TUGAS AKHIR – EE 184801

ANALISIS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PADA PELANGGAN PREMIUM AREA UNIVERSITAS JEMBER DENGAN MENGGUNAKAN METODE *SECTION TECHNIQUE*

Dina Herdiana
NRP 07111540000097

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Dr. Ir. Soedibyo, MMT.

DEPATERMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

TUGAS AKHIR – EE 184801

ANALISIS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PADA PELANGGAN PREMIUM AREA UNIVERSITAS JEMBER DENGAN MENGGUNAKAN METODE *SECTION TECHNIQUE*

Dina Herdiana
NRP 07111540000097

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Dr. Ir. Soedibyo, MMT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

FINAL PROJECT – EE 184801

RELIABILITY ANALYSIS OF 20 KV DISTRIBUTION SYSTEM IN PREMIUM CUSTOMER OF JEMBER UNIVERSITY AREA USING SECTION TECHNIQUE METHOD

Dina Herdiana
NRP 07111540000097

Advisors
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Dr. Ir. Soedibyo, MMT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Pada Pelanggan Premium Area Universitas Jember Dengan Menggunakan Metode *Section Technique***" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

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

Surabaya, 15 Juli 2020

Dina Herdiana
NRP. 07111540000097

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISIS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PADA PELANGGAN PREMIUM AREA UNIVERSITAS JEMBER DENGAN MENGGUNAKAN METODE *SECTION TECHNIQUE*

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
NIP. 197411292000121001

SURABAYA
JULI, 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISIS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PADA PELANGGAN PREMIUM AREA UNIVERSITAS JEMBER DENGAN MENGGUNAKAN METODE *SECTION TECHNIQUE*

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Soedibyo, MMT.
NIP. 195512071980031004

SURABAYA
JULI, 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Pada Pelanggan Premium Area Universitas Jember Dengan Menggunakan Metode *Section Technique*

Nama Mahasiswa : Dina Herdiana
Dosen Pembimbing I : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir Soedibyo, MMT.

ABSTRAK

Tugas akhir ini bertujuan untuk menghitung nilai indeks keandalan pada sistem distribusi tegangan menengah 20 kV pada pelanggan premium area Universitas Jember dengan menggunakan metode *section technique*, dimana nilai indeks keandalan sistem dihitung berdasarkan efek kegagalan yang dialami oleh sistem akibat dari kegagalan yang ditimbulkan pada tiap komponen dan bagaimana pengaruhnya terhadap titik beban (*load point*). Pada tugas akhir ini juga dilakukan upaya untuk memperbaiki nilai indeks keandalan dengan melakukan rekonfigurasi pada jaringan. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisis sebelum perbaikan pada penyulang yang menyuplai Universitas Jember, maka untuk penyulang Tegalboto diperoleh nilai SAIFI sebesar 3.1093 dan juga nilai SAIDI sebesar 4.9370, sedangkan untuk penyulang Seruji diperoleh nilai SAIFI sebesar 1.9068 dan juga nilai SAIDI sebesar 4.2175. Setelah dilakukan perbaikan nilai indeks keandalan, maka untuk penyulang Tegalboto diperoleh nilai SAIFI sebesar 2.2110 (menurun 28.89%) dan juga nilai SAIDI sebesar 4.0979 (menurun 16.99%), sedangkan untuk penyulang Seruji diperoleh nilai SAIFI sebesar 1.9043 (menurun 0.13%) dan nilai SAIDI sebesar 3.5435 (menurun 15.98 %).

Kata Kunci : Sistem Distribusi, Indeks keandalan, SAIDI, SAIFI, *Section Technique*

Halaman ini sengaja dikosongkan

Reliability Analysis of 20 kV Distribution System in Premium Customer of Jember University Area Using Section Technique Method

Name : Dina Herdiana
Advisor I : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Advisor II : Dr. Ir Soedibyo, MMT.

ABSTRACT

This final project aims to calculate the reliability index value of 20 kV distribution system in Jember University premium area customers using the section technique method, where the system reliability index value is calculated based on the failure effect of system due to failures incurred for each component and how does it affect the load point (load point). In this final project, an attempt is made to improve the reliability index value by reconfiguring the network. Based on the results obtained from the analysis before improvement is made from the feeders supplying the University of Jember, for the Tegalboto feeder, the SAIFI reliability index was 3.1093 and also the SAIDI value was 4.9370, while for the Seruji feeder, the SAIFI was 1.9068 and also the SAIDI was 4.2175. After improving the reliability index value, for Tegalboto feeder, the SAIFI value is 2.2110 (decreased 28.89%) and also the SAIDI value is 4.0979 (decreased 16.99%), while for the Seruji feeder the SAIFI value is 1.9043 (decreased 0.13%) and a SAIDI value is 3.5435 (a decrease of 15.98%).

***Keywords** : Distribution System, Reliability Index, SAIDI, SAIFI, Section Techique*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Dengan mengucap puji dan syukur atas kehadirat Allah SWT karena atas ridho dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

"Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20kV Pada Pelanggan Premium Area Universitas Jember dengan Menggunakan Metode *Section Technique*"

Tugas akhir ini diajukan guna memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 di Teknik Elektro ITS. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa terutama dalam penyusunan Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Segenap keluarga besar, terutama orang tua dan kakak, yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa untuk keberhasilan penyelesaian buku tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT. dan Bapak Dr. Ir. Soedibyo, MMT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran serta bimbingannya.
3. Seluruh rekan dan teman-teman teknik elektro angkatan 2015 terutama prodi Teknik Sistem Tenaga atas kerjasamanya selama ini.
4. Seluruh staf pengajar dan karyawan S1 Teknik Elektro - ITS, atas sarana dan prasarana yang diberikan.
5. Dan semua pihak–pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT memberikan limpahan rahmat dan hidayahnya atas segala kebaikan.

Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, koreksi, dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk pengembangan ke arah yang lebih baik.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK
PERNYATAAN 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 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan 2
1.4 Batasan Masalah 2
1.5 Metode Penelitian 2
1.6 Sistematika Penulisan 3
1.7 Relevansi dan Manfaat 4

BAB II
SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV DAN KEANDALAN DENGAN METODE *SECTION TECHNIQUE*
2.1 Sistem Tenaga Listrik 5
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik 7
2.2.1 Sistem Radial 7
2.2.2 Sistem Lingkar (*loop*) 10
2.2.3 Sistem Spindel 11
2.2.4 Sistem Gugus atau Kluster 12
2.3 Komponen pada SUTM 12
2.3.1 Peralatan Hubung (Switch) 13
2.3.2 Peralatan Proteksi SUTM 13
2.4 Gangguan pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik 14
2.4.1 Jenis gangguan 14
2.5 Keandalan Sistem Distribusi 15
2.6 Definisi Indeks Keandalan Sistem Distribusi 17
2.6.1 SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) 18
2.6.2 SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) 19
2.6.3 CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*) 19

2.7 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Indeks Keandalan 19
2.8 Metode *Section Technique* 20

BAB III
SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK PADA PELANGGAN AREA UNIVERSITAS JEMBER
3.1 Sistem Distribusi Pada Pelanggan Area Universitas Jember 23
3.2 Data Jumlah Pelanggan Tiap Penyulang.....25
3.2.1 Data Jumlah Pelanggan Penyulang Tegalboto 25
3.2.2 Data Jumlah Pelanggan Penyulang Seruji.....27
3.3 Data Panjang Tiap Saluran Tiap Penyulang.....29
3.3.1 Data Panjang Saluran Penyulang Tegalboto 29
3.3.2 Data Panjang Saluran Penyulang Seruji.....31
3.4 Indeks Kegagalan Peralatan Sistem Distribusi 33
3.5 Data Standar Nilai Indeks Keandalan PLN.....33

BAB IV
PERHITUNGAN DAN ANALISIS KEANDALAN DI AREA PELANGGAN PREMIUM UNIVERSITAS JEMBER
4.1 Hasil Indeks Keandalan Sebelum Perbaikan.....35
4.1.1 Indeks Keandalan P. Tegalboto Sebelum Perbaikan.....36
4.1.2 Indeks Keandalan P. Seruji Sebelum Perbaikan 53
4.2 Upaya Perbaikan Keandalan Penyulang Tegalboto 53
4.3 Hasil Indeks Keandalan Setelah Perbaikan.....56
4.3.1 Indeks Keandalan P. Tegalboto Setelah Perbaikan.....56
4.3.2 Indeks Keandalan P. Seruji Setelah Perbaikan.....57
4.4 Perbandingan Hasil Sebelum Perbaikan dan Setelah Perbaikan .58

BAB V PENUTUP
5.1 Kesimpulan 61
5.2 Saran 62
DAFTAR PUSTAKA 63
BIODATA PENULIS 65
LAMPIRAN 67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik 5
Gambar 2.2 *Single Line Diagram* Sistem Tenaga Listrik..... 6
Gambar 2.3 Sistem Radial Pohon 8
Gambar 2.4 Sistem Radial dengan Tie dan Switch Pemisah..... 9
Gambar 2.5 Sistem radial tipe pusat beban 9
Gambar 2.6 Sistem Radial dengan Pembagi Fasa Area 10
Gambar 2.7 Sistem lingkar atau *loop* 10
Gambar 2.8 Sistem spindel 11
Gambar 2.9 Sistem Gugus atau Kluster 12
Gambar 2.10 Input dan output metode *section technique* 21
Gambar 3.1 SLD Penyulang pada GI Jember Penyuplai UNEJ..... 24
Gambar 4.1 SLD Sebelum Dilakukan Upaya Perbaikan 55
Gambar 4.2 SLD Sebelum Dilakukan Upaya Perbaikan 56
Gambar 4.3 Perbandingan SAIDI dan SAIFI Tegalboto..... 58
Gambar 4.4 Perbandingan SAIDI dan SAIFI Seruji 59

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Pelanggan Per Gardu Per *Section* P.Tegalboto..... 25
Tabel 3.2 Data Pelanggan Per Gardu Per *Section* P.Seruji..... 27
Tabel 3.3 Panjang Saluran Penyulang P.Tegalboto 29
Tabel 3.4 Panjang Saluran Penyulang P.Seruji 31
Tabel 3.5 Data indeks kegagalan SUTM 33
Tabel 3.6 Data indeks kegagalan peralatan..... 33
Tabel 4.1 Daftar mode kegagalan *section* 1 36
Tabel 4.2 λ LP 1 hingga LP 24 *Section* 1..... 37
Tabel 4.3 λ LP 25 hingga LP 65 *Section* 1..... 37
Tabel 4.4 U LP 1 hingga LP 24 *Section*1 38
Tabel 4.5 U LP 25 hingga LP 65 *Section*1 39
Tabel 4.6 λ dan U pada tiap *load point section* 1..... 39
Tabel 4.7 Indeks Keandalan *Section* 1 40
Tabel 4.8 Daftar mode kegagalan *section* 2 42
Tabel 4.9 λ LP 25 hingga LP 54 *Section* 2..... 43
Tabel 4.10 λ LP 55-LP 65 dan LP1-LP24 *Section* 2 43
Tabel 4.11 U LP 25 hingga LP 54 *Section* 2 44
Tabel 4.12 U LP 55-LP 65 dan LP1-LP24 *Section* 2 44
Tabel 4.13 λ dan U pada tiap *load point section* 2..... 45
Tabel 4.14 Indeks Keandalan *Section* 2 45
Tabel 4.15 Daftar mode kegagalan *section* 3 47
Tabel 4.16 λ LP 55 hingga LP 65 *Section* 3..... 48
Tabel 4.17 λ LP 1 hingga LP 54 *Section* 3..... 48
Tabel 4.18 U LP 55 hingga LP 65 *Section* 3 49
Tabel 4.19 U LP 1 hingga LP 54 *Section* 3 49
Tabel 4.20 λ dan U pada tiap *load point section* 3..... 49
Tabel 4.21 Indeks Keandalan *Section* 3 50
Tabel 4.22 Indeks keandalan sistem penyulang Tegalboto 52
Tabel 4.23 Indeks keandalan sistem penyulang Seruji..... 53
Tabel 4.24 Indeks keandalan sistem P.Tegalboto setelah perbaikan 57
Tabel 4.25 Indeks keandalan sistem P.Seruji setelah perbaikan..... 57
Tabel 4.26 Perbandingan indeks keandalan penyulang Tegalboto... 58
Tabel 4.27 Perbandingan indeks keandalan penyulang Seruji 59

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan listrik pada era modern ini maka kualitas dan kuantitas penyediaan listrik harus baik. 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 konsumennya. Untuk menjamin kontinuitas penyediaan energi listrik tersebut maka diperlukan tingkat keandalan yang baik. Maka dari itu, keandalan sistem distribusi tenaga listrik dapat diartikan sebagai suatu kemampuan sistem untuk memberikan pasokan listrik yang memenuhi kebutuhan dengan kualitas yang baik. Keandalan pada jaringan 20 kV dapat diukur dengan melihat seberapa jauh suplai tenaga listrik dapat mensuplai kebutuhan listrik secara kontinyu kepada konsumennya dalam kurun waktu tertentu.

PT PLN sebagai unit perusahaan jasa penyedia layanan listrik memiliki tugas dan kewajiban penting dalam memberikan pelayanan pendistribusian tenaga listrik yang handal dan berkualitas. Saat ini, PT PLN memiliki program andalan yaitu program *super power*. Salah satu produk dari program *super power* adalah *super premium*, produk ini ditujukan kepada pelanggan PLN yang menginginkan pasokan listrik yang sangat andal atau bisa dikatakan jarang padam sesuai syarat tertentu yang ditentukan PT PLN. Salah satu pelanggan yang menginginkan keunggulan produk *super premium* tersebut adalah Universitas Jember. Sehingga berangkat dari latar belakang tersebut, perlu diadakan analisis mengenai keandalan sistem pada daerah sekitar pelanggan premium tersebut agar dapat menentukan langkah yang tepat guna meningkatkan keandalan.

Untuk menentukan tingkat keandalan suatu sistem perlu adanya perhitungan indeks keandalan. Indeks-indeks yang digunakan untuk mengetahui tingkat keandalan suatu sistem distribusi adalah SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), dan CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*)[1]. Salah satu cara perhitungan indeks keandalan ini yaitu dengan metode *section technique*, dimana suatu sistem jaringan akan dipecah menjadi beberapa bagian atau *section*[3].

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Sejauh mana kendalan sistem jaringan distribusi 20kV pada pelanggan premium area Universitas Jember.
2. Bagaimana upaya peningkatan keandalan sistem pada area Universitas Jember.
3. Bagaimana keandalan setelah dilakukan upaya peningkatan keandalan pada pelanggan premium Universitas Jember.

1.3 Tujuan

Tujuan yang diharapkan dari pembuatan tugas akhir ini adalah :

1. Mengevaluasi indeks keandalan di area Universitas Jember dengan menggunakan metode *section technique*.
2. Mengetahui upaya perbaikan guna peningkatan keandalan pada sistem.
3. Mengetahui indeks keandalan setelah dilakukan upaya peningkatan keandalan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Sistem distribusi tengangan menengah 20kV.
2. Penyulang penyuplai area Universitas Jember.
3. SPLN (Standar PLN) sebagai acuan untuk standar indeks keandalan.

1.5 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Studi literatur

   Studi literatur dilakukan dengan cara mempelajari teori-teori dan referensi dari buku standar PLN yang akan digunakan untuk mencapai tujuan penelitian. Meliputi studi mengenai keandalan sistem dan petunjuk matematis dalam keandalan sistem tenaga listrik dengan metode yang digunakan adalah *section technique*.
2. Pengumpulan data

   Melakukan pengumpulan data aset yang ada di PT. PLN (Persero) Area Jember, khususnya area Universitas Jember. Data tersebut meliputi pengumpulan struktur jaringan distribusi 20 kV untuk penyulang area Universitas Jember, data pelanggan, data panjang

saluran, data nilai laju kegagalan *(failure rate)*, waktu perbaikan rata-rata, mode kegagalan, potensial efek kegagalan peralatan yang ada di jaringan distribusi 20 kV.

3. Pengolahan dan analisis data

   Perhitungan indeks kegagalan dari setiap *load point* pada sistem distribusi berdasarkan data laju kegagalan dan data waktu perbaikan pada setiap *section* sepanjang jaringan distribusi dengan perhitungan dengan *Ms. Excel.*

   Perhitungan indeks keandalan menggunakan metode *section technique* memiliki alur pengerjaan sebagai berikut[4]:

   a) Membagi batas area pada *section* berdasarkan *sectionalizer*,
   b) Identifikasi mode kegagalan,
   c) Menentukan waktu pemulihan sistem (*repair time*),
   d) Menentukan efek setiap mode kegagalan,
   e) Penjumlahan laju kegagalan λLP dan durasi gangguan ULP untuk setiap *load point*,
   f) Menghitung indeks keandalan sistem (penjumlahan indeks keandalan tiap *section*).

