



TUGAS AKHIR - TE141599

***ANALISA KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI
PT.PLN RAYON LUMAJANG DENGAN METODE FMEA
(FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS)***

**Achmad Fatoni
NRP 2214105071**

**Dosen Pembimbing
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - TE141599

***RELIABILITY ANALYST OF 20KV DISTRIBUTION SYSTEM
IN PT.PLN RAYON LUMAJANG WITH FMEA METHOD
(FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS)***

**Achmad fatoni
NRP 2214105071**

**Supervisor
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.**

**ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016**

**ANALISA KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI
PT. PLN RAYON LUMAJANG DENGAN METODE FMEA
(FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Rony Seto W., S.T., M.T
NIP. 1974 11 29 2000 12 1001

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
NIP. 196404051990021001



Reliability Analysis Of 20 kV Distribution System in PT. PLN Rayon Lumajang with FMEA method (Failure Modes and Effects Analysis)

Achmad Fatoni
2214 105 071

Advisor I : Dr. Rony Seto Wibowo ST., MT.
Advisor II : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

Abstract:

Nowadays, the reliability level of a distribution system is important to ensure the continuity of supply power to the consumer. As such the importance of automated system distribution is realized, one of which, could be achieved by using sectionalizer.

The objective of this final project is to count the reliability indices of 20 kV Lumajang system distribution. The method engaged is FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), where the failure rate of each main distribution system utility is accounted for to find the reliability indices system overall. A number of case study are carried out for the purpose of finding the influence of number as well as location of sectionalizer along the network to the system reliability indices. Finally, the optimum location will give the best distribution system reliability indices.

Based on the analysis, with the addition of fuse in the Sukodono feeder can raise Reliability Index SAIFI which was originally worth 6.6088 becomes worth 5.4176, then with the addition of sectionalizer in the Sukodono feeder it can raise the reliability index SAIDI originally worth 7.6737 became worth 6.4431.

Keywords: Distribution System, SAIDI, SAIFI, Automation, FMEA

Halaman ini sengaja dikosongkan

Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV di PT.PLN Rayon Lumajang dengan Metode FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)

Achmad Fatoni
2214 105 071

Dosen Pembimbing I : Dr. Rony Seto Wibowo ST., MT.
Dosen Pembimbing II : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

Abstrak:

Saat ini, tingkat keandalan dari suatu sistem distribusi adalah penting guna menjamin kontinuitas supply tenaga listrik kepada konsumen. Karena itu, disadari pentingnya otomatisasi sistem distribusi, yang salah satunya dapat dicapai dengan menggunakan sectionalizer.

Tugas Akhir ini dibuat dengan tujuan menghitung indeks keandalan dari sistem distribusi 20 kV Rayon Lumajang. Metode yang digunakan adalah FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), di mana indeks kegagalan dari setiap peralatan utama sistem distribusi diperhitungkan dalam mencari indeks keandalan sistem secara menyeluruh. Sejumlah studi kasus dilakukan guna melihat pengaruh dari jumlah serta lokasi penempatan sectionalizer di sepanjang jaringan terhadap indeks keandalan sistem. Pada akhirnya, solusi optimal akan memberikan nilai indeks keandalan sistem distribusi yang terbaik.

Berdasarkan hasil analisa, dengan penambahan fuse pada penyulang sukodono dapat menaikkan Indeks Keandalan SAIFI yang semula bernilai 6.6088 menjadi bernilai 5.4176, lalu dengan adanya penambahan sectionalizer pada penyulang sukodono maka dapat menaikkan indeks keandalan SAIDI yang awalnya bernilai 7.6737 menjadi bernilai 6.4431.

Kata Kunci : Sistem Distribusi, SAIDI, SAIFI, Otomatisasi, FMEA

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penyusunan tugas akhir dengan judul “Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV di PT.PLN Rayon Lumajang dengan Metode FMEA (Failure Mode Effect Analyst)” dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan tugas akhir ini mengalami 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. Bapak, Ibu, Adik, Kakak, dan semua yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan studi.
2. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.dan Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan saran-saran yang sangat berharga kepada penulis dalam menyusun tugas akhir.
3. Keluarga Lab. B103, Tim Realibility, serta keluarga besar LJ ganjil 2014.
4. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama studi, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari terdapat banyak kekurangan, sehingga penulis mengharapakan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini dari semua pihak.

Surabaya, Juni 2016
Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR KEASLIAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Penulisan	2
1.5 Metode Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
1.7 Relevansi dan Manfaat	4
BAB II SISTEM DISTRIBUSI 20KV	
2.1 Sistem Tenaga Listrik	5
2.1.1 Besaran Sistem Tenaga Listrik.....	8
2.2 Gardu Induk.....	9
2.2.1 Klasifikasi Gardu Induk.....	9
2.2.2 Peralatan Gardu Induk	10
2.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	12
2.5.2 Sistem Radial	12
2.4 Gangguan Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik	15
2.4.1 Jenis Gangguan	15
2.4.2 Penyebab Gangguan Sistem Jaringan Distribusi.....	16
2.4.3 Akibat Gangguan pada Sistem Jaringan Distribusi..	17
2.5 Hubung Singkat pada Sistem Jaringan Distribusi.....	17
2.5.2 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah	17

2.5.3	Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa.	17
2.5.4	Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah	17
2.5.5	Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah	18

BAB III KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20KV

3.1	Keandalan Sistem Distribusi	19
3.2	Istilah dalam Keandalan Distribusi	21
3.3	Standart Keandalan Sistem 20 kV	23
3.4	Metode FMEA	24
3.5	Otomatisasi Sistem Distribusi	25
3.6	Upaya Perbaikan Keandalan.....	26
3.7	Contoh Evaluasi Keandalan	27

BAB IV EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20KV

PT. PLN RAYON LUMAJANG

4.1	Model Sistem.....	31
4.3.1	Penyulang Sukodono	32
4.2	Perhitungan Indeks Keandalan FMEA dengan Excel.....	36
4.3	Simulasi Indeks Keandalan dengan ETAP	38
4.4	Analisa Hasil Simulasi Etap dan Manual Excel	39
4.5	Generator Transformer Unit 1	40
4.6	Upaya Perbaikan Keandalan	45
4.3.1	Mengurangi Gangguan lewat Eksternal Sistem	46
4.3.1	Mengurangi Gangguan lewat Internal Sistem.....	46
4.7	Perbaikan Keandalan pada Penyulang Sukodono	47

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran.....	49

DAFTAR PUSTAKA..... 51

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Penyaluran listrik dari pembangkit ke distribusi..... 5
Gambar 2.2	Penyaluran tenaga listrik dari JTM ke pelanggan 7
Gambar 2.3	Segitiga daya 9
Gambar 2.4	Sistem radial pohon 13
Gambar 2.5	Sistem radial dengan tie dan switch pemisah..... 13
Gambar 2.6	Sistem radial dengan pembagi fasa area 14
Gambar 2.7	Sistem radial dengan pusat beban..... 14
Gambar 2.8	Penyebab gangguan 16
Gambar 3.1	SLD GI Lumajang 20
Gambar 3.2	Skema FMEA 24
Gambar 3.3	Contoh data topologi sistem..... 27
Gambar 4.1	SLD penyulang sukodono 32
Gambar 4.2	SLD ETAP penyulang sukodono 38
Gambar 4.3	Grafik evaluasi indeks penyulang sukodono 39
Gambar 4.4	Grafik evaluasi indeks penyulang sudirman 40
Gambar 4.5	Grafik evaluasi indeks penyulang klakah 41
Gambar 4.6	Grafik evaluasi indeks penyulang pronojiwo..... 42
Gambar 4.7	Grafik evaluasi indeks penyulang keting 43
Gambar 4.8	Grafik evaluasi indeks semua penyulang..... 43
Gambar 4.9	Grafik indeks sebelum dan sesudah perbaikan 48

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Pengelompokan Tegangan..... 8
Tabel 3.1	Standart Nilai Laju Kegagalan..... 23
Tabel 3.2	Data Topologi Saluran 28
Tabel 3.3	Tabel Pengerjaan Metode FMEA 28
Tabel 4.1	Data Saluran dan Pelanggan Penyulang Sukodono 32
Tabel 4.2	Panjang Saluran Penyulang Sukodono..... 34
Tabel 4.3	Standart Laju Kegagalan PLN 35
Tabel 4.4	Perhitungan Excel Penyulang Sukodono Load Point..... 36
Tabel 4.5	Evaluasi Indeks Keandalan Penyulang Sukodono..... 37
Tabel 4.6	Evaluasi Indeks Excel vs Etap Penyulang Sukodono 39
Tabel 4.7	Evaluasi Indeks Excel vs Etap Penyulang Sudirman..... 40
Tabel 4.8	Evaluasi Indeks Excel vs Etap Penyulang Klakah..... 41
Tabel 4.9	Evaluasi Indeks Excel vs Etap Penyulang Pronojiwo..... 42
Tabel 4.10	Evaluasi Indeks Excel vs Etap Penyulang Keting 43
Tabel 4.11	Data Saluran 45
Tabel 4.12	Evaluasi Keandalan Sebelum dan Sesudah Perbaikan..... 48

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebijakan Energi Nasional bertujuan untuk menyediakan energi listrik serta menjaga kontinuitas penyalurannya. Permasalahan yang paling mendasar pada distribusi daya listrik adalah pada mutu, kontinuitas dan ketersediaan pelayanan daya listrik pada pelanggan. Penggunaan evaluasi keandalan sistem pada jaringan distribusi 20 kV merupakan salah satu faktor yang penting untuk meningkatkan dan menjamin penanganan secara benar terhadap permasalahan yang real terjadi dilapangan, sehingga dapat diantisipasi terjadinya gangguan serta mengurangi kerugian akibat energi yang tidak tersuplai pada sistem distribusi.

Untuk mengetahui keandalan suatu penyulang maka ditetapkan suatu indeks keandalan yaitu besaran untuk membandingkan penampilan suatu sistem distribusi. Indeks-indeks keandalan yang sering dipakai dalam suatu sistem distribusi adalah SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), SAIDI (System Average Interruption Frequency Index), CAIDI (Customer Average Interruption Frequency Index), ASAI (Average Service Availability Index). Sebagai acuan penentuan indeks yaitu berdasarkan Standar PLN yang nantinya digunakan sebagai tolok ukur tingkat keandalan system distribusi.

Salah satu cara mengetahui indeks keandalan yaitu dengan metode FMEA. Failure modes sendiri mengarah pada suatu langkah ataupun mode yang mengalami kegagalan, sedangkan effect analysis mengarah pada suatu studi yang membahas tentang konsekuensi dari kegagalan tersebut.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana menghitung Indeks Keandalan SAIFI, SAIDI dan CAIDI berdasarkan laju kegagalan, waktu perbaikan rata-rata,

waktu switching serta jumlah konsumen pada setiap titik beban (load point).

2. Bagaimana cara untuk meningkatkan keandalan

1.3 Tujuan

Tugas akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Menerapkan metode FMEA untuk menghitung Indeks Keandalan
2. Evaluasi Indeks Keandalan dan usaha perbaikan keandalan

1.4 Batasan Masalah

Karena ruang lingkup permasalahan yang sangat luas, maka dalam penulisan tugas akhir ini memiliki batasan masalah antara lain :

1. Sistem distribusi 20 kV
2. Tanpa menganalisa cost analysis, management analysis, maupun maintenance analysis
3. Indeks keandalan mengacu pada Standar PLN

1.5 Metode Penelitian

Alur metodologi penyelesaian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi pustaka
Studi pustaka dilakukan untuk mengumpulkan buku maupun jurnal yang berkaitan tentang topik tugas akhir yang dibahas, mencakup analisa keandalan dengan menggunakan metode FMEA
2. Pengumpulan Data
Pengumpulan Data disini digunakan untuk sebagai acuan awal dalam pembuatan Simulasi Etap dan perhitungan Excel. Data yang dibutuhkan meliputi :
 - Topologi jaringan distribusi primer 20 kV
 - Data Gangguan Sistem 20 kV
 - Data Laju Kegagalan, Switching Time, Repair Time Peralatan
 - Panjang Saluran
3. Simulasi Keandalan ETAP
Dalam tahap ini dilakukan perancangan desain pada Etap sesuai Data Topologi Sistem dan Data penunjang lalu Mensimulasikannya untuk mendapatkan Indeks Keandalan Sistem

4. Perhitungan Keandalan Manual Excel
Dari data Topologi dan data penunjang yang didapat maka dapat dicari Indeks Keandalan dengan menggunakan metode fmea, dengan jalan membuat formula yang sesuai dengan metode yang diterapkan sehingga menghasilkan Indeks Keandalan Sistemnya.
5. Analisa Keandalan
Dari hasil Simulasi maupun Perhitungan didapatkan Indeks Keandalan masing-masing maka dapat dianalisa Kemampuan fungsi komponen dan ditentukan posisi yang perlu untuk diperbaiki keandalannya
6. Perbaiki Keandalan
Pada tahap ini jika didapatkan indeks keandalan yang belum sesuai target standart dari PLN maka dilakukan upaya perbaikan keandalan yaitu dengan penambahan peralatan berupa fuse maupun switch sehingga didapatkan indeks keandalan yang lebih baik
7. 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 :

1. BAB 1 : Pendahuluan
Bab ini merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, batasan masalah dan sistematika penulisan.
2. 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.
3. BAB 3: Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Rayon Lumajang
Bab ini membahas tentang keandalan system distribusi 20 kV disertai dengan Data penunjang yang dibutuhkan guna menghitung indeks keandalannya menggunakan FMEA.
4. BAB 4 : Analisa Data

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

5. BAB 5 : Penutup

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

1.7 Relevansi dan Manfaat

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Bagi perusahaan listrik
Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perusahaan listrik dalam mengetahui indeks keandalan system juga upaya perbaikannya.
2. Bagi bidang ilmu pengetahuan dan mahasiswa lain
Tugas akhir ini diharapkan dapat membantu memahami system distribusi juga upaya untuk meningkatkan keandalannya.

BAB II

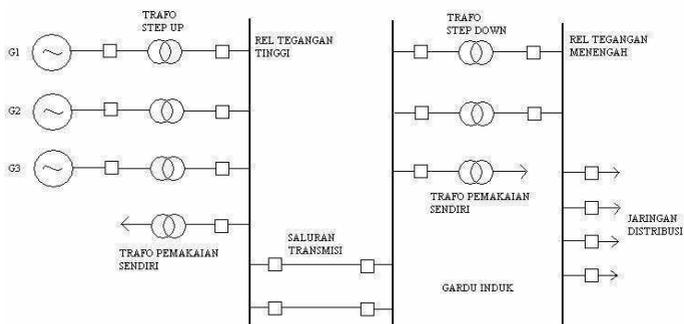
SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20KV

Pada bab ini dijelaskan teori dasar pembuatan dan teori yang digunakan dalam tugas akhir ini.

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Pada saat ini, kebutuhan manusia akan energi listrik semakin meningkat. Segala aspek kehidupan manusia tidak dapat dipisahkan dari ketergantungan terhadap energi listrik. Untuk keperluan penyediaan tenaga listrik bagi para pelanggan, diperlukan berbagai peralatan listrik. Berbagai peralatan listrik ini dihubungkan satu sama lain dan secara keseluruhan membentuk suatu sistem tenaga listrik. Dengan demikian, sistem tenaga listrik merupakan kumpulan berbagai peralatan listrik, yang terdiri dari pembangkitan, penyaluran, dan distribusi, di mana satu dengan yang lain saling berhubungan dan bekerja sama sehingga menghasilkan tenaga listrik, untuk kemudian digunakan oleh para pelanggan.

Tenaga listrik dibangkitkan dalam pusat-pusat listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan (step-up transformator) yang ada di pusat listrik. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.1.



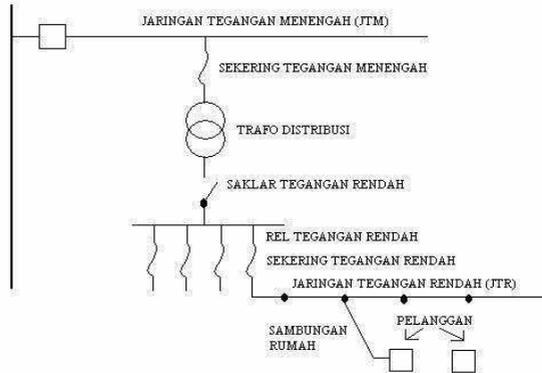
Gambar 2.1 Penyaluran listrik dari pembangkit ke distribusi

Saluran transmisi tegangan tinggi di PLN kebanyakan mempunyai tegangan 70 kV, 150 kV, dan 500 kV. Khusus untuk tegangan 500 kV dalam praktek saat ini disebut sebagai tegangan ekstra tinggi. Saluran transmisi ada yang berupa saluran udara dan ada pula yang berupa kabel tanah. Karena saluran udara dari segi maintenance lebih mudah dan murah dibandingkan dengan kabel tanah maka saluran transmisi PLN kebanyakan berupa saluran udara. Kerugian dari saluran udara dibandingkan dengan kabel tanah adalah bawah saluran udara mudah terganggu, misalnya karena kena petir, kena pohon dan lain-lain.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik ke Gardu Induk (GI) untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan (step-down transformer) menjadi tegangan menengah atau yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Kecendrungan saat ini menunjukkan bahwa tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah 20 kV.

Jaringan setelah keluar dari GI biasa disebut jaringan distribusi, sedangkan jaringan antara Pusat Listrik dengan GI biasa disebut jaringan transmisi. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah dengan tegangan 380/220 Volt, kemudian disalurkan melalui Jaringan Tegangan Rendah untuk selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah pelanggan (konsumen) PLN melalui Sambungan Rumah.

