.
2. Menghasilkan nomor acak mengikuti distribusi populasi, untuk mewakili sifat atau kondisi komponen yang membentuk sistem.
3. Memprediksi sifat sistem makroskopik didasarkan pada ekspektasi matematis dari sistem yang disimulasikan.

Dalam metode Monte Carlo, simulasi sistem yang terdiri dari sejumlah unit atau partikel yang memiliki kondisi acak, distribusinya dibuat semirip mungkin dengan sistem nyata yang dilakukan melalui generasi nomor acak. Sifat sistem makroskopik kemudian hanya didekati dengan harapan matematis yang relevan. Pada penelitian ini metode monte carlo digunakan untuk membantu dalam menentukan pendekatan nilai besarnya risiko dari sample data probabilitas kejadian dasar dan konsekuensinya.

Berdasarkan teori-teori yang dijelaskan, metode FTA digunakan untuk mendapatkan penyebab kejadian dasar dan nilai probabilitas, kemudian akan dicari nilai konsekuensi dari kejadian dasar tersebut dengan expert judgement. Kemudian simulasi monte carlo digunakan untuk mencari risiko kritis dengan bilangan random dari data konsekuensi dan probabilitas menggunakan software @risk.



## 2.8. Kajian penelitian terdahulu

Pada bagian ini dijelaskan beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian tesis yang dilakukan. Penelitian-penelitian yang dibahas merupakan beberapa penelitian mengenai Risk Assessment dengan metode Fault Tree Analysis dan Monte Carlo Simulation.

Berikut penjabaran penelitian terdahulu yang dijabarkan lebih mendalam pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Penelitian terkait yang sudah dilakukan

No.	Judul, Penulis dan Tahun	Data dan Atribut	Metode dan Tujuan Penelitian	Hasil
1.	<i>Risk Assessment</i> Dengan Simulasi Monte Carlo Dan Mitigasinya Pada Industri <i>Compressed Natural Gas</i> .  Penulis: Dewi Ariyani dan Iwan Vanany  2014	Data: 7 risiko pada proses produksi dan 10 Risiko pada proses distribusi	Metode: Risk Assesment dengan Simulasi Monte Carlo  Tujuan: Untuk mengetahui risiko mana yang paling kritis	Hasil: Mengetahui penyebab dari risiko yang paling kritis. Nilai resiko dari produksi terbesar adalah kerusakan mesin generator dengan nilai 0.86 Sedangkan Nilai risiko pada proses distribusi terbesar adalah alat sensor AMR tidak <i>update</i> sebesar 0,87
2.	Analisis Risiko <i>Downtime</i> Dan <i>Opportunity Loss</i> Operasional Industri Eksplorasi Gas Dengan Metode Simulasi Monte Carlo (Studi Kasus: Pt Pertamina Hulu Energi-West Madura Offshore)  Penulis: Andi Reza R dan Iwan Vanany  2014	Data : terdapat 11 variabel risiko yang memiliki pengaruh <i>downtime consequences</i> dan <i>opportunity loss consequences</i>	Metode: menganalisis risiko <i>downtime</i> dan <i>opportunity loss</i> Dengan Simulasi Monte Carlo  Tujuan: Untuk mendapatkan risiko kritis	Hasil: <i>Risiko terbesar terletak pada Set Point di Controller, Undetected Temperature</i> di <i>Transmitter</i> dan <i>Worn-out Bearing</i> di <i>Glycol Pump</i> dengan nilai risiko mencapai 0.3

3.	<i>Reliability analysis of a wastewater treatment plant using fault tree analysis and Monte Carlo simulation</i> Penulis: Masoud Taheriyoun dan Saber Moradinejad 2015	Data: 8 variable risiko yang memengaruhi kegagalan sistem WWTP	Metode: Fault Tree Analysis dan Monte Carlo Simulation  Tujuan: Untuk mengetahui risiko paling kritis	Hasil: kesalahan manusia memiliki nilai risiko terbesar pada kegagalan sistem WWTP dengan nilai 0.73
----	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------

Dari beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian tesis mengenai Risk Assessment dengan metode Fault Tree Analysis dan Monte Carlo Simulation. Selanjutnya dijelaskan tentang beberapa risiko dari kasus yang pernah terjadi pada PLTD dengan kasus pembangkit lainnya seperti PLTU, PLTG dan PLTA. Berikut adalah perbedaan penjabaran risiko PLTD yang pernah terjadi dengan pembangkit lain dapat dilihat pada Tabel 2.6

Tabel 2.6 Perbedaan Risiko dari jenis Pembangkit

No	Jenis Pembangkit	Risiko
1	PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap)	Banyak material yang hilang di lokasi proyek selama konstruksi. (PLTU Tanjung Jtai)
		Sumber Daya Manusia yang ada di daerah Cilacap kurang memadai. (PLTU Cilacap)
		Terdapat kendala dalam pekerjaan pondasi. (PLTU Cilacap)
		Kadang-kadang terjadi penyimpangan pekerjaan antara pelaksana dengan desainer. (PLTU Cilacap)
		Banyaknya Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM) yang menentang proyek PLTU ini. (PLTU Cilacap)
		Pada saat pengangkutan rotor turbin dari pelabuhan Teluk Bayur ke lokasi proyek, telah terjadi kecelakaan sehingga rotor terjatuh ke dalam jurang dan rusak. Untuk penggantian memerlukan waktu sehingga penyelesaian proyek terhambat (PLTU Ombilin)
2	PLTP (Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi)	risiko eksplorasi pada saat pengeboran sumur untuk mendapatkan sumur dengan uap temperatur dan bertekanan tinggi dengan kualitas dan kuantitas yang bagus. (PLTP Kamojang)
		risiko pengeboran dengan penggunaan peralatan berat (PLTP wayang windu)
3	PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap dan Gas)	Telah terjadi perubahan peraturan yang membuat anggaran belum tersedia sementara barang sudah banyak yang tiba di pelabuhan. Akibatnya pengeluaran barang tertunda cukup lama sehingga proyek tertunda. (PLTGU Muara Tawar, Tambak Lorok dan Grati)

4	PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air)	Telah terjadi <i>unforseen condition</i> , dimana kondisi tanah dalam terowongan ( <i>tunnel</i> ) tidak sesuai spesifikasi kontrak, sehingga <i>Tunnel Boring Machine</i> tidak dapat berfungsi karena terperangkap dalam tanah yang lunak. Sebagai akibatnya pihak kontraktor mengajukan klaim yang besar kepada PLN. (PLTA Singkarak)
---	--------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Sehingga dari masing – masing pembangkit tersebut dapat dirinci daftar risiko yang pernah terjadi di pembangkit konvensional di Indonesia antara lain adalah karena adanya pembengkakan biaya, infrastruktur, kontraktual dan manajemen, lebih detail dapat dilihat pada tabel 2.7, sebagai berikut

*Tabel 2.7 Daftar Risiko dari keseluruhan Pembangkit konvensional*

No	Daftar Risiko	Rincian Risiko
1	Risiko pembengkakan biaya	Risiko terjadinya penyimpangan kondisi lapangan dari spesifikasi kontrak atau risiko kondisi lahan/tapak tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.
		Risiko pihak pemberi kerja tidak dapat menyiapkan lokasi proyek pada waktunya atau terlambat dalam memberikan <i>design approval</i> .
		Adanya kendala pada saat pekerjaan pondasi.
		Risiko kecelakaan pada saat pengapalan yang dapat mengakibatkan kerusakan pada material
2	Risiko Infrastruktur	Risiko keterlambatan karena kurang siapnya infrastruktur menuju jalan akses ke proyek. Misalnya infrastruktur jalan, jembatan, pelabuhan dll.
3	Risiko Kontraktual	Risiko kegagalan koordinasi antara <i>owner</i> dengan kontraktor.
4	Risiko Manajemen	Risiko penyimpangan mutu pekerjaan terhadap persyaratan / spesifikasi yang ada yang diatur dalam manajemen mutu.
		Risiko tidak kompetennya tenaga kerja yang ada atau kualifikasi Sumber Daya Manusia yang tidak sesuai.

Dari pembahasan tabel diatas maka penelitian ini diharapkan dapat menambah daftar risiko yang terjadi pada proyek instalasi pembangkit listrik tenaga diesel atau genset dengan kasus instalasi di lokasi Kalimantan, NTB, Sulawesi, Maluku dan Papua.

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

Dalam Bab metodologi penelitian ini membahas tentang metode penelitian, data-data yang diperlukan, langkah-langkah yang diambil di dalam penelitian, Metode pengumpulan data dan hasil yang diharapkan.

#### 3.1. Skema Metode penelitian

Gambar 3.1 merupakan skema alur penelitian, dimulai dari latar belakang penelitian, metode yang dipergunakan, hingga hasil harapan pada penelitian ini. Selanjutnya, untuk penjelasan masing-masing bagian, dijelaskan pada sub bab-sub bab berikutnya.



Gambar 3.1 skema metode penelitian

### 3.2. Studi Literatur

Pada proses identifikasi faktor-faktor yang mengakibatkan keterlambatan dalam proyek instalasi genset, peneliti mengambil pendekatan studi literatur yang digunakan sebagai referensi untuk menentukan sebab permasalahan dalam pembuatan FTA nanti. Dari hasil studi literatur yang dilakukan ditemukan 17 indikator risiko yang dapat menyebabkan keterlambatan pada proyek secara umum, seperti yang disajikan pada tabel 3.1 di bawah ini:

Tabel 3.1 Indikator Penyebab Keterlambatan Proyek

Penyebab Keterlambatan Proyek	No	Indikator Risiko	Sumber
Tenaga Kerja	1	Kurangnya ketersediaan tenaga kerja	(Sweis et al., 2008),(Odeh and Battaineh, 2002), (Marzouk and Rasas, 2013), (Ruqaishi and Bashir, 2013), (Sambasivan and Soon, 2007), (Frimpong et al., 2003)
	2	Produktivitas tenaga kerja yang rendah	(Odeh and Battaineh, 2002), (Marzouk and Rasas, 2013), (Ruqaishi and Bashir, 2013), (Sambasivan and Soon, 2007), (Fallahnejad, 2013)
	3	Tenaga kerja yang kurang kompeten	(Marzouk and Rasas, 2013), (Fallahnejad, 2013), (Sweis et al., 2008), (Salama et al., 2008)
	4	Kurangnya tenaga kerja yang berpengalaman	(Sweis et al., 2008), (Frimpong et al., 2003)
Material	1	Adanya perubahan spesifikasi material saat konstruksi	(Sweis et al., 2008), (Marzouk and Rasas, 2013), (Ruqaishi and Bashir, 2013)
	2	Rendahnya kualitas material	(Odeh and Battaineh, 2002), (Sambasivan and Soon, 2007)

Eksternal	1	Kondisi cuaca yang tidak mendukung untuk kegiatan operasi	(Odeh and Battaineh, 2002), (Ruqaishi and Bashir, 2013), (Sambasivan and Soon, 2007)
	2	Keterlambatan dalam inspeksi dan pengetesan oleh pihak ketiga	(Assaf and Heiji, 2006)
<i>Project Related</i>	1	Kesalahan dalam pendefinisian spesifikasi	(Doloi et al., 2012)
	2	Laporan data tanah yang salah	(Doloi et al., 2012)
	3	Adanya <i>rework</i> karena kesalahan eksekusi	(Doloi et al., 2012), (Ruqaishi and Bashir, 2013)
	4	Perencanaan proyek yang tidak tepat	(Kaming, 1997)
<i>Site Related</i>	1	Buruknya supervisi dan manajemen lokasi	(Marzouk and Rasas, 2013)
Komunikasi	1	Buruknya interaksi antar vendor pada tahap engineering dan pengadaan	(Ruqaishi and Bashir, 2013)
	2	Kurangnya komunikasi antara pihak dalam proyek	(Ruqaishi and Bashir, 2013), (Sambasivan and Soon, 2007)
Desain	1	Pengumpulan data yang kurang lengkap saat survey	(Assaf and Heiji, 2006), (Salama et al., 2008)
	2	Pengalaman tim desain yang kurang	(Assaf and Heiji, 2006)

### 3.3. Pengumpulan data

Dari laporan yang ada, penyebab keterlambatan pada proyek instalasi genset adalah karena banyak terjadi kerusakan genset dilapangan. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data kuantitatif yang didapatkan dari hasil laporan perbaikan genset. Laporan perbaikan genset didapat dari berita acara penyelesaian pekerjaan yang fungsinya untuk mengidentifikasi permasalahan-permasalahan yang terjadi dari suatu proyek agar dapat diidentifikasi dan dianalisa berikutnya. Gambar 3.2 merupakan salah satu contoh dari berita acara penyelesaian pekerjaan pada proyek instalasi genset.

**BERITA ACARA PENYELESAIAN PEKERJAAN**

Pelanggan (Customer) _____ _____ _____ Firma Pemasangan (Installing firm or Shipyard) _____ _____ Lokasi Pembangkit, Kapal (Location) <b>PLTD SEMENTIUR 1</b>	Spek. Mesin (Engine specification) Type: T C D 2 0 1 3 L 0 6 9 V S/n: 1 1 9 0 2 0 8 0 <b>2</b> Rpm: 1 5 0 0 Output & Jarak-jalan (Output & Run) Daya: 2 5 0 <b>3</b> kW or Hp RH: _____ Order number: Project: NO: S 0 _____
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Telah diselesaikan pekerjaan :  
 (The following work has been completed)


- 4** Gangguan : - PICCB di genset tidak bisa ON  
 - Pengukuran Ampere di waktu DEARSEA tidak sesuai dengan Jarak Ampere
- 5** Perbaikan : - Penggantian PICCB + motorized komplek  
 - Penggantian CT s (error/s)
- 6** Mesin telah berjalan dengan Baik dan normal

Hasil penyelesaian pekerjaan tersebut telah diterima dengan baik.  
 (Above work has been carried out to satisfaction of undersigned)

**Sementiur, 6 April 2018 7**

Dilaporkan oleh  
 (Reported by)  
 \_\_\_\_\_  
 Sugeng

Mengetahui.  
 (Approved by)  
 \_\_\_\_\_  
 ABU RAZAK



Gambar 3.2 Berita acara penyelesaian pekerjaan

Berita acara yang terdapat pada Gambar 3.2 terdiri dari beberapa bagian yang menjelaskan mengenai berbagai informasi dalam proyek instalasi genset. Bagian-bagian berita acara pada Gambar 3.2 yang telah ditandai dengan nomor dan garis warna merah dapat dilihat lebih detail pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Keterangan berita acara

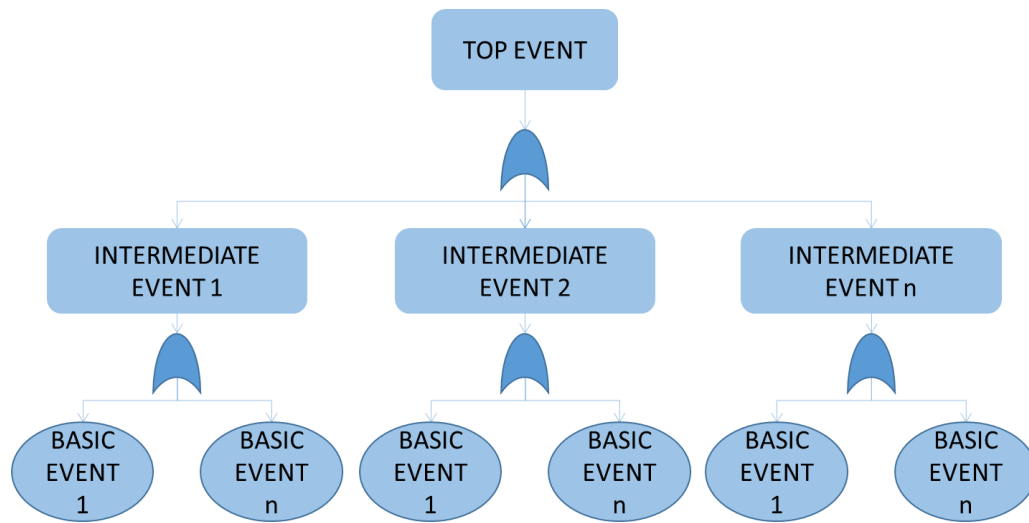
Bagian	Keterangan
1.	Lokasi instalasi genset.
2.	Serial number yang terdapat pada genset.
3.	Kapasitas daya genset.
4.	Penyebab permasalahan atau kerusakan yang terjadi.
5.	Tindakan atau solusi perbaikan.
6.	Status terselesaikannya suatu gangguan pada genset.
7.	Tanggal penyelesaian pekerjaan.

Dari keterangan Berita Acara pada Gambar 3.67 dapat dilakukan pengumpulan data dengan menggunakan Software Microsoft Excel. Pada poin empat (4) Gambar 3.2 yang berisi penyebab kerusakan genset. Dikarenakan penelitian ini terfokus pada penyebab kerusakan genset, maka dilakukan proses penyeleksian berdasarkan study literature dari berita acara yang memiliki kategori kerusakan mesin, kerusakan generator, kerusakan alat instalasi, kesalahan manusia (*human error*) dan kerusakan karena keadaan lingkungan.

#### 3.4. Model FTA

Dari kategori kerusakan genset yang ditemukan pada langkah yang terdapat di sub bab 3.3, selanjutnya dibuat pemodelan FTA. Pemodelan FTA ini dibuat untuk mengetahui permasalahan utama atau *Top Event* penyebab kerusakan pada genset. Setelah menentukan Top event dalam FTA, selanjutnya didapatkan informasi sebab-sebab permasalahan yang menjadi penyebab kerusakan genset. Kerangka FTA yang digunakan untuk penelitian tesis ini terlihat pada Gambar 3.3.





Gambar 3.3 Kerangka event

Kerusakan genset menjadi top event pada kerangka pohon FTA yang terdapat pada Gambar 3.3. Selanjutnya, dari keterangan-keterangan yang didapat pada berita acara, terdapat beberapa permasalahan yang mengakibatkan terjadinya kerusakan genset. Permasalahan-permasalahan inilah yang dipetakan ke dalam *level intermediate event*, sampai ke dalam *basic event*. Untuk menentukan logika hubungan *intermediate event* hingga mendapatkan *basic event* dalam pembuatan FTA, perlu melakukan diskusi dengan para tenaga teknis yang memiliki sertifikat keterampilan dalam instalasi dan perbaikan genset. Sehingga, dapat diketahui penyebab-penyebab yang melatar belakangi terjadinya kerusakan genset.

### 3.5. Minimal Cut Set

Setelah mendapatkan rangkaian fault tree dari top event hingga basic event pada sub bab 3.4, dilakukan penyederhanaan dengan metode minimal cut set. Dengan metode ini jumlah event pada fault tree, disederhanakan untuk mendapatkan basic event yang paling berpengaruh pada top event. Pada proses minimal cut set operasi aljabar Boolean, digunakan dalam perhitungan logika fault tree.

### 3.6. Mencari Probabilitas

Setelah mendapatkan minimal cut set, proses selanjutnya adalah mencari nilai probabilitas menggunakan persentase frekuensi pada masing-masing kejadian dasar (basic event). Selanjutnya mengidentifikasi nilai probabilitas dengan indeks resiko untuk mendapatkan interpretasi hasil kriteria rating (Heldman, 2005). Nilai dari indeks risiko berkisar 0,05 yang menandakan kejadian tidak akan pernah terjadi, sampai 0,8 yang menandakan kejadian selalu terjadi. Penjelasan lebih lanjut mengenai indeks risiko terdapat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Kriteria rating probabilitas

Skor	Deskripsi	Definisi
0,8	Very Critical	Selalu terjadi
0,6	Critical	Sering terjadi
0,4	Significant	Kadang-kadang terjadi
0,2	Negligible	Kemungkinan kecil dapat terjadi
0,05	Very Negligible	Tidak pernah terjadi

Sumber : Heldman, 2005

### 3.7. Menghitung konsekuensi dari risiko suatu kejadian

Basic event yang didapatkan pada langkah di sub bab 3.5, selain digunakan untuk dasar menentukan nilai probabilitas, juga digunakan untuk mencari nilai konsekuensi risiko. Dalam teori secara umum nilai konsekuensi risiko dapat dibedakan menjadi beberapa kriteria menggunakan matrix seperti ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Kriteria rating konsekuensi

<b>Project Objective</b>	<b>Very Low / 0.05</b>	<b>Low / 0.10</b>	<b>Moderate / 0.20</b>	<b>High / 0.40</b>	<b>Very High / 0.80</b>
Keberlanjutan Proyek	Proyek terlambat namun dapat diatasi dengan perencanaan cadangan	Proyek terlambat namun perencanaan cadangan tidak berjaan baik	Proyek terlambat, man power tidak mendukung, biaya semakin bertambah	Proyek terbengkalai dan tidak ada perencanaan yang pasti Tidak ada progres yang signifikan	Proyek gagal berlanjut
Biaya	Kenaikan biaya yang tidak signifikan	Biaya meningkat <10%	Biaya Meningkat 10-20%	Biaya Meningkat 20-40%	Biaya meningkat >40%
waktu	Penambahan waktu yang tidak signifikan	Waktu Bertambah <5%	Waktu Bertambah 5-10%	Waktu Bertambah 10-20%	Waktu Bertambah >20%

Sumber : PMBOK.Guide, 2008

Pada tahap ini, diperlukan penilaian pakar untuk mengetahui konsekuensi suatu basic event. Pada penelitian ini faktor konsekuensi yang dipilih pada kasus ini adalah dampak dari waktu keterlambatan (Delay Time), dimana dapat diasumsikan sebagai lama waktu penyelesaian permasalahan suatu kejadian yang terjadi di lokasi proyek. Pakar yang berperan pada penelitian ini adalah Pandu Erman selaku direktur perusahaan, Idong Wijono selaku kepala divisi teknik, Nurbudi selaku kepala divisi proyek dan Sugeng selaku supervisor proyek yang memiliki sertifikat keahlian dalam instalasi dan perbaikan genset. Berikut form kuesioner yang diberikan oleh pakar sebagai acuan nilai dari dampak sebuah resiko, dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Form Kuesioner Dampak Resiko

Form Kuesioner								
Nama : Usia : Jabatan saat ini : Pengalaman bidang genset (th) :								
No	Diskripsi kejadian	Waktu Penyelesaian (Hari)						
		2	3	4	5	6	7	>7
1								
2								
3								
4								
N								
Tata cara pengisian : Responden perlu memberikan tanda centang (√) untuk jawaban yang tepat pada kolom waktu penyelesaian.								

### 3.8. Simulasi Monte Carlo

Setelah mendapatkan estimasi dampak yang terjadi pada suatu kejadian di sub bab 3.7, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai distribusi dari dampak tersebut dengan bantuan software @Risk pada add in Microsoft excel. Perhitungan nilai distribusi tersebut terdiri dari persamaan distribsi normal yaitu trend dari dampak yang mungkin terjadi menggunakan nilai rata – rata dan standar deviasi. Sehingga dari data probabilitas dan konsekuensi yang ada, dapat dilakukan perhitungan risiko kritis secara eksperimental dengan komputer menggunakan software @risk dengan cara membangkitkan bilangan random menggunakan simulasi monte carlo. Hasil dari simulasi monte carlo tersebut sebagai pendekatan yang paling mungkin terjadi untuk kasus mencari risiko kritis dari data sample probabilitas dan konsekuensi yang ada.

### 3.9. Analisa Risiko

Pada bagian ini Setelah mendapatkan nilai distribusi dari sebuah kejadian smaka dapat dihitung nilai risiko dengan perkalian hasil probabilitas dengan hasil distribusi perhitungan dampak. Untuk menentukan tingkat risiko, dibuat tabel risk matrix untuk mengetahui rating risiko pada sebuah kejadian seperti ditunjukkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Risk Matrix

Probabilitas	Konsekuensi				
	Very Low	Low	Moderate	High	Very High
Almost Certain	M	H	E	E	E
Likely	M	H	H	E	E
Possible	L	M	H	H	E
Unlikely	L	M	M	H	H
Rare	L	L	M	M	H

Keterangan:

*L = Low; M = Moderate; H = High ; E = Extreme*

### 3.10. Rencana Mitigasi

Setelah melakukan analisis risiko, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah rencana mitigasi risiko. Mitigasi risiko merupakan tindakan untuk mengurangi atau meminimalus potensi dampak negative dari suatu risiko. Pada penelitian ini diimplementasikan empat jenis mitigasi risiko. Diantaranya adalah:

- a. *Accept the risk*. Merupakan tindakan untuk menerima risiko yang terjadi. Tipe risiko ini memiliki dampak yang rendah (Low).
- b. *Transfer the risk*. Merupakan tindakan untuk mengalihkan (*transfer*) risiko kepada pihak lain (Moderate).

- c. *Reduce the risk*. Merupakan tindakan untuk meminimalisir risiko dengan beberapa tindakan seperti training, pemberian limit, pemberitahuan prosedur dan lain-lain (High).
- d. *Avoid the risk*. Merupakan tindakan untuk mencegah atau menghindari (*avoid*) suatu risiko (Extreme).

**(Halaman sengaja dikosongi)**

## BAB 4

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan keadaan proyek atau studi lapangan kemudian dilakukan pembahasan hasil dari penelitian tesis, yang terdiri atas; *risk assessment* menggunakan *Fault Tree Analysis*, simulasi permasalahan menggunakan Monte Carlo dan rencana mitigasi risiko.

#### 4.1. Studi Lapangan

Studi lapangan penelitian ini adalah proyek instalasi genset di Kalimantan, NTB, Papua, Sulawesi dan Maluku dengan jumlah total 156 Unit. Dengan waktu mulai pada kontrak pekerjaan di bulan April 2017, empat bulan setelahnya waktu pengiriman dan enam bulan setelahnya waktu instalasi serta test commissioning. Pada tabel 4.1 menampilkan rincian dari proyek instalasi genset ini yang berisikan kontrak mulai hingga akhir dan kejelasan waktu dari penyelesaian pekerjaan proyek.

Tabel 4.1 Kontrak Proyek Instalasi Genset

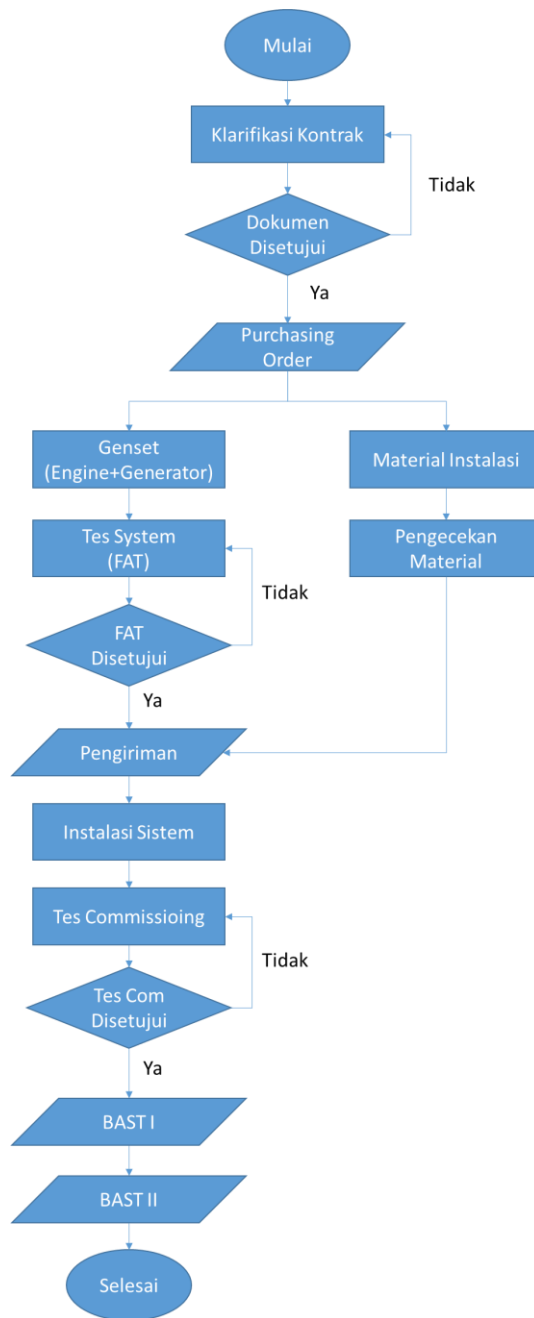
No	Uraian Produk	Jumlah
1	Genset Kap. 200 Kw, Continous – OPEN Engine : DEUTZ BF6M 1013 EC (Made In Germany), 6 Cylinder, 1500 Rpm, Turbocharger, Radiator Cooled Generator : STAMFORD HCI 434 D Kap. 200 Kw, 220/380, 3Ph, 50 Hz, 1500 Rpm	47
2	Genset Kap. 200 Kw, Continous – SILENT Engine : DEUTZ BF6M 1013 EC (Made In Germany), 6 Cylinder, 1500 Rpm, Turbocharger, Radiator Cooled Generator : STAMFORD HCI 434 D Kap. 200 Kw, 220/380, 3Ph, 50 Hz, 1500 Rpm	56
3	Genset Kap. 100 Kw, Continous – OPEN Engine : DEUTZ BF6M 1013 EC (Made In Germany), 6 Cylinder, 1500 Rpm, Turbocharger, Radiator Cooled Generator : STAMFORD UCI 274 F Kap. 100 Kw, 220/380, 3Ph, 50 Hz, 1500 Rpm	28
4	Genset Kap. 100 Kw, Continous – SILENT Engine : DEUTZ BF6M 1013 EC (Made In Germany), 6 Cylinder, 1500 Rpm, Turbocharger, Radiator Cooled Generator : STAMFORD UCI 274 F Kap. 100 Kw, 220/380, 3Ph, 50 Hz, 1500 Rpm	25



**Ketentuan Proyek :**

1. Delivery time selama 4 bulan setelah Kick Of Meeting (Bulan April 2017 Mulai Pengiriman)
2. Waktu Instalasi dan Tes Commissioning selama 6 (enam) Bulan
3. Delay penalty 0.5% per day (Max 10%)
4. Sistem Pembayaran Back To Back :
  - \*DP : 15%
  - \*BAMOS : 60% (Agustus 2017)
  - \*BAST I : 20% (Januari 2018 Serah Terima)
  - \*BAST II retensi : 5% (Garansi selama 6 (enam) bulan setelah BAST I)

Pada tabel 4.1 telah dijelaskan bahwa terdapat 103 unit genset berkapasitas 200 kw diantaranya 56 unit merupakan genset tipe silent dan 47 unit tipe open diinstal di pulau Kalimantan, Sulawesi, NTB, Maluku dan Papua. Pada prakteknya dalam proyek instalasi genset terdapat 2 (dua) komponen penting yaitu genset dan material instalasi, sehingga kontraktor harus membuat rencana dalam mendistribusikan genset beserta material instalasi kemudian melakukan *test commissioning* di lokasi hingga genset berfungsi dengan benar. Untuk membantu pelaksanaan pekerjaan instalasi genset dibuat *flow chart* mulai dari klarifikasi kontrak hingga serah terima proyek, dimana terdapat beberapa tes yang harus dilewati agar dinyatakan genset lulus uji sebelum dikirim dan juga tes fungsi genset secara langsung di lokasi instalasi. Berikut adalah *flow chart* proyek instalasi genset, dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 *Flow chart* Proyek Instalasi Genset

Penetapan lokasi masing-masing instalasi unit genset dibagikan berdasarkan titik koordinat yang telah diberikan oleh pemilik proyek. Untuk detail penetapan lokasi instalasi genset dengan kapasitas 200 Kw dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Lokasi Instalasi Genset kapasitas 200 kw

Pulau	Provinsi	Kota	Lokasi	Jumlah Genset 200 Kw	
				Silent	Open
Kalimantan	Kalimantan Timur	Kab. Kutai Timur	Karangan Dalam	3	-
		Kab. Kutai Timur	Pengadan	1	-
		Kab. Kutai Timur	Senyuir	2	-
		Kab. Kutai Timur	Gemar Baru	2	-
		Kab. Kutai Timur	Muara Bengkal	1	-
	Kalimantan Utara	Kab. Berau	Batu Putih	2	-
		Kab. Berau	Derawan	3	-
		Kab. Berau	Gunung Sari	1	-
		Kab. Bulungan	Mara	1	-
	Kalimantan Selatan	Kab. Bulungan	Sekatak Buji	1	-
		Kotabaru	Sengayam	3	-
	Kalimantan Tengah	Kotabaru	Sungai Bali	5	-
		Gunung Mas	Tumbang Miri	1	-
		Gunung Mas	Tumbang Jatuh	2	-
		Seruyan	Tumbang Manjul	1	-
		Seruyan	Sukamandang	2	-
		Katingan	Tumbang Kaman	2	-
		Katingan	Mendawai	2	-
		Barito Selatan	Rangga ilung	2	-
		Kotawaringin Barat	Pangkut	2	-
		Kapuas	Timpah	2	-
		Kapuas	Pujon	3	-
		Murung Raya	Muara Laung	3	-
Lamandau		Mentoby Raya	4	-	
Sulawesi dan Nusa Tenggara	NTB	Sumbawa	PLTD Lunyuk, Kec. Lunyuk	4	-
	Sulawesi Utara	Kota manado	PLTD Bunaken, Pulau Bunaken	1	-
Maluku dan Papua	Papua Barat	Maybrat	Ayamara	-	2
		Fak-Fak	Kokas	-	1
		Fak-Fak	Bomberay	-	1
	Maluku	Buru Selatan	Waipandan	-	2
		Buru Selatan	Leksula	-	2
		Buru Selatan	Wamsisi	-	2
		Buru Selatan	Namrole	-	2
		Seram Bagian Barat	Luhu	-	3
		Seram Bagian Barat	Taniwel	-	2
		Maluku Tengah	Lonthoir	-	2
		Maluku Tengah	Pasanea	-	2
		Maluku Tengah	Laimu	-	2
		Maluku Tengah	Tehoru	-	2
	Maluku Utara	Halmahera Selatan	Makian	-	1
		Halmahera Selatan	Kayoa	-	2
		Halmahera Selatan	Laiwui	-	2
		Halmahera Selatan	Saketa	-	2
		Halmahera Selatan	Madapolo	-	2
		Halmahera Selatan	Maffa	-	2
		Kepulauan Sula	Mangoli	-	2
		Kepulauan Sula	Dofa	-	2
		Halmahera Timur	Buli	-	2
		Halmahera Tengah	Patani	-	2
Pulau Morotai	Posi-Posi	-	3		
<b>Jumlah</b>				<b>56</b>	<b>47</b>

Kemudian, terdapat 53 unit genset berkapasitas 100 kw diantaranya 25 unit genset bertipe open dan 28 unit bertipe open diinstal di pulau Kalimantan, Sulawesi, NTB, Maluku dan Papua. Untuk detail penetapan lokasi instalasi genset dengan kapasitas 200 Kw dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Lokasi Instalasi Genset kapasitas 100 kw

Pulau	Provinsi	Kota	Lokasi	Jumlah Genset 100 Kw	
				Silent	Open
Kalimantan	Kalimantan Tengah	Kotawaringin Barat	Kenambui	1	-
		Barito Timur	Muara Plantau	1	-
		Barito Timur	Teluk Betung	1	-
		Barito Timur	Damparan	1	-
		Kapuas	Sebangau	1	-
		Kapuas	Sei Hayu	3	-
		Barito Utara	Montalat	1	-
		Katingan	Baun Bungo	1	-
		Katingan	Tumbang Hiran	1	-
		Katingan	Telaga	1	-
		Katingan	Tumbang Senaman	2	-
		Lamandau	Kudangan	1	-
		Lamandau	Tapin Bini	1	-
		Seruyan	Rantau Pulut	2	-
		Barito Selatan	Merawan Lama	2	-
Murung Raya	Tumbang Lahung	2	-		
Gunung Mas	Tumbang Telaken	3	-		
Sulawesi dan Nusa Tenggara	NTB	Sumbawa	PLTD LANTUNG, kec Lantung	-	1
		Sumbawa	PLTD LEBIN, kec Ropang	-	1
		Sumbawa	PLTD SEBOTOK, Kec. Labuhan	-	1
		Sumbawa	PLTD MEDANG, Kec Labuhan	-	1
		Sumbawa	PLTD LABUHAN AJI, Kec Labuhan	-	1
	Sulawesi Tengah	Kab. Morowali	PLTD Ulunambo, Pulau Manui	-	1
Maluku dan Papua	Papua	Sarmi	Bonggo	-	4
		Biak Numfor	Wundi	-	2
		Biak Numfor	Owi	-	2
		Merauke	Yanggandur	-	1
		Merauke	Rawa Biru	-	2
	Papua Barat	Manokwari	Arfu	-	2
		Maybrat	Kumurkek	-	1
	Maluku	Maluku Tengah	Nusalaut	-	2
		Seram Bagian Timur	Werinama	-	2
		Halmahera Selatan	Jiko	-	2
Maluku Utara	Seram Bagian Timur	Kiandarat	-	2	
<b>Jumlah</b>				<b>25</b>	<b>28</b>

Dari penjelasan tabel 4.2 dan tabel 4.3 kapasitas unit genset 200 kw lebih banyak banyak bandingkan 100 kw.