   Setelah didapatkan nilai-nilai indeks keandalan dengan menggunakan metode ini maka selanjutnya nilai yang didapat dibandingkan dengan standar PLN (SPLN 68-2 : 1986) [7] yang telah ditetapkan agar dapat diketahui apakah nilai tersebut sudah memenuhi standar atau belum. Apabila masih ada indeks keandalan yang nilainya belum memenuhi standar PLN, maka dilakukan perbaikan pada lokasi yang dibutuhkan agar nilai indeks keandalan semakin baik.

4. Pembuatan Laporan dan Kesimpulan Tugas Akhir

   Dari hasil analisis maka akan didapatkan kesimpulan dan dapat dilakukan penulisan laporan hasil dari tugas akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan Tugas Akhir ini terdiri dari lima bab, yaitu

1. BAB 1 : Pendahuluan

   Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika laporan, serta relevansi dari penulisan.

2. BAB 2 : Landasan Teori

   Pada 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, gangguan pada sistem distribusi, serta keandalan sistem distribusi 20 kV dengan menggunakan metode *section technique.*

3. BAB 3 : Sistem Distribusi Tenaga Listrik Pada Pelanggan Area Universitas Jember
   Bab ini membahas tentang data-data yang diperlukan untuk menghitung keandalan sistem distribusi pada penyulang yang dianalisis dengan metode *section technique*.
4. BAB 4 : Hasil dan Analisis Data
   Bab ini berisi pembahasan tentang analisis keandalan sistem distribusi dengan metode *section technique* untuk penyulang yang dianalisis yang kemudian dilakukan langkah perbaikan untuk meningkatkan indeks keandalan.
5. BAB 5 : Penutup
   Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil analisis mengenai sistem keandalan distribusi.

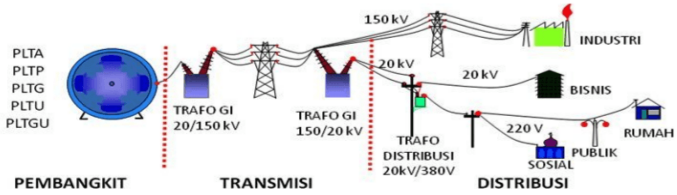
1.7 Relevansi dan Manfaat

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 sistem juga upaya perbaikannya.
2. Bagi bidang ilmu pengetahuan dan mahasiswa lain
   Tugas akhir ini diharapkan dapat membantu memahami sistem distribusi juga upaya untuk meningkatkan keandalannya.

BAB II
SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV DAN KEANDALAN DENGAN METODE *SECTION TECHNIQUE*

2.1 Sistem Tenaga Listrik [2]

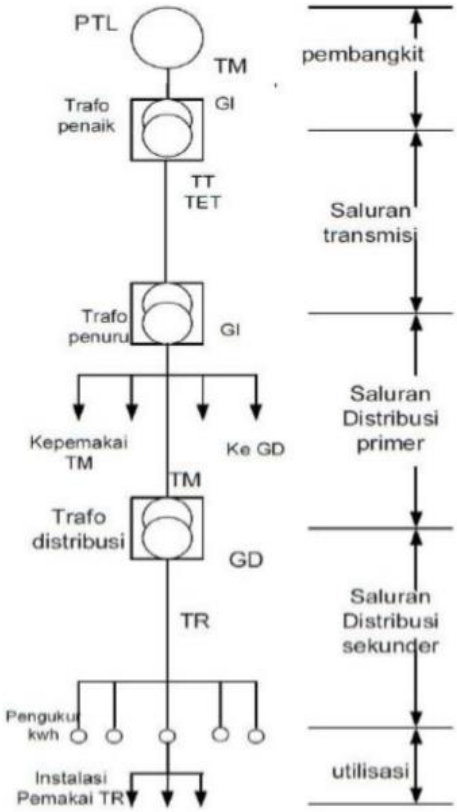


Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan proses dari penyaluran dan pendistribusian energi listrik. Penyaluran energi listrik dari pembangkit listrik menuju beban. Sistem distribusi tenaga listrik didesain dan dibangun untuk memasok daya listrik bagi sekelompok beban. Desain dari sistem distribusi tenaga listrik cukup kompleks, diawali dari peralatan instalasi sumber listrik sampai ke instalasi pusat -pusat beban. Sumber tenaga listrik dibangkitkan dari pusat-pusat pembangkit listrik seperti PLTU, PLTA, PLTG. Tenaga listrik yang telah terbangkit kemudian disalurkan melalui saluran transmisi dan kemudian dilanjutkan ke distribusi listrik ke beban - beban.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikan tegangannya oleh Gardu Induk (GI) dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan adalah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir (I2.R). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka

arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt.



Gambar 2.2 *Single Line Diagram* Sistem Tenaga Listrik

2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik [2]

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

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

Dalam pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beban, di Indonesia dalam hal ini PT. PLN menggunakan tegangan di level 20kV untuk penyaluran distribusi primer dan level tegangan 220/380V untuk penyaluran distribusi sekunder. Pada level tegangan 20kV atau jaringan distribusi primer, terdapat beberapa macam bentuk jaringan yang digunakan. Secara mendasar tipe jaringan dibedakan menjadi jaringan radial, jaringan lingkar (*loop*) jaringan *spindle*, dan jaringan gugus.

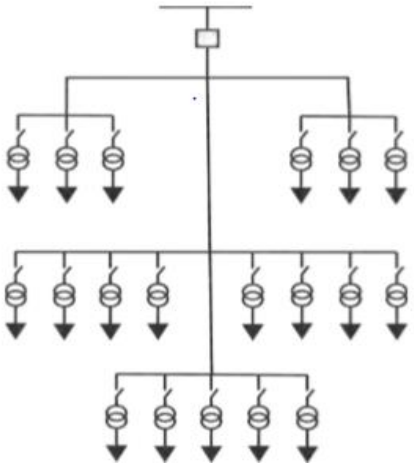
2.2.1 Sistem Radial

Sistem yang paling sering digunakan adalah sistem distribusi radial karena sistem tersebut yang paling sederhana dan paling murah untuk dibangun. Operasi dan ekspansi sistem lebih sederhana. Sistem radial tidak dapat diandalkan seperti kebanyakan sistem kecuali komponen yang digunakan memiliki kualitas yang baik. Apabila terjadi gangguan maka akan mengakibatkan pemadaman pada semua beban yang dilayani oleh *feeder*. Selain itu, layanan listrik akan terputus ketika setiap melakukan pemeliharaan.

Sistem radial dapat ditingkatkan dengan memasang circuit breaker otomatis atau *recloser* pada interval yang ditemtukan yang akan melokalisir terjadinya gangguan. Selain menggunakan *recloser* untuk meningkatkan keandalan, pada jaringan radial juga dipasang *line switch* berupa *load breaker switch*, *sectionalizer* yang berfungsi sebagai melokalisir daerah gangguan. Sehingga daerah selain daerah gangguan dapat beroperasi normal. Sistem radial kemudian dikelompokkan menjadi beberapa tipe, yaitu:

2.2.1.1 Sistem Radial Pohon.

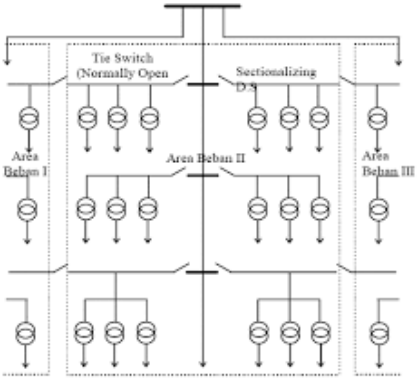
Saluran utama diambil dari gardu induk, kemudian dicabangkan melalui saluran cabang (*lateral feeder*). Selanjutnya di cabangkan lagi melalui sub cabang (*sublateral feeder).*



Gambar 2.3 Sistem Radial Pohon

2.2.1.2 Sistem Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

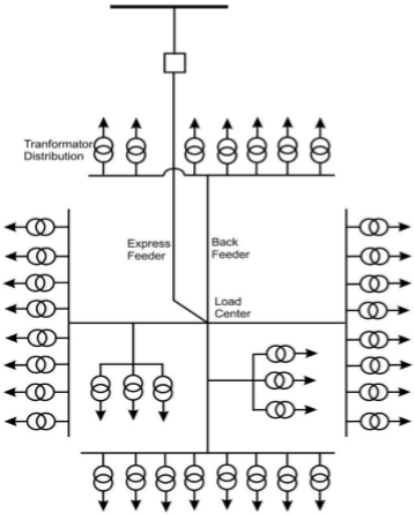
Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem radial pohon. Penambahan *Tie* dan *Switch* yang digunakan untuk melokalisir gangguan bertujuan untuk meningkatkan keandalan sistem.



Gambar 2.4 Sistem Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

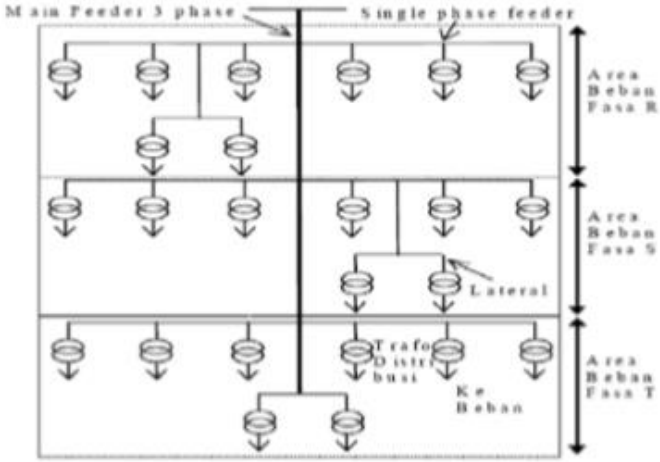
2.2.1.3 Sistem radial tipe pusat beban

Bentuk ini mencatu daya dengan menggunakan penyulang utama (*main feeder*) yang disebut *express feeder* langsung ke pusat beban, dan dari titik pusat beban ini disebar dengan menggunakan *back feeder* secara radial.



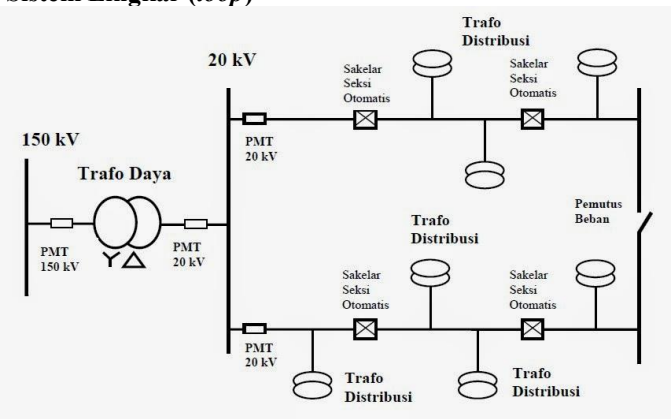
Gambar 2.5 Sistem radial tipe pusat beban

2.2.1.4 Sistem Radial dengan Pembagi Fasa Area.
Pada sistem ini tiap fasa melayani daerah beban yang berbeda, tetapi hal ini meyebabkan kondisi sistem 3 fasa yang tidak seimbang.



Gambar 2.6 Sistem Radial dengan Pembagi Fasa Area

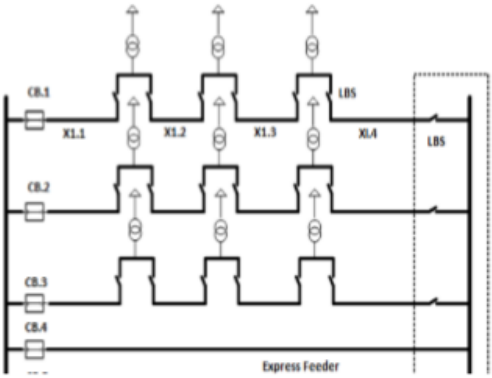
2.2.2 Sistem Lingkar (*loop*)



Gambar 2.7 Sistem lingkar atau *loop*

Sistem distribusi lingkar atau *loop* dimulai dari gardu induk dan terhubung melingkar mengelilingi area beban atau beberapa trafo distribusi dan akhirnya konduktor sistem akan kembali lagi ke gardu induk. Pada dasarnya, sistem jaringan *loop* merupakan sistem jaringan radial dimana kedua sistem jaringan radial terhubung dengan switch.
Keandalan konfigurasi sistem *loop* lebih baik daripada sistem radial. Berdasarkan sumbernya, sistem *loop* dibedakan menjadi dua tipe yaitu *loop one source* dan *loop different source*. Perbedaan antara *loop one source* dan *loop different source* adalah terletak pada transformator pencatu dayanya. Pada *loop one source* transformator yang digunakan untuk mensuplai jaringan *loop* hanya satu dari gardu induk, sedangkan untuk *loop different source* menggunakan dua transformator yang berbeda baik kedua transformator tersebut berada dalam satu gardu induk atau dengan gardu induk yang berbeda.

2.2.3 Sistem Spindel

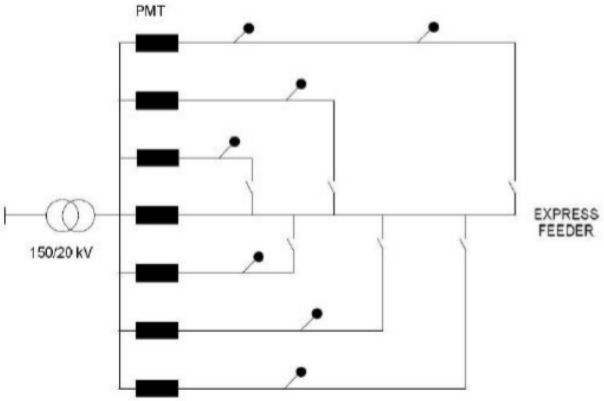


Gambar 2.8 Sistem spindel

Sistem Spindel adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola radial dan *loop*. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (feeder) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH). Pada sebuah spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (express) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung.
Pola Spindel biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan

menengah (SKTM). Namun pada pengoperasiannya, sistem spindel berfungsi sebagai sistem radial. Di dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah atau tegangan menengah.

2.2.4 Sistem Gugus atau Kluster



Gambar 2.9 Sistem Gugus atau Kluster

Konfigurasi gugus banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat saklar pemutus beban, dan penyulang cadangan. Dimana penyulang ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai ke konsumen.

2.3 Komponen pada SUTM

Di Indonesia, pada umumnya tegangan operasi SUTM adalah 6 KV dan 20 KV. Namun, tegangan operasi yang umum digunakan yaitu tegangan operasi pada 20 KV. Transmisi SUTM digunakan pada jaringan tingkat tiga, yaitu jaringan distribusi yang menghubungkan dari Gardu Induk, Penyulang, SUTM, Gardu Distribusi, sampai dengan ke Instalasi Pemanfaatan (Pelanggan/ Konsumen).

2.3.1 Peralatan Hubung (Switch)

Pada jaringan SUTM digunakan juga peralatan *switching* untuk optimasi operasi distribusi. Peralatan *switching* yang digunakan antara lain: Pemutus Beban (Load Break Switch : LBS), selain LBS dapat juga digunakan pemutus Disconnecting Switch (DS).

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

2.3.2 Peralatan Proteksi SUTM

2.3.2.1 Pemisah dengan Pengaman Lebur (Fuse Cut Out)

Fuse Cut Out (FCO) sebagai pengaman penyulang, bila terjadi gangguan di gardu (trafo distribusi) dan melokalisir gangguan di trafo agar peralatan tersebut tidak rusak. FCO sendiri merupakan sebuah alat pemutus rangkaian listrik yang berbeban pada jaringan distribusi yang bekerja denga cara meleburkan bagian dari komponennya (fuse link) yang telah dirancang khusus dan disesuaikan dengan ukurannya itu.

Disamping itu FCO merupakan peralatan proteksi yang bekerja apabila terjadi gangguan arus lebih. Alat ini akan memutuskan rangkaian listrik yang satu dengan yang lain apabila dilewati arus yang melewati kapasitas kerjanya

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

Penutup balik otomatis (PBO, *automatic circuit recloser*) digunakan sebagai pelengkap untuk pengaman terhadap gangguan temporer dan membatasi luas daerah yang padam akibat gangguan. Saat terjadi gangguan, arus yang mengalir melalui PBO sangat besar sehingga menyebabkan kontak PBO terbuka (trip). Kontak akan kembali menutup dalam selang waktu tertentu atau waktu seting. Hal ini bertujuan untuk melokalisir gangguan yang bersifat temporer. Jika gangguan masih terdeteksi maka PBO akan terbuka dan terkunci sampai gangguan dihilangkan.

