



TUGAS AKHIR - EE 184801

**ANALISIS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PADA PT. PLN
(PERSERO) UNIT LAYANAN PELANGGAN GEDANGAN DENGAN
METODE FMEA (FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS)**

Bintan Aulia Izzaty
NRP 07111745000061

Dosen Pembimbing
I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, ST., MT.
Dr. Ir. Soedibyo, M. MT

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

**ANALISIS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PADA PT. PLN
(PERSERO) UNIT LAYANAN PELANGGAN GEDANGAN DENGAN
METODE FMEA (FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS)**

Bintan Aulia Izzaty
NRP 07111745000061

Dosen Pembimbing
I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, ST., MT.
Dr. Ir. Soedibyo, M. MT

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - EE 184801

**RELIABILITY DISTRIBUTION SYSTEM ANALYSIS 20 KV OF
PT PLN (PERSERO) UNIT LAYANAN PELANGGAN
GEDANGAN WITH FMEA (FAILURE MODES AND EFFECT
ANALYSIS) METHOD**

Bintan Aulia Izzaty
NRP 07111745000061

Advisor

I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, ST., MT.
Dr. Ir. Soedibyo, M. MT

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 KV pada PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Gedangan dengan Metode FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*)**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Mei 2019



Bintang Aulia Izzaty
NRP. 07111745000061

**ANALISIS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PADA
PT. PLN (PERSERO) UNIT LAYANAN PELANGGAN DENGAN
METODE FMEA (FAILURE METHOD AND EFFECTS
ANALYSIS)**

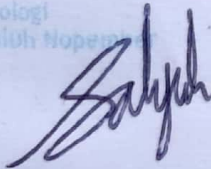
TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

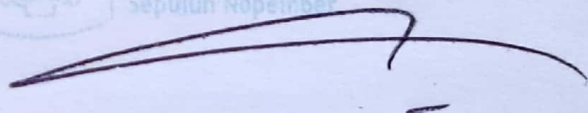
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



I Gusti Ngurah Satriyadi H, S.T., M. T
NIP: 197301232002121001

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Soedibyo, M. MT
NIP: 195512071980031004



ANALISIS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PADA PT. PLN (PERSERO) UNIT LAYANAN PELANGGAN GEDANGAN DENGAN METODE FMEA (FAILURE MODES AND EFFECT ANALYSIS)

Bintan Aulia Izzaty
0711174500061

Dosen Pembimbing 1 : I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, S.T., M. T
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Ir. Soedibyo, M. MT

ABSTRAK

Pada tugas akhir bertujuan untuk menghitung indeks keandalan dari sistem distribusi tenaga listrik di Unit Layanan Pelanggan Gedangan. Metode yang digunakan dalam menghitung indeks keandalan di tugas akhir ini adalah menggunakan metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), dimana metode ini memperhitungkan indeks kegagalan pada tiap – tiap peralatan yang membentuk sistem distribusi tenaga listrik sehingga dapat mempresentasikan indeks keandalan sistem dalam keseluruhan. Indeks keandalan yang telah didapat akan membimbing dalam menentukan penyulang mana yang perlu mendapatkan peningkatan keandalannya dengan cara memasang peralatan sectionalizer dan fuse.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisis pada penyulang A. Yani didapatkan nilai indeks keandalan SAIFI sebesar 2,4534 dan nilai indeks keandalan SAIDI sebesar 4,4765. Setelah dilakukan upaya peningkatan keandalan dengan penambahan sectionalizer dan fuse, maka didapat hasil perbaikan untuk nilai indeks keandalan SAIFI sebesar 2,2640 dan nilai indeks keandalan SAIDI sebesar 3,2851.

Kata kunci : Keandalan, Distribusi 20 kV, SAIDI, SAIFI dan Metode FMEA

Halaman ini sengaja dikosongkan

RELIABILITY DISTRIBUTION SYSTEM ANALYSIS 20 KV OF PT. PLN (PERSERO) UNIT LAYANAN PELANGGAN GEDANGAN WITH FMEA (FAILURE MODES AND EFFECT ANALYSIS) METHOD

Bintan Aulia Izzaty
07111745000061

1st Advisor : I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, S.T., M. T.
2nd Advisor : Dr. Ir. Soedibyo, M. MT

ABSTRACT

In the final project aims to calculate the reliability index of power distribution system in ULP Gedangan. The method used in calculating reliability index in this final project is using FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) method, where this method takes into account the failure index on each equipment that make up the power distribution system so that it can present the overall system reliability index. The reliability index that has been obtained will guide in determining which repeater needs to get its reliability enhancement by installing sectionalizer and fuse equipment.

According to the analysis result from A. Yani feeder, value of SAIFI reliability indices is 2,4534 and valuse of SAIDI reliability indices is 4,4765. After improve the reliability indices value by added sectionalizer and fuse components the result of SAIFI reliability indices value become 2,2640 and the SAIDI reliability indices become 3,2851.

Keywords : Reliability, Distribution 20 kV, SAIDI, SAIFI and FMEA Method

This Page is Left Blank

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul ***“Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 kV pada PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Gedung dengan Metode FMEA (Failure Modes and Effect Analysis)”***.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna baik dalam penyusunan, maupun dalam pembahasan dan analisa permasalahan. Hal ini tidak terlepas dari keterbatasan pengetahuan dan pemahaman penulis. Maka dari itu penulis mohon maaf atas ketidak sempurnaannya dalam menyusun laporan Tugas Akhir ini.

Selain itu penulis juga menyadari bahwa selama proses penyusunan laporan Tugas Akhir tidak lepas dari kendala-kendala, namun berkat nasihat, bimbingan, bantuan dari berbagai pihak dan berkah dari Allah SWT sehingga semua kendala yang ada dapat diatasi oleh penulis. Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah melancarkan semua urusan saya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua dan kedua kakak saya yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, nasehat dan doanya selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, S. T., M. T., selaku Dosen Pembimbing I, serta Dr. Ir. Soedibyo, M. MT., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan, saran serta bimbingan kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir dan selama perkuliahan di Teknik Elektro.
4. Teman-teman Lintas Jalur Teknik Elektro 2017 dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan, yang juga memberikan banyak dukungan selama proses penyelesaian tugas akhir ini.

Besar harapan penulis semoga pengerjaan Tugas Akhir ini dapat dicatat sebagai amal ibadah di sisi Allah SWT dan semoga buku laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, Mei 2019

Bintan Aulia Izzaty

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR RUMUS	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi	4

BAB II

SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20KV

2.1 Sistem Tenaga Listrik	5
2.2 Gardu Induk	6
2.2.1 Klasifikasi Gardui Induk	7
2.2.2 Peralatan Gardu Induk	7
2.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	8
2.3.1 Sistem Radial	9
2.3.1.1 Sistem Radial Pohon	9
2.3.1.2 Sistem Radial dengan Tie dan Switch Pemisah	10
2.3.1.3 Sistem Radial dengan Pembagi Fasa Area	10
2.3.2 Sistem Lingkar (loop)	11
2.3.3 Sistem Spindel	12
2.3.4 Sistem Gugus atau Kluster	13

2.4	Komponen pada SUTM.....	13
2.4.1	Peralatan Hubung (Switch)	13
2.4.2	Peralatan Proteksi SUTM.....	13
2.4.2.1	Pemisah dengan Pengaman Lebur (Fuse Cut Out)	13
2.4.2.2	Pemutus Balik Otomatis (PBO, Automatic Recloser)	14
2.4.2.3	Saklar Seksi Otomatis (Sectionalizer)	14
2.5	Gangguan pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik	14
2.5.1	Jenis Gangguan	15
2.5.1.1	Gangguan Satu Fasa ke Tanah.....	15
2.5.1.2	Gangguan Dua Fasa ke Tanah	16
2.5.1.3	Gangguan Fasa ke Fasa	16
2.5.1.4	Gangguan Tiga Fasa ke Tanah	16
2.5.2	Pengaruh Gangguan Terhadap Sistem Distribusi	16

BAB III

KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DAN FMEA

3.1	Definisi Dalam Keandalan Distribusi	17
3.2	Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Indeks Keandalan.....	18
3.3	Definisi Indeks Keandalan Sistem Distribusi 20 kV	19
3.3.1	SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)	19
3.3.2	SAIDI (System Average Interruption Duration Index)	19
3.3.3	CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index)	20
3.3.4	AENS (Average Energy Not Supplied).....	20
3.4	Standar Keandalan Sistem Distribusi 20 kV.....	21
3.5	Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)	21
3.6	Contoh Evaluasi Keandalan.....	24

BAB IV

EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PT.PLN ULP GEDANGAN

4.1	Model Sistem.....	29
4.2	Penyulang Wage	30
4.3	Hasil Perhitungan Indeks Keandalan FMEA.....	33
4.3.1	Indeks Keandalan Penyulang Wage.....	33
4.3.2	Hasil Perhitungan Indeks keandalan Penyulang Lainnya	36
4.4	Simulasi Keandalan Menggunakan Software ETAP	39

4.4.1	Evaluasi Hasil Simulasi Menggunakan Software ETAP dan Excel FMEA	40
4.4.2	Hasil Indeks Keandalan Simulasi Menggunakan Software ETAP dan Excel FMEA Penyulang Lainnya	41
4.5	Upaya Meningkatkan Indeks Keandalan	42
4.6	Upaya Meningkatkan Indeks Keandalan A. Yani.....	43

BAB V

PENUTUP

	Kesimpulan.....	45
--	-----------------	----

DAFTAR PUSTAKA	47
-----------------------------	----

RIWAYAT PENULIS	49
------------------------------	----

LAMPIRAN	51
-----------------------	----

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Jaringan Sistem Tenaga Listrik.....	5
Gambar 2. 2 Sistem Radial Pohon	10
Gambar 2. 3 Sistem Radial dengan Tie dan Switch Pemisah	10
Gambar 2. 4 Sistem Radial dengan Pembagian Fasa.....	11
Gambar 2. 5 Sistem Loop	12
Gambar 3. 1 Skema FMEA	22
Gambar 3. 2 Prosedur FMEA	23
Gambar 3. 3 Contoh jaringan penyulang.....	24
Gambar 4. 1(a) Nilai SAIFI Antar Penyulang	37
Gambar 4. 1(b) Nilai SAIDI Antar Penyulang	37
Gambar 4. 1(c) Nilai CAIDI Antar Penyulang	38
Gambar 4. 1(d) Nilai ASAI Antar Penyulang	38
Gambar 4. 1(e) Nilai ASUI Antar Penyulang.....	39

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3. 1 Standart Nilai Laju Kegagalan	21
Tabel 3. 2 Mode Kegagalan dan Pengaruh Terhadap Sistem	26
Tabel 3. 3 Mode Kegagalan dan Pengaruh Terhadap Sistem (Lanjutan)	27
Tabel 3. 4 Panjang Saluran	27
Tabel 3. 5 Indeks Keandalan Gambar 3.3	27
Tabel 4. 1 Data Saluran dan Pelanggan Penyulang Wage	30
Tabel 4. 2 Data Saluran dan Pelanggan Penyulang Wage (lanjutan) .	31
Tabel 4. 3 Panjang Saluran Penyulang Wage	31
Tabel 4. 4 Panjang Saluran Penyulang Wage (lanjutan)	32
Tabel 4. 5 Panjang Saluran Penyulang Wage (lanjutan)	33
Tabel 4. 6 Standar Laju Kegagalan PLN	33
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Keandalan Penyulang Wage	33
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Keandalan Penyulang Wage (lanjutan)	34
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Keandalan Penyulang Wage(lanjutan).	35
Tabel 4. 10 Nilai Indeks Keandalan Penyulang Wage	35
Tabel 4. 11 Nilai Indeks Keandalan Penyulang Soda.....	36
Tabel 4. 12 Nilai Indeks Keandalan Penyulang UBM.....	36
Tabel 4. 13 Nilai Indeks Keandalan Penyulang GMS	36
Tabel 4. 14 Nilai Indeks Keandalan Penyulang A. Yani	36
Tabel 4. 15 Perbandingan Nilai Indeks Keandalan Penyulang Wage	38
Tabel 4. 16 Perbandingan Nilai Indeks Keandalan Penyulang Soda..	39
Tabel 4. 17 Perbandingan Nilai Indeks Keandalan Penyulang UBM.	40
Tabel 4. 18 Perbandingan Nilai Indeks Keandalan Penyulang GMS .	42
Tabel 4. 19 Perbandingan Nilai Indeks Keandalan Penyulang AYani	42
Tabel 4. 20 Sebelum dan Sesudah Perbaikan Metode FMEA	43
Tabel 4. 21 Sebelum dan Sesudah Perbaikan Menggunakan ETAP ..	44

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR RUMUS

	Halaman
Tabel 3. 1 Persamaan SAIFI.....	19
Tabel 3. 2 Persamaan SAIDI	20
Tabel 3. 3 Persamaan CAIDI.....	20
Tabel 3. 4 Persamaan AENS	20
Tabel 3. 5 Persamaan ENS	20
Tabel 3. 6 Persamaan Frekuensi Kegagalan	23
Tabel 3. 7 Persamaan Lama atau Durasi Gangguan Tahunan	23

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

1) Single Line Penyulang Wage	51
2) Single Line Penyulang Soda.....	52
3) Single Line Penyulang UBM.....	53
4) Single Line Penyulang GMS	54
5) Single Line Penyulang A. Yani	55
6) Hasil Metode FMEA Penyulang Wage	56
7) Hasil Metode FMEA Penyulang Soda	57
8) Hasil Metode FMEA Penyulang UBM	58
9) Hasil Metode FMEA Penyulang GMS	59
10) Hasil Metode FMEA Penyulang A. Yani	60
11) Hasil Metode FMEA Perbaikan Penyulang A. Yani	61
12) Hasil ETAP Penyulang Wage	62
13) Hasil ETAP Penyulang Soda	63
14) Hasil ETAP Penyulang UBM	64
15) Hasil ETAP Penyulang GMS	65
16) Hasil ETAP Penyulang A. Yani	66
17) Hasil ETAP Perbaikan Penyulang A. Yani	67

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemerintah melalui PT. PLN (Persero) bagian sistem distribusi tenaga listrik berperan penting dalam kebijakan energi nasional untuk menyediakan meningkatkan mutu, keandalan serta kontinuitas energi listrik dalam menyalurkan energi listrik dari sistem transmisi menuju ke beban dan pelanggan. Evaluasi keandalan sistem pada jaringan distribusi 20 kV sebagai upaya penting dalam meningkatkan dan menjamin penanganan secara benar terhadap permasalahan yang ada, sehingga dapat mengantisipasi terjadinya gangguan serta mengurangi kerugian akibat energi yang tidak tersuplai dengan baik pada sistem distribusi.

Keandalan suatu jaringan distribusi dari suatu pnyulang dapat digambarkan melalui besaran indeks – indeks keandalan berdasarkan standar PLN, yaitu *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) yang merupakan indeks keandalan berdasarkan seringnya atau jumlah terjadinya pemadaman. *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) yang merupakan indeks keandalan berdasarkan durasi atau lamanya pemadaman. *Customer Average Interruption Duration Index* (CAIDI) yang merupakan indeks perbandingan antara SAIDI dengan SAIFI. *Average Service Availability Index* (ASAI) yang merupakan indeks keandalan kemampuan sistem dalam menjaga ketersediaan energy listrik.

Banyak komponen yang terlibat dalam proses distribusi listrik agar proses penyaluran daya listrik kepada konsumen tetap handal, maka tingkat kehandalan penyulang tersebut harus dijaga. Salah satu cara untuk mengetahui indeks keandalannya dengan menggunakan metode FMEA. *Failure modes* mengarah pada mode kegagalan dan *effects analysis* yang mengarah pada studi tentang konsekuensi dari kegagalan tersebut.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Menghitung Indeks Keandalan SAIFI, SAIDI dan CAIDI berdasarkan laju kegagalan (Failure Rate), waktu perbaikan rata-rata, Switching time serta jumlah konsumen pada setiap titik beban (load point).
2. Menentukan titik lokasi yang memerlukan perbaikan keandalan.