Pelanggan-pelanggan yang mempunyai daya tersambung besar tidak dapat disambung melalui Jaringan Tegangan Rendah melainkan disambung langsung pada Jaringan Tegangan Menengah bahkan ada pula yang disambung pada Jaringan Transmisi Tegangan Tinggi, tergantung besarnya daya yang dibutuhkan. Dalam praktek karena luasnya jaringan distribusi sehingga diperlukan banyak sekali transformator distribusi, maka Gardu Distribusi seringkali disederhanakan menjadi transformator tiang yang rangkaian listriknya lebih sederhana.



Gambar 2.2 Penyaluran tenaga listrik dari JTM ke pelanggan

Sesuai dengan skema gambar diatas penyaluran tegangan menengah akan melewati trafo distribusi untuk penurun tegangan selanjutnya melalui alat pembatas daya dan kWh meter. Rekening listrik pelanggan bergantung pada besarnya daya tersambung serta pemakaian kWhnya. Setelah melalui kWh meter, tenaga listrik lalu memasuki instalasi rumah, yaitu instalasi milik pelanggan. Instalasi PLN umumnya hanya sampai pada kWh meter, sesudah kWh meter instalasi listrik umumnya adalah instalasi milik pelanggan. Dalam instalasi pelanggan, tenaga listrik langsung masuk ke alat-alat listrik milik pelanggan, seperti lampu, lemari es, televisi, dan lain-lain.

Seiring dengan kemajuan zaman, kebutuhan akan tenaga listrik pun semakin meningkat, baik dari segi kuantitas maupun kualitas. Dari segi kuantitas, menuntut tersedianya tenaga listrik dalam jumlah yang memadai, sedangkan dari segi kualitas, menuntut pendistribusian tenaga listrik dengan tingkat keandalan yang tinggi kepada para konsumen. Bila ditelusuri sejarah perkembangan system tenaga listrik, maka terlihat bahwa sistem tenaga listrik mengalami perubahan yang sangat mencolok. Sebagai contoh, pada tahun tujuh puluhan kualifikasi tegangan untuk jaringan transmisi kebanyakan adalah 30 kV dan 70 kV, sedangkan untuk tegangan 150 kV jarang digunakan. Pada saat ini,

tegangan 30 kV dan 70 kV sudah mulai ditinggalkan dan digantikan oleh tegangan yang lebih tinggi yaitu 150 kV dan bahkan 500 kV

2.1.1 Besaran Sistem Tenaga Listrik

Dalam menganalisis sistem tenaga listrik dibutuhkan parameter besaran sistem tenaga listrik.

2.1.1.1 Tegangan

Tegangan adalah beda potensial yang terjadi antara 2 titik dalam rangkaian listrik. Satuannya adalah V(Volt). Secara umum pengelompokan tegangan menurut SPLN 1:1995 dibagi menjadi 4 level tegangan yaitu tegangan rendah, tegangan menengah, tegangan tinggi dan tegangan extra tinggi. Seperti pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Pengelompokan Tegangan.

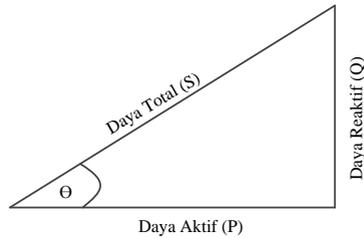
Kelompok Tegangan	Rating Tegangan
Tegangan rendah	0,1 kV ~ 1 kV
Tegangan menengah	1 kV ~ 35 kV
Tegangan tinggi	35 kV ~ 245 kV
Tegangan extra tinggi	> 245 kV

2.1.1.2 Arus

Arus adalah banyaknya muatan elektron yang mengalir dalam rangkaian listrik, satuannya adalah A (Ampere).

2.1.1.3 Daya

Daya listrik adalah banyaknya energi yang dihasilkan atau diserap oleh sebuah perangkat listrik. Daya listrik dibagi menjadi 3 yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya kompleks (S). Daya aktif adalah daya yang digunakan untuk konversi menjadi energi lain. Satuan daya aktif adalah W (Watt). Daya reaktif adalah daya yang digunakan untuk membangkitkan medan magnet. Satuan daya reaktif adalah VAR (Volt Ampere Reaktif). Daya kompleks (total) adalah perkalian antara tegangan dengan arus. Berdasarkan definisi diatas hubungan antara daya aktif, daya reaktif dan daya total ditunjukkan oleh segitiga daya.



Gambar 2.3 Segitiga daya

Dimana ;

$$S = V \times I$$

$$P = S \times \cos \varphi$$

$$= V \times I \times \cos \varphi$$

$$Q = S \times \sin \varphi$$

$$= V \times I \times \sin \varphi$$

$$V = \text{Tegangan (V)}$$

$$I = \text{Arus (A)}$$

φ = Sudut antara daya total dengan daya aktif

$$S = \text{Daya Total (VA)}$$

$$P = \text{Daya Aktif (W)}$$

$$Q = \text{Daya Reaktif (VAR)}$$

2.2 Gardu Induk

Gardu Induk (GI) merupakan suatu instalasi listrik yang terdiri dari peralatan listrik dan berfungsi untuk:

1. Transformasi tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ke tegangan tinggi yang lainnya atau ke tegangan menengah.
2. Pengukuran, pengawasan operasi, serta pengaturan pengamanan dari sistem tenaga listrik.
3. Pengaturan daya ke gardu-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan gardu-gardu induk distribusi melalui *feeder* tegangan menengah.

2.2.1 Klasifikasi Gardu Induk

Menurut konstruksinya gardu induk dapat diklasifikasikan atas:

1. Gardu induk outdoor

Peralatan listrik tegangan tinggi pada gardu induk ini ditempatkan di luar bangunan atau di tempat terbuka (switchyard). Peralatan lain seperti HV cell, panel kontrol dan relay-relay, serta sumber DC ditempatkan di dalam gedung. Gardu induk ini biasanya dinamakan gardu induk konvensional.

Kelebihan gardu induk outdoor :

- Konstruksinya lebih murah dibandingkan dengan gardu induk indoor.
- Isolasi antara peralatan dan antara busbar menggunakan media udara terbuka sehingga mengurangi biaya untuk media isolasi.

Kelemahan gardu induk outdoor:

- Membutuhkan area tanah yang luas.
- Lebih rentan terhadap hujan dan debu (kondisi cuaca) sehingga peralatan mudah kotor dan jadwal pemeliharaan harus lebih sering dilakukan.
- Memungkinkan untuk mengalami over voltage akibat sambaran petir.

2. Gardu induk indoor

Pada gardu induk indoor instalasi peralatan listrik ditempatkan di dalam gedung atau di tempat tertutup. Pada gardu induk indoor menggunakan media isolasi gas dan biasa disebut Gas Insulated Switchgear (GIS).

Kelebihan gardu induk indoor adalah:

- Area tanah yang kecil.
- Lebih aman terhadap petir dan pengaruh cuaca lainnya.
- Biaya perawatannya lebih sedikit.

Kelemahan gardu induk indoor:

- Konstruksinya lebih mahal.

3. Gardu induk pasangan gabungan

Pada gardu induk ini mempunyai ciri khas hanya transformatornya yang diletakkan di luar, sedangkan peralatan lainnya berada di dalam gedung.

4. Gardu induk dalam tanah

Gardu induk dalam tanah mempunyai ciri khas mirip dengan gardu induk pasangan dalam (gardu induk indoor), hanya saja tempatnya di dalam tanah.

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. Transformator daya yang digunakan di gardu induk ada yang berupa satu transformator 3 fasa ataupun tiga transformator 1 fasa. Jika transformator 3 fasa dibandingkan dengan tiga transformator 1 fasa

yang kapasitasnya sama, didapati bahwa berat transformator 3 fasa kira-kira sebesar 80% dari berat tiga transformator 1 fasa. Transformator 3 fasa juga lebih menguntungkan dalam hal pondasi, wiring, dan ruang yang diperlukan. Kelebihan menggunakan transformator 1 fasa yaitu apabila diperlukan transformator cadangan, maka untuk transformator 1 fasa cukup ditambahkan satu transformator 1 fasa saja sehingga menjadi empat transformator 1 fasa, jadi sangat ekonomis. Namun, jika dalam suatu gardu induk terdapat banyak transformator, maka transformator 3 fasa lebih menguntungkan. Pada saat ini transformator 3 fasa lebih banyak digunakan

2. Circuit Breaker (CB)

Merupakan alat yang dapat membuka atau menutup rangkaian baik pada kondisi kerja normal maupun pada saat terjadi kegagalan. Pada kondisi kerja normal CB dapat dioperasikan secara manual ataupun dengan menggunakan remote control, sebaliknya pada saat terjadi kegagalan CB akan bekerja secara otomatis. Sebuah CB dilengkapi dengan metode atau media untuk memadamkan busur api (arc)

3. Disconnecting Switch (DS)

DS berfungsi memisahkan rangkaian listrik dalam keadaan tidak berbeban. 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 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 merupakan kunci dalam koordinasi isolasi suatu sistem tenaga listrik. Bila terjadi surja atau petir, maka arrester berfungsi melepaskan muatan listrik (discharge), serta mengurangi tegangan berlebih yang akan mengenai peralatan di dalam gardu induk. Setelah surja dilepaskan

melalui arrester, arus masih mengalir karena adanya tegangan sistem, arus ini disebut arus dinamik atau arus susulan. Arrester harus mempunyai ketahanan termis yang cukup terhadap energi dari arus susulan ini, dan harus mampu untuk memutuskannya.

2.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi dari sumber energi yang besar (seperti gardu induk transmisi) ke konsumen. Kontruksi sirkuit saluran distribusi menggunakan kabel saluran udara maupun kabel bawah tanah.

Desain sistem distribusi bervariasi mulai dari sistem radial sampai jaringan distribusi. Pertimbangan utama yang mempengaruhi desain adalah biaya dan keandalan.

PLN sendiri menggunakan tegangan di level 20kV untuk penyaluran distribusi primer dan level tegangan 220/380V untuk penyaluran distribusi sekunder.

2.3.1 Sistem Radial

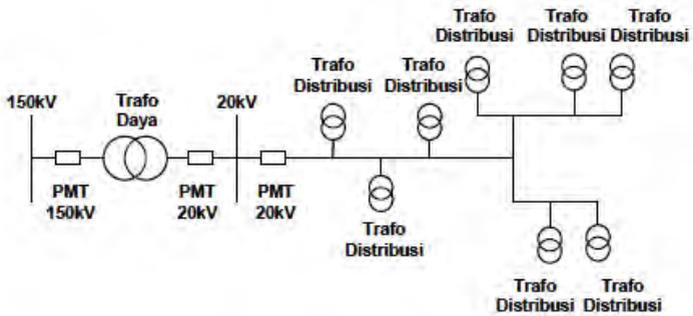
Sistem radial merupakan sistem yang paling mudah penerapannya karena hanya terdapat pada satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka gardu akan ikut padam.

Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain. Kerugiannya yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada diujung saluran. Beberapa tipe distribusi radial yaitu :

- a) Sistem radial pohon
- b) Sistem radial dengan tie dan switch pemisah
- c) Sistem radial dengan pembagi fasa area
- d) Sistem radial dengan pusat beban

2.3.1.1 Sistem Radial Pohon

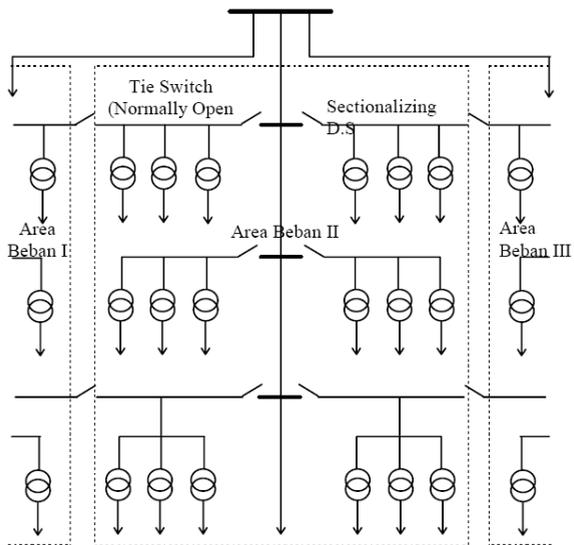
Saluran utama diambil dari gardu induk, kemudian dicabangkan melalui saluran cabang (lateral feeder). Selanjutnya di cabangkan lagi melalui sub cabang (sublateral feeder), seperti pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Sistem radial pohon

2.3.1.2 Sistem Radial dengan Tie dan Switch Pemisah.

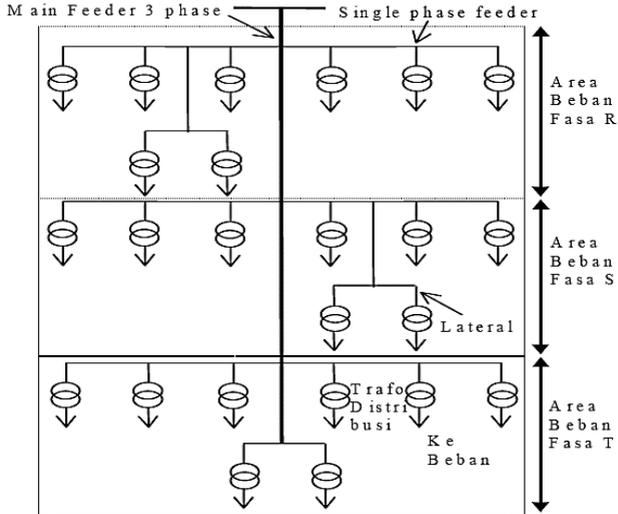
Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem radial pohon. Penambahan Tie dan Switch yang digunakan untuk melokalisir gangguan bertujuan untuk meningkatkan keandalan sistem, seperti pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Sistem radial dengan tie dan switch pemisah.

2.3.1.3 Sistem Radial dengan Pembagi Fasa Area

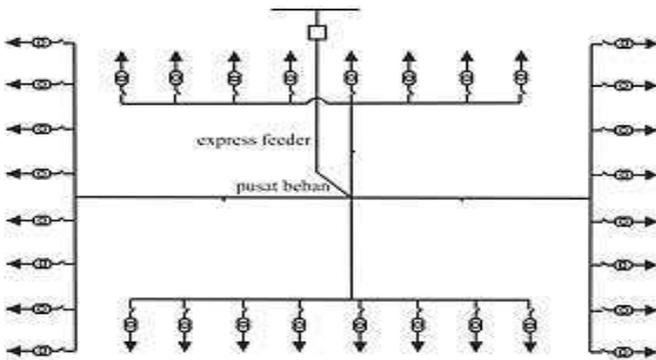
Pada sistem ini tiap fasa melayani daerah beban yang berbeda, tetapi hal ini menyebabkan kondisi sistem 3 fasa yang tidak seimbang, seperti pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Sistem radial dengan pembagi fasa area

2.3.1.4 Sistem Radial dengan Pusat Beban

Sistem ini mensuplai daya dengan menggunakan main feeder yang disebut express feeder langsung menuju ke pusat beban. Dengan menggunakan back feeder secara radial suplai sumber menyebar, seperti pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Sistem radial dengan pusat beban

2.3. Gangguan Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. 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. Gangguan hampir selalu ditimbulkan oleh hubung singkat satu fase ke tanah, suatu gangguan hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi. 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.

2.3.1. Jenis Gangguan

Pada dasarnya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi saluran 20 kV digolongkan menjadi dua macam yaitu gangguan dari dalam sistem dan gangguan dari luar sistem. Gangguan yang berasal dari luar sistem dapat disebabkan oleh sentuhan pohon/ ranting pada penghantar, sambaran petir, manusia, binatang, cuaca dan lain-lain. Gangguan yang berasal dari dalam sistem dapat berupa kegagalan dari fungsi peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan jaringan dan kerusakan dari peralatan pemutus beban.

Klasifikasi gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi dapat dibagi menjadi 2, yaitu [4].

a. Dari lama gangguan :

1. Gangguan permanen (dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan, gangguan baru akan hilang setelah kerusakan diperbaiki). Contoh lain yaitu karena ada sesuatu yang mengganggu secara permanen, misalnya ada dahan yang menimpa kawat fasa dari saluran udara dan dahan ini perlu diambil terlebih dulu agar sistem dapat berfungsi kembali secara normal.
2. Gangguan temporer (gangguan yang tidak akan lama dan dapat normal atau hilang dengan sendirinya yang disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya). Namun perlu diingat bahwa gangguan temporer yang terjadi berulang kali dapat berakibat timbulnya kerusakan pada peralatan

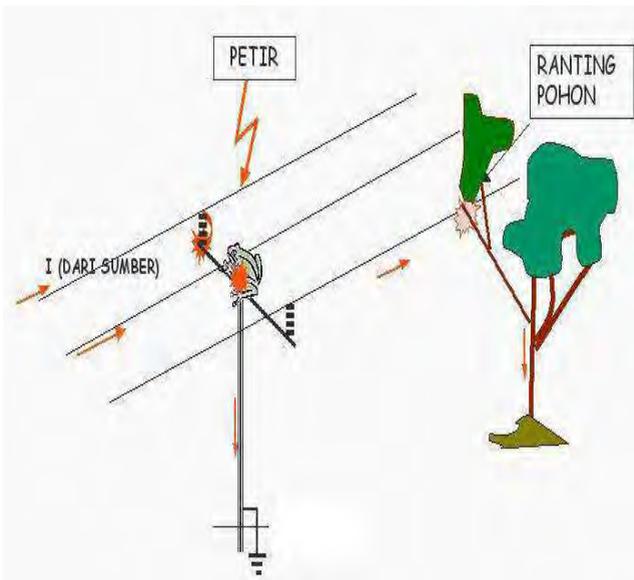
b. Dari jenis gangguan :

1. Gangguan satu fasa ke tanah
2. Gangguan dua fasa ke tanah
3. Gangguan fasa ke fasa
4. Gangguan tiga fasa ke tanah

2.3.2. Penyebab Gangguan pada Sistem Jaringan Distribusi

Gangguan biasanya diakibatkan oleh kegagalan isolasi di antara kawat penghantar fasa atau antara penghantar fasa dengan tanah, sehingga kawat penghantar menyentuh kawat penghantar lain atau kawat penghantar menyentuh tanah.