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

2.4 Gangguan pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik

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

2.4.1 Jenis gangguan

Lama dari gangguan yang terjadi pada sistem distribusi 20 kv dapat dibedakan menjadi 2 yaitu:
1) Gangguan permanen (dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan, gangguan baru akan hilang setelah kerusakan diperbaiki).
Gangguan yang bersifat permanen (persistant), yaitu gangguan yang bersifat tetap. Agar jaringan dapat berfungsi kembali, maka perlu dilaksanakan perbaikan dengan cara menghilangkan gangguan tersebut. Gangguan ini akan menyebabkan terjadinya pemadaman tetap pada jaringan listrik dan pada titik gangguan akan terjadi kerusakan yang permanen. Contoh: menurunnya kemampuan isolasi padat atau minyak trafo. Di sini akan menyebabkan kerusakan permanen pada trafo, sehingga untuk dapat beroperasi kembali harus dilakukan perbaikan.

2) Gangguan temporer (gangguan yang tidak akan lama dan dapat normal atau hilang dengan sendirinya yang disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungnya).

Gangguan yang bersifat temporer, timbulnya gangguan bersifat sementara, sehingga tidak memerlukan tindakan. Gangguan tersebut akan hilang dengan sendirinya dan jaringan listrik akan bekerja normal kembali. Jenis gangguan ini ialah : timbulnya flashover antar penghantar dan tanah (tiang, traverse atau kawat tanah) karena sambaran petir, flashover dengan pohon-pohon, dan lain sebagainya. Sedangkan dari jenis gangguan hubung singkat yang dapat terjadi dibagi menjadi:

2.4.1.1 Gangguan Satu Fasa ke Tanah

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

2.4.1.2 Gangguan Dua Fasa ke Tanah

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

2.4.1.3 Gangguan Fasa ke Fasa

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

2.4.1.4 Gangguan Tiga Fasa ke Tanah

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

2.5 Keandalan Sistem Distribusi [3]

Keandalan atau *reliability* menyatakan kemungkinan suatu peralatan yang bekerja sesuai standarnya dalam selang waktu dan kondisi tertentu. Analisa bentuk kegagalan merupakan suatu analisa bagian dari sistem atau peralatan yang dapat gagal, bentuk kegagalan yang mungkin, efek masing-masing, bentuk kegagalan dari sistem yang komplek.

Keandalan dalam sistem distribusi merupakan suatu ukuran tingkat pelayanan penyedia tenaga listrik dari sistem ke konsumen. Yang mana ukuran keandalan ini dapat dilihat dari seberapa banyak atau seberapa sering sistem mengalami pemadaman dan juga seberapa lama sistem mengalami pemadaman serta seberapa cepat waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk memulihkan kembali kondisi dari saat terjadinya pemadaman.

Tingkat keandalan suatu jaringan dibedakan menjadi tiga yaitu :

1. Keandalan Sistem Tinggi

Pada keadaan normal sistem dapat memberikan kapasitas yang cukup untuk kebutuhan beban puncak dengan variasi tegangan yang baik dan dalam keadaan bila terjadi gangguan maka sistem maka sistem ini memerlukan peralatan dan pengaman yang cukup banyak agar terhindar dari berbagai macam gangguan.

2. Keandalan Sistem Menengah

Pada keadaan normal sistem dapat memberikan kapasitas yang cukup untuk kebutuhan beban puncak dengan variasi tegangan yang baik dan dalam keadaan bila terjadi gangguan maka sistem masih dapat memberikan suplai kepada sebagian beban dalam keadaan beban puncak. Jadi dalam sistem membutuhkan peralatan yang cukup banyak untuk mengatasi gangguan -gangguan pada sistem.

3. Keandalan Sistem Rendah

Pada keadaan normal sistem dapat memberikan kapasitas yang cukup untuk kebutuhan beban puncak dengan variasi tegangan yang baik dan dalam keadaan bila terjadi gangguan maka sistem tidak dapat memberikan suplai pada semua beban sehingga sistem perlu diperbaiki terlebih dahulu yang mana berarti sistem ini peralatan pengamannya masih kurang dan relatif sedikit jumlahnya.

Gangguan-gangguan yang terjadi hingga menyebabkan pemadaman pada konsumen biasanya terjadi pada bagian saluran distribusi tegangan menengah yang mana banyak terjadi akibat dari gangguan pada saluran udara (overhead). Keandalan pada sistem bergantung pada komponen-komponen yang bekerja dan membentuk sebuah sistem. Berikut merupakan hal-hal yang ada dalam keandalan antara lain :

- Fungsi

Keandalan suatu sistem dapat dilihat dari sistem yang dapat melakukan fungsinya secara baik dan sesuai dengan standar dalam keadaan tertentu.

Kegagalan fungsi dapat diakibatkan karena tidak berjalannya perawatan pada sistem dengan baik.

- Waktu

Keandalan suatu sistem akan berkurang seiring berjalannya waktu, hal ini dapat terjadi karena keandalan sistem dipengaruhi oleh operasi kerja suatu atau beberapa peralatan di dalamnya dimana apabila umur perlatan sudah terlalu lama mengakibatkan probabilitas kegagalan peralatan tersebut lebih tinggi.

- Lingkungan

Keandalan setiap peralatan sangat berpengaruh dari kondisi lingkungan ketika peralatan sedang bekerja. Gangguan pada saluran udara ini akibat lingkungan banyak dipegaruhi oleh berbagai hal seperti kondisi cuaca seperti hujan, angin, dan petir serta lingkungan sekitar seperti pohon ataupun hewan serta hal lain seperti penyimpanan, instalasi, pemakai, debu, kimia dan polutan lainnya terhadap sistem

- Probabilitas

Keandalan diukur sebagai probabilitas. Sehingga probabilitas yang selalu berubah-ubah terhadap waktu merupakan bagian dari bidang statistik dan analisa statistik yang menyebabkan keandalan pun dapat berbubah-ubah.

Dalam sistem distribusi tengangan menengah, saluran udara banyak digunakan salah satunya adalah karena biaya yang dibutuhkan dalam instalasi lebih sedikit bila dibandingkan dengan saluran kabel bawah tanah yang mana saluran jenis ini lebih jarang terkena gangguan karena tidak banyak dipengaruhi cuaca dan lingkungan sekitar. Akan tetapi penggunaan kabel saluran bawah tanah ini membutuhkan waktu yang lama untuk perbaikannya ketika mengalami gangguan hingga pulih atau normal kembali, sehingga saluran udara lebih banyak digunakan oleh PLN dalam pendistribusian daya listrik dikarenakan lebih mudah.

2.6 Definisi Indeks Keandalan Sistem Distribusi [3]

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

1. Laju kegagalan (λ) yaitu nilai rata-rata dari jumlah kegagalan per satuan watu pada suatu selang waktu pengamatan (T).

$$\lambda = \frac{d}{T} \tag{2.1}$$

Dimana d = banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu; T = jumlah selang waktu pengamatan (misal per tahun).

Frekuensi gangguan *(failure rate)* untuk setiap *load point* λ LP, merupakan penjumlahan laju kegagalan semua peralatan yang berpengaruh terhadap *load point*, dengan persamaan yaitu:

$$\lambda \text{ LP} = \sum_{i=K} \lambda \text{i} \tag{2.2}$$

Dimana λi= laju kegagalan untuk peralatan K; K=semua peralatan yang berpengaruh terhadap *load point*

2. Lama/durasi gangguan tahunan rata-rata untuk *load point* U LP, dengan persamaan:

$$\text{U LP} = \sum_{i=K} \text{Ui} = \sum_{i=K} \lambda \text{i x rj} \tag{2.3}$$

Dimana rj= waktu perbaikan (*repairing time* atau *switching time*)

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

2.6.1 SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) [3]

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

$$SAIFI = \frac{\sum N\ LP\ x\ \lambda LP}{\sum N} \tag{2.4}$$

Dimana :
SAIFI = (*failure/year customer*)
N LP = Jumlah konsumen pada *load point*
N = jumlah konsumen pada *section*
λLP = frekuensi gangguan peralatan pada *load point*

2.6.2 SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

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

$$SAIDI = \frac{\sum N\ LP\ x\ ULP}{\sum N} \tag{2.5}$$

Dimana :
SAIDI = (*hour/year customer*)
U LP = durasi gangguan peralatan pada *load point*

2.6.3 CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*)

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

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \tag{2.6}$$

Dimana : CAIDI = (*hour/customer failure*)

2.7 Faktor -Faktor yang Mempengaruhi Indeks Keandalan[3]

Ada beberapa istilah yang digunakan untuk memahami beberapa factor yang dapat mempengarui indeks keandalan dalam suatu sistem distribusi.

- *Outage* / Keluar

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

- *Scheduled Outage*

Outage yang dihasilkan karena ada pelepasan suatu komponen yang disengaja pada waktu-waktu tertentu sesuai jadwal yang telah ditentukan. Hal ini berkaitan dengan adanya perbaikan atau pemeliharaan peralatan.

- *Forced Outage*

Outage yang dihasilkan karena keadaan darurat yang secara langsung berhubungan dengan suatu komponen dimana diperlukan komponen tersebut untuk dilepaskan secara paksa dengan segera dari sistem. Hal

ini biasanya terjadi disebabkan kesalahan dalam pengoperasian peralatan ataupun kesalahan manusia.

- *Interuption* / Pemadaman

Pemutus kerja / pemadaman pada suatu konsumen atau fasilitas sebagai akibat dari outage yang terjadi pada satu atau lebih komponen.

- *Scheduled interruption*

Pemadaman yang disebabkan oleh *scheduled outage*.

- *Forced interruption*

Pemadaman yang disebabkan oleh *forced outage*.

- Laju kegagalan (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)

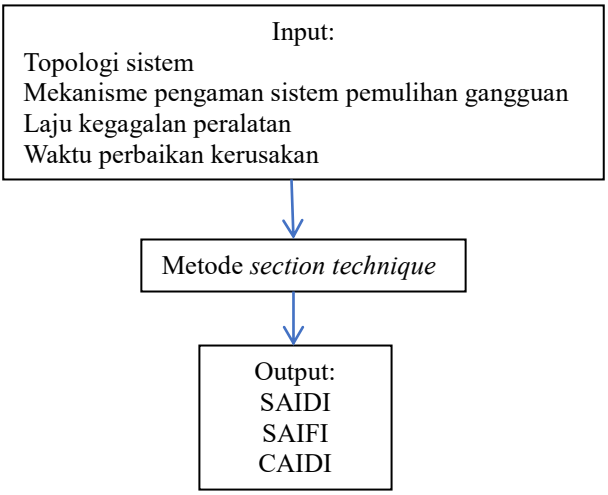
Jumlah energi listrik yang tidak tersalurkan sebagai akibat dari pemadaman yang terjadi (energy not supplied dinyatakan dalam kWh/year).

2.8 Metode *Section Technique* [4]

Section technique adalah metode untuk menganalisis suatu keandalan sistem dimana didasarkan pada bagaimana suatu kegagalan dari suatu peralatan dapat mempengaruhi operasi sistem. Secara teknis hampir mirip dengan metode FMEA, hanya saja perhitungan dilakukan dengan cara memecah sistem menjadi beberapa bagian atau *section* sehingga kemungkinan terjadi kesalahan dapat diminimalkan. Efek kegagalan dari peralatan kemudian diidentifikasi secara sistematis dengan menganalisa bagaimana gangguan akan terjadi. Masing-masing kegagalan peralatan dianalisis untuk semua *load point*. Perhitungan dan analisa dilakukan

dari bawah ke atas dimana yang dipertimbangkan satu mode kegagalan pada suatu waktu.

Input dan output dari metode *section technique* yaitu sebagai berikut:



Gambar 2.10 Input dan output metode *section technique*

Alur kerja metode *section technique* yaitu sebagai berikut:

1. Membagi batas area pada *section* berdasarkan *sectionalizer.*
2. Identifikasi mode kegagalan.
3. Menentukan waktu pemulihan sistem *(repair time).*
4. Menentukan efek setiap mode kegagalan.
5. Penjumlahan laju kegagalan λ LP dan durasi gangguan U LP untuk setiap *load point.*
6. Menghitung indeks keandalan sistem (penjumlahan indeks keandalan tiap *section*).

Halaman ini sengaja dikosongkan

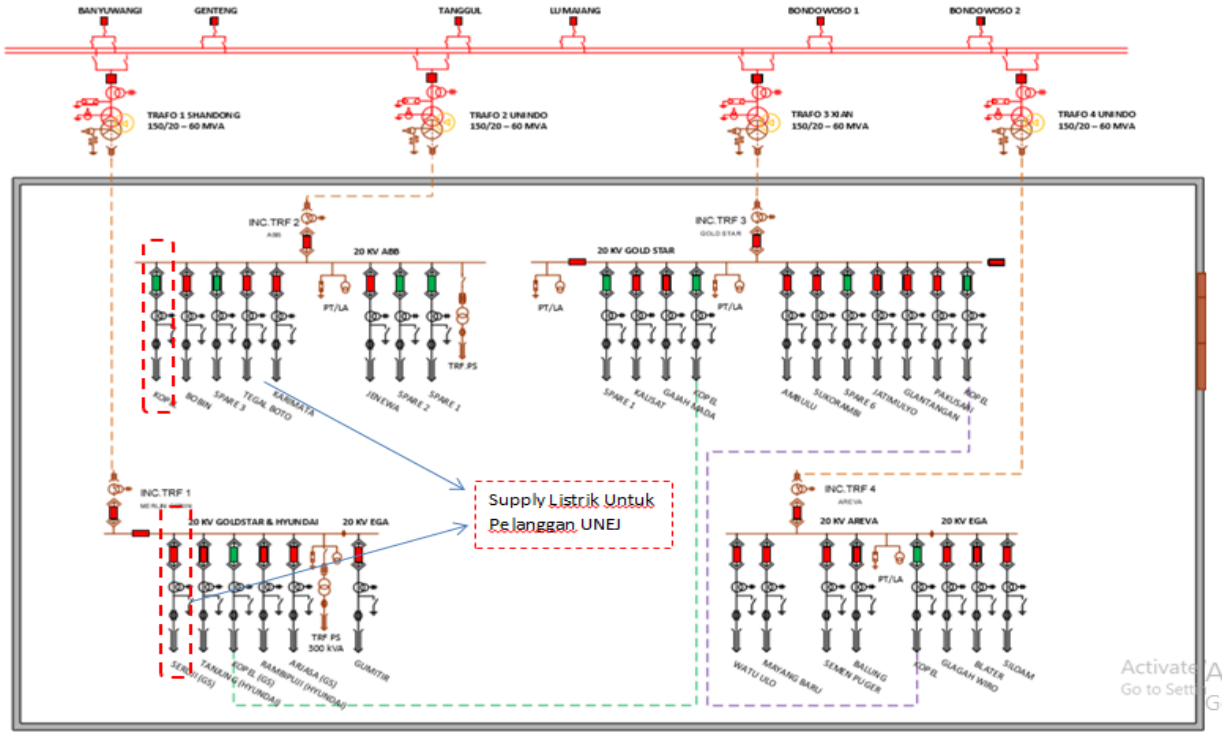
BAB III
SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK PADA PELANGGAN AREA UNIVERSITAS JEMBER

3.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik Pada Pelanggan Area Universitas Jember

Pelayanan listrik premium yang diterapkan pada pelanggan Universitas Jember yaitu berdasarkan kesepakatan dari tingkat mutu pelayanan (servis level agreement) yang lebih baik dari pelanggan regular setempat dengan memperhatikan keandalan jaringan. Saat ini PLN UP3 Jember akan melayani Universitas Jember sebagai pelanggan premium tegangan menengah 20kV. Untuk kriteria pelanggan premium yang dapat dilayani dengan saluran listrik tegangan menengah berdasarkan PLN yaitu:

1. Dapat disuplai dengan 2 (dua) penyulang dari trafo Gl yang berbeda dengan dipasang ATS atau LBS *Three Way*
2. Apabila disuplai dengan dua penyulang dari trafo Gl yang sama, pada saat terjadi gangguan / pemeliharaan harus dipastikan dapat dimanuver dari trafo lainnya
3. Apabila disuplai dari dua atau tiga penyulang dari trafo Gl yang sama masuk secara paralel, pada saat terjadi gangguan salah satu penyulang, dipastikan penyulang lainnya masih operasi
4. Apabila disuplai dengan satu penyulang, maka harus dengan kabel SKTM / SKUTM.

Pada tugas akhir ini analisis yang dilakukan dikhususkan pada penyulang-penyulang yang menyuplai daya ke pelanggan area Universitas Jember yang mana berasal dari dua trafo daya yang berbeda yaitu penyulang Seruji berasal dari trafo 1 dengan kasitas 60MVA dan penyulang Tegalboto dari trafo 2 (60MVA). Penyulang-penyulang tersebut merupakan penyulang yang dimonitor oleh PT. PLN UP3 Jember. Adapun tipe jaringan pada kedua penyulang tersebut yaitu menggunakan konfigurasi jaringan radial.