Berikut adalah gambar pemetaan distribusi lokasi instalasi genset dari pulau kalimantan, NTB, Maluku, Sulawesi dan Papua diambil dari koordinat menggunakan Google Earth. Pada Gambar 4.2 menggambarkan lokasi instalasi Genset di Pulau Kalimantan.



Gambar 4.2 peta lokasi instalasi Genset di Pulau Kalimantan

Dari Gambar 4.2, dapat diketahui bahwa pada pulau Kalimantan semua unit genset yang diinstal adalah tipe silent dikarenakan pulau Kalimantan memiliki curah hujan yang tinggi dibandingkan pulau yang lain, sehingga lebih efektif bila menggunakan genset dengan tipe silent dimana genset telah terlindungi oleh kanopi. Pada daftar genset yang terinstal di pulau Kalimantan, sebanyak 51 unit berkapasitas 200 kw dan 25 unit berkapasitas 100 kw yang tersebar di daerah plosok dimana suplai listrik di daerah tersebut masih kurang dan sering terjadi pemadaman listrik.

Selanjutnya, di Gambar 4.3 merupakan persebaran lokasi instalasi Genset di provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB). Pada provinsi NTB, terdapat empat unit genset bertipe silent dengan kapasitas 200 kw dan lima unit genset bertipe open yang terinstal di daerah sumbawa.



- 100 kVA**
1. PLTD LANTUNG, Kec. Lantung
  2. PLTD LEBIN, Kec. Ropang
  3. PLTD SEBOK, Kec. Labuhan Badas
  4. PLTD MEDANG, Kec. Labuhan Badas
  5. PLTD LABUHAN AJI, Kec. Labuhan Badas
- 200 kVA**
6. PLTD LUNYUK, SUMBAWA

Gambar 4.3 peta lokasi instalasi Genset di Pulau NTB

Selanjutnya, pada Gambar 4.4 menggambarkan pemetaan lokasi instalasi genset di area Maluku & Sulawesi. Terdapat satu unit genset tipe silent berkapasitas 200 kw yang terinstal di Sulawesi utara dan satu unit genset tipe open berkapasitas 100 kw yang terinstal di Sulawesi tengah. Sedangkan untuk area Maluku terdapat 43 unit genset tipe open berkapasitas 200 kw dan 8 unit genset tipe open berkapasitas 100 kw telah terinstal di plosok hingga pulau kecil.

**100k VA**

1. Maluku Tengah - Nusa Laut
2. Seram bagian timur - Weritnana
3. Halmahera Selatan - Jiko
4. Seram Bagian Timur - Kiandarar
5. PLTD Uluambo - Kab Morowari

**200k VA**

6. Buru Selatan - Waipandan
7. Buru Selatan - Leksula
8. Seram bagian Barat - Luhu
9. Buru Selatan - Wamsisi
10. Buru Selatan - Namrole
11. Maluku Tengah - Lonthoir

12. Maluku Tengah - Pasena
13. Maluku Tengah - Laitumu
14. Maluku Tengah - Tehore
15. Seram Bagian Barat - Taniwel
16. Halmahera Selatan - Makian
17. Halmahera Selatan - Kayoa

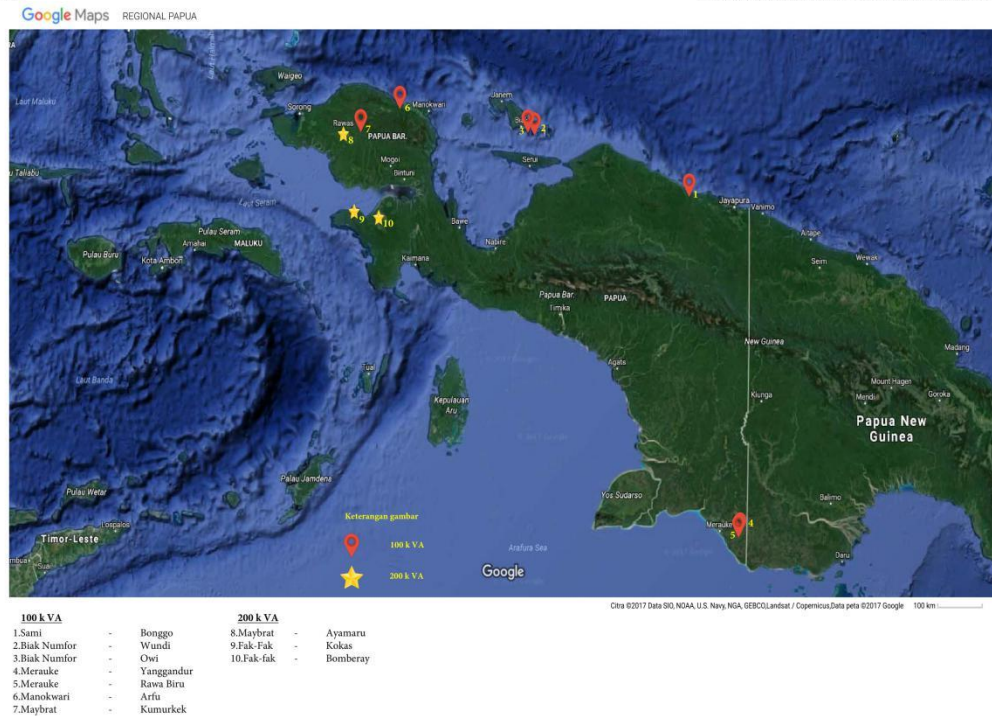
18. Halmahera Selatan - Laisvui
19. Kepulauan Sula - Mangoli
20. Kepulauan Sula - Dofa
21. Halmahera Selatan - Saketa
22. Halmahera Timur - Madapolo
23. Halmahera Timur - Bull

24. Halmahera Selatan - Mafia
25. Halmahera Tengah - Patani
26. Pulau Morotai - Posi-Posi
27. PLTD Bunaken - Bunaken, Sulut

Gambar 4.4 peta lokasi instalasi Genset di Pulau Maluku dan Sulawesi

Terakhir, Gambar 4.5 menggambarkan instalasi genset di daerah Papua. Di daerah ini semua unit genset yang diinstal adalah tipe open, dimana 14 unit genset berkapasitas 100 kw dan empat unit genset berkapasitas 200 kw yang tersebar di plosok papua dan kepulauan papua.

Dari pemetaan lokasi instalasi genset di berbagai daerah tersebut dapat dilihat bahwa tidak hanya daerah plosok saja yang menggunakan genset sebagai pembangkit listrik utama, namun di pulau-pulau terkecil genset dapat diandalkan sebagai pembangkit listrik.



Gambar 4.5 peta lokasi instalasi Genset di Pulau Papua

Dalam perjalanan pengiriman, instalasi dan test commissioning permasalahan mulai muncul seperti keterlambatan dan kerugian akibat kerusakan sistem genset, komponen instalasi genset dan kondisi yang tidak terduga yang menyebabkan biaya *overhead*.

## 4.2. Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data yang diambil dari penelitian ini berdasarkan data berita acara, karena isi dari berita acara tersebut merupakan laporan permasalahan genset di lokasi proyek serta data aktual yang masih tersedia dan tersimpan dengan baik. Dari laporan berita acara kontraktor merespon untuk menindak lanjuti problem yang terjadi, Kebanyakan keputusan yang diambil oleh manajer proyek adalah teknisi langsung diberangkatkan menuju ke lokasi proyek untuk langsung menangani permasalahan pada genset. Hal ini dilakukan karena operator dilapangan tidak berani mengambil tindakan. Menurut peneliti hal tersebut



merupakan penyebab dari keterlambatan proyek karena, sering mendapatkan laporan bahwa terjadi permasalahan di lokasi saat proses *test commissioning* hingga waktu tunggu retensi. Dari banyaknya problem yang terjadi dan data aktual yang ada, maka peneliti akan mengolah dan mengumpulkan data berita acara. Kemudian mengelompokkan berdasarkan lokasi, waktu, penyebab, dan tindakan perbaikan yang dilakukan seperti tabel 3.2 pada sub bab 3.3. Kemudian dilakukan identifikasi permasalahan dengan berdiskusi bersama tim ahli yang berpengalaman dalam menangani proyek tersebut dan memiliki sertifikat keterampilan dalam menangani permasalahan genset. Sehingga dari identifikasi tersebut dapat dicari nilai probabilitas dari setiap permasalahan yang terjadi kemudian dibuat pohon akar dengan menggunakan metoda FTA. Dari pernyataan diatas, peneliti sengaja mengambil data kuantitatif, karena data yang digunakan merupakan data aktual dan mendekati kebenaran, sehingga hasil yang diinginkan dapat mendekati hasil yang valid. Berikut adalah tabel pengumpulan data berita acara, dapat dilihat pada Lampiran 1.

Pada Lampiran 1, data dikelompokkan berdasarkan lokasi kejadian proyek. Dimana pada data tersebut dapat dijumpai pada 1 (satu) lokasi terdapat 1 (satu) atau dua (2) genset yang mengalami permasalahan dan ada juga pada waktu yang berbeda di lokasi yang sama genset yang pernah mengalami permasalahan terjadi permasalahan lagi dengan sebab yang berbeda. Dari Lampiran 1 data yang terdaftar merupakan data dari mesin dengan jenis kerusakan yang berbeda, dan tidak ditemukan jenis kerusakan yang sama pada nomor seri mesin yang sama. Kemudian dari data lampiran 1 dapat diolah dengan pengelompokan data berdasarkan lokasi pulau – pulau besar seperti kalimantan, NTB, Maluku, Sulawesi dan Papua. Untuk melihat pengelompokan Berita acara dari masing – masing pulau secara general dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Jenis Gangguan berdasarkan lokasi pulau besar

PULAU	KERUSAKAN	JML	PULAU	KERUSAKAN	JML	
KALIMANTAN	AKI RUSAK	5	MALUKU	AVR RUSAK	1	
	AVR RUSAK	9		DIODA VARISTOR RUSAK	3	
	Crank Shaft Seal Bocor	2		DOP BAYONET RUSAK	4	
	CT RUSAK	3		Earth Fault Protection Neutral rusak	2	
	DIODA VARISTOR RUSAK	2		Kabel Sensor Termokopel Rusak	1	
	ECU RUSAK	4		FLEXIBLE PIPE RUSAK	1	
	HANDPUMP RUSAK	1		MCCB RUSAK	7	
	Kabel Sensor Termokopel Rusak	1		MODUL DSE RUSAK	3	
	KANOPI GENSET BOCOR	4		Pilot Lamp RST Rusak	4	
	MCCB RUSAK	9		RADIATOR DAN CAC KOTOR	1	
	MODUL DSE RUSAK	7		THERMOKOPEL RUSAK	5	
	Oil Cooler Bocor	1		UVT RUSAK	8	
	Pilot Lamp RST Rusak	1		ROTOR EXSITER RUSAK	1	
	PRE FILTER SOLAR KOTOR	9		<b>TOTAL</b>	<b>41</b>	
	RADIATOR DAN CAC KOTOR	9		PAPUA	HANDPUMP RUSAK	1
	THERMOKOPEL RUSAK	2			MCCB RUSAK	1
	UVT RUSAK	12			MODUL DSE RUSAK	4
	V-BELT PUTUS	1			Pilot Lamp RST Rusak	2
	WATER PUMP BOCOR	1			THERMOKOPEL RUSAK	1
	WATER SEPARATOR RUSAK	1			UVT RUSAK	5
<b>TOTAL</b>	<b>84</b>	<b>TOTAL</b>	<b>14</b>			
NTB	AKI RUSAK	2	SULAWESI		UVT RUSAK	1
	CT RUSAK	1		<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	
	MODUL DSE RUSAK	5				
	THERMOKOPEL RUSAK	4				
	UVT RUSAK	1				
	WATER PUMP BOCOR	1				
	<b>TOTAL</b>	<b>14</b>				

Untuk mempermudah dalam pengelompokan data seluruh lokasi per pulau perlu dilakukan penyaringan data. Penyaringan data yang pertama adalah dengan mengelompokkan data ditinjau dari jenis gangguan yang terjadi di semua berita acara sehingga dapat dilakukan perhitungan frekuensi kejadian gangguan secara general atau keseluruhan. Penyederhanaan pengolahan data yang pertama dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4.5. Jenis Gangguan pada Proyek Instalasi Genset

No	Jenis Gangguan Genset	Frekuensi
1	Aki Rusak	7
2	AVR Rusak	10
3	CT Rusak	4
4	Dioda Varistor Rusak	5
5	Dop Bayonet Rusak	4
6	Earth Fault Protection Neutral rusak	2
7	ECU Rusak	4
8	Flexible Pipe Rusak	1
9	Hand Pump Rusak	2
10	Kabel Sensor Termokopel Rusak	2
11	Kanopi Genset Bocor	4
12	MCCB Rusak	17
13	Oil Cooler Bocor	1
14	Pilot Lamp RST Rusak	7
15	PRE FILTER SOLAR KOTOR	9
16	Radiator Dan CAC Kotor	10
17	Rotor Exsiter Rusak	1
18	Water Separator Rusak	1
19	Crank Shaft Seal Bocor	2
20	Thermokopel Rusak	12
21	UVT Rusak	27
22	V-Belt Putus	1
23	Water Pump Bocor	2
24	Modul DSE Rusak	19
<b>TOTAL</b>	<b>154</b>	

Pada Tabel 4.5, dapat dilihat bahwa terdapat 24 jenis gangguan dari 154 data berita acara yang berasal dari laporan permasalahan genset di semua lokasi. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa frekuensi gangguan yang sering terjadi pada genset adalah karena UVT rusak yaitu sebanyak 27 kasus yang pernah terjadi dan beberapa gangguan yang memiliki jumlah kasus yang minim yaitu satu kali kejadian seperti Flexible pipe rusak, V-belt putus, rotor exciter rusak dan water separator rusak. Namun dalam menentukan resiko yang kritis tidak hanya dengan data frekuensi, tapi perlu ditinjau lebih dalam sebab atau akar permasalahan dari gangguan tersebut. Untuk menentukan sebab dari gangguan yang muncul perlu menghubungkan data gangguan dengan perbaikan yang dilakukan, sehingga dapat

ditemukan logika sebab yang paling mendekati dan dibantu oleh pendapat tim teknis yang memiliki pengalaman dalam proyek tersebut. Dari tabel 4.5 data dapat dikembangkan untuk mendapatkan identifikasi penyebab gangguan lebih detail.

### **4.3. Identifikasi Penyebab Gangguan Genset**

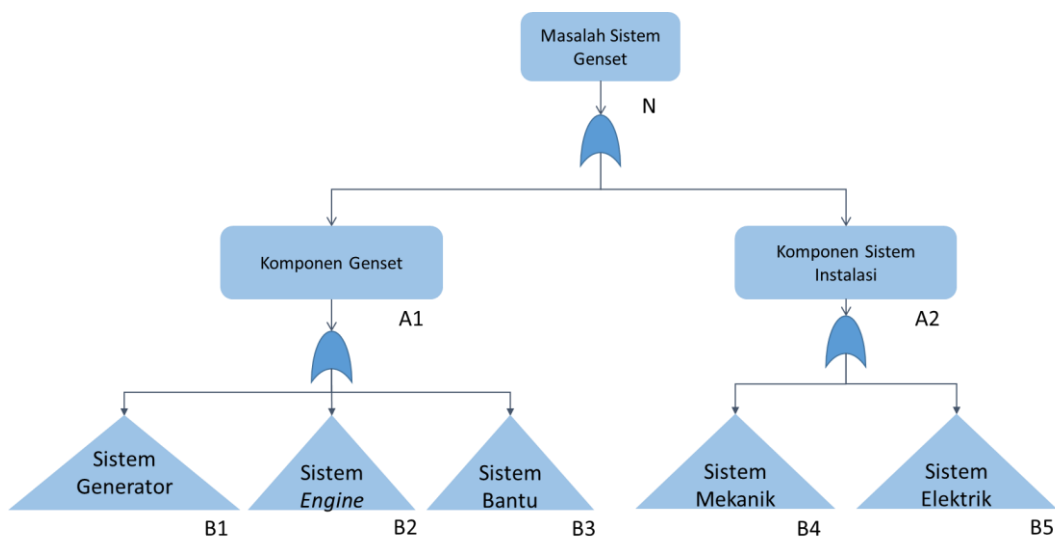
Dalam mengidentifikasi sebab dari akar permasalahan yang timbul pada proyek instalasi genset membutuhkan hubungan antara data gangguan dengan data perbaikan, dimana pada aktualnya gangguan yang terjadi memerlukan jenis perbaikan yang berbeda, hal ini dapat membantu dalam membuat akar dari sebab gangguan yang terjadi. Dengan dibantu oleh tim teknis beserta referensi dari literatur yang ada pada Tabel 3.1 pada sub bab 3.2, maka didapatkan identifikasi penyebab gangguan serta klasifikasi jenis gangguan yang ditunjukkan pada Lampiran 2.

Pada tabel lampiran 2 dari masing–masing jenis gangguan diidentifikasi akar penyebab gangguan dari kejadian yang berurutan. Dari gangguan yang terjadi terdapat 2 (dua) hingga lebih dari akar penyebab gangguan, namun ada pula gangguan yang diidentifikasi langsung menuju akar penyebab permasalahan / *basic event*. Lampiran 2 ini adalah dasar dalam pembuatan FTA, dimana untuk melanjutkan pada proses pembuatan pohon kegagalan perlu menentukan gerbang logika seperti OR atau AND.

### **4.4. Analisa Faktor Penyebab Kerusakan Genset dengan FTA**

Setelah mendapatkan identifikasi kejadian seperti pada Lampiran 2, maka proses selanjutnya dalam pembuatan FTA adalah membuat pohon kegagalan. Dimana dalam pembuatan pohon kegagalan pada kejadian-kejadian yang telah terjadi diperlukan gerbang logika untuk menguraikan alur dari akibat kejadian/*top event* menuju penyebab kejadian yang paling mendasar/*basic event*. Telah diketahui bahwa masalah dari kasus ini adalah keterlambatan proyek, namun jika dipelajari lebih lanjut yang membuat keterlambatan adalah permasalahan sistem genset yang membuat waktu penyelesaian lama serta pengeluaran biaya yang semakin

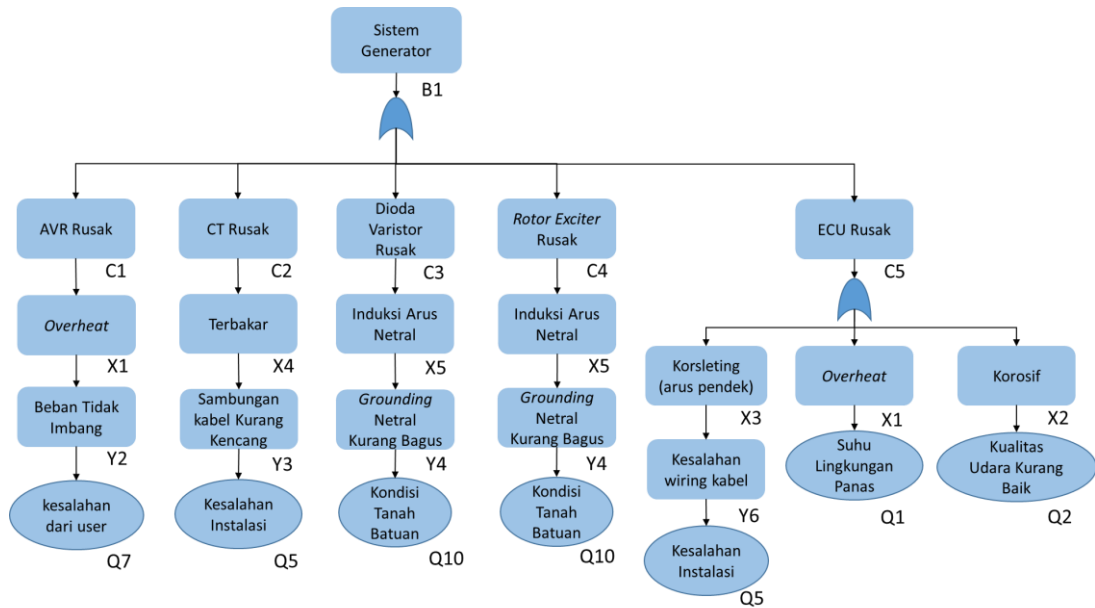
membengkak. Oleh karena itu dengan didukung oleh data yang tersedia yaitu berita acara beserta data pendukung lainnya, maka yang menjadi puncak masalah atau *top event* dalam kasus ini adalah permasalahan sistem genset yang terjadi dilapangan. Berikut adalah gambar dari pohon kegagalan pada tingkat 1 (satu) dimana terdapat pembagian klasifikasi permasalahan dapat dikategorikan, dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6. Diagram pohon kegagalan utama

Pada gambar 4.6 Masalah sistem genset diklasifikasi menjadi 2 (dua) bagian yaitu komponen genset atau komponen sistem instalasi dimana salah satu komponen tersebut saling mempengaruhi maka digunakan gerbang logika OR. Pada komponen genset dikalsifikasi kembali menjadi 3 (tiga) bagian yaitu sistem generator, sistem engine atau sistem bantu, kemudian dari jalur kegagalan digunakan gerbang logika OR, karena salah satu sistem tersebut dapat mempengaruhi dari kinerja komponen genset. Sedangkan pada komponen sistem instalasi diklasifikasi menjadi 2 (dua) bagian yaitu sistem mekanik atau sistem elektrik, dari jalur kegagalan dibuat gerbang logika OR karena salah satu sistem tersebut dapat mempengaruhi kinerja komponen sistem instalasi. Pada akhir kejadian/*event*, digunakan simbol segitiga / *transferred event*, dimana terdapat kelanjutan jalur dari pohon kegagalan pada *event* tersebut.

Selanjutnya menjelaskan kelanjutan dari jalur pohon kegagalan sistem generator. Pada sistem generator dibagi menjadi beberapa bagian yang menyebabkan sistem tersebut mengalami kegagalan. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada gambar 4.7

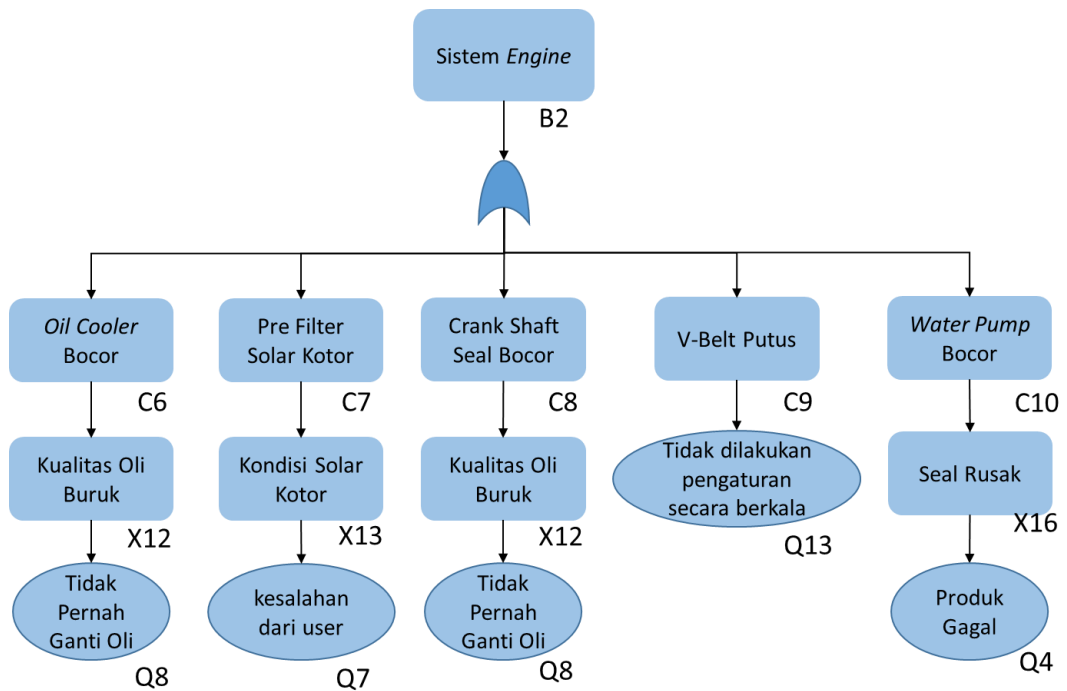


Gambar 4.7. Diagram pohon kegagalan sistem generator

Pada gambar 4.7 gangguan di sistem generator diklasifikasi menjadi 5 (lima) permasalahan yaitu kerusakan pada Auto Voltage Regulator (AVR), kerusakan pada Current Transmitter (CT), kerusakan pada Dioda Varistor, Kerusakan pada Rotor Exciter atau kerusakan pada Engine Control Unit (ECU). Gerbang logika yang digunakan adalah gerbang logika OR, karena salah satu dari bagian tersebut jika mengalami kegagalan maka dapat mempengaruhi kinerja dari generator. Pada tingkat ini data kerusakan didapatkan dari hasil berita acara pada tabel 4.4 kemudian dikembangkan menjadi pohon akar seperti gambar 4.7. Untuk menjabarkan ke penyebab dari gangguan tersebut maka dilakukan diskusi dengan teknisi yang berpengalaman dan memiliki sertifikat dalam keterampilan perbaikan genset serta pendekatan referensi dari data perbaikan yang telah dilakukan. Berdasarkan langkah identifikasi tersebut didapatkan penyebab dari kerusakan AVR dikarenakan oleh

*Overheat* komponen, hal ini terjadi karena beban yang diterima genset tidakimbang antara fase R,S dan T, sehingga hal ini merupakan kesalahan dari penyedia beban rumah tangga di area instalasi, maka hal ini dapat dikatakan penyebab dari kesalahan dari *user*. Kemudian kerusakan pada CT disebabkan karena komponen CT terbakar, hal ini dapat terjadi karena sambungan kabel yang kurang kencang yang dapat menimbulkan percikan api, sehingga dapat dikatakan bahwa kerusakan terjadi disebabkan kesalahan saat instalasi. Selanjutnya kerusakan pada dioda varistor dapat terjadi karena adanya induksi arus netral yang masih tersisa pada jalur komponen listrik yang dapat merusak komponen elektrik. Adanya arus netral yang masih tersisa dikarenakan grounding netral yang kurang baik sehingga tidak semua arus di lewatkan dalam tanah, hal ini dapat terjadi karena keadaan tanah yang kering dan bebatuan, maka dapat dikatakan bahwa kerusakan terjadi sebab kondisi tanah batuan. Kejadian yang sama yaitu kerusakan pada *rotor exciter*, hal ini dapat terjadi karena gangguan induksi arus netral dari grounding netral yang buruk, maka penyebab dari keusakan ini karena kondisi tanah bebatuan. Yang terakhir kerusakan pada ECU dapat terjadi karena 3 (tiga) hal yaitu korsleting, *overheat* atau *korosif*, salah satu dari ketiga kejadian itu dapat mempengaruhi kerusakan pada komponen ECU, maka gerbang logika yang digunakan adalah gerbang OR. Pada kasus korsleting hal ini terjadi karena kesalahan wiring kabel, sehingga dapat dikatakan penyebab kerusakan karena kesalahan instalasi. Kemudian *overheat* pada komponen terjadi sebab suhu lingkungan yang panas. Selanjutnya terjadi korosif pada komponen dikarenakan kandungan udara yang asam, hal ini sering dijumpai di daerah pantai, maka dapat dikatakan penyebab dari kerusakan ini adalah kualitas udara yang kurang baik.

Lanjutan dari *event* berikutnya menjelaskan jalur pohon kegagalan sistem engine. Pada sistem engine dibagi menjadi beberapa bagian yang menyebabkan sistem tersebut mengalami kegagalan. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada gambar 4.8



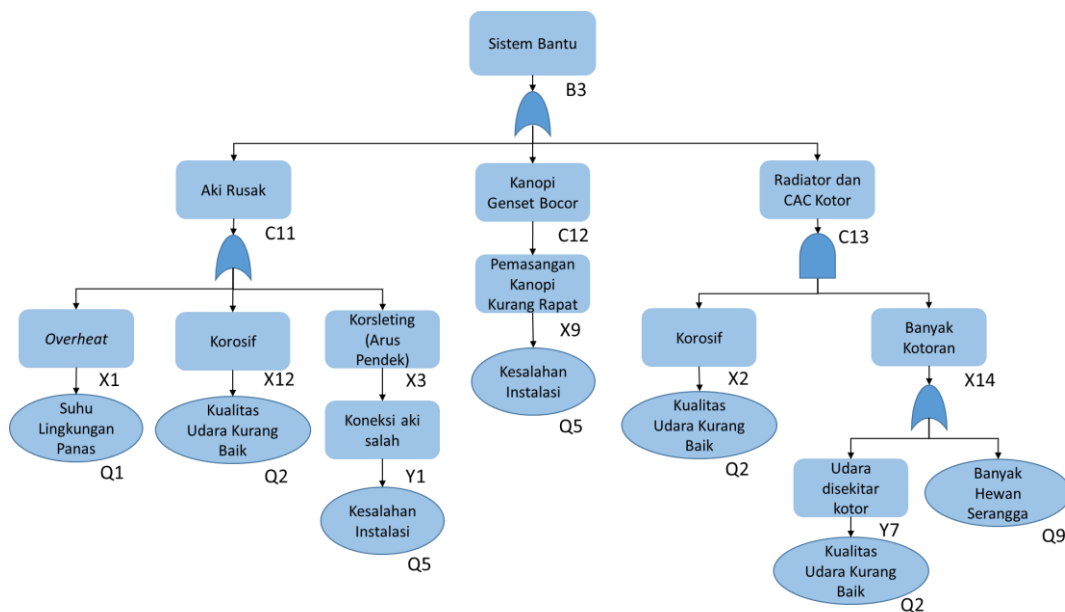
Gambar 4.8. Diagram pohon kegagalan sistem engine

Pada gambar 4.8 gangguan di sistem engine diklasifikasi menjadi 5 (lima) permasalahan yaitu kebocoran pada *oil cooler*, pre-filter solar kotor, kebocoran crank shaft seal, V-belt putus atau kebocoran pada *water pump*. Gerbang logika yang digunakan adalah gerbang logika OR, karena salah satu dari bagian tersebut jika mengalami kegagalan maka dapat mempengaruhi kinerja dari sistem engine. Pada kejadian pertama pada kasus kebocoran *oil cooler* penyebab dari kejadian tersebut dapat terjadi karena kualitas oli yang sudah bagus, sehingga fluida oli yang awalnya dingin akan menjadi panas dan dapat merusak komponen pendingin oli lainnya hingga rusak kemudian terjadi kebocoran. Hal ini dapat terjadi karena tidak dilakukan penggantian oli engine secara berkala, maka dari urutan kejadian tersebut dapat dikatakan bahwa penyebab utama kejadian ini adalah tidak pernah dilakukan ganti oli engine. Selanjutnya pada kejadian pre filter solar yang kotor dikarenakan oleh kandungan solar yang kurang bersih, banyak kotoran gram hingga plastik, dan banyak kandungan air pada solar, hal ini dapat mengakibatkan penggumpalan kotoran pada filter solar dan akhirnya filter cepat kotor. Dari penjelasan tersebut maka dapat dikatakan bahwa penyebab permasalahan berasal dari penyedia solar



yang artinya kesalahan dari *user*. Pada permasalahan crank shaft seal bocor hampir sama dengan masalah oil cooler yang bocor, hal ini dikarenakan karena kualitas oli yang kurang baik sebab oli tidak pernah diganti secara berkala. Kemudian pada kasus permasalahan v-belt putus hal ini dapat terjadi dikarenakan tidak ada pengaturan secara berkala, artinya dalam jangka waktu tertentu v-belt akan mengalami kelenturan yang berbeda karena sering dioperasikan sehingga cepat panas dan mempengaruhi kekuatan material, oleh sebab itu perlu dilakukan pengaturan v-belt saat mencapai jam operasi genset tertentu. Selanjutnya pada kejadian *water pump* bocor, hal ini dikarenakan seal *water pump* yang rusak sebab kekuatan seal yang tidak memenuhi standard untuk operasi *water pump* yang lama dan dengan kondisi temperatur yang tinggi. Oleh karena itu untuk kasus kebocoran pada *water pump* penyebab utama karena kegagalan material seal, yang dapat diartikan seal yang diberikan penyedia merupakan produk gagal. Pada kasus *water pump* perlu dijelaskan bahwa sebenarnya *engine* yang sudah dilakukan factory test sebelum keberangkatan seharusnya sudah dalam kondisi yang baik, namun dalam kasus ini kerusakan dapat terdeteksi karena waktu operasi yang lama oleh karena itu engine yang sudah dikirim walaupun sudah dilakukan pengetesan sebelumnya akan ada kemungkinan terdapat komponen rusak, karena dari 156 unit pasti ada salah satu sample yang terdapat cacat komponen seperti kasus ini.