3. Solusi untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi tenaga listrik 20 kV yang memerlukan perbaikan keandalan.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengidentifikasi mode kegagalan
2. Menghitung Indeks-indeks keandalan berdasarkan data monitoring kegagalan
3. Mengevaluasi tindakan perbaikan atau pencegahan terhadap mode kegagalan dalam upaya meningkatkan keandalan penyulang

1.4 Batasan Masalah

Batasan Masalah dalam tugas akhir ini adalah :

1. Sistem distribusi tegangan menengah 20 kV
2. Metode analisa yang digunakan menggunakan metode FMEA
3. Tanpa menganalisa cost analysis, management analysis, maupun maintenance analysis
4. Indeks keandalan mengacu pada Standar PLN

1.5 Metodologi

Metode yang digunakan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur
Meliputi studi mengenai keandalan sistem dan petunjuk matematis dalam keandalan jaringan distribusi 20 kV menggunakan metode FMEA.
2. Pengumpulan data
Meliputi pengumpulan data mengenai sistem jaringan distribusi 20 kV dalam menganalisa keandalan dengan metode FMEA, yang meliputi struktur jaringan distribusi, data nilai laju kegagalan (*failure rate*), potensi efek kegagalan peralatan pada jaringan distribusi, mode kegagalan dan waktu perbaikan rata-rata yang diterapkan di PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Gedangan guna dilakukan analisa.
3. Pengolahan dan analisis data
Menginterpretasikan data yang diperoleh dengan dilakukan pemodelan sistem menggunakan software ETAP dan perhitungan manual menggunakan Excel. Pemodelan yang

dibuat yaitu sistem jaringan distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Gedangan dan memasukkan data monitoring keandalan, dalam hal ini SAIDI dan SAIFI. Metode ini akan didapatkan nilai indeks keandalan pada setiap bagian lokasi jaringan yang memerlukan perbaikan keandalan.

4. Perbaikan Keandalan

Apabila telah didapatkan indeks keandalan namun belum sesuai dengan target standart dari PLN, maka perlu dilakukan upaya perbaikan keandalan dengan menambahkan peralatan listrik seperti fuse dan saklar/switch sehingga mampu didapatkan indeks keandalan yang lebih baik lagi.

5. Pembuatan Kesimpulan dan laporan tugas akhir

Dari hasil analisa maka didapat kesimpulan dan Melakukan penulisan laporan yang menunjukkan hasil akhir dari tugas akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

BAB 1 : Pendahuluan

Bab ini merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB 2 : Landasan Teori

Bab ini diuraikan teori – teori yang digunakan dalam pembuatan penelitian, diantaranya yaitu teori Pembahasan mengenai Sistem Tenaga Listrik, Gardu Induk, Sistem Distribusi, Peralatan Sistem Distribusi, Serta gangguan pada sistem distribusi.

BAB 3: Keandalan Sistem Distribusi 20 kV

Bab ini membahas tentang keandalan sistem distribusi 20 kV disertai dengan data penunjang yang dibutuhkan guna menghitung indeks keandalannya menggunakan FMEA.

BAB 4 : Analisa Data

Bab ini membahas tentang Analisa keandalan menggunakan metode FMEA, lalu dilanjutkan dengan upaya perbaikan keandalan

BAB 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisa keandalan.

1.7 Relevansi

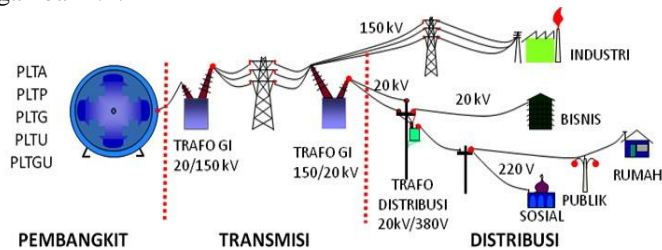
Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui apakah keandalan penyulang jaringan distribusi 20 kV menggunakan metode FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) dengan mempertimbangkan nilai SAIDI dan SAIFI yang diterapkan pada PT. PLN (Persero) ULP Gedangan sudah dinyatakan handal dalam proses penyaluran tenaga listrik ke konsumen, sehingga dapat diketahui penyulang mana yang memerlukan perbaikan dalam keandalan sistem distribusi listriknya untuk diperbaiki dan ditingkatkan keandalannya.

BAB II

SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20KV

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Saat ini kebutuhan listrik semakin meningkat untuk kehidupan sehari-hari. Sistem distribusi tenaga listrik dalam penyaluran energi listrik dari pembangkit listrik menuju beban. Sumber tenaga listrik dibangkitkan dari pusat-pusat pembangkit listrik seperti PLTU, PLTA, PLTG. Tenaga listrik yang telah terbangkit kemudian disalurkan melalui saluran transmisi dan kemudian dilanjutkan ke distribusi listrik ke beban – beban seperti gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Jaringan Sistem Tenaga Listrik

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh Gardu Induk (GI) dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir (I^2R). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil. Selanjutnya disalurkan melalui saluran transmisi.

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurunan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt.

Pada PT. PLN (persero) ULP Gedangan terdapat 20 penyulang yang disalurkan melalui trafo penurun tegangan 150/20 kV dari 5 trafo Gardu Induk Waru, 1 trafo Gardu Induk Wonorejo dan 4 trafo Gardu Induk Rungkut. Trafo GI Waru yang memiliki daya 60 MVA terdapat penyulang A. Yani, Bungurasih, Ketapang, Medaeng, Pabean 1, Pepelegi, Purabaya, Sawotratap, Soda, Trias 1, Trias 2, UBM, Wage. Trafo GI Wonorejo memiliki daya sebesar 60 MVA. Trafo GI Wonorejo terdapat penyulang Kalanganyar. Sedangkan trafo GI Rungkut memiliki daya lebih kecil dibandingkan dengan trafo GI Waru dan GI Wonorejo yaitu sebesar 50 MVA. Trafo GI Rungkut terdapat penyulang Deltasari, GMS, Kepuh Kiriman, Ngingas, Pabean 2, Tropodo.

Kondisi beban kelistrikan ULP Gedangan bahwa beban konsumen kelistrikannya adalah dipergunakan oleh beban rumah tangga dan beban besar layaknya pabrik yang sering di jumpai di kota – kota di Jawa Timur. Meskipun demikian keandalan sistem distribusi tetap harus dijaga dan ditingkatkan untuk menjaga kontinuitas dan kepuasan pelanggan.

Sistem kelistrikan Sidoarjo berbatas dengan daerah Surabaya bagian selatan yang disuplai dari sistem transmisi 150 kV PLN. Suplai dari transmisi 150 kV akan diturunkan tegangannya menggunakan trafo penurun tegangan ke 20 kV dengan kapasitas masing – masing trafo. Selanjutnya dari 20 kV akan disalurkan ke masing – masing penyulang untuk didistribusikan.

2.2 Gardu Induk (GI)

Gardu Induk merupakan suatu instalasi yang terdiri dari sekumpulan peralatan listrik tegangan tinggi yang memiliki fungsi sebagai transformasi daya listrik dan pengaman sistem tenaga listrik serta tempat pengaturan daya sistem distribusi melalui penyulang. Gardu Induk mentransformasikan daya :

- Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500 KV/150 KV).
- Dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah (150 KV/ 70 KV).
- Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 KV/ 20 KV, 70 KV/20 KV).
- Dengan frekuensi tetap (di Indonesia 50 Hertz).

2.2.1 Klasifikasi Gardu Induk

Menurut fungsi dari gardu induk, gardu induk dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Gardu Induk Penaik Tegangan

Gardu induk penaik tegangan berfungsi sebagai penaik tegangan dengan cara menaikkan tegangan pembangkit listrik menjadi tegangan sistem. Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh pembangkit listrik relatif kecil dan harus disalurkan pada jarak yang jauh, maka tegangannya dinaikkan menjadi tegangan ekstra tinggi atau tegangan tinggi guna mengurangi rugi – rugi.

2. Gardu induk penurun tegangan

Gardu induk penurun tegangan berfungsi sebagai menurunkan tegangan, dari tegangan tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah dan menengah atau tegangan distribusi.

3. Gardu distribusi

Gardu distribusi adalah gardu yang menyalurkan tenaga listrik dari tegangan sistem ke tegangan distribusi. Gardu distribusi terletak di dekat pusat-pusat beban, karena di gardu induk inilah pelanggan (beban) dilayani.

2.2.2 Peralatan Gardu Induk

Peralatan dalam sebuah gardu induk bergantung pada tipe gardu induk, fungsi, serta tingkat proteksi yang diinginkan. Secara umum, sebuah gardu induk memiliki peralatan utama sebagai berikut:

1. Transformator daya

Transformator ini berfungsi menyalurkan besaran daya tertentu dengan mengubah besaran tegangannya baik menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan sebagai jantung dari transmisi dan distribusi.

2. Circuit Breaker (CB)

Circuit Breaker merupakan peralatan pada sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk memutuskan hubungan antara sisi sumber tenaga listrik dan sisi beban. Circuit Breaker dapat membuka atau menutup rangkaian baik pada kondisi kerja normal maupun pada saat terjadi kegagalan.

3. Disconnecting Switch (DS)

Disconnecting Switch merupakan peralatan pada sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk memisahkan rangkaian listrik dalam keadaan tidak berbeban. Disconnecting Switch terpasang di antara sumber tenaga listrik dan CB serta di antara CB dan beban dilengkapi dengan Earthing Switch. Pada umumnya DS tidak dapat memutuskan arus. Meskipun ia dapat memutuskan arus yang kecil, misalnya arus pembangkitan trafo atau arus pemuatan riil, namun membuka atau menutup DS harus dilakukan setelah membuka CB terlebih dahulu. Untuk menjamin agar kesalahan urutan operasi tidak terjadi, maka harus ada keadaan saling mengunci (interlock) antara CB dan DS. Di dalam rangkaian kontrolnya, rangkaian interlock akan mencegah bekerjanya DS apabila CB masih dalam keadaan tertutup.

4. Trafo ukur

Trafo ukur berfungsi sebagai mengukur tegangan atau arus listrik. Trafo ukur terdiri dari trafo arus (current transformer) dan trafo tegangan (potential transformer). Penggunaan trafo ukur dikoordinasikan dengan alat ukur (meter) sehingga besaran arus atau tegangan pada sistem dapat ditampilkan pada alat ukur, yaitu dengan terlebih dahulu mengkonversikan besaran tersebut ke besaran yang lebih kecil yang dapat diterima oleh alat ukur.

5. Lightning Arrester

Lightning Arrester (LA) merupakan peralatan yang berfungsi untuk melindungi peralatan listrik lain dari tegangan surja (baik surja hubung maupun surja petir). Bila terjadi surja atau petir, maka arrester berfungsi melepaskan muatan listrik (discharge), serta mengurangi tegangan berlebih yang akan mengenai peralatan di dalam gardu induk.

2.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai penyalur tenaga listrik dari gardu induk sampai menuju ke beban atau konsumen.

Secara umum fungsi sistem distribusi adalah :

1. pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan)
2. merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Dalam pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beban, di Indonesia dalam hal ini PT. PLN menggunakan tegangan di level 20kV untuk penyaluran distribusi primer dan level tegangan 220/380V untuk penyaluran distribusi sekunder.

Pada level tegangan 20kV atau jaringan distribusi primer, terdapat beberapa macam bentuk jaringan yang digunakan. Secara mendasar tipe jaringan dibedakan menjadi jaringan radial, jaringan lingkaran (loop) jaringan spindel dan jaringan gugus.

2.3.1 Sistem Radial

Sistem yang paling sering digunakan adalah sistem distribusi radial karena sistem tersebut yang paling sederhana dan paling murah untuk dibangun. Selain itu operasi dan ekspansi sistem lebih sederhana. Sistem radial tidak dapat diandalkan seperti kebanyakan sistem kecuali komponen yang digunakan memiliki kualitas yang baik. Kesalahan atau kehilangan kabel, pasokan utama, atau transformator akan mengakibatkan pemadaman pada semua beban yang dilayani oleh feeder. Selain itu, layanan listrik akan terputus ketika setiap melakukan pemeliharaan.

Sistem radial dapat ditingkatkan dengan memasang circuit breaker otomatis yang akan Reclose penyulang pada interval yang telah ditentukan. Jika kesalahan berlanjut setelah jumlah yang telah ditetapkan, maka circuit breaker akan mengunci dan memutus jaringan hingga gangguan tidak ada.

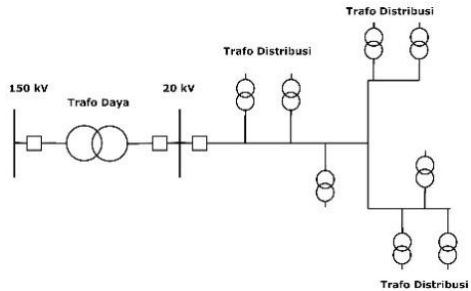
Selain menggunakan recloser untuk meningkatkan keandalan, pada jaringan radial juga dipasang line switch berupa load breaker switch, sectionalizer yang berfungsi sebagai melokalisasi daerah gangguan. Sehingga daerah selain daerah gangguan dapat beroperasi normal.

Sistem radial kemudian dikelompokkan menjadi beberapa tipe:

1. Sistem radial pohon
2. Sistem radial dengan tie dan switch pemisah
3. Sistem radial dengan pembagi fasa area

2.3.1.1 Sistem Radial Pohon

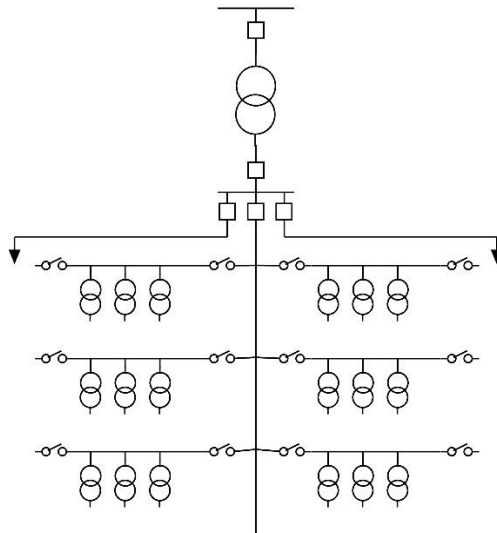
Saluran utama diambil dari gardu induk, kemudian dicabangkan melalui saluran cabang (lateral feeder). Selanjutnya di cabangkan lagi melalui sub cabang (sublateral feeder).



Gambar 2. 2 Sistem Radial Pohon

2.3.1.2 Sistem Radial dengan Tie dan Switch Pemisah

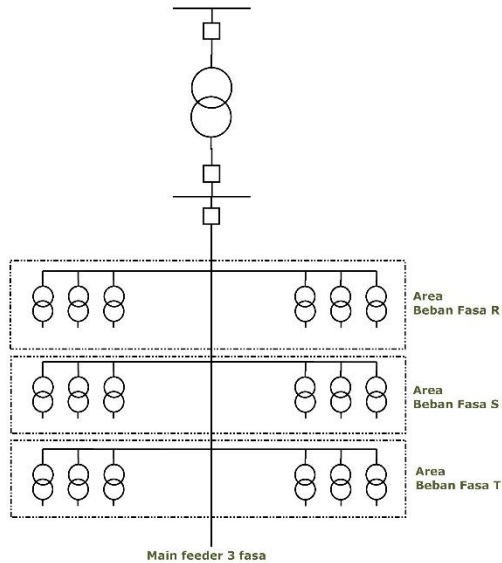
Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem radial pohon. Penambahan Tie dan Switch yang digunakan untuk melokalisir gangguan bertujuan untuk meningkatkan keandalan sistem.



Gambar 2. 3 Sistem Radial dengan Tie dan Switch Pemisah

2.3.1.3 Sistem Radial dengan Pembagi Fasa Area

Pada sistem ini tiap fasa melayani daerah beban yang berbeda, tetapi hal ini menyebabkan kondisi sistem 3 fasa yang tidak seimbang.



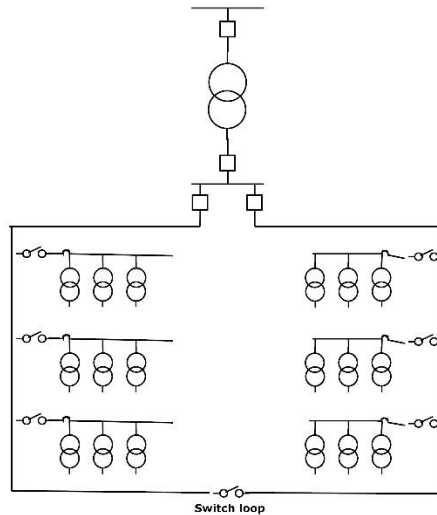
Gambar 2. 4 Sistem Radial dengan Pembagian Fasa

2.3.2 Sistem Lingkar (*loop*)

Sistem distribusi lingkar atau loop dimulai dari gardu induk dan terhubung melingkar mengelilingi area beban atau beberapa trafo distribusi dan akhirnya konduktor sistem akan kembali lagi ke gardu induk.