Gambar 3.1 SLD Penyulang pada GI Jember Penyuplai Listrik UNEJ

3.2 Data Jumlah Pelanggan Tiap Penyulang

Berikut ini adalah jumlah pelanggan di tiap penyulang yang menyuplai area Universitas Jember

3.2.1 Data Jumlah Pelanggan Penyulang Tegalboto

Penyulang Tegalboto memliki data pelanggan dan pembagian *section* sebagai berikut:

Tabel 3.1 Data Pelanggan Per Gardu Per *Section* P.Tegalboto

LOAD POINT	KD_GARDU	JUMLAH PELANGGAN	BERADA PADA SECTION
1	GA008	207	1
2	GA028	290	1
3	GA038	435	1
4	GA081	337	1
5	GA096	346	1
6	GA099	331	1
7	GA108	415	1
8	GA197	534	1
9	GA202	343	1
10	GA217	490	1
11	GA229	433	1
12	GA238	572	1
13	GA299	1	1
14	GA366	1	1
15	GA377	77	1
16	GA415	163	1
17	GA508	1	1
18	GA543	38	1
19	GA551	281	1
20	GA751	1	1
21	GA768	50	1
22	GA769	6	1
23	GA789	1	1
24	GA793	179	1
25	GA035	172	2
26	GA140	1	2

Tabel 3.1 Data Pelanggan Per Gardu Per *Section* P.Tegalboto (Lanjutan)

LOAD POINT	KD_GARDU	JUMLAH PELANGGAN	BERADA PADA SECTION
27	GA141	366	2
28	GA146	183	2
29	GA152	163	2
30	GA170	277	2
31	GA198	206	2
32	GA240	13	2
33	GA381	64	2
34	GA384	211	2
35	GA417	1	2
36	GA419	2	2
37	GA432	104	2
38	GA440	96	2
39	GA453	1	2
40	GA454	53	2
41	GA496	1	2
42	GA497	1	2
43	GA505	1	2
44	GA538	1	2
45	GA564	84	2
46	GA573	6	2
47	GA587	1	2
48	GA622	1	2
49	GA642	33	2
50	GA697	1	2
51	GA761	1	2
52	GA801	1	2
53	GA802	1	2
54	GA803	1	2
55	GA180	281	3
56	GA199	269	3
57	GA218	560	3
58	GA256	713	3
59	GA264	429	3

Tabel 3.1 Data Pelanggan Per Gardu Per *Section* P.Tegalboto (Lanjutan)

LOAD POINT	KD_GARDU	JUMLAH PELANGGAN	BERADA PADA SECTION
60	GA561	1	3
61	GA577	27	3
62	GA710	327	3
63	GA712	1	3
64	GA713	1	3
65	GA727	429	3
Total Pelanggan		10617	

Jumlah pelanggan setiap *section* di penyulang Tegalboto sangatlah bervariasi, hal tersebut dapat dilihat dari jumlah pelanggan per *section* dalam tabel di atas. Jumlah pelanggan *section* I sebanyak 5.532 pelanggan, *section* II sebanyak 2.047 pelanggan, *section* III sebanyak 3.038 pelanggan. Jenis pelanggan di penyulang Tegalboto terdiri dari pelanggan industri, pelanggan rumah tangga, pelanggan publik dan komersil.

3.2.2 Data Jumlah Pelanggan Penyulang Seruji

Penyulang Seruji memliki data pelanggan dan pembagian *section* sebagai berikut:

Tabel 3.2 Data Pelanggan Per Gardu Per *Section* P.Seruji

LOAD POINT	KD_GARDU	BERADA PADA SECTION	JUMLAH PELANGGAN
1	GA015	1	82
2	GA023	1	276
3	GA046	1	380
4	GA111	1	137
5	GA157	1	323
6	GA409	1	48
7	GA421	1	1
8	GA425	1	2
9	GA473	1	1
10	GA550	1	1

Tabel 3.2 Data Pelanggan Per Gardu Per *Section* P.Seruji (Lanjutan)

LOAD POINT	KD_GARDU	BERADA PADA SECTION	JUMLAH PELANGGAN
11	GA592	1	1
12	GA626	1	1
13	GA627	1	1
14	GA737	1	1
15	GA746	1	73
16	GA007	2	5
17	GA024	2	3
18	GA117	2	1
19	GA151	2	108
20	GA160	2	3
21	GA185	2	518
22	GA247	2	1
23	GA275	2	1
24	GA277	2	1
25	GA385	2	2
26	GA386	2	1
27	GA403	2	1
28	GA444	2	105
29	GA470	2	2
30	GA579	2	1
31	GA637	2	1
32	GA678	2	1
33	GA716	2	110
34	GA732	2	1
35	GA743	2	1
36	GA773	2	1
37	GA001	3	145
38	GA009	3	331
39	GA011	3	103
40	GA016	3	242
41	GA049	3	128
42	GA097	3	2
43	GA098	3	332

Tabel 3.2 Data Pelanggan Per Gardu Per *Section* P.Seruji (Lanjutan)

LOAD POINT	KD_GARDU	BERADA PADA SECTION	JUMLAH PELANGGAN
44	GA100	3	423
45	GA109	3	34
46	GA161	3	344
47	GA162	3	115
48	GA183	3	3
49	GA184	3	98
50	GA380	3	1
51	GA436	3	68
52	GA452	3	1
53	GA480	3	11
54	GA484	3	1
55	GA498	3	1
56	GA593	3	1
57	GA709	3	1
58	GA720	3	1
Total Pelanggan			4582

Jumlah pelanggan setiap *section* di penyulang Seruji yaitu *section* I 1.328 pelanggan, *section* II 868 pelanggan, *section* III 2.386 pelanggan. Jenis pelanggan di penyulang Seruji terdiri dari pelanggan industri, pelanggan rumah tangga, pelanggan publik dan komersil.

3.3 Data Panjang Tiap Saluran Tiap Penyulang

Berikut ini adalah data panjang saluran pada tiap penyulang

3.3.1 Data Panjang Saluran Penyulang Tegalboto

Data saluran penyulang Seruji sebagai berikut:

Tabel 3.3 Panjang Saluran Penyulang P.Tegalboto

Saluran	Panjang Saluran Udara (km)	Saluran	Panjang Saluran Udara (km)
L1	0,124	L43	0,346
L2	0,204	L44	0,107
L3	0,065	L45	0,069

Tabel 3.3 Panjang Saluran Penyulang P.Tegalboto (Lanjutan)

Saluran	Panjang Saluran Udara (km)	Saluran	Panjang Saluran Udara (km)
L4	0,175	L46	0,135
L4.1	0,021	L47	0,167
L5	0,375	L48	0,006
L6	0,114	L49	0,063
L7	0,023	L50	0,078
L8	0,204	L51	0,062
L9	0,026	L52	0,159
L9.1	0,072	L53	0,274
L10	0,37	L54	0,135
L11	0,126	L55	0,046
L12	0.159	L56	0,156
L12.1	0.027	L57	0,177
L13	0,086	L58	0,09
L14	0,043	L59	0,081
L15	0,142	L60	0,159
L15.1	0,049	L61	0,068
L16	0,05	L62	0,245
L17	0,135	L63	0,104
L18	0,034	L64	0,141
L18.1	0,03	L65	0,229
L19	0,162	L66	0,079
L20	0,093	L67	0,243
L21	0,062	L68	0,023
L22	0,106	L69	0,291
L23	0,332	L70	0,099
L24	0,416	L71	0,609
L25	0,21	L72	0,047
L26	0,006	L73	0,096
L27	0,065	L74	0,215
L27.1	0,067	L75	0,083
L28	0,078	L76	0,533
L29	0,038	L77	0,457
L30	0,195	L78	0,189
L31	0,039	L79	0,292

Tabel 3.3 Panjang Saluran Penyulang P. Tegalboto (Lanjutan)

Saluran	Panjang Saluran Udara (km)	Saluran	Panjang Saluran Udara (km)
L32	0,402	L80	0,356
L32.1	0,049	L81	0,123
L33	0,129	L82	0,043
L34	0,089	L83	0,04
L35	0,092	L84	0,478
L36	0,03	L85	0,239
L37	0,019	L86	0,137
L38	0,121	L87	0,477
L39	0,09	L88	0,044
L40	0,137	L89	0,933
L41	0,154	L90	0,07
L42	0,144	L91	0,132

Penyulang Tegalboto terbagi menjadi beberapa saluran udara, dari saluran udara *line* 1 sampai dengan *line* 91 dengan total panjang mencapai 15.351 kms sesuai tabel diatas. Pada *section* 1 total panjang saluran adalah 5.103 kms, *section* 2 adalah 5.705 kms, dan *section* 3 adalah 4.543 kms.

3.3.2 Data Panjang Saluran Penyulang Seruji

Data saluran penyulang Seruji sebagai berikut:

Tabel 3.4 Panjang Saluran Penyulang P.Seruji

Saluran	Panjang Saluran udara (km)	Saluran	Panjang Saluran udara (km)
L1	2.544	L38	0.014
L2	0.031	L39	0.044
L3	0.07	L40	0.082
L4	0.007	L41	0.008
L5	0.299	L42	0.002
L6	0.079	L43	0.037
L7	0.01	L44	0.02
L8	0.14	L45	0.096

Tabel 3.4 Panjang Saluran Penyulang P.Seruji (Lanjutan)

Saluran	Panjang Saluran udara (km)	Saluran	Panjang Saluran udara (km)
L9	0.002	L46	0.064
L10	0.082	L47	0.022
L11	0.03	L48	0.095
L12	0.045	L49	0.076
L13	0.137	L50	0.019
L14	0.038	L51	0.101
L15	0.194	L52	0.178
L16	0.103	L53	0.195
L17	0.09	L54	0.191
L18	0.017	L55	0.142
L19	0.125	L56	0.149
L20	0.15	L57	0.064
L21	0.005	L58	0.076
L22	0.028	L59	0.117
L23	0.039	L60	0.052
L24	0.109	L61	0.205
L25	0.016	L62	0.187
L26	0.098	L63	0.369
L27	0.021	L64	0.037
L28	0.007	L65	0.092
L29	0.007	L66	0.014
L30	0.005	L67	0.306
L31	0.219	L68	0.527
L32	0.112	L69	0.166
L32.1	0.03	L70	0.17
L33	0.087	L71	0.065
L34	0.163	L72	0.164
L35	0.019	L73	0.01
L36	0.005	L74	0.038
L37	0.012		

Penyulang Seruji terdiri dari saluran udara *line* 1 hingga *line* 74 dengan total panjang mencapai 9.369 kms sesuai tabel diatas. *Section* 1 dengan panjang saluran sebesar 4.226 kms, *section* 2 sebesar 1.338 kms, *section* 3 sebesar 3.805 kms.

3.4 Indeks Kegagalan Peralatan Sistem Distribusi

Setiap peratalan listrik pada jaringan distribusi memiliki nilai laju kegagalan yang mana bentuk kegagalan dari peralatan listrik atau komponen menyebabkan zona pengamanan di sekitar komponen yang mengalami kegagalan tersebut. Selain itu, komponen atau peralatan listrik juga memiliki waktu perbaikan yang merupakan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan komponen dari mulai terjadi gangguan hingga beban terpenuhi kembali (*repair time*) dan juga waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup sakelar beban atau sakelar pemisah (*switching time*). Berikut merupakan beberapa nilai laju kegagalan dari komponen atau peralatan listrik berdasarkan SPLN No. 59: 1985 [6] adalah sebagai berikut:

Tabel 3.5 Data indeks kegagalan saluran udara tegangan menengah

Saluran Udara	
Sustained failure rate (λ/km/yr)	0.2
Repair time (r) (jam)	3
Switching time (rs) (jam)	0.15

Tabel 3.6 Data indeks kegagalan peralatan

Komponen	Laju Kegagalan	Repair Time	Switching Time
Pemutus Tenaga	0.004/unit/tahun	10 Jam	0.15 jam
Sectionalizer	0.003/unit/tahun	10 Jam	0.15 jam
Recloser	0.005/unit/tahun	10 Jam	0.15 jam
Trafo Distribusi	0.005/unit/tahun	10 Jam	0.15 jam

3.5 Data Standar Nilai Indeks Keandalan PLN

Dalam keandalan sistem distribusi 20kV, terdapat indeks frekuensi kegagalan (SAIFI) dan juga indeks durasi kegagalan (SAIDI) dengan nilai standar dari PLN, dimana standar yang digunakan yaitu SPLN 68-2: 1986[7], sebagai berikut:

a) SUTM radial
   SAIDI : 21 jam/tahun
   SAIFI : 3.2 kali/tahun
b) SUTM radial dengan PBO
   SAIDI : 12.8 jam/tahun
   SAIFI : 2.4 kali/tahun

BAB IV
PERHITUNGAN DAN ANALISIS KEANDALAN DI AREA PELANGGAN PREMIUM UNIVERSITAS JEMBER

Pada tugas akhir ini perhitungan keandalan menggunakan metode *section technique* agar didapatkan nilai indeks-indeks keandalan (SAIDI, SAIFI, CAIDI) berdasarkan data-data jaringan distribusi seperti topologi jaringan, laju kegagalan, *repair time* dan *switching time* dari masing-masing komponen dalam jaringan distribusi tersebut, dan juga data pendukung lain. Dalam menggunakan metode *section technique*, mode kegagalan pada sistem distribusi guna menganalisa keandalan sistem adalah dengan mengasumsikan kegagalan pada peralatan yang ada pada sistem distribusi tersebut. Mode kegagalan berasal dari komponen-komponen utama yang digunakan atau yang ada pada jaringan distribusi seperti circuit breaker, trafo distribusi, saluran udara tegangan menengah (SUTM), dan *sectionalizer* dimana komponen-komponen tersebut memiliki nilai *failure rate* dan *repair time* masing-masing. Dari mode kegagalan dari setiap komponen pada jaringan maka akan menimbulkan pengaruh atau efek pada *load point* maka akan didapatkan table setiap *section* untuk pengaruh mode kegagalan terhadap *load point*. Selanjutnya dapat diketahui jumlah total untuk laju kegagalan setiap *section* dan lamanya durasi pemadaman untuk masing-masing *load point* di setiap *section*. Setelah didapat laju kegagalan dan juga durasi gangguan, maka nilai tersebut digunakan untuk perhitungan mendapatkan nilai indeks keandalan pada setiap *section* yang nantinya ditotal untuk mengetahui indeks keandalan total pada sistem jaringan distribusi tersebut. Kemudian nilai indeks keandalan yang telah didapat akan dibandingkan dengan standar PLN, apakah memenuhi standar ataukah tidak. Untuk mendapatkan nilai indeks keandalan yang lebih baik, maka dapat dilakukan upaya perbaikan pada sistem.

4.1 Hasil Perhitungan dan Analisis Indeks Keandalan Metode *Section Technique* Sebelum Perbaikan

Berdasarkan data yang telah dilampirkan di atas, maka dapat diketahui nilai indeks keandalan pada penyulang-penyulang yang menyuplai pelanggan area Universitas Jember. Perhitungan untuk metode ini dibagi dalam beberapa *section* pada tiap penyulang.

4.1.1 Indeks Keandalan Penyulang Tegalboto Sebelum Perbaikan

Dalam hal ini maka penyulang Tegalboto, sebelum adanya perbaikan untuk menjadi pelanggan premium, dapat dibagi dalam tiga *section* berdasarkan data pembagian sebagai berikut:

Section 1

Untuk mengetahui nilai laju kegagalan dan juga durasi gangguan pada tiap *load point*, perlu diketahui terlebih dahulu bagaimana pengaruh suatu kegagalan peralatan dalam sistem tersebut. Daftar mode kegagalan yang ada pada *section* 1 yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.1 Daftar mode kegagalan *section* 1

Data Peralatan		Efek Sistem	
No.Gangguan	Peralatan	LP yang dipengaruhi *Repair Time*	LP yang dipengaruhi *Switching Time*
1	CB	LP1-LP24	-
2	LBS Tari Asih	LP1-LP24	-
3	LBS Kalimantan	LP1-LP24	-
4-28	Trafo 1-24	LP1-LP24	-
29	RECLOSER	LP1-LP24	-
30-54	Line LP1-24	LP1-LP24	-

Selanjutnya dapat dihitung nilai laju kegagalan pada tiap *load point*. Sebagai contoh pada *line* 1 di *load point* 1 (LP1) dengan kaitannya terhadap panjang saluran sehingga diperoleh hasil laju kegagalan sebagai berikut:

λ (*line* 1) = *failure rate* peralatan x panjang saluran udara *line* 1
= 0.2 x 0.124
= 0.0248 gangguan/tahun

Dengan begitu, perhitungan untuk laju kegagalan *line-line* lain yang ada pada *load point* 1 menggunakan cara yang sama seperti diatas. Sehingga, *failure rate* pada *load point* didapat dari penjumlahan *failure rate* peralatan yang mempengaruhi *load point* dan perkalian *failure rate* saluran udara dengan panjang salurannya. Hasil laju kegagalan dari tiap *load point* dapat didapat seperti tabel di bawah.