1. Pada SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah)
 - Alam (petir, pohon, angin, hujan, panas)
 - Kegagalan atau kerusakan peralatan dan saluran
 - Manusia
 - Binatang dan benda-benda asing.



Gambar 2.8 Penyebab gangguan

2. Pada SKTM (Saluran Kabel Tegangan Menengah)
 - Gangguan dari luar (External Fault), yaitu gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran air dan lain-lain. Kendaraan yang lewat di atasnya, impuls petir lewat saluran udara, binatang dan deformasi tanah.
 - Gangguan dari dalam (Internal Fault), yaitu terjadinya tegangan dan arus abnormal, pemasangan yang kurang baik, penuaan, dan beban lebih.

2.3.3. Akibat Dari Gangguan pada Sistem Jaringan Distribusi

Akibat yang paling serius dari gangguan adalah kebakaran yang tidak hanya akan merusak peralatan dimana gangguan itu terjadi, melainkan bisa berkembang ke sistem dan akan mengakibatkan kegagalan total dari sistem tersebut. Berikut merupakan contoh dari akibat yang disebabkan oleh gangguan pada sistem jaringan distribusi :

- a. Bahaya kerusakan pada peralatan yang diakibatkan oleh arcing (busur api listrik).
- b. Bahaya keruakan pada peralatan akibat panas berlebih (overheating).
- c. Penurunan tegangan yang cukup besar pada sistem daya, sehingga dapat merugikan pelanggan atau mengganggu kerja peralatan listrik.
- d. Terganggunya stabilitas sistem dan dapat menimbulkan pemadaman menyeluruh pada sistem tenaga listrik, yang dapat menyebabkan menurunnya keandalan sistem distribusi.

2.4. Gangguan Hubung Singkat pada Sistem Jaringan Distribusi.

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan. Gangguan hubung singkat juga dapat terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam maupun berasal dari luar atau karena sambaran petir. Gangguan hubung singkat merupakan suatu kondisi dimana penghantar yang berarus terhubung dengan penghantar lain atau dengan tanah.

2.4.1 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan gangguan asimetris, sehingga memerlukan metode komponen simetris untuk menganalisa tegangan dan arus pada saat terjadinya gangguan. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik, prosentase dari gangguan ini sekitar 70% dari gangguan hubung singkat yang lain.

2.4.2. Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa.

Gangguan hubung singkat antar fasa pada system distribusi biasanya diakibatkan oleh adanya kerusakan isolasi antar fasanya, juga gangguan hewan karena system distribusi banyak melintasi area hutan.

2.4.3. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah.

Gangguan hubung singkat dua fasa ketanah misalnya ketika terjadi tegangan lebih yang tinggi pada salah satu fasa, di samping isolator dari fasa itu flashover, juga terjadi flashover ke isolator dari fasa di sebelahnya

2.4.4. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah.

Hubung singkat tiga fasa ke tanah, sekalipun tipe gangguan ini jarang terjadi, namun tetap harus mendapat perhatian. Penyebabnya antara lain petir yang menyambar ketiga kawat fasa ataupun pohon yang mengenai ketiga kawat fasa.

BAB III

KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV RAYON LUMAJANG

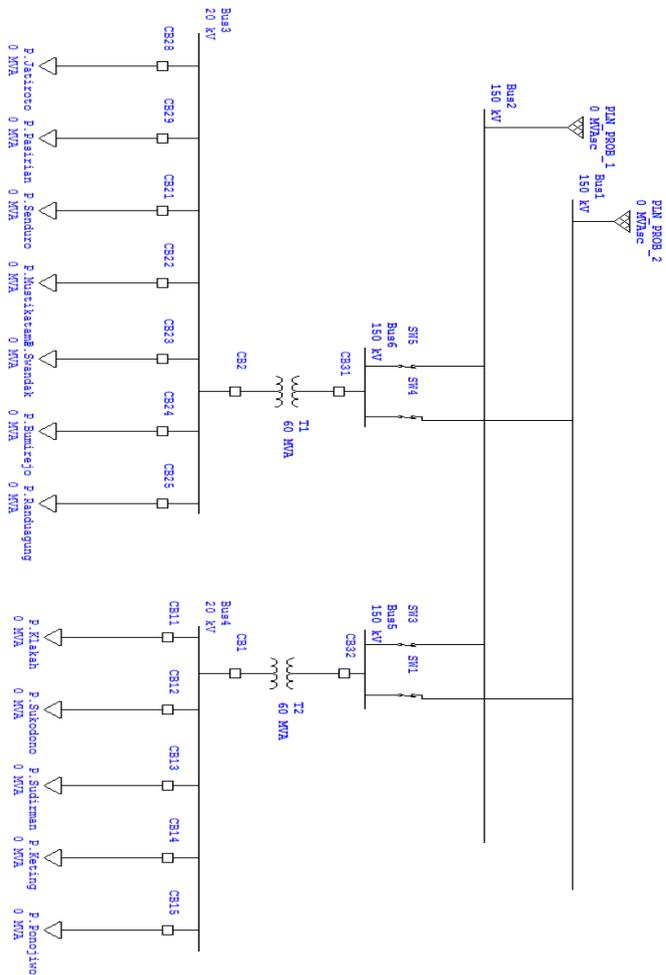
3.1. Keandalan Sistem Distribusi

Bila ditinjau dari sudut pandang pelanggan (konsumen), sebagian besar proses pemadaman yang terjadi dalam sistem tenaga listrik disebabkan oleh permasalahan atau gangguan yang timbul dalam sistem distribusi. Gangguan dominan pada sistem distribusi biasanya berasal dari gangguan yang terjadi pada saluran udara. Saluran distribusi yang berupa saluran udara (overhead lines) biaya instalasinya murah, tetapi dalam prakteknya amat dipengaruhi oleh kondisi meteorologi, seperti angin dan petir, sedangkan saluran distribusi yang berupa kabel bawah tanah (underground cable) tidak mudah terkena gangguan, namun apabila terganggu akan membutuhkan waktu yang lama guna pemulihannya. Selain itu, untuk instalasi dari kabel bawah tanah membutuhkan biaya yang jauh lebih mahal. Dengan pertimbangan tersebut, maka pada saat ini saluran transmisi dan distribusi PLN kebanyakan berupa saluran udara.

Keandalan (reliability) didefinisikan sebagai probabilitas dari peralatan atau sistem untuk dapat menjalankan fungsinya dengan semestinya, dalam kurun waktu tertentu, serta pada kondisi kerja tertentu. Dengan demikian, keandalan sistem distribusi berarti probabilitas sistem distribusi untuk dapat menjalankan fungsinya dengan semestinya, dalam kurun waktu tertentu, serta pada kondisi kerja tertentu. Tingkat keandalan dari sistem distribusi diukur dari sejauh mana penyaluran tenaga listrik dapat berlangsung secara kontinu kepada para pelanggan tanpa perlu terjadi pemadaman. Seiring dengan kemajuan zaman, terjadi pertumbuhan beban ditandai munculnya kawasan industri, bisnis, serta pemukiman yang baru, dan hal ini tentunya menuntut tingkat keandalan yang semakin tinggi.

PT. PLN (persero) Rayon Lumajang mempunyai 12 penyulang yang disalurkan melalui 2 buah trafo penurun tegangan 150/20 kV dari Gardu Induk Lumajang yang masing-masing trafo 1 terdapat 7 buah penyulang yaitu penyulang jatiroto, penyulang pasirian, penyulang senduro, penyulang mustikatama, penyulang swandak, penyulang bumirejo, dan penyulang randuagung. Pada Trafo 2 terhubung dengan 5 penyulang yaitu penyulang klakah, penyulang sukodono, penyulang sudirman, penyulang keting, dan penyulang pronojiwo.

Dilihat dari kondisi kelistrikan kabupaten Lumajang bahwa konsumen utama kelistrikan adalah rumah tangga yang menempati sekitar 90% dan terus meningkat. Oleh karena itu keandalan dari sistem distribusi juga harus semakin ditingkatkan untuk menjaga kontinuitas dan kepuasan pelanggan.



Gambar 3.1 SLD GI Lumajang

Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui bahwa kelistrikan kabupaten lumajang di supply dari system transmisi 150 kV PLN probolinggo yang diturunkan dengan Trafo penurun tegangan ke 20 kV dengan kapasitas masing-masing Trafo adalah 60 MVA. Selanjutnya dari 20 kV akan disalurkan ke masing-masing penyulang untuk didistribusikan.

3.2. Istilah dalam Keandalan Distribusi

Ada beberapa istilah yang penting berkaitan dengan keandalan sistem distribusi (Gonen 577; Sumani 5):

- outage. Keadaan di mana suatu komponen tidak dapat melakukan fungsinya disebabkan hal-hal yang secara langsung berhubungan dengan komponen tersebut. Outage dapat atau tidak dapat mengakibatkan pemadaman bergantung pada konfigurasi sistem.
- forced outage. Outage yang disebabkan oleh keadaan darurat yang secara langsung berhubungan dengan suatu komponen, di mana perlu agar komponen tersebut dilepaskan dari sistem dengan segera, atau outage yang disebabkan oleh kesalahan dalam pengoperasian peralatan ataupun karena kesalahan manusia.
- scheduled outage. Outage yang dihasilkan ketika suatu komponen dengan sengaja dilepaskan dari sistem pada waktu-waktu yang telah ditentukan, biasanya untuk tujuan perbaikan atau pemeliharaan berkala.
- interruption. Pemutusan kerja (pemadaman) pada satu atau lebih konsumen atau fasilitas sebagai akibat dari outage yang terjadi pada satu atau lebih komponen.
- forced interruption. Pemadaman yang disebabkan oleh forced outage.
- scheduled interruption. Pemadaman yang disebabkan oleh scheduled 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).

Sedangkan indeks-indeks keandalan yang digunakan untuk menghitung performa keandalan sistem secara keseluruhan yaitu (Gonen 578):

- SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) menginformasikan tentang frekuensi pemadaman rata-rata untuk tiap konsumen dalam kurun waktu setahun pada suatu area yang dievaluasi, cara menghitungnya yaitu total frekuensi pemadaman dari konsumen dalam setahun dibagi dengan jumlah total konsumen yang dilayani. Secara matematis dituliskan sebagai:

$$SAIFI = \frac{\sum(\lambda_i \times N_i)}{\sum N} \text{ (failure/year*customer)}$$

di mana:

λ = indeks kegagalan rata-rata per tahun (failure/year)

N = jumlah konsumen padam

- SAIDI (System Average Interruption Duration Index) menginformasikan tentang durasi pemadaman rata-rata untuk tiap konsumen dalam kurun waktu setahun pada suatu area yang dievaluasi, cara menghitungnya yaitu total durasi pemadaman dari konsumen dalam setahun dibagi dengan jumlah total konsumen yang dilayani. Secara matematis dituliskan sebagai:

$$SAIDI = \frac{\sum(U_i \times N_i)}{\sum N} \text{ (hours/year*customer)}$$

di mana:

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

N = jumlah konsumen padam

- CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index) menginformasikan tentang durasi pemadaman rata-rata konsumen untuk setiap gangguan yang terjadi, cara menghitungnya yaitu SAIDI dibagi dengan SAIFI.

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \text{ (hours/costumer*failure)}$$

- AENS (Average Energy Not Supplied) menginformasikan tentang jumlah rata-rata energi listrik yang tidak tersalurkan untuk tiap konsumen dalam kurun waktu setahun, cara menghitungnya yaitu total energy not supplied atau total energi yang tidak tersalurkan dalam setahun dibagi dengan jumlah total konsumen yang dilayani. Secara matematis dituliskan sebagai:

$$AENS = \frac{\Sigma ENS}{\Sigma N} \text{ (kWh/year*customer)}$$

Dan

$$ENS = \Sigma (P_i \times U_i) \text{ (kWh)}$$

di mana:

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

P = Daya beban

N = jumlah konsumen padam

3.3. Standart Keandalan Sistem 20 kV

Untuk mengukur suatu keandalan suatu system maka diperlukan patokan/standar yang berguna untuk menilai keadaan system dalam kondisi baik ataupun kurang baik. Maka berdasarkan standart PLN menurut majalah FOKUS penerbit PT.PLN february 2011 menetapkan bahwa system dalam kondisi baik jika telah memenuhi standart seperti dibawah

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

Sedangkan menurut standart IEEE P1366-2003, nilai indeks keandalan telah memenuhi standart jika memenuhi

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

Dan pada Parameter pengukuran Laju kegagalan dan juga Switching Time berdasarkan SPLN pada tahun 1985 tentang Keandalan system Distribusi 20 kV dan 6 kV yaitu :

Tabel 3.1 Standart Nilai Laju Kegagalan

Komponen	Lamda
Saluran Udara	0,2/km/tahun
Pemutus tenaga	0,004/unit/tahun
Sakelar Pemisah	0,003/unit/tahun
Trafo Distribusi	0,005/unit/tahun
Sakelar Beban	0,003/unit/tahun

Operasi Kerja

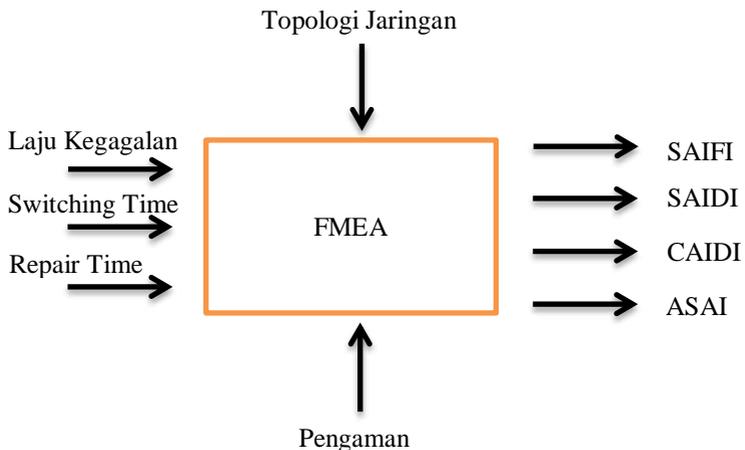
Waktu membuka/menutup sakelar beban atau pemisah adalah 0,15 jam

3.4. FMEA

FMEA (Failure Modes and Effect Analysis) merupakan suatu bentuk pendekatan yang melibatkan analisa bottom-up, bertujuan mengidentifikasi mode-mode kegagalan penyebab kegagalan, serta dampak kegagalan yang ditimbulkan oleh tiap-tiap komponen terhadap sistem. Dengan kata lain, FMEA mempertimbangkan kegagalan sistem sebagai hasil dari kegagalan komponen-komponen penyusun sistem tersebut.

Metode FMEA untuk mengevaluasi keandalan sistem distribusi didasarkan pada bagaimana kegagalan dari suatu peralatan sistem distribusi akan mempengaruhi keandalan sistem secara menyeluruh, sehingga untuk menentukan keandalan sistem dibutuhkan syarat-syarat sebagai berikut:

- a. Hanya diperlukan satu deskripsi topologi jaringan. Sistem dapat didefinisikan dalam cabang-cabangnya, komponen-komponennya, titik supply, dan titik beban/load point.
- b. Untuk setiap komponen/peralatan diperinci data keandalan seperti indeks kegagalan (failure rate), waktu perbaikan (repair time), dan waktu switching (switching time).
- c. Sectionalizer diperlakukan sebagai peralatan sistem dan alokasinya disesuaikan dengan topologi jaringan.
- d. Penjumlahan dari pengaruh kegagalan setiap load point, baik itu failure rate, repair time, hal ini merupakan dasar rumusan dan perhitungan SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan AENS



Gambar 3.2 Skema FMEA

Dalam tugas akhir ini menggunakan metode Failure Modes and effect analys (FMEA). Secara fungsional FMEA mengasumsikan sebuah kegagalan lalu mengidentifikasi efek dari setiap load point akibat kegagalan yang terjadi. Dengan menggunakan metode ini maka dapat diketahui daerah-daerah mana pada jaringan yang perlu diperbaiki keandalannya. Baik melalui pemeliharaan jaringan maupun otomatisasi system.

3.5. Otomatisasi Sistem Distribusi

Ada 2 cara untuk memperbaiki keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Cara pertama adalah mengurangi frekuensi terjadinya gangguan dan cara kedua adalah dengan mengurangi durasi gangguan. Untuk mengurangi frekuensi terjadinya gangguan, dilakukan tindakan preventif yakni dengan adanya pemeliharaan jaringan secara berkala. Hal ini guna menjamin kondisi setiap peralatan tetap baik, dan pada akhirnya akan menjamin performa sistem secara menyeluruh. Sedangkan untuk mengurangi durasi gangguan disadari pentingnya otomatisasi sistem distribusi untuk memastikan pemulihan pasokan tenaga listrik secara cepat bagi konsumen, dan sekaligus memperbaiki tingkat keandalan sistem.

