TUGAS AKHIR – EE 184801

STUDI ANALISIS KEANDALAN PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DENGAN MENGGUNAKAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) DI PT. PLN (PERSERO) UP3 SURABAYA UTARA ULP PLOSO

Adfiana Pramudaswari
NRP 07111745000075

Dosen Pembimbing
I.G.N Satriyadi Hernanda, S.T.,M.T.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

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

TUGAS AKHIR - EE 184801

STUDI ANALISIS KEANDALAN PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DENGAN MENGGUNAKAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS* (FMEA) DI PT. PLN (PERSERO) UP3 SURABAYA UTARA ULP PLOSO

Adfiana Pramudaswari
NRP 07111745000075

Dosen Pembimbing
I.G.N Satriyadi Hernanda, S.T.,M.T.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

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

FINAL PROJECT - EE 184801

ANALYSIS STUDY OF RELIABILITY ON A 20 KV DISTRIBUTION SYSTEM WITH FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) AT PT. PLN (PERSERO) UP3 SURABAYA UTARA ULP PLOSO

Adfiana Pramudaswari

NRP 07111745000075

Advisor
I.G.N Satriyadi Hernanda, S.T.,M.T.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

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

PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **"Studi analisis keandalan pada sistem distribusi 20 kV dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) di PT. PLN (Persero) UP3 Surabaya Utara ULP Ploso"** 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 yang dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Mei 2019

Adfiana Pramudaswari

NRP. 07111745000075

----- Halaman ini sengaja dikosongkan -----

STUDI ANALISIS KEANDALAN PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DENGAN MENGGUNAKAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS* (FMEA) DI PT. PLN (PERSERO) UP3 SURABAYA UTARA ULP PLOSO

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
I.G.N Satriyadi Hernanda, S.T., M.T.	Dr. Ir. Soedibyo, M.M.T.
NIP. 197301232002121001	NIP. 195512071980031004

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

SURABAYA
MEI, 2019

----- Halaman ini sengaja dikosongkan -----

Studi analisis keandalan pada sistem distribusi 20 kV dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) di PT. PLN (Persero) UP3 Surabaya Utara ULP Ploso

Nama Mahasiswa : Adfiana Pramudaswari
Dosen Pembimbing I : I.G.N Satriyadi Hernanda, S.T.,M.T.
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRAK

Berdasarkan tingkat pertumbuhan ekonomi setiap tahunnya di Indonesia, PLN tidak hanya berusaha memenuhi permintaan daya listrik yang semakin meningkat, selain itu PLN juga berusaha untuk memperbaiki mutu keandalan pelayanan. Sejalan dengan hal tersebut diperlukan pengembangan suatu penilaian terhadap indeks keandalan mutu pelayanan. Indeks keandalan tersebut yakni kerap kalinya waktu pemadaman dan durasi waktu pemadaman. Semakin kecil indeks keandalan maka dapat diartikan mutu pelayanan semakin baik.

Pada Tugas Akhir ini studi keandalan diperlukan untuk menghitung nilai indeks keandalan dari sistem distribusi tegangan menengah 20kV pada pada PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan Surabaya Utara Unit Layanan Pelanggan Ploso. Metode yang digunakan yakni *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) dengan memperhitungkan laju kegagalan, waktu perbaikan (*repair time*) dan waktu pensaklaran (*switching time*) dari setiap komponen atau peralatan jaringan distribusi 20 kV.

Hasil yang diperoleh dari analisis terhadap Penyulang Mojoarum didapatkan nilai indeks keandalan SAIFI sebesar 2,459 dan nilai indeks keandalan SAIDI sebesar 3,833488, serta setelah dilakukan upaya peningkatan keandalan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 dengan penambahan peralatan pemutus berupa *fuse* maka didapatkan hasil perbaikan untuk nilai indeks keandalan SAIFI sebesar 2,0417 dan nilai indeks keandalan SAIDI sebesar 3,0440.