Pada dasarnya, sistem jaringan loop merupakan sistem jaringan radial dimana kedua sistem jaringan radial terhubung dengan switch. Keandalan konfigurasi sistem loop lebih baik daripada sistem radial.

Berdasarkan sumbernya, sistem loop dibedakan menjadi dua tipe yaitu loop one source dan loop different source. Perbedaan antara loop one source dan loop different source adalah terletak pada transformator pencatu dayanya. Pada loop one source transformator yang digunakan untuk mensuplai jaringan loop hanya satu dari gardu induk, sedangkan untuk loop different source menggunakan dua transformator yang berbeda baik kedua transformator tersebut berada dalam satu gardu induk atau dengan gardu induk yang berbeda.



Gambar 2. 5 Sistem Loop

Pembangunan jaringan sistem loop lebih mahal dibanding dengan jaringan sistem radial, tetapi kehandalan akan lebih baik dibanding dengan sistem jaringan radial. Biasanya pemakaian sistem jaringan loop dipakai di daerah yang memiliki kontinuitas layanan yang cukup penting, misalnya rumah sakit atau pusat kota.

2.3.3 Sistem Spindel

Sistem Spindel adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola Radial dan loop. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (feeder) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH). Pada sebuah spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (express) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola Spindel biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM). Namun pada pengoperasiannya, sistem Spindel berfungsi sebagai sistem Radial. Di dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah (TR) atau tegangan menengah (TM).

2.3.4 Sistem Gugus atau Kluster

Konfigurasi Gugus banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat Saklar Pemutus Beban, dan penyulang cadangan. Dimana penyulang ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai kekonsumen.

2.4 Komponen pada SUTM

Di Indonesia, pada umumnya tegangan operasi SUTM adalah 6 KV dan 20 KV. Namun secara berangsur-angsur tegangan operasi 6 KV dihilangkan dan saat ini hampir semuanya menggunakan tegangan operasi 20 KV.

Transmisi SUTM digunakan pada jaringan tingkat tiga, yaitu jaringan distribusi yang menghubungkan dari Gardu Induk, Penyulang (Feeder), SUTM, Gardu Distribusi, sampai dengan ke Instalasi Pemanfaatan (Pelanggan/ Konsumen).

2.4.1 Peralatan Hubung (*Switch*)

Pada jaringan SUTM digunakan juga peralatan switching untuk optimasi operasi distribusi. Peralatan switching yang digunakan antara lain pemutus beban (Load Break Switch : LBS)

Load Break Switch (LBS) merupakan saklar atau pemutus arus tiga fase yang ditempatkan di luar ruas pada tiang pancang, yang dikendalikan secara elektronis. Switch dengan penempatan di atas tiang pancang ini dioptimalkan melalui kontrol jarak jauh dan skema otomatisasi. LBS dipasang pada saluran radial interkoneksi yaitu terdiri lebih dari satu saluran radial tunggal.

2.4.2 Peralatan Proteksi SUTM

2.4.2.1 Pemisah dengan Pengaman Lebur (*Fuse Cut Out*)

Fuse Cut Out (FCO) sebagai pengaman penyulang, bila terjadi gangguan di gardu (trafo distribusi) dan melokalisir gangguan di trafo agar peralatan tersebut tidak rusak. FCO merupakan sebuah alat pemutus rangkaian listrik yang berbeban pada jaringan distribusi yang bekerja dengan cara meleburkan bagian dari komponennya (*fuse link*) yang telah dirancang khusus dan disesuaikan dengan ukurannya itu. Alat ini akan memutuskan rangkaian listrik yang satu dengan yang lain apabila dilewati arus yang melewati kapasitas kerjanya.

2.4.2.2 Pemutus Balik Otomatis (*PBO, Automatic Recloser*)

Penutup balik otomatis (PBO, automatic circuit recloser) digunakan sebagai pelengkap untuk pengamanan terhadap gangguan temporer dan membatasi luas daerah yang padam akibat gangguan.

Saat terjadi gangguan, arus yang mengalir melalui PBO sangat besar sehingga menyebabkan kontak PBO terbuka (trip). Kontak akan kembali menutup dalam selang waktu tertentu atau waktu seting. Hal ini bertujuan untuk melokalisir gangguan yang bersifat temporer. Jika gangguan masih terdeteksi maka PBO akan terbuka dan terkunci sampai gangguan dihilangkan.

2.4.2.3 Saklar Seksi Otomatis (*Sectionalizer*)

Saklar seksi otomatis (SSO, Sectionalizer) adalah alat pemutus untuk mengurangi luas daerah yang padam karena gangguan. Ada dua jenis SSO yaitu dengan pengindera arus yang disebut Automatic Sectionalizer dan pengindera tegangan yang disebut Automatic Vacum Switch (AVS). Agar SSO berfungsi dengan baik, harus dikoordinasikan dengan PBO (recloser) yang ada di sisi hulu. Apabila SSO tidak dikoordinasikan dengan PBO, SSO hanya akan berfungsi sebagai saklar biasa.

2.5 Gangguan pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Gangguan adalah suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari keadaan normal. Berdasarkan ANSI/IEEE Std 100-1992 gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Hubung singkat ialah suatu hubungan abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda.

Penyebab terjadinya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi saluran 20 kV adalah gangguan yang berasal dari dalam sistem itu sendiri dan gangguan yang berasal dari luar sistem. Gangguan yang berasal dari dalam sistem dapat berupa kegagalan dari fungsi peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan jaringan dan kerusakan dari peralatan pemutus beban. Gangguan yang berasal dari luar sistem dapat disebabkan oleh sentuhan pohon atau ranting pada penghantar, sambaran petir, manusia, binatang, cuaca dan lain-lain.

2.5.1 Jenis Gangguan

Lama dari gangguan yang terjadi pada sistem distribusi 20 kv dapat dibedakan menjadi 2 yaitu:

- 1) Gangguan permanen (dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan, gangguan baru akan hilang setelah kerusakan diperbaiki). Gangguan yang bersifat permanen (persistent), yaitu gangguan yang bersifat tetap. Agar jaringan dapat berfungsi kembali, maka perlu dilaksanakan perbaikan dengan cara menghilangkan gangguan tersebut. Gangguan ini akan menyebabkan terjadinya pemadaman tetap pada jaringan listrik dan pada titik gangguan akan terjadi kerusakan yang permanen. Contoh: menurunnya kemampuan isolasi padat atau minyak trafo. Di sini akan menyebabkan kerusakan permanen pada trafo, sehingga untuk dapat beroperasi kembali harus dilakukan perbaikan.
- 2) Gangguan temporer (gangguan yang tidak akan lama dan dapat normal atau hilang dengan sendirinya yang disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya). Gangguan yang bersifat temporer, timbulnya gangguan bersifat sementara, sehingga tidak memerlukan tindakan. Gangguan tersebut akan hilang dengan sendirinya dan jaringan listrik akan bekerja normal kembali. Jenis gangguan ini ialah : timbulnya flashover antar penghantar dan tanah (tiang, traverse atau kawat tanah) karena sambaran petir, flashover dengan pohon-pohon, dan lain sebagainya.

Sedangkan dari jenis gangguan hubung singkat yang dapat terjadi dibagi menjadi:

- 1) Gangguan satu fasa ke tanah
- 2) Gangguan dua fasa ke tanah
- 3) Gangguan fasa ke fasa
- 4) Gangguan tiga fasa ke tanah

2.5.1.1 Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah terjadi apabila terdapat satu fasa yang menyentuh tanah yang menyebabkan aliran menuju ke tanah. Gangguan satu fasa akan menyebabkan tegangan fasa yang lainnya akan meningkat sehingga dapat digolongkan menjadi hubung singkat tak simetri. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik.

2.5.1.2 Gangguan Dua Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah terjadi apabila terdapat dua fasa yang menyentuh tanah. gangguan ini termasuk gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri)

2.5.1.3 Gangguan Fasa ke Fasa

Gangguan hubung singkat fasa ke fasa merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersentuhannya antara penghantar fasa yang satu dengan penghantar fasa yang lainnya, sehingga terjadi arus lebih (over current). Gangguan hubung singkat fasa ke fasa termasuk gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri).

2.5.1.4 Gangguan Tiga Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat tiga fasa merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersentuhannya ketiga penghantar fasa, gangguan ini dapat diakibatkan oleh tumbangannya pohon yang kemudian menimpa kabel jaringan, sehingga memutus kabel fasa secara bersamaan. Gangguan ini termasuk gangguan hubung singkat simetri.

2.5.2 Pengaruh Gangguan Terhadap Sistem Distribusi

Pengaruh yang dapat ditimbulkan akibat gangguan yang terjadi pada jaringan sistem distribusi tenaga listrik, seperti :

1. Dapat merusak peralatan listrik pada daerah yang terjadi gangguan.
2. Saat terjadi gangguan menyebabkan penurunan tegangan dan kontinuitas pelayanan daya konsumen terganggu, sehingga kualitas listrik yang diterima pelanggan rendah dan berpengaruh terhadap kinerja peralatan listrik baik milik PLN maupun konsumen.

BAB III

KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DAN FMEA

3.1 Definisi Dalam Keandalan Distribusi

Arti dari keandalan menyatakan kemungkinan bekerjanya suatu peralatan atau sistem dapat bekerja sesuai dengan fungsinya pada selang waktu tertentu dan pada kondisi tertentu. Keandalan juga dapat dipergunakan sebagai perbandingan suatu peralatan atau suatu sistem satu dengan yang lainnya. Keandalan suatu sistem distribusi ditentukan oleh keandalan dari komponen - komponen yang membentuk suatu sistem distribusi.

Dari artian keandalan yang menyatakan kemungkinan bekerjanya suatu peralatan atau sistem dapat bekerja sesuai dengan fungsinya pada selang waktu tertentu dan pada kondisi tertentu, maka dapat dijabarkan sebagai berikut:

- Keandalan suatu komponen perlu dilihat apakah suatu komponen dapat melakukan fungsinya secara baik pada jangka waktu tertentu.
- Keandalan setiap peralatan sangat bergantung pada kondisi operasional lingkungan, termasuk pengoperasian dan penyimpanan dsb.
- Keandalan akan menurun sesuai dengan berjalannya waktu atau bertambahnya usia peralatan

3.2 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Indeks Keandalan

Ada beberapa istilah yang digunakan untuk memahami beberapa faktor yang dapat mempengaruhi indeks keandalan dalam suatu sistem distribusi.

- *Outage / Keluar*
Keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi dengan semestinya yang diakibatkan oleh beberapa peristiwa yang berhubungan dengan komponen itu sendiri. Terjadinya *outage* dapat atau tidak dapat menyebabkan pemadaman terhadap sistem distribusi hal ini tergantung dari konfigurasi sistem distribusi yang digunakan.

- *Schedule Outage*
Outage yang dihasilkan karena ada pelepasan suatu komponen yang disengaja pada waktu – waktu tertentu sesuai jadwal yang telah ditentukan. Hal ini berkaitan dengan adanya perbaikan atau pemeliharaan peralatan.
- *Forced Outage*
Outage yang dihasilkan karena keadaan darurat yang secara langsung berhubungan dengan suatu komponen dimana diperlukan komponen tersebut untuk dilepaskan secara paksa dengan segera dari sistem. Hal ini biasanya terjadi disebabkan kesalahan dalam pengoperasian peralatan ataupun kesalahan manusia.
- *Interuption / Pemadaman*
 Pemutus kerja / pemadaman pada suatu konsumen atau fasilitas sebagai akibat dari *outage* yang terjadi pada satu atau lebih komponen.
- *Scheduled Interruption*
 Pemadaman yang disebabkan oleh *scheduled outage*.
- *Forced Interruption*
 Pemadaman yang disebabkan oleh *forced outage*.
- *Failure Rate (λ)*.
 Jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi pada sebuah komponen dalam kurun waktu tertentu. Umumnya waktu dinyatakan dalam year dan *failure rate* dinyatakan dalam *failure/year*
- *Outage Time (r)*.
 Waktu yang digunakan untuk memperbaiki atau mengganti bagian dari peralatan akibat terjadi kegagalan atau periode dari saat permulaan peralatan mengalami kegagalan sampai saat peralatan dioperasikan kembali sebagaimana mestinya (*outage time* umum dinyatakan dalam *hours/failure*).
- *Annual Outage Time (U)*
 Lama terputusnya pasokan listrik rata-rata dalam kurun waktu tertentu (umumnya *annual outage time* dinyatakan dalam *hours/year*).
- *Energy Not Supplied (ENS)*
 Jumlah energi listrik yang tidak tersalurkan sebagai akibat dari pemadaman yang terjadi (*energy not supplied* dinyatakan dalam *kWh/year*).

3.3 Definisi Indeks Keandalan Sistem Distribusi 20 kV

Indeks keandalan adalah besaran yang digunakan untuk mengukur nilai tingkat keandalan suatu sistem. Dasar indeks keandalan sistem distribusi untuk mengukur tingkat keandalan antara lain :

- λ = frekuensi kegagalan tahunan rata – rata
- r = lama terputusnya pasokan listrik rata-rata (*hours/year*)
- U = lama / durasi terputusnya pasokan listrik tahunan rata-rata (*hours/year*)

Sedangkan indeks-indeks keandalan yang digunakan untuk menghitung performa keandalan sistem secara keseluruhan antara lain :

- SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)
- SAIDI (System Average Interruption Duration Index)
- CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index)
- AENS (Average Energy Not Supplied)

3.3.1 SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

Merupakan jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi pada tiap pelanggan yang dilayani dalam satu tahun. Nilai SAIFI dapat diperoleh dari menghitung total frekuensi pemadaman konsumen dalam satu tahun dibagi dengan jumlah total konsumen yang dilayani. Persamaan SAIFI dapat ditulis sebagai berikut :

$$SAIFI = \frac{\sum(\lambda_i \times N_i)}{\sum N} \quad (3.1)$$

Dimana :

SAIFI = (*failure/year customer*)

λ = Indeks kegagalan rata – rata per tahun (*failure/year*)

N_i = Jumlah konsumen yang mengalami pemadaman

N = Total jumlah konsumen yang dilayani

3.3.2 SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

Merupakan durasi lamanya gangguan sistem rata-rata tiap tahun. Nilai SAIDI dapat diperoleh dari total durasi gangguan dalam satu tahun dibagi dengan jumlah total konsumen. Persamaan SAIDI dapat ditulis sebagai berikut :

$$SAIDI = \frac{\sum(U_i \times N_i)}{\sum N} \quad (3.2)$$

Dimana :

SAIDI = (*hour/year customer*)

U = Durasi kegagalan rata- rata per tahun (*hour/year*)

Ni = Jumlah konsumen yang mengalami pemadaman

N = Total jumlah konsumen yang dilayani

3.3.3 CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index)

Merupakan durasi pemadaman rata-rata konsumen untuk setiap gangguan yang terjadi. Nilai CAIDI dapat diperoleh dari SAIDI dibagi dengan SAIFI. Persamaan Caidi dapat ditulis sebagai berikut :

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (3.3)$$

Dimana :

CAIDI = (*hour/customer failure*)

3.3.4 AENS (Average Energy Not Supplied)

Merupakan jumlah rata – rata energy listrik yang tidak tersalurkan atau hilangnya energy yang tidak tersalurkan oleh sistem distribusi dalam tiap tahun. AENS dapa diperoleh dari total energy yang tidak tersalurkan dalam satu tahun dibagi dengan jumlah total konsumen yang dilayani. Persamaan AENS dapat ditulis sebagai berikut :

$$AENS = \frac{\sum ENS}{N} \quad (3.4)$$

Dan

$$ENS = \sum (P_i \times U_i) \quad (3.5)$$

Dimana :

AENS = (*kWh/year customer*)

ENS = (*kWh*)

P = Daya beban

U = Durasi kegagalan rata – rata per tahun

N = Jumlah konsumen padam

3.4 Standart Keandalan Sistem Distribusi 20 kV

Agar dapat mengukur tingkat keandalan suatu sistem distribusi maka diperlukan nilai acuan sehingga dapat menilai sistem tersebut. Berdasarkan standart PLN menurut majalah FOKUS penerbit PLN Februari 2011 menetapkan bahwa sistem dalam keadaan baik jika telah memenuhi standart sebagai berikut :

SAIFI : 1,2 kali/pelanggan/tahun
SAIDI : 0,83 jam/pelanggan/tahun

Sedangkan standart menurut IEEE P1366 – 2003, nilai keandalan suatu sistem dikatakan baik jika telah memenuhi sebagai berikut :

SAIFI : 1,26 kali/pelanggan/tahun
SAIDI : 1,9 jam/pelanggan/tahun

Sedangkan parameter – parameter pengukuran laju kegagalan tiap komponen peralatan dan switching time untuk melokalisir gangguan berdasarkan SPLN No. 59 pada tahun 1985 tentang Keandalan Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV adalah :

Tabel 3. 1 Standart Nilai Laju Kegagalan

Komponen	Laju Kegagalan	Rapair Time
Saluran Udara	0.2/km/tahun	3 Jam
Pemutus Tenaga	0.004/unit/tahun	10 Jam
Sakelar Beban	0.003/unit/tahun	10 Jam
Sakelar Pemisah	0.003/unit/tahun	10 Jam
Trafo Distribusi	0.005/unit.tahun	10 Jam

Waktu membuka/menutup sakelar beban atau pemisah adalah 0,15 jam.