Otomatisasi sistem distribusi dilakukan dengan menggunakan sejumlah peralatan keypoint, keypoint di sini berupa sectionalizer atau Saklar Seksi Otomatis (SSO) yang sudah disinggung sebelumnya. Sectionalizer membagi jaringan distribusi ke dalam section-section, dan akan bekerja melakukan operasi switching (switching operation) bilamana terjadi gangguan pada sistem. Ada 2 macam switching operation yang dapat dilakukan, yang pertama switching operation yang bertujuan untuk melokalisir/memisahkan section yang terganggu agar tidak mempengaruhi section lain yang tidak terganggu, dan yang kedua adalah switching operation yang bertujuan untuk memutuskan jaringan dari gangguan, sekaligus menghubungkan jaringan yang terputus dengan alternatif sumber listrik lain apabila ada yang memungkinkan, sehingga tidak perlu terjadi pemadaman.

Setelah mengetahui cara kerja dari sectionalizer, maka dapat diketahui bahwa pada penyulang radial, sectionalizer akan melokalisir daerah sepanjang feeder yang terganggu, sedangkan pada penyulang yang terpasang tie switch loop, maka sectionalizer akan melokalisir section yang terganggu, sedangkan section yang tidak terganggu akan tetap mendapat supply tenaga listrik bilamana memungkinkan. Dalam hal ini akan dibahas lokasi penempatan sectionalizer yang optimal pada jaringan distribusi, dalam arti lokasi sectionalizer tersebut akan memberikan indeks-indeks keandalan sistem yang terbaik.

Sectionalizer ditempatkan di jaringan distribusi dengan beberapa tujuan yang berbeda di antaranya untuk mengisolasi section yang terganggu, rekonfigurasi jaringan, dan lainnya yang secara umum akan memperbaiki

keandalan sistem. Dalam hal ini ada 2 kondisi sectionalizer yaitu:

1. Perfect switching operation, yaitu kondisi di mana sectionalizer dapat bekerja dengan sempurna, tanpa ada kegagalan operasi yang terjadi. Dalam hal ini apabila ada sebuah section yang terganggu, sectionalizer akan bekerja melokalisir section tersebut agar gangguan tidak meluas ke section lain.
2. Imperfect switching operation, adalah kondisi di mana sectionalizer dapat mengalami kegagalan operasi, yaitu sectionalizer gagal melokalisir section yang terganggu sehingga menyebabkan ikut terganggunya section yang lain

Pada Tugas Akhir disini adalah menggunakan Perfect switching, dimana sectionalizer dan fuse dapat bekerja sempurna. Dalam hal ini jika terjadi kegagalan yang melibatkan komponen ini maka dapat bekerja dan melokalisir gangguan. Tujuan penggunaan perfect switching tidak lain adalah untuk menyederhanakan kemungkinan-kemungkinan kegagalan yang terjadi, sehingga pengamanan seharusnya mampu untuk bekerja maksimal untuk melokalisir gangguan dan bukan sebagai penyebab gangguan.

3.6. Perbaikan Keandalan

Perbaikan keandalan merupakan suatu cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan indeks keandalan dari suatu system. Dalam memperbaiki suatu indeks keandalan dapat dilakukan dengan Rekonfigurasi Jaringan.

Rekonfigurasi jaringan ini bertujuan mendapatkan solusi optimal dengan membandingkan indeks-indeks keandalan sistem (SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan AENS) melalui penempatan sectionalizer dan fuse dengan berbagai alternatif. Prosedur dasar dari metode pendekatan ini dimulai dengan memodelkan jaringan yang akan dianalisa. Topologi jaringan dideskripsikan dengan cabang-cabangnya. Suatu cabang didefinisikan sebagai satu set komponen yang berhubungan secara seri dan berujung pada dua busbar. Setiap cabang dan semua komponen yang dipertimbangkan akan diidentifikasi, meliputi:

- a. Jumlah cabang dan ujung cabang.
- b. Jumlah komponen.
- c. Jumlah supply point, jumlah load point yang akan dianalisa dan jumlah tie switch normally open.
- d. Data pelanggan dan data daya listrik.
- e. Data keandalan untuk tiap komponen.

Dengan dasar kondisi jaringan, selanjutnya sectionalizer dan fuse ditempatkan di calon-calon lokasi yang diusulkan. Pada setiap perubahan lokasi dengan jumlah sectionalizer dan fuse, indeks-indeks keandalan sistem akan dihitung. Dengan merubah secara kontinyu alokasi sectionalizer dan fuse, maka prioritas penempatan yang optimal dapat dicapai. Metode dari pendekatan ini

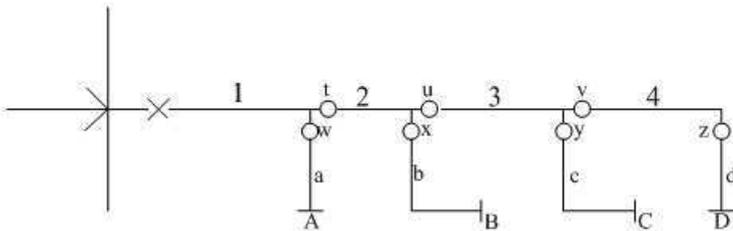
adalah sebagai berikut:

- Masukkan data jaringan, data konsumen, data daya listrik, dan data keandalan komponen.
- Perincian topologi jaringan dan jumlah sectionalizer dan fuse yang diinvestasikan.
- Pertimbangkan setiap load point.
- Pertimbangkan setiap kejadian gangguan di load point secara bergiliran.
- Hitung indeks keandalan load point.
- Ulangi untuk setiap kejadian fault/gangguan untuk setiap load point.
- Jumlahkan semua indeks load point untuk mendapatkan indeks keandalan sistem.
- Ubah lokasi sectionalizer dan fuse sejauh dimungkinkan sesuai kondisi jaringan dan lanjutkan ke langkah c.
- Ulangi untuk setiap alokasi sectionalizer dan fuse yang mungkin.
- Tentukan solusi optimal dengan membandingkan indeks-indeks keandalan untuk setiap alternatif yang mungkin.

3.7. Contoh Evaluasi Keandalan

Menghitung nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, ASAI dan ENS pada setiap kasus. Jika diketahui Topologi system seperti dibawah :

Diketahui sectionializer pada t-v, fuse pada w-z memiliki probabilitas berhasil 1, breakers pada u memiliki probabilitas berhasil 1



Gambar 3.3 Contoh data topologi sistem

Tabel 3.2 Data Topologi Saluran

Component	Length (km)	$\lambda(f/yr)$	r(hours)
Section			
1	2	0.2	4
2	1	0.1	4

3	3	0.3	4
4	2	0.2	4
Distributor			
1	1	0.2	2
2	3	0.6	2
3	2	0.4	2
4	1	0.2	2

Load Point	Number of Cust	Average Load Connected (kW)
A	1000	5000
B	800	4000
C	700	3000
D	500	2000

Switching time sebesar 0.5 jam

Maka berdasarkan FMEA maka kita akan mendapatkan perhitungan dengan menggunakan table :

Tabel 3.3 Tabel Pengerjaan Metode FMEA.

Component Failure	Load Point A			Load Point B			Load Point C			Load Point D		
	λ (f/yr)	r (hours)	U (h/yr)									
Section												
1	0.2	4	0.8	0.2	4	0.8	0.2	4	0.8	0.2	4	0.8
2	0.1	0.5	0.05	0.1	4	0.4	0.1	4	0.4	0.1	4	0.4
3	0.3	0.5	0.15	0.3	0.5	0.15	0.3	4	1.2	0.3	4	1.2
4	0.2	0.5	0.1	0.2	0.5	0.1	0.2	0.5	0.1	0.2	4	0.8
Distributor												
1	0.2	2	0.4									
2				0.6	2	1.2						
3							0.4	2	0.8			
4										0.2	2	0.4
	1	1.5	1.5	1.4	1.89	2.65	1.2	2.75	3.3	1	3.6	3.6

Penjelasan table :

- Failure pada section 1 menyebabkan terjadinya Pemadaman pada Load A-D, dikarenakan saat terjadi kegagalan pada section 1 maka secara otomatis untuk melokalisir gangguan CB akan aktif (open), lalu dilakukan upaya perbaikan section selama waktu repair time dari section 1 yaitu 4 jam.
- Failure pada section 2 menyebabkan terjadinya Pemadaman pada Load A-D, dikarenakan saat terjadi kegagalan pada section 2 maka secara otomatis untuk melokalisir gangguan CB akan aktif (open), namun karena terdapat sectionalizer untuk melokalisir gangguan pada muka section 2 maka sectionalizer (t) dapat dibuka (open) sehingga pada Load A terlokalisir dari gangguan pada section 2 dan hanya mendapat switching time, selanjutnya akan dilakukan upaya perbaikan section 2 selama waktu repair time dari section 2 yaitu 4 jam.
- Failure pada section 3 menyebabkan terjadinya Pemadaman pada Load A-D, dikarenakan saat terjadi kegagalan pada section 3 maka secara otomatis untuk melokalisir gangguan CB akan aktif (open), namun karena terdapat sectionalizer untuk melokalisir gangguan pada muka section 3 maka sectionalizer (u) dapat dibuka (open) sehingga pada Load A-B terlokalisir dari gangguan pada section 3 dan hanya mendapat switching time, selanjutnya akan dilakukan upaya perbaikan section 3 selama waktu repair time dari section 3 yaitu 4 jam.
- Failure pada section 4 menyebabkan terjadinya Pemadaman pada Load A-D, dikarenakan saat terjadi kegagalan pada section 4 maka secara otomatis untuk melokalisir gangguan CB akan aktif (open), namun karena terdapat sectionalizer untuk melokalisir gangguan pada muka section 4 maka sectionalizer (u) dapat dibuka (open) sehingga pada Load A-C terlokalisir dari gangguan pada section 4 dan hanya mendapat switching time, selanjutnya akan dilakukan upaya perbaikan section 4 selama waktu repair time dari section 4 yaitu 4 jam.
- Failure pada Distributor 1 akan menyebabkan bekerjanya fuse (karena terdapat fuse pada muka gangguan) sehingga menyebabkan Load A mengalami perbaikan selama waktu perbaikan distributor 1, namun pada Load B-D tidak mengalami Pemadaman karena gangguan dapat dilokalisir oleh fuse.
- Failure pada Distributor 2 akan menyebabkan bekerjanya fuse (karena terdapat fuse pada muka gangguan) sehingga menyebabkan Load B mengalami perbaikan selama waktu perbaikan distributor 1, namun pada Load A,C,D tidak mengalami Pemadaman karena gangguan dapat dilokalisir oleh fuse.
- Failure pada Distributor 3 akan menyebabkan bekerjanya fuse (karena terdapat fuse pada muka gangguan) sehingga menyebabkan Load C

mengalami perbaikan selama waktu perbaikan distributor 1, namun pada Load A,B,D tidak mengalami Pemadaman karena gangguan dapat dilokalisir oleh fuse.

- Failure pada Distributor 4 akan menyebabkan bekerjanya fuse (karena terdapat fuse pada muka gangguan) sehingga menyebabkan Load D mengalami perbaikan selama waktu perbaikan distributor 1, namun pada Load A,B,C tidak mengalami Pemadaman karena gangguan dapat dilokalisir oleh fuse.

Deangan didapatkannya table FMEA dan dilanjutkan dengan menjumlahkan laju kegagalan dan durasi per-Load Point seperti diatas maka dapat kita hitung indeks keandalannya

$$\begin{aligned}
 SAIDI &= \frac{\sum(N_i U_i)}{\sum N_i} \\
 &= \frac{(1000 \times 1.5) + (800 \times 2.65) + (700 \times 3.3) + (500 \times 3.6)}{1000 + 800 + 700 + 500} \\
 &= 2.57 \text{ jam/pelanggan/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SAIFI &= \frac{\sum(N_i \lambda_i)}{\sum N_i} \\
 &= \frac{(1000 \times 1) + (800 \times 1.4) + (700 \times 1.2) + (500 \times 1)}{1000 + 800 + 700 + 500} \\
 &= 1.153 \text{ kali/pelanggan/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CAIDI &= \frac{SAIDI}{SAIFI} \\
 &= 2.23 \text{ jam/pelanggan/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ASAI &= \frac{\sum N_i \times 8760 - \sum(N_i U_i)}{\sum N_i \times 8760} \\
 &= \frac{3000 \times 8760 - 7467}{3000 \times 8760} \\
 &= 0.9997058 \text{ pu}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ENS &= \sum (P_i U_i) \\
 &= (5000 \times 1.5) + (4000 \times 2.65) + (3000 \times 3.3) + (2000 \times 3.6) \\
 &= 35200 \text{ KW jam/tahun}
 \end{aligned}$$

BAB IV

EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PT. PLN RAYON LUMAJANG

Pada dasarnya evaluasi keandalan berfungsi untuk melihat performa system, dalam hal ini yaitu performa untuk waktu yang akan datang. Karena FMEA adalah suatu metode yang dapat digunakan untuk peramalan atau prediksi sehingga hasil yang diperoleh adalah Indeks keandalan untuk prediksi waktu kedepan sesuai dengan data topologi dan data pendukung lain seperti laju kegagalan, durasi perbaikan dan switching time (waktu buka tutup sectionalizer).

Pada Penerapan kali ini yaitu Evaluasi dilakukan dengan mengasumsikan bahwa system pengaman bekerja sesuai fungsinya (perfect switching), hal ini dikarenakan untuk mempermudah dalam analisa dan memperkecil kondisi yang tidak diharapkan. Dikarenakan komponen pengaman merupakan sebuah komponen yang dipakai untuk melokalisir gangguan dan jika komponen tersebut tidak berfungsi sebagaimana mestinya maka dapat dikatakan bahwa ada tidaknya komponen tidak berpengaruh terhadap performa system.

Mode kegagalan yang dilakukan adalah dengan mengasumsikan beberapa komponen dalam saluran ditribusi sebagai suatu penyebab dari terjadinya suatu kegagalan pada system, komponen ini meliputi saluran udara tegangan menengah 20 kV, circuit breaker, sectionalizer, dan trafo distribusi. Keempat komponen tersebut akan digunakan sebagai suatu mode kegagalan yang nantinya dapat kita lihat efek dari masing-masing load point akibat adanya kegagalan tersebut. Setelah didapatkan table FMEA lewat pengaruh mode kegagalan terhadap keseluruhan load point, lalu kita dapat menghitung rata-rata dari laju kegagalan juga durasi perbaikan rata-rata setiap load point.

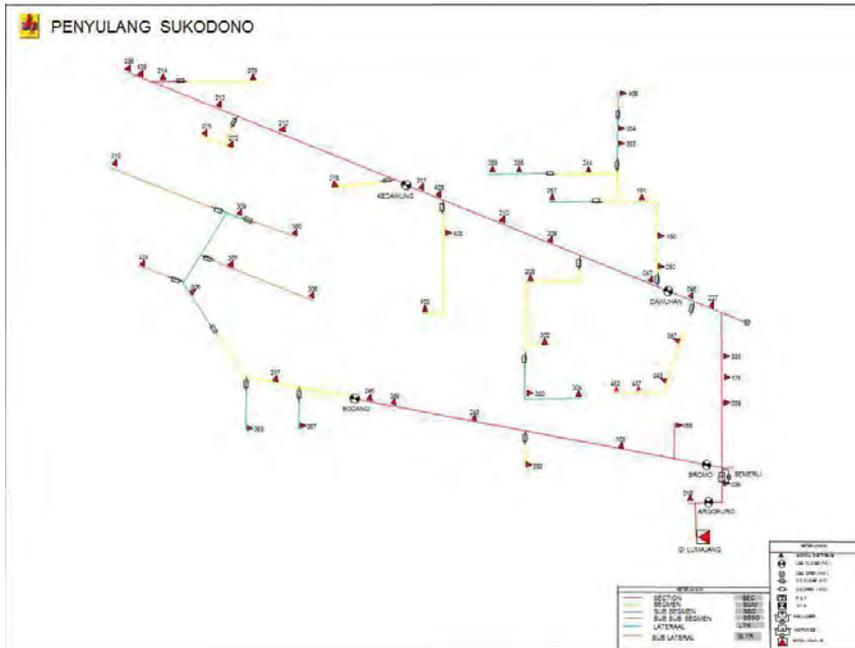
Dalam upaya untuk perbaikan maka dapat dilakukan dengan cara rekonfigurasi jaringan, hal ini bertujuan mendapatkan solusi optimal dengan membandingkan indeks-indeks keandalan sistem (SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan AENS) melalui penempatan sectionalizer dan fuse dengan berbagai alternatif.

4.1. Model Sistem

Pada GI Lumajang terdiri dari 12 penyulang yang saling terhubung penyulang satu dengan penyulang lainnya. Pada analisa keandalan kali ini akan kita hitung Indeks keandalan dari model system penyulang dari Trafo 2 yang terdiri dari Penyulang sudirman, penyulang sukodono, penyulang klakah, penyulang pronojiwo, penyulang keting.

4.1.1. Penyulang Sukodono

Pada penyulang sukodono terdapat data topologi system sesuai gambar dibawah :



Gambar 4.1 SLD penyulang sukodono

Dengan Data Penunjang sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Saluran dan Pelanggan Penyulang Sukodono.