Kata Kunci : FMEA, Keandalan, Sistem Distribusi 20 kV, SAIDI, SAIFI, ETAP

----- Halaman ini sengaja dikosongkan -----

Analysis Study of Reliability on a 20 kV Distribution System With Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) at **PT. PLN (Persero) UP3 Surabaya Utara ULP Ploso**

Name **: Adfiana Pramudaswari**
***Advisor* I** **: I.G.N Satriyadi Hernanda, S.T,.M.T.**
***Advisor* II** **: Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.**

ABSTRACT

Based on the annual economic growth rate in Indonesia, PLN is not only trying to meet the increasing demand for electricity, but also PLN is trying to improve the quality of reliability service. In line with this, it is necessary to develop an assessment of the service quality reliability index. The reliability index is often the time of blackouts and the duration of blackouts. The smaller the reliability index can mean better service quality

In this Final Project reliability study is needed to calculate the reliability index value of the 20kV medium voltage distribution system at PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan Surabaya Utara Unit Layanan Pelanggan Ploso. Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) is the method used by calculating the failure rate, repair time and switching time of each component or 20 kV distribution network equipment.

The results obtained from the analysis of Mojoarum Feeder obtained the SAIFI reliability index value of 2.459 and the SAIDI reliability index value of 3.833488, after attempts to increase reliability using ETAP 12.6.0 software with the addition of fuse breaker equipment, the results of improvement for reliability index values were obtained SAIFI is 2.0417 and the SAIDI reliability index value is 3.0440.

Keywords*: FMEA, Reliability, 20 kV Distribution System, SAIDI, SAIFI, ETAP*

----- Halaman ini sengaja dikosongkan -----

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, Allah SWT atas segala limpahan rahmad dan karunianya, sehingga penulis dapat mengerjakan laporan tugas akhir ini dengan tepat waktu. Shalawat serta salam semoga tercurah kepada Nabi Muhammad SAW.

Banyak hal dan pengalaman baru yang penulis dapatkan selama pembuatan proyek akhir ini, di samping menambah pengetahuan dan wawasan, juga menambah pengalaman. Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis mendapatkan banyak bimbingan moriil maupun materiil, serta bantuan dan arahan. Berkat motivasi, informasi dan konsultasi dari berbagai pihak, akhirnya semua tantangan dapat teratasi. Oleh karena itu dengan segala hormat penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah serta nikmat-Nya yang tak terhingga banyaknya.
2. Kedua orang tua, Ibu Inpawiti dan Ayah Bawadi. *Words in any language all over the world are not enough to express how grateful I am for being in my life and for what both of you have done for me throughout the years. I hope both of you still proud of me because I do all of this only for you. I am going to make you proud over and over again. I love all of you until the moon and back*
3. Adik penulis, Arbiansyah Pramudaswara. *You are the best little brother in the whole wide world. You are the people who have to put me where I am now and definitely a solid foundation in my life. I love you more than anything here.*

4. Muhammad Putut Triangga, S.T. yang telah memberi *support*, memberi semangat, memberi dukungan, memberi saran serta kritik yang membangkitkan semangat dan menjadi motivasi penulis dalam pembuatan tugas akhir penulis.
5. Bapak I.G.N Satriyadi Hernanda, S.T.,M.T. dan Bapak Dr. Ir. Soedibyo, M.MT selaku dosen pembimbing penulis yang telah membimbing, memotivasi, memberi arahan, saran, dan kritik yang membangun demi meningkatkan prestasi akademik.
6. Seluruh Dosen, Staf dan Karyawan Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknologi Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
7. Pak Agus Guntoro, Pak Irsyam Asri Putra, Pak Fauzan Anshari, Pak Mukti Ari Wibowo, Pak Riski Adipratama yang telah banyak memberi masukan, saran, kritik, wawasan, pengetahuan, ilmu baru, rejeki tak terduga, serta senantiasa memberi nuansa ceria di setiap obrolan.
8. Teman – teman seperjuangan dari kampus kerakyatan UGM yang melanjutkan pendidikan di Kota Pahlawan bersama penulis.
9. Seluruh teman-teman LJ 2017 Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
10. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan proyek akhir ini.

Akhirnya, besar harapan penulis agar laporan ini dapat bermanfaat bagi diri pribadi penulis sendiri khususnya dan bagi pembaca pada umumnya sehingga dapat menambah wawasan bagi kita semua, aamiiin.