3.5 Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)

FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) adalah suatu pendekatan untuk mengidentifikasi kemungkinan mode kegagalan, serta dampak kegagalan yang ditimbulkan oleh tiap – tiap komponen terhadap sistem.

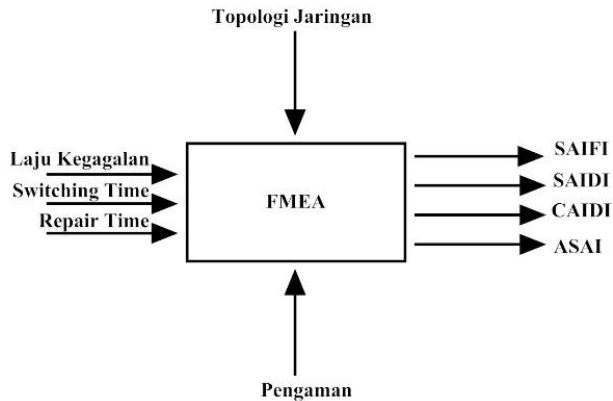
Metode FMEA diterapkan di dalam mengevaluasi keandalan sistem distribusi didasarkan pada bagaimana kegagalan dari suatu komponen peralatan pada sistem distribusi yang akan mempengaruhi keandalan sistem dalam keseluruhan.

Secara fungsional FMEA mengasumsi sebuah kegagalan untuk diidentifikasi dan dianalisa pengaruh dari kegagalan, berikut fungsi FMEA :

- Digunakan untuk pemakaian baru, preventive maintenance atau penggantian peralatan.
- Mendata alat deteksi yang ada apabila terjadi kegagalan.

Syarat – syarat yang diperlukan dalam menganalisa keandalan sistem distribusi menggunakan metode FMEA aalah sebagai berikut :

- Diperlukan konfigurasi/topologi jaringan penyulang (*feeder*) distribusi 20 kV. Konfigurasi jaringan dapat didefinisikan dalam cabang – cabang, komponen – komponen yang berada pada sistem berupa titik supply, titik beban.
- Untuk tiap – tiap *load point* diperinci data keandalannya seperti indeks kegagalan (*failure rate*) , waktu perbaikan (*repair time*) , dan waktu switching.
- Penjumlahan dari pengaruh kegagalan di tiap titik beban, baik itu *failure rate*, *repair time*.



Gambar 3. 1 Skema FMEA

Indeks *load point* antara lain :

- Frekuensi kegagalan (*failure rate*) untuk tiap *load point* adalah penjumlahan laju kegagalan semua peralatan yang berpengaruh terhadap *load point*, dengan persamaan :

$$\lambda_{LP} = \sum \lambda_i \quad (3.6)$$

Dimana :

λ_i = laju kegagalan untuk peralatan ke i

- Lama atau durasi gangguan tahunan rata – rata untuk load point U_{LP} , dengan persamaan :

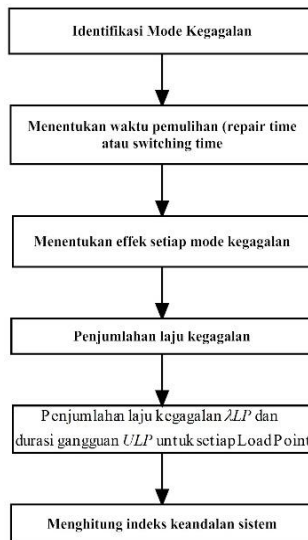
$$U_{LP} = \sum U_i = \sum \lambda_i \times r_i \quad (3.7)$$

Dimana :

r_i = waktu perbaikan / switching time

Pada dasarnya FMEA mengasumsikan suatu kegagalan pada komponen yang ada pada sistem dan kemudian mengidentifikasi efek yang berdampak pada tiap titik beban akibat kegagalan tersebut. Dengan menggunakan metode ini maka dapat diketahui daerah – daerah mana pada jaringan yang memerlukan evaluasi keandalannya, dapat berupa pemeliharaan jaringan maupun otomatisasi sistem.

Prosedur pengerjaan menggunakan metode FMEA terlihat pada gambar di bawah ini :



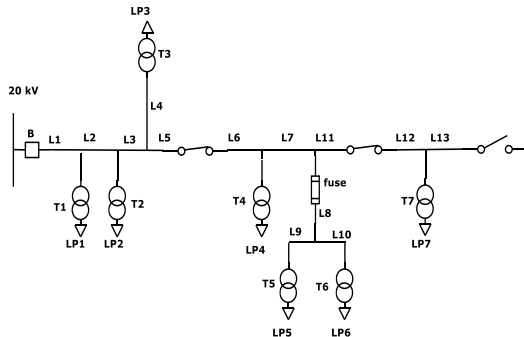
Gambar 3. 2 Prosedur FMEA

Prosedur dari metode FMEA ini sebagai berikut :

1. Masukkan data topologi jaringan, data konsumen, dan keandalan peralatan.
2. Topologi jaringan diperinci dengan membagi jaringan kedalam beberapa line
3. Asumsikan suatu kegagalan di tiap peraltana secara bergantian
4. Menentukan waktu pemulihan sistem, apakah melalui waktu perbaikan peralatan atau waktu switching
5. Menentukan efek setiap mode kegagalan terhadap load point
6. Hitung frekuensi kegagalan tiap load point dan durasi kegagalan tiap load point
7. Dari indek load point diatas, hitung indeks keandalan keseluruhan sistem

3.6 Contoh Evaluasi Keandalan

Berikut contoh jaringan penyulang yang akan dihitung indeks keandalannya menggunakan metode FMEA :



Gambar 3. 3 Contoh jaringan penyulang

Penyulang diatas merupakan contoh penyulang yang memiliki Load Point sebanyak 7 buah. Load Point tersebut di supply dari penyulang utama gardu induk dengan tegangan 20 kV dan 0,38 kV pada load point.

Penyulang diatas memiliki circuit breaker B yang digunakan untuk mengamankan busbar 20 kV.

Terdapat 2 sectionalizer S1 dan S2 yang dapat mengurangi efek gangguan agar tidak mengganggu load point. Sehingga dapat memperkecil wilayah yang terjadi gangguan.

Terdapat transformator sebanyak 7 buah. Tiap transformator diberi fuse cut out kecuali T5 dan T6.

Untuk mengilustrasikan bagaimana sistem dioperasikan dalam mode kegagalan peralatan, terdapat beberapa operasi waktu pemulihan sistem.

- Repair time (RT)
Waktu perbaikan adalah lama waktu mulai dari terjadinya kegagalan pada suatu system atau suatu peralatan sampai peralatan atau system tersebut beroperasi lagi secara normal. Dalam hal ini peralatan dapat digunakan atau diperbaiki atau mengganti peralatan yang rusak.
- Switching time (SwT)
Waktu yang diperlukan operator untuk menemukan gangguan dan memasukkan kembali dengan menggunakan sectionalizer.

Dibawah ini, beberapa mode kegagalan yang dapat terjadi pada suatu system distribusi, didaftarkan bersama-sama dengan efek gangguan tersebut. Ini akan meningkatkan pemahaman untuk evaluasi keandalan.

1. Kegagalan di L1/L2/L3/L4/L5

Breaker B akan membuka dan S1 akan membuka guna mengisolasi daerah yang terjadi gangguan. Maka LP1 dan LP2 akan padam selama waktu perbaikan (RT). Sedangkan selain LP1 dan LP2 akan mengalami pemadaman selama waktu switching time B (SwT) sehingga tie switch dapat menutup dan mendapat suplay dari sisi penyulang yang lainnya.

2. Kegagalan di L6/L7/L11

Breaker B akan membuka dan S1 dan S2 akan membuka guna mengisolasi daerah yang terjadi gangguan. Maka LP4-LP6 akan padam selama waktu perbaikan (RT). Sedangkan selain LP4-LP6 akan mengalami pemadaman selama waktu switching time B (SwT) sehingga tie switch dapat menutup dan mendapat suplay dari sisi penyulang yang lainnya.

3. Kegagalan di L12/L13

Breaker B akan membuka dan S2 akan membuka guna mengisolasi daerah yang terjadi gangguan. Maka LP7 akan padam selama waktu perbaikan (RT). Sedangkan selain LP7 akan mengalami pemadaman sementara selama waktu switching time B (SwT) sehingga dapat tersuplay kembali.

4. Kegagalan di L8/L9/L10

Kegagalan di line L8/L9/L10 akan menyebabkan fuse terputus. Sehingga LP5 dan LP6 mengalami pemadaman selama RT line yang menalami kegagalan. Kegagalan di line distributor ini tidak

menyebabkan pemadaman pada LP lainnya karena gangguan dapat dilokalisasi oleh fuse.

5. Kegagalan di S1

Untuk melokalisasi gangguan maka breaker akan membuka dan S2 akan membuka. Setelah itu switch tie akan menutup sehingga LP7 mendapat suplay dari penyulang yang lainnya dan hanya mendapat SwT. Sedangkan LP lainnya akan padam selama RT sectionalizer S1.

6. Kegagalan di S2

Untuk melokalisasi gangguan maka breaker akan membuka dan S1 dan S2 akan membuka. Setelah itu switch tie akan menutup sehingga hanya LP4 – LP6 yang mengalami RT akibat perbaikan S2. Selain LP4-LP6 hanya mengalami SwT.

Berikut mode kegagalan dan pengaruh terhadap sistem :

Tabel 3. 2 Mode Kegagalan dan Pengaruh Terhadap Sistem

Data Peralatan		Efek Sistem	
No Ganguan	Peralatan	LP dipengaruhi oleh RT	LP dipengaruhi oleh SwT
1	B	LP1,LP2	LP3-LP7
2	T1	LP1	-
3	T2	LP2	-
4	T3	LP3	-
5	T4	LP4	-
6	T5	LP5,LP6	-
7	T6	LP5,LP6	-
8	T7	LP7	-
9	S1	LP4-LP6	LP1-LP3,LP7
10	S2	LP4-LP7	LP1-LP3
11	L1	LP1-LP3	LP4-LP7
12	L2	LP1-LP4	LP4-LP8
13	L3	LP1-LP5	LP4-LP9
14	L4	LP1-LP6	LP4-LP10
15	L5	LP1-LP7	LP4-LP11
16	L6	LP4-LP6	LP1-LP3,LP7
17	L7	LP4-LP7	LP1-LP3,LP7
18	L8	LP5,LP6	LP1-LP4,LP7
19	L9	LP5,LP7	LP1-LP4,LP8
20	L10	LP5,LP8	LP1-LP4,LP9

Tabel 3. 3 Mode Kegagalan dan Pengaruh Terhadap Sistem (Lanjutan)

Data Peralatan		Efek Sistem	
No Ganguan	Peralatan	LP dipengaruhi oleh RT	LP dipengaruhi oleh SwT
21	L11	LP4-LP6	LP1-LP3,LP7
22	L12	LP7	LP1-LP6
23	L13	LP7	LP1-LP7

Sedangkan data panjang saluran dapat diketahui dengan tabel berikut :

Tabel 3. 4 Panjang saluran

Saluran	L (KM)
L1	0,1
L2	0,11
L3	0,13
L4	1
L5	0,8
L6	0,6
L7	1
L8	0,3
L9	2,6
L10	1,1
L11	2,3
L12	0,8
L13	0,2

Maka berdasarkan metode FMEA didapatkan perhitungan dengan menggunakan table sebagai berikut :

Tabel 3. 5 Indeks Keandalan Gambar 3.3

LP	Indeks keandalan LP		Jumlah Pelanggan	Indeks keandalan sistem		
	λ (failure/year)	U (hour/year)		SAIFI	SAIDI	CAIDI
1	1,423	1,522	11	0,1065	0,1139	0,9350
2	1,423	1,522	10	0,0968	0,1035	0,9350
3	1,423	1,483	23	0,2226	0,2320	0,9599
4	1,423	2,545	30	0,2904	0,5193	0,5592
5	2,228	4,995	38	0,5759	1,2912	0,4461
6	2,228	4,995	20	0,3031	0,6796	0,4461
7	1,423	0,862	15	0,1452	0,0880	1,6503
Total			147			
SAIFI				1,7406		
SAIDI				3,0274		
CAIDI				1,7393		

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PT. PLN ULP GEDANGAN

Fungsi dilakukannya evaluasi keandalan sistem adalah untuk melihat peforma sistem tersebut. Dalam hal ini peforma yang dilihat adalah peforma sistem waktu yang akan datang. Dalam mengevaluasi sistem distribusi dengan menggunakan FMEA maka metode yang digunakan adalah prediksi sehingga yang diperoleh adalah indeks keandalan untuk prediksi waktu kedepan sesuai dengan topologi dan data-data pendukung lainnya dari sistem tersebut.

Prediksi pada FMEA yang dimaksud adalah dengan mengasumsikan bahwa sistem pengamanan bekerja dengan sesuai fungsinya. Hal ini dikarenakan untuk mudah menganalisa dan memperkecil kondisi yang tidak diharapkan saat menganalisa. Karena jika sistem pengamanan tidak dalam kondisi yang sesuai fungsinya maka ketika sistem pengamanan tidak bekerja dengan semestinya maka akan berdampak pada sistem sehingga dalam menganalisa keandalannya akan lebih kompleks.

Asumsi mode kegagalan pada sistem distribusi guna menganalisa dengan menggunakan metode FMEA adalah dengan mengasumsikan kegagalan pada peralatan yang ada pada sistem distribusi tersebut. Peralatan yang dimaksud adalah meliputi saluran udara, peralatan switching seperti sectionalizer, circuit breaker feeder dan load point trafo distribusi. Komponen peralatan tersebutlah yang akan diasumsikan sebagai penyebab peforma dari sistem.

Dalam upaya untuk perbaikan maka dapat dilakukan dengan cara rekonfigurasi jaringan, hal ini bertujuan mendapatkan solusi optimal dengan membandingkan indeks-indeks keandalan sistem (SAIFI, SAIDI, dan CAIDI) melalui penempatan sectionalizer dan fuse dengan berbagai alternatif.

4.1 Model Sistem

PT. PLN (persero) ULP Gedangan terdapat 20 penyulang yang disalurkan melauai trafo penurun tegangan 150/20 kV dari 5 trafo Gardu Induk Waru, 1 trafo Gardu Induk Wonorejo dan 4 trafo Gardu Induk Rungkut. Trafo GI Waru yang memiliki daya 60 MVA terdapat penyulang A. Yani, Bungurasih, Ketapang, Medaeng, Pabean 1, Pepelegi,

Purabaya, Sawotratap, Soda, Trias 1, Trias 2, UBM, Wage. Trafo GI Wonorejo memiliki daya sebesar 60 MVA. Trafo GI Wonorejo terdapat penyulang Kalanganyar. Sedangkan trafo GI Rungkut memiliki daya lebih kecil dibandingkan dengan trafo GI Waru dan GI Wonorejo yaitu sebesar 50 MVA. Trafo GI Rungkut terdapat penyulang Deltasari, GMS, Kepuh Kiriman, Ngingas, Pabean 2, Tropodo.