Load point	Trafo	Daya (KVA)	Jumlah Pelanggan	Load (KVA)
1	GB018	200	778	76.574
2	GB036	200	466	76.574
3	GB039	100	72	38.287
4	GB175	250	914	95.7175
5	GB335	100	304	38.287
6	GB227	50	499	19.1435
7	GB357	50	166	19.1435
8	GB048	160	533	61.2592
9	GB437	100	530	38.287
10	GB452	200	209	76.574

11	GB046	160	612	61.2592
12	GB250	160	465	61.2592
13	GB180	50	146	19.1435
14	GB181	160	530	61.2592
15	GB257	160	465	61.2592
16	GB353	50	103	19.1435
17	GB354	25	43	9.57175
18	GB406	50	65	19.1435
19	GB244	50	178	19.1435
20	GB358	50	132	19.1435
21	GB359	50	74	19.1435
22	GB047	160	499	61.2592
23	GB208	50	169	19.1435
24	GB302	100	293	38.287
25	GB303	100	176	38.287
26	GB304	100	217	38.287
27	GB209	100	204	38.287
28	GB210	50	130	19.1435
29	GB405	100	241	38.287
30	GB403	100	211	38.287
31	GB428	100	105	38.287
32	GB211	160	499	61.2592
33	GB378	100	168	38.287
34	GB212	50	210	19.1435
35	GB272	25	99	9.57175
36	GB275	50	138	19.1435
37	GB213	100	164	38.287
38	GB214	100	544	38.287
39	GB379	50	105	19.1435
40	GB439	100	410	38.287
41	GB286	1000	1	382.87
42	GB055	160	526	61.2592
43	GB105	160	549	61.2592
44	GB382	100	197	38.287
45	GB245	160	428	61.2592
46	GB389	100	117	38.287
47	GB246	160	292	61.2592
48	GB367	50	88	19.1435
49	GB247	100	258	38.287
50	GB368	50	158	19.1435
51	GB306	50	250	19.1435
52	GB424	160	138	61.2592
53	GB307	50	149	19.1435
54	GB308	25	120	9.57175
55	GB310	100	233	38.287
56	GB309	100	185	38.287
57	GB380	100	107	38.287

Data Panjang kabel :

Tabel 4.2 Panjang Saluran Penyulang Sukodono.

Saluran	L (KM)
L1	0.1
L2	0.68
L3	0.21
L4	0.23
L5	0.11
L6	0.15
L7	0.05
L8	0.24
L9	0.1
L10	0.1
L11	0.31
L12	0.1
L13	0.08
L14	0.11
L15	0.1
L16	0.12
L17	0.1
L18	0.09
L19	0.12
L20	0.11
L21	0.1
L22	0.11
L23	0.13
L24	0.12
L25	0.15
L26	0.04
L27	0.08
L28	0.1
L29	0.12
L30	0.16
L31	0.14
L32	0.2
L33	0.11
L34	0.15
L35	0.1
L36	0.12
L37	0.21
L38	0.13
L39	0.31
L40	0.54
L41	0.12
L42	0.13
L43	0.17
L44	0.35

L45	1.13
L46	0.33
L47	0.45
L48	0.15
L49	0.07
L50	0.09
L51	0.1
L52	0.09
L53	0.07
L54	0.1
L55	0.21
L56	0.13
L57	0.1
L58	0.09
L59	0.13
L60	0.13
L61	0.1
L62	0.12
L63	0.1
L64	0.23
L65	0.24
L66	0.26
L67	0.13
L68	0.21
L69	0.17
L70	0.22
L71	0.18
L72	0.16
L73	0.15
L74	0.16
L75	0.34
L76	0.25
L77	0.27
L78	0.15

Standart Nilai Laju Kegagalan (Lamda)

Tabel 4.3 Standart Laju Kegagalan PLN.

Komponen	Lamda
Saluran Udara	0,2/km/tahun
Pemutus tenaga	0,004/unit/tahun
Sakelar Pemisah	0,003/unit/tahun
Trafo Distribusi	0,005/unit/tahun
Sakelar Beban	0,003/unit/tahun

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

4.2. Perhitungan indeks keandalan FMEA dengan EXCEL

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

Tabel 4.4 Perhitungan Excel Penyulang Sukodono Per-Load Point.

	λ	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP1	6.279	1.117	778	0.312	0.055	0.178	1.000	0.000
LP2	6.279	1.635	466	0.187	0.049	0.260	1.000	0.000
LP3	6.279	2.796	72	0.029	0.013	0.445	1.000	0.000
LP4	6.279	2.796	914	0.366	0.163	0.445	1.000	0.000
LP5	6.279	2.796	304	0.122	0.054	0.445	1.000	0.000
LP6	6.279	2.796	499	0.200	0.089	0.445	1.000	0.000
LP7	6.411	3.332	166	0.068	0.035	0.520	1.000	0.000
LP8	6.411	3.332	533	0.218	0.113	0.520	1.000	0.000
LP9	6.411	3.332	530	0.217	0.113	0.520	1.000	0.000
LP10	6.411	3.332	209	0.086	0.044	0.520	1.000	0.000
LP11	6.279	2.796	612	0.245	0.109	0.445	1.000	0.000
LP12	6.931	9.115	465	0.206	0.271	1.315	0.999	0.001
LP13	6.931	9.115	146	0.065	0.085	1.315	0.999	0.001
LP14	6.931	9.115	530	0.235	0.308	1.315	0.999	0.001
LP15	7.042	9.483	465	0.209	0.282	1.347	0.999	0.001
LP16	7.177	9.923	103	0.047	0.065	1.383	0.999	0.001
LP17	7.177	9.923	43	0.020	0.027	1.383	0.999	0.001
LP18	7.182	9.973	65	0.030	0.041	1.389	0.999	0.001
LP19	6.931	9.115	178	0.079	0.104	1.315	0.999	0.001
LP20	7.401	10.595	132	0.062	0.089	1.432	0.999	0.001
LP21	7.401	10.595	74	0.035	0.050	1.432	0.999	0.001
LP22	6.279	7.019	499	0.200	0.224	1.118	0.999	0.001
LP23	7.345	10.287	169	0.079	0.111	1.401	0.999	0.001
LP24	7.345	10.287	293	0.137	0.192	1.401	0.999	0.001
LP25	7.841	11.845	176	0.088	0.133	1.511	0.999	0.001
LP26	7.841	11.845	217	0.109	0.164	1.511	0.999	0.001
LP27	6.279	7.019	204	0.082	0.091	1.118	0.999	0.001
LP28	6.279	7.019	130	0.052	0.058	1.118	0.999	0.001
LP29	6.907	9.002	241	0.106	0.139	1.303	0.999	0.001
LP30	6.907	9.002	211	0.093	0.121	1.303	0.999	0.001
LP31	6.279	7.019	105	0.042	0.047	1.118	0.999	0.001
LP32	6.279	7.019	499	0.200	0.224	1.118	0.999	0.001
LP33	6.732	15.417	168	0.072	0.165	2.290	0.998	0.002
LP34	6.279	14.023	210	0.084	0.188	2.233	0.998	0.002
LP35	7.083	16.505	99	0.045	0.104	2.330	0.998	0.002
LP36	7.083	16.505	138	0.062	0.145	2.330	0.998	0.002
LP37	6.279	14.023	164	0.066	0.147	2.233	0.998	0.002
LP38	6.279	14.023	544	0.218	0.487	2.233	0.998	0.002

LP39	6.59	14.991	105	0.044	0.101	2.275	0.998	0.002
LP40	6.279	14.023	410	0.164	0.367	2.233	0.998	0.002
LP41	6.279	14.023	1	0.000	0.001	2.233	0.998	0.002
LP42	6.279	7.548	526	0.211	0.253	1.202	0.999	0.001
LP43	6.279	7.548	549	0.220	0.265	1.202	0.999	0.001
LP44	6.588	8.510	197	0.083	0.107	1.292	0.999	0.001
LP45	6.279	7.548	428	0.172	0.206	1.202	0.999	0.001
LP46	6.279	7.548	117	0.047	0.056	1.202	0.999	0.001
LP47	6.279	7.548	292	0.117	0.141	1.202	0.999	0.001
LP48	6.546	9.767	88	0.037	0.055	1.492	0.999	0.001
LP49	6.279	8.931	258	0.103	0.147	1.422	0.999	0.001
LP50	6.54	9.749	158	0.066	0.098	1.491	0.999	0.001
LP51	7.427	12.445	250	0.119	0.199	1.676	0.999	0.001
LP52	7.536	12.807	138	0.066	0.113	1.699	0.999	0.001
LP53	7.721	13.397	149	0.073	0.127	1.735	0.998	0.002
LP54	7.721	13.397	120	0.059	0.103	1.735	0.998	0.002
LP55	7.678	13.233	233	0.114	0.197	1.724	0.998	0.002
LP56	7.427	12.445	185	0.088	0.147	1.676	0.999	0.001
LP57	7.574	12.921	107	0.052	0.088	1.706	0.999	0.001
total	15662							
	SAIFI			6.609				
		SAIDI			7.767			
			ASAI			0.999		
				ASUI			0.001	
					CAIDI			1.161

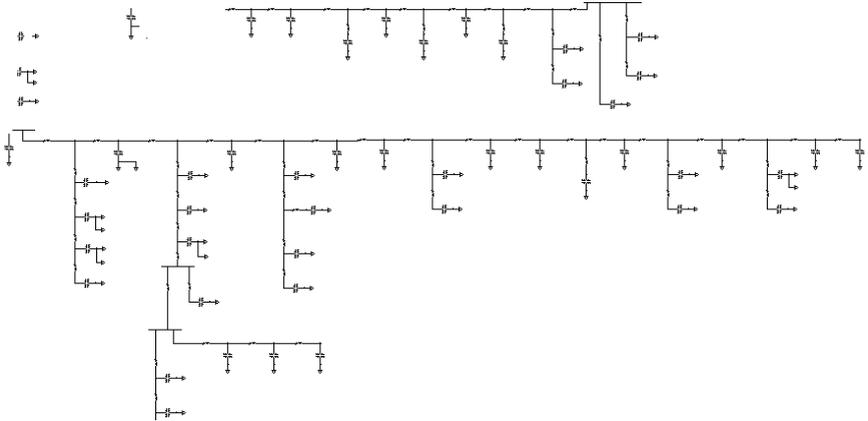
Dari perhitungan didapat bahwa nilai indeks keandalan dari penyulang sukodono adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5 Hasil Evaluasi Indeks Keandalan Penyulang Sukodono.

	EXCEL
SAIFI	6.6088
SAIDI	7.7674
CAIDI	1.1611
ASAI	0.99895
ASUI	0.00105

4.3. Simulasi indeks keandalan dengan ETAP

Untuk dipakai sebagai Pembanding hasil perhitungan FMEA maka perlu untuk menghitung dengan metode lain salah satunya dengan Reliability Etap dan didapat hasil :



Gambar 4.2 SLD ETAP penyulang sukodono

Dari Hasil running dengan software etap didapatkan hasil indeks keandalan sebagai berikut:

SUMMARY

System Indexes

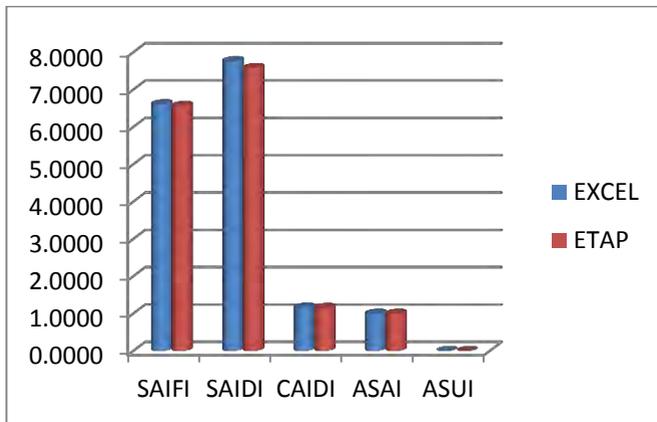
SAIFI	6.5654 f / customer.yr
SAIDI	7.5806 hr / customer.yr
CAIDI	1.155 hr / customer interruption
ASAI	0.9991 pu
ASUI	0.00087 pu

4.4. Analisa Hasil simulasi software Etap dan Manual Excel

Tabel 4.1 Hasil Evaluasi Indeks Excel vs Etap Penyulang Sukodono

	EXCEL	ETAP
SAIFI	6.6088	6.5654
SAIDI	7.7674	7.5806
CAIDI	1.1611	1.1550
ASAI	0.99895	0.9991
ASUI	0.00105	0.00087

Dengan mengasumsikan bahwa simulasi Etap sebagai acuan maka dari tabel diatas menunjukkan bahwa adanya selisih indeks keandalan antara perhitungan menggunakan Software Etap dan manual Excel. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan metode yang digunakan sehingga menimbulkan selisih namun tidak signifikan. Pada Evaluasi menggunakan Etap juga diketahui bahwa ada perbedaan tentang aturan pengambilan nilai switching time sehingga mempengaruhi hasil running dari etap utamanya pada nilai durasi pada SAIDI.



Gambar 4.3 Grafik evaluasi indeks penyulang sukodono

Dapat juga dilihat hasil perbandingan menurut grafik diatas menunjukkan terdapat selisih namun tidak signifikan. Sehingga masih linear antara simulasi Etap dan Perhitungan manual Excel.

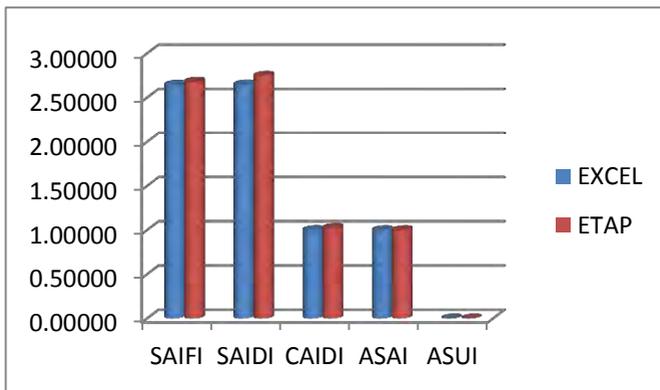
4.5. Analisa Hasil semua Penyulang

Hasil running indeks keandalan penyulang Sudirman :

Tabel 4.2 Hasil Evaluasi Indeks Excel vs Etap Penyulang Sudirman.

	EXCEL	ETAP
SAIFI	2.64570	2.6798
SAIDI	2.64915	2.7476
CAIDI	1.00131	1.025
ASAI	0.99967	0.9997
ASUI	0.00033	0.00031

Sama halnya dengan analisa sebelumnya dengan mengasumsikan bahwa simulasi Etap sebagai acuan maka dari tabel diatas menunjukkan bahwa adanya selisih indeks keandalan antara perhitungan menggunakan Software Etap dan manual Excel. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan metode yang digunakan sehingga menimbulkan selisih namun tidak signifikan. Pada Evaluasi menggunakan Etap juga diketahui bahwa ada perbedaan tentang aturan pengambilan nilai switching time sehingga mempengaruhi hasil running dari etap utamanya pada nilai durasi pada SAIDI.



Gambar 4.4 Grafik evaluasi indeks penyulang sudirman

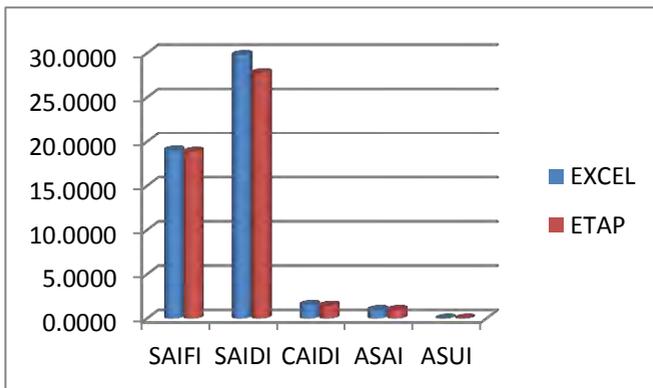
Dapat juga dilihat hasil perbandingan menurut grafik diatas menunjukkan terdapat selisih namun tidak signifikan. Sehingga masih linear antara simulasi Etap dan Perhitungan manual Excel

Hasil running indeks keandalan penyulang Klakah :

Tabel 4.3 Hasil Evaluasi Indeks Excel vs Etap Penyulang Klakah.

	EXCEL	ETAP
SAIFI	19.0324	18.8819
SAIDI	29.8218	27.7783
CAIDI	1.5669	1.4710
ASAI	0.99647	0.9968
ASUI	0.00353	0.00317

Sama halnya dengan analisa sebelumnya dengan mengasumsikan bahwa simulasi Etap sebagai acuan maka dari tabel diatas menunjukkan bahwa adanya selisih indeks keandalan antara perhitungan menggunakan Software Etap dan manual Excel. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan metode yang digunakan sehingga menimbulkan selisih namun tidak signifikan pada SAIFI, pada nilai SAIDI terdapat selisih sekitar 7.29% diakibatkan oleh nilai switching time yang berbeda dan karena terlalu panjangnya saluran sehingga nilai durasi berbeda. Pada Evaluasi menggunakan Etap juga diketahui bahwa ada perbedaan tentang aturan pengambilan nilai switching time sehingga mempengaruhi hasil running dari etap utamanya pada nilai durasi pada SAIDI.