Selanjutnya menjelaskan jalur pohon kegagalan sistem bantu. Pada sistem bantu dibagi menjadi beberapa bagian yang menyebabkan sistem tersebut mengalami kegagalan. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada gambar 4.9

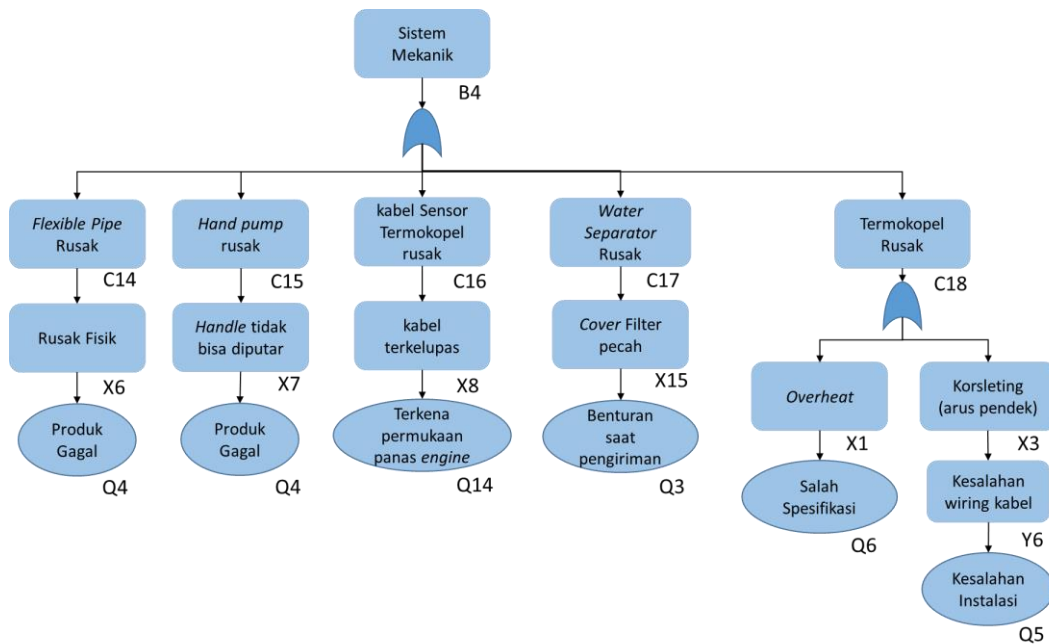


Gambar 4.9. Diagram pohon kegagalan sistem bantu

Pada gambar 4.9 gangguan pada sistem bantu diklasifikasi menjadi 3 (tiga) permasalahan yaitu kerusakan pada aki, kebocoran pada kanopi genset serta Radiator dan Charged Air Cooler (CAC) yang kotor. Gerbang logika yang digunakan adalah gerbang logika OR, karena salah satu dari bagian tersebut jika mengalami kegagalan maka dapat mempengaruhi kinerja dari sistem bantu. Pada kasus aki rusak dapat dikarenakan oleh 3 (tiga) kejadian yaitu overhear, korosif atau korsleting, dimana salah satu dari kejadian itu dapat mempengaruhi kerusakan aki, oleh karena itu dibuat gerbang logika OR. Penyebab pada kejadian overhear aki adalah suhu ruangan atau lingkungan genset yang panas, sedangkan aki sendiri memiliki batas temperatur yang harus dijaga saat beroperasi atau dalam keadaan normal minimal dibawah 35°C. Sehingga jika aki berada pada kondisi temperatur ruangan diatas 35°C dalam jangka waktu yang lama, komponen aki akan rusak. Dari penjelasan tersebut maka dapat dikatakan bahwa penyebab aki rusak adalah karena kondisi lingkungan yang panas. Selanjutnya untuk kejadian korosif pada aki dapat terjadi karena tingkat kelembapan dan keasaman udara yang tinggi, hal ini dapat menimbulkan kerak pada bagian konektor aki yang terbuat dari material konduktor, jika dibiarkan terlalu lama maka aki akan rusak. Dari penjelasan tersebut maka dapat dikatakan bahwa penyebab dari kerusakan aki adalah kualitas udara

lingkungan yang kurang baik. Selanjutnya penyebab kerusakan aki dikarenakan terjadi korsleting, hal ini dapat terjadi saat melakukan instalasi atau penyambungan kabel aki antara positif dan negatif. Meski sudah jelas pada tutup aki terdapat tanda positif dan negatif namun kenyataannya masih terdapat kesalahan saat koneksi kabel. Maka dari penjelasan tersebut kerusakan aki juga dapat disebabkan karena kesalahan saat instalasi. Kejadian selanjutnya yaitu kebocoran pada kanopi genset dikarenakan oleh pemasangan kanopi yang kurang rapat, hal ini hanya terjadi pada genset tipe silent dimana saat pemasangan tidak memperhatikan kerapatan sambungan serta menutup celah - celah kanopi dengan peralatan yang ada. Maka dapat dikatakan penyebab dari kebocoran kanopi dikarenakan kesalahan saat instalasi. Kemudian pada kasus kebocoran pada radiator dan CAC dapat terjadi karena 2 (dua) kejadian yaitu korosif pada fin dan terdapat kotoran pada filter udara, gerbang logika yang digunakan adalah gerbang AND karena kedua kejadian tersebut saling memicu kebocoran. Pada kasus korosif, fin pada radiator cenderung mudah berkerak karena terbuat dari bahan plat besi tekuk, jika kerak tersebut tidak dibersihkan maka dapat mengganggu sistem *heat exchanger* pada radiator hingga menyumbat jalur dan akhirnya terjadi kebocoran. Kelembapan udara dan kadar keasaman merupakan pemicu kasus korosif pada radiator dan biasanya terletak pada daerah dekat pantai, maka dari penjelasan tersebut dapat dikatakan bahwa penyebab dari kasus ini adalah kualitas udara yang kurang bagus. Selanjutnya untuk kejadian kotoran pada filter udara dikarenakan oleh dua penyebab utama yaitu udara disekitar kotor seperti berdebu sehingga dikatakan kualitas udara yang kurang baik atau terdapat banyak hewan seperti serangga dilokasi instalasi. Salah satu dari kedua penyebab tersebut dapat mengakibatkan filter pada CAC tersumbat dan kotor sehingga gerbang logika yang digunakan adalah OR.

Setelah penjelasan pohon kegagalan pada komponen Genset Selanjutnya menjelaskan jalur pohon kegagalan pada komponen material instalasi. Pada komponen material instalasi kegagalan pertama terdapat pada sistem mekanik. sistem mekanik dibagi menjadi beberapa bagian yang menyebabkan sistem tersebut mengalami kegagalan. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada gambar 4.10



Gambar 4.10. Diagram pohon kegagalan sistem mekanik

Pada Gambar 4.10, gangguan pada sistem mekanik diklasifikasi menjadi 5 (lima) permasalahan yaitu kerusakan pada *Flexible Pipe*, kerusakan pada *Hand Pump*, kerusakan pada Kabel Sensor Termokopel, kerusakan pada *Water Separator* atau kerusakan pada Termokopel. Gerbang logika yang digunakan adalah gerbang logika OR, karena salah satu dari bagian tersebut jika mengalami kegagalan maka dapat mempengaruhi kinerja dari sistem mekanik.

Pada kasus kerusakan *flexible pipe* dapat terjadi karena terdapat kerusakan fisik berupa retakan pada pipa setelah dilakukan investigasi oleh tim. Hal tersebut dapat mengakibatkan kebocoran gas buang genset dengan temperatur yang cukup panas. Maka pada kasus tersebut dapat dikatakan bahwa penyebab kerusakan karena produk gagal dari penyedia material.

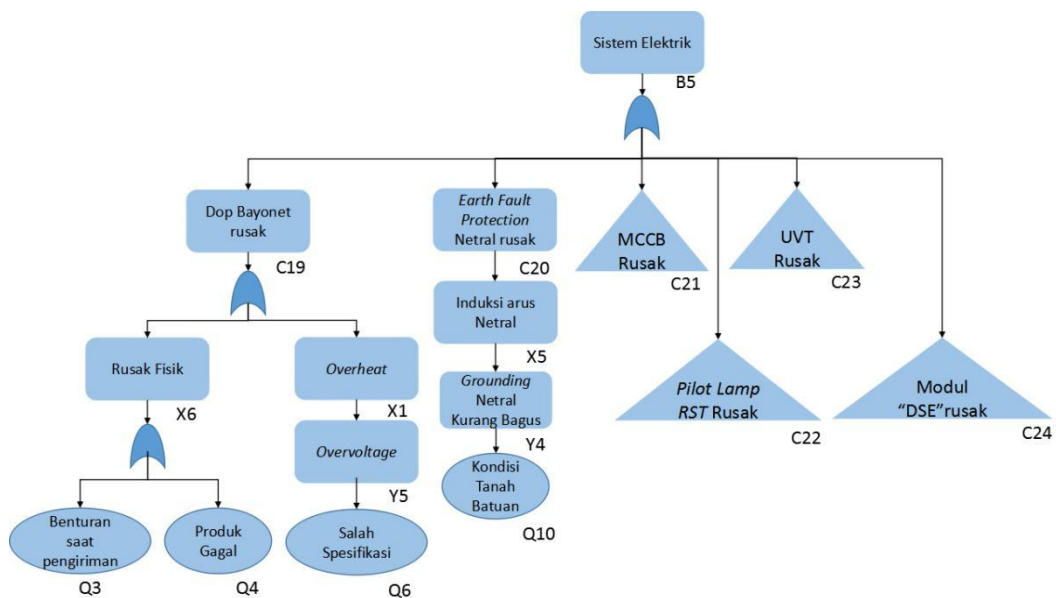
Selanjutnya pada kasus kerusakan *hand pump* baru dapat diketahui setelah material terpasang dan saat akan melakukan pengisian bahan bakar. Saat itu handle hand pump tidak bisa diputar. Dari investigasi tim mengatakan bahwa terdapat kerusakan sistem mekanik didalam *hand pump* tersebut sehingga hand pump harus diganti. Oleh karena itu penyebab dari kerusakan *hand pump* adalah karena produk gagal dari penyedia material.

Penyebab kerusakan kabel sensor termokopel dapat terjadi karena terkena permukaan *engine* yang panas. Hal ini dibuktikan saat dilakukan investigasi di lokasi terlihat kulit kabel sensor yang mengelupas, ternyata jarak antara kabel dengan *manifold engine* yang panas terlalu dekat hingga menimbulkan kabel sensor termokopel terbakar. Pada kasus berikutnya yaitu kerusakan pada *water separator* dikarenakan terjadi benturan saat proses pengiriman material. Saat dilakukan investigasi oleh tim terlihat bahwa *cover water separator* pecah. Pada dasarnya *cover water separator* terbuat dari kaca yang rentan pecah, oleh karena itu harus sangat berhati-hati ketika akan memindahkan atau memasang material ini.

Pada permasalahan selanjutnya yaitu kerusakan pada material termokopel sendiri dapat dikarenakan oleh 2 (dua) kejadian yaitu *overheat* atau korsleting, gerbang yang digunakan pada pohon kegagalan adalah gerbang OR, karena salah satu dari kejadian tersebut dapat mempengaruhi kerusakan pada termokopel. Pada kejadian *overheat* dapat terjadi dikarenakan temperatur termokopel tidak sesuai dengan *range* / batas temperatur yang diukur. Terbaca spesifikasi termokopel dapat membaca suhu dengan batas 400°C - 500°C, sedangkan kenyataannya di beberapa lokasi instalasi suhu gas buang engine bisa mencapai lebih dari 500 °C. Maka penyebab dari kerusakan termokopel adalah kesalahan dalam menentukan spesifikasi material.

Dilanjutkan pada kejadian korsleting, hal ini dapat terjadi dikarenakan saat pemasangan sering terjadi kesalahan dalam koneksi kabel termokopel, dimana jika muatan positif dihubungkan dengan muatan negatif maka hal tersebut dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen. Maka penyebab dari kerusakan tersebut dapat dikatakan karena kesalahan saat instalasi.

Jalur pohon kegagalan yang terakhir menjelaskan permasalahan pada sistem elektrik. Sistem elektrik dibagi menjadi beberapa bagian yang menyebabkan sistem tersebut mengalami kegagalan. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada gambar 4.11



Gambar 4.11. Diagram pohon kegagalan sistem elektrik

Pada Gambar 4.11 gangguan pada sistem elektrik disebabkan oleh 6 (enam) permasalahan yaitu terjadi kerusakan pada Dop Bayonet, kerusakan pada *Earth Fault Protection*, kerusakan pada *Moulded Case Circuit Breaker* (MCCB), kerusakan pada *Pilot Lamp phase RST*, kerusakan pada *Under Voltage Trip* (UVT) atau terdapat kerusakan pada modul *DeepSea* (DSE). Gerbang logika yang digunakan adalah gerbang logika OR, karena salah satu dari bagian tersebut jika mengalami kegagalan maka dapat mempengaruhi kinerja dari sistem elektrik.

Pada kasus kerusakan pada dop bayonet dapat terjadi karena dua kejadian yaitu rusak secara fisik atau *Overheat*, gerbang logika yang digunakan adalah OR karena salah satu kejadian tersebut dapat mempengaruhi kerusakan pada dop bayonet.

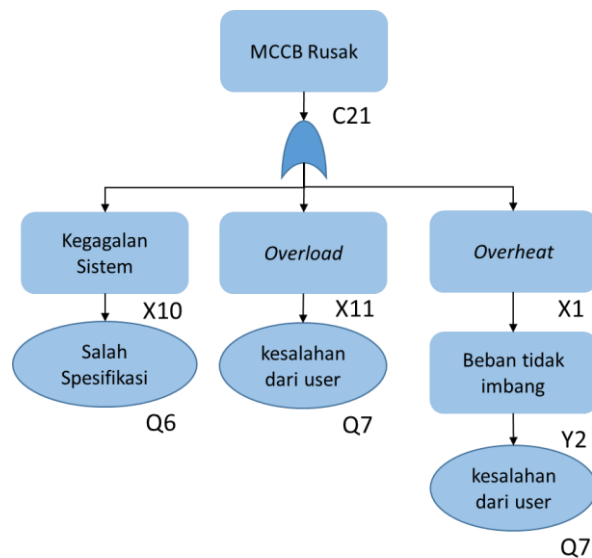
Pada kejadian kerusakan fisik terdapat dua penyebab yaitu terjadi benturan saat pengiriman karena material terbuat dari kaca yang rawan pecah atau memang merupakan produk gagal dari penyedia material. Salah satu dari penyebab tersebut dapat mempengaruhi oleh karena itu gerbang logi yang digunakan adalah gerbang OR.

Selanjutnya, pada kejadian *overheat* dapat terjadi karena *overvoltage*, yang artinya tegangan yang masuk pada dop bayonet lebih besar daripada batas tegangan

material yaitu 24 volt. Pada kenyataannya setelah dilakukan investigasi di beberapa lokasi kejadian, tegangan yang masuk diatas 24 volt hingga 30 volt. Dari penjelasan tersebut, dapat dikatakan bahwa penyebab kerusakan dop bayonet dikarenakan kesalahan dalam menentukan spesifikasi material.

Pada kerusakan *earth fault protection* dapat terjadi karena adanya induksi arus netral yang berasal dari grounding netral yang kurang bagus. Pada beberapa lokasi yang telah dilakukan investigasi saat pengukuran hambatan grounding netral terbaca diatas 5  $\Omega$  (ohm), artinya arus netral tidak semua dilewatkan dalam tanah sehingga masih terdapat arus yang melewati kabel grounding dan komponen material yang melekat pada genset seperti *earth fault protection*. Oleh karena itu, penyebab dari kerusakan ini dapat dikatakan bahwa pada beberapa lokasi terdapat kondisi tanah batuan yang tidak mendukung untuk instalasi grounding netral.

Untuk pohon kegagalan selanjutnya akan dijelaskan pada gambar yang terpisah. Untuk kasus kerusakan pada MCCB dijelaskan detailnya pada Gambar 4.12



Gambar 4.12. Diagram pohon kegagalan kerusakan MCCB

Pada gambar 4.12 kerusakan pada MCCB disebabkan oleh 3 tiga kejadian yaitu karena kegagalan sistem, *Overload* dan *Overheat*. Salah satu dari kejadian

tersebut dapat mengakibatkan kerusakan pada MCCB, oleh karena itu gerbang logika yang digunakan adalah OR.

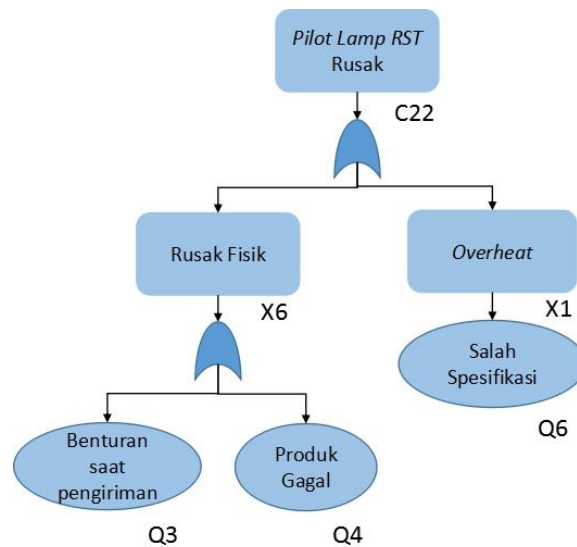
Pada kejadian kegagalan sistem dapat terjadi karena material MCCB yang digunakan adalah grade menengah yaitu *easy pack* dimana performa dari material masih tergolong standard dan umum digunakan. Namun pada beberapa kasus instalasi sering dijumpai kegagalan sistem dimana sistem tidak berfungsi secara benar, bisa karena khandalan material atau kekuatan material yang kurang. Maka penyebab dari kegagalan ini karena kesalahan dalam menentukan spesifikasi atau grade material.

Selanjutnya pada kejadian *overload* dapat terjadi karena pembebanan yang melebihi kapasitas MCCB, sehingga material tidak kuat untuk menahan arus yang lebih besar, jika terjadi terlalu lama akhirnya menyebabkan kerusakan. Dari penjelasan tersebut maka dapat dikatakan penyebab dari kejadian *overvoltage* karena pengaruh penyedia beban atau pengaruh dari kesalahan dari *user*.

Pada kejadian *Overheat* dapat terjadi karena tidak imbangnya nilai beban pada jalur R, S dan T, jika beban pada salah satu jalur lebih besar dari jalur yang lain, maka ini dapat menimbulkan arus listrik yang tidak imbang, dan akhirnya menyebabkan MCCB bekerja terlalu berat untuk mengimbangkan arus pada semua jalur hingga terjadi *overheat*. Maka dari penjelasan tersebut penyebab kejadian *overheat* pada MCCB adalah kesalahan dari penyedia beban yang tidak imbang dalam mendistribusikan arus listrik tiap jalur R, S dan T sehingga dapat disebut kesalahan dari *user*.

Untuk pohn kegagalan selanjutnya membahas tentang kasus kerusakan pada *Pilot Lamp RST* yang detailnya dijelaskan pada Gambar 4.13





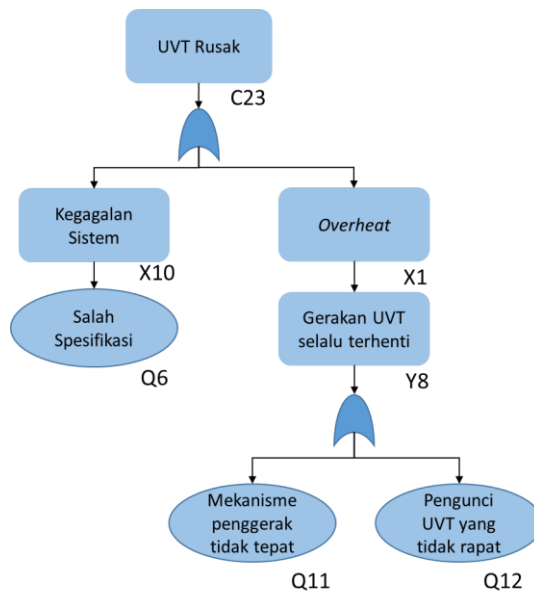
Gambar 4.13. Diagram pohon kegagalan kerusakan pilot lamp RST

Pada gambar 4.13, kerusakan pada *Pilot lamp R, S dan T* , dapat disebabkan oleh dua kejadian yaitu kerusakan fisik atau *overheat*, dimana salah satu dari kejadian tersebut dapat mempengaruhi kerusakan pada *pilot lamp*. Maka gerbang logika yang dipakai adalah gerbang logika OR.

Pada kejadian kerusakan fisik terdapat 2 (dua) penyebab yang salah satunya mempengaruhi yaitu benturan saat pengiriman atau produk gagal dari penyedia material, sehingga gerbang logika yang digunakan adalah OR. Dari investigasi di beberapa lokasi kejadian terlihat terdapat kerusakan berupa kaca *pilot lamp* yang pecah dan ada beberapa unit yang tidak berfungsi.

Pada kejadian *overheat*, hal ini dapat terjadi disebabkan karena material tidak kuat menahan tegangan *dinamo ampere* yang lebih besar dari batas tegangan *pilot lamp*. Dari hasil investigasi di beberapa lokasi kejadian, tegangan yang terukur mencapai 29 Vdc, dimana batasan tegangan pada material hanya sampai 24 Vdc sehingga terjadi *overheat* hingga kerusakan material jika terjadi dalam jangka waktu yang lama. Maka dapat dikatakan bahwa penyebab kejadian *overheat* pada *pilot lamp* dikarenakan kesalahan dalam pemilihan spesifikasi material.

Untuk pohon kegagalan selanjutnya yaitu membahas tentang kasus kerusakan pada *UVT*, detailnya dijelaskan pada Gambar 4.14



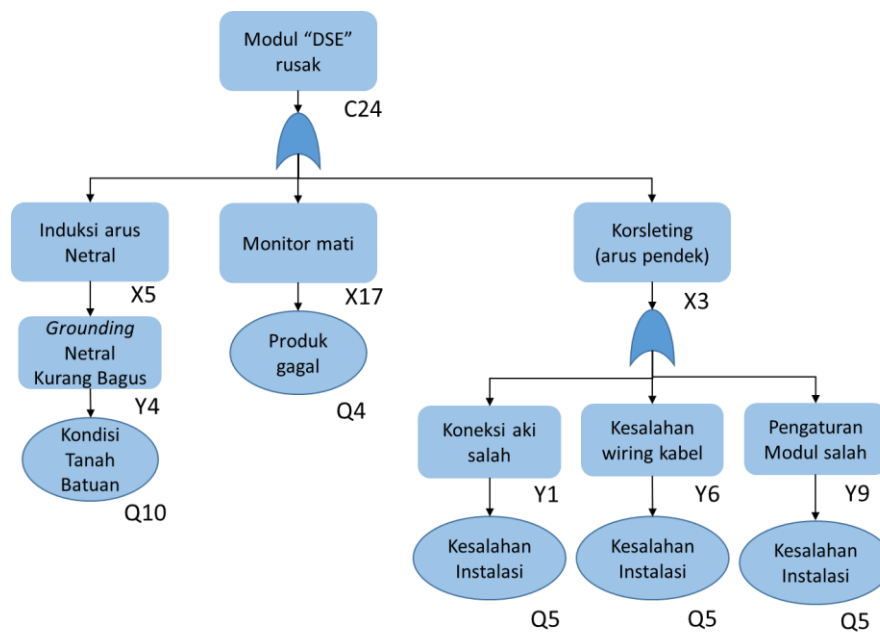
Gambar 4.14. Diagram pohon kegagalan kerusakan UVT

Pada gambar 4.14 kerusakan pada UVT, dapat disebabkan oleh 2 (dua) kejadian yaitu kegagalan sistem atau *overheat*, dimana salah satu kejadian tersebut dapat mempengaruhi kerusakan UVT, sehingga digunakan gerbang logika OR.

Pada kejadian kegagalan sistem dapat disebabkan karena grade dari UVT yang digunakan adalah tipe menengah, dimana performa dari material masih tergolong umum digunakan. Dari hasil investigasi pada beberapa kejadian di lokasi, sering dijumpai kegagalan sistem seperti tidak bisa berfungsi pada saat – saat tertentu, hal ini dikarenakan kehandalan material yang tergolong menengah. Maka dapat dikatakan bahwa penyebab dari kerusakan UVT adalah karena kesalahan dalam memilih spesifikasi material.

Selanjutnya pada kejadian *overheat* dapat terjadi karena gerakan UVT saat beroperasi terhenti hingga menimbulkan efek panas pada material. Kejadian ini dapat disebabkan karena 2 (dua) hal yaitu mekanisme penggerak yang tidak tepat atau pengunci UVT yang tidak rapat. Gerbang logika yang digunakan dalam penyebab permasalahan ini adalah OR karena salah satu dari penyebab tersebut saling mempengaruhi gerakan UVT yang terhenti.

Untuk pohon kegagalan yang terakhir yaitu membahas tentang kasus kerusakan pada modul DSE, detailnya dijelaskan pada Gambar 4.15



Gambar 4.15. Diagram pohon kegagalan kerusakan modul DSE

Pada gambar 4.15 kerusakan modul DSE, dapat dikarenakan oleh tiga kejadian yaitu induksi arus netral, monitor mati atau korsleting, dengan menggunakan gerbang logika OR, karena salah satu dari kejadian tersebut dapat mempengaruhi kerusakan modul DSE.

Pada kejadian induksi arus netral, sudah dijelaskan dari banyak kejadian sebelumnya bahwa induksi arus netral ini dapat mempengaruhi *lifetime* dari sebuah komponen, dan ditambah material modul DSE ini sangat rentan akan kerusakan jika terdapat arus induksi yang masuk. Oleh sebab itu permasalahan grounding netral yang kurang bagus dikarenakan lokasi yang bebatuan dan kering menjadi penyebab dari permasalahan ini.

Kemudian dilanjutkan dengan kejadian monitor atau layar modul DSE yang mati, hal ini sering dialami pada beberapa lokasi dimana Modul DSE tidak bisa dioperasikan karena monitor mati. Maka dari penjelasan tersebut dapat dikatakan bahwa penyebab dari kejadian monitor mati pada modul DSE adalah produk gagal dari penyedia material.

Pada kejadian korsleting dapat dikarenakan oleh tiga penyebab yaitu koneksi aki yang salah antara positif dan negatif, kesalahan dalam *wiring* kabel

modul DSE atau kesalahan dalam pengaturan modul DSE. Gerbang logika yang digunakan adalah gerbang OR karena salah satu dari penyebab tersebut saling mempengaruhi. Penyebab pertama yaitu kesalahan dalam koneksi kabel positif dan negatif aki, selain dapat merusak material aki sendiri juga dapat merusak modul DSE, karena sumber DC modul DSE yang digunakan berasal dari sumber aki.

Penyebab selanjutnya yaitu kesalahan dalam wiring kabel juga dapat mengakibatkan korsleting dalam modul DSE sendiri. Dan yang terakhir kesalahan dalam pengaturan modul DSE juga mengakibatkan kejadian korsleting karena ketika salah dalam memasukan *input* atau *output* pada software di komputer maka muatan positif dan negatif dapat tertukar. Hal ini memang benar adanya saat dilakukan investigasi di beberapa lokasi instalasi, maka dapat dikatakan penyebab dari ketiga kejadian ini adalah karena kesalahan saat instalasi.

Untuk lebih detail dalam membaca pohon kegagalan secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar Lampiran 3. Dari penjelsan semua pohon kegagalan maka dapat diketahui *basic event* atau penyebab utama dari masing-masing cabang kejadian. Untuk lebih detailnya dijelaskan pada sub bab berikutnya.

#### **4.5. Mencari minimal cut set**

Setelah mendapatkan *basic event* dari model pohon kegagalan, maka dapat dilakukan penyederhanaan untuk mendapatkan *basic event* yang berpengaruh pada *top event* atau kejadian utama, dengan metode *minimal cut set*. Untuk membantu dalam perhitungan *minimal cut set* dengan ketentuan *aljabar boolean* maka dibuat sebuah kode pada masing – masing kejadian dari pohon kegagalan. Berikut adalah tabel kode dari masing-masing kejadian, dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Kode kejadian

Kode	Nama Kejadian	Kode	Nama Kejadian	Kode	Nama Kejadian
N	Masalah Sistem Genset	C17	Water Separator Rusak	X17	Interface/Monitor mati
A1	Komponen Genset	C18	Termokopel Rusak	Y1	koneksi aki salah
A2	Komponen Material instalasi	C19	Dop Bayonet Rusak	Y2	Beban tidakimbang
B1	Sistem Generator	C20	Earth Fault Protection Neutral rusak	Y3	Sambungan kabel kurang kencang
B2	Sistem Engine	C21	MCCB Rusak	Y4	Grounding neutral kurang baik
B3	Sistem Bantu	C22	Pilot Lamp RST Rusak	Y5	Over voltage
B4	Sistem Mekanikal	C23	UVT Rusak	Y6	Kesalahan wiring kabel
B5	Sistem Elektrikal	C24	Modul DSE Rusak	Y7	Udara disekitar kotor
C1	AVR Rusak	X1	Overheat	Y8	Gerakan UVT selalu terhenti
C2	CT Rusak	X2	Korosif	Y9	settingan modul salah
C3	Dioda Varistor Rusak	X3	Korsleting (arus pendek)	Q1	Suhu ambient panas
C4	Rotor Exsiter Rusak	X4	Terbakar	Q2	Kualitas udara kurang baik
C5	ECU Rusak	X5	Induksi Arus Neutral	Q3	Benturan saat pengiriman
C6	Oil Cooler Bocor	X6	Rusak fisik	Q4	Produk gagal
C7	Pre Filter Solar kotor	X7	handle tidak bisa diputar	Q5	Kesalahan pemasangan
C8	Crank Shaft Seal Bocor	X8	Kabel terkelupas	Q6	salah spesifikasi
C9	V-Belt Putus	X9	Pemasangan Kanopi kurang rapat	Q7	Kesalahan dari user
C10	Water Pump Bocor	X10	Kegagalan sistem	Q8	Tidak pernah ganti Oli
C11	Aki Rusak	X11	Overload	Q9	Banyak Hewan serangga
C12	Kanopi Genset Bocor	X12	Kualitas oli jelek dan kotor	Q10	Kondisi tanah batuan
C13	Radiator Dan CAC Kotor	X13	Kondisi Solar Kotor	Q11	Mekanisme penggerak tidak tepat
C14	Flexible Pipe Rusak	X14	Banyak kotoran	Q12	Pengunci UVT Yang tidak rapat
C15	HandPump Rusak	X15	Cover filter pecah	Q13	Tidak dilakukan pengaturan berkala
C16	Kabel Sensor Termokopel Rusak	X16	Seal rusak	Q14	Terkena permukaan panas engine

Dari Tabel 4.6, kode yang menunjukkan akar dari penyebab kejadian dilambangkan dengan huruf Q, dimana itu adalah *basic event* dalam FTA. Dapat dilihat bahwa jumlah dari huruf Q sebanyak 14 *basic event*, dimana dari 14 *basic event* akan dilakukan penyederhanaan, karena tidak semua gerbang logika yang digunakan dalam model FTA sama, maka terdapat kemungkinan terjadi seleksi jumlah *basic event*.

Dalam proses minimal cut set dimulai dengan puncak pohon kegagalan pada gambar 4.6, dimana dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$N = A1 + A2$$

$$N = (B1 + B2 + B3) + (B4 + B5)$$

Berdasarkan persamaan diatas dalam perumusan *minimal cut set* saat menggunakan gerbang logika OR maka digunakan simbol tambah (+) sedangkan ketika terdapat gerbang logika AND maka yang digunakan simbol kali (.). Dari persamaan tersebut puncak kegagalan dilambangkan oleh N yang artinya masalah sistem genset, kemudian dijabarkan dengan lima komponen dengan simbol B1, B2, B3, B4 atau B5, sehingga persamaan menjadi  $B1+B2+B3+B4+B5$

Dilanjutkan dengan pohon kegagalan pada gambar 4.7, dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$B1 = C1 + C2 + C3 + C4 + C5$$

$$B1 = Q7 + Q5 + Q10 + Q10 + (Q5 + Q1 + Q2)$$

$$B1 = Q7 + Q1 + Q2 + (Q5 + Q5) + (Q10 + Q10)$$

$$B1 = Q7 + Q1 + Q2 + Q5 + Q10$$

Dari persamaan diatas dalam kejadian B1 dijabarkan menjadi 5 (lima) kejadian yaitu C1, C2, C3, C4, dan C5. Pada kejadian dengan kode C1 dapat dijabarkan menjadi Q7 yaitu *basic event*, jika dilihat kembali saat menuju Q7 terdapat kejadian dengan kode X1 kemudian Y2, namun dapat secara langsung ditulis Q7 karena 2 (dua) kejadian tersebut adalah pelengkap urutan dari kejadian dasar. kemudian pada kejadian dengan kode C5 dibagi kembali dengan kejadian dasar Q5, Q1 dan Q2. Pada persamaan  $(Q5+Q5)$  dan  $(Q10+Q10)$  hal ini dapat disederhanakan menjadi Q5 dan Q10 saja karena merupakan sifat hukum

idempoten. Sehingga pada kejadian dengan kode B1 terdapat 5 (lima) basic event dengan persamaan yaitu  $Q7+Q1+Q2+Q5+Q10$ .

Kemudian berlanjut pada pohon kegagalan di gambar 4.8, dengan persamaan sebagai berikut :

$$B2 = Q8 + Q7 + Q8 + Q13 + Q4$$

$$B2 = (Q8 + Q8) + Q7 + Q13 + Q4$$

$$B2 = Q8 + Q7 + Q13 + Q4$$

Dapat dilihat pada tahap 2(dua) persamaan terdapat  $(Q8+Q8)$  maka dalam sifat aljabar boolean merupakan sifat hukum idempoten yang artinya dapat disederhanakan menjadi Q8 saja. Dari hasil persamaan diatas kejadian dengan kode B2 terdiri dari 4 (empat) basic event dengan persamaan yaitu  $Q8+Q7+Q13+Q14$ .

Kemudian pada pohon kegagalan di gambar 4.9, dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$B3 = C11 + Q5 + C13$$

$$B3 = (Q1 + Q2 + Q5) + Q5 + (Q2.(Q2 + Q9))$$

$$B3 = (Q1 + Q2) + (Q5 + Q5) + (Q2)$$

$$B3 = Q1 + Q2 + Q5$$

Dari persamaan diatas pada kode kejadian C13 terdapat gerbang logika AND, sehingga simbol yang digunakan adalah kali ( $\cdot$ ), kemudian karena persamaan  $Q2.(Q2+Q9)$  termasuk sifat hukum absorpsi maka hasilnya adalah Q2. Kemudian terdapat persamaan  $Q2+Q2$  hal ini bisa disederhanakan menjadi Q2 karena sifat idempoten. Kemudian untuk persamaan  $(Q5+Q5)$  dapat disederhanakan menjadi Q5 karena merupakan sifat idempoten. Sehingga pada kode kejadian B3 terdiri dari tiga (tiga) basic event dengan persamaan yaitu  $Q1+Q2+Q5$ .

Selanjutnya pada pohon kegagalan gambar 4.10, dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$B4 = C14 + C15 + C16 + C17 + C18$$

$$B4 = Q4 + Q3 + Q14 + Q3 + (Q6 + Q5)$$

$$B4 = (Q3 + Q3) + Q4 + Q14 + Q6 + Q5$$

$$B4 = Q3 + Q4 + Q14 + Q6 + Q5$$

Pada kejadian dengan kode C18 dibagi menjadi 2 (dua) basic event yaitu (Q6+Q5) karena menggunakan gerbang logika OR, kemudian terdapat persamaan Q3+Q3 dimana merupakan sifat hukum idempoten karena memiliki identitas yang sama, maka dapat disederhanakan menjadi Q3 saja. Dari persamaan diatas maka untuk kejadian dengan kode B4 terdiri dari 5 (lima) basic event dengan persamaan yaitu Q3+Q4+Q14+Q6+Q5.

Untuk kode kejadian B5 dengan pohon kegagalan seperti gambar 4.11, maka dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$B5 = C19 + C20 + C21 + C22 + C23 + C24$$

$$B5 = (Q3 + Q4) + Q6 + Q10 + C21 + C22 + C23 + C24$$

$$B5 = Q3 + Q4 + Q6 + Q10 + C21 + C22 + C23 + C24$$

Dapat dilihat pada persamaan diatas untuk kode kejadian C9 dipecah menjadi 2 (dua) basic event dengan gerbang logika OR dan menghasilkan (Q3+Q4). Sehingga untuk kode kejadian B5 menghasilkan basic event Q3+Q4+Q6+Q10+C21+C22+C23+C24. Kemudian untuk C21, C22, C23 dan C24 akan dilanjutkan kedalam persamaan berikutnya.

Untuk persamaan pada kode kejadian C21 dari pohon kegagalan pada gambar 4.12, maka dapat dibuat persamaan sebagai berikut :

$$C21 = Q6 + (Q7 + Q7)$$

$$C21 = Q6 + Q7$$

Dari persamaan diatas terdapat Q7+Q7 yang disederhanakan dengan hukum idempoten, sehingga untuk kode kejadian C21 menghasilkan basic event Q6+Q7

Berlanjut ke pohon kegagalan pada gambar 4.13, yaitu dengan kode kejadian C22, dapat dibuatkan persamaan sebagai berikut :

$$C22 = (Q3 + Q4) + Q6$$

$$C22 = Q3 + Q4 + Q6$$



Dari persamaan diatas terlihat tidak ada yang bisa disederhanakan, maka untuk kejadian C22 menghasilkan basic event  $Q3+Q4+Q6$ .

Kemudian untuk pohon kegagalan pada gambar 4.14 dengan kode kejadian C23, dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$C23 = Q6 + (Q11 + Q12)$$

$$C23 = Q6 + Q11 + Q12$$

Dari persamaan diatas terlihat tidak ada yang bisa disederhanakan, maka untuk kejadian dengan kode C23 menghasilkan basic event  $Q6+Q11+Q12$ .

Kemudian untuk pohon kegagalan terakhir pada gambar 4.15 dengan kode kejadian C24, dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$C24 = Q10 + Q4 + (Q5 + Q5 + Q5)$$

$$C24 = Q10 + Q4 + Q5$$

Dari persamaan diatas dapat dilihat terdapat persamaan  $(Q5+Q5+Q5)$  dimana dapat disederhanakan menjadi  $Q5$  karena merupakan sifat dari hukum idempoten. Sehingga untuk kejadian dengan kode C24 menghasilkan persamaan  $Q10+Q4+Q5$ .