Tabel 4.2 Laju kegagalan *load point* 1 hingga *load point* 24

Peralatan	Failure Rate (unit/yr atau fault/yr/km)	Panjang Saluran udara (km)	λ (fault/yr)
CB	0.004	-	0.004
LBS Tari Asih	0.003	-	0.003
LBS Kalimantan	0.003	-	0.003
Trafo	0.005	-	0.005
RECLOSER	0.005	-	0.005
Line LP1-24	0.2	5.103	1.0206
Jumlah Total Laju Kegagalan			1.0406

Nilai *failure rate* atau laju kegagalan untuk *load point* 2 hingga 24 adalah sama dengan nilai *failure* untuk *load point* 1 karena nilai laju kegagalan peralatan tiap-tiap trafo adalah sama.

Tabel 4.3 Laju kegagalan *load point* 25 hingga *load point* 65

Peralatan	Failure Rate (unit/yr atau fault/yr/km)	Panjang Saluran udara (km)	λ (fault/yr)
CB	0.004	-	0.004
LBS Tari Asih	0.003	-	0.003
LBS Kalimantan	0.003	-	0.003
Recloser	0.005	-	0.005
Line LP1-24	0.2	5.103	1.0206
Jumlah Total Laju Kegagalan			1.0316

Nilai *failure rate* untuk *load point* 25 hingga *load point* 65 adalah sama. Hal ini dikarenakan saat komponen dari *section* 1 mengalami gangguan maka pemisah akan membuka untuk sementara sehingga sistem akan putus untuk sementara. Setelah 0,15 jam maka penyulang Tegalboto dapat menyuplai daya kembali dari GI Jember ke *section* 2 dan 3.

Setelah didapatkan nilai *failure rate* pada masing masing *load point*, maka dapat diperoleh nilai durasi gangguan pada tiap *load point*.

Perkalian dengan *repair time* atau *switching time* tergantung kondisi peralatan, apakah peralatan tersebut harus padam atau hanya mengalami kondisi *switching time* pada saat kondisi gangguan. Sebagai contoh yaitu perhitungan durasi gangguan pada *load point* 1 (LP1) di *line* 1 diperoleh hasil sebagai berikut:

U (*line* 1) = *failure rate* peralatan (*line*1) x *repair time* peralatan
= 0.0248 x 3
= 0.0744 jam/ tahun

Dengan begitu, perhitungan untuk durasi gangguan pada *line-line* lain yang ada di *load point* 1 menggunakan cara yang sama seperti diatas. Untuk U LP1, dan seterusnya dapat dicari dengan menjumlahkan total durasi gangguan peralatan yang berpengaruh terhadap *load point* 1 atau *load point* lainnya. Sehingga didapatkan hasil laju kegagalan dari tiap *load point* seperti tabel di bawah.

Tabel 4.4 Durasi gangguan *load point* 1 hingga *load point* 24

Peralatan	λ (fault/yr)	Repair Time (hour)	Switching time (hour)	U (hour/year)
CB	0.004	10	0.15	0.04
LBS Tari Asih	0.003	10	0.15	0.03
LBS Kalimantan	0.003	10	0.15	0.00045
Trafo	0.005	10	0.15	0.05
Recloser	0.005	10	0.15	0.05
Line LP1-24	1.0206	3	0.15	3.0618
Jumlah Total Durasi Gangguan				3.23225

Pada *load point* 1 hingga 24, kondisi yang dialami peralatan yang ada didalamnya hanya kondisi *repair* dan tidak ada peralatan yang mengalami kondisi *switching time*, karena bila peralatan mengalami kegagalan maka akan mengakibatkan gangguan semua sistem kecuali transformator.

Tabel 4.5 Durasi gangguan *load point* 25 hingga *load point* 65

Peralatan	λ (fault/yr)	Repair Time (hour)	Switching time (hour)	U (hour/year)
CB	0.004	10	0.15	0.04
LBS Tari Asih	0.003	10	0.15	0.03
LBS Kalimantan	0.003	10	0.15	0.00045
Recloser	0.005	10	0.15	0.05
Line LP1-24	1.0206	3	0.15	3.0618
Jumlah Total Durasi Gangguan				3.14225

Nilai durasi gangguan untuk *load point* 25 sampai dengan 65 adalah sama. Hal ini terjadi karena saat komponen *section* 1 mengalami gangguan maka sistem lain (*section* 2 dan 3) akan mengalami pemutusan sementara, yang selanjutnya LBS akan on kembali sehingga beban *section* 2 dan 3 akan dilayani kembali oleh GI Jember melalui penyulang Tegalboto.

Tabel 4. 6 Laju kegagalan dan durasi gangguan pada tiap *load point section* 1

Load point	Indeks Keandalan Load Point	
	λ (fault/yr)	U (hour/year)
LP1-24	1.0406	3.23225
LP25- 65	1.0316	3.14225

Dari tabel diatas, maka dapat diketahui nilai SAIDI dan SAIFI pada *section* 1. Untuk perhitungannya, misal pada LP1, maka SAIFI diperoleh dari perkalian jumlah pelanggan pada LP1 dengan laju kegagalan LP1 kemudian dibagi dengan total seluruh pelanggan sesuai dengan persamaan seperti berikut:

$$SAIFI = \frac{\lambda\ LP1\ x\ N\ LP1}{N\ total} = \frac{1.0406 \text{ x } 207}{10617} = 0.02029 \text{ kali/tahun}$$

Sedangkan SAIDI untuk LP1 dihitung dari hasil pengalian jumlah konsumen pada *load point* tersebut dengan U LP1 (durasi gangguan)

kemudian membaginya dengan total konsumen keseluruhan, yaitu sebagai berikut:

$$SAIDI = \frac{U\ LP1\ x\ N\ LP1}{N\ total} = \frac{3.23225 \text{ x } 207}{10617} = 0.06302 \text{ jam/tahun}$$

Sehingga diperoleh nilai SAIDI dan SAIFI pada tiap *load point* dan juga nilai total SAIDI sebesar 3.1891 jam/tahun dan SAIFI sebesar 1.0363 kali/ tahun pada *section* 1 seperti tabel dibawah.

Tabel 4.7 Indeks Keandalan *Section* 1

Load Point	λ (fault/yr)	U(hr/yr)	SAIDI	SAIFI
LP1	1.0406	3.2323	0.06302	0.02029
LP2	1.0406	3.2323	0.08829	0.02842
LP3	1.0406	3.2323	0.13243	0.04264
LP4	1.0406	3.2323	0.10260	0.03303
LP5	1.0406	3.2323	0.10534	0.03391
LP6	1.0406	3.2323	0.10077	0.03244
LP7	1.0406	3.2323	0.12634	0.04068
LP8	1.0406	3.2323	0.16257	0.05234
LP9	1.0406	3.2323	0.10442	0.03362
LP10	1.0406	3.2323	0.14918	0.04803
LP11	1.0406	3.2323	0.13182	0.04244
LP12	1.0406	3.2323	0.17414	0.05606
LP13	1.0406	3.2323	0.00030	0.00010
LP14	1.0406	3.2323	0.00030	0.00010
LP15	1.0406	3.2323	0.02344	0.00755
LP16	1.0406	3.2323	0.04962	0.01598
LP17	1.0406	3.2323	0.00030	0.00010
LP18	1.0406	3.2323	0.01157	0.00372
LP19	1.0406	3.2323	0.08555	0.02754
LP20	1.0406	3.2323	0.00030	0.00010
LP21	1.0406	3.2323	0.01522	0.00490
LP22	1.0406	3.2323	0.00183	0.00059
LP23	1.0406	3.2323	0.00030	0.00010
LP24	1.0406	3.2323	0.05449	0.01754
LP25	1.0316	3.14225	0.05091	0.01671

Tabel 4.8 Indeks Keandalan *Section* 1 (Lanjutan)

Load Point	λ (fault/yr)	U(hr/yr)	SAIDI	SAIFI
LP26	1.0316	3.14225	0.00030	0.00010
LP27	1.0316	3.14225	0.10832	0.03556
LP28	1.0316	3.14225	0.05416	0.01778
LP29	1.0316	3.14225	0.04824	0.01584
LP30	1.0316	3.14225	0.08198	0.02691
LP31	1.0316	3.14225	0.06097	0.02002
LP32	1.0316	3.14225	0.00385	0.00126
LP33	1.0316	3.14225	0.01894	0.00622
LP34	1.0316	3.14225	0.06245	0.02050
LP35	1.0316	3.14225	0.00030	0.00010
LP36	1.0316	3.14225	0.00059	0.00019
LP37	1.0316	3.14225	0.03078	0.01011
LP38	1.0316	3.14225	0.02841	0.00933
LP39	1.0316	3.14225	0.00030	0.00010
LP40	1.0316	3.14225	0.01569	0.00515
LP41	1.0316	3.14225	0.00030	0.00010
LP42	1.0316	3.14225	0.00030	0.00010
LP43	1.0316	3.14225	0.00030	0.00010
LP44	1.0316	3.14225	0.00030	0.00010
LP45	1.0316	3.14225	0.02486	0.00816
LP46	1.0316	3.14225	0.00178	0.00058
LP47	1.0316	3.14225	0.00030	0.00010
LP48	1.0316	3.14225	0.00030	0.00010
LP49	1.0316	3.14225	0.00977	0.00321
LP50	1.0316	3.14225	0.00030	0.00010
LP51	1.0316	3.14225	0.00030	0.00010
LP52	1.0316	3.14225	0.00030	0.00010
LP53	1.0316	3.14225	0.00030	0.00010
LP54	1.0316	3.14225	0.00030	0.00010
LP55	1.0316	3.14225	0.08317	0.02730
LP56	1.0316	3.14225	0.07961	0.02614
LP57	1.0316	3.14225	0.16574	0.05441
LP58	1.0316	3.14225	0.21102	0.06928
LP59	1.0316	3.14225	0.12697	0.04168

Tabel 4.9 Indeks Keandalan *Section* 1 (Lanjutan)

Load Point	λ (fault/yr)	U(hr/yr)	SAIDI	SAIFI
LP60	1.0316	3.14225	0.00030	0.00010
LP61	1.0316	3.14225	0.00799	0.00262
LP62	1.0316	3.14225	0.09678	0.03177
LP63	1.0316	3.14225	0.00030	0.00010
LP64	1.0316	3.14225	0.00030	0.00010
LP65	1.0316	3.14225	0.12697	0.04168
Total Indeks Keandalan Section 1			3.1891	1.0363

Section 2

Perhitungan keandalan pada *section* 2 menggunakan cara yang sama seperti pada *section* 1. Pengaruh suatu kegagalan peralatan dalam sistem yang ada pada *section* 2 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.10 Daftar mode kegagalan *section* 2

Data Peralatan		Efek Sistem	
No.Gangguan	Peralatan	LP yang dipengaruhi Repair Time	LP yang dipengaruhi Switching Time
1	LBS Kalimantan	LP25-LP54	LP1-LP24
2	LBS Danau Toba	LP25-LP54	LP1-LP24
3	LBS MASTRIP BARAT	LP25-LP54	LP1-LP24
4	LBS MASTRIP TIMUR	LP25-LP54	LP1-LP24
5	LBSM Three Way	LP25-LP54	LP1-LP24
6-35	Trafo 25-54	LP25-LP54	-
36-65	Line LP25-54	LP25-LP54	LP1-LP24

Selanjutnya menghitung nilai laju kegagalan pada tiap *load point* yang hasilnya dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 4.11 Laju kegagalan *load point* 25 hingga *load point* 54

Peralatan	Failure Rate (unit/yr atau fault/yr/km)	Panjang Saluran udara (km)	λ (fault/yr)
LBS Kalimantan	0.003	-	0.003
LBS Danau Toba	0.003	-	0.003
LBS MASTRIP BARAT	0.003	-	0.003
LBS MASTRIP TIMUR	0.003	-	0.003
LBSM Three Way	0.003	-	0.003
Trafo	0.005	-	0.005
L.LP25-54	0.2	5.705	1.141
Total Laju Kegagalan			1.161

Nilai laju kegagalan *load point* 25 sampai *load point* 54 adalah sama dengan mengalikan *failure rate* peralatan dengan panjang saluran udara.

Tabel 4.12 Laju kegagalan *load point* 55 hingga *load point* 65 dan *load point* 1 hingga *load point* 24

Peralatan	Failure Rate (unit/yr atau fault/yr/km)	Panjang Saluran udara (km)	λ (fault/yr)
LBS Kalimantan	0.003	-	0.003
LBS Danau Toba	0.003	-	0.003
LBS MASTRIP BARAT	0.003	-	0.003
LBS MASTRIP TIMUR	0.003	-	0.003
LBSM Three Way	0.003	-	0.003
L.LP25-54	0.2	5.705	1.141
Total Laju Kegagalan			1.156

Nilai *failure rate* LP1-LP24 sama dengan LP55- LP65. Gangguan trafo di *section* 2 tidak menimbulkan gangguan di *section* 1 (LP1-24) dan *section* 3 (LP55-65).

Selanjutnya dilakukan perhitungan durasi gangguan pada tiap *load point* seperti tabel dibawah ini.

Tabel 4.13 Durasi gangguan *load point* 25 hingga *load point* 54

Peralatan	λ (fault/yr)	Repair Time (hour)	Switching time (hour)	U (hour/year)
LBS Kalimantan	0.003	10	0.15	0.03
LBS Danau Toba	0.003	10	0.15	0.03
LBS MASTRIP BARAT	0.003	10	0.15	0.03
LBS MASTRIP TIMUR	0.003	10	0.15	0.03
LBSM Three Way	0.003	10	0.15	0.03
Trafo	0.005	10	0.15	0.05
L.LP25-54	1.141	3	0.15	3.423
Total Durasi Ganguan				3.623

Nilai durasi kegagalan pada LP 25 hingga LP 54 adalah sama yaitu dengan mengalikan *failure rate* peralatan dengan *repair time*.

Tabel 4.14 Durasi gangguan *load point* 55 hingga *load point* 65 dan *load point* 1 hingga *load point* 24

Peralatan	λ (fault/yr)	Repair Time (hour)	Switching time (hour)	U (hour/year)
LBS Kalimantan	0.003	10	0.15	0.00045
LBS Danau Toba	0.003	10	0.15	0.00045
LBS MASTRIP BARAT	0.003	10	0.15	0.00045
LBS MASTRIP TIMUR	0.003	10	0.15	0.00045
LBSM Three Way	0.003	10	0.15	0.00045
L.LP25-54	1.141	3	0.15	0.17115
Total Durasi Gangguan				0.1734

Nilai durasi gangguan untuk LP55-LP65 sama dengan nilai LP1-LP24, yaitu dengan mengalikan *failure rate* peralatan dengan *switching time*, dikarenakan apabila terjadi gangguan pada *section* 2 maka *section* 1 dan

3 berada pada kondisi *switching*. Nilai *switching time* setiap trafo tidak diperhitungkan karena kegagalan pada trafo dalam *section* 2, tidak akan mempengaruhi sistem di *section* 1 dan 3.

Tabel 4.15 Laju kegagalan dan durasi gangguan pada tiap *load point* pada *section* 2

Load point	Indeks Keandalan Load Point	
	λ (fault/yr)	U (hour/year)
LP25-54	1.161	3.623
LP1-24 dan LP55-65	1.156	0.1734

Nilai laju kegagalan untuk setiap *load point* pada *section* 2 yaitu seperti tabel 4.13. Dari tabel tersebut maka dapat diketahui nilai SAIDI dan SAIFI per *load point*.