Gambar 4.5 Grafik evaluasi indeks penyulang klakah

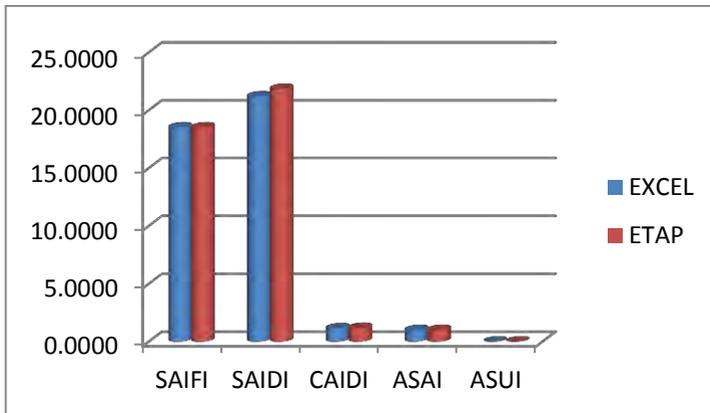
Dari grafik dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan nilai SAIDI, SAIFI namun tidak signifikan. Sehingga masih linear antara Etap dan Excel

Hasil running indeks keandalan penyulang Pronojiwo :

Tabel 4.4 Hasil Evaluasi Indeks Excel vs Etap Penyulang Pronojiwo.

	EXCEL	ETAP
SAIFI	18.5027	18.5057
SAIDI	21.1985	21.8408
CAIDI	1.1457	1.1800
ASAI	0.99743	0.9975
ASUI	0.00257	0.00249

Sama halnya dengan analisa sebelumnya dengan mengasumsikan bahwa simulasi Etap sebagai acuan maka dari tabel diatas menunjukkan bahwa adanya selisih indeks keandalan antara perhitungan menggunakan Software Etap dan manual Excel. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan metode yang digunakan sehingga menimbulkan selisih namun tidak signifikan. Pada Evaluasi menggunakan Etap juga diketahui bahwa ada perbedaan tentang aturan pengambilan nilai switching time sehingga mempengaruhi hasil running dari etap utamanya pada nilai durasi pada SAIDI.



Gambar 4.6 Grafik evaluasi indeks penyulang pronojiwo

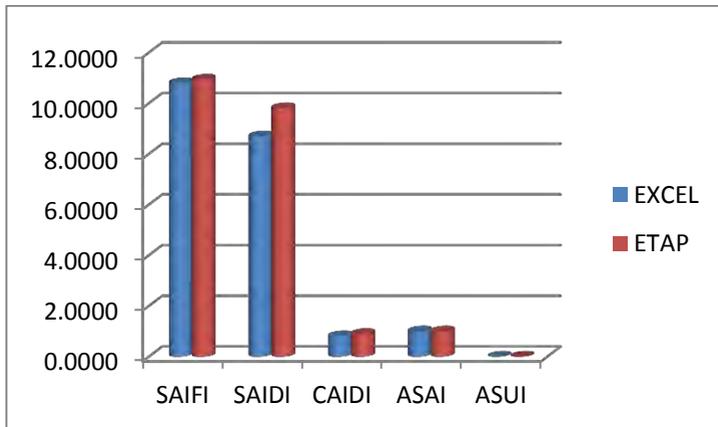
Dapat juga dilihat hasil perbandingan menurut grafik diatas menunjukkan terdapat selisih namun tidak signifikan. Sehingga masih linear antara simulasi Etap dan Perhitungan manual Excel

Hasil running indeks keandalan penyulang Keting :

Tabel 4.5 Hasil Evaluasi Indeks Excel vs Etap Penyulang Keting.

	EXCEL	ETAP
SAIFI	10.7917	10.9345
SAIDI	8.6927	9.8047
CAIDI	0.8055	0.8970
ASAI	0.99888	0.9989
ASUI	0.00112	0.00112

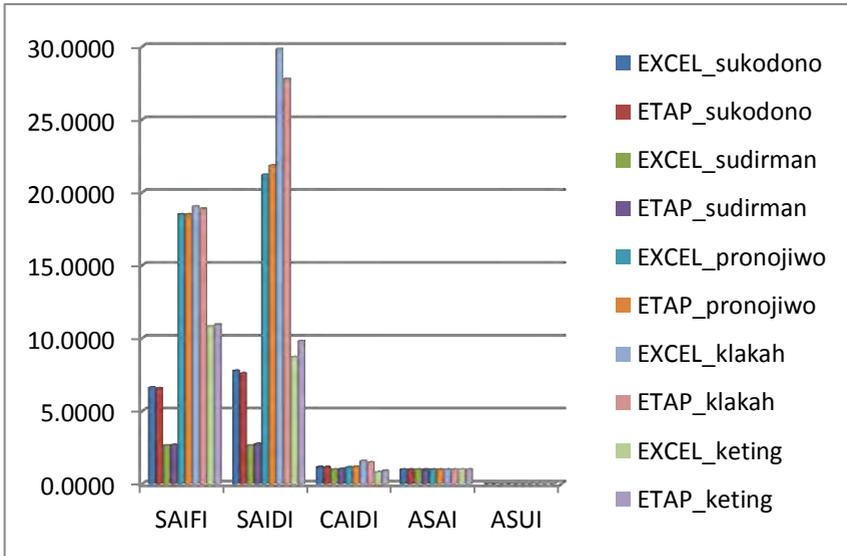
Pada analisa indeks keandalan penyulang Keting dengan mengasumsikan bahwa simulasi Etap sebagai acuan maka dari tabel diatas menunjukkan bahwa adanya selisih indeks keandalan antara perhitungan menggunakan Software Etap dan manual Excel. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan metode yang digunakan sehingga menimbulkan selisih. Pada Evaluasi menggunakan Etap juga diketahui bahwa ada perbedaan tentang aturan pengambilan nilai switching time sehingga mempengaruhi hasil running dari etap utamanya pada nilai durasi pada SAIDI.



Gambar 4.7 Grafik evaluasi indeks penyulang keting

Dapat juga dilihat hasil perbandingan menurut grafik diatas menunjukkan terdapat selisih namun tidak signifikan. Sehingga masih linear antara simulasi Etap dan Perhitungan manual Excel

Jika kesemua Penyulang dibandingkan maka dapat dilihat :



Gambar 4.8 Grafik evaluasi indeks semua penyulang

Jika kita menilik pada Data Topologi dan Penunjang utamanya data panjang saluran sesuai tabel dibawah :

Tabel 4.6 Data Saluran.

Penyulang	Panjang SUTM (kms)	Load Point	Jumlah Pelanggan	Jumlah Switch	Jumlah Fuse	jumlah kabel
Klakah	160.33	122	22181	14	41	157
Sukodono	68.47	57	15662	6	20	75
Sudirman	15.90	57	11506	6	2	78
Keting	80.38	77	25725	11	18	100
Pronojiwo	153.21	118	31514	9	38	158

Dari data diatas dibandingkan dengan grafik dapat diketahui bahwa semakin panjang suatu saluran maka indeks SAIDI dan SAIFI juga semakin rendah. Dan semakin panjang saluran maka untuk mengkompensasi nilai laju

kegagalan maka juga dibutuhkan fuse yang banyak. Karena fuse dapat difungsikan untuk menurunkan nilai lamda per-Load Point. Begitu pula dengan sectionalizer, dengan semakin panjangnya saluran maka dibutuhkan switch yang banyak pula untuk mengkompensasi dari adanya durasi saat repair time berlangsung. Dengan adanya switch maka gangguan dapat dilokalisasi dengan manuver aliran daya.

4.6. Upaya Meningkatkan Keandalan

Ada beberapa aspek yang penting dalam proses pencarian indeks keandalan yaitu menjaga kontinuitas pendistribusian tenaga listrik, memuaskan pelanggan, memenuhi standart yang berlaku sesuai PLN di Indonesia, sebagai acuan pengembangan system juga sebagai penjadwalan maintenance. Untuk menjaga proses tersebut maka diperlukan upaya guna pemenuhannya yaitu salah satunya lewat rekonfigurasi jaringan.

Dalam setiap operasi system distribusi, gangguan tidak bisa dihindarkan, yang disebabkan oleh adanya kejadian (gangguan) secara acak pada system, bisa berupa kegagalan peralatan, gangguan dari luar (petir, hewan, pohon). Sehingga perlu upaya untuk pencegahannya. Kegagalan fungsi suatu peralatan terjadi akibat dari urutan kegagalan-kegagalan potensial sebelumnya, maka alat pemantau tidak dapat mendeteksi suatu kegagalan potensial sampai kegagalan tersebut mencapai tingkat besaran tertentu atau lebih intensif terjadi. Oleh karena itu apabila telah berhasil mendeteksi perubahan sifat fisik maupun kimiawi suatu peralatan maka komponen tersebut telah dan sedang mengalami proses kegagalan

Pada umumnya ada dua cara untuk memperbaiki keandalan suatu system tenaga listrik, cara pertama adalah mengurangi frekuensi terjadinya gangguan, dan kedua adalah mengurangi durasi gangguan. Jika kita ingin mengurangi frekuensi gangguan maka kita dapat menggunakan fuse untuk melokalisasi gangguan, jika kita tilik kembali pada metode FMEA maka fungsi fuse sendiri dapat melokalisasi gangguan tanda 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 kita mengacu pada Durasi maka kita dapat mengurangi durasi akan adanya pemadaman dikarenakan perbaikan komponen yang mengalami kerusakan dengan penambahan sectionalizer, penambahan sectionalizer jika kita mengacu pada metode FMEA maka dapat diketahui bahwa ketika terjadi kegagalan pada section tertentu dan oleh karena adanya sectionalizer pada section tersebut maka pemadaman dapat dilokalisasi 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.

4.6.1 Usaha Mengurangi Jumlah Gangguan lewat eksternal sistem

Adanya gangguan dalam sistem distribusi adalah hal yang tidak diinginkan namun hal ini tidak dapat dihindarkan, maka perlu upaya untuk mengurangi jumlah gangguan dengan memperhatikan analisa gangguan.

Usaha untuk mengurangi jumlah gangguan dalam sistem distribusi dapat dilakukan dengan beberapa tindakan :

1. Melaksanakan dan merencanakan upaya pemeliharaan peralatan sesuai buku instruksi pemeliharaan. Sehingga peralatan dapat berfungsi sesuai kebutuhan juga memiliki life time yang lama
2. Pembuatan laporan pemeriksaan kondisi alat guna untuk dapat memperkirakan waktu pembelian alat cadangan.
3. Mengembangkan sistem seirama dengan pertumbuhan beban
4. Menganalisa gangguan untuk dapat mencegah dan mengurangi kemungkinan terulangnya gangguan
5. Karena salah satu sumber gangguan yang utama adalah factor manusia maka perlu adanya pelatihan untuk para engineer.
6. Pada SUTM masalah yang sering muncul adalah oleh karena gangguan dari tanaman yang mengganggu penyaluran tenaga listrik sehingga perlu adanya jalur khusus yang tidak dilewati tanaman yang dapat mengganggu jalur SUTM

4.6.2 Usaha Mengurangi Jumlah Gangguan lewat internal sistem

Rekonfigurasi sistem merupakan salah satu usaha yang dapat dilakukan dengan penambahan komponen yang dapat melokalisasi adanya gangguan. Ada beberapa komponen yang telah terbukti dapat melokalisasi gangguan yaitu arrester, tie switch, fuse, CB, sectionalizer.

Pada Tugas Akhir kali ini kita akan menggunakan Sectionalizer juga Fuse untuk melokalisasi juga mengurangi jumlah gangguan, penggunaan fuse dan switch disini karena kedua komponen tersebut yang paling umum digunakan juga kalau dilihat dari segi ekonomis maka patut diperhitungkan.

1. Fuse

Penggunaan fuse untuk melokalisasi gangguan, jika kita tilik kembali pada metode FMEA maka fungsi fuse sendiri dapat melokalisasi gangguan tanda 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

2. Sectionalizer

Penggunaan Sectionalizer jika kita mengacu pada Durasi maka kita dapat mengurangi durasi akan adanya pemadaman dikarenakan perbaikan komponen yang mengalami kerusakan dengan penambahan

sectionalizer, penambahan sectionalizer jika kita mengacu pada metode FMEA maka dapat diketahui bahwa ketika 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.

4.7. Upaya Peningkatan Keandalan pada Penyulang Sukodono

Pada upaya peningkatan keandalan penyulang disini adalah dengan mengurangi frekuensi dan durasi gangguan dengan pendekatan internal system yaitu dengan penambahan komponen fuse dan sectionalizer pada lokasi tertentu yang paling memungkinkan untuk menyumbangkan terjadinya kegagalan terbesar.

Menilik pada Data Topologi Saluran maka penambahan sectionalizer 1 yang berada pada muka kabel nomor 4 alasannya adalah jika terjadi kegagalan pada C_4-C_13 dan pada Trafo_3-Trafo_11 maka pemadaman dapat dilokalisir yang awalnya mulai Load_3-Load_57 menjadi pemadaman hanya pada Load3-Load41. Penambahan Sectionalizer 2 yang berada pada muka kabel nomor 34 dengan alasan jika terjadi gangguan pada C_34-C_40 dan pada Trafo_27-Trafo_32 maka pemadaman yang awalnya akan diterima mulai Load_12-Load_41 dapat dilokalisir menjadi hanya Load_27-Load_41.

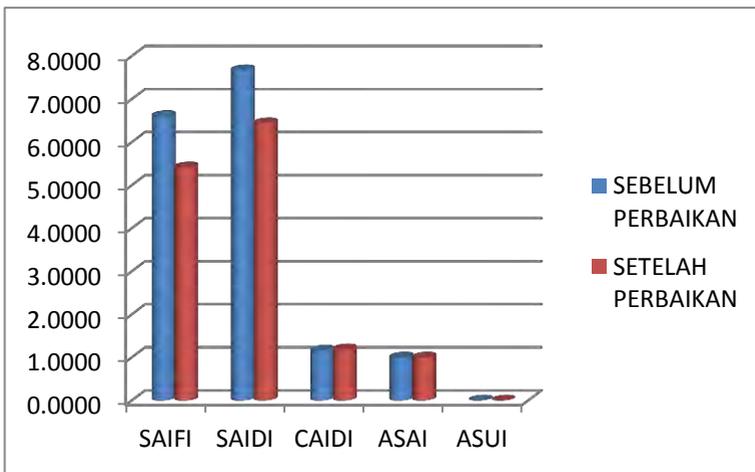
Pada Penambahan Fuse_1 dengan alasan dapat melokalisir gangguan jika terjadi gangguan pada C_54 dan pada Trafo_42 maka dapat melokalisir gangguan yang awalnya terjadi pemadaman pada Load_42-Load_57 menjadi hanya pemadaman pada Load42. Pada Penambahan Fuse_2 yang diletakkan pada muka kabel 17 dengan alasan dapat melokalisir gangguan jika terjadi gangguan pada C_17-C_24 dan pada Trafo_14 dan Trafo_19 maka dapat melokalisir gangguan yang awalnya terjadi pemadaman pada Load12-Load21 menjadi hanya pemadaman pada Load_14-Load_21. Pada Penambahan Fuse_3 yang diletakkan pada muka kabel 54 dengan alasan dapat melokalisir gangguan jika terjadi gangguan pada C_47-C_52 dan pada Trafo_37-Trafo_41 maka dapat melokalisir gangguan yang awalnya terjadi pemadaman pada Load_33-Load_41 menjadi hanya pemadaman pada Load_37-Load_41

Setelah dilakukan upaya perbaikan keandalan dengan rekonfigurasi jaringan maka akan menimbulkan perubahan nilai yaitu penurunan nilai SAIDI dan SAIFI akibat penambahan sectionalizer dan fuse sehingga didapat hasil:

Tabel 4.7 Perbandingan Evaluasi Keandalan sebelum dan sesudah perbaikan

	SEBELUM PERBAIKAN	SETELAH PERBAIKAN	SELISIH
SAIFI	6.6088	5.4176	18.02%
SAIDI	7.6737	6.4431	16.04%
CAIDI	1.1610	1.1892	2.43%
ASAI	0.99895	0.99912	0.02%
ASUI	0.00104	0.00088	15.38%

Dari upaya didapat hasil SAIFI yang awalnya bernilai 6.6088 turun menjadi bernilai 5.4176 hal ini dikarenakan oleh penambahan fuse yang secara langsung dapat mengurangi lamda per-Load Point, dan SAIDI yang awalnya bernilai 7.6737 turun menjadi bernilai 6.4431 hal ini dikarenakan penambahan sectionalizer sehingga mengurangi durasi akibat perubahan repair time menjadi waktu switching time pada Load Point yang terlokalisir.



Gambar 4.9 Grafik indeks sebelum dan sesudah perbaikan

Pada Grafik dapat terlihat penurunan pada SAIDI dan SAIFI akibat adanya penambahan sectionalizer dan penambahan fuse.

LAMPIRAN 1

1. Hasil Perhitngan Excel sebagai berikut :

Tabel.1 Perhitungan Excel Penyulang Sudirman Per-Load Point.