Dari penjelasan persamaan C21, C22, C23 dan C24 yang sudah diketahui maka dapat dikerjakan untuk persamaan pada kode kejadian B5, dengan persamaan sebagai berikut :

$$B5 = Q3 + Q4 + Q6 + Q10 + C21 + C22 + C23 + C24$$

$$B5 = Q3 + Q4 + Q6 + Q10 + (Q6 + Q7) + (Q3 + Q4 + Q6) + (Q6 + Q11 + Q12) + (Q10 + Q4 + Q5)$$

$$B5 = (Q3 + Q3) + (Q4 + Q4 + Q4) + Q5 + (Q6 + Q6 + Q6 + Q6) + Q7 + (Q10 + Q10) + Q11 + Q12$$

$$B5 = Q3 + Q4 + Q5 + Q6 + Q7 + Q10 + Q11 + Q12$$

Dari persamaan diatas dapat dilihat untuk persamaan  $(Q3+Q3)$ ,  $(Q4+Q4+Q4)$ ,  $(Q6+Q6+Q6+Q6)$  dan  $(Q10+Q10)$  disederhanakan menjadi  $(Q3+Q4+Q6+Q10)$  dikarenakan memiliki sifat dari hukum idempoten. Sehingga hasil dari kejadian dengan kode B5 adalah  $(Q3+Q4+Q5+Q6+Q7+Q10+Q11+Q12)$ .

Setelah mendapatkan semua persamaan dari kode kejadian B1,B2,B3,B4 dan B5, maka dapat dibuat persamaan untuk *top event* sebagai berikut :

$$N = (B1 + B2 + B3) + (B4 + B5)$$

$$N = (Q7 + Q1 + Q2 + Q5 + Q10) + (Q8 + Q7 + Q13 + Q4) \\ + (Q1 + Q2 + Q5) + (Q3 + Q4 + Q14 + Q6 + Q5) \\ + (Q3 + Q4 + Q5 + Q6 + Q7 + Q10 + Q11 + Q12)$$

$$N = (Q1 + Q1) + (Q2 + Q2) + (Q3 + Q3) + (Q4 + Q4 + Q4) \\ + (Q5 + Q5 + Q5 + Q5) + (Q6 + Q6) + (Q7 + Q7 + Q7) \\ + Q8 + (Q10 + Q10) + Q11 + Q12 + Q13 + Q14$$

$$N = Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + Q5 + Q6 + Q7 + Q8 \\ + Q10 + Q11 + Q12 + Q13 + Q14$$

Dari persamaan kejadian diatas terdapat beberapa yang memiliki sifat idempoten seperti  $(Q1+Q1)$ ,  $(Q2+Q2)$ ,  $(Q3+Q3)$ ,  $(Q4+Q4+Q4)$ ,  $(Q5+Q5+Q5+Q5)$ ,  $(Q6+Q6)$ ,  $(Q7+Q7+Q7)$  dan  $(Q10+Q10)$  maka dapat disederhanakan menjadi  $(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q7+Q10)$ . Sehingga persamaan pada *top event* dengan kode N menjadi  $(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q7+Q8+Q10+Q11+Q12+Q13+Q14)$  dengan jumlah 13 *basic event*. Setelah mendapatkan *basic event* maka perlu memasukan nilai frekuensi kejadian dasar, nilai frekuensi yang diambil berdasarkan jumlah frekuensi dari kejadian kerusakan pada kode C. Untuk detailnya dijelaskan dalam tabel 4.7 sebagai berikut:

Tabel 4.7. Pengolahan data Kejadian Dasar

No	Kejadian (C)	Sebab Kejadian/Basic Event (Q)	Frekuensi
1	Aki Rusak	Suhu ambient panas	1
		Kualitas udara kurang baik	5
		Kesalahan Instalasi	1

2	AVR Rusak	Kesalahan dari user	10
3	CT Rusak	Kesalahan Instalasi	4
4	Dioda Varistor Rusak	Kondisi tanah batuan	5
5	Dop Bayonet Rusak	Benturan saat pengiriman	2
		Produk gagal	1
		Salah Spesifikasi	1
6	Earth Fault Protection Neutral rusak	Kondisi tanah batuan	2
7	ECU Rusak	Kesalahan Instalasi	1
		Suhu ambient panas	1
		Kualitas udara kurang baik	2
8	Flexible Pipe Rusak	Produk gagal	1
9	Hand Pump Rusak	Produk gagal	2
10	Kabel Sensor Termokopel Rusak	Terkena permukaan panas di engine	2
11	Kanopi Genset Bocor	Kesalahan Instalasi	4
12	MCCB Rusak	salah spesifikasi	5
		Kesalahan dari user	5
		Kesalahan dari user	7
13	Oil Cooler Bocor	Tidak pernah ganti Oli	1
14	Pilot Lamp RST Rusak	Benturan saat pengiriman	4
		Produk gagal	2
		Salah Spesifikasi	1
15	Pre Filter Solar Kotor	Kesalahan dari user	9
16	Radiador Dan CAC Kotor	Kualitas udara kurang baik	3
		Kualitas udara kurang baik	7
17	Rotor Eksister Rusak	Kondisi tanah batuan	1
18	Water Separator Rusak	Benturan saat pengiriman	1
19	Crank Shaft Seal Bocor	Tidak pernah ganti Oli	2

20	Thermokopel Rusak	Salah Spesifikasi	5
		Kesalahan Instalasi	7
21	UVT Rusak	salah spesifikasi	2
		Mekanisme penggerak UVT tidak tepat	8
		Pengunci UVT Yang tidak rapat	17
22	V-Belt Putus	Tidak dilakukan adjustment v-belt secara berkala	1
23	Water Pump Bocor	produk gagal	2
24	Modul DSE Rusak	Kondisi tanah batuan	10
		Kesalahan Instalasi	2
		Kesalahan Instalasi	2
		Kesalahan Instalasi	2
		Produk gagal	3
<b>TOTAL</b>			<b>154</b>

Pada tabel diatas untuk menentukan nilai frekuensi kejadian dasar / *basic event* dapat melalui hasil investigasi yang dilakukan di lokasi kejadian. Untuk contoh hasil investigasi dapat dilihat pada gambar Lampiran 4. Dimana pada laporan tersebut terdapat nama kejadian permasalahan, hasil investigasi dan perbaikan yang dilakukan hingga selesai. Setelah mendapatkan data frekuensi maka dapat dilakukan pengelompokan data dari jenis kejadian dasar untuk dihitung nilai probabilitas dari setiap kejadian tersebut, dengan berdasarkan jumlah kejadian yang telah terjadi selama proyek yaitu 154 kejadian, maka dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P(Q) = \frac{F(Q)}{n} \dots\dots\dots (4.1)$$

Dimana :

$P(Q)$  : Probabilitas kejadian  $Q$

$F(Q)$  : Frekuensi kejadian  $Q$

$n$  : Jumlah kejadian (154 kejadian)

Sehingga dari rumus diatas dapat dihitung nilai probabilitas dari metode FTA dan *minimal cut set* untuk lebih detail dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8. Perhitungan nilai probabilitas pada kejadian dasar

Kode	Basic Event (Q)	Frekuensi ( $F(Q)$ )	Probabilitas $P(Q)$
Q1	Suhu ambient panas	2	0,0130
Q2	Kualitas udara kurang baik	17	0,1104
Q3	Benturan saat pengiriman	7	0,0455
Q4	Produk gagal	11	0,0714
Q5	Kesalahan Instalasi	23	0,1494
Q6	Salah spesifikasi	14	0,0909
Q7	Kesalahan dari user	31	0,2013
Q8	Tidak pernah ganti Oli	3	0,0195
Q10	Kondisi tanah batuan	18	0,1169
Q11	Mekanisme penggerak UVT tidak tepat	8	0,0519
Q12	Pengunci UVT Yang tidak rapat	17	0,1104
Q13	Tidak dilakukan pengaturan v-belt berkala	1	0,0065
Q14	Terkena permukaan panas engine	2	0,0130

Dari tabel 4.8 dapat dilihat bahwa nilai probabilitas paling tinggi adalah kejadian dengan kode Q7 yaitu kesalahan dari user dimana mencapai nilai 0,2013. Kemudian probabilitas terbesar ke-dua adalah dengan kode kejadian Q5 yaitu kesalahan saat instalasi dengan nilai probabilitas 0,1494. Dan yang ke-tiga adalah kejadian dengan kode Q10 yaitu Kondisi tanah batuan dengan nilai probabilitas 0,1169. Sedangkan

yang memiliki probabilitas kejadian yang paling rendah adalah kejadian dengan kode Q13 yaitu tidak dilakukan pengaturan v-belt secara berkala hal ini memiliki nilai probabilitas yang sangat kecil yaitu 0,0065 karena hanya terjadi satu kali dari total kejadian.

Dari hasil probabilitas diatas masih belum dapat disimpulkan untuk risiko paling kritis. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat maka diperlukan perhitungan untuk resiko, dengan menambahkan variabel konsekuensi pada masing – masing kejadian yang nanti dihitung dengan software @Risk dengan menggunakan metode simulasi monte carlo.

#### **4.6. Mencari Nilai Konsekuensi**

Konsekuensi atau dampak dari sebuah risiko kejadian didapatkan dari hasil kuesioner yang dibagikan kepada para tenaga ahli yang berpengalaman dibidang instalasi genset. Dalam realisasinya peneliti telah membagikan kuesioner dampak risiko pada proyek instalasi genset kepada empat tenaga ahli, untuk melihat pengisian kuesioner dapat dilihat pada hasil kuesioner di Lampiran 5.

Pada form kuesioner data yang dicari adalah waktu penyelesaian suatu permasalahan yang disajikan dalam satuan hari. Hal ini merupakan representasi dari keterlambatan di proyek jika waktu penyelesaian lama dengan tingkat frekuensi kejadian yang tinggi. Dalam menentukan nilai pada kuesioner, responden dapat mengasumsikan waktu penyelesaian saat teknisi berangkat hingga pulang dan dikatakan permasalahan tersebut selesai. Kemudian dari lampiran 5 data diolah untuk dicari nilai rata-rata dari waktu penyelesaian pada setiap kejadian dengan kode C yang nantinya akan dijadikan sebagai variabel konsekuensi (I), untuk lebih detail dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9. Pengolahan data responden

No	Kejadian (C)	Responden				Rata-rata
		P	I	N	S	
1	Aki Rusak	3	3	3	2	2,75
2	AVR Rusak	3	5	4	3	3,75
3	CT Rusak	4	5	4	4	4,25
4	Dioda Varistor Rusak	4	5	4	4	4,25
5	Dop Bayonet Rusak	3	3	3	2	2,75
6	Earth Fault Protection Neutral rusak	5	4	4	4	4,25
7	ECU Rusak	5	5	5	4	4,75
8	Flexible Pipe Rusak	3	4	3	3	3,25
9	Hand Pump Rusak	3	4	4	3	3,50
10	Kabel Sensor Termokopel Rusak	3	3	3	2	2,75
11	Kanopi Genset Bocor	5	5	4	4	4,50
12	MCCB Rusak	6	5	4	4	4,75
13	Oil Cooler Bocor	7	7	6	5	6,25
14	Pilot Lamp RST Rusak	3	3	3	2	2,75
15	Pre Filter Solar Kotor	3	3	3	2	2,75
16	Radiator Dan CAC Kotor	5	7	6	5	5,75
17	Rotor Exsiter Rusak	7	7	7	6	6,75
18	Water Separator Rusak	3	3	3	3	3,00
19	Crank Shaft Seal Bocor	7	7	7	6	6,75
20	Thermokopel Rusak	5	5	5	3	4,50
21	UVT Rusak	5	5	4	3	4,25
22	V-Belt Putus	5	5	4	3	4,25
23	Water Pump Bocor	7	7	4	4	5,50
24	Modul DSE Rusak	5	5	5	4	4,75

Dari Tabel 4.9 untuk nama responden dapat disingkat dengan huruf P untuk Pandu Erman, I untuk Idong Wijono, N untuk Nurbudi dan S untuk Sugeng. Dari hasil rata - rata tabel 4.9 dapat dilihat bahwa nilai yang paling tinggi ditunjukkan oleh kejadian rotor exciter rusak dan crank shaft seal bocor dengan nilai 6,75, kemudian dilanjutkan dengan Oil cooler yang bocor dengan nilai 6,25. Dalam memperbaiki permasalahan tersebut membutuhkan waktu diatas 6 hari, karena harus membongkar terlebih dahulu sebagian mesin diesel dan melakukan pengaturan ulang kembali komponen yang rusak atau bocor. Sedangkan untuk nilai yang paling rendah dengan nilai 2,75 yaitu kejadian kerusakan Aki, Dop Bayonet, Kabel Sensor Termokopel, Pilot Lamp RST dan Pre filter solar yang kotor. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut dapat dilakukan dengan cepat, karena komponen - komponen berada diluar engine dan generator yang mudah diganti serta dilakukan pengaturan ulang.

Dari hasil rata - rata pada tabel 4.9, merupakan nilai konsekuensi awal yang digunakan untuk menentukan nilai konsekuensi akhir (I) pada penyebab kejadian dasar kode Q / *basic event*. Dengan merujuk pada kejadian kode C dengan hasil rata - rata konsekuensi awal maka dapat diturunkan pada kejadian dasar kode Q. Dari sifat penurunan tersebut maka setiap kejadian dasar kode Q memiliki data konsekuensi yang bervariasi, dimana dapat diolah sebagai hasil konsekuensi akhir (I) yang digunakan dalam perhitungan nilai risiko kritis saat menggunakan software @Risk. Dalam pengolahan data pada software @Risk diperlukan beberapa data seperti nilai probabilitas (P), konsekuensi (I), distribusi konsekuensi dan perhitungan risiko, kemudian dapat disimulasikan dengan software @Risk dengan metode monte carlo untuk mengetahui output risiko paling kritis.

Monte carlo digunakan sebagai metode untuk meningkatkan keakuratan dalam memprediksi hasil yang akan terjadi berdasarkan ketersediaan data sampel. tanpa monte carlo sebenarnya bisa didapatkan hasil yang paling besar, namun hanya dengan metode rata - rata, hal ini belum bisa dikatakan sebagai metode terbaik, hasil nilai rata - rata tidak dapat menunjukkan hasil yang tepat dikarenakan data sample memiliki perbedaan nilai dan deviasi sehingga jika sebuah data sampel dimodelkan sebenarnya akan memiliki karakteristik data tersendiri seperti distribusi normal,



sehingga data sampel tersebut memiliki makna tersendiri jika dilihat dari distribusinya.

Dalam menentukan distribusi data konsekuensi dapat menggunakan beberapa software seperti SPSS, Minitab dan @Risk. Dalam penelitian ini untuk mengidentifikasi dan menentukan hasil distribusi data konsekuensi menggunakan software @Risk, karena sudah termasuk dalam perhitungan risiko dan lebih praktis. Untuk mengidentifikasi distribusi data konsekuensi yang digunakan adalah distribusi normal karena, distribusi normal banyak digunakan dalam berbagai bidang statistika, seperti distribusi sampling rata-rata. Distribusi normal juga dapat digunakan untuk memodelkan fenomena kuantitatif pada ilmu alam maupun ilmu sosial. Oleh karena itu dalam menentukan identifikasi pada kasus ini, dimana data yang didapatkan berdasarkan dari pengalaman tenaga ahli instalasi genset dan didukung dengan teknisi yang tersertifikasi, sehingga hasil data yang didapatkan tidak beda jauh, maka dapat diidentifikasi dengan pendekatan distribusi normal.

Dalam perhitungan distribusi normal memerlukan data rata-rata konsekuensi dan standar deviasi, dimana standar deviasi yang digunakan menggunakan rumus standar deviasi sampel, karena hanya memiliki beberapa data yang dapat digunakan untuk mewakili keseluruhan data populasi. Rumus dari standar deviasi sampel dapat dilihat pada persamaan 4.2 sebagai berikut.

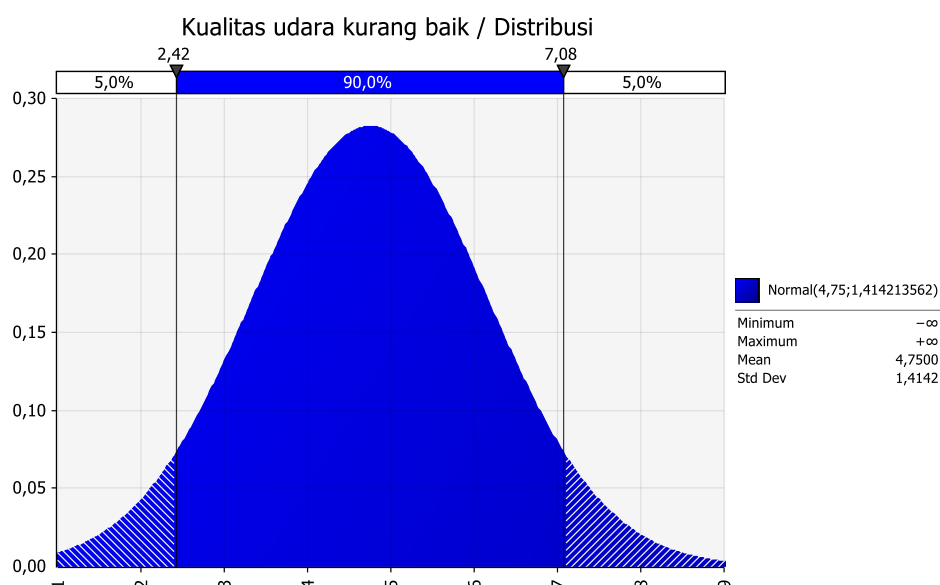
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}} \dots\dots\dots (4.2)$$

Dimana

- $\sigma$  : Standar deviasi
- $X_i$  : Nilai konsekuensi ke - i
- $\bar{X}$  : Rata - rata konsekuensi
- N : Jumlah data

Setelah mendapatkan semua variabel yang diperlukan maka dapat dilakukan perhitungan nilai distribusi konsekuensi menggunakan software @Risk, dengan

memasukan nilai rata – rata konsekuensi dan standar deviasi. Berikut hasil perhitungan distribusi konsekuensi dengan software @risk, dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.16. Grafik hasil distribusi normal kualitas udara yang kurang baik

Dari gambar 4.16 adalah contoh grafik yang dibangkitkan dengan distribusi normal dari data kualitas udara yang kurang baik. Pada grafik tersebut menampilkan grafik *Probability Density Function* (PDF) yaitu grafik yang menunjukkan kemungkinan munculnya nilai dalam suatu range kejadian. Pada grafik PDF kualitas udara kurang baik menunjukkan batas kemungkinan nilai yang muncul dengan batasan minimal 2,42 dan maksimal 7,08 dengan nilai rata – rata 4,75 yang memiliki kemungkinan yang terkerucut dinilai tengah. Artinya semakin mendekati puncak maka nilai tersebut sering keluar dibandingkan dengan nilai yang mendekati batasan minimal dan maksimal. Dapat dilihat jika menggunakan distribusi normal model grafik yang dibentuk akan simetri antara nilai batasan minimal dan maksimal. Untuk melihat grafik PDF pada kejadian lainnya dapat dilihat pada Lampiran 6.

Setelah mendapatkan hasil distribusi langkah selanjutnya adalah mencari nilai risiko dengan mengalikan variabel probabilitas dengan hasil distribusi konsekuensi. Langkah terakhir yang digunakan dalam mencari risiko kritis dengan metode monte carlo menggunakan software @Risk yaitu dengan menjumlahkan nilai risiko dengan formula risiko total.

Hasil dari total risiko ini sebagai acuan yang digunakan untuk simulasi. Berikut detail dan penjelasan data lengkap hasil semua perhitungan yang digunakan untuk simulasi risiko kritis dengan metode monte carlo menggunakan software @Risk disajikan dalam bentuk tabel, yang dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. detail data perhitungan probabilitas, konsekuensi dan risiko

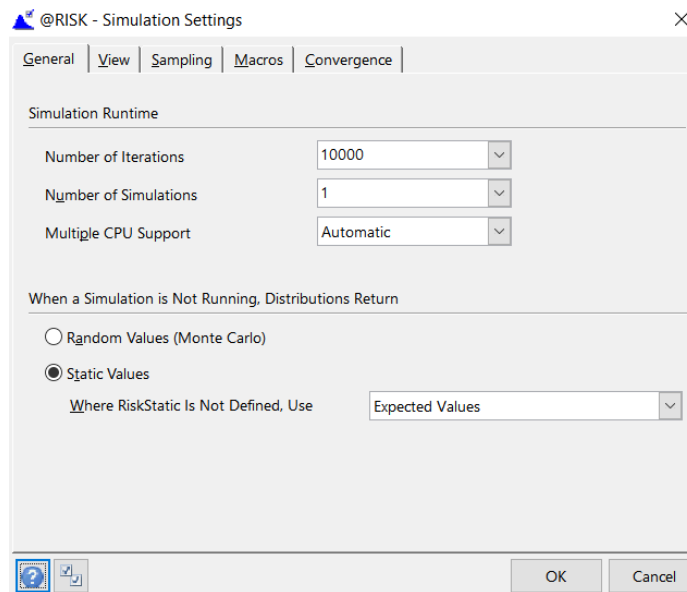
Kode	Basic Event (Q)	(F)	(P)	(I)	( $\sigma$ )	(D)	(R)
Q1	Suhu ambient panas	2	0,013	3,750	1,414	3,750	0,049
Q2	Kualitas udara kurang baik	17	0,110	4,750	1,414	4,750	0,524
Q3	Benturan saat pengiriman	7	0,045	2,833	0,144	2,833	0,129
Q4	Produk gagal	11	0,071	3,792	1,089	3,792	0,271
Q5	Kesalahan pemasangan	23	0,149	4,375	0,681	4,375	0,653
Q6	salah spesifikasi	14	0,091	3,850	0,912	3,850	0,350
Q7	Kesalahan dari user	31	0,201	4,000	0,957	4,000	0,805
Q8	Tidak pernah ganti Oli	3	0,019	6,500	0,354	6,500	0,127
Q10	Kondisi tanah batuan	18	0,117	5,000	1,190	5,000	0,584
Q11	Mekanisme penggerak UVT tidak tepat	8	0,052	4,250	0,957	4,250	0,221
Q12	Pengunci UVT Yang tidak rapat	17	0,110	4,250	0,957	4,250	0,469
Q13	Tidak dilakukan pengaturan v-belt berkala	1	0,006	4,250	0,957	4,250	0,028
Q14	Terkena permukaan panas engine	2	0,013	2,750	0,500	2,750	0,036
<b>TOTAL</b>		<b>154</b>					<b>4,246</b>

Pada tabel 4.10 nama variabel dapat disingkat dengan simbol (F) untuk Frekuensi, (P) untuk Probabilitas, (I) untuk Konsekuensi, ( $\sigma$ ) untuk standar deviasi, (D) untuk distribusi dan (R) untuk Risiko. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa Hasil dari standar deviasi paling besar pada Q1 dan Q2 yaitu suhu ambient panas

dan kualitas udara kurang baik dengan nilai 1,414, hal ini karena variasi data yang banyak dan memiliki perbedaan yang cukup besar, untuk data yang lain masih dibawah 1 yang artinya tingkat perbedaan nilai konsekuensi memiliki nilai rata-rata 1 hari kebawah. Sedangkan untuk nilai distribusi terlihat memiliki nilai yang sama dengan data konsekuensi yang didapat data dari rata- rata, hal ini karena untuk nilai distribusi normal yang diambil adalah nilai rata – rata dari data tersebut. Selanjutnya untuk risiko yang memiliki nilai tertinggi adalah kode Q7 yaitu kesalahan dari user dengan nilai 0,805, sedangkan nilai terkecil adalah kode Q13 yaitu tidak dilakukan pengaturan v- belt secara berkala dengan nilai 0,028. Dari penjelasan diatas sebenarnya sudah dapat dilihat bahwa nilai risiko tertinggi adalah kode Q7, namun terdapat beberapa data yang memiliki nilai risiko yang hampir sama, oleh karena itu perlu dilakukan simulasi monte carlo untuk mendapatkan risiko kritis, dimana dapat dikategorikan lebih detail dan spesifik.

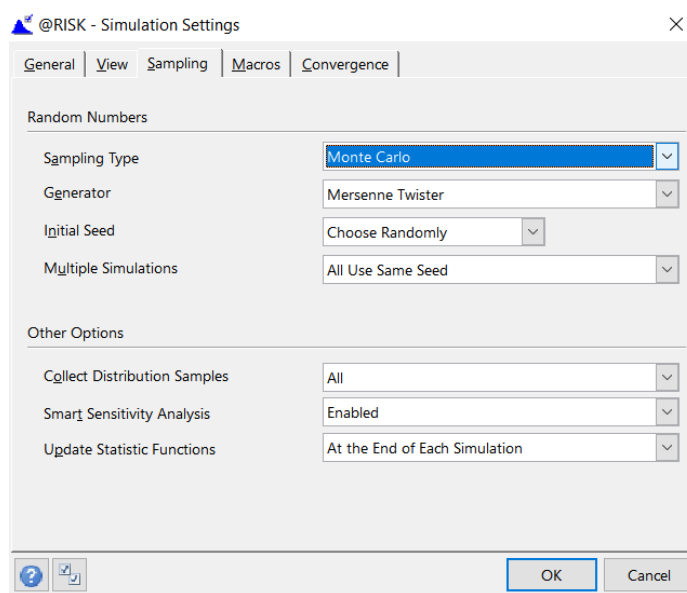
#### **4.7. Analisa risiko kritis dengan simulasi monte carlo di software @Risk**

Dari data tabel 4.10 maka dapat dimulai simulasi dengan metode monte carlo menggunakan software @Risk untuk mendapatkan risiko kritis. Langkah yang pertama yaitu pengaturan pada software, dimana terdapat beberapa inputan berupa nilai iterasi kemudian terdapat pemilihan metode simulasi. Pada inputan nilai iterasi dapat dimasukan nilai iterasi sebanyak 10.000 karena nilai iterasi secara umum yang sering dilakukan pada simulasi, Seperti pada gambar 4.17



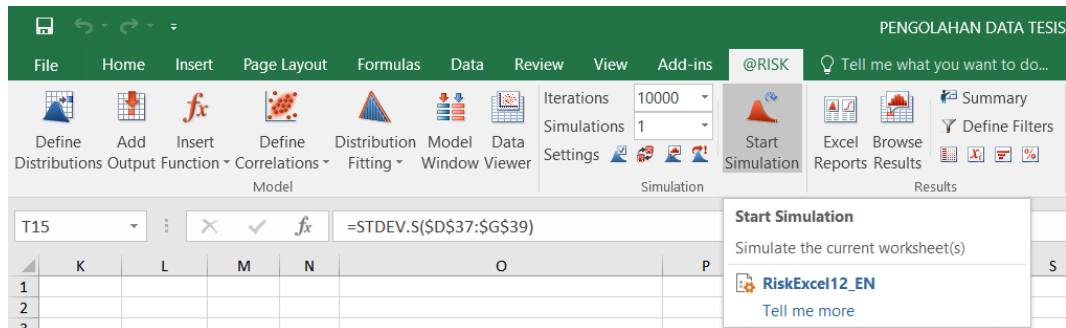
Gambar 4.17. Langkah simulasi pertama

Langkah kedua adalah memilih jenis metode yang digunakan dalam simulasi, pemilihan metode ini dapat ditemukan pada kolom sampling. Kemudian pada pemilihan jenis metode sampling terdapat dua pilihan yaitu Monte Carlo dan Latin Hypercube, maka dapat dipilih metode monte carlo karena penelitian ini menggunakan metode tersebut. Untuk lebih detail dapat dilihat pada gambar 4.18



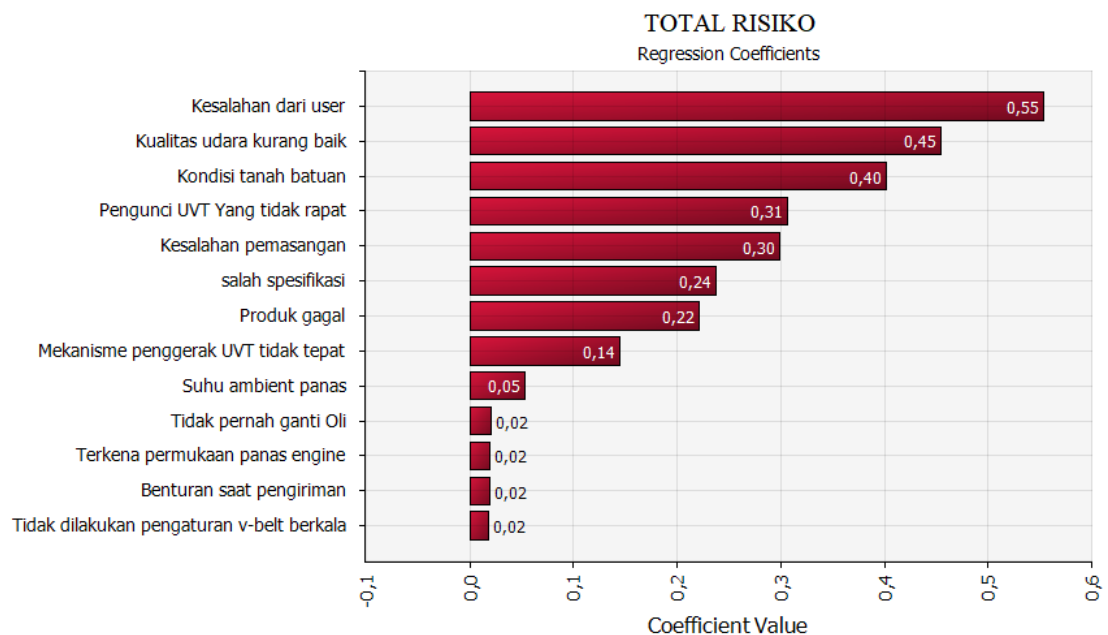
Gambar 4.18. Langkah simulasi kedua

Setelah pengaturan selesai maka dapat dilanjutkan untuk memulai simulasi dengan menekan gambar *start simulation* seperti pada gambar 4.19.



Gambar 4.19. Langkah simulasi ketiga

Setelah langkah simulasi ketiga maka didapatkan hasil risiko kritis ditunjukkan pada grafik regression coefficient, dapat dilihat pada gambar 4.20.



Gambar 4.20. Grafik regression Coefficients Risiko Kritis

Pada gambar grafik 4.20 yaitu *regression coefficients* merupakan representasi hasil risiko kritis yang mengakibatkan keterlambatan dalam proyek. Dari grafik gambar 4.20 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan antara hasil simulasi dengan perhitungan risiko secara umum pada tabel 4.9 sebelumnya, dimana urutan risiko

tertinggi kedua bukan penyebab kejadian dari kesalahan pemasangan namun karena kualitas udara kurang baik. Untuk penyebab kejadian kesalahan pemasangan menduduki urutan ke-5. Hal ini dapat terjadi karena nilai standar deviasi yang kecil pada kejadian kesalahan pemasangan, yang dapat menyebabkan nilai yang keluar saat simulasi tidak jauh beda dengan nilai rata – rata, sedangkan yang memiliki nilai deviasi yang besar dapat memiliki nilai resiko yang tinggi dikarenakan saat simulasi kemungkinan muncul nilai batas yang besar sehingga meningkatkan nilai risiko kejadian tersebut. Pada dasarnya dalam simulasi ini besar nilai standar deviasi sudah diperhitungkan dimana hal tersebut dapat mempengaruhi dari nilai risiko yang muncul. Untuk hasil lengkap simulasi monte carlo menggunakan software @Risk dapat dilihat pada Lampiran 7.

Maka dari hasil grafik tersebut dapat dibuat urutan risiko paling tinggi disebabkan oleh kesalahan dari user dengan nilai 0,55, kemudian yang kedua adalah kualitas udara yang kurang baik dengan nilai 0,45, nilai risiko terbesar ketiga adalah kondisi tanah batuan dengan nilai 0,40, yang keempat adalah pengunci UVT yang tidak rapat dengan nilai 0,31, yang kelima adalah kesalahan pemasangan dengan nilai 0,30, yang keenam adalah salah spesifikasi dengan nilai 0,24, yang ketujuh adalah produk gagal dengan nilai 0,22, yang kedelapan adalah mekanisme penggerak UVT yang tidak tepat dengan nilai 0,14 dan yang terakhir adalah suhu ambient panas dengan nilai 0,05, sedangkan untuk nilai risiko di bawah 0,05 dapat diabaikan atau diterima karena memiliki risiko yang kecil.

Dari penjelasan urutan risiko kritis maka dapat dianalisa menurut kejadian yang dapat mengakibatkan keterlambatan proyek dengan analisa sebagai berikut :

1. Kesalahan dari user meliputi beberapa kejadian seperti kesalahan dalam penyediaan beban yang kurang stabil dan kesediaan beban yang lebih besar dari kapasitas genset (*Overload*) kedua hal ini yang dapat mengakibatkan komponen elektrikal cepat rusak seperti MCCB, ECU dan AVR. Kemudian kualitas solar yang sering digunakan user sering dijumpai banyak terdapat kotoran seperti plastik, gram dan ada kandungan air di dalamnya. Hal ini yang dapat mengakibatkan pre filter solar cepat kotor dan juga dapat

mengakibatkan terjadi penurunan daya genset karena suplai solar ke engine tersumbat, sehingga pre filter harus diganti.

2. Kualitas udara kurang baik artinya tingkat kandungan asam pada udara disekitar engine sangat tinggi yang dapat menyebabkan korosif lebih cepat pada mesin maupun komponen elektrikal seperti Aki dan ECU sehingga dapat mengakibatkan kerusakan. Hal ini merupakan salah satu dari faktor keadaan lingkungan yang kurang menguntungkan dan banyak dijumpai didaerah pemasangan genset di pesisir pantai seperti Maluku, papua dan NTB. Kemudian kualitas udara yang kurang baik juga diakibatkan karena keadaan udara disekitar yang berdebu dan akhirnya membuat CAC dan radiator cepat kotor, jika tidak segera dibersihkan maka dapat membuat mesin cepat panas (*Overheat*) dan terjadi penurunan daya genset.
3. Kondisi tanah batuan memang sering dijumpai pada beberapa daerah di Kalimantan khususnya Kalimantan barat yang merupakan daerah dataran tinggi dengan kondisi tanah berjenis batuan dan jarang terdapat sumber air, sehingga untuk mendapatkan nilai grounding yang baik sangat sulit. Hal ini yang mengakibatkan banyak komponen elektrikal menjadi rusak seperti Modul DSE, dioda varistor, proteksi earth fault dan rotor exciter akibat induksi arus listrik pada body atau line netral engine dan generator.
4. Pengunci UVT tidak rapat artinya terdapat beberapa komponen UVT dengan pengunci box penutup yang tidak pas dan mudah bergeser, sehingga sering menyebabkan kegagalan saat beroperasi.
5. Kesalahan pemasangan dapat dilakukan oleh pekerja yang melakukan instalasi dan juga beberapa dari operator genset sendiri yang kurang berpengalaman, kurang teliti dan terburu saat bekerja. Sering dijumpai kesalahan saat *wiring* modul DSE, koneksi kabel aki, koneksi kabel sensor termokopel, salah dalam pengaturan modul DSE, pemasangan kanopi yang tidak rapat dan koneksi kabel yang kurang kencang. Kesalahan seperti ini juga dapat mengakibatkan kerusakan pada material dan memerlukan waktu serta proses perbaikan yang cukup lama.
6. Salah dalam pemilihan spesifikasi dapat terjadi pada beberapa material yang dapat mengakibatkan kerusakan, seperti UVT, MCCB, pilot lamp RST dan



termokopel hal ini dikarenakan kekuatan material yang tidak sesuai dengan batas operasi aktual. Banyak dijumpai batas kekuatan material yang lebih rendah daripada batas operasi aktual dan mengakibatkan *overheat* hingga kerusakan.