Tabel 4.16 Indeks Keandalan *Section* 2

Load Point	λ (fault/yr)	U(hr/yr)	SAIDI	SAIFI
LP1	1.1560	0.1734	0.00338	0.02254
LP2	1.1560	0.1734	0.00474	0.03158
LP3	1.1560	0.1734	0.00710	0.04736
LP4	1.1560	0.1734	0.00550	0.03669
LP5	1.1560	0.1734	0.00565	0.03767
LP6	1.1560	0.1734	0.00541	0.03604
LP7	1.1560	0.1734	0.00678	0.04519
LP8	1.1560	0.1734	0.00872	0.05814
LP9	1.1560	0.1734	0.00560	0.03735
LP10	1.1560	0.1734	0.00800	0.05335
LP11	1.1560	0.1734	0.00707	0.04715
LP12	1.1560	0.1734	0.00934	0.06228
LP13	1.1560	0.1734	0.00002	0.00011
LP14	1.1560	0.1734	0.00002	0.00011
LP15	1.1560	0.1734	0.00126	0.00838
LP16	1.1560	0.1734	0.00266	0.01775
LP17	1.1560	0.1734	0.00002	0.00011
LP18	1.1560	0.1734	0.00062	0.00414

Tabel 4.17 Indeks Keandalan *Section* 2 (Lanjutan)

Load Point	λ (fault/yr)	U(hr/yr)	SAIDI	SAIFI
LP19	1.1560	0.1734	0.00459	0.03060
LP20	1.1560	0.1734	0.00002	0.00011
LP21	1.1560	0.1734	0.00082	0.00544
LP22	1.1560	0.1734	0.00010	0.00065
LP23	1.1560	0.1734	0.00002	0.00011
LP24	1.1560	0.1734	0.00292	0.01949
LP25	1.161	3.623	0.05869	0.01881
LP26	1.161	3.623	0.00034	0.00011
LP27	1.161	3.623	0.12490	0.04002
LP28	1.161	3.623	0.06245	0.02001
LP29	1.161	3.623	0.05562	0.01782
LP30	1.161	3.623	0.09452	0.03029
LP31	1.161	3.623	0.07030	0.02253
LP32	1.161	3.623	0.00444	0.00142
LP33	1.161	3.623	0.02184	0.00700
LP34	1.161	3.623	0.07200	0.02307
LP35	1.161	3.623	0.00034	0.00011
LP36	1.161	3.623	0.00068	0.00022
LP37	1.161	3.623	0.03549	0.01137
LP38	1.161	3.623	0.03276	0.01050
LP39	1.161	3.623	0.00034	0.00011
LP40	1.161	3.623	0.01809	0.00580
LP41	1.161	3.623	0.00034	0.00011
LP42	1.161	3.623	0.00034	0.00011
LP43	1.161	3.623	0.00034	0.00011
LP44	1.161	3.623	0.00034	0.00011
LP45	1.161	3.623	0.02866	0.00919
LP46	1.161	3.623	0.00205	0.00066
LP47	1.161	3.623	0.00034	0.00011
LP48	1.161	3.623	0.00034	0.00011
LP49	1.161	3.623	0.01126	0.00361
LP50	1.161	3.623	0.00034	0.00011
LP51	1.161	3.623	0.00034	0.00011
LP52	1.161	3.623	0.00034	0.00011

Tabel 4.18 Indeks Keandalan *Section* 2 (Lanjutan)

LP53	1.161	3.623	0.00034	0.00011
LP54	1.161	3.623	0.00034	0.00011
LP55	1.156	0.1734	0.00459	0.03060
LP56	1.156	0.1734	0.00439	0.02929
LP57	1.156	0.1734	0.00915	0.06097
LP58	1.156	0.1734	0.01164	0.07763
LP59	1.156	0.1734	0.00701	0.04671
LP60	1.156	0.1734	0.00002	0.00011
LP61	1.156	0.1734	0.00044	0.00294
LP62	1.156	0.1734	0.00534	0.03560
LP63	1.156	0.1734	0.00002	0.00011
LP64	1.156	0.1734	0.00002	0.00011
LP65	1.156	0.1734	0.00701	0.04671
Total Indeks Keandalan Section 2			0.8385	1.1570

Sehingga diperoleh nilai SAIDI dan SAIFI pada tiap *load point* seperti tabel 4.14. Maka nilai total SAIDI sebesar 0.8385jam/tahun dan SAIFI sebesar 1.1570 kali/ tahun pada *section* 2 seperti tabel di atas.

Section 3

Pengaruh suatu kegagalan peralatan dalam sistem yang ada pada *section* 3 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.19 Daftar mode kegagalan *section* 3

Data Peralatan		Efek Sistem	
No.Gangguan	Peralatan	LP yang dipengaruhi Repair Time	LP yang dipengaruhi Switching Time
1	LBS Danau Toba	LP55-LP64	LP1-LP54
2	LBS Nuris	LP55-LP64	LP1-LP54
3	Trafo 55-64	LP55-LP64	-
4	L.LP55-64	LP55-LP64	LP1-LP54

Lalu, setelah mengetahui pengaruh mode kegagalan peralatan pada sistem, dapat dihitung laju kegagalan pada tiap *load point* seperti tabel di bawah ini.

Tabel 4.20 Laju kegagalan *load point* 55 hingga *load point* 65

Peralatan	Failure Rate (unit/yr atau fault/yr/km)	Panjang Saluran udara (km)	λ (fault/yr)
LBS Danau Toba	0.003	-	0.003
LBS Nuris	0.003	-	0.003
Trafo	0.005	-	0.005
L.LP55-64	0.2	4.543	0.9086
Total Laju Kegagalan			0.9196

Nilai *failure rate* untuk *load point* 55 hinga 65 adalah sama, karena nilai *failure rate* tiap-tiap trafo di asumsikan sama.

Tabel 4.21 Laju kegagalan *load point* 1 hingga *load point* 54

Peralatan	Failure Rate (unit/yr atau fault/yr/km)	Panjang Saluran udara (km)	λ (fault/yr)
LBS Danau Toba	0.003	-	0.003
LBS Nuris	0.003	-	0.003
L.LP55-65	0.2	4.543	0.9086
Total laju kegagalan			0.9146

Untuk *failure rate* LP1-LP54, nilai laju kegagalannya adalah sama. Hal ini disebabkan kondisi LP1-LP54 hanya mengalami *switching time*. Setelah didapatkan laju kegagalan tiap *load point* maka dapat diketahui nilai durasi gangguan tiap *load point* seperti tabel di bawah ini.

Tabel 4.22 Durasi gangguan *load point* 55 hingga *load point* 65

Peralatan	λ (fault/yr)	Repair Time (hour)	Switching time (hour)	U (hour/year)
LBS Danau Toba	0.003	10	0.15	0.03
LBS Nuris	0.003	10	0.15	0.03
Trafo	0.005	10	0.15	0.05
L.LP55-65	0.9086	3	0.15	2.7258
Total durasi gangguan				2.8358

LP55-LP65 memiliki nilai durasi gangguan yang sama. Perhitungan durasi gangguan pada *load point* ini dilakukan dengan mengalikan antara *failure rate* dan nilai *repair time*.

Tabel 4.23 Durasi gangguan *load point* 1 hingga *load point* 54

Peralatan	λ (fault/yr)	Repair Time (hour)	Switching time (hour)	U (hour/year)
LBS Danau Toba	0.003	10	0.15	0.00045
LBS Nuris	0.003	10	0.15	0.00045
L.LP55-65	0.9086	3	0.15	0.13629
Total durasi gangguan				0.13719

Perhitungan durasi gangguan *load point* 1 sampai 54 pada *section* 3 memiliki hasil yang sama. Nilai *switching time* setiap trafo tidak diperhitungkan karena kegagalan pada trafo dalam *section* 3, tidak akan mempengaruhi sistem di *section* 1 dan 2.

Tabel 4.24 Laju kegagalan dan durasi gangguan pada *load point* pada *section* 3

Load point	Indeks Keandalan Load Point	
	λ (fault/yr)	U (hour/year)
LP55-65	0.9196	2.8358
LP1-54	0.9146	0.13719

Sehingga diperoleh nilai SAIDI dan SAIFI pada tiap *load point* dengan menggunakan rumus seperti pada dasar teori. Nilai total SAIDI sebesar 0.9094 jam/tahun dan SAIFI sebesar 0.9160 kali/ tahun.

Tabel 4.25 Indeks Keandalan *Section* 3

Load Point	λ (fault/yr)	U(hr/yr)	SAIDI	SAIFI
LP1	0.9146	0.1372	0.00267	0.01783
LP2	0.9146	0.1372	0.00375	0.02498
LP3	0.9146	0.1372	0.00562	0.03747
LP4	0.9146	0.1372	0.00435	0.02903
LP5	0.9146	0.1372	0.00447	0.02981
LP6	0.9146	0.1372	0.00428	0.02851
LP7	0.9146	0.1372	0.00536	0.03575
LP8	0.9146	0.1372	0.00690	0.04600
LP9	0.9146	0.1372	0.00443	0.02955
LP10	0.9146	0.1372	0.00633	0.04221
LP11	0.9146	0.1372	0.00560	0.03730
LP12	0.9146	0.1372	0.00739	0.04927
LP13	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP14	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP15	0.9146	0.1372	0.00099	0.00663
LP16	0.9146	0.1372	0.00211	0.01404
LP17	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP18	0.9146	0.1372	0.00049	0.00327
LP19	0.9146	0.1372	0.00363	0.02421
LP20	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP21	0.9146	0.1372	0.00065	0.00431
LP22	0.9146	0.1372	0.00008	0.00052
LP23	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP24	0.9146	0.1372	0.00231	0.01542
LP25	0.9146	0.1372	0.00222	0.01482
LP26	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP27	0.9146	0.1372	0.00473	0.03153
LP28	0.9146	0.1372	0.00236	0.01576
LP29	0.9146	0.1372	0.00211	0.01404
LP30	0.9146	0.1372	0.00358	0.02386

Tabel 4.26 Indeks Keandalan *Section* 3 (Lanjutan)

Load Point	λ (fault/yr)	U(hr/yr)	SAIDI	SAIFI
LP31	0.9146	0.1372	0.00266	0.01775
LP32	0.9146	0.1372	0.00017	0.00112
LP33	0.9146	0.1372	0.00083	0.00551
LP34	0.9146	0.1372	0.00273	0.01818
LP35	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP36	0.9146	0.1372	0.00003	0.00017
LP37	0.9146	0.1372	0.00134	0.00896
LP38	0.9146	0.1372	0.00124	0.00827
LP39	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP40	0.9146	0.1372	0.00068	0.00457
LP41	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP42	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP43	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP44	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP45	0.9146	0.1372	0.00109	0.00724
LP46	0.9146	0.1372	0.00008	0.00052
LP47	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP48	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP49	0.9146	0.1372	0.00043	0.00284
LP50	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP51	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP52	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP53	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP54	0.9146	0.1372	0.00001	0.00009
LP55	0.9196	2.8358	0.07506	0.02434
LP56	0.9196	2.8358	0.07185	0.02330
LP57	0.9196	2.8358	0.14958	0.04850
LP58	0.9196	2.8358	0.19044	0.06176
LP59	0.9196	2.8358	0.11459	0.03716
LP60	0.9196	2.8358	0.00027	0.00009

Tabel 4.27 Indeks Keandalan *Section* 3 (Lanjutan)

Load Point	λ (fault/yr)	U(hr/yr)	SAIDI	SAIFI
LP61	0.9196	2.8358	0.00721	0.00234
LP62	0.9196	2.8358	0.08734	0.02832
LP63	0.9196	2.8358	0.00027	0.00009
LP64	0.9196	2.8358	0.00027	0.00009
LP65	0.9196	2.8358	0.11459	0.03716
Total Indeks Keandalan *Section* 3			0.9094	0.9160

Setelah didapat nilai indeks keandalan SAIFI dan SAIDI pada setiap *section* pada penyulang Tegalboto seperti perhitungan diatas, maka indeks keandalan sistem dapat diketahui yaitu dengan menjumlahkan semua indeks keandalan setiap *section*nya seperti berikut:

Tabel 4.28 Indeks keandalan sistem penyulang Tegalboto

SECTION	SAIDI	SAIFI
1	3.1891	1.0363
2	0.8385	1.1570
3	0.9094	0.9160
TOTAL	4.9370	3.1093

Maka, untuk penyulang tegal boto diperoleh nilai SAIFI sebesar 3.1093 kali/tahun dan juga nilai SAIDI sebesar 4.9370 jam/tahun. Besar nilai CAIDI diperoleh dengan membagi nilai SAIDI dengan SAIFI sehingga didapatkan nilai sebesar 1.5878 jam/tahun.

Nilai SAIFI dan SAIDI yang didapat selanjutnya dibandingkan dengan standar PLN, dikarenakan jaringan penyulang Tegalboto adalah jaringan radial dengan PBO, maka standar yang digunakan yaitu SPLN 68-2 : 1986[7] dengan nilai SAIFI 2.4 kali/tahun dan SAIDI 12.8 jam/tahun. Maka dapat disimpulkan bahwa penyulang Tegalboto kurang handal pada sisi SAIFI dikarenakan nilai SAIFI tidak memenuhi standar (SPLN), sedangkan pada sisi SAIDI sudah memenuhi standar PLN.

4.1.2 Indeks Keandalan Penyulang Seruji Sebelum Perbaikan

Dalam perhitungan indeks keandalannya, penyulang Seruji dapat dibagi menjadi tiga *section*. Dengan melakukan cara perhitungan yang sama dengan penyulang Tegalboto pada setiap *section*nya, maka didapatkan nilai indeks keandalan untuk tiap *section* pada penyulang Seruji . Hasil indeks keandalan sistem penyulang Seruji didapatkan dari hasil penjumlahan indeks keandalan setiap *section*nya seperti berikut:

Tabel 4.29 Indeks keandalan sistem penyulang Seruji

SECTION	SAIDI	SAIFI
1	2.7101	0.8626
2	0.2062	0.2745
3	1.3013	0.7696
TOTAL	4.2175	1.9068

Maka, untuk penyulang Seruji diperoleh nilai SAIFI sebesar 1.9068 kali/tahun dan juga nilai SAIDI sebesar 4.2175 jam/tahun. Besar nilai CAIDI diperoleh dengan membagi nilai SAIDI dengan SAIFI sehingga didapatkan nilai sebesar 2.2118 jam/tahun.

Nilai SAIFI dan SAIDI yang didapat selanjutnya dibandingkan dengan standar PLN. Dikarenakan jaringan penyulang Seruji adalah jaringan radial, maka standar yang digunakan yaitu SPLN 68-2 : 1986[7] dengan nilai SAIFI 3.2 kali/tahun dan SAIDI 21 jam/tahun. Dapat disimpulkan bahwa penyulang Seruji handal secara SAIDI dan SAIFI sesuai dengan standar PLN.

4.2 Upaya Perbaikan Keandalan Penyulang Tegalboto

Dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi hal yang perlu diperhatikan yaitu :

- Frekuensi pemadaman/ kegagalan (SAIFI)

Untuk mengurangi frekuensi pemadaman dapat dilakukan dengan cara pemeliharaan secara berkala pada peralatan-peralatan yang digunakan dalam jaringan distribusi atau preventif maintenance. Dengan begitu dapat meningkatkan kinerja atau performa peralatan pada sistem secara

menyeluruh. Melakukan pengembangan sistem juga dapat dilakukan seiring dengan pertumbuhan beban yang akan selalu meningkat sehingga tidak ada peralatan yang bekerja diatas kemampuan akibat beban lebih. Selain itu, melakukan pemangkasan ranting pohon yang berpotensi menyebabkan kegagalan pada saluran udara tegangan menengah juga dapat dilakukan untuk mengurangi frekuensi kegagalan.

- Durasi pemadaman (SAIDI)

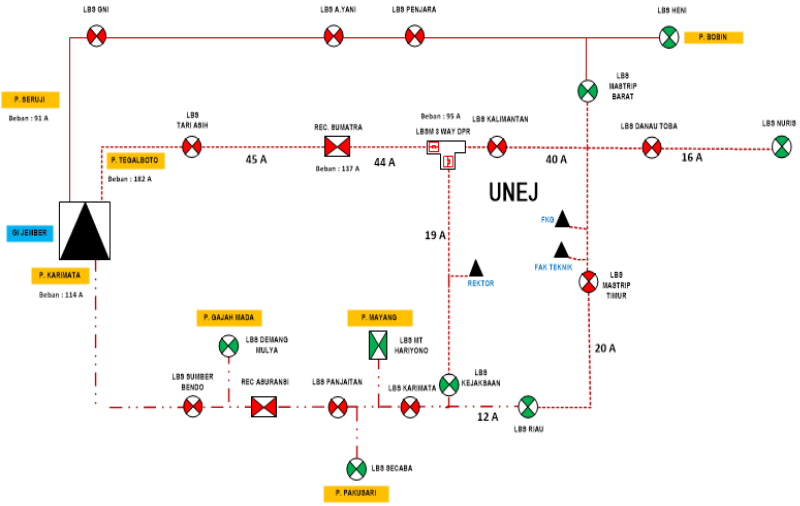
Untuk mengurangi durasi pemadaman dapat dilakukan dengan penggantian metode menjadi otomatisasi pada peralatan jaringan distribusi yang memulihkan jaringan distribusi yang terkena gangguan sehingga mendapatkan supply tenaga listrik kembali sehingga dapat memperbaiki tingkat keandalan sistem.

Upaya untuk meningkatkan nilai keandalan terutama dalam memperbaiki SAIFI pada penyulang Tegalboto pada sistem jaringan dapat pula dilakukan dengan rekonfigurasi jaringan. Rekonfigurasi jaringan yang dimaksud adalah suatu usaha mengubah bentuk konfigurasi jaringan distribusi dengan mengoperasikan pensakelaran terkontrol jarak jauh pada jaringan distribusi tanpa menimbulkan akibat yang beresiko pada operasi dan bentuk sistem jaringan distribusi secara keseluruhan.