	λ	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP1	2.635	0.6099	383	0.088	0.020	0.231	1.000	0.000
LP2	2.635	0.9700	529	0.121	0.045	0.368	1.000	0.000
LP3	2.635	3.8775	394	0.090	0.133	1.472	1.000	0.000
LP4	2.635	3.8775	68	0.016	0.023	1.472	1.000	0.000
LP5	2.635	3.8775	150	0.034	0.051	1.472	1.000	0.000
LP6	2.635	3.8775	429	0.098	0.145	1.472	1.000	0.000
LP7	2.635	3.8775	1	0.000	0.000	1.472	1.000	0.000
LP8	2.635	3.8775	322	0.074	0.108	1.472	1.000	0.000
LP9	2.635	3.8775	199	0.046	0.067	1.472	1.000	0.000
LP10	2.635	3.8775	1	0.000	0.000	1.472	1.000	0.000
LP11	2.635	3.8775	1	0.000	0.000	1.472	1.000	0.000
LP12	2.635	3.8775	1	0.000	0.000	1.472	1.000	0.000
LP13	2.635	3.8775	254	0.058	0.086	1.472	1.000	0.000
LP14	2.635	3.8775	56	0.013	0.019	1.472	1.000	0.000
LP15	2.635	3.8775	5	0.001	0.002	1.472	1.000	0.000
LP16	2.635	3.8775	1	0.000	0.000	1.472	1.000	0.000
LP17	2.635	3.8775	443	0.101	0.149	1.472	1.000	0.000
LP18	2.635	3.8775	413	0.095	0.139	1.472	1.000	0.000
LP19	2.635	3.8775	162	0.037	0.055	1.472	1.000	0.000
LP20	2.635	3.8775	237	0.054	0.080	1.472	1.000	0.000
LP21	2.635	3.8775	1	0.000	0.000	1.472	1.000	0.000
LP22	2.635	3.8775	3	0.001	0.001	1.472	1.000	0.000
LP23	2.635	3.8775	5	0.001	0.002	1.472	1.000	0.000
LP24	2.635	3.8775	131	0.030	0.044	1.472	1.000	0.000
LP25	2.635	3.8775	1	0.000	0.000	1.472	1.000	0.000
LP26	2.635	1.3883	179	0.041	0.022	0.527	1.000	0.000
LP27	2.635	1.3883	126	0.029	0.015	0.527	1.000	0.000
LP28	2.635	2.7290	410	0.094	0.097	1.036	1.000	0.000
LP29	2.635	2.7290	523	0.120	0.124	1.036	1.000	0.000
LP30	2.635	2.7290	610	0.140	0.145	1.036	1.000	0.000
LP31	2.635	2.7290	49	0.011	0.012	1.036	1.000	0.000
LP32	2.635	2.7290	660	0.151	0.157	1.036	1.000	0.000
LP33	2.635	2.7290	1	0.000	0.000	1.036	1.000	0.000
LP34	3.007	3.9150	1	0.000	0.000	1.302	1.000	0.000

LP35	3.007	3.9150	1	0.000	0.000	1.302	1.000	0.000
LP36	3.102	4.2350	262	0.071	0.096	1.365	1.000	0.000
LP37	2.635	1.3883	234	0.054	0.028	0.527	1.000	0.000
LP38	2.635	1.3883	410	0.094	0.049	0.527	1.000	0.000
LP39	2.635	1.3883	2	0.000	0.000	0.527	1.000	0.000
LP40	2.635	1.3883	240	0.055	0.029	0.527	1.000	0.000
LP41	2.635	1.8848	276	0.063	0.045	0.715	1.000	0.000
LP42	2.635	1.8848	179	0.041	0.029	0.715	1.000	0.000
LP43	2.635	1.8848	1	0.000	0.000	0.715	1.000	0.000
LP44	2.635	1.8848	140	0.032	0.023	0.715	1.000	0.000
LP45	2.635	1.8848	91	0.021	0.015	0.715	1.000	0.000
LP46	2.635	1.8848	130	0.030	0.021	0.715	1.000	0.000
LP47	2.635	1.8848	353	0.081	0.058	0.715	1.000	0.000
LP48	2.635	1.8848	271	0.062	0.044	0.715	1.000	0.000
LP49	2.635	2.4869	42	0.010	0.009	0.944	1.000	0.000
LP50	2.635	2.4869	404	0.093	0.087	0.944	1.000	0.000
LP51	2.635	2.4869	384	0.088	0.083	0.944	1.000	0.000
LP52	2.635	2.4869	442	0.101	0.096	0.944	1.000	0.000
LP53	2.635	2.4869	1	0.000	0.000	0.944	1.000	0.000
LP54	2.635	2.4869	1	0.000	0.000	0.944	1.000	0.000
LP55	2.635	2.4869	1	0.000	0.000	0.944	1.000	0.000
LP56	2.635	2.4869	221	0.051	0.048	0.944	1.000	0.000
LP57	2.635	2.4869	673	0.154	0.145	0.944	1.000	0.000
TOTAL			15662					
	SAIFI			6.609				
		SAIDI			7.767			
			ASAI			0.999		
				ASUI			0.001	
					CAIDI			1.161

Tabel 1.2 Perhitungan Excel Penyulang Keting Per-Load Point.

	λ	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP1	10.592	5.047	498	0.205	0.098	0.476	0.999	0.001
LP2	10.592	5.047	690	0.284	0.135	0.476	0.999	0.001
LP3	10.592	5.047	425	0.175	0.083	0.476	0.999	0.001
LP4	10.592	5.047	716	0.295	0.140	0.476	0.999	0.001
LP5	11.102	5.947	413	0.178	0.095	0.536	0.999	0.001
LP6	11.102	5.947	408	0.176	0.094	0.536	0.999	0.001
LP7	10.592	4.347	139	0.057	0.023	0.410	1.000	0.000
LP8	10.592	4.347	237	0.098	0.040	0.410	1.000	0.000

LP9	10.691	4.679	1	0.000	0.000	0.438	0.999	0.001
LP10	10.592	4.347	397	0.163	0.067	0.410	1.000	0.000
LP11	10.592	4.347	477	0.196	0.081	0.410	1.000	0.000
LP12	10.592	4.347	342	0.141	0.058	0.410	1.000	0.000
LP13	10.897	5.297	585	0.248	0.120	0.486	0.999	0.001
LP14	10.592	6.406	795	0.327	0.198	0.605	0.999	0.001
LP15	10.937	7.476	256	0.109	0.074	0.684	0.999	0.001
LP16	10.592	6.406	581	0.239	0.145	0.605	0.999	0.001
LP17	11.281	8.578	344	0.151	0.115	0.760	0.999	0.001
LP18	11.281	8.578	151	0.066	0.050	0.760	0.999	0.001
LP19	11.281	8.578	489	0.214	0.163	0.760	0.999	0.001
LP20	10.592	6.406	462	0.190	0.115	0.605	0.999	0.001
LP21	10.592	6.406	195	0.080	0.049	0.605	0.999	0.001
LP22	10.878	3.821	238	0.101	0.035	0.351	1.000	0.000
LP23	10.878	3.821	185	0.078	0.027	0.351	1.000	0.000
LP24	10.592	2.893	435	0.179	0.049	0.273	1.000	0.000
LP25	10.765	3.447	312	0.131	0.042	0.320	1.000	0.000
LP26	10.592	2.893	270	0.111	0.030	0.273	1.000	0.000
LP27	10.928	13.574	439	0.186	0.232	1.242	0.998	0.002
LP28	10.928	13.603	851	0.362	0.450	1.245	0.998	0.002
LP29	10.592	12.525	429	0.177	0.209	1.183	0.999	0.001
LP30	10.592	12.525	268	0.110	0.130	1.183	0.999	0.001
LP31	10.592	13.754	370	0.152	0.198	1.298	0.998	0.002
LP32	10.592	13.754	160	0.066	0.086	1.298	0.998	0.002
LP33	10.883	14.732	493	0.209	0.282	1.354	0.998	0.002
LP34	10.883	14.732	282	0.119	0.161	1.354	0.998	0.002
LP35	10.883	14.732	168	0.071	0.096	1.354	0.998	0.002
LP36	10.592	13.754	646	0.266	0.345	1.298	0.998	0.002
LP37	10.864	14.640	336	0.142	0.191	1.348	0.998	0.002
LP38	10.864	14.640	95	0.040	0.054	1.348	0.998	0.002
LP39	10.592	10.972	242	0.100	0.103	1.036	0.999	0.001
LP40	10.592	10.972	313	0.129	0.134	1.036	0.999	0.001
LP41	10.592	4.942	633	0.261	0.122	0.467	0.999	0.001
LP42	10.592	4.942	361	0.149	0.069	0.467	0.999	0.001
LP43	10.787	5.562	285	0.120	0.062	0.516	0.999	0.001
LP44	10.592	4.942	521	0.215	0.100	0.467	0.999	0.001
LP45	10.781	5.544	169	0.071	0.036	0.514	0.999	0.001
LP46	10.592	4.942	813	0.335	0.156	0.467	0.999	0.001
LP47	10.592	4.942	198	0.082	0.038	0.467	0.999	0.001
LP48	11.208	6.930	543	0.237	0.146	0.618	0.999	0.001
LP49	11.208	6.930	413	0.180	0.111	0.618	0.999	0.001
LP50	11.208	6.930	311	0.135	0.084	0.618	0.999	0.001
LP51	11.208	6.930	448	0.195	0.121	0.618	0.999	0.001

LP52	11.725	8.586	299	0.136	0.100	0.732	0.999	0.001
LP53	11.725	8.586	269	0.123	0.090	0.732	0.999	0.001
LP54	11.725	8.586	420	0.191	0.140	0.732	0.999	0.001
LP55	12.063	9.670	184	0.086	0.069	0.802	0.999	0.001
LP56	12.063	9.670	137	0.064	0.051	0.802	0.999	0.001
LP57	10.592	10.972	461	0.190	0.197	1.036	0.999	0.001
LP58	10.592	10.972	750	0.309	0.320	1.036	0.999	0.001
LP59	10.592	13.973	319	0.131	0.173	1.319	0.998	0.002
LP60	10.592	13.973	558	0.230	0.303	1.319	0.998	0.002
LP61	10.592	13.973	300	0.124	0.163	1.319	0.998	0.002
LP62	10.592	13.973	194	0.080	0.105	1.319	0.998	0.002
LP63	10.592	13.973	220	0.091	0.119	1.319	0.998	0.002
LP64	10.592	13.973	517	0.213	0.281	1.319	0.998	0.002
LP65	10.592	13.973	91	0.037	0.049	1.319	0.998	0.002
LP66	10.751	14.485	229	0.096	0.129	1.347	0.998	0.002
LP67	10.592	13.973	323	0.133	0.175	1.319	0.998	0.002
LP68	10.592	15.640	344	0.142	0.209	1.477	0.998	0.002
LP69	10.592	15.640	274	0.113	0.167	1.477	0.998	0.002
LP70	10.997	17.289	1	0.000	0.001	1.572	0.998	0.002
LP71	10.997	17.289	1	0.000	0.001	1.572	0.998	0.002
LP72	10.997	17.289	1	0.000	0.001	1.572	0.998	0.002
LP73	10.997	17.289	1	0.000	0.001	1.572	0.998	0.002
LP74	10.997	17.289	1	0.000	0.001	1.572	0.998	0.002
LP75	10.839	16.745	1	0.000	0.001	1.545	0.998	0.002
LP76	10.839	16.745	1	0.000	0.001	1.545	0.998	0.002
LP77	10.839	16.745	1	0.000	0.001	1.545	0.998	0.002
TOTAL			25725					
	SAIFI			10.792				
		SAIDI			8.693			
			CAIDI			0.805		
				ASAI			0.999	
					ASUI			0.001

Tabel 1.3 Perhitungan Excel Penyulang Pronojiwo Per-Load Point.

	λ	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP1	18.884	11.616	187	0.112	0.069	0.615	0.999	0.001
LP2	18.249	9.676	300	0.174	0.092	0.530	0.999	0.001
LP3	18.249	9.676	300	0.174	0.092	0.530	0.999	0.001
LP4	18.249	9.676	107	0.062	0.033	0.530	0.999	0.001
LP5	18.249	7.102	559	0.324	0.126	0.389	0.999	0.001
LP6	18.249	7.102	160	0.093	0.036	0.389	0.999	0.001
LP7	18.249	7.102	354	0.205	0.080	0.389	0.999	0.001
LP8	18.249	7.102	28	0.016	0.006	0.389	0.999	0.001

LP9	18.54	13.729	296	0.174	0.129	0.741	0.998	0.002
LP10	18.249	12.821	303	0.175	0.123	0.703	0.999	0.001
LP11	18.492	8.467	375	0.220	0.101	0.458	0.999	0.001
LP12	18.249	7.703	269	0.156	0.066	0.422	0.999	0.001
LP13	18.249	7.703	722	0.418	0.176	0.422	0.999	0.001
LP14	18.607	8.847	633	0.374	0.178	0.475	0.999	0.001
LP15	18.607	8.847	491	0.290	0.138	0.475	0.999	0.001
LP16	18.249	7.703	101	0.058	0.025	0.422	0.999	0.001
LP17	18.498	8.485	1	0.001	0.000	0.459	0.999	0.001
LP18	18.249	7.703	337	0.195	0.082	0.422	0.999	0.001
LP19	18.249	7.703	590	0.342	0.144	0.422	0.999	0.001
LP20	18.537	8.637	404	0.238	0.111	0.466	0.999	0.001
LP21	18.537	8.637	816	0.480	0.224	0.466	0.999	0.001
LP22	18.249	7.703	209	0.121	0.051	0.422	0.999	0.001
LP23	18.249	7.703	645	0.374	0.158	0.422	0.999	0.001
LP24	18.392	8.167	76	0.044	0.020	0.444	0.999	0.001
LP25	19.282	10.907	407	0.249	0.141	0.566	0.999	0.001
LP26	19.405	11.311	515	0.317	0.185	0.583	0.999	0.001
LP27	19.282	10.907	668	0.409	0.231	0.566	0.999	0.001
LP28	19.399	11.293	1	0.001	0.000	0.582	0.999	0.001
LP29	19.282	10.907	504	0.308	0.174	0.566	0.999	0.001
LP30	18.249	11.738	427	0.247	0.159	0.643	0.999	0.001
LP31	18.568	12.730	176	0.104	0.071	0.686	0.999	0.001
LP32	18.249	11.738	300	0.174	0.112	0.643	0.999	0.001
LP33	18.542	12.652	67	0.039	0.027	0.682	0.999	0.001
LP34	18.249	11.738	190	0.110	0.071	0.643	0.999	0.001
LP35	18.669	13.068	101	0.060	0.042	0.700	0.999	0.001
LP36	18.669	13.068	125	0.074	0.052	0.700	0.999	0.001
LP37	18.249	11.738	376	0.218	0.140	0.643	0.999	0.001
LP38	18.249	11.738	666	0.386	0.248	0.643	0.999	0.001
LP39	18.741	13.284	300	0.178	0.126	0.709	0.998	0.002
LP40	18.741	13.284	365	0.217	0.154	0.709	0.998	0.002
LP41	18.249	11.738	451	0.261	0.168	0.643	0.999	0.001
LP42	18.526	12.604	264	0.155	0.106	0.680	0.999	0.001
LP43	18.249	11.738	238	0.138	0.089	0.643	0.999	0.001
LP44	18.249	11.738	1	0.001	0.000	0.643	0.999	0.001
LP45	18.701	13.164	108	0.064	0.045	0.704	0.998	0.002
LP46	18.701	13.164	66	0.039	0.028	0.704	0.998	0.002
LP47	18.249	11.738	714	0.413	0.266	0.643	0.999	0.001
LP48	18.249	16.030	39	0.023	0.020	0.878	0.998	0.002
LP49	18.518	16.872	239	0.140	0.128	0.911	0.998	0.002
LP50	18.249	16.030	184	0.107	0.094	0.878	0.998	0.002
LP51	18.249	16.030	70	0.041	0.036	0.878	0.998	0.002

LP52	18.484	16.770	235	0.138	0.125	0.907	0.998	0.002
LP53	18.249	16.030	412	0.239	0.210	0.878	0.998	0.002
LP54	18.79	17.758	227	0.135	0.128	0.945	0.998	0.002
LP55	18.79	17.758	380	0.227	0.214	0.945	0.998	0.002
LP56	18.79	17.758	339	0.202	0.191	0.945	0.998	0.002
LP57	18.249	16.030	229	0.133	0.116	0.878	0.998	0.002
LP58	18.249	24.228	310	0.180	0.238	1.328	0.997	0.003
LP59	18.504	25.028	129	0.076	0.102	1.353	0.997	0.003
LP60	18.486	24.974	249	0.146	0.197	1.351	0.997	0.003
LP61	18.249	24.228	512	0.296	0.394	1.328	0.997	0.003
LP62	18.506	25.034	92	0.054	0.073	1.353	0.997	0.003
LP63	18.249	24.228	442	0.256	0.340	1.328	0.997	0.003
LP64	18.249	24.228	150	0.087	0.115	1.328	0.997	0.003
LP65	18.249	24.228	244	0.141	0.188	1.328	0.997	0.003
LP66	18.488	24.980	126	0.074	0.100	1.351	0.997	0.003
LP67	18.249	24.750	275	0.159	0.216	1.356	0.997	0.003
LP68	18.521	25.636	138	0.081	0.112	1.384	0.997	0.003
LP69	18.521	25.636	162	0.095	0.132	1.384	0.997	0.003
LP70	18.249	24.750	147	0.085	0.115	1.356	0.997	0.003
LP71	18.629	25.960	160	0.095	0.132	1.394	0.997	0.003
LP72	18.629	25.960	260	0.154	0.214	1.394	0.997	0.003
LP73	18.249	24.750	195	0.113	0.153	1.356	0.997	0.003
LP74	18.249	24.750	209	0.121	0.164	1.356	0.997	0.003
LP75	18.541	25.696	2	0.001	0.002	1.386	0.997	0.003
LP76	18.541	25.696	35	0.021	0.029	1.386	0.997	0.003
LP77	18.249	24.750	169	0.098	0.133	1.356	0.997	0.003
LP78	18.249	24.750	188	0.109	0.148	1.356	0.997	0.003
LP79	18.468	25.442	232	0.136	0.187	1.378	0.997	0.003
LP80	18.249	24.750	247	0.143	0.194	1.356	0.997	0.003
LP81	18.428	25.322	1	0.001	0.001	1.374	0.997	0.003
LP82	18.664	26.100	161	0.095	0.133	1.398	0.997	0.003
LP83	18.664	26.100	140	0.083	0.116	1.398	0.997	0.003
LP84	18.664	26.100	61	0.036	0.051	1.398	0.997	0.003
LP85	18.249	32.054	146	0.085	0.149	1.757	0.996	0.004
LP86	18.249	32.054	6	0.003	0.006	1.757	0.996	0.004
LP87	18.249	32.054	113	0.065	0.115	1.757	0.996	0.004
LP88	18.249	32.054	376	0.218	0.382	1.757	0.996	0.004
LP89	18.249	32.054	109	0.063	0.111	1.757	0.996	0.004
LP90	18.79	33.712	50	0.030	0.053	1.794	0.996	0.004
LP91	18.688	33.406	358	0.212	0.379	1.788	0.996	0.004
LP92	18.249	32.054	265	0.153	0.270	1.757	0.996	0.004
LP93	18.249	32.054	144	0.083	0.146	1.757	0.996	0.004
LP94	18.249	39.858	581	0.336	0.735	2.184	0.995	0.005