4.2 Penyulang Wage

Penyulang Wage memiliki topologi jaringan seperti pada lampiran dengan data penunjang seperti berikut :

Tabel 4.1 Data Trafo dan Jumlah Pelanggan Penyulang Wage

DATA TRAFO			
No. LP	Trafo	Kapasitas KVA	pelanggan
1	BH733	100	1
2	BH149	200	393
3	BH293	200	292
4	BH287	160	95
5	BH417	100	1
6	BH055	200	272
7	BH188	200	358
8	BH431	200	623
9	BH122	160	105
10	BH476	200	62
11	BH509	100	253
12	BH651	250	13
13	BH626	200	47
14	BH434	200	134
15	BH444	200	676
16	BH273	200	79
17	BH854	100	40
18	BH735	160	63
19	BH135	160	362
20	BH475	50	17
21	BH274	160	1
22	BH118	160	4

Tabel 4.2 Data Trafo dan Jumlah Pelanggan Penyulang Wage (Lanjutan)

DATA TRAF0			
No. LP	Trafo	Kapasitas KVA	Jml Pelanggan
23	BH734	100	476
24	BH266	100	34
25	BH447	100	358
26	BH504	100	500
27	BH840	100	71
28	BH517	100	1
29	BH793	100	1
30	BH433	100	422
31	BH100	100	384
32	BH801	100	477
33	BH699	100	477
34	BH506	100	47
35	BH751	100	399
36	BH384	100	422
37	BH728	100	282
38	BH364	100	127
39	BH024	100	477
40	BH311	100	63
41	BH654	100	1
42	BH221	100	27
43	BH211	100	333
44	BH102	100	676
45	BH345	100	40

Panjang saluran penyulang Wage sebagai berikut :

Tabel 4. 3 Panjang Saluran Penyulang Wage

Saluran	L (km)	Saluran	L (km)
L1	1.280	L28	0.225
L2	0.090	L29	0.045

Tabel 4. 4 Panjang Saluran Penyulang Wage (Lanjutan)

Saluran	L (km)	Saluran	L (km)
L3	0.225	L30	0.180
L4	0.135	L31	0.135
L5	0.225	L32	0.270
L6	0.135	L33	0.045
L7	0.315	L34	0.135
L8	0.090	L35	0.315
L9	0.180	L36	0.135
L10	0.180	L37	0.135
L11	0.315	L38	0.225
L12	0.090	L39	0.045
L13	0.135	L40	0.090
L14	0.225	L41	0.135
L15	0.135	L42	0.225
L16	0.270	L43	0.135
L17	0.450	L44	0.180
L18	0.225	L45	0.315
L19	0.585	L46	0.045
L20	0.180	L47	0.045
L21	0.225	L48	0.270
L22	0.135	L49	0.090
L23	0.090	L50	0.450
L24	0.045	L51	0.090
L25	0.225	L52	0.180

Tabel 4. 5 Panjang Saluran Penyulang Wage (Lanjutan)

Saluran	L (km)	Saluran	L (km)
L26	0.270	L53	0.225
L27	0.405	L54	0.180

Dengan menggunakan nilai laju kegagalan sebagai berikut :

Tabel 4. 6 Standar Laju Kegagalan PLN

Komponen	Lamda	Rapair Time
Saluran Udara	0,2/km/tahun	3 Jam
Pemutus tenaga	0,004/unit/tahun	10 Jam
Sakelar pemisah	0,003/unit/tahun	10 Jam
Trafo distribusi	0,005/unit/tahun	10 Jam
Sakelar beban	0,003/unit/tahun	10 Jam

Waktu membuka/menutup sakelar beban atau pemisah adalah 0,15 jam.

4.3 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan FMEA

4.3.1 Indeks Keandalan Penyulang Wage

Melalui data tersebut maka dapat kita hitung indeks keandalan tiap load point-nya dan didapat hasil :

Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Keandalan Penyulang Wage

LP	λ	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP1	2.489	2.10085	1	0.000249	0.00021	0.844054	0.99976	0.00024
LP2	2.489	2.10085	393	0.097955	0.082679	0.844054	0.99976	0.00024
LP3	2.489	2.10085	292	0.072781	0.061431	0.844054	0.99976	0.00024
LP4	2.489	2.10085	95	0.023679	0.019986	0.844054	0.99976	0.00024
LP5	2.489	2.10085	1	0.000249	0.00021	0.844054	0.99976	0.00024
LP6	2.489	4.58575	272	0.067796	0.124907	1.842407	0.999477	0.000523

Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Keandalan Penyulang Wage (lanjutan)

LP	λ	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP7	2.489	4.58575	358	0.089231	0.1644	1.842407	0.999477	0.000523
LP8	2.489	4.58575	623	0.155282	0.286093	1.842407	0.999477	0.000523
LP9	2.489	4.58575	105	0.026171	0.048218	1.842407	0.999477	0.000523
LP10	2.489	4.58575	62	0.015453	0.028472	1.842407	0.999477	0.000523
LP11	2.489	4.58575	253	0.06306	0.116182	1.842407	0.999477	0.000523
LP12	2.489	4.58575	13	0.00324	0.00597	1.842407	0.999477	0.000523
LP13	2.489	4.58575	47	0.011715	0.021583	1.842407	0.999477	0.000523
LP14	2.489	4.58575	134	0.033399	0.061535	1.842407	0.999477	0.000523
LP15	2.489	4.58575	676	0.168492	0.310431	1.842407	0.999477	0.000523
LP16	2.489	4.58575	79	0.019691	0.036278	1.842407	0.999477	0.000523
LP17	2.489	4.58575	40	0.00997	0.018369	1.842407	0.999477	0.000523
LP18	2.489	4.58575	63	0.015703	0.028931	1.842407	0.999477	0.000523
LP19	2.489	4.58575	362	0.090228	0.166237	1.842407	0.999477	0.000523
LP20	2.489	4.58575	17	0.004237	0.007807	1.842407	0.999477	0.000523
LP21	2.489	4.58575	1	0.000249	0.000459	1.842407	0.999477	0.000523
LP22	2.489	4.58575	4	0.000997	0.001837	1.842407	0.999477	0.000523
LP23	2.489	4.58575	476	0.118642	0.218588	1.842407	0.999477	0.000523
LP24	2.489	4.58575	34	0.008474	0.015613	1.842407	0.999477	0.000523
LP25	2.489	4.58575	358	0.089231	0.1644	1.842407	0.999477	0.000523
LP26	2.489	4.58575	500	0.124624	0.229609	1.842407	0.999477	0.000523
LP27	2.489	4.58575	71	0.017697	0.032604	1.842407	0.999477	0.000523
LP28	2.489	4.58575	1	0.000249	0.000459	1.842407	0.999477	0.000523
LP29	2.489	4.58575	1	0.000249	0.000459	1.842407	0.999477	0.000523
LP30	2.489	4.58575	422	0.105183	0.19379	1.842407	0.999477	0.000523
LP31	2.489	4.58575	384	0.095712	0.17634	1.842407	0.999477	0.000523
LP32	2.489	2.1069	477	0.118892	0.10064	0.846485	0.999759	0.000241

Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Keandalan Feeder Wage (lanjutan)

LP	λ	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP33	2.489	2.1069	477	0.118892	0.10064	0.846485	0.999759	0.000241
LP34	2.489	2.1069	47	0.011715	0.009916	0.846485	0.999759	0.000241
LP35	2.489	2.1069	399	0.09945	0.084183	0.846485	0.999759	0.000241
LP36	2.489	2.1069	422	0.105183	0.089036	0.846485	0.999759	0.000241
LP37	2.489	2.1069	282	0.070288	0.059498	0.846485	0.999759	0.000241
LP38	2.489	2.1069	127	0.031655	0.026795	0.846485	0.999759	0.000241
LP39	2.489	2.1069	477	0.118892	0.10064	0.846485	0.999759	0.000241
LP40	2.489	2.1069	63	0.015703	0.013292	0.846485	0.999759	0.000241
LP41	2.486	1.4182	1	0.000249	0.000142	0.570475	0.999838	0.000162
LP42	2.486	1.4182	27	0.006722	0.003835	0.570475	0.999838	0.000162
LP43	2.486	1.4182	333	0.0829	0.047292	0.570475	0.999838	0.000162
LP44	2.486	1.4182	676	0.168289	0.096005	0.570475	0.999838	0.000162
LP45	2.486	1.4182	40	0.009958	0.005681	0.570475	0.999838	0.000162
TOTAL 9986								
				SAIFI	2,4887			
				SAIDI	3,3617			
				CAIDI	1,3508			
				ASAI	0,9996			
				ASUI	0,0004			

Dari perhitungan didapat bahwa nilai indeks keandalan dari penyulang Wage adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 10 Nilai Indeks Keandalan Penyulang Wage

Indeks Keandalan	Hasil keandalan sistem	Hasil PLN
SAIFI	2,3271 <i>fail/yr customer</i>	1,87 <i>fail/yr customer</i>
SAIDI	3,2644 <i>hr/yr customer</i>	2,53 <i>hr/yr customer</i>
CAIDI	1,4027 <i>h/customer failure</i>	1,5 <i>h/customer failure</i>
ASAI	0,9996	
ASUI	0,0004	

4.3.2 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Lainnya

Berikut hasil perhitungan indeks keandalan penyulang Soda :

Tabel 4. 11 Nilai Indeks Keandalan Penyulang Soda

Indeks Keandalan	Hasil keandalan sistem	Hasil PLN
SAIFI	1,3368 <i>fail/yr customer</i>	1,27 <i>fail/yr customer</i>
SAIDI	2,4767 <i>hr/yr customer</i>	1,73 <i>hr/yr customer</i>
CAIDI	1,8527 <i>h/customer failure</i>	1,94 <i>h/customer failure</i>
ASAI	0,9581	
ASUI	0,0419	

Berikut hasil perhitungan indeks keandalan penyulang UBM :

Tabel 4. 12 Nilai Indeks Keandalan Penyulang UBM

Indeks Keandalan	Hasil keandalan sistem	Hasil PLN
SAIFI	1,8816 <i>fail/yr customer</i>	1,44 <i>fail/yr customer</i>
SAIDI	1,9686 <i>hr/yr customer</i>	1,7 <i>hr/yr customer</i>
CAIDI	1.0462 <i>h/customer failure</i>	1,40 <i>h/customer failure</i>
ASAI	0,9998	
ASUI	0,0002	

Berikut hasil perhitungan indeks keandalan penyulang GMS :

Tabel 4. 13 Nilai Indeks Keandalan Penyulang GMS

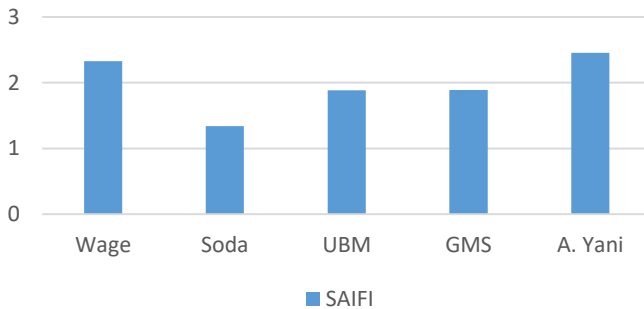
Indeks Keandalan	Hasil keandalan sistem	Hasil PLN
SAIFI	1,887 <i>fail/yr customer</i>	1,58 <i>fail/yr customer</i>
SAIDI	2,6126 <i>hr/yr customer</i>	2,37 <i>hr/yr customer</i>
CAIDI	1,3845 <i>h/customer failure</i>	1,40 <i>h/customer failure</i>
ASAI	0,8543	
ASUI	0,1457	

Berikut hasil perhitungan indeks keandalan penyulang A. Yani :

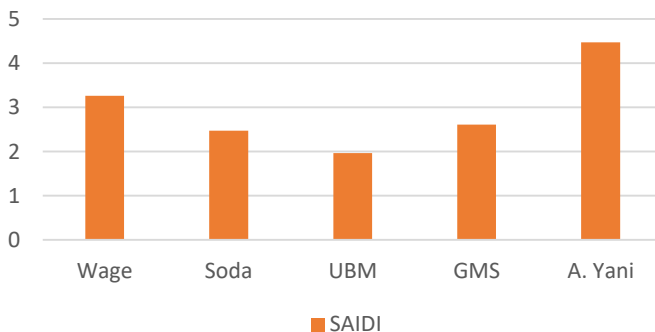
Tabel 4. 14 Nilai Indeks Keandalan Penyulang A. Yani

Indeks Keandalan	Hasil keandalan sistem	Hasil PLN
SAIFI	2,4534 <i>fail/yr customer</i>	2,23 <i>fail/yr customer</i>
SAIDI	4,4765 <i>hr/yr customer</i>	3,16 <i>hr/yr customer</i>
CAIDI	1,8364 <i>h/customer failure</i>	1,41 <i>h/customer failure</i>
ASAI	0,8098	
ASUI	0,1902	

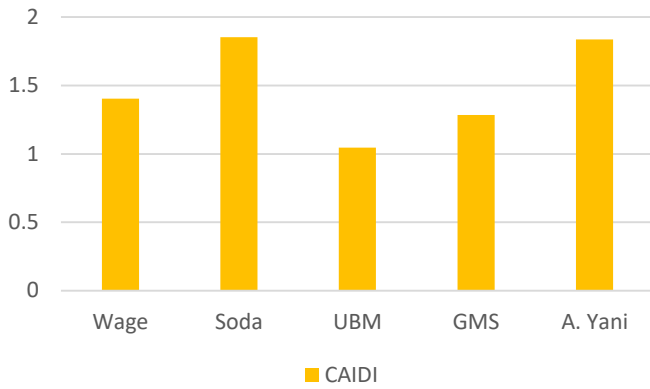
Terlihat perbedaan antara hasil perhitungan keandalan sistem pada tugas akhir ini dengan hasil dari perhitungan PLN. Hal ini dikarenakan perbedaan metode yang digunakan. Pada tugas akhir ini menggunakan metode FMEA yang mengasumsikan kegagalan pada peralatan dan melihat efek yang terjadi pada sistem. Sedangkan pada metode yang digunakan oleh PLN merupakan hasil kegagalan nyata yang terjadi di lapangan. Sehingga data yang diperoleh hanya menggambarkan kondisi keandalan sistem yang terjadi saat terjadi kegagalan di beberapa peralatan saja. Sedangkan grafik indeks keandalan dari semua penyulang dapat dilihat pada gambar grafik berikut :



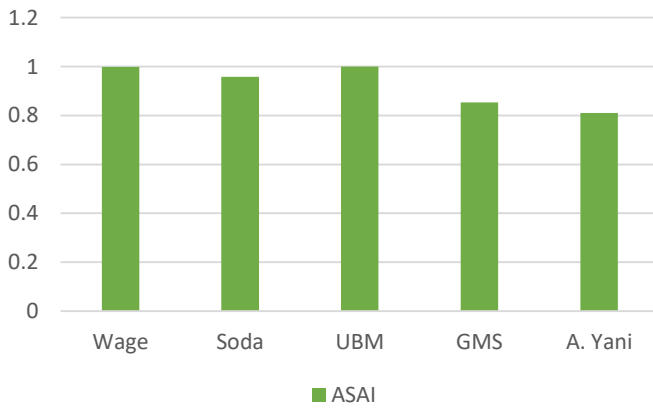
Gambar 4.1 (a) Nilai SAIIFI Antar Penyulang



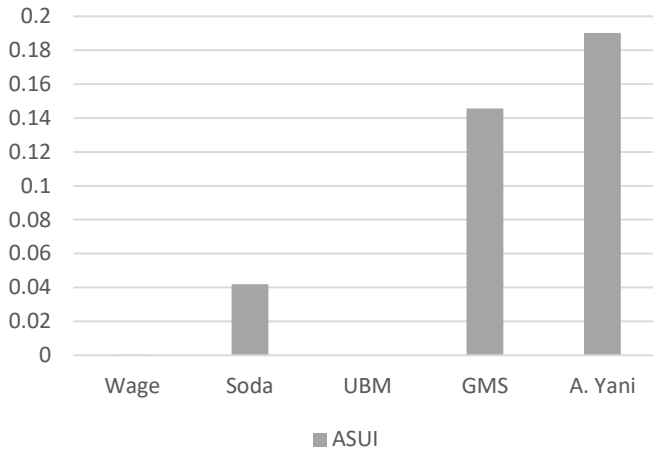
Gambar 4.1 (b) Nilai SAIDI Antar Penyulang



Gambar 4.1 (c) Nilai CAIDI Antar Penyulang



Gambar 4.1 (d) Nilai ASAI Antar Penyulang



Gambar 4.1 (e) Nilai ASUI Antar Penyulang

Dilihat dari gambar grafik di atas, jika dibandingkan dengan standar dari SPLN yaitu SAIFI : 1,2 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI : 0,83 jam/pelanggan/tahun, indeks keandalan SAIFI untuk semua penyulang melebihi dari standard. Dibandingkan dari semua penyulang yang telah dihitung indeks keandalannya maka dilihat dari sisi SAIFI dan SAIDI penyulang A. Yani adalah yang terburuk dari penyulang yang lainnya. Maka akan dilakukan upaya perbaikan keandalan sistem dari penyulang A. Yani.