Surabaya, Mei 2019

Adfiana Pramudaswari

----- Halaman ini sengaja dikosongkan -----

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL
PERNYATAAN KEASLIAN
LEMBAR PENGESAHAN
ABSTRAK i
ABSTRACT iii
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR TABEL xv

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan 3
1.4 Batasan Masalah 3
1.5 Metodologi 4
1.6 Sistematika Penulisan Laporan 6
1.7 Relevansi dan Manfaat 7

BAB II SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK 9
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik [4] 10
2.1.1 Pusat Pembangkit Energi Listrik 11
2.1.2 Saluran Transmisi 12
2.1.3 Sistem Distribusi 13

2.2 Bentuk Jaringan Distribusi [4] 13
2.2.1 Jaringan Radial 13
2.2.2 Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*) 15
2.2.3 Jaringan Lingkaran (*Loop*) 15
2.2.4 Jaringan Spindel 16
2.2.5 Jaringan Sistem Gugus atau Kluster 17
2.3 Jenis Gangguan 18
2.4 Peralatan Sistem Distribusi 20 kV 20
2.4.1 Jaringan Tegangan Menegah[6] 20
2.4.2 Isolator 23
2.4.3 Peralatan Hubung 23
2.4.4 Gardu Distribusi[7] 25
2.5 Keandalan Sistem Distribusi 27
2.6 Definisi Keandalan Sistem Distribusi Menurut SPLN[5] 28
2.7 Indeks Keandalan [5] 30
2.7.1 *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) 30
2.7.2 *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) 30
2.7.3 *Customer Average Interruption Duration Index* (CAIDI) 31
2.7.4 *Average Service Availability Index* (ASAI) 31
2.7.5 *Average Service Unavailability Index* (ASUI) 32
2.7.6 Laju Kegagalan dan Waktu Perbaikan 32
2.8 FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) 34

BAB III ASET DAN KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI PT. PLN PERSERO UNIT LAYANAN PELANGGAN PLOSO 37

3.1 PT. PLN (Persero) UP3 Surabaya Utara ULP Ploso 37

3.2 Penyulang di ULP Ploso 39

3.2.1 Penyulang Mojoarum 40

3.2.2 Penyulang Bogen..... 40

3.2.3 Penyulang Wisma Permai 40

3.2.4 Penyulang Karang Asem 41

3.2.5 Penyulang Gersikan 41

3.2.6 Penyulang Soka 41

3.3 Contoh Evaluasi dan Perhitungan Menggunakan Metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)..... 42

3.4 Upaya Peningkatan Keandalan..... 48

BAB IV ANALISA DAN EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV ULP PLOSO 51

4.1 Sistem Distribusi Gardu Induk di ULP Ploso 53

4.1.1 Gardu Induk Kenjeran 53

4.1.2 Gardu Induk Undaan 53

4.2 Penyulang Mojoarum..... 54

4.3 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan dengan motedo FMEA menggunakan Ms. Excel 58

4.4 Simulasi dengan Menggunakan *Software* ETAP 12.6.0..... 65

4.5 Evaluasi Hasil Simulasi Keandalan dengan menggunakan *Software* ETAP 12.6.0 dan Ms. Excel pada Penyulang Mojoarum 67

4.6 Evaluasi Hasil Simulasi Keandalan dengan menggunakan *Software* ETAP 12.6.0 dan Metode FMEA menggunakan Ms. Excel pada Semua Penyulang 69

4.6.1 Penyulang Bogen..... 69

4.6.2 Penyulang Wisma Permai 70
4.6.3 Penyulang Karang Asem 71
4.6.4 Penyulang Gersikan 72
4.6.5 Penyulang Soka 73
4.7 Upaya Perbaikan Indeks Keandalan pada Sistem Distribusi 20 kV 75
4.7.1 Upaya Mengurangi Jumlah Gangguan 76
4.7.2 Rekonfigurasi Jaringan Distribusi 77
4.7.3 Upaya Peningkatan Indeks Keandalan pada Penyulang Mojoarum 78

BAB V PENUTUP 81
5.1 Kesimpulan 81
5.2 Saran 82

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penyaluran Energi Listrik 11

Gambar 2.2 Konfigurasi Jaringan Distribusi Radial..... 14

Gambar 2.3. Konfigurasi Jaringan Distribusi Hantaran Penghubung (*Tie Line*) 15

Gambar 2.4 Konfigurasi Jaringan Distribusi Lingkaran (*Loop*) 16

Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan Spindel 17

Gambar 2.6 Konfigurasi Jaringan Kluster..... 18

Gambar 2.7 Saluran Udara Tegangan Menengah..... 21

Gambar 2.8 Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah..... 22

Gambar 2.9 *Fuse Cut Out* (FCO) 24

Gambar 2.10 Load Break Switch (LBS) 25

Gambar 2.11 Konstruksi Gardu Distribusi..... 26

Gambar 2.12 Skema Metode FMEA 35

Gambar 3.1 Peta Wilayah Kerja ULP Ploso 37

Gambar 3.3 Topologi Jaringan Sederhana 42

Gambar 4.3 Perbandingan Perhitungan Keandalan Menggunakan Metode FMEA dan Data PLN Penyulang Mojoarum..... 65