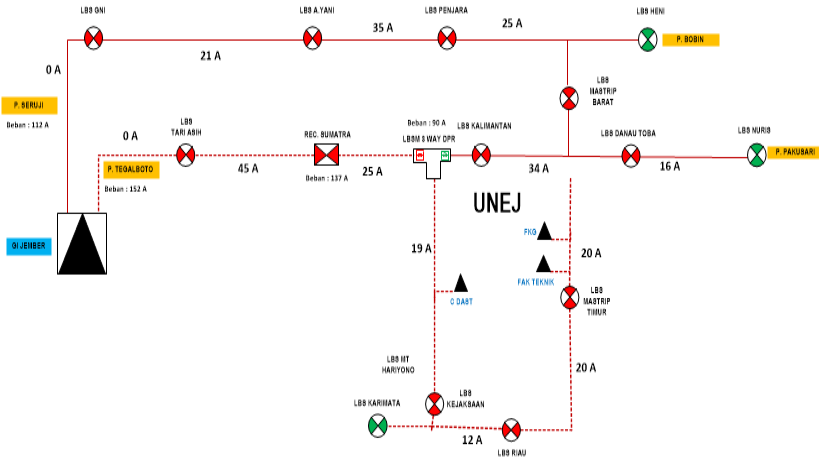
Saat ini, pelanggan Universitas Jember dapat disupply dari dua penyulang, yaitu penyulang Tegalboto dan penyulang Seruji pada Gardu Induk Jember sebagai catu daya cadangannya. Pola pengaturan operasi penyulang yang mensuplai pelanggan Universitas Jember menggunakan pola operasi *Automatic Transfer Switch* dengan LBSM 3 Way. Sehingga berdasar pada kondisi tersebut Universitas Jember dapat menjadi pelanggan premium tegangan menengah 20kV sesuai dengan kriteria pelanggan premium pada PLN, yaitu dari dua penyulang dari trafo Gl yang berbeda dengan dipasang ATS atau LBS *Three Way*.

Maka dari itu, salah satu upaya memperbaiki keandalan pada sistem di area Universitas Jember dapat dilakukan dengan merekonfigurasi jaringan dengan mengubah kondisi switch LBS *(on/off)* dan pemisahan jaringan SUTM sebelum LP 384 di penyulang Tegalboto ke penyulang Seruji. Kondisi LBS Mastrip Barat yang pada awalnya *OFF*, setelah dilakukan upaya perbaikan maka berubah menjadi *ON*. Begitu pula

dengan LBS Kejaksaan dan Riau, berubah dari *OFF* menjadi *ON* sebagai efek dari perubahan kondisi switch pada LBS *Three Way*. Dengan kondisi perubahan ini, maka terjadi perubahan panjang saluran dan jumlah pelanggan pada kedua penyulang. Berikut *single line diagram* area Universitas Jember sebelum dan sesudah dilakukan upaya perbaikan seperti pada gambar di bawah ini. Sedangkan untuk perubahan jaringan pada tiap penyulang terdapat pada lampiran.



Gambar 4.1 SLD Sebelum Dilakukan Upaya Perbaikan



Gambar 4.2 SLD Sebelum Dilakukan Upaya Perbaikan

4.3 Hasil Perhitungan dan Analisis Indeks Keandalan Metode *Section Technique* Setelah Perbaikan

Adapun salah satu upaya perbaikan keandalan pada pelanggan UNEJ yaitu memperbaiki indeks keandalan SAIFI penyulang Tegalboto dengan merekonfigurasi jaringan. Berikut hasil perhitungan indeks keandalan pada tiap penyulang setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan.

4.3.1 Indeks Keandalan Penyulang Tegalboto Setelah Perbaikan

Setelah dilakukan perbaikan, pembagian *section* pada penyulang Tegalboto menjadi lima *section* dikarenakan ada penambahan *load point* jaringan dan panjang saluran udara akibat perubahan kondisi switch LBS pada sistem yang berubah. Sesuai dengan contoh perhitungan keandalan dengan metode secton technique saat sebelum perbaikan, maka dapat diperoleh pula hasil perhitungan indeks keandalan pada penyulang setelah perbaikan seperti tabel dibawah.

Tabel 4.30 Indeks keandalan sistem penyulang Tegalboto setelah perbaikan

SECTION	SAIDI	SAIFI
1	3.4019	1.0938
2	0.2689	0.5484
3	0.4271	0.5688
4	0.5026	0.6582
5	0.1273	0.4566
TOTAL	4.0979	2.2110

Maka, untuk penyulang Tegalboto setelah perbaikan diperoleh nilai SAIFI sebesar 2.2110 kali/tahun dan juga nilai SAIDI sebesar 4.0979 jam/tahun. Besar nilai CAIDI diperoleh dengan membagi nilai SAIDI dengan SAIFI sehingga didapatkan nilai sebesar 1.8534 jam/tahun.
Nilai SAIFI dan SAIDI yang didapat selanjutnya dibandingkan dengan standar PLN, SPLN 68-2 : 1986, untuk jaringan radial dengan PBO dengan nilai SAIFI 2.4 kali/tahun dan SAIDI 12.8 jam/tahun. Dapat disimpulkan bahwa penyulang Tegalboto setelah perbaikan handal secara SAIDI dan SAIFI (sesuai dengan standar PLN).

4.3.2 Indeks Keandalan Penyulang Seruji Setelah Perbaikan

Setelah dilakukan perbaikan, pembagian *section* pada penyulang Seruji menjadi lima *section* dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.31 Indeks keandalan sistem penyulang Seruji setelah perbaikan

SECTION	SAIDI	SAIFI
1	2.7029	0.8619
2	0.1247	0.2741
3	0.7159	0.7683
4	0.4703	0.7614
5	1.0441	0.9163
TOTAL	3.5435	1.9043

Nilai SAIFI dan SAIDI yang didapat selanjutnya dibandingkan dengan standar PLN, SPLN 68-2 : 1986, untuk jaringan radial dengan nilai SAIFI 3.2 kali/tahun dan SAIDI 21 jam/tahun. Dapat disimpulkan bahwa penyulang Seruji setelah perbaikan menjadi semakin handal secara SAIDI dan SAIFI (sesuai dengan standar PLN).

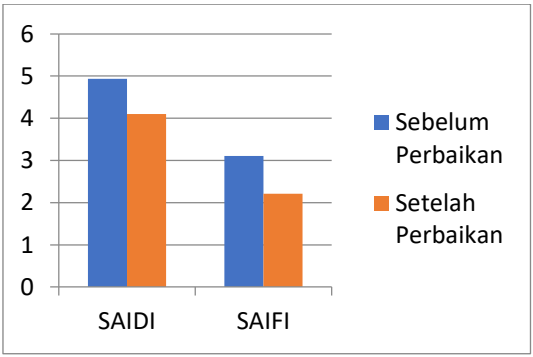
4.4 Perbandingan Hasil Indeks Keandalan Sebelum Perbaikan dan Setelah Perbaikan

Hasil perbandingan nilai SAIDI dan SAIFI sebelum dan sesudah perbaikan dapat dilihat pada tabel

Tabel 4.32 Perbandingan indeks keandalan penyulang Tegalboto

Indeks	Sebelum	Sesudah	Selisih
SAIDI	4.9370	4.0979	0.8391 (16.99 %)
SAIFI	3.1093	2.2110	0.8983 (28.89 %)

Setelah dilakukan upaya perbaikan pada penyulang Tegalboto, nilai SAIDI dan SAIFI semakin baik. Nilai indeks keandalan SAIDI meningkat sebesar 16.99% dan indeks keandalan SAIFI meningkat sebesar 28.89% .

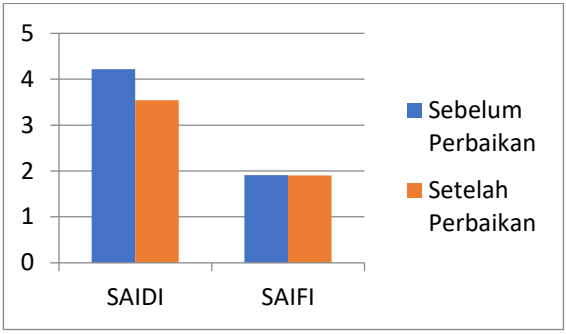


Gambar 4.3 perbandingan SAIDI dan SAIFI Tegalboto

Tabel 4.33 Perbandingan indeks keandalan penyulang Seruji

Indeks	Sebelum	Sesudah	Selisih
SAIDI	4.2175	3.5435	0.674 (15.98%)
SAIFI	1.9068	1.9043	0.0025 (0.13%)

Setelah dilakukan upaya perbaikan pada penyulang Seruji, nilai SAIDI dan SAIFI semakin baik. Nilai indeks keandalan SAIDI meningkat sebesar 15.98% dan indeks keandalan SAIFI meningkat sebesar 0.13%.



Gambar 4.4 perbandingan SAIDI dan SAIFI Seruji

Maka dari hasil data perhitungan setelah perbaikan dapat disimpulkan bahwa dengan cara merekonfigurasi jaringan dapat meningkatkan keandalan dikarenakan rekonfigurasi jaringan dapat mengakibatkan perubahan jaringan pada setiap penyulang hasil dari perubahan *switching* dan perubahan penambahan jumlah pelanggan yang dilayani. Hal ini sesuai dengan dasar teori bahwasanya nilai SAIDI & SAIFI berpengaruh oleh :

1. Frekuensi dan durasi gangguan setiap peralatan
2. Jumlah pelanggan yang dilayani setiap *section* dan jumlah pelanggan secara keseluruhan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Hasil perhitungan keandalan sistem distribusi tenaga listrik 20 kV pada penyulang-penyulang yang menyuplai Universitas Jember menggunakan metode *section technique* adalah sebagai berikut
   a. Penyulang Tegalboto
      SAIDI: 4.9370 jam/tahun
      SAIFI: 3.1093 kali/tahun
   b. Penyulang Seruji
      SAIDI: 4.2175 jam/tahun.
      SAIFI: 1.9068 kali/tahun

2. Setelah dilakukan upaya peningkatan indek keandalan, maka
   a. Penyulang Tegalboto: SAIFI yang sebelumnya memiliki nilai 3.1093 membaik menjadi 2.2110. Sedangkan nilai SAIDI sebelumnya 4.9370 membaik menjadi 4.0979.
   b. Penyulang Seruji: SAIFI yang sebelumnya memiliki nilai 1.9068 membaik menjadi 1.9043. Sedangkan nilai SAIDI sebelumnya 4.2175 membaik menjadi 3.5435.

3. Upaya perbaikan keandalan pada penyulang penyuplai pelanggan premium Universitas Jember dapat dilakukan dengan merekonfigurasi jaringan. Hal tersebut dapat mengubah panjang saluran dan juga jumlah pelanggan tiap penyulang sehingga nilai SAIDI dan SAIFI tiap penyulang juga berubah, dimana dalam hal ini nilainya membaik.

4. Adapun upaya lain dalam rangka meningkatkan nilai indeks keandalan SAIFI terutama pada penyulang Tegalboto adalah dengan cara melakukan pemeliharaan preventif berkala yaitu dengan inspeksi atau membersihkan jaringan (rabas pohon ataupun tebang pohon)

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian tugas akhir ini agar dapat menjadi referensi penelitian selanjutnya yaitu untuk dengan mempertimbangkan penambahan faktor-faktor lain yang mempengaruhi nilai keandalan seperti analisis di sisi pemeliharaan, analisis nilai atau biaya, dan analisis manajemen.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Brown, Richard E. *Electric Power Distribution Reliability Second Edition*, CRC Press Taylor & Francis Group, United States of America, 2009.

[2] Moelyono, Nono. *Pengantar Sistem Distribusi Tenaga Listrik.* Surabaya: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Surabaya,1999.

[3] R. Bilinton, and R. N. Allan. *Reliability Evaluation of Power Systems*. Plenum Press, 1996, 2nd Ed.

[4] Xie K., Zhou J., dan Billinton R. 2008. *Fast Algorithm for the Reliability Evaluation of Large Scale Electircal Distribution Networks Using the Section Technique*. IET Gener.Transmision.Distrib. Vol. 2, No.5, pp. 701-707.

[5] Fatoni, Achmad. 2016. *Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV PT. PLN Rayon Lumajang dengan Metode FMEA (Failure Modes and Effects Analysis).* Surabaya: ITS

[6] SPLN No. 59 : 1985. 1985. *Keandalan pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV*. Perusahaan Umum Listrik Negara. Jakarta.

[7] SPLN No. 68-2 : 1986. *Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik Bagian dua: Sistem Distribusi.* Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, 1985.

[8] Goenadi, Chandra. 2012. *Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV Di PT PLN Distribusi Jawa Timur Kediri Dengan Metode Simulasi Section Technique*. Surabaya: ITS

[9] Wicaksono, Henki Projo. 2012. *Analisis Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan Program Analisis Kelistrikan Transien dan Metode Section Technique.* Surabaya: ITS

[10] Husada, Tosa Anhar. 2017. *Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV di PT PLN Area Tanjung Karang Metode FMEA.* Skripsi Sarjana, Fakultas Teknologi Elektro ITS. Surabaya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS

Dina Herdiana, dilahirkan di kota Sumedang, Jawa Barat pada 17 April 1998. Dina memulai pendidikan di SDN Airlangga VI Surabaya, SMPN 2 Jember, SMAN 2 Surabaya hingga lulus pada tahun 2015. Pada tahun itu juga, Dina melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi dengan program studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pembuatan tugas akhir ini dilakukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Teknik Elektro ITS.

Email: herdianad98@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Tabel 1.1 Hasil perhitungan *section* 1 penyulang Seruji sebelum perbaikan

Load Point	λ (fault/yr)	U(hr/yr)	SAIDI	SAIFI
LP1	0.866	2.746	0.04914	0.01550
LP2	0.866	2.746	0.16538	0.05218
LP3	0.866	2.746	0.22770	0.07184
LP4	0.866	2.746	0.08209	0.02590
LP5	0.866	2.746	0.19355	0.06106
LP6	0.866	2.746	0.02876	0.00907
LP7	0.866	2.746	0.00060	0.00019
LP8	0.866	2.746	0.00120	0.00038
LP9	0.866	2.746	0.00060	0.00019
LP10	0.866	2.746	0.00060	0.00019
LP11	0.866	2.746	0.00060	0.00019
LP12	0.866	2.746	0.00060	0.00019
LP13	0.866	2.746	0.00060	0.00019
LP14	0.866	2.746	0.00060	0.00019
LP15	0.866	2.746	0.04374	0.01380
LP16	0.861	2.696	0.00294	0.00094
LP17	0.861	2.696	0.00176	0.00056
LP18	0.861	2.696	0.00059	0.00019
LP19	0.861	2.696	0.06354	0.02030
LP20	0.861	2.696	0.00176	0.00056
LP21	0.861	2.696	0.30474	0.09736
LP22	0.861	2.696	0.00059	0.00019
LP23	0.861	2.696	0.00059	0.00019
LP24	0.861	2.696	0.00059	0.00019
LP25	0.861	2.696	0.00118	0.00038
LP26	0.861	2.696	0.00059	0.00019
LP27	0.861	2.696	0.00059	0.00019
LP28	0.861	2.696	0.06177	0.01974
LP29	0.861	2.696	0.00118	0.00038
LP30	0.861	2.696	0.00059	0.00019
LP31	0.861	2.696	0.00059	0.00019

Tabel 1.1 Hasil perhitungan *section* 1 penyulang Seruji sebelum perbaikan (Lanjutan)

Load Point	λ (fault/yr)	U(hr/yr)	SAIDI	SAIFI
LP32	0.861	2.696	0.00059	0.00019
LP33	0.861	2.696	0.06471	0.02067
LP34	0.861	2.696	0.00059	0.00019
LP35	0.861	2.696	0.00059	0.00019
LP36	0.861	2.696	0.00059	0.00019
LP37	0.861	2.696	0.08530	0.02725
LP38	0.861	2.696	0.19473	0.06221
LP39	0.861	2.696	0.06060	0.01936
LP40	0.861	2.696	0.14237	0.04548
LP41	0.861	2.696	0.07530	0.02406
LP42	0.861	2.696	0.00118	0.00038
LP43	0.861	2.696	0.19532	0.06240
LP44	0.861	2.696	0.24885	0.07950
LP45	0.861	2.696	0.02000	0.00639
LP46	0.861	2.696	0.20238	0.06466
LP47	0.861	2.696	0.06765	0.02161
LP48	0.861	2.696	0.00176	0.00056
LP49	0.861	2.696	0.05765	0.01842
LP50	0.861	2.696	0.00059	0.00019
LP51	0.861	2.696	0.04000	0.01278
LP52	0.861	2.696	0.00059	0.00019
LP53	0.861	2.696	0.00647	0.00207
LP54	0.861	2.696	0.00059	0.00019
LP55	0.861	2.696	0.00059	0.00019
LP56	0.861	2.696	0.00059	0.00019
LP57	0.861	2.696	0.00059	0.00019
LP58	0.861	2.696	0.00059	0.00019
TOTAL DI SEC-1			2.7101	0.8626