4.4 Simulasi Keandalan Menggunakan Software ETAP

Software ETAP yang digunakan bertujuan untuk menganalisa keandalan sistem jaringan distribusi PT PLN (Persero) ULP Gedangan sekaligus membandingkan nilai indeks keandalan yang didapatkan dari perhitungan menggunakan metode FMEA di Ms. Excel.

Single line diagram penyulang digambar ulang pada ETAP dan dimasukkan data-data penunjang jaringan pada peralatan seperti laju kegagalan, repair time, switching time, panjang saluran dan jumlah pelanggannya, sehingga didapat nilai indeks keandalan penyulang.

4.4.1 Evaluasi Hasil Simulasi Menggunakan Software ETAP dan Excel FMEA

Dari perhitungan menggunakan metode FMEA dan simulasi ETAP didapat bahwa nilai indeks keandalan dari penyulang Wage adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 15 Perbandingan Nilai Indeks Keandalan Penyulang Wage

Indeks Keandalan	Hasil FMEA	Hasil ETAP	Selisih
SAIFI	2,3271	2,5790	0,2519 (9,76 %)
SAIDI	3,2644	3,6556	0,3912 (10,70)
CAIDI	1,4027	1,417	0,0143 (1,009%)
ASAI	0,9996	0,9996	0 (0%)
ASUI	0,0004	0,00042	0,00002 (4,76%)

Dari tabel di atas didapat nilai selisih antara nilai indeks keandalan menggunakan metode FMEA pada Ms. Excel dan hasil simulasi pada ETAP.

Terdapat perbedaan hasil nilai indeks keandalan dari perhitungan menggunakan metode FMEA dan hasil simulasi menggunakan ETAP dapat dipengaruhi oleh :

- Metode Perhitungan
Studi FMEA menggunakan rumus perhitungan sesuai dengan kebutuhan pencarian yang diterapkan pada Ms. Excel, sedangkan pada ETAP menggunakan algoritma analitikal untuk mendapat nilai indeks keandalan dari gabungan jaringan radial dan mesh.
- Kondisi Kegagalan pada Jaringan
Pada perhitungan FMEA apabila terjadi gangguan penyulang, maka breaker dari sisi sumber akan trip dan tidak berpengaruh pada penyulang lain, sedangkan simulasi ETAP apabila terjadi gangguan, breaker yang paling dekat dengan gangguan akan trip.
- Kondisi Simulasi
Pada perhitungan FMEA apabila dilakukan manuver jaringan, kondisi *switch normally open* akan *close*. Sedangkan pada ETAP bergantung pada kondisi satu switch *open* atau *close* yang tidak fleksibel, sehingga posisi switch dari penyulang lain dalam keadaan *open*.

Membandingkan nilai indeks keandalan menggunakan ETAP yang dilakukan oleh sistem sehingga memiliki kemungkinan memiliki nilai yang lebih benar, hanya saja pada ETAP tidak fleksibel seperti halnya bergantung pada satu kondisi switch untuk manuver dari penyulang lain. Nilai selisih indeks keandalan yang tinggi seperti pada penyulang A Yani dapat terjadi karena dalam suatu jaringan distribusi terdapat gardu hubung yang dapat disuplai dari penyulang lain pada saat manuver jaringan.

Nilai laju kegagalan pada setiap *load point* setelah breaker dari gardu hubung merupakan hasil penjumlahan komponen yang berada setelah breaker tersebut, sehingga saat laju kegagalan dijumlahkan pada semua *load point* nilai yang didapat akan lebih kecil dibanding perhitungan FMEA, sebab pada FMEA *load point* setelah breaker dari gardu memiliki nilai laju kegagalan dari penjumlahan semua komponen jaringan distribusi.

4.4.2 Hasil Indeks Keandalan Simulasi Menggunakan Software ETAP dan Excel FMEA Penyulang Lainnya

Berikut hasil perhitungan indeks keandalan penyulang Soda :

Tabel 4. 16 Perbandingan Nilai Indeks Keandalan Penyulang Soda

Indeks Keandalan	Hasil FMEA	Hasil ETAP	Selisih
SAIFI	1,3368	1,4024	0,0656 (4,67%)
SAIDI	2,4767	3,4526	0,9759 (28,26%)
CAIDI	1,8527	2,462	0,6093 (24,75%)
ASAI	0,9581	0,9996	0,0415 (4,15%)
ASUI	0,0419	0,00039	0,04151 (99,06%)

Berikut hasil perhitungan indeks keandalan penyulang UBM :

Tabel 4. 17 Perbandingan Nilai Indeks Keandalan Penyulang UBM

Indeks Keandalan	Hasil FMEA	Hasil ETAP	Selisih
SAIFI	1,8816	1,7146	0,167 (8,87%)
SAIDI	1,9686	1,6780	0,2906 (14,76%)
CAIDI	1.0462	0,979	0,0672 (6,42%)
ASAI	0,9998	0,9998	0 (0%)
ASUI	0,0002	0,00019	0,00001 (5%)

Berikut hasil perhitungan indeks keandalan penyulang GMS :

Tabel 4. 18 Perbandingan Nilai Indeks Keandalan Penyulang GMS

Indeks Keandalan	Hasil FMEA	Hasil ETAP	Selisih
SAIFI	1,887	2,0262	0,1392 (6,87%)
SAIDI	2,6126	5,2527	2,6401 (50,25%)
CAIDI	1,3845	2,592	1,2075 (46,58%)
ASAI	0,8543	0,9994	0,1451 (14,52%)
ASUI	0,1457	0,00060	0,1451 (99,58%)

Berikut hasil perhitungan indeks keandalan penyulang A. Yani :

Tabel 4. 19 Perbandingan Nilai Indeks Keandalan Penyulang A. Yani

Indeks Keandalan	Hasil FMEA	Hasil ETAP	Selisih
SAIFI	2,4534	3,5410	1,0876 (30,71%)
SAIDI	4,4765	10,4553	5,9788 (57,18%)
CAIDI	1,8364	2,947	1,1106 (37,68%)
ASAI	0,8098	0,9988	0,189 (18,92%)
ASUI	0,1902	0,00119	0,18901 (99,37%)

4.5 Upaya Meningkatkan Indeks Keandalan

Dalam usaha memperbaiki keandalan suatu sistem tenaga listrik terdapat berbagai cara, cara pertama adalah mengurangi frekuensi terjadinya gangguan, dan cara kedua adalah mengurangi durasi gangguan.

Jika ingin mengurangi frekuensi gangguan maka dapat menggunakan fuse untuk melokalisir gangguan, jika ditilik kembali pada metode FMEA maka fungsi fuse sendiri dapat melokalisir gangguan tanpa adanya switching time pada load point sekitar, sehingga dalam perhitungan masing-masing load point akan didapatkan lamda yang lebih kecil. Jika lamda (laju kegagalan) semakin kecil maka frekuensi dari pemadaman juga akan turun.

Jika mengacu pada durasi maka dapat mengurangi durasi akan adanya pemadaman dikarenakan perbaikan komponen yang mengalami kerusakan dengan penambahan sectionalizer. Penambahan sectionalizer jika mengacu pada metode FMEA diketahui apabila terjadi kegagalan pada section tertentu dan oleh karena adanya sectionalizer pada section tersebut maka pemadaman dapat dilokalisir hanya pada section tertentu, oleh karena sectionalizer bekerja ketika tidak ada beban maka section lain

hanya akan mengalami switching time oleh karena CB dapat menutup kembali.

4.6 Upaya Meningkatkan Indeks Keandalan A. Yani

Dalam upaya meningkatkan keandalan penyulang A. Yani adalah dengan mengurangi frekuensi gangguan dan mengurangi durasi gangguan. Hal ini dapat dilakukan dengan penambahan peralatan sectionalizer dan fuse pada titik – titik tertentu yang dianggap memiliki peran menyumbangkan terjadi kegagalan.

Penambahan sectionalizer di titik saluran 16, saluran 26, saluran 35, saluran 44, saluran 53, dan saluran 58. Penempatan pada titik titik tersebut guna memperkecil wilayah lokalisir jika terjadi gangguan. Yang awalnya jika terjadi kegagalan pada saluran 16 diantara titik 5 sampai 15 maka section 1 melokalisir gangguan yang berdampak pemadaman di load point 1 – 14. Dengan menambah sectionalizer di titik saluran 26 maka wilayah dapat diperkecil. Sedangkan jika terjadi gangguan diantara titik saluran 35 – 44 akan berdampak pada load point 33 – 51. Dengan menambah sectionalizer di titik saluran 53 maka lokalisir gangguan dapat diperkecil.

Penambahan fuse diletakkan di saluran satu fasa. Ada beberapa titik yang perlu pemasangan fuse yaitu pada titik saluran 7, saluran 9 dan saluran 22. Sehingga jika terjadi gangguan di saluran 7 - 9 maka yang berdampak pemadaman *load point* adalah 7 – 23, sedangkan awal sebelum pemasangan fuse maka pemadaman dari load point 5 – 23. Begitu pula dengan pemasangan fuse di saluran 22, sebelum pemasangan jika terjadi gangguan di saluran 22 – 25 maka load point 1 – 23 akan padam. Setelah pemasangan fuse maka pemadaman hanya terjadi di titik 20 – 23.

Setelah melakukan upaya perbaikan keandalan dengan memasang beberapa peralatan maka dapat diperoleh hasil indeks keandalan penyulang A. Yani menggunakan metode FMEA dan ETAP sebagai berikut :

Tabel 4. 20 Sebelum dan Sesudah Perbaikan Metode FMEA

Indeks Keandalan	Sebelum Perbaikan	Sesudah Perbaikan	Selisih
SAIFI	2,4534	2,2640	0.1894 (7,72 %)
SAIDI	4,4765	2,3868	2,0897 (46,68 %)
CAIDI	1,8264	1,0542	0.7722 (42,28 %)
ASAI	0,8098	0,8101	0,0003 (0,03 %)
ASUI	0,1902	0,1899	0,0003 (0,15 %)

Tabel 4. 21 Sebelum dan Sesudah Perbaikan Menggunakan ETAP

Indeks Keandalan	Sebelum Perbaikan	Sesudah Perbaikan	Selisih
SAIFI	3,5410	3,2851	0,2559 (7,22%)
SAIDI	10,4553	8,4422	2,0131 (19,25%)
CAIDI	1,8364	2,570	0,7336 (28,54%)
ASAI	0,8098	0,9990	0,1892 (18,93%)
ASUI	0,1902	0,00096	0,18924 (99,49%)

Setelah melakukan perbaikan nilai keandalan penyulang A. Yani SAIIFI yang sebelumnya memiliki nilai 2,4534 pada FMEA dan 3,5410 pada ETAP membaik menjadi 2,2640 pada FMEA dan 3,2851 pada ETAP setelah dilakukan penambahan komponen *fuse* pada jaringan yang membuat nilai laju kegagalan pada *setiap load point* berkurang. Sedangkan nilai SAIDI sebelumnya 4,4765 pada FMEA dan 10,4553 pada ETAP membaik menjadi 3,2851 pada FMEA dan 8,4422 pada ETAP setelah dilakukan penambahan komponen *sectionalizer* sehingga terjadi perubahan durasi *repair* dan *switching time* pada beberapa load point. Peningkatan nilai keandalan cukup sedikit dikarenakan masih banyaknya peralatan yang ada di jaringan penyulang A. Yani, sehingga mempengaruhi banyaknya pula penyumbang terjadinya kegagalan.

BAB V

PENUTUP

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada hasil perhitungan keandalan sistem distribusi tenaga listrik 20 kV di ULP Gedangan menggunakan metode FMEA adalah sebagai berikut :
 - Penyulang Wage :
SAIFI : 2,3271 *failure/year customer*
SAIDI : 3,2644 *hour/year customer*
 - Penyulang Soda :
SAIFI : 1,3368 *failure/year customer*
SAIDI : 2,4767 *hour/year customer*
 - Penyulang UBM :
SAIFI : 1,8816 *failure/year customer*
SAIDI : 1,9686 *hour/year customer*
 - Penyulang GMS :
SAIFI : 1,887 *failure/year customer*
SAIDI : 2,6126 *hour/year customer*
 - Penyulang A. Yani :
SAIFI : 2,4534 *failure/year customer*
SAIDI : 4,4765 *hour/year customer*

2. Hasil upaya peningkatan indek keandalan penyulang A. Yani menggunakan ETAP, SAIFI yang sebelumnya memiliki nilai 2,4534 membaik menjadi 2,2640 dengan menambahkan *fuse*. Sedangkan nilai SAIDI sebelumnya 4,4765 membaik menjadi 3,2851 dengan menambahkan *sectionalizer*.

3. Frekuensi kegagalan pada saluran menyumbang frekuensi kegagalan pada sistem yang cukup tinggi dibandingkan dengan frekuensi kegagalan peralatan yang ada di sistem distribusi seperti CB dan *fuse* sehingga berpengaruh dengan nilai indeks SAIFI. Sedangkan nilai indeks SAIDI juga akan semakin besar mengikuti saluran karena durasi kegagalan yang terjadi, sehingga diperlukan komponen fuse dan sectionalizer agar sistem tetap dalam peforma yang handal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Engelberth, Tigor. 2012. Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 KV di PT. PLN Persero) Area Jaringan Bali Selatan dengan Menggunakan Metode FMEA. Surabaya : ITS
- [2] Fatoni, Achmad.2015. Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Rayon Lumajang Dengan Metode FMEA. Surabaya:ITS
- [3] Khusni, M. Umar. 2017. Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 KV di PT. PLN Rayon Blora dengan Metode FMEA. Surabaya: ITS
- [4] Muntasyir, Muhammad Wahid. 2018. Studi Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 kV pada PT. PLN Rayon Palur. Surakarta: UMS
- [5] Roy Billinton and Ronald N Allah. 1996. Reliability Evaluation of Power Systems. New York : Plenum Press
- [6] Suhadi, dkk.2008.Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 2.Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
- [7]. Tim PLN. 1985. Keandalan pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV. Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi.
- [8] Teguh Prabowo, Aditya. 2013. Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 kV pada Penyulang Pekalongan 8 dan 11. Semarang: UNDIP

Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT HIDUP PENULIS

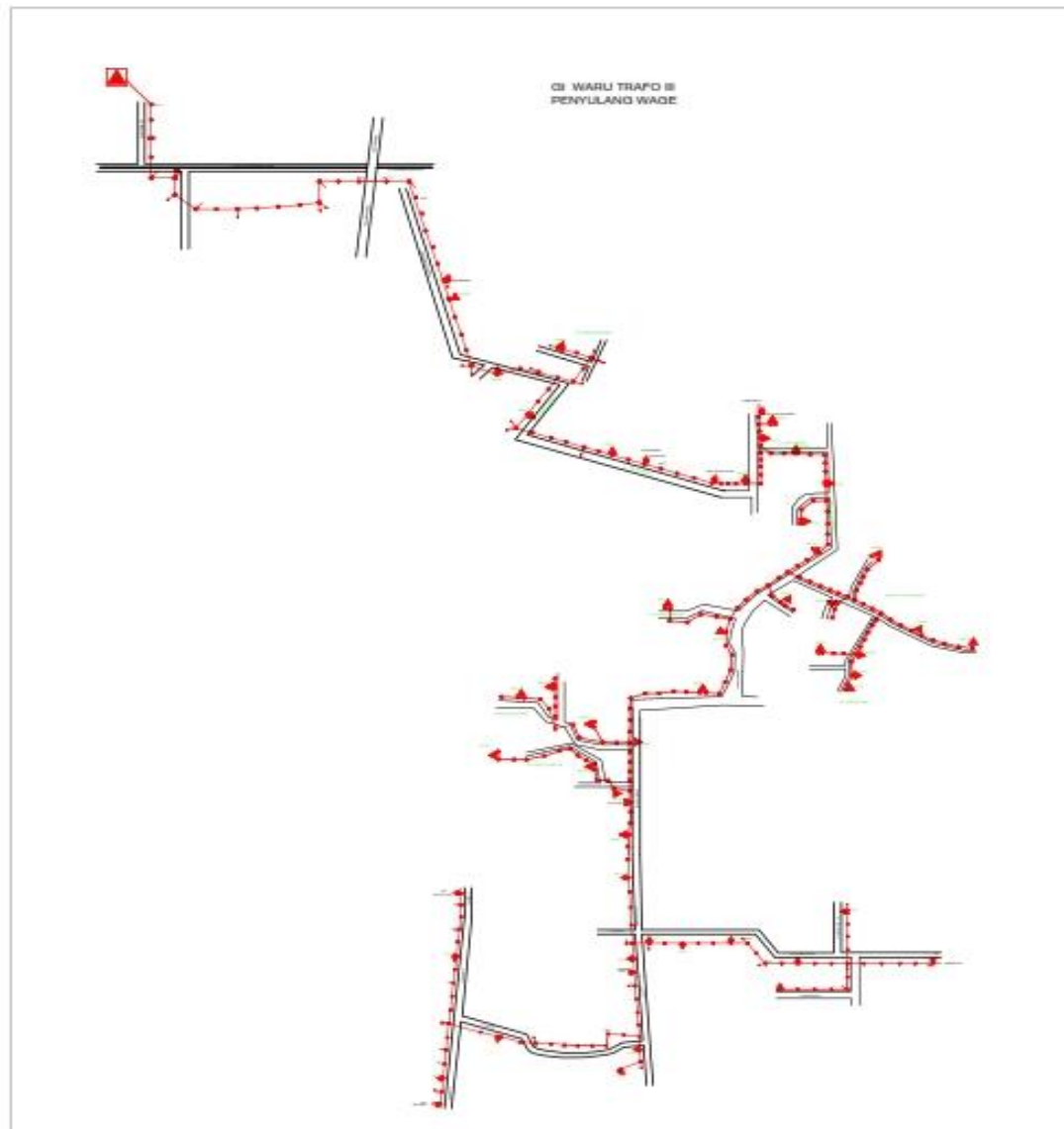


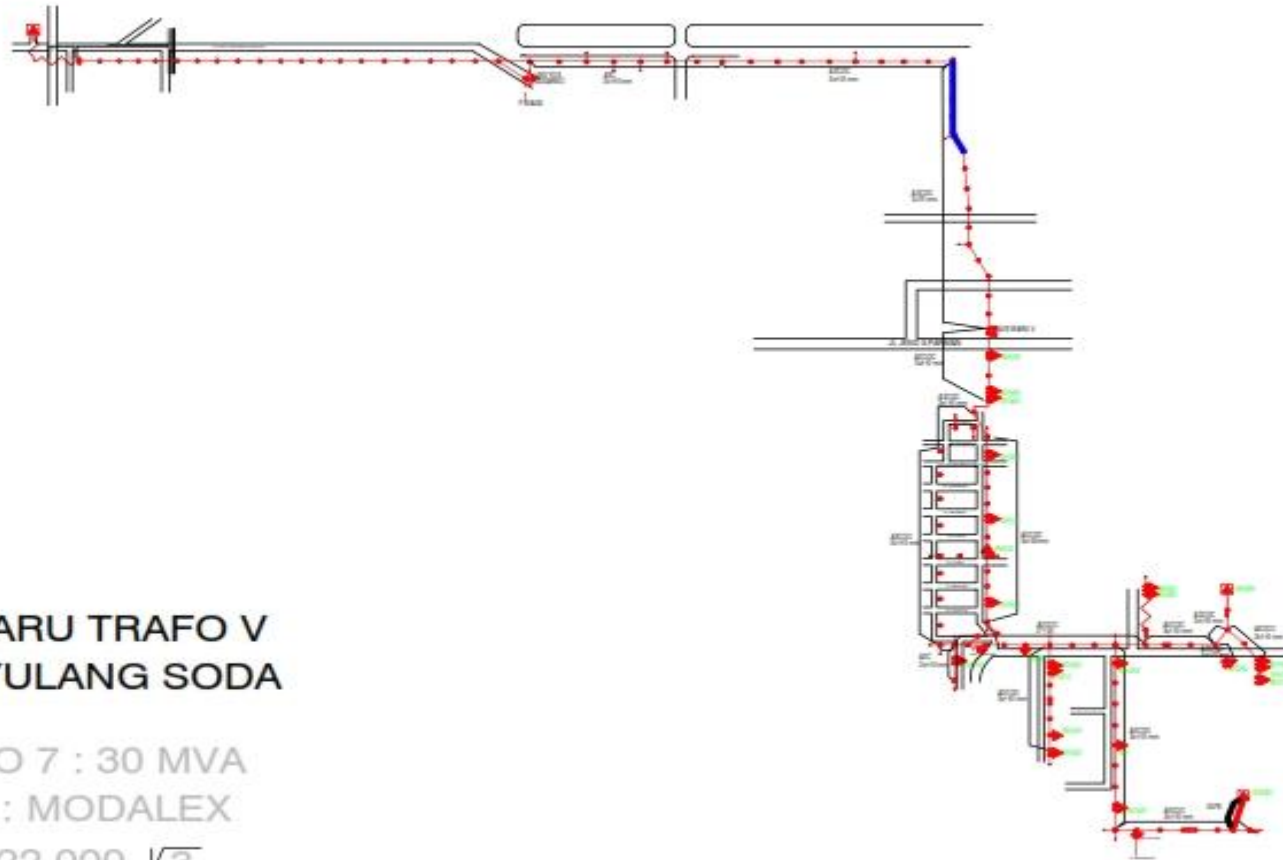
Penulis bernama lengkap Bintang Aulia Izzaty. Biasa dipanggil Bintang. Lahir di Tegal pada tanggal 7 Maret tahun 1996. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Negeri Kejambon 2 Tegal, kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 2 Tegal dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Tegal. Pada tahun 2014, penulis melanjutkan pendidikan jenjang Diploma 3 di Universitas Gadjah Mada Program Studi Teknik Listrik. Pada tahun 2017 penulis menyelesaikan pendidikan Diploma 3. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan Program studi Teknik Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro.

Email : bintan.izzaty@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN





**GI WARU TRAFU V
PENYULANG SODA**

TRAFU 7 : 30 MVA

CELL : MODALEX

PT : $\frac{22.000 \sqrt{3}}{\sqrt{3}}$

CT : 400 / 5A

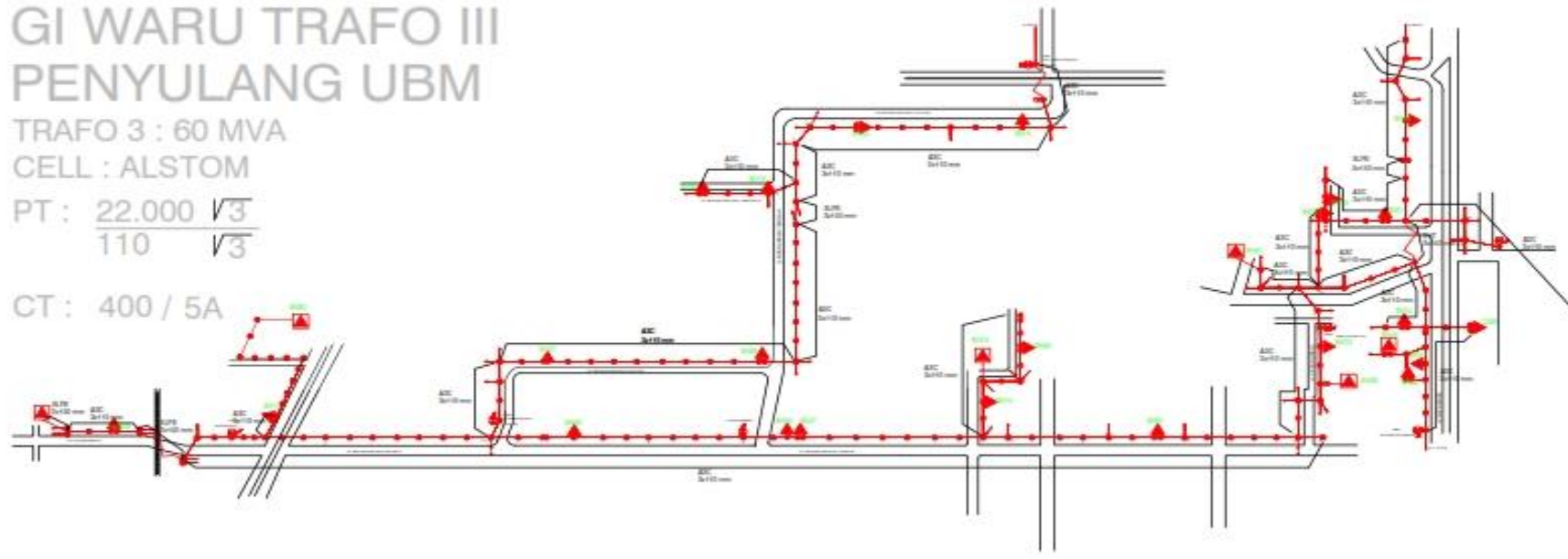
GI WARU TRAF0 III PENYULANG UBM

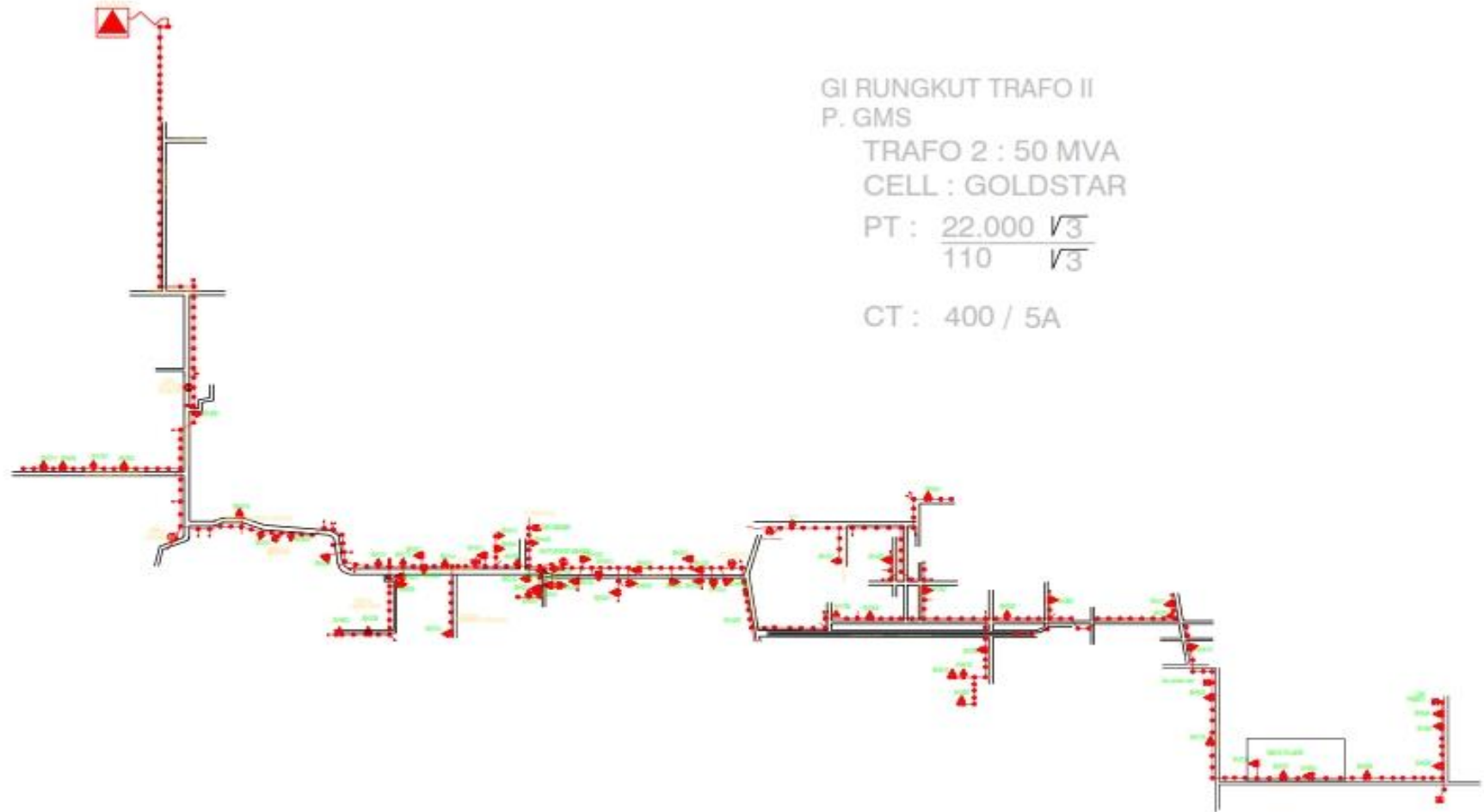
TRAF0 3 : 60 MVA

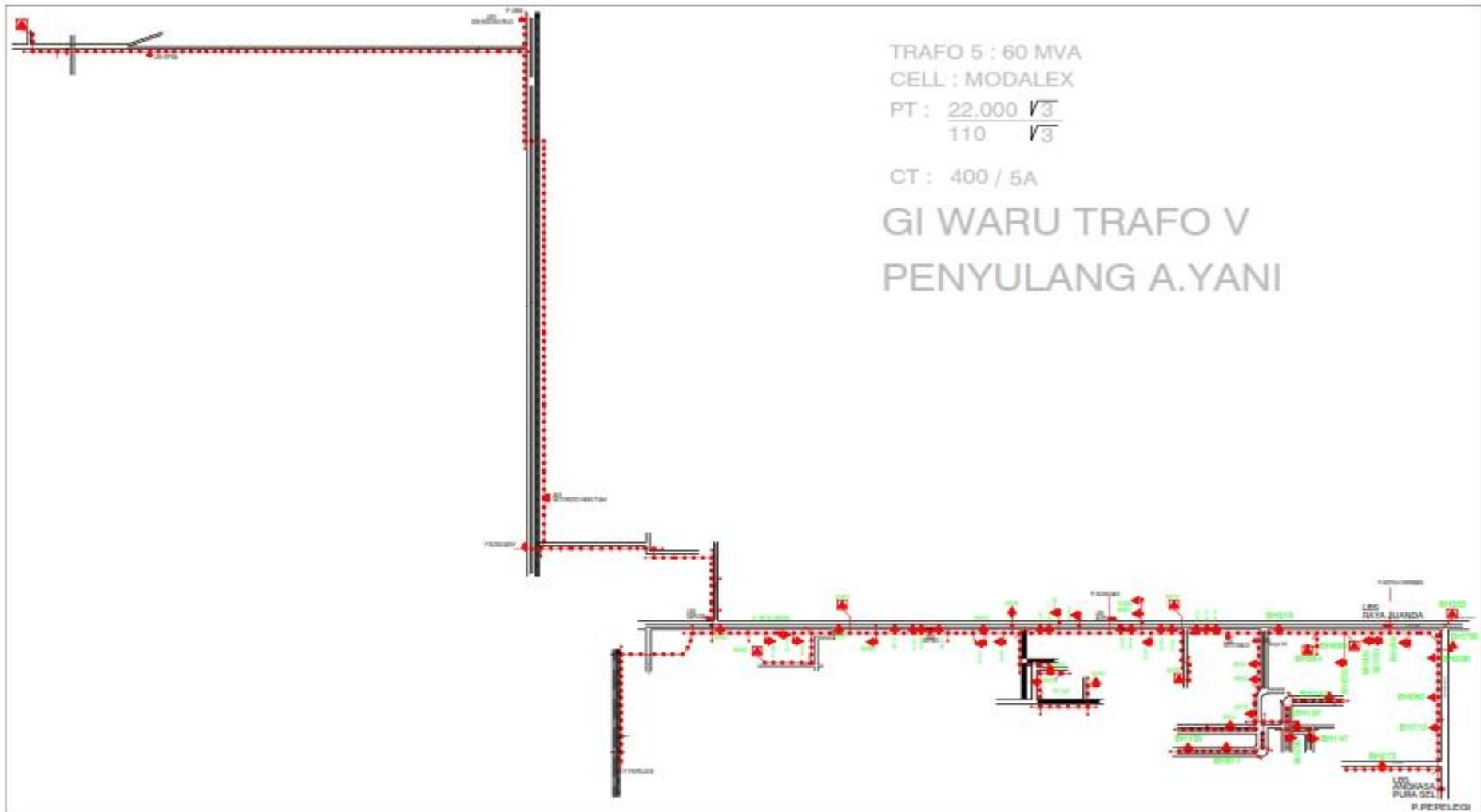
CELL : ALSTOM

PT : $\frac{22.000 \sqrt{3}}{110 \sqrt{3}}$

CT : 400 / 5A







FILE HOME INSERT PAGE LAYOUT FORMULAS DATA REVIEW VIEW

Calibri 11 A A

General

B I U

Clipboard Font Alignment Number Styles Cells Editing

E14 B15:C69

FMEA Worksheet

Penyulang WAGE

Data Repair Time			
Peralatan	Kode	Laju Kegagalan	Repair Time
Saluran Udara	L	0.2	3
CB	B	0.004	10
Sectionalizer	S	0.003	10
Trafo Distribusi	T	0.005	10