7. Produk gagal biasanya sering dijumpai pada komponen elektrikal seperti modul DSE, pilot lamp RST dan dop bayonet yang produknya terdapat cacat fisik maupun fungsi dari pabrik pembuat komponen. Namun hal ini dapat mengakibatkan risiko yang tinggi karena frekuensi yang sering terjadi dan kerugian waktu saat penggantian material yang membuat risiko ini berada pada urutan keenam.
8. Mekanisme penggerak UVT tidak tepat artinya terdapat beberapa panjang penggerak UVT yang lebih pendek dari standar. Sehingga mengakibatkan kegagalan saat beroperasi hingga *overheat* dan rusak.
9. Suhu ambient panas dapat mengakibatkan kerusakan pada material yang sensitif terhadap suhu panas seperti Aki dan ECU, sehingga dapat menimbulkan efek *overheat* yang berkelanjutan. Hal ini dapat disebabkan pengaturan sirkulasi udara yang kurang baik pada ruang genset, sehingga saat genset beroperasi udara panas terjebak dalam area ruang genset.

Oleh karena itu berdasarkan penjelasan risiko keterlambatan diatas maka dapat ditentukan kriteria untuk masing - masing risiko serta langkah mitigasi yang tepat. Dalam menentukan kriteria risiko dapat diklasifikasi berdasarkan tabel 3.6 Sehingga dibuat batasan kriteria nilai risiko seperti tabel 4.11 sebagai berikut :

Tabel 4.11. Kriteria dan Nilai Risiko

Kriteria risiko	Nilai Risiko
Extreme	0,16 – 0,64
High	0,06 – 0,16
Moderate	0,02 – 0,06
Low	0,0025 – 0,02

Dari penjelasan kriteria nilai risiko maka untuk langkah mitigasi setiap risiko dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Urutan pertama dari risiko kritis yaitu kesalahan dari user dengan nilai risiko 0,55 dapat dikategorikan sebagai kriteria risiko extreme, maka harus dicegah dengan langkah mitigasi yaitu :
  - a. Secara teknis cara yang dapat dilakukan adalah memberikan proteksi tambahan / *secondary protection* seperti Breaker / MCCB sebagai langkah awal penanggulangan beban yang masuk ke genset lebih besar dari kapasitas (*Overload*) atau karena beban per line yang tidakimbang, sebelum terjadi kerusakan pada komponen elektrikal utama MCCB, AVR dan ECU. Kemudian untuk solar yang kotor dapat diberikan filter tambahan / *secondary filter* sebelum memasuki pre filter engine, sehingga kotoran dalam solar dapat ditampung terlebih dahulu di secondary filter.
  - b. Secara non teknis dikarenakan user pada daerah pedalaman kurang berpengalaman dan mengerti dalam sistem proteksi mesin diesel maka diperlukan penyuluhan terlebih dahulu dengan memberikan training yang lebih intens dan diberikan prosedur operasional yang benar dan mudah dipahami. Selain itu dari sisi kontraktor dapat dilakukan survey terlebih dahulu sebelum pemasangan sehingga dapat memprediksi langkah yang tepat dalam menanggulangi permasalahan seperti ini, sehingga dalam kontrak pengadaan barang akan dapat ditambahkan material proteksi.
  - c. Kemudian jika ditinjau dari segi kontrak list material pengadaan barang instalasi bersifat universal (setiap lokasi instalasi sama), tidak dilakukan peninjauan lokasi secara mendetail sehingga saat pemasangan dilokasi terdapat banyak kejadian – kejadian yang tidak terduga dan tidak terdapat pada kontrak pengadaan barang. Dari kesalahan tersebut banyak kendala yang dialami saat proses pengujian dilokasi hingga menyebabkan keterlambatan. Untuk

contoh tabel kontrak pengadaan material instalasi dapat dilihat pada lampiran 8.

2. Urutan kedua dari risiko kualitas udara kurang baik dengan nilai risiko 0,45 dapat dikategorikan sebagai risiko extreme yang harus dicegah, maka perlu langkah mitigasi yaitu :
  - a. Secara teknis untuk menanggulangi korosif pada mesin dan komponen elektrikal dapat ditambahkan *pre heater* sebagai pemanas udara ruang engine dan generator, agar udara tidak mudah lembab. Kemudian dapat diberikan lapisan plastik atau karet untuk menutup bagian – bagian komponen yang terbuat dari logam.
  - b. Dari sisi maintenance juga perlu dilakukan pelumasan atau pengecatan pada benda – benda logam secara teratur.
  - c. Dari sisi prosedur seharusnya dapat dilakukan survey terlebih dahulu untuk daerah – daerah yang memiliki kemungkinan terkena gejala korosif ini, sehingga dapat dicegah dengan langkah poin a. Namun jika memang waktu yang terbatas seharusnya kontraktor dan owner dapat memprediksi dari kemungkinan lokasi dekat pesisir pantai yang dapat menimbulkan gejala korosif pada mesin dan komponen elektrikal, sehingga perlu menambahkan alat proteksi pencegah korosif seperti poin a, pada kontrak pengadaan barang khusus di lokasi dekat pesisir pantai.
3. Urutan ketiga risiko yaitu kondisi tanah batuan dengan nilai risiko 0,40 dapat dikategorikan sebagai risiko dengan kriteria extreme yang harus dicegah maka dapat dilakukan langkah mitigasi yaitu :
  - a. Kondisi tanah batuan memang sulit diprediksi, namun beberapa langkah teknis dapat membuat nilai grounding lebih kecil yaitu dengan memperbanyak jumlah titik grounding. Jika titik grounding yang dipasang semakin banyak maka akan membuat nilai hambatan semakin kecil jika dilakukan dengan prosedur dan teknik yang benar.
  - b. Kembali pada kontrak pengadaan barang jumlah grounding yang diminta oleh owner hanya satu *grounding copper rod*, sehingga

sebagai evaluasi instalasi pada pulau kalimantan khususnya daerah kalimantan barat untuk pengadaan jumlah *grounding copper rod* dapat diperbanyak 3 - 5 buah, sebagai antisipasi jika keadaan dilokasi yang batuan dan sulit untuk mendapatkan nilai grounding yang bagus.

- c. Untuk proyek selanjutnya sebagai langkah evaluasi maka harus dilakukan survey dan pengecekan tanah pada beberapa daerah menggunakan grounding tes, sehingga dapat diprediksi desain dari sistem grounding yang tepat.
4. Urutan keempat yaitu pengunci UVT yang tidak rapat dengan nilai risiko 0,31 yang dapat dikategorikan sebagai kriteria extreme dan harus di cegah dengan langkah mitigasi sebagai berikut :
    - a. Untuk menanggulangi risiko ini sebenarnya dapat dilakukan dengan penggantian jenis UVT dengan UVT yang sudah satu kesatuan dengan MCCB. Sehingga tidak perlu dilakukan proses pemasangan UVT dalam Box MCCB, dikarenakan banyak terdapat ketidakcocokan pengunci box UVT jika jenis UVT dan MCCB berbeda.
    - b. Untuk evaluasi proyek selanjutnya harus dilakukan pengecekan kecocokan material terlebih dahulu sebelum diberangkatkan.
  5. Urutan kelima yaitu kesalahan dalam pemasangan / instalasi dengan nilai risiko 0,30 dapat dikategorikan sebagai kriteria risiko extreme yang harus dicegah dengan langkah mitigasi sebagai berikut :
    - a. Secara umum kesalahan pemasangan memang sering terjadi di berbagai jenis proyek. Hal ini dapat dicegah dengan supervisi yang kuat dan diberikan pengarahan yang benar bagi para pekerja atau operator dilokasi proyek sebelum melakukan jenis pekerjaan mereka.
    - b. Kemudian untuk pemilihan pekerja instalasi, seharusnya dilakukan seleksi dengan benar dimana mereka setidaknya memiliki sertifikat dan mampu menyelesaikan jenis pekerjaan yang diperintahkan dengan baik.

6. Urutan keenam risiko yaitu salah dalam pemilihan spesifikasi dengan nilai risiko 0,24 dan dikategorikan sebagai risiko extreme yang harus dicegah dengan langkah sebagai berikut :
  - a. Pencegahan pertama yaitu dengan melakukan kajian engineering awal pada sistem instalasi sehingga material yang akan digunakan dapat sesuai dengan batas kerja aktual.
  - b. Memilih kualitas material terbaik sehingga jika ditemukan kejadian yang tak terduga dilokasi seperti material terkena panas yang berlebih, material masih dapat bertahan karena jenis material yang lebih kuat dan kualitas diatas rata – rata.
7. Urutan ketujuh dari risiko kritis adalah produk gagal dengan nilai risiko 0,22 dan dikategorikan sebagai risiko extreme yang harus dicegah dengan langkah yaitu :
  - a. Langkah yang tepat untuk menanggulangi risiko ini adalah dengan melakukan pengetesan awal sebelum material diberangkatkan. Setidaknya dilakukan pengetesan secara visual dan selanjutnya fungsi. Meskipun material merupakan barang import atau langsung dari pabrik produksi, tidak menutup kemungkinan terdapat gagal produk yang dapat mengakibatkan keterlambatan jika ditemukan di lokasi instalasi, karena waktu penggantian material dan pengujian yang cukup lama.
  - b. Memilih distributor yang berkompeten dan berani memberikan garansi produk, sehingga memiliki tingkat optimistik yang lebih besar serta tidak dibaratkan kepada biaya penggantian material jika ditemukan salah satu produk gagal.
8. Urutan kedelapan yaitu mekanisme penggerak UVT yang tidak tepat dengan nilai risiko 0,14 sehingga masuk dalam kriteria risiko high dengan tindakan mitigasi setidaknya dapat diminimalisir maka diperlukan langkah yaitu :
  - a. Melakukan penggantian jenis mekanisme UVT dengan mekanisme penggerak yang lebih standar.
  - b. Untuk evaluasi proyek selanjutnya harus dilakukan uji tes fungsi mekanisme UVT terlebih dahulu sebelum material diberangkatkan.

9. Urutan selanjutnya yaitu suhu ambient panas dengan nilai risiko sebesar 0,05 dan masuk dalam kriteria risiko moderate, dimana risiko ini dapat ditransfer kepada pihak lain, maka diperlukan langkah yaitu:
  - a. Sebagai evaluasi proyek selanjutnya risiko ini dapat diberikan kepada pihak operator PLTD dilokasi, dikarenakan desain ruang genset yang tidak memenuhi standar sehingga menyebabkan suhu udara ambient yang panas. Sebagai langkah penanggulangan awal dapat dilakukan dengan memperbesar luas *air intake louver* sehingga sirkulasi udara pada ruang genset dapat berjalan dengan baik. Kemudian dapat diberikan *exhaust fan* untuk membantu mempercepat pembuangan udara panas dalam ruang genset.
  - b. Dalam kontrak seharusnya diperlihatkan desain ruang genset pada setiap lokasi sehingga kontraktor dapat memperhitungkan kebutuhan udara dalam ruang genset agar tidak panas dan sesuai standar operasi genset. Dengan demikian dalam kontrak pengadaan barang dapat ditambahkan kebutuhan instalasi *air intake louver* dan *exhaust fan* untuk lokasi yang membutuhkan.
10. Urutan terakhir merupakan kejadian dengan tingkat risiko sangat rendah dengannilai 0,02. Kejadian-kejadian tersebut diantaranya adalah tidak pernah ganti oli, terkena permukaan panas engine, benturan saat pengiriman dan tidak dilakukan pengaturan V-Belt secara berkala. Keempat kejadian ini merupakan kejadian dengan risiko rendah, maka langkah yang diambilkan adalah menerima risiko ini.

Dari uraian penjelasan jenis mitigasi berdasarkan kriteria risiko maka dalam manajemen risiko dari hasil penelitian ini dapat dibuatkan sebuah matrix seperti tabel 4.12

Tabel 4.12. Matrix kriteria risiko proyek instalasi genset

Probabilitas	Konsekuensi				
	Very Low	Low	Moderate	High	Very High
Almost Certain				Q12&Q5	Q7
Likely				Q4&Q6	Q2&Q10
Possible	Q8&Q3			Q11	
Unlikely	Q13&Q14		Q1		
Rare					

Dari tabel 4.12 dari setiap risiko dapat dikategorikan dalam empat warna, dengan ketuntuan warna hijau adalah risiko rendah yaitu meliputi risiko dengan kode Q3,Q8,Q13&Q14, kuning adalah risiko menengah meliputi risiko dengan kode Q1, orange adalah risiko tinggi yaitu risiko dengan kode Q11 dan merah adalah risiko ekstrim yaitu risiko dengan kode Q2,Q4,Q5,Q6,Q7,Q10&Q12.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

Pada bab ini disajikan mengenai kesimpulan dari penelitian tesis yang dilakukan dan saran untuk penelitian berikutnya.

#### **5.1. Kesimpulan**

Terdapat dua kesimpulan yang dapat ditarik pada penelitian ini. Diantaranya adalah:

1. Setelah melalui proses Fault Tree Analysis (FTA), dari 14 kejadian, terdapat 13 kejadian dasar yang menjadi penyebab risiko pada proyek instalasi genset di daerah Kalimantan, NTB, Papua, Sulawesi dan Maluku, diantaranya adalah: suhu ambient panas (Q1) dengan probabilitas kejadian 0,0130, kualitas udara kurang baik (Q2) dengan probabilitas kejadian 0,1104, benturan saat pengiriman (Q3) dengan probabilitas kejadian 0,0455, produk gagal (Q4) dengan probabilitas kejadian 0,0714, kesalahan instalasi (Q5) dengan probabilitas kejadian 0,1494, salah spesifikasi (Q6) dengan probabilitas kejadian 0,0909, kesalahan dari user (Q7) dengan probabilitas kejadian 0,2013, tidak pernah ganti oli (Q8) dengan probabilitas kejadian 0,0195, kondisi tanah batuan (Q10) dengan probabilitas kejadian 0,1169, mekanisme penggerak UVT tidak tepat (Q11) dengan probabilitas kejadian 0,0519, pengunci UVT yang tidak rapat (Q12) dengan probabilitas kejadian 0,1104, tidak dilakukan pengaturan v-belt secara berkala (Q13) dengan probabilitas kejadian 0,0065, dan terkena permukaan panas engine (Q14) dengan probabilitas kejadian 0,0130.
2. Dari ketiga belas kejadian dasar yang didapat dari proses FTA, dilakukan simulasi Monte Carlo untuk mengetahui langkah mitigasi yang harus dilakukan perusahaan PT. ABC. Mitigasi risiko dilakukan berdasarkan tingkat risiko dari tiap-tiap kejadian.



- a. Terdapat tujuh kejadian yang memiliki nilai risiko extreme dan membutuhkan tindakan mitigasi mulai dari memperhatikan hal teknis sampai non teknis. Tujuh kejadian tersebut berdasarkan dari yang nilai risikonya paling tinggi adalah; kesalahan user (Q7) dengan nilai risiko 0,55, kualitas udara kurang baik (Q2) dengan nilai risiko 0,45, kondisi tanah batuan (Q10) dengan nilai risiko 0,40, pengunci UVT yang tidak rapat (Q12) dengan nilai risiko 0,31, kesalahan instalasi (Q5) dengan nilai risiko 0,30, produk gagal (Q4) dengan nilai risiko 0,24, dan salah pemilihan spesifikasi (Q6) dengan nilai risiko 0,22.
- b. Terdapat satu kejadian dengan tingkat risiko high (tinggi) dengan nilai risiko 0,14, yaitu mekanisme penggerak UVT tidak tepat (Q11). Langkah mitigasi yang dilakukan adalah dengan melakukan penggantian jenis UVT dan melakukan uji tes fungsi.
- c. Terdapat satu kejadian dengan tingkat risiko moderate, yaitu suhu ambient panas (Q1) dengan nilai risiko 0,05. Pada kasus ini, langkah mitigasi yang diambil adalah melakukan tindakan *transfer* atau membebankannya kepada pihak lain.
- d. Terdapat empat kejadian yang memiliki nilai risiko rendah, sehingga kejadian ini dapat diabaikan atau diterima. Empat kejadian ini diantaranya adalah; tidak pernah ganti oli (Q8) dengan nilai risiko 0,02, terkena permukaan panas engine (Q14) dengan nilai risiko 0,02, benturan saat pengiriman (Q3) dengan nilai risiko 0,02, dan tidak dilakukan pengaturan V-Belt secara berkala (Q13) dengan nilai risiko 0,02.

## 5.2. Implikasi

Maka dari hasil penelitian dan mitigasi yang didapatkan maka dalam implikasi manajerial perlu memperhatikan hal – hal sebagai berikut :

1. Untuk manajemen di perusahaan PT. ABC harus memperhatikan dan mengevaluasi Standard Operasional Prosedure sebelum melakukan eksekusi dalam proyek instalasi genset, khususnya pada proyek instalasi genset di pulau Kalimantan, NTB , Papua, Sulawesi Dan Maluku. Karena dalam kasus

ini permasalahan yang sering muncul adalah dari faktor eksternal dimana perlu ekstra teliti dalam melakukan survey dan pengawasan proyek. Sedangkan dilihat dari sisi faktor internal maka perlu usaha yang lebih detail dalam perencanaan, pengujian material, keamanan material dan kehandalan material.

2. Bagi perusahaan PT. ABC perlu meningkatkan manajemen risiko dengan membuat standard operasi untuk jenis – jenis proyek yang akan dihadapi. Sehingga akan ada klasifikasi SOP untuk jenis proyek instalasi di pulau – pulau, instalasi di *high rise building*, instalasi di industri, instalasi di oil dan gas, hingga instalasi skala kecil seperti di perumahan.
3. Untuk pihak pemberi pekerjaan atau PLN secara manajemen operasi perlu dievaluasi dari kesiapan dilokasi agar lebih siap di sisi SDM, operasional dan dapat memberikan informasi yang detail keadaan di setiap lokasi. Kemudian secara kontraktual perlu memberikan daftar pengadaan barang dengan sistem keamanan / proteksi yang lebih, sebagai antisipasi saat di lapangan terdapat keadaan yang tidak terduga, sehingga dapat mengakibatkan kerugian dikedua belah pihak.

### **5.3. Saran**

Terdapat saran-saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya dan yang dapat diterapkan oleh perusahaan ABC. Diantaranya adalah:

1. Dilakukan perhitungan safe cost untuk pemilihan langkah mitigasi yang akan dipilih untuk meminimalisir biaya dari risiko-risiko yang didapat pada penelitian ini.
2. Perusahaan ABC sebaiknya melakukan survey yang lebih mendalam terkait informasi non teknis sebelum pelaksanaan proyek instalasi genset berikutnya, dikarenakan, tiga risiko teratas pada proyek sebelumnya berasal dari kesalahan user, kualitas udara yang kurang baik dan kondisi tanah yang bebatuan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariyani, Dewi & Vanany, Iwan. 2014. “*risk assessment* dengan simulasi monte carlo dan mitigasinya pada industri *compressed natural gas*”. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya,
- Assaf, S. A. & Heiji, S. A. 2006. Causes Of Delay In Large Construction Projects. *International Journal Of Project Management*, 24, 349-357.
- Cahyo, W.N., 2008. Pendekatan Simulasi Monte Carlo untuk Pemilihan Alternatif dengan *Decision Tree* pada Nilai *Outcome* yang Probabilistik. *Teknoin* 13, 2:11-17
- Doloi, H., Sawhney, A., Rentala, S. & Lyer, K. C. 2012. Analysing Factors Affecting Delays In Indian Construction Projects. *International Journal Of Project Management*, 30, 479-489.
- Ejlali, A., & Miremadi, S. G. 2004. FPGA-based Monte Carlo simulation for fault tree analysis. *Microelectronics Reliability*, 44, 1017–1028.
- Foster, S. T. 2004. *Managing Quality: an Integrative Approach*. Pearson Education International.
- Heldman, K. 2005, *Project Manager’s Spotlight on Risk Management*, Harbor Light Press, Alameda.
- Hoyland.A, Rausand.M. 1994. *System Reliability Theory*. John Wiley & Sons. Inc. New York
- IEC 61025 (2006), *Fault tree analysis (FTA), 2th Edition, International Standard*
- Kwak, Y. H., & Stoddard, J. ,2004, *Project Risk Management: Lessons Learned from Software Development Environment*. *Technovation: An International Journal of Technical Innovation, Entrepreneurship and Technology Management*, 24(11), 915-920.

- Marzouk, M. M. & Rasas, T. E. 2013. Analysing Delay Causes In Egyptian Construction Projects. *Journal Of Advanced Research*.
- Metropolis, N., Ulam, S. 2007. The Monte Carlo Method, *Journal of the American Statistical Association*, Vol.44, No.247, 1949, pp.335-341.
- Odeh, M. A. & Battaineh, H. T. 2002. Causes Of Construction Delay: Traditional Contract. *International Journal Of Project Management*, 20, 67-73.
- PMI Committee, 2008, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*, 4th Edition, American National Standard, Pennsylvania USA.
- Priyanta, Dwi. 2000. Keandalan Dan Perawatan. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya
- Project Management Institute. 2004, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide (3rd ed.)*. Newton Square, Pennsylvania: Project Management Institute.
- Reza R, Andi & Vanany, Iwan. 2013., Analisis risiko *downtime* dan *opportunity loss* operasional industri eksplorasi gas dengan metode simulasi monte carlo (studi kasus: pt pertamina hulu energi-west madura offshore), Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- Ruqaishi, M. & Bashir, A. H. 2013. Causes Of Delay In Construction Projects In The Oil And Gas Industry In The Gulf. *Journal Of Construction Engineering Management – Asce*.
- Sediawan, Wahyu Budi. 2013. “Application of Monte Carlo Simulation in Chemical Engineering”. *Teknik Kimia*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada
- Sweis, G., Sweis, R., Hammad, A. A. & Shboul, A. 2008. Delays In Construction Projects: The Case Of Jordan. *International Journal Of Project Management*, 26.

Taheriyoun, M & Moradinejad, S. 2015, *Reliability analysis of a wastewater treatment plant using fault tree analysis and Monte Carlo simulation, Switzerland : Springer International Publishing*

Widjanarka, Wijaya. 2006. Teknik Digital. Jakarta: Erlangga.

Yeh, Tsu-Ming & Sun ,Jia-Jeng. 2013. “Using the Monte Carlo Simulation Methods in Gauge Repeatability and Reproducibility of Measurement System Analysis”. Department of Industrial Engineering and Management. Taiwan : Dayeh University.

**LAMPIRAN 1**  
Tabel pengumpulan data berita acara

NO	LOKASI	PROVINSI	KAPASITAS	SN	PERMASALAHAN	TINDAKAN	REPORT DATE	STATUS
1	PLTD LUNYUK	NTB	200	5185	THERMOKOPEL RUSAK	GANTI THERMOKOPEL	21/9/2017	CLEAR
2	PLTD LUNYUK	NTB	200	4010	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	02/10/2018	CLEAR
3	PLTD LUNYUK	NTB	200	5185	UVT RUSAK	GANTI UVT	12/01/2018	CLEAR
4	PLTD LUNYUK	NTB	200	5185	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	12/01/2018	CLEAR
5	PLTD LUNYUK	NTB	200	5185	AKI RUSAK	GANTI AKI 2PCS 150 AH	08/09/2018	CLEAR
6	PLTD LUNYUK	NTB	200	2084	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	17/3/2018	CLEAR
7	PLTD LUNYUK	NTB	200	2084	CT RUSAK	GANTI CT	17/3/2018	CLEAR
8	PLTD LUNYUK	NTB	200	5188	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	12/01/2018	CLEAR
9	PLTD LUNYUK	NTB	200	2084	WATER PUMP BOCOR	GANTI WATER PUMP	08/09/2018	CLEAR
10	PLTD LUNYUK	NTB	200	2084	AKI RUSAK	GANTI AKI 2PCS 150 AH	08/09/2018	CLEAR
11	PLTD LUNYUK	NTB	200	4010	THERMOKOPEL RUSAK	GANTI THERMOKOPEL	02/10/2018	CLEAR
12	PLTD LUNYUK	NTB	200	5188	THERMOKOPEL RUSAK	GANTI THERMOKOPEL	12/01/2018	CLEAR
13	PLTD LEBIN	NTB	100	3986	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	07/12/2018	CLEAR
14	PLTD BULI	MALUKU UTARA	200	1487	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	17/12/2017	CLEAR
15	PLTD NUSA LAUT	MALUKU	100	4009	UVT RUSAK	GANTI UVT	03/10/2018	CLEAR
16	PLTD NUSA LAUT	MALUKU	100	4009	DOP BAYONET RUSAK	GANTI DOP BAYONET	03/10/2018	CLEAR
17	PLTD NUSA LAUT	MALUKU	100	4005	THERMOKOPEL RUSAK	GANTI THERMOKOPEL	03/10/2018	CLEAR
18	PLTD WERINAMA	MALUKU	100	3990	THERMOKOPEL RUSAK	GANTI THERMOKOPEL	07/06/2018	CLEAR
19	PLTD TANIWEL	MALUKU	200	1661	THERMOKOPEL RUSAK	GANTI THERMOKOPEL	05/08/2018	CLEAR
20	PLTD TANIWEL	MALUKU	200	1661	Kabel Sensor Termokopel Rusak	GANTI KABEL SENSOR TERMOKOPEL	05/08/2018	CLEAR
21	PLTD WAEPANDAN	MALUKU	200	6822	FLEXIBLE PIPE RUSAK	GANTI FLEXIBLE PIPE	04/07/2018	CLEAR
22	PLTD WAEPANDAN	MALUKU	200	6822	UVT RUSAK	GANTI UVT	04/06/2018	CLEAR
23	PLTD WAEPANDAN	MALUKU	200	6822	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	21/11/2018	CLEAR
24	PLTD WAEPANDAN	MALUKU	200	6174	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	21/11/2018	CLEAR
25	PLTD WAEPANDAN	MALUKU	220	6174	UVT RUSAK	GANTI UVT	21/11/2018	CLEAR
26	PLTD LISDES OWI	PAPUA	100	3987	UVT RUSAK	GANTI UVT	23/2/2018	CLEAR
27	PLTD LISDES WUNDI	PAPUA	100	3998	UVT RUSAK	GANTI UVT	23/2/2018	CLEAR
28	PLTD LISDES WUNDI	PAPUA	100	4006	UVT RUSAK	GANTI UVT	23/2/2018	CLEAR
29	PLTD TEHORU	MALUKU	200	2534	THERMOKOPEL RUSAK	GANTI THERMOKOPEL	06/11/2018	CLEAR
30	PLTD LAIMU	MALUKU	200	1665	THERMOKOPEL RUSAK	GANTI THERMOKOPEL	22/6/2018	CLEAR
31	PLTD SUNGAI BALI	KALIMANTAN SELATAN	200	1675	AVR RUSAK	GANTI AVR	23/7/2018	CLEAR
32	PLTD SUNGAI BALI	KALIMANTAN SELATAN	200	1675	UVT RUSAK	GANTI UVT	23/7/2018	CLEAR
33	PLTD SUNGAI BALI	KALIMANTAN SELATAN	200	1675	THERMOKOPEL RUSAK	GANTI THERMOKOPEL	23/7/2018	CLEAR
34	PLTD SUNGAI BALI	KALIMANTAN SELATAN	200	1659	THERMOKOPEL RUSAK	GANTI THERMOKOPEL	22/8/2018	CLEAR
35	PLTD SUNGAI BALI	KALIMANTAN SELATAN	200	1659	UVT RUSAK	GANTI UVT	08/10/2018	CLEAR
36	PLTD SUNGAI BALI	KALIMANTAN SELATAN	200	1659	AVR RUSAK	GANTI AVR	08/10/2018	CLEAR
37	PLTD SUNGAI BALI	KALIMANTAN SELATAN	200	1659	PRE FILTER SOLAR KOTOR	GANTI FILTER SOLAR	08/10/2018	CLEAR
38	PLTD SUNGAI BALI	KALIMANTAN SELATAN	200	1659	Kabel Sensor Termokopel Rusak	GANTI KABEL SENSOR TERMOKOPEL	07/09/2018	CLEAR
39	PLTD SUNGAI BALI	KALIMANTAN SELATAN	200	5187	UVT RUSAK	GANTI UVT	20/9/2018	CLEAR
40	PLTD SUNGAI BALI	KALIMANTAN SELATAN	200	2075	UVT RUSAK	GANTI UVT	19/9/2018	CLEAR
41	PLTD SUNGAI BALI	KALIMANTAN SELATAN	200	2075	RADIATOR DAN CAC KOTOR	PEMBERSIHAN RADIATOR DAN CAC	19/9/2018	CLEAR
42	PLTD SUNGAI BALI	KALIMANTAN SELATAN	200	2521	CT RUSAK	GANTI CT	13/6/2018	CLEAR
43	PLTD SUNGAI BALI	KALIMANTAN SELATAN	200	2521	RADIATOR DAN CAC KOTOR	PEMBERSIHAN RADIATOR DAN CAC	17/9/2018	CLEAR
44	PLTD SUNGAI BALI	KALIMANTAN SELATAN	200	5187	RADIATOR DAN CAC KOTOR	PEMBERSIHAN RADIATOR DAN CAC	20/9/2018	CLEAR
45	PLTD SUNGAI BALI	KALIMANTAN SELATAN	200	2075	PRE FILTER SOLAR KOTOR	GANTI FILTER SOLAR	19/9/2018	CLEAR
46	PLTD LABUHAN AJI	NTB	100	4007	THERMOKOPEL RUSAK	GANTI THERMOKOPEL	20/2/2018	CLEAR
47	PLTD MANGOLI	MALUKU UTARA	200	12	DIODA VARISTOR RUSAK	GANTI DIODA	10/05/2018	CLEAR
48	PLTD TUMBANG SENAMANG	KALIMANTAN TENGAH	100	3984	AVR RUSAK	GANTI AVR	07/10/2018	CLEAR
49	PLTD MADAPOLO	MALUKU UTARA	200	170	MCCB RUSAK	GANTI MCCB	11/10/2018	CLEAR
50	PLTD MUARA PLANTAU	KALIMANTAN TENGAH	100	1721	DIODA VARISTOR RUSAK	GANTI DIODA	11/10/2017	CLEAR
51	PLTD MUARA PLANTAU	KALIMANTAN TENGAH	100	1721	AVR RUSAK	GANTI AVR	11/10/2017	CLEAR
52	PLTD MUARA PLANTAU	KALIMANTAN TENGAH	100	1721	Pilot Lamp RST Rusak	GANTI LAMPU LED	11/10/2017	CLEAR
53	PLTD MAFA	MALUKU UTARA	200	6831	Pilot Lamp RST Rusak	GANTI LAMPU LED	11/07/2017	CLEAR
54	PLTD RANTAU PULUT	KALIMANTAN TENGAH	100	3963	Crank Shaft Seal Bocor	GANTI SHAF SEAL	24/9/2018	CLEAR
55	PLTD RANTAU PULUT	KALIMANTAN TENGAH	100	3963	AVR RUSAK	GANTI AVR	23/9/2018	CLEAR
56	PLTD RANTAU PULUT	KALIMANTAN TENGAH	100	3963	DIODA VARISTOR RUSAK	GANTI DIODA	06/04/2018	CLEAR
57	PLTD RANTAU PULUT	KALIMANTAN TENGAH	100	5963	ECU RUSAK	GANTI ECU	31/8/2018	CLEAR
58	PLTD RANTAU PULUT	KALIMANTAN TENGAH	100	5963	PRE FILTER SOLAR KOTOR	GANTI FILTER SOLAR	31/8/2018	CLEAR
59	PLTD JIKO	MALUKU	100	3983	UVT RUSAK	GANTI UVT	05/11/2017	CLEAR
60	PLTD JIKO	MALUKU	100	3997	UVT RUSAK	GANTI UVT	05/11/2017	CLEAR
61	PLTD GUNUNG SARI	KALIMANTAN UTARA	200	1492	MCCB RUSAK	GANTI MCCB	05/11/2017	CLEAR
62	PLTD GUNUNG SARI	KALIMANTAN UTARA	200	1492	UVT RUSAK	GANTI UVT	05/11/2017	CLEAR
63	PLTD DERAWAN	KALIMANTAN UTARA	200	5189	MCCB RUSAK	GANTI MCCB	05/11/2017	CLEAR
64	PLTD DERAWAN	KALIMANTAN UTARA	200	5189	UVT RUSAK	GANTI UVT	05/11/2017	CLEAR
65	PLTD DERAWAN	KALIMANTAN UTARA	200	5189	CT RUSAK	GANTI CT	25/10/2018	CLEAR
66	PLTD BATU PUTIH	KALIMANTAN UTARA	200	171	MCCB RUSAK	GANTI MCCB	14/11/2017	CLEAR
67	PLTD BATU PUTIH	KALIMANTAN UTARA	200	171	UVT RUSAK	GANTI UVT	14/11/2017	CLEAR
68	PLTD ULUNAMBO	SULAWESI TENGAH	100	3989	UVT RUSAK	GANTI UVT	06/11/2017	CLEAR
69	PLTD LAIWUI	MALUKU UTARA	200	169	UVT RUSAK	GANTI UVT	19/11/2017	CLEAR
70	PLTD TUMBANG TELAKEN	KALIMANTAN TENGAH	100	7959	UVT RUSAK	GANTI UVT	10/11/2017	CLEAR
71	PLTD AYAMARU	PAPUA BARAT	200	6839	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	14/12/2017	CLEAR
72	PLTD AYAMARU	PAPUA BARAT	200	6833	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	14/12/2017	CLEAR
73	PLTD RAWABIRU	PAPUA	100	4012	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	04/12/2017	CLEAR
74	PLTD RAWABIRU	PAPUA	100	3991	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	04/12/2017	CLEAR
75	PLTD RAWABIRU	PAPUA	100	3991	MCCB RUSAK	GANTI MCCB	16/2/2018	CLEAR
76	PLTD RAWABIRU	PAPUA	100	4012	UVT RUSAK	GANTI UVT	04/12/2017	CLEAR
77	PLTD RAWABIRU	PAPUA	100	4012	PILOT LAMP RST RUSAK	GANTI PILOT LAMP	04/12/2017	CLEAR
78	PLTD RAWABIRU	PAPUA	100	3991	PILOT LAMP RST RUSAK	GANTI PILOT LAMP	16/2/2018	CLEAR
79	PLTD RAWABIRU	PAPUA	100	3991	UVT RUSAK	GANTI UVT	08/06/2018	CLEAR
80	PLTD SEBANGAU	KALIMANTAN TENGAH	100	7954	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	27/12/2017	CLEAR
81	PLTD GEMAR BARU	KALIMANTAN TIMUR	200	3953	MCCB RUSAK	GANTI MCCB	07/01/2018	CLEAR
82	PLTD GEMAR BARU	KALIMANTAN TIMUR	200	3953	WATER SEPARATOR RUSAK	GANTI WATER SEPARATOR FILTER	07/01/2018	CLEAR
83	PLTD GEMAR BARU	KALIMANTAN TIMUR	200	3952	UVT RUSAK	GANTI UVT	05/04/2018	CLEAR
84	PLTD KARANGAN DALAM	KALIMANTAN TIMUR	200	6827	MCCB RUSAK	GANTI MCCB	01/09/2018	CLEAR
85	PLTD KARANGAN DALAM	KALIMANTAN TIMUR	200	6827	PRE FILTER SOLAR KOTOR	GANTI FILTER SOLAR	01/09/2018	CLEAR
86	PLTD KARANGAN DALAM	KALIMANTAN TIMUR	200	6827	WATER PUMP BOCOR	GANTI WATER PUMP	01/09/2018	CLEAR
87	PLTD KARANGAN DALAM	KALIMANTAN TIMUR	200	6834	AVR RUSAK	GANTI AVR	11/04/2018	CLEAR
88	PLTD BAUN BANGO	KALIMANTAN TENGAH	100	7961	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	18/1/2018	CLEAR
89	PLTD BAUN BANGO	KALIMANTAN TENGAH	100	7961	AVR RUSAK	GANTI AVR	22/1/2018	CLEAR
90	PLTD TUMBANG MANJUL	KALIMANTAN TENGAH	200	8003	MCCB RUSAK	GANTI MCCB	10/02/2018	CLEAR
91	PLTD TUMBANG MANJUL	KALIMANTAN TENGAH	200	8003	AKI RUSAK	GANTI AKI 2PCS 150 AH	07/11/2018	CLEAR
92	PLTD KENAMBUI	KALIMANTAN TENGAH	100	3962	AVR RUSAK	GANTI AVR	12/04/2018	CLEAR
93	PLTD LEKSULA	MALUKU	200	6176	DOP BAYONET RUSAK	GANTI DOP BAYONET	04/03/2018	CLEAR
94	PLTD LEKSULA	MALUKU	200	6176	PILOT LAMP RST RUSAK	GANTI PILOT LAMP	04/03/2018	CLEAR
95	PLTD LEKSULA	MALUKU	200	6176	Earth Fault Protection Neutral rusak	GANTI MODUL DSE	04/03/2018	CLEAR
96	PLTD LEKSULA	MALUKU	200	6175	DOP BAYONET RUSAK	GANTI DOP BAYONET	04/03/2018	CLEAR
97	PLTD LEKSULA	MALUKU	200	6175	UVT RUSAK	GANTI UVT	01/06/2018	CLEAR
98	PLTD WAMSISI	MALUKU	200	1672	PILOT LAMP RST RUSAK	GANTI PILOT LAMP	15/3/2018	CLEAR
99	PLTD WAMSISI	MALUKU	200	1672	DOP BAYONET RUSAK	GANTI DOP BAYONET	15/3/2018	CLEAR
100	PLTD WAMSISI	MALUKU	200	2529	PILOT LAMP RST RUSAK	GANTI PILOT LAMP	15/3/2018	CLEAR
101	PLTD WAMSISI	MALUKU	200	2529	Earth Fault Protection Neutral rusak	GANTI MODUL DSE	15/3/2018	CLEAR
102	PLTD WAMSISI	MALUKU	200	2529	RADIATOR DAN CAC KOTOR	PEMBERSIHAN RADIATOR DAN CAC	29/11/2018	CLEAR
103	PLTD MENTOBI RAYA	KALIMANTAN TENGAH	200	2076	AVR RUSAK	GANTI AVR	24/3/2018	CLEAR
104	PLTD MENTOBI RAYA	KALIMANTAN TENGAH	200	2076	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	24/3/2018	CLEAR
105	PLTD MENTOBI RAYA	KALIMANTAN TENGAH	200	2076	AKI RUSAK	GANTI AKI 2PCS 150 AH	13/9/2018	CLEAR
106	PLTD MENTOBI RAYA	KALIMANTAN TENGAH	200	2078	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	24/3/2018	CLEAR
107	PLTD TAPIN BINI	KALIMANTAN TENGAH	100	3961	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	04/04/2018	CLEAR
108	PLTD TAPIN BINI	KALIMANTAN TENGAH	100	3961	ECU RUSAK	GANTI ECU	04/04/2018	CLEAR
109	PLTD TAPIN BINI	KALIMANTAN TENGAH	100	3961	ECU RUSAK	GANTI ECU	09/04/2018	CLEAR