LP95	18.689	41.248	37	0.022	0.048	2.207	0.995	0.005
LP96	18.689	41.248	79	0.047	0.103	2.207	0.995	0.005
LP97	18.606	40.964	559	0.330	0.727	2.202	0.995	0.005
LP98	18.739	41.398	73	0.043	0.096	2.209	0.995	0.005
LP99	18.249	39.858	531	0.307	0.672	2.184	0.995	0.005
LP100	18.249	39.858	526	0.305	0.665	2.184	0.995	0.005
LP101	18.249	39.858	642	0.372	0.812	2.184	0.995	0.005
LP102	18.993	42.230	354	0.213	0.474	2.223	0.995	0.005
LP103	18.993	42.230	231	0.139	0.310	2.223	0.995	0.005
LP104	18.993	42.230	265	0.160	0.355	2.223	0.995	0.005
LP105	18.993	42.230	257	0.155	0.344	2.223	0.995	0.005
LP106	18.249	39.858	324	0.188	0.410	2.184	0.995	0.005
LP107	18.249	39.858	70	0.041	0.089	2.184	0.995	0.005
LP108	18.249	39.858	504	0.292	0.637	2.184	0.995	0.005
LP109	18.249	39.858	274	0.159	0.347	2.184	0.995	0.005
LP110	18.249	39.858	366	0.212	0.463	2.184	0.995	0.005
LP111	18.589	40.948	180	0.106	0.234	2.203	0.995	0.005
LP112	18.589	40.948	83	0.049	0.108	2.203	0.995	0.005
LP113	19.306	43.204	215	0.132	0.295	2.238	0.995	0.005
LU114	19.306	43.204	1	0.001	0.001	2.238	0.995	0.005
LP115	19.306	43.204	401	0.246	0.550	2.238	0.995	0.005
LP116	19.306	43.204	402	0.246	0.551	2.238	0.995	0.005
LP117	19.306	43.204	131	0.080	0.180	2.238	0.995	0.005
LP118	19.533	43.920	178	0.110	0.248	2.249	0.995	0.005
TOTAL			31514					
	SAIFI			18.503				
		SAIDI			21.199			
			CAIDI			1.146		
				ASAI			0.997	
					ASUI			0.003

Tabel 1.4 Perhitungan Excel Penyulang Klakah Per-Load Point.

	λ	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP1	18.524	9.774	302	0.252	0.133	0.528	0.999	0.001
LP2	18.524	9.774	296	0.247	0.130	0.528	0.999	0.001
LP3	18.524	9.774	122	0.102	0.054	0.528	0.999	0.001
LP4	18.986	11.230	153	0.131	0.077	0.591	0.999	0.001
LP5	19.147	11.748	46	0.040	0.024	0.614	0.999	0.001
LP6	18.986	11.230	170	0.146	0.086	0.591	0.999	0.001
LP7	19.719	13.534	147	0.131	0.090	0.686	0.998	0.002
LP8	20.327	15.498	185	0.170	0.129	0.762	0.998	0.002

LP9	20.327	15.498	91	0.083	0.064	0.762	0.998	0.002
LP10	20.327	15.498	132	0.121	0.092	0.762	0.998	0.002
LP11	20.327	15.498	98	0.090	0.068	0.762	0.998	0.002
LP12	19.719	13.534	116	0.103	0.071	0.686	0.998	0.002
LP13	19.719	13.534	165	0.147	0.101	0.686	0.998	0.002
LP14	19.912	14.148	119	0.107	0.076	0.711	0.998	0.002
LP15	18.613	11.710	209	0.175	0.110	0.629	0.999	0.001
LP16	18.524	11.408	375	0.313	0.193	0.616	0.999	0.001
LP17	18.67	11.916	283	0.238	0.152	0.638	0.999	0.001
LP18	18.67	11.916	267	0.225	0.143	0.638	0.999	0.001
LP19	18.524	11.408	204	0.170	0.105	0.616	0.999	0.001
LP20	18.524	11.408	210	0.175	0.108	0.616	0.999	0.001
LP21	18.854	12.527	306	0.260	0.173	0.664	0.999	0.001
LP22	18.854	12.527	126	0.107	0.071	0.664	0.999	0.001
LP23	19.164	13.527	43	0.037	0.026	0.706	0.998	0.002
LP24	19.164	13.527	85	0.073	0.052	0.706	0.998	0.002
LP25	18.524	11.408	194	0.162	0.100	0.616	0.999	0.001
LP26	18.615	11.716	1	0.001	0.001	0.629	0.999	0.001
LP27	18.575	11.596	186	0.156	0.097	0.624	0.999	0.001
LP28	18.524	11.408	522	0.436	0.268	0.616	0.999	0.001
LP29	18.524	11.408	138	0.115	0.071	0.616	0.999	0.001
LP30	18.524	11.408	135	0.113	0.069	0.616	0.999	0.001
LP31	18.524	11.632	135	0.113	0.071	0.628	0.999	0.001
LP32	18.524	11.632	349	0.291	0.183	0.628	0.999	0.001
LP33	18.524	11.632	567	0.474	0.297	0.628	0.999	0.001
LP34	18.524	28.947	359	0.300	0.469	1.563	0.997	0.003
LP35	18.524	32.297	166	0.139	0.242	1.744	0.996	0.004
LP36	18.524	32.297	375	0.313	0.546	1.744	0.996	0.004
LP37	18.524	32.297	433	0.362	0.630	1.744	0.996	0.004
LP38	18.524	32.297	258	0.215	0.376	1.744	0.996	0.004
LP39	19.32	34.825	222	0.193	0.349	1.803	0.996	0.004
LP40	19.32	34.825	142	0.124	0.223	1.803	0.996	0.004
LP41	19.32	34.825	72	0.063	0.113	1.803	0.996	0.004
LP42	19.32	34.825	246	0.214	0.386	1.803	0.996	0.004
LP43	18.524	32.297	134	0.112	0.195	1.744	0.996	0.004
LP44	19.066	33.993	13	0.011	0.020	1.783	0.996	0.004
LP45	19.267	34.631	248	0.215	0.387	1.797	0.996	0.004
LP46	19.066	33.993	180	0.155	0.276	1.783	0.996	0.004
LP47	18.524	31.962	142	0.119	0.205	1.725	0.996	0.004
LP48	18.524	33.128	424	0.354	0.633	1.788	0.996	0.004
LP49	18.593	33.370	511	0.428	0.769	1.795	0.996	0.004
LP50	18.524	33.128	1	0.001	0.001	1.788	0.996	0.004
LP51	18.524	33.128	139	0.116	0.208	1.788	0.996	0.004

LP52	18.524	33.128	54	0.045	0.081	1.788	0.996	0.004
LP53	18.853	34.972	264	0.224	0.416	1.855	0.996	0.004
LP54	19.224	36.120	1	0.001	0.002	1.879	0.996	0.004
LP55	19.443	36.742	191	0.167	0.316	1.890	0.996	0.004
LP56	19.393	36.732	219	0.191	0.363	1.894	0.996	0.004
LP57	19.617	37.474	344	0.304	0.581	1.910	0.996	0.004
LP58	19.617	37.474	81	0.072	0.137	1.910	0.996	0.004
LP59	19.544	37.220	267	0.235	0.448	1.904	0.996	0.004
LP60	19.393	36.732	401	0.351	0.664	1.894	0.996	0.004
LP61	19.393	36.732	116	0.101	0.192	1.894	0.996	0.004
LP62	19.905	38.408	154	0.138	0.267	1.930	0.996	0.004
LP63	19.905	38.408	511	0.459	0.885	1.930	0.996	0.004
LP64	19.905	38.408	161	0.144	0.279	1.930	0.996	0.004
LP65	19.905	38.408	278	0.249	0.481	1.930	0.996	0.004
LP66	19.393	36.732	276	0.241	0.457	1.894	0.996	0.004
LP67	19.393	36.732	328	0.287	0.543	1.894	0.996	0.004
LP68	19.838	38.172	85	0.076	0.146	1.924	0.996	0.004
LP69	19.838	38.172	223	0.199	0.384	1.924	0.996	0.004
LP70	19.838	38.172	141	0.126	0.243	1.924	0.996	0.004
LP71	19.971	38.606	226	0.203	0.393	1.933	0.996	0.004
LP72	20.214	39.440	5	0.005	0.009	1.951	0.995	0.005
LP73	20.214	39.440	5	0.005	0.009	1.951	0.995	0.005
LP74	20.214	39.440	5	0.005	0.009	1.951	0.995	0.005
LP75	20.201	39.366	177	0.161	0.314	1.949	0.996	0.004
LP76	20.201	39.366	162	0.148	0.288	1.949	0.996	0.004
LP77	20.201	39.366	108	0.098	0.192	1.949	0.996	0.004
LP78	20.636	40.776	106	0.099	0.195	1.976	0.995	0.005
LP79	20.636	40.776	75	0.070	0.138	1.976	0.995	0.005
LP80	20.636	40.776	90	0.084	0.165	1.976	0.995	0.005
LP81	18.524	33.128	426	0.356	0.636	1.788	0.996	0.004
LP82	18.603	33.400	4	0.003	0.006	1.795	0.996	0.004
LP83	18.524	33.128	1	0.001	0.001	1.788	0.996	0.004
LP84	18.524	35.986	152	0.127	0.247	1.943	0.996	0.004
LP85	18.696	36.572	1	0.001	0.002	1.956	0.996	0.004
LP86	18.524	35.986	242	0.202	0.393	1.943	0.996	0.004
LP87	19.26	38.334	173	0.150	0.299	1.990	0.996	0.004
LP88	19.26	38.334	186	0.162	0.321	1.990	0.996	0.004
LP89	19.26	38.334	138	0.120	0.238	1.990	0.996	0.004
LP90	19.26	38.334	327	0.284	0.565	1.990	0.996	0.004
LP91	19.609	39.486	8	0.007	0.014	2.014	0.995	0.005
LP92	19.609	39.486	14	0.012	0.025	2.014	0.995	0.005
LP93	19.609	39.486	5	0.004	0.009	2.014	0.995	0.005
LP94	18.524	35.986	70	0.058	0.114	1.943	0.996	0.004

LP95	18.715	36.594	1	0.001	0.002	1.955	0.996	0.004
LP96	18.524	35.986	221	0.185	0.359	1.943	0.996	0.004
LP97	18.793	36.898	1	0.001	0.002	1.963	0.996	0.004
LP98	18.793	36.898	418	0.354	0.695	1.963	0.996	0.004
LP99	18.969	37.426	5	0.004	0.008	1.973	0.996	0.004
LP100	18.524	35.986	503	0.420	0.816	1.943	0.996	0.004
LP101	18.924	40.714	83	0.071	0.152	2.151	0.995	0.005
LP102	18.924	40.714	339	0.289	0.622	2.151	0.995	0.005
LP103	19.763	43.406	213	0.190	0.417	2.196	0.995	0.005
LP104	19.763	43.406	35	0.031	0.068	2.196	0.995	0.005
LP105	19.763	43.406	97	0.086	0.190	2.196	0.995	0.005
LP106	19.763	43.406	216	0.192	0.423	2.196	0.995	0.005
LP107	19.763	43.406	2	0.002	0.004	2.196	0.995	0.005
LP108	19.177	41.508	152	0.131	0.284	2.164	0.995	0.005
LP109	19.547	42.688	52	0.046	0.100	2.184	0.995	0.005
LP110	19.547	42.688	133	0.117	0.256	2.184	0.995	0.005
LP111	18.524	39.355	192	0.160	0.341	2.125	0.996	0.004
LP112	18.77	41.959	167	0.141	0.316	2.235	0.995	0.005
LP113	18.77	41.959	202	0.171	0.382	2.235	0.995	0.005
LU114	18.529	41.201	113	0.094	0.210	2.224	0.995	0.005
LP115	18.72	41.809	210	0.177	0.396	2.233	0.995	0.005
LP116	18.72	41.809	197	0.166	0.371	2.233	0.995	0.005
LP117	18.524	41.151	505	0.422	0.937	2.221	0.995	0.005
LP118	18.524	41.151	181	0.151	0.336	2.221	0.995	0.005
LP119	18.99	42.689	217	0.186	0.418	2.248	0.995	0.005
LP120	18.99	42.689	138	0.118	0.266	2.248	0.995	0.005
LP121	18.99	42.689	77	0.066	0.148	2.248	0.995	0.005
LP122	18.99	42.689	168	0.144	0.323	2.248	0.995	0.005
TOTAL			22181					
	SAIFI			19.032				
		SAIDI			29.822			
			CAIDI			1.567		
				ASAI			0.996	
					ASUI			0.004

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada Hasil Evaluasi Keandalan sistem distribusi 20 kV di Rayon Lumajang menggunakan FMEA maka didapat hasil :
 - Penyulang sukodono
SAIFI = 6.6088 SAIDI = 7.7674
 - Penyulang klakah
SAIFI = 19.0324 SAIDI = 29.8218
 - Penyulang pronojiwo
SAIFI = 18.5027 SAIDI = 21.1985
 - Penyulang keting
SAIFI = 10.7917 SAIDI = 8.6927
 - Penyulang sudirman
SAIFI = 2.64570 SAIDI = 2.64915
2. Pada Upaya perbaikan pada penyulang sukodono didapat hasil :
 - Pada penyulang sukodono indeks keandalan SAIFI sebelum adanya upaya perbaikan adalah sebesar 6.6088 dan setelah adanya upaya perbaikan dengan adanya penambahan komponen fuse maka indeks keandalan SAIFI menjadi 5.4176
 - Pada penyulang sukodono indeks keandalan SAIDI sebelum adanya upaya perbaikan adalah sebesar 7.6737 dan setelah adanya upaya perbaikan dengan adanya penambahan komponen sectionalizer maka indeks keandalan SAIDI menjadi 6.4431
3. Karena Frekuensi kegagalan pada Saluran yang sangat tinggi dibandingkan dengan komponen penyumbang kegagalan lain seperti trafo, switch dan CB, maka semakin panjang saluran mengakibatkan frekuensi kegagalan dalam system akan semakin tinggi dibuktikan dengan semakin besarnya nilai Indeks SAIFI, begitu pula dengan SAIDI yang ikut naik diakibatkan oleh durasi yang mengikuti besaran frekuensi kegagalan. Dan untuk mengkompensasi besarnya nilai SAIFI dan SAIDI yang mengartikan bahwa system tidak handal maka dibutuhkan komponen sectionalizer dan fuse yang cukup agar system bekerja optimal

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Roy Billinton and Ronald N allan.1996. Reliability evaluation of power systems. New York : Plenum Press.
- [2] Suhardi, Bambang. 2008. Teknik Distribusi Tenaga Listrik. Jakarta : Direktorat Pembinaan sekolah menengah kejuruan, Direktorat Jendral manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- [3] Engelberth, tigor. 2012. analisis keandalan system distribusi 20KV di PT.PLN(Persero) area jaringan bali selatan dengan menggunakan metode FMEA. Surabaya : ITS.
- [4] Nugroho, andhito sukmojo.2012. Studi keandalan sistem distribusi 20 kV di Bengkulu dengan metode FMEA. Surabaya : ITS.
- [5] Liliana. 2012. analisa rpn terhadap keandalan peralatan pengamanan jaringan distribusi dengan metode finea pln cabang pekanbaru rayon panam.riau:UIN suskam riau.
- [6] Tim PLN. 1985. Keandalan pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV. Jakarta : Departemen Pertambangan dan Energi.
- [7] Tim PLN. 1985. Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah. Jakarta : Departemen Pertambangan dan Energi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

PROFIL PENULIS



Achmad Fatoni Penulis Lahir di Lumajang pada 30 November 1992. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari SD Islam Tompokersan Lumajang, melanjutkan ke SMP N 1 Sukodono Lumajang lalu ke SMA N 1 Lumajang dan Politeknik Elektronika Negeri Surabaya - ITS Program Studi Diploma 3 Teknik Elektronika, setelah menyelesaikan kuliah Diploma 3 penulis melanjutkan ke Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada Program Lintas Jalur S1 di Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Sistem Tenaga.

Email : toni_ocean@ymail.com

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya atas terselesaikan kerja Tugas Akhir yang berjudul “**Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20kV PT.PLN Rayon Lumajang dengan Metode FMEA**”.