Switching Time 0.15

Data Panjang Saluran	
Saluran	L (kms)
L1	1.280
L2	0.090
L3	0.225
L4	0.135
L5	0.225

B15:C69

TOTAL	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	r
9270	2.327139	3.264358	1.402735	0.999593	0.000407	
LP1	2.507	2.10355	1	0.000251	0.000211	0.839071
LP2	2.507	2.10355	393	0.098663	0.082785	0.839071
LP3	2.507	2.10355	292	0.073307	0.06151	0.839071
LP4	2.507	2.10355	95	0.02385	0.020012	0.839071
LP5	2.507	2.10355	1	0.000251	0.000211	0.839071
LP6	2.507	4.58845	272	0.068286	0.124981	1.830255
LP7	2.507	4.58845	358	0.089876	0.164497	1.830255
LP8	2.507	4.58845	623	0.156405	0.286261	1.830255
LP9	2.507	4.58845	105	0.02636	0.048246	1.830255
LP10	2.507	4.58845	62	0.015565	0.028488	1.830255

Data Failure Mode RT SWT

READY 100%

FMEA Worksheet
Penyulang SODA

Data Repair Time			
Peralatan	Kode	Laju Kegagalan	Repair Time
Saluran Udara	L	0.2	3
CB	B	0.004	10
Sectionalizer	S	0.003	10
Trafo Distribusi	T	0.005	10

Data Panjang Saluran	
Saluran	L (kms)
L1	1.445
L2	0.720
L3	0.585
L4	0.045
L5	0.090

B15:C49

TOTAL	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	ASUI	ASUI	r
7540	1.3368	2.476688	1.852699	0.958064	0.041936			
LP1	1.3368	2.75977	1	0.000177	0.000366	2.06446	0.999685	0.000315
LP2	1.3368	2.75977	476	0.084392	0.174224	2.06446	0.999685	0.000315
LP3	1.3368	2.75977	569	0.100881	0.208264	2.06446	0.999685	0.000315
LP4	1.3368	2.75977	500	0.088647	0.183009	2.06446	0.999685	0.000315
LP5	1.3368	2.75977	156	0.027658	0.057099	2.06446	0.999685	0.000315
LP6	1.3368	2.75977	1	0.000177	0.000366	2.06446	0.999685	0.000315
LP7	1.3368	2.75977	693	0.122865	0.25365	2.06446	0.999685	0.000315
LP8	1.3368	2.75977	422	0.074818	0.154459	2.06446	0.999685	0.000315
LP9	1.3368	2.30775	1	0.000177	0.000366	1.726324	0.999737	0.000263
LP10	1.3368	2.30775	477	0.084569	0.145994	1.726324	0.999737	0.000263

FMEA Worksheet
Penyulang UBM

Data Repair Time			
Peralatan	Kode	Laju Kegagalan	Repair Time
Saluran Udara	L	0.2	3
CB	B	0.004	10
Sectionalizer	S	0.003	10
Trafo Distribusi	T	0.005	10

Data Panjang Saluran		B15:C73	
Saluran	L (kms)		
L1	0.590		
L2	0.405		
L3	0.135		
L4	0.045		
L5	0.225		

	λ	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	r
LP1	1.9706	1.49564	399	0.127455	0.096735	0.758977	0.999829	0.000171	0.758977
LP2	1.9706	1.93254	424	0.135441	0.132825	0.980686	0.999779	0.000221	0.980686
LP3	1.9706	1.93254	1	0.000319	0.000313	0.980686	0.999779	0.000221	0.980686
LP4	1.9706	1.93254	385	0.122983	0.120608	0.980686	0.999779	0.000221	0.980686
LP5	1.9706	2.27769	440	0.140552	0.162455	1.155836	0.99974	0.00026	1.155836
LP6	1.9706	2.27769	239	0.076345	0.088242	1.155836	0.99974	0.00026	1.155836
LP7	1.9706	2.27769	142	0.04536	0.052429	1.155836	0.99974	0.00026	1.155836
LP8	1.9706	2.27769	156	0.049832	0.057598	1.155836	0.99974	0.00026	1.155836
LP9	1.9706	2.27769	236	0.075387	0.087135	1.155836	0.99974	0.00026	1.155836
LP10	1.9706	2.27769	74	0.023638	0.027322	1.155836	0.99974	0.00026	1.155836

FMEA Worksheet
Penyulang GMS

Data Repair Time			
Peralatan	Kode	Laju Kegagalan	Repair Time
Saluran Udara	L	0.2	3
CB	B	0.004	10
Sectionalizer	S	0.003	10
Trafo Distribusi	T	0.005	10

Data Panjang Saluran	
Saluran	L (kms)
L1	1.955
L2	0.135
L3	0.540
L4	0.225
L5	0.135

B15:C73

	λ	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	r
LP1	1.8862	2.69498	64	0.021126	0.030185	1.428788	0.999692	0.000308	1.428788
LP2	1.8862	2.69498	301	0.059361	0.141965	1.428788	0.999692	0.000308	1.428788
LP3	1.8862	2.69498	1	0.00033	0.000472	1.428788	0.999692	0.000308	1.428788
LP4	1.8862	2.69498	85	0.028059	0.04009	1.428788	0.999692	0.000308	1.428788
LP5	1.8862	2.69498	1	0.00033	0.000472	1.428788	0.999692	0.000308	1.428788
LP6	1.8862	2.69498	1	0.00033	0.000472	1.428788	0.999692	0.000308	1.428788
LP7	1.8862	2.69498	218	0.071962	0.102819	1.428788	0.999692	0.000308	1.428788
LP8	1.8862	2.08728	1	0.00033	0.000365	1.106606	0.999762	0.000238	1.106606
LP9	1.8862	2.08728	354	0.116856	0.129313	1.106606	0.999762	0.000238	1.106606
LP10	1.8862	2.08728	213	0.070312	0.077807	1.106606	0.999762	0.000238	1.106606

Summary values from the table above:
 TOTAL: 5714
 SAIFI: 1.886988
 SAIDI: 2.612597
 CAIDI: 1.384533
 ASAI: 0.854297
 ASUI: 0.145703

FMEA Worksheet
Penyulang A. Yani

Data Repair Time			
Peralatan	Kode	Laju Kegagalan	Repair Time
Saluran Udara	L	0.2	3
CB	B	0.004	10
Sectionalizer	S	0.003	10
Trafo Distribusi	T	0.005	10

Data Panjang Saluran	
Saluran	L (kms)
L1	0.920
L2	4.500
L3	1.485
L4	0.135
L5	0.270

B15:C73

TOTAL	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	ASUI	ASUI	r
5018	2.453422	4.476483	1.824588	0.809843	0.190157			
LP1	2.9146	7.53775	1	0.000581	0.001502	2.586204	0.99914	0.00086
LP2	2.9146	7.53775	229	0.13301	0.343991	2.586204	0.99914	0.00086
LP3	2.9146	7.53775	64	0.037173	0.096137	2.586204	0.99914	0.00086
LP4	2.9146	7.53775	99	0.057502	0.148712	2.586204	0.99914	0.00086
LP5	2.9146	7.53775	157	0.09119	0.235836	2.586204	0.99914	0.00086
LP6	2.9146	7.53775	1	0.000581	0.001502	2.586204	0.99914	0.00086
LP7	2.9146	7.53775	200	0.116166	0.300428	2.586204	0.99914	0.00086
LP8	2.9146	7.53775	1	0.000581	0.001502	2.586204	0.99914	0.00086
LP9	2.9146	7.53775	157	0.09119	0.235836	2.586204	0.99914	0.00086
LP10	2.9146	7.53775	1	0.000581	0.001502	2.586204	0.99914	0.00086

Switching Time: 0.15

READY | Data | Failure Mode | RT | SWT | No new notifications

FMEA Worksheet
Perbaikan Penyulang A. Yani

Data Repair Time			
Peralatan	Kode	Laju Kegagalan	Repair Time
Saluran Udara	L	0.2	3
CB	B	0.004	10
Sectionalizer	S	0.003	10
Trafo Distribusi	T	0.005	10

Switching Time: 0.15

Data Panjang Saluran	
Saluran	L (kms)
L1	0.920
L2	4.500
L3	1.485
L4	0.135
L5	0.270

B15:C73

TOTAL 5018										
	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	ASUI	ASUI	ASUI	ASUI	r
LP1	2.6896	6.0604	1	0.000536	0.001208	2.253272	0.999308	0.000692	2.253272	
LP2	2.6896	6.0604	229	0.122742	0.276571	2.253272	0.999308	0.000692	2.253272	
LP3	2.6896	6.0604	64	0.034303	0.077295	2.253272	0.999308	0.000692	2.253272	
LP4	2.6896	6.0604	99	0.053063	0.119565	2.253272	0.999308	0.000692	2.253272	
LP5	2.6896	6.0604	157	0.08415	0.189614	2.253272	0.999308	0.000692	2.253272	
LP6	2.6896	6.0604	1	0.000536	0.001208	2.253272	0.999308	0.000692	2.253272	
LP7	2.6896	6.0604	200	0.107198	0.241546	2.253272	0.999308	0.000692	2.253272	
LP8	2.6896	6.0604	1	0.000536	0.001208	2.253272	0.999308	0.000692	2.253272	
LP9	2.6896	6.0604	157	0.08415	0.189614	2.253272	0.999308	0.000692	2.253272	
LP10	2.6896	6.0604	1	0.000536	0.001208	2.253272	0.999308	0.000692	2.253272	

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	12.6.0H	Date:	25-05-2019
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: RA	Revision:	Base
Filename:	P_Wage	Config.:	Normal

SUMMARY

System Indexes

SAIFI	2.5790 f / customer.yr
SAIDI	3.6556 hr / customer.yr
CAIDI	1.417 hr / customer interruption
ASAI	0.9996 pu
ASUI	0.00042 pu
EENS	0.000 MW hr / yr
ECOST	0.00 \$ / yr
AENS	0.0000 MW hr / customer.yr
IEAR	0.000 \$ / kW hr

SAIFI	System Average Interruption Frequency Index
SAIDI	System Average Interruption Duration Index
CAIDI	Customer Average Interruption Duration Index
ASAI	Average service Availability Index
ASUI	Average Service Unavailability Index
EENS	Expected Energy Not Supplied
ECOST	Expected Interruption Cost
AENS	Average Energy Not Supplied
IEAR	Interruption Energy Assessment Rate

Project: **ETAP** Page: 1
Location: 12.6.0H Date: 25-05-2019
Contract: SN:
Engineer: Study Case: RA Revision: Base
Filename: PENYULANG SODA Config.: Normal

SUMMARY

System Indexes

SAIFI	1.4024 f / customer.yr
SAIDI	3.4526 hr / customer.yr
CAIDI	2.462 hr / customer interruption
ASAI	0.9996 pu
ASUI	0.00039 pu
EENS	0.000 MW hr / yr
ECOST	0.00 \$ / yr
AENS	0.0000 MW hr / customer.yr
IEAR	0.000 \$ / kW hr

SAIFI	System Average Interruption Frequency Index
SAIDI	System Average Interruption Duration Index
CAIDI	Customer Average Interruption Duration Index
ASAI	Average service Availability Index
ASUI	Average Service Unavailability Index
EENS	Expected Energy Not Supplied
ECOST	Expected Interruption Cost
AENS	Average Energy Not Supplied
IEAR	Interruption Energy Assessment Rate

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	12.6.0H	Date:	25-05-2019
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: RA	Revision:	Base
Filename:	Penyulang UBM	Config.:	Normal

SUMMARY

System Indexes

SAIFI	1.7146 f / customer.yr
SAIDI	1.6780 hr / customer.yr
CAIDI	0.979 hr / customer interruption
ASAI	0.9998 pu
ASUI	0.00019 pu
EENS	0.000 MW hr / yr
ECOST	0.00 \$ / yr
AENS	0.0000 MW hr / customer.yr
IEAR	0.000 \$ / kW hr

SAIFI	System Average Interruption Frequency Index
SAIDI	System Average Interruption Duration Index
CAIDI	Customer Average Interruption Duration Index
ASAI	Average service Availability Index
ASUI	Average Service Unavailability Index
EENS	Expected Energy Not Supplied
ECOST	Expected Interruption Cost
AENS	Average Energy Not Supplied
IEAR	Interruption Energy Assessment Rate

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	12.6.0H	Date:	25-05-2019
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: RA	Revision:	Base
Filename:	Penyulang GMS	Config.:	Normal

SUMMARY

System Indexes

SAIFI	2.0262 f / customer.yr
SAIDI	5.2527 hr / customer.yr
CAIDI	2.592 hr / customer interruption
ASAI	0.9994 pu
ASUI	0.00060 pu
EENS	0.000 MW hr / yr
ECOST	0.00 \$ / yr
AENS	0.0000 MW hr / customer.yr
IEAR	0.000 \$ / kW hr

SAIFI	System Average Interruption Frequency Index
SAIDI	System Average Interruption Duration Index
CAIDI	Customer Average Interruption Duration Index
ASAI	Average service Availability Index
ASUI	Average Service Unavailability Index
EENS	Expected Energy Not Supplied
ECOST	Expected Interruption Cost
AENS	Average Energy Not Supplied
IEAR	Interruption Energy Assessment Rate

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	12.6.0H	Date:	26-05-2019
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: RA	Revision:	Base
Filename:	Penyulang A Yani	Config.:	Normal

SUMMARY

System Indexes

SAIFI	3.5410 f / customer.yr
SAIDI	10.4353 hr / customer.yr
CAIDI	2.947 hr / customer interruption
ASAI	0.9988 pu
ASUI	0.00119 pu
EENS	0.000 MW hr / yr
ECOST	0.00 \$ / yr
AENS	0.0000 MW hr / customer.yr
IEAR	0.000 \$ / kW hr

SAIFI	System Average Interruption Frequency Index
SAIDI	System Average Interruption Duration Index
CAIDI	Customer Average Interruption Duration Index
ASAI	Average service Availability Index
ASUI	Average Service Unavailability Index
EENS	Expected Energy Not Supplied
ECOST	Expected Interruption Cost
AENS	Average Energy Not Supplied
IEAR	Interruption Energy Assessment Rate

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	12.6.0H	Date:	26-05-2019
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: RA	Revision:	Base
Filename:	Penyulang A Yani	Config.:	Normal

SUMMARY

System Indexes

SAIFI	3.2851 f / customer.yr
SAIDI	8.4422 hr / customer.yr
CAIDI	2.570 hr / customer interruption
ASAI	0.9990 pu
ASUI	0.00096 pu
EENS	0.000 MW hr / yr
ECOST	0.00 \$ / yr
AENS	0.0000 MW hr / customer.yr
IEAR	0.000 \$ / kW hr

SAIFI	System Average Interruption Frequency Index
SAIDI	System Average Interruption Duration Index
CAIDI	Customer Average Interruption Duration Index
ASAI	Average service Availability Index
ASUI	Average Service Unavailability Index
EENS	Expected Energy Not Supplied
ECOST	Expected Interruption Cost
AENS	Average Energy Not Supplied
IEAR	Interruption Energy Assessment Rate