Tabel 1.2 Hasil perhitungan *section* 2 penyulang Seruji sebelum perbaikan

Load Point	λ (fault/yr)	U(hr/yr)	SAIDI	SAIFI
LP1	0.2736	0.0410	0.00073	0.00490
LP2	0.2736	0.0410	0.00247	0.01648
LP3	0.2736	0.0410	0.00340	0.02269
LP4	0.2736	0.0410	0.00123	0.00818
LP5	0.2736	0.0410	0.00289	0.01929
LP6	0.2736	0.0410	0.00043	0.00287
LP7	0.2736	0.0410	0.00001	0.00006
LP8	0.2736	0.0410	0.00002	0.00012
LP9	0.2736	0.0410	0.00001	0.00006
LP10	0.2736	0.0410	0.00001	0.00006
LP11	0.2736	0.0410	0.00001	0.00006
LP12	0.2736	0.0410	0.00001	0.00006
LP13	0.2736	0.0410	0.00001	0.00006
LP14	0.2736	0.0410	0.00001	0.00006
LP15	0.2736	0.0410	0.00065	0.00436
LP16	0.2786	0.9128	0.00100	0.00030
LP17	0.2786	0.9128	0.00060	0.00018
LP18	0.2786	0.9128	0.00020	0.00006
LP19	0.2786	0.9128	0.02152	0.00657
LP20	0.2786	0.9128	0.00060	0.00018
LP21	0.2786	0.9128	0.10319	0.03150
LP22	0.2786	0.9128	0.00020	0.00006
LP23	0.2786	0.9128	0.00020	0.00006
LP24	0.2786	0.9128	0.00020	0.00006
LP25	0.2786	0.9128	0.00040	0.00012
LP26	0.2786	0.9128	0.00020	0.00006
LP27	0.2786	0.9128	0.00020	0.00006
LP28	0.2786	0.9128	0.02092	0.00638
LP29	0.2786	0.9128	0.00040	0.00012
LP30	0.2786	0.9128	0.00020	0.00006
LP31	0.2786	0.9128	0.00020	0.00006

Tabel 1.2 Hasil perhitungan *section* 2 penyulang Seruji sebelum perbaikan (Lanjutan)

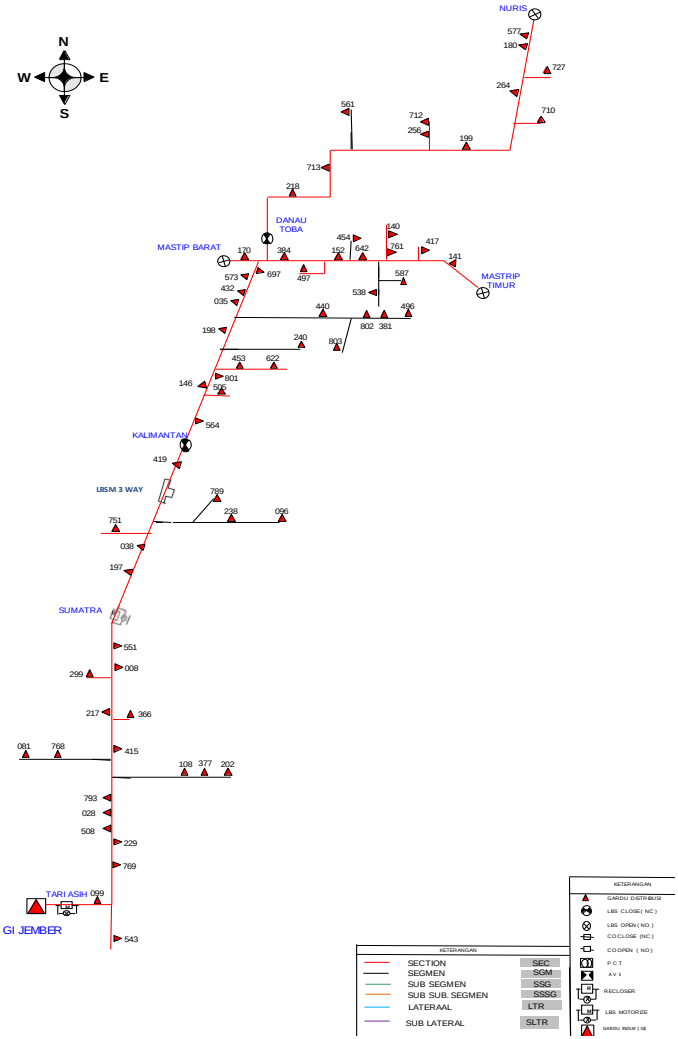
Load Point	λ (fault/yr)	U(hr/yr)	SAIDI	SAIFI
LP32	0.2786	0.9128	0.00020	0.00006
LP33	0.2786	0.9128	0.02191	0.00669
LP34	0.2786	0.9128	0.00020	0.00006
LP35	0.2786	0.9128	0.00020	0.00006
LP36	0.2786	0.9128	0.00020	0.00006
LP37	0.2736	0.04104	0.00130	0.00866
LP38	0.2736	0.04104	0.00296	0.01976
LP39	0.2736	0.04104	0.00092	0.00615
LP40	0.2736	0.04104	0.00217	0.01445
LP41	0.2736	0.04104	0.00115	0.00764
LP42	0.2736	0.04104	0.00002	0.00012
LP43	0.2736	0.04104	0.00297	0.01982
LP44	0.2736	0.04104	0.00379	0.02526
LP45	0.2736	0.04104	0.00030	0.00203
LP46	0.2736	0.04104	0.00308	0.02054
LP47	0.2736	0.04104	0.00103	0.00687
LP48	0.2736	0.04104	0.00003	0.00018
LP49	0.2736	0.04104	0.00088	0.00585
LP50	0.2736	0.04104	0.00001	0.00006
LP51	0.2736	0.04104	0.00061	0.00406
LP52	0.2736	0.04104	0.00001	0.00006
LP53	0.2736	0.04104	0.00010	0.00066
LP54	0.2736	0.04104	0.00001	0.00006
LP55	0.2736	0.04104	0.00001	0.00006
LP56	0.2736	0.04104	0.00001	0.00006
LP57	0.2736	0.04104	0.00001	0.00006
LP58	0.2736	0.04104	0.00001	0.00006
TOTAL DI SEC-2			0.2062	0.2745

Tabel 1.3 Hasil perhitungan *section* 3 penyulang Seruji sebelum perbaikan

Load Point	λ (fault/yr)	U(hr/yr)	SAIDI	SAIFI
LP1	0.767	0.115	0.00206	0.01373
LP2	0.767	0.115	0.00693	0.04620
LP3	0.767	0.115	0.00954	0.06361
LP4	0.767	0.115	0.00344	0.02293
LP5	0.767	0.115	0.00811	0.05407
LP6	0.767	0.115	0.00121	0.00803
LP7	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP8	0.767	0.115	0.00005	0.00033
LP9	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP10	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP11	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP12	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP13	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP14	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP15	0.767	0.115	0.00183	0.01222
LP16	0.767	0.115	0.00013	0.00084
LP17	0.767	0.115	0.00008	0.00050
LP18	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP19	0.767	0.115	0.00271	0.01808
LP20	0.767	0.115	0.00008	0.00050
LP21	0.767	0.115	0.01301	0.08671
LP22	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP23	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP24	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP25	0.767	0.115	0.00005	0.00033
LP26	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP27	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP28	0.767	0.115	0.00264	0.01758
LP29	0.767	0.115	0.00005	0.00033
LP30	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP31	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP32	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP33	0.767	0.115	0.00276	0.01841

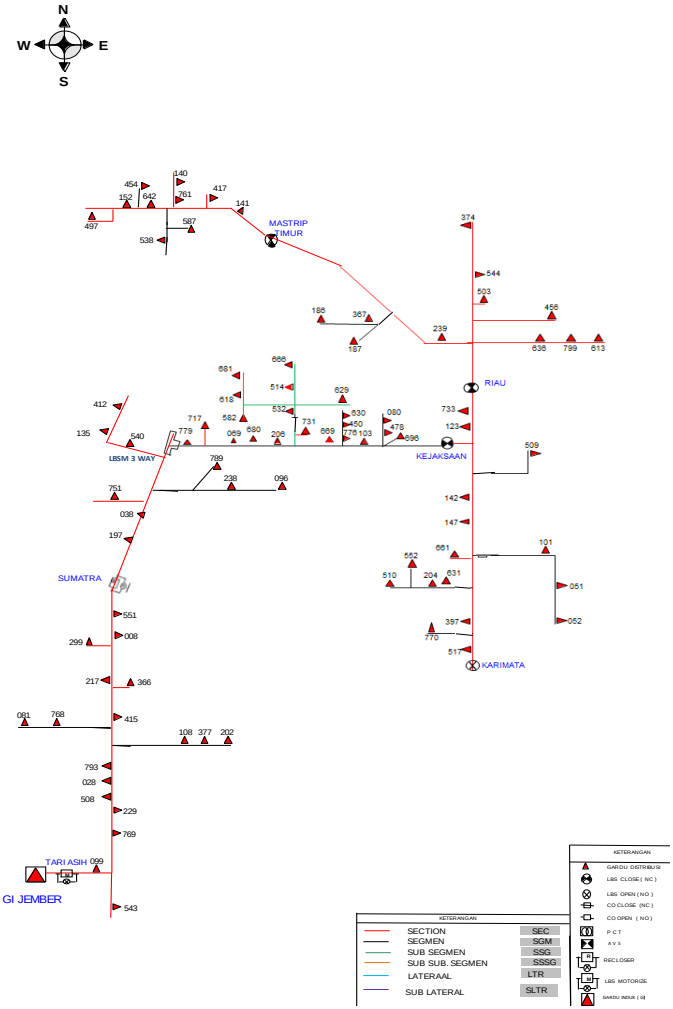
Tabel 1.3 Hasil perhitungan *section* 3 penyulang Seruji sebelum perbaikan (Lanjutan)

Load Point	λ (fault/yr)	U(hr/yr)	SAIDI	SAIFI
LP34	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP35	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP36	0.767	0.115	0.00003	0.00017
LP37	0.772	2.393	0.07573	0.02443
LP38	0.772	2.393	0.17287	0.05577
LP39	0.772	2.393	0.05379	0.01735
LP40	0.772	2.393	0.12639	0.04077
LP41	0.772	2.393	0.06685	0.02157
LP42	0.772	2.393	0.00104	0.00034
LP43	0.772	2.393	0.17339	0.05594
LP44	0.772	2.393	0.22092	0.07127
LP45	0.772	2.393	0.01776	0.00573
LP46	0.772	2.393	0.17966	0.05796
LP47	0.772	2.393	0.06006	0.01938
LP48	0.772	2.393	0.00157	0.00051
LP49	0.772	2.393	0.05118	0.01651
LP50	0.772	2.393	0.00052	0.00017
LP51	0.772	2.393	0.03551	0.01146
LP52	0.772	2.393	0.00052	0.00017
LP53	0.772	2.393	0.00574	0.00185
LP54	0.772	2.393	0.00052	0.00017
LP55	0.772	2.393	0.00052	0.00017
LP56	0.772	2.393	0.00052	0.00017
LP57	0.772	2.393	0.00052	0.00017
LP58	0.772	2.393	0.00052	0.00017
TOTAL DI SEC-3			1.3013	0.7696



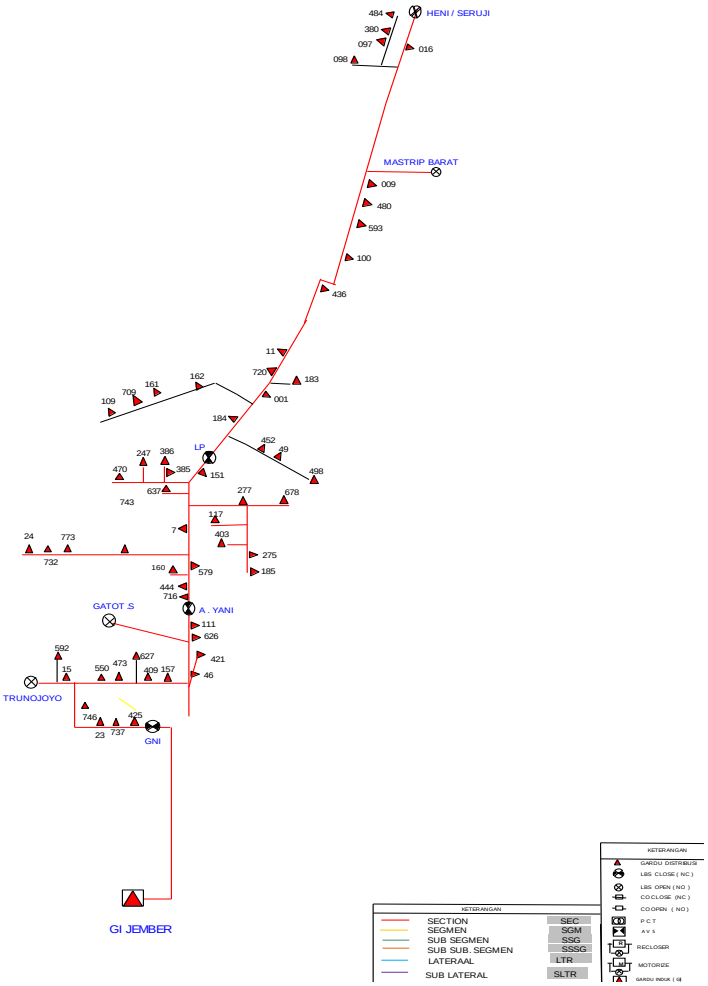
Gambar 1.1 Penyulang Tegalboto Sebelum Upaya Perbaikan

PENYULANG TEGALBOTO



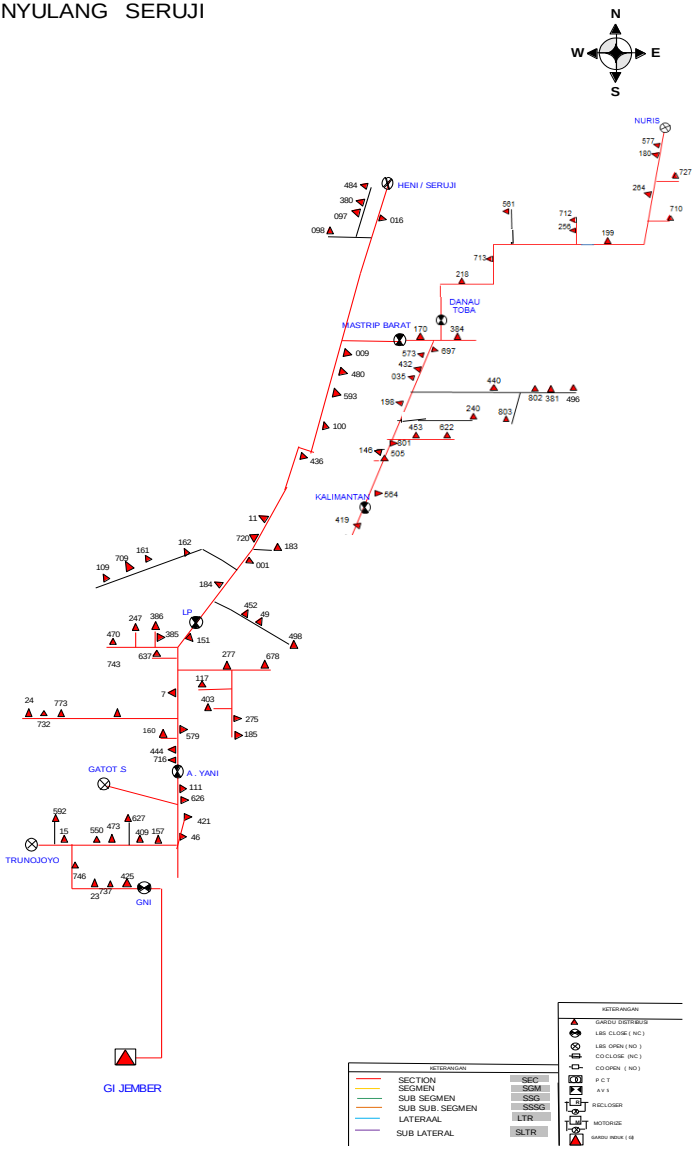
Gambar 1.2 Penyulang Tegalboto Setelah Upaya Perbaikan

PENYULANG SERUJI



Gambar 1.3 Penyulang Seruji Sebelum Upaya Perbaikan

PENYULANG SERUJI



Gambar 1.4 Penyulang Seruji Setelah Upaya Perbaikan