110	PLTD PANGKUT	KALIMANTAN TENGAH	200	2532	PRE FILTER SOLAR KOTOR	GANTI FILTER SOLAR	06/04/2018	CLEAR
111	PLTD PANGKUT	KALIMANTAN TENGAH	200	2532	UVT RUSAK	GANTI UVT	06/04/2018	CLEAR
112	PLTD PANGKUT	KALIMANTAN TENGAH	200	2532	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	06/04/2018	CLEAR
113	PLTD PANGKUT	KALIMANTAN TENGAH	200	2532	AKI RUSAK	GANTI AKI 2PCS 150 AH	6/11/2018	CLEAR
114	PLTD PANGKUT	KALIMANTAN TENGAH	200	1679	ECU RUSAK	GANTI ECU	31/5/2018	CLEAR
115	PLTD PANGKUT	KALIMANTAN TENGAH	200	1679	PRE FILTER SOLAR KOTOR	GANTI FILTER SOLAR,	31/5/2018	CLEAR
116	PLTD PANGKUT	KALIMANTAN TENGAH	200	1679	HANDPUMP RUSAK	GANTI HAND PUMP	06/11/2018	CLEAR
117	PLTD PANGKUT	KALIMANTAN TENGAH	200	1679	AKI RUSAK	GANTI AKI 2PCS 150 AH	06/11/2018	CLEAR
118	PLTD SAKETA	MALUKU UTARA	200	5184	ROTOR EXSITER RUSAK	GANTI ROTOR EXSITER	10/6/018	CLEAR
119	PLTD SAKETA	MALUKU UTARA	200	5184	DIODA VARISTOR RUSAK	GANTI DIODA	10/6/018	CLEAR
120	PLTD SAKETA	MALUKU UTARA	200	5184	MCCB RUSAK	GANTI MCCB	10/6/018	CLEAR
121	PLTD SAKETA	MALUKU UTARA	200	173	MCCB RUSAK	GANTI MCCB	10/06/2018	CLEAR
122	PLTD TELUK BETUNG	KALIMANTAN TENGAH	100	3967	KANOPI GENSET BOCOR	REPAIR KANOPI DAN TUTUP DENGAN SILICON SEALANT	26/4/2018	CLEAR
123	PLTD DAMPARAN	KALIMANTAN TENGAH	100	3966	KANOPI GENSET BOCOR	REPAIR KANOPI DAN TUTUP DENGAN SILICON SEALANT	27/4/2018	CLEAR
124	PLTD RANGGA ILUNG	KALIMANTAN TENGAH	200	1482	KANOPI GENSET BOCOR	REPAIR KANOPI DAN TUTUP DENGAN SILICON SEALANT	28/4/2018	CLEAR
125	PLTD RANGGA ILUNG	KALIMANTAN TENGAH	200	1486	KANOPI GENSET BOCOR	REPAIR KANOPI DAN TUTUP DENGAN SILICON SEALANT	28/4/2018	CLEAR
126	PLTD MONTALAT	KALIMANTAN TENGAH	100	3964	MCCB RUSAK	GANTI MCCB	16/4/2018	CLEAR
127	PLTD MONTALAT	KALIMANTAN TENGAH	100	4141	MCCB RUSAK	GANTI MCCB	16/4/2018	CLEAR
128	PLTD SENYIUR	KALIMANTAN TIMUR	200	2080	MCCB RUSAK	GANTI MCCB	06/04/2018	CLEAR
129	PLTD SENYIUR	KALIMANTAN TIMUR	200	2080	CT RUSAK	GANTI CT	06/04/2018	CLEAR
130	PLTD MENDAWAI	KALIMANTAN TENGAH	200	5183	MODUL DSE RUSAK	GANTI MODUL DSE	06/06/2018	CLEAR
131	PLTD SENGAYAM	KALIMANTAN SELATAN	200	1660	PRE FILTER SOLAR KOTOR	GANTI FILTER SOLAR	09/07/2018	CLEAR
132	PLTD SENGAYAM	KALIMANTAN SELATAN	200	1660	UVT RUSAK	GANTI UVT	09/07/2018	CLEAR
133	PLTD BOMBERAY	PAPUA BARAT	200	7998	THERMOKOPEL RUSAK	GANTI THERMOCOUPLE	03/07/2018	CLEAR
134	PLTD BOMBERAY	PAPUA BARAT	200	7998	HANDPUMP RUSAK	GANTI HANDPUMP	03/07/2018	CLEAR
135	PLTD TIMPAH	KALIMANTAN TENGAH	200	1676	RADIATOR DAN CAC KOTOR	PEMBERSIHAN RADIATOR DAN CAC	12/09/2018	CLEAR
136	PLTD TIMPAH	KALIMANTAN TENGAH	200	1676	PRE FILTER SOLAR KOTOR	GANTI FILTER SOLAR	12/09/2018	CLEAR
137	PLTD TIMPAH	KALIMANTAN TENGAH	200	1670	PRE FILTER SOLAR KOTOR	GANTI FILTER SOLAR	13/9/2018	CLEAR
138	PLTD TIMPAH	KALIMANTAN TENGAH	200	1670	RADIATOR DAN CAC KOTOR	PEMBERSIHAN RADIATOR DAN CAC	13/09/2018	CLEAR
139	PLTD PUJON	KALIMANTAN TENGAH	200	1666	RADIATOR DAN CAC KOTOR	PEMBERSIHAN RADIATOR DAN CAC	06/09/2018	CLEAR
140	PLTD PUJON	KALIMANTAN TENGAH	200	1666	Crank Shaft Seal Bocor	GANTI SHAF SEAL	06/09/2018	CLEAR
141	PLTD PUJON	KALIMANTAN TENGAH	200	1666	Oil Cooler Bocor	PERBAIKAN KEBOCORAN OLI	06/09/2018	CLEAR
142	PLTD PUJON	KALIMANTAN TENGAH	200	1669	RADIATOR DAN CAC KOTOR	PEMBERSIHAN RADIATOR DAN CAC	07/09/2018	CLEAR
143	PLTD PUJON	KALIMANTAN TENGAH	200	2533	RADIATOR DAN CAC KOTOR	PEMBERSIHAN RADIATOR DAN CAC	09/05/2018	CLEAR
144	PLTD KUDANGAN	KALIMANTAN TENGAH	100	7962	V-BELT PUTUS	GANTI V-BELT	27/08/2018	CLEAR
145	PLTD KUDANGAN	KALIMANTAN TENGAH	100	7962	UVT RUSAK	GANTI UVT	27/08/2018	CLEAR
146	PLTD LUHU	MALUKU	200	1671	MCCB RUSAK	GANTI MCCB	21/9/2018	CLEAR
147	PLTD LUHU	MALUKU	200	2065	MCCB RUSAK	GANTI MCCB	28/09/2018	CLEAR
148	PLTD LUHU	MALUKU	200	2523	MCCB RUSAK	GANTI MCCB	26/11/2018	CLEAR
149	PLTD LUHU	MALUKU	200	2523	UVT RUSAK	GANTI UVT	26/11/2018	CLEAR
150	PLTD MARA	KALIMANTAN UTARA	200	8004	RADIATOR DAN CAC KOTOR	PEMBERSIHAN RADIATOR DAN CAC	20/9/2018	CLEAR
151	PLTD TUMBANG MIRI	KALIMANTAN TENGAH	200	2081	AKI RUSAK	GANTI AKI 2PCS 150 AH	12/09/2018	CLEAR
152	PLTD NAMROLE	MALUKU	200	1663	MCCB RUSAK	GANTI MCCB	19/11/2018	CLEAR
153	PLTD PASANEA	MALUKU	200	1674	AVR RUSAK	GANTI AVR	16/12/2018	CLEAR
154	PLTD PASANEA	MALUKU	200	1674	DIODA VARISTOR RUSAK	GANTI DIODA	16/12/2018	CLEAR

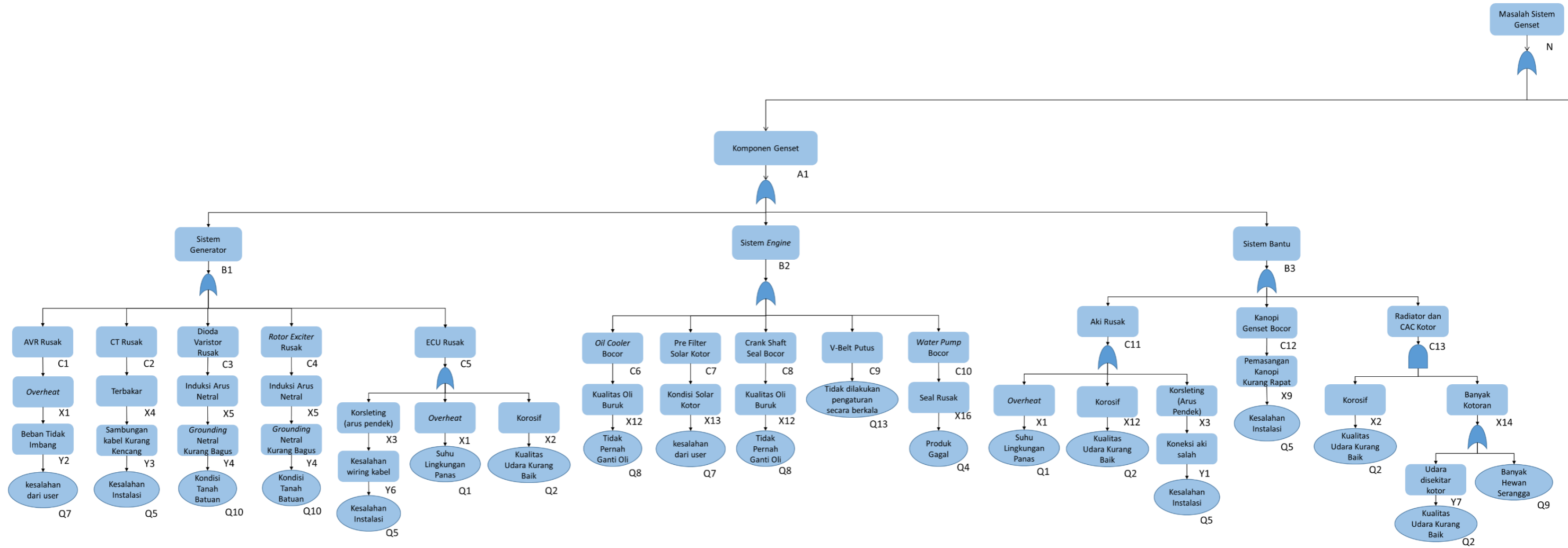
**LAMPIRAN 2**  
**Tabel identifikasi jenis kejadian**

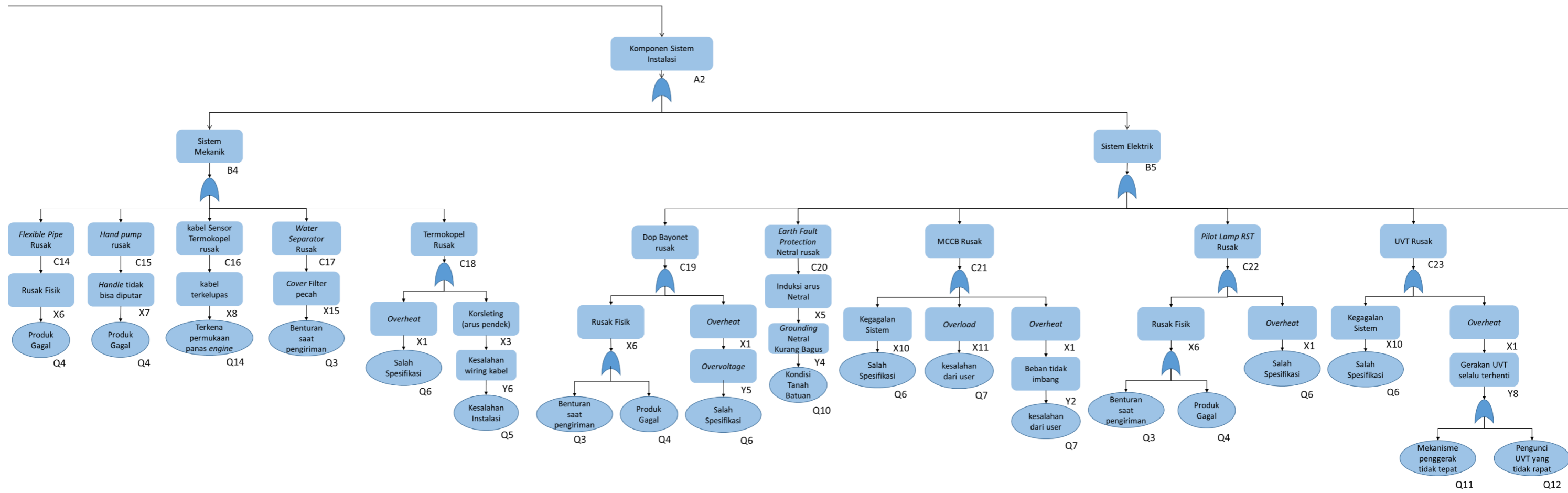
No	Komponen	Bagian Sistem	Kejadian 1	Kejadian 2	Kejadian 3	Kejadian 4
1	Komponen Genset	Sistem Bantu	Aki Rusak	Overheat	Suhu ambient panas	
				Korosif	Kualitas udara kurang baik	
				Korsleting (arus pendek)	koneksi aki salah	Kesalahan pemasangan
2	Komponen Genset	Sistem Generator	AVR Rusak	Overheat	Beban tidakimbang	Kesalahan dari user
3	Komponen Genset	Sistem Generator	CT Rusak	Terbakar	Sambungan kabel kurang kencang	Kesalahan pemasangan
4	Komponen Genset	Sistem Generator	Dioda Varistor Rusak	Induksi Arus Neutral	Grounding neutral kurang baik	Kondisi tanah batuan
5	Komponen Material instalasi	Sistem Elektrikal	Dop Bayonet Rusak	Rusak fisik	Benturan saat pengiriman	
				Overheat	Produk gagal	
6	Komponen Material instalasi	Sistem Elektrikal	Earth Fault Protection Neutral rusak	Induksi Arus Neutral	Overvoltage	Salah Spesifikasi
7	Komponen Genset	Sistem Generator	ECU Rusak	Korsleting (arus pendek)	Grounding neutral kurang baik	Kondisi tanah batuan
				Overheat	Kesalahan wiring kabel	Kesalahan pemasangan
				Korosif	Suhu ambient panas	
8	Komponen Material instalasi	Sistem Mekanikal	Flexible Pipe Rusak	Rusak fisik	Kualitas udara kurang baik	
9	Komponen Material instalasi	Sistem Mekanikal	HandPump Rusak	Produk gagal	Produk gagal	
10	Komponen Material instalasi	Sistem Mekanikal	Kabel Sensor Termokopel Rusak	handle tidak bisa diputar	Terkena permukaan panas di engine	
11	Komponen Genset	Sistem Bantu	Kabel Sensor Termokopel Rusak	Kabel terkelupas	Pemasangan Kanopi kurang rapat	Kesalahan pemasangan
12	Komponen Material instalasi	Sistem Elektrikal	MCCB Rusak	Kegagalan sistem	salah spesifikasi	
				Overload	Kesalahan dari user	
				Overheat	Beban tidakimbang	Kesalahan dari user
13	Komponen Genset	Sistem Engine	Oil Cooler Bocor	Kualitas oli jelek dan kotor	Tidak pernah ganti Oli	
14	Komponen Material instalasi	Sistem Elektrikal	Pilot Lamp RST Rusak	Rusak fisik	Benturan saat pengiriman	
				Overheat	Produk gagal	
15	Komponen Genset	Sistem Engine	Pre Filter Solar kotor	Kondisi Solar Kotor	Salah Spesifikasi	
16	Komponen Genset	Sistem Bantu	Radiator Dan CAC Kotor	Korosif	Kualitas udara kurang baik	
				Banyak kotoran	Udara disekitar kotor	Kualitas udara kurang baik
				Banyak Hewan serangga		
17	Komponen Genset	Sistem Generator	Rotor Eksiter Rusak	Induksi Arus Neutral	Grounding neutral kurang baik	Kondisi tanah batuan
18	Komponen Material instalasi	Sistem Mekanikal	Water Separator Rusak	Cover filter pecah	Benturan saat pengiriman	
19	Komponen Genset	Sistem Engine	Crank Shaft Seal Bocor	Kualitas oli jelek dan kotor	Tidak pernah ganti Oli	
20	Komponen Material instalasi	Sistem Mekanikal	Termokopel Rusak	Over heat	Salah Spesifikasi	
				Korsleting (arus pendek)	Kesalahan wiring kabel	Kesalahan pemasangan
21	Komponen Material instalasi	Sistem Elektrikal	UVT Rusak	Kegagalan sistem	salah spesifikasi	
				Overheat	Gerakan UVT selalu terhenti	Mekanisme penggerak tidak tepat Pengunci UVT Yang tidak rapat
22	Komponen Genset	Sistem Engine	V-Belt Putus	Tidak dilakukan adjustment v-belt secara berkala		
23	Komponen Genset	Sistem Engine	Water Pump Bocor	Seal rusak	produk gagal	
24	Komponen Material instalasi	Sistem Elektrikal	Modul DSE Rusak	Induksi Arus Neutral	Grounding neutral kurang baik	Kondisi tanah batuan
				Korsleting (arus pendek)	koneksi aki salah	Kesalahan pemasangan
					Kesalahan wiring kabel	Kesalahan pemasangan
				Interface mati	settingan modul salah	Kesalahan pemasangan
				Produk gagal		

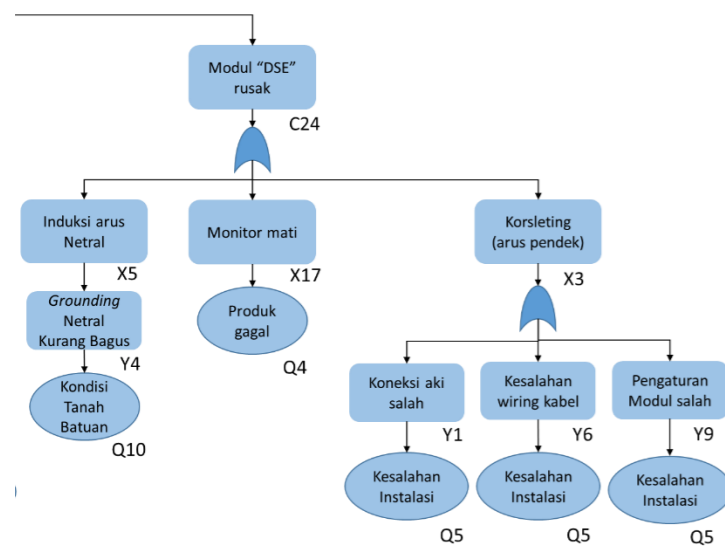


### LAMPIRAN 3

#### Flowchart FTA keseluruhan





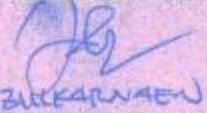




Kode	Nama Kejadian	Kode	Nama Kejadian	Kode	Nama Kejadian
N	Masalah Sistem Genset	C17	Water Separator Rusak	X17	Interface/Monitor mati
A1	Komponen Genset	C18	Termokopel Rusak	Y1	koneksi aki salah
A2	Komponen Material instalasi	C19	Dop Bayonet Rusak	Y2	Beban tidakimbang
B1	Sistem Generator	C20	Earth Fault Protection Neutral rusak	Y3	Sambungan kabel kurang kencang
B2	Sistem Engine	C21	MCCB Rusak	Y4	Grounding neutral kurang baik
B3	Sistem Bantu	C22	Pilot Lamp RST Rusak	Y5	Over voltage
B4	Sistem Mekanikal	C23	UVT Rusak	Y6	Kesalahan wiring kabel
B5	Sistem Elektrikal	C24	Modul DSE Rusak	Y7	Udara disekitar kotor
C1	AVR Rusak	X1	Overheat	Y8	Gerakan UVT selalu terhenti
C2	CT Rusak	X2	Korosif	Y9	settingan modul salah
C3	Dioda Varistor Rusak	X3	Korsleting ( arus pendek)	Q1	Suhu ambient panas
C4	Rotor Exsiter Rusak	X4	Terbakar	Q2	Kualitas udara kurang baik
C5	ECU Rusak	X5	Induksi Arus Neutral	Q3	Benturan saat pengiriman
C6	Oil Cooler Bocor	X6	Rusak fisik	Q4	Produk gagal
C7	Pre Filter Solar kotor	X7	handle tidak bisa diputar	Q5	Kesalahan pemasangan
C8	Crank Shaft Seal Bocor	X8	Kabel terkelupas	Q6	salah spesifikasi
C9	V-Belt Putus	X9	Pemasangan Kanopi kurang rapat	Q7	Kesalahan dari user
C10	Water Pump Bocor	X10	Kegagalan sistem	Q8	Tidak pernah ganti Oli
C11	Aki Rusak	X11	Overload	Q9	Banyak Hewan serangga
C12	Kanopi Genset Bocor	X12	Kualitas oli jelek dan kotor	Q10	Kondisi tanah batuan
C13	Radiator Dan CAC Kotor	X13	Kondisi Solar Kotor	Q11	Mekanisme penggerak tidak tepat
C14	Flexible Pipe Rusak	X14	Banyak kotoran	Q12	Pengunci UVT Yang tidak rapat
C15	HandPump Rusak	X15	Cover filter pecah	Q13	Tidak dilakukan pengaturan berkala
C16	Kabel Sensor Termokopel Rusak	X16	Seal rusak	Q14	Terkena permukaan panas engine

# LAMPIRAN 4

## Contoh laporan hasil investigasi

Project No. : <u>50-1703-062</u>	<b>TIME SHEET</b>	
Sheet no : 1 of <u>1</u>	<b>WORK REPORT</b>	
CUSTOMER LOCATION ENGINE TYPE ENGINE S/N ENG. OUT PUT DATE APPLICATION REPORTED BY	<u>PT. PLN (Persero)</u> <u>PLTD Linyuk</u> <u>1190 20 89</u> <u>1190 185 4 1190 20 89</u> <u>1500</u> <u>19 September 2017</u> <u>Inspection</u> <u>Kendy RS &amp; Tawfik. Y</u>	SCOPE : <input type="checkbox"/> INTERNAL TEST (LOAD BANK) <input type="checkbox"/> COMMISSIONING <input type="checkbox"/> WARRANTY <input type="checkbox"/> OVERHAUL TO / SO / MO / E... <input checked="" type="checkbox"/> SERVICE / REPAIR <input checked="" type="checkbox"/> INSPECTION / TROUBLE SHOOTING <input type="checkbox"/> TECHNICAL TRAINING <input type="checkbox"/> OTHERS / .....
<b>Date</b>	<b>Time</b>	<b>DESCRIPTION OF WORK / PERINCIAN PEKERJAAN</b>
19-09-17	03.00	traveling Bekasi - Bandara Soeta traveling Jakarta - Surabaya - Prepare meeting engine Problem 17.00 - Meeting engine Problem PLTD Linyuk dengan PT PLN
20-09-17	07.00	traveling Surabaya - PLTD Linyuk Pengecekan engine S/N 1190 185 History : - exhaust Manifold Membakar - Operator tabung pengoperasian genset di bahan kimia Langkah kerja : - Pengecekan Air cleaner (Air cleaner blocking) sudah diganti - Pengecekan Sensor temperature (Oke) - Pengecekan level Air coolant (Oke) - Pengecekan Fuel sistem (Oke) - Pengecekan Air coolant (Oke) - Pengecekan Radiator (Oke) - Pengecekan kondisi solar Solar. Visual (Oke) - Pengecekan Temperatur minyak engine 90°C - Pengecekan Visual turbo (kompak normal) oke - Pengecekan Awan & radian intake turbo normal - Pengaturan genset running Jarak beban (Hosic test terlampir) - Pengaturan genset beban Maximum 200kw tercapai (Pengaturan 30 menit engine shutdown temp 99°C)
		Analisis Penyebab Genset Over Heating - Akibat Perbedaan suhu ruang didalam Genset (data terlampir) - Sirkulasi Udara Panas kurang sempurna, sehingga terhisap kembali
REPORTED BY TECHNICIAN DILAPORKAN OLEH TEKNISI  Date :	SERVICE DEPARTMENT _____ Date :	SIGN BY CUSTOMER  Date :
1. CUSTOMER (PUTIH)	2. ACCOUNTING (MERAH)	3. JOB FILE (KUNING)



**DATA MESIN**

MERK : DEUTZ  
TYPE : TCD 2013 L064V  
DAYA TERPASANG : 250 KW  
NO SERI : 12022535

**DATA GENERATOR**

MERK :  
TYPE :  
DATA TERPASANG :  
NO SERI :

**T D** : LUHU

**NTING** : Kantor Pelayanan Luhu

**ANGGUAN** : Hand Pump

JENIS GANGGUAN : HAND PUMP

KELAS GANGGUAN : SEDANG

TERJADINYA GANGGUAN :

1 **Tanggal Gangguan** : 6 April 2018 Jam 18.00 WIT

2 **Kondisi Pembangkitan**

3.1	Daya mampu Mesin yang kena gangguan	:			200	KW	
3.2.2.	Mesin yang beroperasi	:	MC I	MC II	MC IV	MC V	MC VIII
	Beban ( KW)	:	350	300	160	200	200
3.2.3.	Mesin Cadangan siap berusaha	:					
	Daya Mampu (KW)	:	1210				
3.2.4.	Behan Puncak PLTD	:	1040	KW			

3 **Penjelasan terjadinya gangguan**

3.3.1 Pada saat operator akan melakukan start mesin, mesin langsung trip. Saat operator mencoba memompa BBM dengan pompa tangan, tuas pompa tidak bisa terkunci kembali.

**USAHA MENGATASI GANGGUAN**

Tindakan pengaturan operasi

**Pemeriksaan Gangguan**

4.2.1 Setelah diperiksa, *spring hand pump* sudah rusak

Usaha - usaha Perbaikan

4.3.1 Dilaporkan ke Rayon Hitu  
Dilaporkan ke Area Ambon

**ANALISA SEBAB - SEBAB GANGGUAN**

Diperiksa,  
Spv. KJT Rayon Hitu

( MOH. SALEH PELU )

Hitu , 9 April 2018  
Yang Membuat,

( DAVI TAUFIQ TAUFANI )

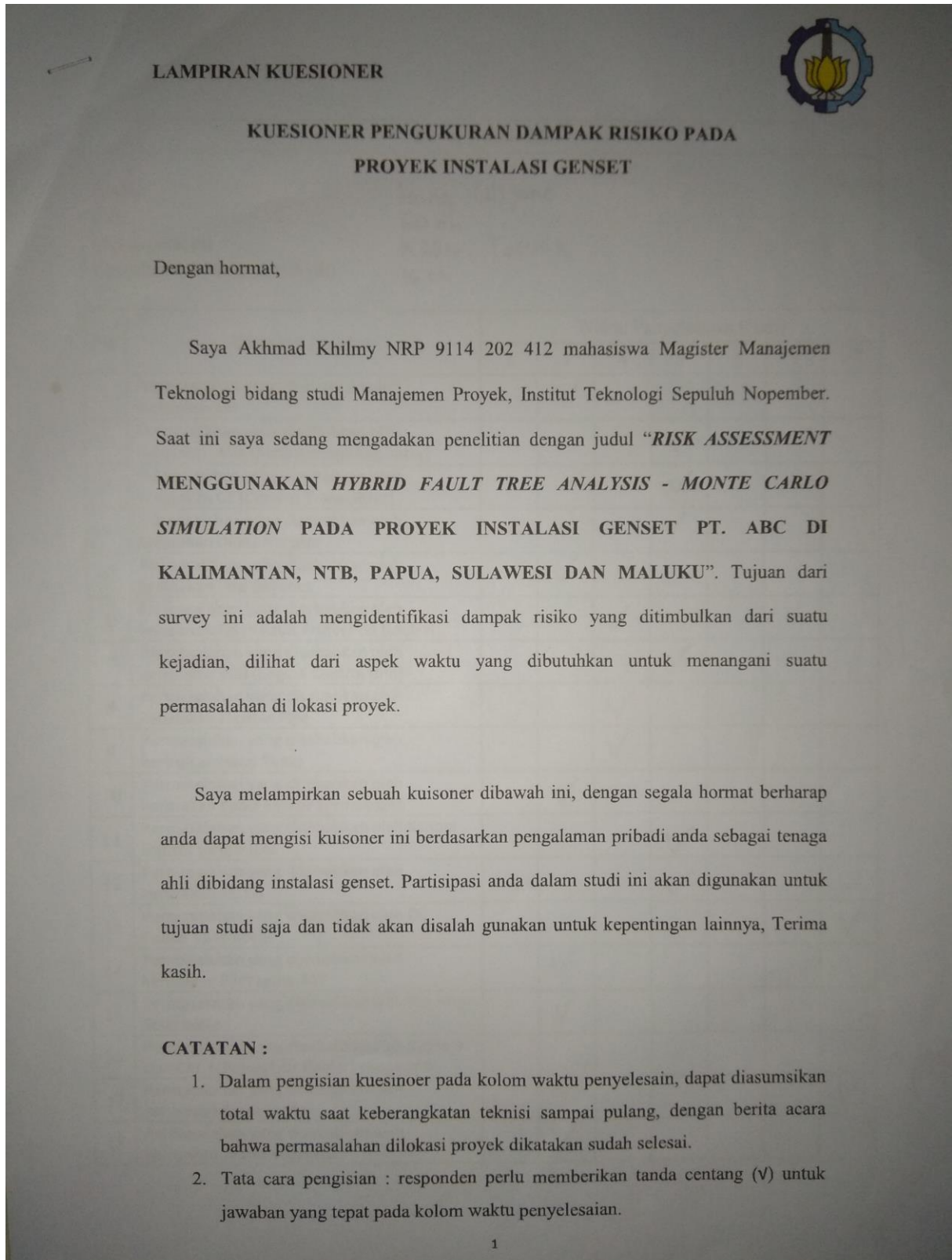
Menyetujui,  
Manajer Rayon Hitu

( A. RIZAL LESTALUHU )

## LAMPIRAN 5

### Hasil kuesioner dari responden

Halaman Depan



The image shows the cover page of a questionnaire. At the top right, there is a logo of Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), which consists of a blue gear with a yellow flower in the center. The text on the page is as follows:

**LAMPIRAN KUESIONER**

**KUESIONER PENGUKURAN DAMPAK RISIKO PADA  
PROYEK INSTALASI GENSET**

Dengan hormat,

Saya Akhmad Khilmy NRP 9114 202 412 mahasiswa Magister Manajemen Teknologi bidang studi Manajemen Proyek, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Saat ini saya sedang mengadakan penelitian dengan judul "*RISK ASSESSMENT MENGGUNAKAN HYBRID FAULT TREE ANALYSIS - MONTE CARLO SIMULATION* PADA PROYEK INSTALASI GENSET PT. ABC DI KALIMANTAN, NTB, PAPUA, SULAWESI DAN MALUKU". Tujuan dari survey ini adalah mengidentifikasi dampak risiko yang ditimbulkan dari suatu kejadian, dilihat dari aspek waktu yang dibutuhkan untuk menangani suatu permasalahan di lokasi proyek.

Saya melampirkan sebuah kuisoner dibawah ini, dengan segala hormat berharap anda dapat mengisi kuisoner ini berdasarkan pengalaman pribadi anda sebagai tenaga ahli dibidang instalasi genset. Partisipasi anda dalam studi ini akan digunakan untuk tujuan studi saja dan tidak akan disalah gunakan untuk kepentingan lainnya, Terima kasih.

**CATATAN :**

1. Dalam pengisian kuesioner pada kolom waktu penyelesain, dapat diasumsikan total waktu saat keberangkatan teknisi sampai pulang, dengan berita acara bahwa permasalahan di lokasi proyek dikatakan sudah selesai.
2. Tata cara pengisian : responden perlu memberikan tanda centang (v) untuk jawaban yang tepat pada kolom waktu penyelesaian.

1

LAMPIRAN KUESIONER



Form Kuesioner

Nama : Pandu Erman  
 Usia : 40 thn  
 Jabatan saat ini : Direktur  
 Pengalaman bidang genset (th) : 15 thn

No	Diskripsi kejadian	Waktu Penyelesaian (Hari)						
		2	3	4	5	6	7	>7
1	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Aki		✓					
2	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan AVR (Auto Voltage Regulator)		✓					
3	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan CT (Current Transmitter)			✓				
4	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Dioda Varistor			✓				
5	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Dop Bayonet		✓					
6	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Earth Fault Protection Neutral				✓			
7	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan ECU (Engine Control Unit)				✓			
8	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Flexible Pipe		✓					
9	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Hand Pump		✓					
10	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Kabel Sensor Termokopel		✓					
11	Permasalahan yang disebabkan oleh Kanopi Genset yang bocor				✓			
12	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan MCCB					✓		
13	Permasalahan yang disebabkan oleh Oil Cooler yang bocor							✓
14	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Pilot Lamp RST		✓					
15	Permasalahan yang disebabkan oleh Pre Filter Solar kotor		✓					
16	Permasalahan yang disebabkan oleh Radiator Dan CAC (Charged Air Cooler) yang kotor				✓			
17	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Rotor Exciter							✓
18	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Water Separator		✓					

LAMPIRAN KUESIONER



No	Diskripsi kejadian	Waktu Penyelesaian (Hari)						
		2	3	4	5	6	7	>7
19	Permasalahan yang disebabkan oleh Crank Shaft Seal yang bocor							✓
20	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Termokopel				✓			
21	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan UVT ( Under Voltage Trip)				✓			
22	Permasalahan yang disebabkan oleh V-Belt yang putus				✓			
23	Permasalahan yang disebabkan oleh Water Pump yang bocor							✓
24	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Modul DSE (DeepSea)				✓			



**LAMPIRAN KUESIONER**

**Form Kuesioner**

Nama : Idong Wijono  
 Usia : 60 th  
 Jabatan saat ini : KADIV, Teknik  
 Pengalaman bidang genset (th) : 16 th

No	Diskripsi kejadian	Waktu Penyelesaian (Hari)						
		2	3	4	5	6	7	>7
1	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Aki		✓					
2	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan AVR (Auto Voltage Regulator)				✓			
3	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan CT (Current Transmitter)				✓			
4	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Dioda Varistor				✓			
5	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Dop Bayonet		✓					
6	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Earth Fault Protection Neutral			✓				
7	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan ECU (Engine Control Unit)				✓			
8	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Flexible Pipe			✓				
9	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Hand Pump			✓				
10	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Kabel Sensor Termokopel		✓					
11	Permasalahan yang disebabkan oleh Kanopi Genset yang bocor				✓			
12	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan MCCB				✓			
13	Permasalahan yang disebabkan oleh Oil Cooler yang bocor							✓
14	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Pilot Lamp RST		✓					
15	Permasalahan yang disebabkan oleh Pre Filter Solar kotor		✓					
16	Permasalahan yang disebabkan oleh Radiator Dan CAC (Charged Air Cooler) yang kotor						✓	
17	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Rotor Exciter							✓
18	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Water Separator		✓					

2

LAMPIRAN KUESIONER



No	Diskripsi kejadian	Waktu Penyelesaian (Hari)						
		2	3	4	5	6	7	>7
19	Permasalahan yang disebabkan oleh Crank Shaft Seal yang bocor							✓
20	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Termokopel				✓			
21	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan UVT ( Under Voltage Trip)				✓			
22	Permasalahan yang disebabkan oleh V-Belt yang putus				✓			
23	Permasalahan yang disebabkan oleh Water Pump yang bocor							✓
24	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Modul DSE (DeepSea)				✓			

*[Handwritten signature]*

LAMPIRAN KUESIONER



Form Kuesioner

Nama : BUDI WICAKSONO  
 Usia : 38 TAHUN  
 Jabatan saat ini : KADW. PROTEK  
 Pengalaman bidang genset (th) : 8 TAHUN

No	Diskripsi kejadian	Waktu Penyelesaian (Hari)						
		2	3	4	5	6	7	>7
1	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Aki		✓					
2	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan AVR (Auto Voltage Regulator)			✓				
3	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan CT (Current Transmitter)			✓				
4	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Dioda Varistor			✓				
5	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Dop Bayonet		✓					
6	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Earth Fault Protection Neutral			✓				
7	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan ECU (Engine Control Unit)				✓			
8	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Flexible Pipe		✓					
9	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Hand Pump			✓				
10	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Kabel Sensor Termokopel		✓					
11	Permasalahan yang disebabkan oleh Kanopi Genset yang bocor			✓				
12	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan MCCB			✓				
13	Permasalahan yang disebabkan oleh Oil Cooler yang bocor					✓		
14	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Pilot Lamp RST		✓					
15	Permasalahan yang disebabkan oleh Pre Filter Solar kotor		✓					
16	Permasalahan yang disebabkan oleh Radiator Dan CAC (Charged Air Cooler) yang kotor					✓		
17	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Rotor Exciter						✓	
18	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Water Separator		✓					

LAMPIRAN KUESIONER



No	Diskripsi kejadian	Waktu Penyelesaian (Hari)						
		2	3	4	5	6	7	>7
19	Permasalahan yang disebabkan oleh Crank Shaft Seal yang bocor						✓	
20	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Termokopel				✓			
21	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan UVT ( Under Voltage Trip)			✓				
22	Permasalahan yang disebabkan oleh V-Belt yang putus			✓				
23	Permasalahan yang disebabkan oleh Water Pump yang bocor			✓				
24	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Modul DSE (DeepSea)				✓			

*[Handwritten signature]*

LAMPIRAN KUESIONER



Form Kuesioner

Nama : Sugeng  
 Usia : 38 th  
 Jabatan saat ini : Supervisor Teknik.  
 Pengalaman bidang genset (th) : 15 th

No	Diskripsi kejadian	Waktu Penyelesaian (Hari)						
		2	3	4	5	6	7	>7
1	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Aki	✓						
2	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan AVR (Auto Voltage Regulator)		✓					
3	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan CT (Current Transmitter)			✓				
4	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Dioda Varistor			✓				
5	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Dop Bayonet	✓						
6	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Earth Fault Protection Neutral			✓				
7	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan ECU (Engine Control Unit)			✓				
8	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Flexible Pipe		✓					
9	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Hand Pump		✓					
10	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Kabel Sensor Termokopel	✓						
11	Permasalahan yang disebabkan oleh Kanopi Genset yang bocor			✓				
12	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan MCCB			✓				
13	Permasalahan yang disebabkan oleh Oil Cooler yang bocor				✓			
14	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Pilot Lamp RST	✓						
15	Permasalahan yang disebabkan oleh Pre Filter Solar kotor	✓						
16	Permasalahan yang disebabkan oleh Radiator Dan CAC (Charged Air Cooler) yang kotor				✓			
17	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Rotor Exciter					✓		
18	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Water Separator		✓					

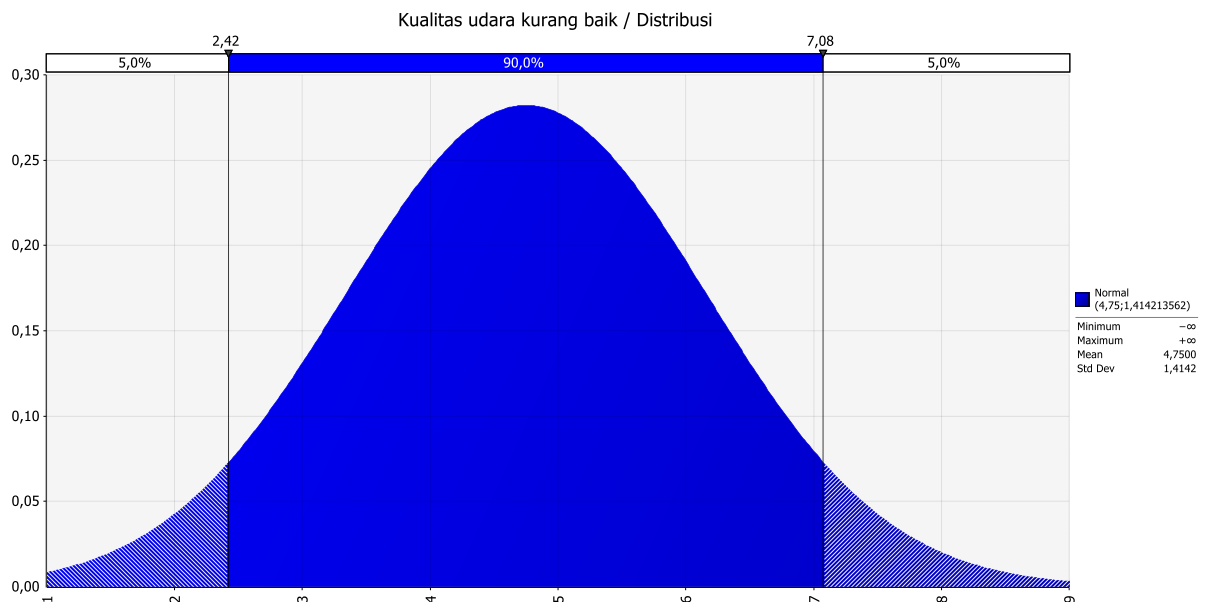
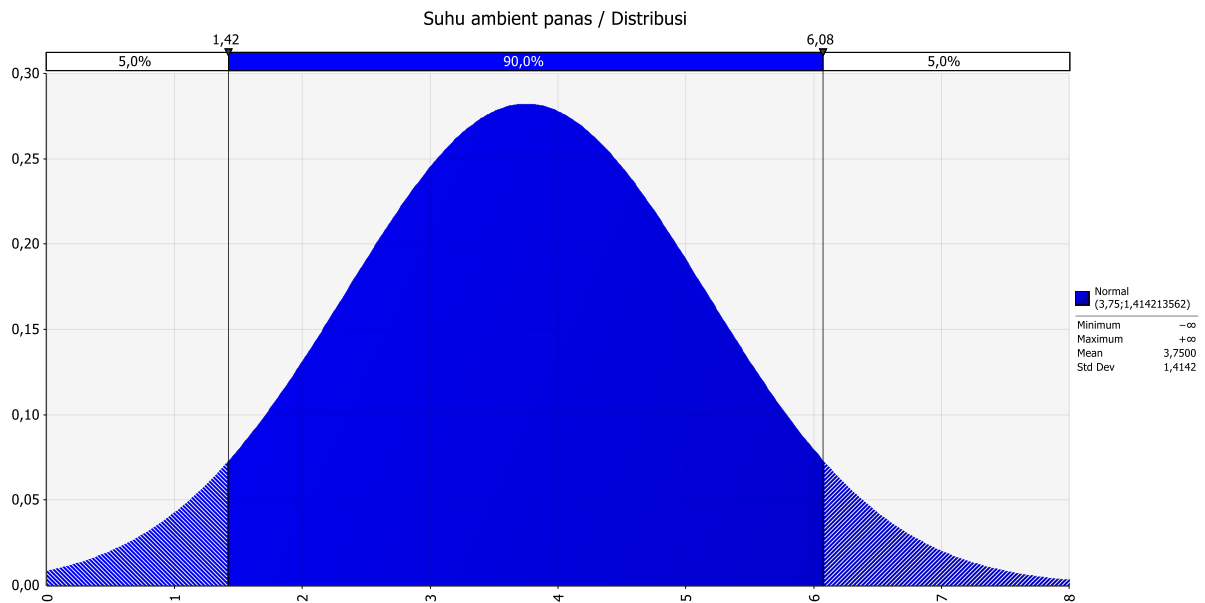
## LAMPIRAN KUESIONER

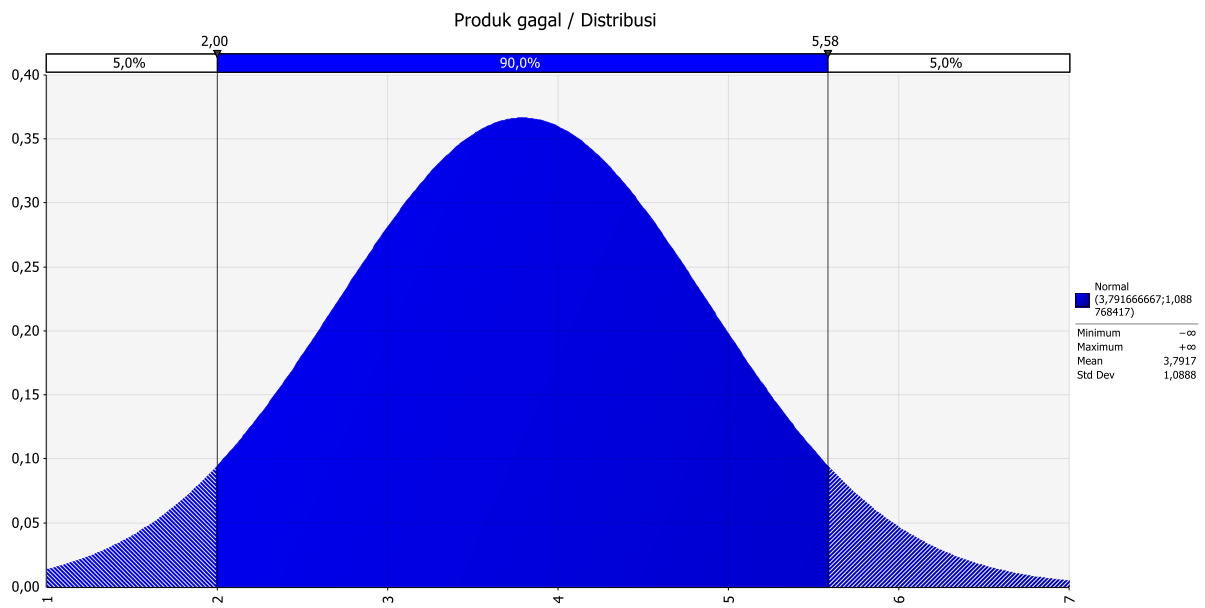
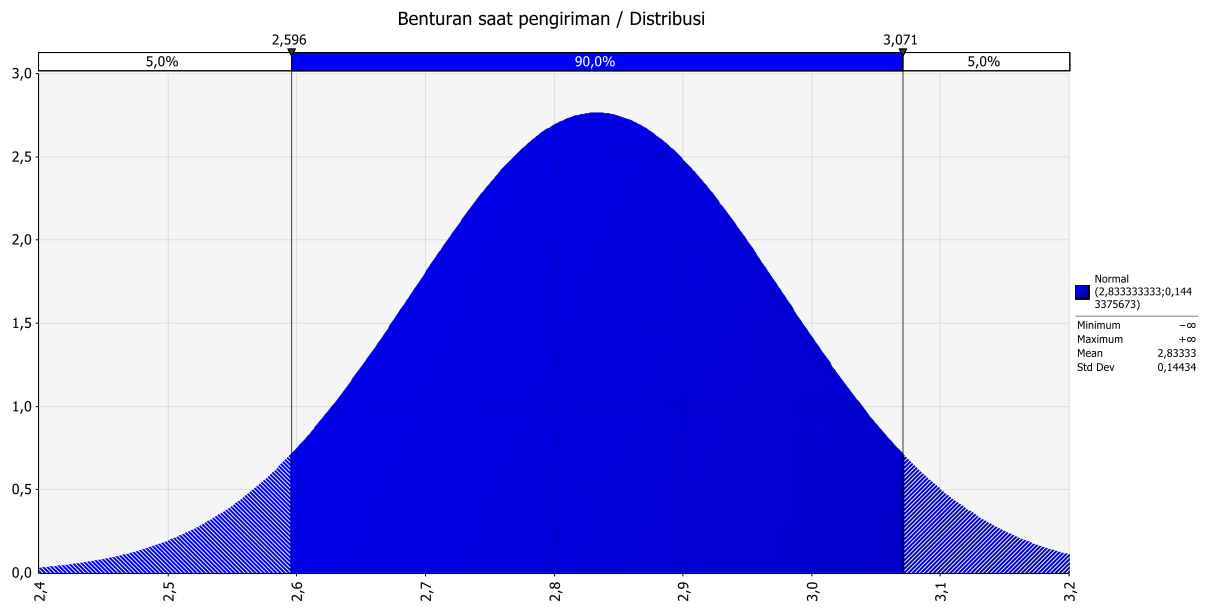


No	Diskripsi kejadian	Waktu Penyelesaian (Hari)						
		2	3	4	5	6	7	>7
19	Permasalahan yang disebabkan oleh Crank Shaft Seal yang bocor					✓		
20	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Termokopel		✓					
21	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan UVT ( Under Voltage Trip)		✓					
22	Permasalahan yang disebabkan oleh V-Belt yang putus		✓					
23	Permasalahan yang disebabkan oleh Water Pump yang bocor			✓				
24	Permasalahan yang disebabkan oleh kerusakan Modul DSE (DeepSea)			✓				

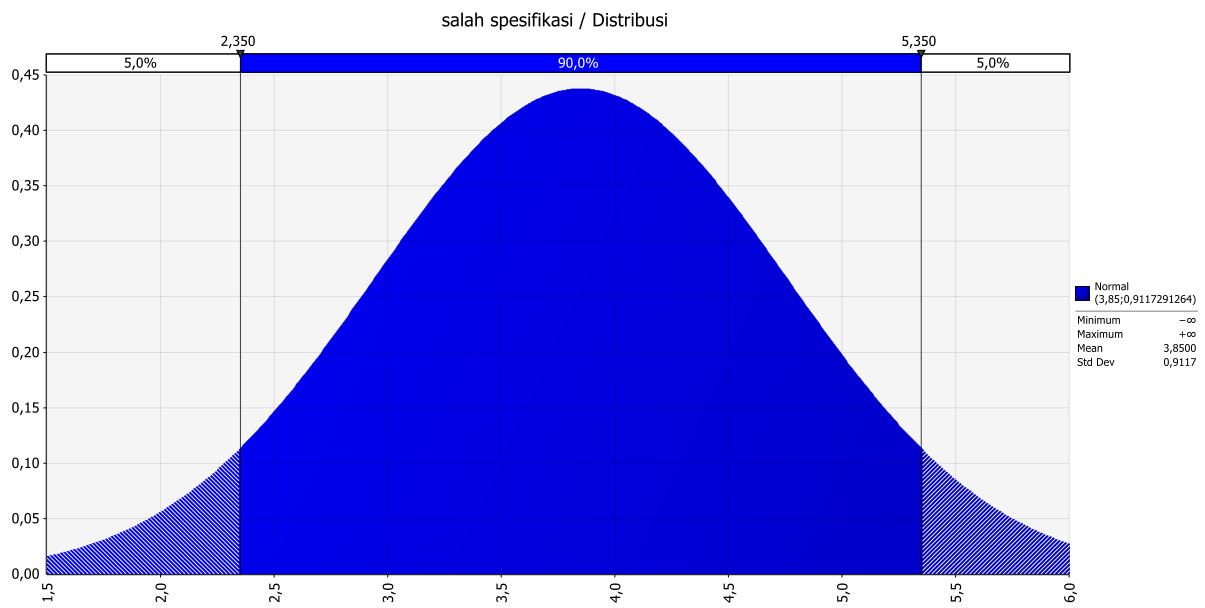
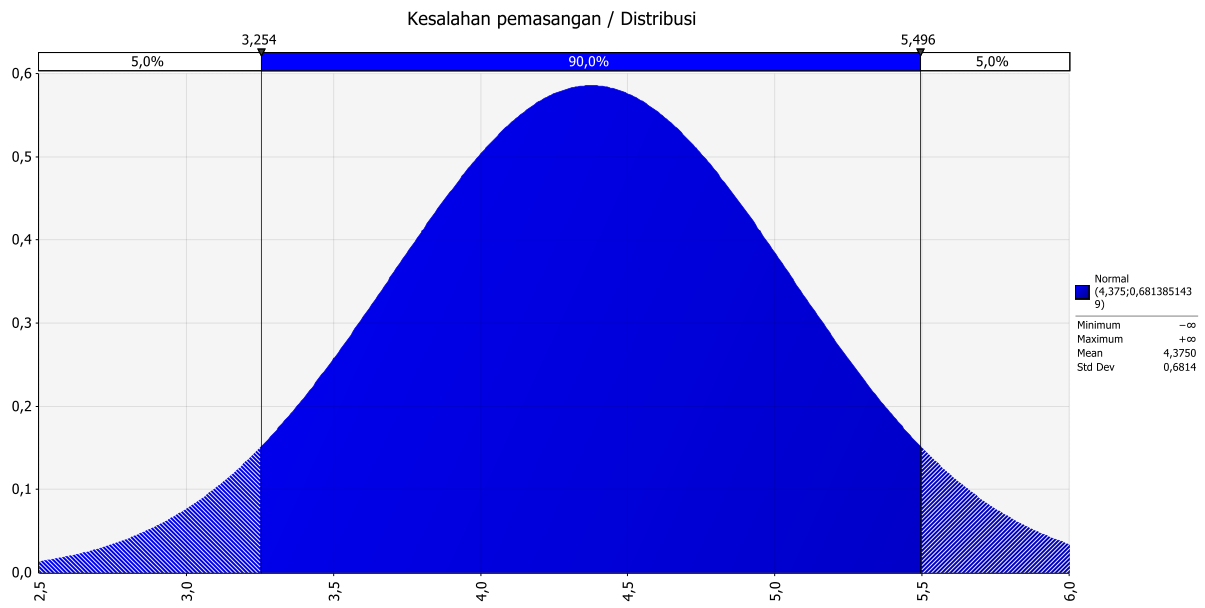
# LAMPIRAN 6

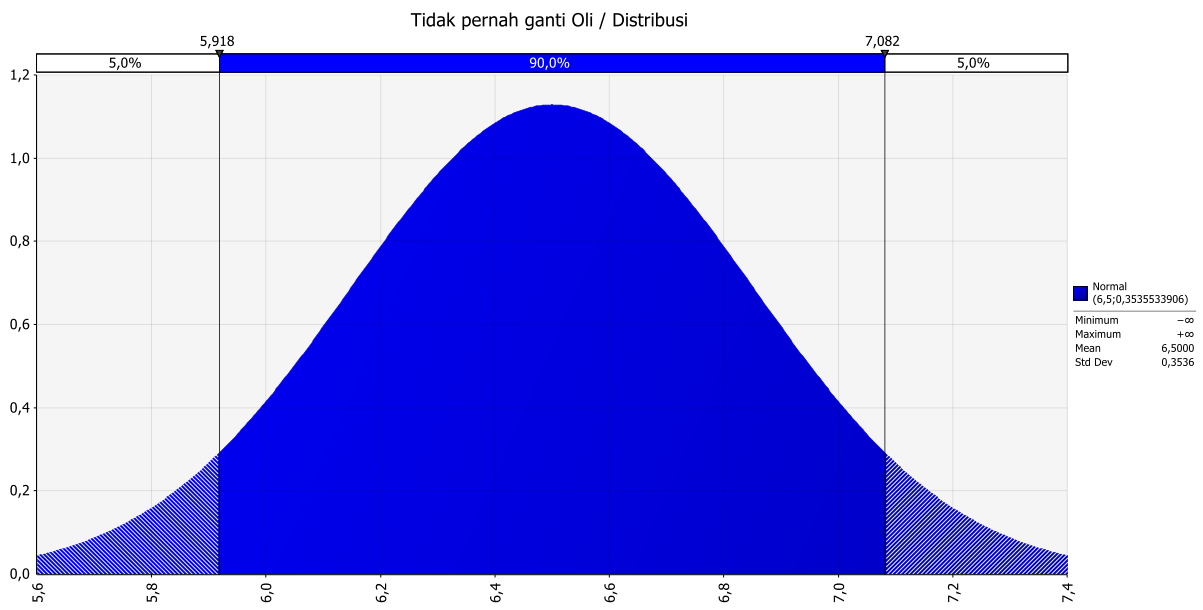
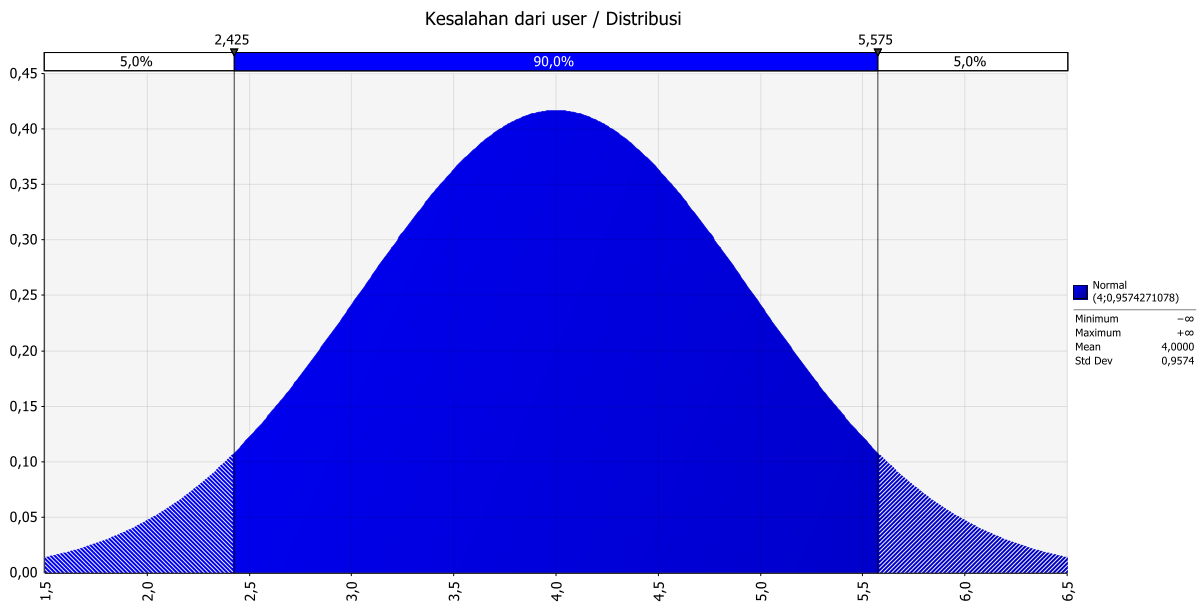
## Grafik PDF pada semua kejadian dasar

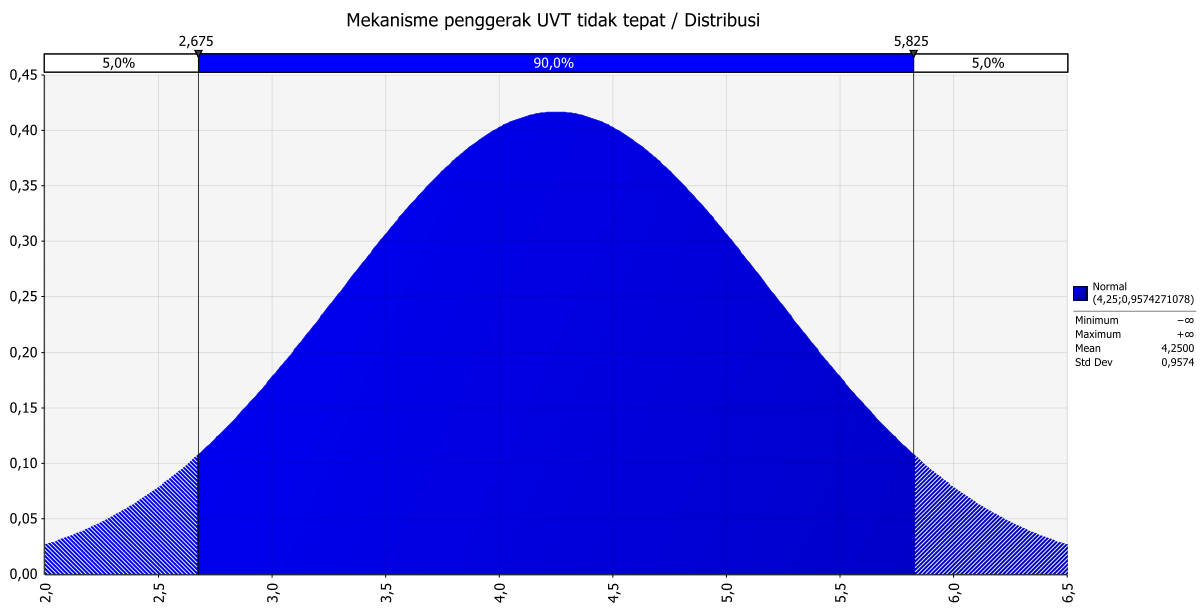
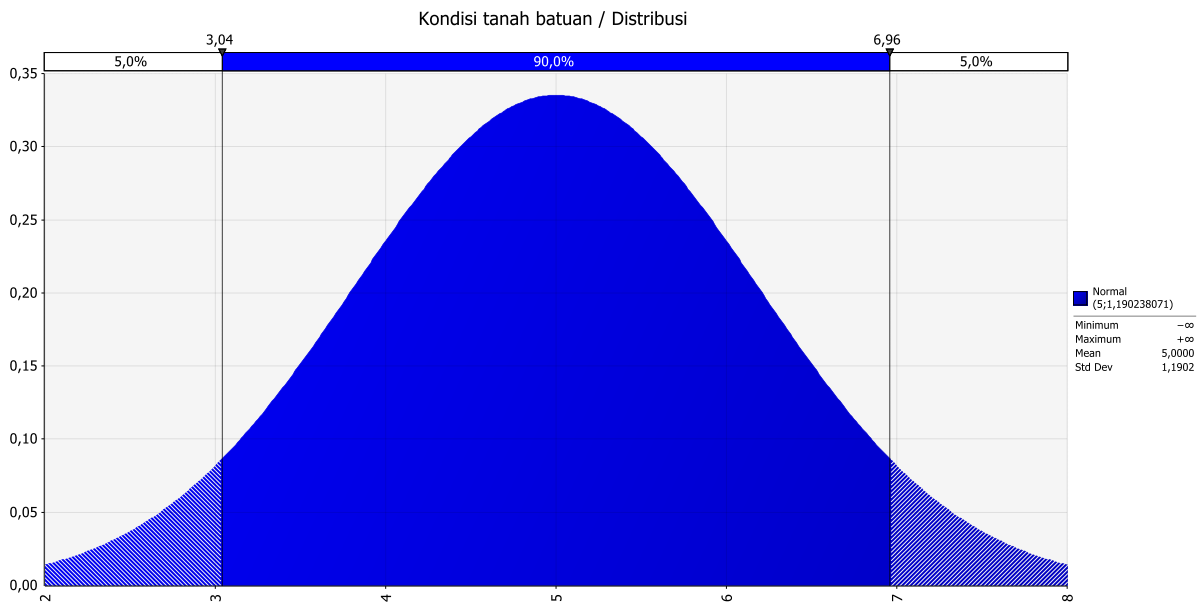


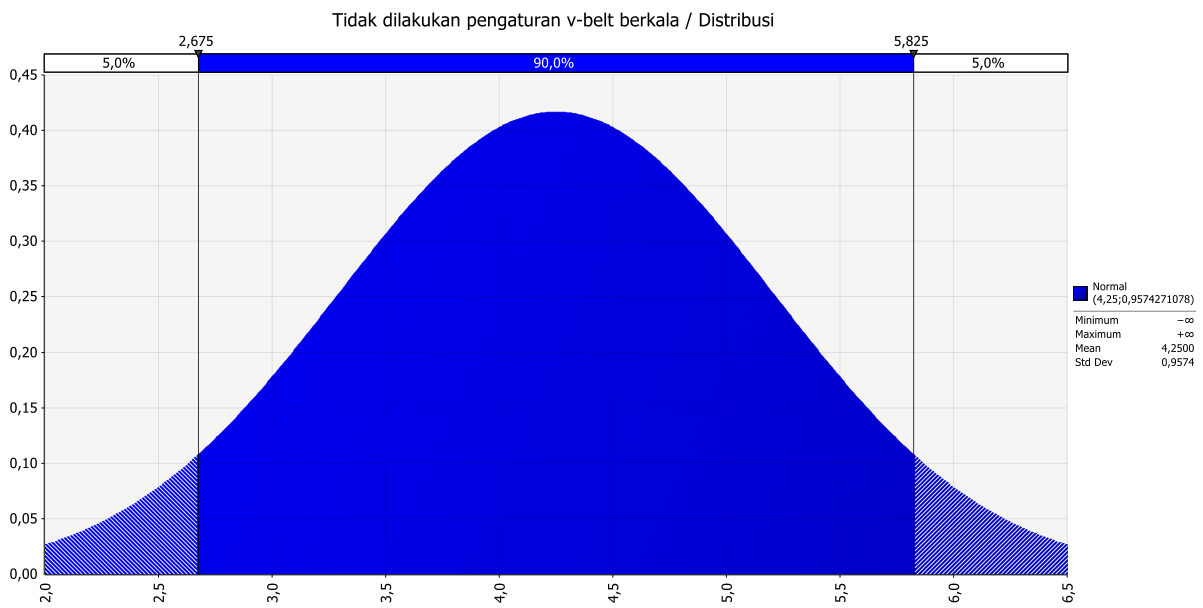
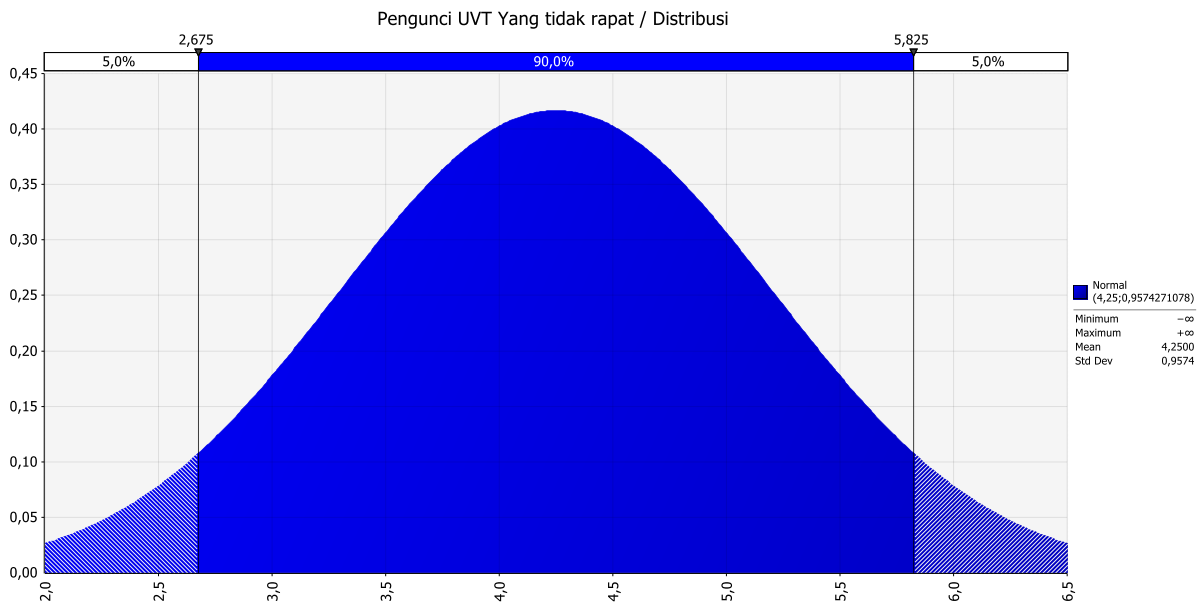


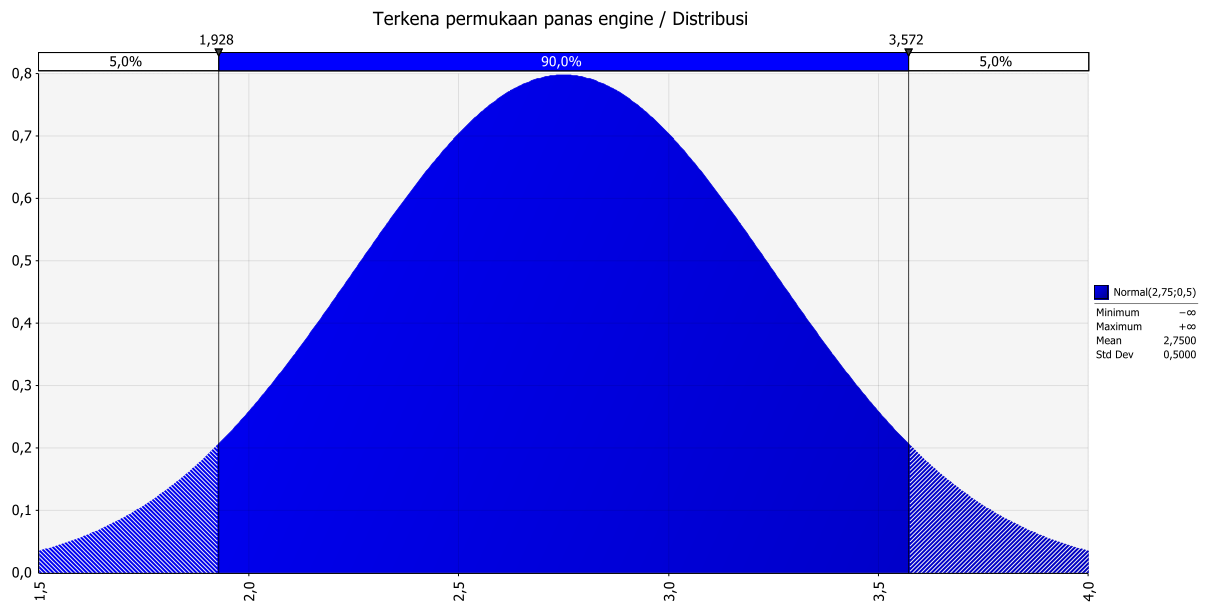












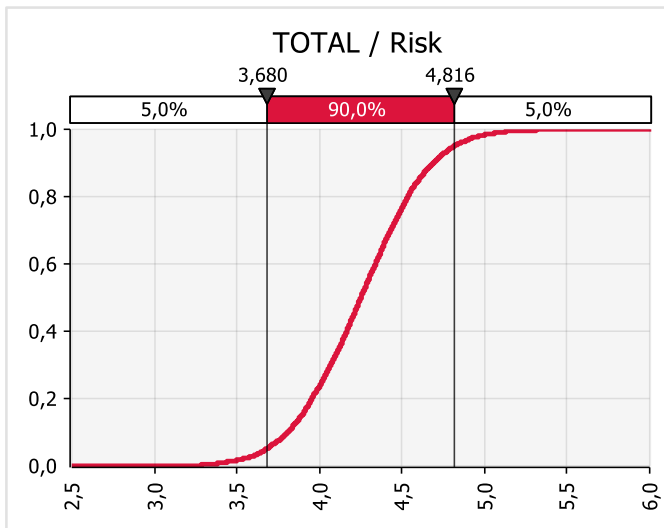
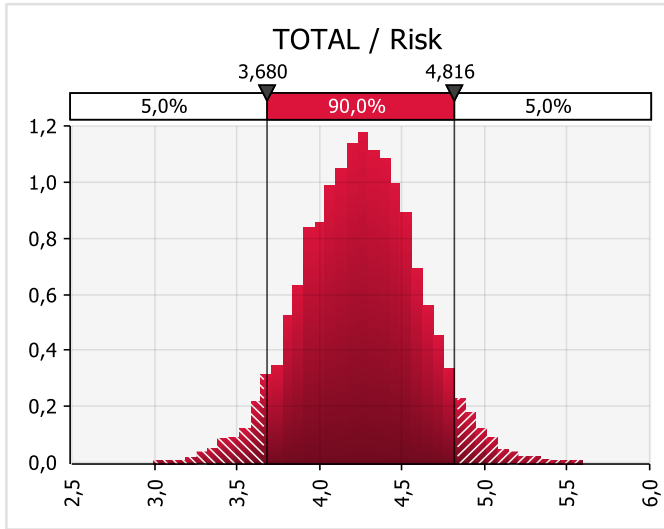
## LAMPIRAN 7

### Hasil Simulasi Monte Carlo menggunakan software @Risk

#### @RISK Output Report for TOTAL / Risk V18

Performed By: DELL Notebook

Date: Minggu, 10 Mei 2020 12.56.53



#### Simulation Summary Information

Workbook Name	PENGOLAHAN DATA TESIS r13.xlsx
Number of Simulations	1
Number of Iterations	10000
Number of Inputs	43
Number of Outputs	2
Sampling Type	Monte Carlo
Simulation Start Time	5/8/20 23.58.31
Simulation Stop Time	5/8/20 23.58.35
Simulation Duration	00.00.04
Random # Generator	Mersenne Twister
Random Seed	455717220
Total Errors	0
Collect Distribution Samples	All
Convergence Testing	Disabled
Smart Sensitivity Analysis	Enabled

#### Summary Statistics for TOTAL / Risk

Statistics	Percentile		
Minimum	2,9963	1,0%	3,4162
Maximum	5,5973	2,5%	3,5704
Mean	4,2495	5,0%	3,6798
Std Dev	0,3472	10,0%	3,8090
Variance	0,120559183	20,0%	3,9552
Skewness	0,006260049	25,0%	4,0160
Kurtosis	3,123788197	50,0%	4,2527
Median	4,2527	75,0%	4,4823
Mode	4,1782	80,0%	4,5369
Left X	3,6798	90,0%	4,6886
Left P	5%	95,0%	4,8157
Right X	4,8157	97,5%	4,9298
Right P	95%	99,0%	5,0683
#Errors	0		

## @RISK Input Results

Performed By: DELL Notebook

Date: Minggu, 10 Mei 2020 12.57.40

Name	Worksheet	Cell	Graph	Min	Mean	Max	5%	95%	Errors
Category: Benturan saat pengiriman									
Benturan saat pengiriman / Distribusi	Tabel bb 4 coba konsekuensi FIX	U7		2,263	2,835	3,399	2,602	3,071	0
Category: Kesalahan dari user									
Kesalahan dari user / Distribusi	Tabel bb 4 coba konsekuensi FIX	U11		-0,378	4,011	8,175	2,439	5,550	0
Category: Kesalahan pemasangan									
Kesalahan pemasangan / Distribusi	Tabel bb 4 coba konsekuensi FIX	U9		2,006	4,382	6,845	3,231	5,525	0
Category: Kondisi tanah batuan									
Kondisi tanah batuan / Distribusi	Tabel bb 4 coba konsekuensi FIX	U13		0,015	4,978	9,715	2,999	6,918	0
Category: Kualitas udara kurang baik									
Kualitas udara kurang baik / Distribusi	Tabel bb 4 coba konsekuensi FIX	U6		-0,441	4,781	10,052	2,433	7,162	0
Category: Mekanisme penggerak UVT tidak tepat									
Mekanisme penggerak UVT tidak tepat / Distribusi	Tabel bb 4 coba konsekuensi FIX	U14		0,504	4,247	7,503	2,647	5,853	0
Category: Pengunci UVT Yang tidak rapat									
Pengunci UVT Yang tidak rapat / Distribusi	Tabel bb 4 coba konsekuensi FIX	U15		0,043	4,248	7,749	2,681	5,845	0
Category: Produk gagal									
Produk gagal / Distribusi	Tabel bb 4 coba konsekuensi FIX	U8		-0,364	3,782	8,271	2,007	5,586	0
Category: salah spesifikasi									
salah spesifikasi / Distribusi	Tabel bb 4 coba konsekuensi FIX	U10		-0,186	3,860	7,654	2,374	5,340	0
Category: Suhu ambient panas									
Suhu ambient panas / Distribusi	Tabel bb 4 coba konsekuensi FIX	U5		-2,162	3,753	8,961	1,422	6,092	0
Category: Terkena permukaan panas engine									
Terkena permukaan panas engine / Distribusi	Tabel bb 4 coba konsekuensi FIX	U17		0,698	2,744	4,589	1,917	3,573	0
Category: Tidak dilakukan pengaturan v-belt berkala									
Tidak dilakukan pengaturan v-belt berkala / Distribusi	Tabel bb 4 coba konsekuensi FIX	U16		0,681	4,253	7,604	2,658	5,810	0
Category: Tidak pernah ganti Oli									
Tidak pernah ganti Oli / Distribusi	Tabel bb 4 coba konsekuensi FIX	U12		4,971	6,498	7,696	5,908	7,074	0

Name	Worksheet	Cell	Graph	Min	Mean	Max	5%	95%	Errors
TOTAL / Risk	Tabel bb 4 coba konsekuensi FIX	V18		2,996	4,249	5,597	3,680	4,816	0

# LAMPIRAN 8

## Tabel kontrak pengadaan material instalasi

PT. PLN (Persero) - Scattered Project															REFERENCE PRICE SITE PROJECT														
NO.	PROVINCE CITY	LOCATION	DIESEL GENSET CAPACITY ( KW )	LAMANDAU					KALIMANTAN TENGAH					BARITO SELATAN															
				TAPIN BINTI					SERUYAN					MERAWAN LAMA															
				100 (CONT. TYPE)					100 (CONT. TYPE)					100 (CONT. TYPE)															
Q'ty	Satuan	Harga					Q'ty	Satuan	Harga					Q'ty	Satuan	Harga													
		Material (Rp.)	Upah (Rp.)	Material (Rp.)	Upah (Rp.)	Sub Total (Material + Upah) (Rp.)			Material (Rp.)	Upah (Rp.)	Material (Rp.)	Upah (Rp.)	Sub Total (Material + Upah) (Rp.)			Material (Rp.)	Upah (Rp.)	Material (Rp.)	Upah (Rp.)	Sub Total (Material + Upah) (Rp.)									
A		MECHANICAL EQUIPMENT																											
Diesel Engine & Access		Quoted Separately																											
Containerized/Enclosure Diesel Engine, Gen & Aux w/o Wood Packing		Included on Diesel Engine																											
Unit System		Included on Diesel Engine																											
Fuel Oil System		Included on Diesel Engine																											
Lubricating Oil System		Included on Diesel Engine																											
Cooling Water		Included on Diesel Engine																											
Intake Air System		Included on Diesel Engine																											
Exhaust System ( 4" )		Included on Diesel Engine																											
0	m	1,850,000	150,000				0	m	1,850,000	150,000				0	m	1,850,000	150,000												
1	set	3,150,000	100,000	3,150,000	100,000	3,250,000	2	set	3,150,000	100,000	6,300,000	200,000	6,500,000	2	set	3,150,000	100,000	6,300,000	200,000	6,500,000									
Exhaust Temperature System (PT.1000)		Included on Diesel Engine																											
Diesel Engine Instrument		Included on Diesel Engine																											
Control Measuring & Protection		Included on Diesel Engine																											
Daily/Service Tank & Aux Fuel oil piping from weekly tank (Existing) to daily tank c/w water separator SEPAR 2000/S, solenoid valve and accessories		Included on Diesel Engine																											
1	set	4,800,000	200,000	4,800,000	200,000	5,000,000	2	set	4,800,000	200,000	9,600,000	400,000	10,000,000	2	set	4,800,000	200,000	9,600,000	400,000	10,000,000									
Special Maintenance Tools & Testing Equip.		Excluded																											
Mandatory Spare Part & TO Spare Part		Excluded																											
1	lot	Excluded				Excluded	2	set	Excluded				Excluded	2	set	Excluded				Excluded									
0	lot	2,925,000	75,000			Excluded	0	lot	2,925,000	75,000			Excluded	0	lot	2,925,000	75,000			Excluded									
TOTAL A				7,950,000	300,000	8,250,000					15,900,000	600,000	16,500,000					15,900,000	600,000	16,500,000									
B		ELECTRICAL EQUIPMENT																											
Generator & Accessories		Included																											
CB Sirkon		Included																											
Control Panel ( Include Synchronaze Facility )		Included																											
1	set	94,500,000	3,500,000	94,500,000	3,500,000	98,000,000	2	set	94,500,000	3,500,000	189,000,000	7,000,000	196,000,000	2	set	94,500,000	3,500,000	189,000,000	7,000,000	196,000,000									
Trafa :		Excluded																											
Step Up 0.4/20		Excluded																											
NGR		Excluded																											
0	set	2,350,000	150,000	2,350,000	150,000	2,500,000	0	set	2,350,000	150,000	4,700,000	300,000	5,000,000	0	set	2,350,000	150,000	4,700,000	300,000	5,000,000									
Lightning Protection System		Excluded																											
Lightning System		Excluded																											
Earthing System Electrodes & Connections (Body)		Excluded																											
1	set	3,800,000	200,000	3,800,000	200,000	4,000,000	2	set	3,800,000	200,000	7,600,000	400,000	8,000,000	2	set	3,800,000	200,000	7,600,000	400,000	8,000,000									
Earth fault protection genset (Neutral)		Excluded																											
20kV Switch Gear		Excluded																											
0	lot	19,500,000	500,000			Excluded	0	lot	19,500,000	500,000			Excluded	0	lot	19,500,000	500,000			Excluded									
LV Switch Gear (Terminal box)		Excluded																											
1	lot	1,425,000	75,000	1,425,000	75,000	1,500,000	2	lot	1,425,000	75,000	2,850,000	150,000	3,000,000	2	lot	1,425,000	75,000	2,850,000	150,000	3,000,000									
Cable MV (max. 20 m <sup>2</sup> : 3C+1C x 35mm <sup>2</sup> )		Excluded																											
0	lot	28,650,000	1,350,000			Excluded	0	lot	28,650,000	1,350,000			Excluded	0	lot	28,650,000	1,350,000			Excluded									
Cable LV (max. 20 m <sup>2</sup> : 4x1Cx120mm <sup>2</sup> )		Excluded																											
0	lot	15,500,000	500,000			Excluded	0	lot	15,500,000	500,000			Excluded	0	lot	15,500,000	500,000			Excluded									
TOTAL B				105,875,000	4,125,000	110,000,000					211,750,000	8,250,000	220,000,000					211,750,000	8,250,000	220,000,000									
C		TRANSPORTATION																											
Local Transportation & Insurance ( Included Trafa If any )		Excluded																											
1	lot	73,525,000		73,525,000		73,525,000	2	lot	73,525,000		147,050,000		147,050,000	2	lot	73,525,000		147,050,000		147,050,000									
TOTAL C				73,525,000		73,525,000					147,050,000		147,050,000					147,050,000		147,050,000									
D		FOUNDATION																											
Foundation Genset		Excluded																											
Foundation Trafa / Panel		Excluded																											
TOTAL D																													
E		ERECTION & COM/INS.																											
Install		Excluded																											
Commissioning		Excluded																											
1	lot	31,000,000	9,000,000	31,000,000	9,000,000	40,000,000	2	lot	31,000,000	9,000,000	62,000,000	18,000,000	80,000,000	2	lot	31,000,000	9,000,000	62,000,000	18,000,000	80,000,000									
1	unit	19,000,000	1,000,000	19,000,000	1,000,000	20,000,000	2	unit	19,000,000	1,000,000	38,000,000	2,000,000	40,000,000	2	unit	19,000,000	1,000,000	38,000,000	2,000,000	40,000,000									
TOTAL E				50,000,000	10,000,000	60,000,000					100,000,000	20,000,000	120,000,000					100,000,000	20,000,000	120,000,000									
GRAND TOTAL				237,350,000	14,425,000	251,775,000					474,700,000	28,850,000	503,550,000					474,700,000	28,850,000	503,550,000									



REFERENCE PRICE SITE PROJECT

PT. PLN (Persero) - Scattered Project

NO.	PAPUA						PAPUA																												
	BIAK NUMFOR						BIAK NUMFOR																												
	WUNDI						DWTI																												
	100 (OPEN TYPE)						100 (OPEN TYPE)																												
27												28												29											
PROVINCE												PROVINCE												PROVINCE											
CITY												CITY												CITY											
LOCATION												LOCATION												LOCATION											
DIESEL GENSET CAPACITY ( KW )												DIESEL GENSET CAPACITY ( KW )												DIESEL GENSET CAPACITY ( KW )											
2												2												2											
Q'ty	Satuan	Harga				Sub Total (Material + Upah) (Rp.)	Q'ty	Satuan	Harga				Sub Total (Material + Upah) (Rp.)	Q'ty	Satuan	Harga				Sub Total (Material + Upah) (Rp.)															
		Material (Rp.)	Upah (Rp.)	Material (Rp.)	Upah (Rp.)				Material (Rp.)	Upah (Rp.)	Material (Rp.)	Upah (Rp.)				Material (Rp.)	Upah (Rp.)																		
A	MECHANICAL EQUIPMENT	Quoted Separately																																	
	Diesel Engine & Access	Quoted Separately																																	
	Containerized/Enclosure Diesel Engine, Gen & Aux w/o Wood Packing	Included on Diesel Engine																																	
	Unit System	Included on Diesel Engine																																	
	Fuel Oil System	Included on Diesel Engine																																	
	Lubricating Oil System	Included on Diesel Engine																																	
	Cooling Water	Included on Diesel Engine																																	
	Intake Air System	Included on Diesel Engine																																	
	Exhaust System ( 4" )	Included on Diesel Engine																																	
	Exhaust Temperature System (PT1000)	2	set	1,850,000	150,000	11,100,000	900,000	12,000,000	6	m	3,150,000	100,000	6,300,000	200,000	6,500,000	2	set	1,850,000	150,000	11,100,000	900,000	12,000,000	3	m	3,150,000	100,000	6,300,000	200,000	6,500,000						
	Engine Starting System	Included on Diesel Engine																																	
	Diesel Engine Instrument	Included on Diesel Engine																																	
	Control Measuring & Protection	Included on Diesel Engine																																	
	Daily/Service Tank & Aux Fuel oil piping from weekly tank (Existing) to daily tank c/w water separator SEPAR 2000/S, solenoid valve and accessories	Included on Diesel Engine																																	
	Special Maintenance Tools & Testing Equip.	Excluded																																	
	Mandatory Spare Part & TO Spare Part	Excluded																																	
	Consumable Materials (cat, UNP dll.)	Excluded																																	
	TOTAL A			27,000,000	1,500,000	28,500,000			27,000,000	1,500,000	28,500,000			13,500,000	750,000	14,250,000																			
B	ELECTRICAL EQUIPMENT	Included																																	
	Generator & Accessories	Included																																	
	CB Skinner	Included																																	
	Control Panel ( Include Synchronize Facility)	2	set	94,500,000	3,500,000	189,000,000	7,000,000	196,000,000	2	set	94,500,000	3,500,000	189,000,000	7,000,000	196,000,000	1	set	94,500,000	3,500,000	189,000,000	7,000,000	196,000,000	1	set	94,500,000	3,500,000	189,000,000	7,000,000	196,000,000						
	Trafo : Step Up 0.4/20	Excluded																																	
	NGR	Excluded																																	
	Lightning Protection System	2	set	2,350,000	150,000	4,700,000	300,000	5,000,000	0	set	2,350,000	150,000	4,700,000	300,000	5,000,000	0	set	2,350,000	150,000	4,700,000	300,000	5,000,000	0	set	2,350,000	150,000	4,700,000	300,000	5,000,000						
	Lighting System	Excluded																																	
	Earthing System Electrodes & Connections (Body)	2	set	3,800,000	200,000	7,600,000	400,000	8,000,000	2	set	3,800,000	200,000	7,600,000	400,000	8,000,000	1	set	3,800,000	200,000	7,600,000	400,000	8,000,000	1	set	3,800,000	200,000	7,600,000	400,000	8,000,000						
	Earth fault protection genset (Neutral)	Excluded																																	
	ZDW Switch Gear	Excluded																																	
	LV Switch Gear (Terminal box)	1	lot	39,000,000	1,000,000	1,000,000	40,000,000	39,000,000	1,000,000	1,000,000	39,000,000	1,000,000	40,000,000	39,000,000	1,000,000	1,000,000	39,000,000	1,000,000	40,000,000	39,000,000	1,000,000	1,000,000	39,000,000	1,000,000	40,000,000	39,000,000	1,000,000	1,000,000	39,000,000	1,000,000	40,000,000				
	Cable Control	Excluded																																	
	Cable MV (max. 20 m: 3C+1C x 35mm2)	0	lot	28,650,000	1,350,000	-	-	28,650,000	1,350,000	-	-	-	28,650,000	1,350,000	-	-	28,650,000	1,350,000	-	-	-	28,650,000	1,350,000	-	-	-	28,650,000	1,350,000	-	-	-				
	Cable LV (max. 20 m: 4x1Cx120mm2)	0	lot	15,500,000	500,000	-	-	15,500,000	500,000	-	-	-	15,500,000	500,000	-	-	15,500,000	500,000	-	-	-	15,500,000	500,000	-	-	-	15,500,000	500,000	-	-	-				
	TOTAL B			250,750,000	9,250,000	260,000,000			250,750,000	9,250,000	260,000,000			125,375,000	4,625,000	130,000,000																			
C	TRANSPORTATION	Local Transportation & Insurance (Included Trafo if any)																																	
	Local Transportation & Insurance (Included Trafo if any)	2	lot	102,575,000	205,150,000	-	205,150,000	102,575,000	205,150,000	-	205,150,000	102,575,000	205,150,000	-	205,150,000	102,575,000	205,150,000	-	205,150,000	102,575,000	205,150,000	-	205,150,000	102,575,000	205,150,000	-	205,150,000	102,575,000	205,150,000	-	205,150,000				
	TOTAL C			205,150,000	-	205,150,000			205,150,000	-	205,150,000			102,575,000	-	102,575,000																			
D	FOUNDATION	Foundation Genset																																	
	Foundation Genset	Excluded																																	
	Foundation Trafo / Panel	Excluded																																	
	TOTAL D			-	-	-			-	-	-			-	-	-																			
E	ERECTION & COM/INS.	Install Commissioning																																	
	Install Commissioning	2	lot	31,000,000	14,000,000	62,000,000	28,000,000	90,000,000	2	lot	31,000,000	14,000,000	62,000,000	28,000,000	90,000,000	1	lot	31,000,000	14,000,000	62,000,000	28,000,000	90,000,000	1	lot	31,000,000	14,000,000	62,000,000	28,000,000	90,000,000						
	TOTAL E			19,000,000	1,000,000	20,000,000			19,000,000	1,000,000	20,000,000			19,000,000	1,000,000	20,000,000																			
	GRAND TOTAL			582,900,000	40,750,000	623,650,000			582,900,000	40,750,000	623,650,000			291,450,000	20,375,000	311,825,000																			

REFERENCE PRICE SITE PROJECT

PT. PLN. (Persero) - Scattered Project

NO.	PROVINCE		KALIMANTAN TIMUR										KALIMANTAN UTARA										
	CITY		GEMAR BARU					MUARA BENGKAL					KAB. BERAU										
	LOCATION		200 (CONT. TYPE)					200 (CONT. TYPE)					BATU PUTIH										
	DIESEL GENSET CAPACITY ( KW )		6					7					8										
1	2	Q'ty	Satuan	Harga			Jmlh	Q'ty	Satuan	Harga			Sub Total	Q'ty	Satuan	Harga			Sub Total				
				(Rp.)			(Rp.)			Material (Rp.)	Upah (Rp.)	Material (Rp.)	Upah (Rp.)	(Material + Upah) (Rp.)			Material (Rp.)	Upah (Rp.)	Material (Rp.)	Upah (Rp.)	(Material + Upah) (Rp.)		
A	MECHANICAL EQUIPMENT Diesel Engine & Access	2	set	Quoted Separately					1	set	Quoted Separately					2	set	Quoted Separately					
	Containerized/Enclosure Diesel Engine, Gen & Aux w/o Wood Pecking	2	set	Included on Diesel Engine					1	set	Included on Diesel Engine					2	set	Included on Diesel Engine					
	Unit System																						
	Fuel Oil System	2	set	Included on Diesel Engine					1	set	Included on Diesel Engine					2	set	Included on Diesel Engine					
	Lubricating Oil System	2	set	Included on Diesel Engine					1	set	Included on Diesel Engine					2	set	Included on Diesel Engine					
	Cooling Water	2	set	Included on Diesel Engine					1	set	Included on Diesel Engine					2	set	Included on Diesel Engine					
	Intake Air System	2	set	Included on Diesel Engine					1	set	Included on Diesel Engine					2	set	Included on Diesel Engine					
	Exhaust System ( 5" )	2	set	Included on Diesel Engine					1	set	Included on Diesel Engine					2	set	Included on Diesel Engine					
	Exhaust Temperature System (PT1000)	0	m	1,850,000	150,000			0	m	1,850,000	150,000				1,850,000	150,000							
	Engine Starting System	2	set	3,150,000	100,000	6,300,000	200,000	6,500,000	2	set	3,150,000	100,000	3,150,000	100,000	3,250,000	2	set	3,150,000	100,000	6,300,000	200,000	6,500,000	
	Diesel Engine Instrument	2	set	Included on Diesel Engine					1	set	Included on Diesel Engine					2	set	Included on Diesel Engine					
	Control Measuring & Protection	2	set	Included on Diesel Engine					1	set	Included on Diesel Engine					2	set	Included on Diesel Engine					
	Daily/Service Tank & Aux Fuel oil piping from weekly tank (Existing) to daily tank c/w water separator SEPAR 2000/S, solenoid valve and accessories	2	set	Included on Diesel Engine					1	set	Included on Diesel Engine					2	set	Included on Diesel Engine					
	Special Maintenance Tools & Testing Equip.	2	set	4,800,000	200,000	9,600,000	400,000	10,000,000	1	set	4,800,000	200,000	4,800,000	200,000	5,000,000	2	set	4,800,000	200,000	9,600,000	400,000	10,000,000	
	Mandatory Spare Part & TO Spare Part	2	set	Excluded					1	set	Excluded					2	set	Excluded					
	Consumable Materials (cat, UNP dll.)	2	lot	Excluded					1	lot	Excluded					2	lot	Excluded					
	0	0	lot	3,900,000	100,000	-	-	-	0	lot	3,900,000	100,000	-	-	-	0	lot	3,900,000	100,000	-	-	-	
	<b>TOTAL A</b>					15,900,000	600,000	16,500,000					7,950,000	300,000	8,250,000					15,900,000	600,000	16,500,000	
B	ELECTRICAL EQUIPMENT Generator & Accessories	2	set	Included					1	set	Included					2	set	Included					
	CB Sinkron	2	set	Included					1	set	Included					2	set	Included					
	Control Panel ( Include Synchronze Facility)	2	set	104,000,000	4,000,000	208,000,000	8,000,000	216,000,000	1	set	104,000,000	4,000,000	104,000,000	4,000,000	108,000,000	2	set	104,000,000	4,000,000	208,000,000	8,000,000	216,000,000	
	Trafo - Step Up 0,4/20 NGR	2	unit	Excluded					1	unit	Excluded					2	unit	Excluded					
	Lightning Protection System	0	set	Excluded					0	set	Excluded					0	set	Excluded					
	Lighting System	2	set	2,350,000	150,000	4,700,000	300,000	5,000,000	1	set	2,350,000	150,000	2,350,000	150,000	2,500,000	2	set	2,350,000	150,000	4,700,000	300,000	5,000,000	
	Earthing System Electrodes & Connections (Body)	0	set	Excluded					0	set	Excluded					0	set	Excluded					
	Earth fault protection genset (Neutral)	2	set	3,800,000	200,000	7,600,000	400,000	8,000,000	1	set	3,800,000	200,000	3,800,000	200,000	4,000,000	2	set	3,800,000	200,000	7,600,000	400,000	8,000,000	
	20kV Switch Gear	2	set	3,800,000	200,000	7,600,000	400,000	8,000,000	1	set	3,800,000	200,000	3,800,000	200,000	4,000,000	2	set	3,800,000	200,000	7,600,000	400,000	8,000,000	
	LV Switch Gear (Terminal box)	0	lot	Excluded					0	lot	Excluded					0	lot	Excluded					
	Cable Control	2	lot	50,500,000	1,500,000	-	-	-	0	lot	25,250,000	750,000	-	-	-	0	lot	50,500,000	1,500,000	-	-	-	
	Cable MV (max. 20 m <sup>2</sup> : 3C+1C x 35mm <sup>2</sup> )	2	lot	1,425,000	75,000	2,850,000	150,000	3,000,000	1	lot	1,425,000	75,000	1,425,000	75,000	1,500,000	2	lot	1,425,000	75,000	2,850,000	150,000	3,000,000	
	Cable LV (max. 20 m <sup>2</sup> : 4x1Cx150mm <sup>2</sup> )	0	lot	28,650,000	1,350,000	-	-	-	0	lot	28,650,000	1,350,000	-	-	-	0	lot	28,650,000	1,350,000	-	-	-	
		0	lot	19,250,000	750,000	-	-	-	0	lot	19,250,000	750,000	-	-	-	0	lot	19,250,000	750,000	-	-	-	
	<b>TOTAL B</b>					230,750,000	9,250,000	240,000,000					115,375,000	4,625,000	120,000,000					230,750,000	9,250,000	240,000,000	
C	TRANSPORTATION Local Transportation & Insurance (Included Trafo )	2	lot	74,800,000		149,600,000		149,600,000	1	lot	74,800,000		74,800,000		74,800,000	2	lot	74,800,000		149,600,000		149,600,000	
	<b>TOTAL C</b>					149,600,000		149,600,000					74,800,000		74,800,000					149,600,000		149,600,000	
D	FOUNDATION Foundation Genset		Excluded	Excluded						Excluded	Excluded						Excluded	Excluded					
	Foundation Trafo / Panel		Excluded	Excluded						Excluded	Excluded						Excluded	Excluded					
	<b>TOTAL D</b>																						
E	ERECTION & COM/INS. Install Commissioning	2	lot	31,000,000	10,000,000	62,000,000	20,000,000	82,000,000	1	lot	31,000,000	10,000,000	31,000,000	10,000,000	41,000,000	2	lot	31,000,000	10,000,000	62,000,000	20,000,000	82,000,000	
		2	unit	19,000,000	1,000,000	38,000,000	2,000,000	40,000,000	1	unit	19,000,000	1,000,000	19,000,000	1,000,000	20,000,000	2	unit	19,000,000	1,000,000	38,000,000	2,000,000	40,000,000	
	<b>TOTAL E</b>					100,000,000	22,000,000	122,000,000					50,000,000	11,000,000	61,000,000					100,000,000	22,000,000	122,000,000	
	<b>GRAND TOTAL</b>					496,250,000	31,850,000	528,100,000					248,125,000	15,925,000	264,050,000					496,250,000	31,850,000	528,100,000	

REFERENCE PRICE SITE PROJECT

PT. PLN. (Persero) - Scattered Project

NO.	PROVINGE						MALUKU UTARA						LAIWUL																		
	CITY						HALMAHERA SELATAN						KAYOA																		
	LOCATION						KAYOA						LAIWUL																		
	DIESEL GENSET CAPACITY ( KW )						200 (OPEN TYPE)						200 (OPEN TYPE)																		
		42										43										44									
		Satuan		Jmih		Sub Total		Satuan		Jmih		Sub Total		Satuan		Jmih		Sub Total													
		Material (Rp.)	Upah (Rp.)	Material (Rp.)	Upah (Rp.)	Material (Rp.)	Upah (Rp.)	Material (Rp.)	Upah (Rp.)	Material (Rp.)	Upah (Rp.)	Material (Rp.)	Upah (Rp.)	Material (Rp.)	Upah (Rp.)	Material (Rp.)	Upah (Rp.)	Material (Rp.)	Upah (Rp.)												
A	MECHANICAL EQUIPMENT																														
	Diesel Engine & Access																														
	1	set	Quoted Separately																												
	Containerized/Enclosure Diesel Engine, Gen & Aux w/o Wood Packing																														
	0	set	19,000,000	1,000,000	-	-	-	-	19,000,000	1,000,000	-	-	-	-	19,000,000	1,000,000	-	-	-	-											
	Unit System																														
	1	set	Included on Diesel Engine																												
	Fuel Oil System																														
	1	set	Included on Diesel Engine																												
	Lubricating Oil System																														
	1	set	Included on Diesel Engine																												
	Cooling Water																														
	1	set	Included on Diesel Engine																												
	Intake Air System																														
	1	set	Included on Diesel Engine																												
Exhaust System ( 5" )																															
3	m	1,850,000	150,000	5,550,000	450,000	6,000,000	6	m	1,850,000	150,000	11,100,000	900,000	12,000,000	6	m	1,850,000	150,000	11,100,000	900,000	12,000,000											
Exhaust Temperature System (PT1000)																															
1	set	3,150,000	100,000	3,150,000	100,000	3,250,000	2	set	3,150,000	100,000	6,300,000	200,000	6,500,000	2	set	3,150,000	100,000	6,300,000	200,000	6,500,000											
Engine Starting System																															
1	set	Included on Diesel Engine																													
Diesel Engine Instrument																															
1	set	Included on Diesel Engine																													
Control Measuring & Protection																															
1	set	Included on Diesel Engine																													
Daily/Service Tank & Aux Fuel oil piping from weekly tank (Existing) to daily tank c/w water separator SEPAR 2000/5, solenoid valve and accessories																															
1	set	4,800,000	200,000	4,800,000	200,000	5,000,000	2	set	4,800,000	200,000	9,600,000	400,000	10,000,000	2	set	4,800,000	200,000	9,600,000	400,000	10,000,000											
Special Maintenance Tools & Testing Equip.																															
1	set	Excluded																													
Mandatory Spare Part & TO Spare Part																															
1	lot	Excluded																													
Consumable Materials (cat, UNP dll.)																															
0	lot	3,900,000	100,000	-	-	-	2	lot	3,900,000	100,000	-	-	-	2	lot	3,900,000	100,000	-	-	-											
TOTAL A				13,500,000	750,000	14,250,000				27,000,000	1,500,000	28,500,000				27,000,000	1,500,000	28,500,000													
B	ELECTRICAL EQUIPMENT																														
	Generator & Accessories																														
	1	set	Included																												
	CB Sirkon																														
	1	set	Included																												
	Control Panel ( Include Synchronize Facility)																														
	1	set	104,000,000	4,000,000	104,000,000	4,000,000	108,000,000	2	set	104,000,000	4,000,000	208,000,000	8,000,000	216,000,000	2	set	104,000,000	4,000,000	208,000,000	8,000,000	216,000,000										
	Trafo :																														
	Step Up 0.4/20																														
	1	unit	Excluded																												
	NGR																														
	0	set	Excluded																												
	Lightning Protection System																														
	1	set	2,350,000	150,000	2,350,000	150,000	2,500,000	2	set	2,350,000	150,000	4,700,000	300,000	5,000,000	2	set	2,350,000	150,000	4,700,000	300,000	5,000,000										
	Earthing System Electrodes & Connections (Body)																														
1	set	3,800,000	200,000	3,800,000	200,000	4,000,000	2	set	3,800,000	200,000	7,600,000	400,000	8,000,000	2	set	3,800,000	200,000	7,600,000	400,000	8,000,000											
Earth fault protection genset (Neutral)																															
1	set	3,800,000	200,000	3,800,000	200,000	4,000,000	2	set	3,800,000	200,000	7,600,000	400,000	8,000,000	2	set	3,800,000	200,000	7,600,000	400,000	8,000,000											
20kV Switch Gear																															
0	lot	Excluded																													
LV Switch Gear (Terminal box)																															
0	lot	25,250,000	750,000	-	-	1,500,000	0	lot	50,500,000	1,500,000	2,850,000	150,000	3,000,000	0	lot	50,500,000	1,500,000	2,850,000	150,000	3,000,000											
Cable Control																															
1	lot	1,425,000	75,000	1,425,000	75,000	-	2	lot	1,425,000	75,000	-	-	-	2	lot	1,425,000	75,000	-	-	-											
Cable MV (max. 20 m²: 3C+1C x 35mm²)																															
0	lot	28,650,000	1,350,000	-	-	-	0	lot	28,650,000	1,350,000	-	-	-	0	lot	28,650,000	1,350,000	-	-	-											
Cable LV (max. 20 m²: 4x1Cx150mm²)																															
0	lot	19,250,000	750,000	-	-	-	0	lot	19,250,000	750,000	-	-	-	0	lot	19,250,000	750,000	-	-	-											
TOTAL B				115,375,000	4,625,000	120,000,000				230,750,000	9,250,000	240,000,000				230,750,000	9,250,000	240,000,000													
C	TRANSPORTATION																														
	Local Transportation & Insurance ( Included Trafo )																														
1	lot	101,200,000	-	101,200,000	-	101,200,000	2	lot	101,200,000	-	202,400,000	-	202,400,000	2	lot	101,200,000	-	202,400,000	-	202,400,000											
TOTAL C				101,200,000	-	101,200,000				202,400,000	-	202,400,000				202,400,000	-	202,400,000	-												
D	FOUNDATION																														
	Foundation Genset																														
	Excluded	Excluded																													
Foundation Trafo / Panel																															
	Excluded	Excluded																													
TOTAL D				-	-	-				-	-	-				-	-	-													
E	ERECTION & COM/INS.																														
	Install																														
	1	lot	31,000,000	15,000,000	31,000,000	15,000,000	46,000,000	2	lot	31,000,000	15,000,000	62,000,000	30,000,000	92,000,000	2	lot	31,000,000	15,000,000	62,000,000	30,000,000	92,000,000										
Commissioning																															
1	unit	19,000,000	1,000,000	19,000,000	1,000,000	20,000,000	2	unit	19,000,000	1,000,000	38,000,000	2,000,000	40,000,000	2	unit	19,000,000	1,000,000	38,000,000	2,000,000	40,000,000											
TOTAL E				50,000,000	16,000,000	66,000,000				100,000,000	32,000,000	132,000,000				100,000,000	32,000,000	132,000,000													
GRAND TOTAL				280,075,000	21,375,000	301,450,000				560,150,000	42,750,000	602,900,000				560,150,000	42,750,000	602,900,000													