Gambar 4.4 Hasil Indeks Keandalan Menggunakan *Software* ETAP 12.6.0..... 66

Gambar 4.5 Perbandingan Hasil Perhitungan Keandalan Menggunakan metode FMEA dan *Software* ETAP pada Penyulang Mojoarum..... 68

Gambar 4.6 Perbandingan Hasil Perhitungan Keandalan Menggunakan FMEA dan *Software* ETAP pada Penyulang Bogen 70

Gambar 4.7 Perbandingan Hasil Perhitungan Keandalan Menggunakan FMEA dan *Software* ETAP pada Penyulang Wisma Permai..... 70

Gambar 4.8 Perbandingan Hasil Perhitungan Keandalan Menggunakan FMEA dan *Software* ETAP pada Penyulang Karang Asem 71

Gambar 4.9 Perbandingan Hasil Perhitungan Keandalan Menggunakan FMEA dan *Software* ETAP pada Penyulang Gersikan..... 72

Gambar 4.10 Perbandingan Hasil Perhitungan Keandalan Menggunakan FMEA dan *Software* ETAP pada Penyulang Soka..... 73

Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Upaya Peningkatan Keandalan pada Penyulang Mojoarum..... 79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Laju Kegagalan dan Waktu Perbaikan[5] 32
Tabel 3.1 Aset ULP Ploso 38
Tabel 3.2 Penyulang ULP Ploso 39
Tabel 3.3 Data Saluran 43
Tabel 3.4 Evaluasi Keandalan 43
Tabel 4.1 Data Beban Penyulang Mojoarum 54
Tabel 4.1 Data Beban Penyulang Mojoarum (Lanjutan) 55
Tabel 4.1 Data Beban Penyulang Mojoarum (Lanjutan) 56
Tabel 4.2 Data Panjang Saluran Penyulang Mojoarum 56
Tabel 4.2 Data Panjang Saluran Penyulang Mojoarum (Lanjutan) 57
Tabel 4.3 Standar Laju Kegagalan Berdasarkan SPLN-59 1985[5]..... 58
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan pada Penyulang Mojoarum 59
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan pada Penyulang Mojoarum (Lanjutan) 60
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan pada Penyulang Mojoarum (Lanjutan) 61
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Mojarum ... 63
Tabel 4.7 Hasil Perbandingan Perhitungan Metode FMEA menggunakan Ms. Excel dengan *software* ETAP 12.6.0 pada Penyulang Mojoarum.. 67
Tabel 4.8 Perbandingan Hasil FMEA dengan Data PLN pada Penyulang Bogen 69
Tabel 4.9 Perbandingan Hasil FMEA dengan Data PLN pada Penyulang Wisma Permai..... 70
Tabel 4.10 Perbandingan Hasil FMEA dengan Data PLN pada Penyulang Karang Asem 71
Tabel 4.11 Perbandingan Hasil FMEA dengan Data PLN pada Penyulang Gersikan 72

Tabel 4.12 Perbandingan Hasil FMEA dengan Data PLN pada Penyulang Soka 73

Tabel 4.13 Data Penyulang yang Dievaluasi..... 74

Tabel 4.18 Perbandingan Indeks Keandalan Sebelum dan Setelah Dilakukan Upaya Perbaikan..... 78

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mutu pelayanan menjadi tolak ukur kinerja PT. PLN (Persero) dalam menjaga kontinuitas daya listrik baik di kota-kota besar maupun di kota-kota kecil serta di berbagai penjuru daerah di Indonesia. Kota Surabaya yang dikenal sebagai kota pahlawan merupakan ibu kota Provinsi Jawa Timur sekaligus kota metropolitan terbesar di provinsi tersebut. Surabaya merupakan kota terbesar kedua di Indonesia setelah DKI Jakarta baik dari aspek ekonomi, bisnis, penyaluran atau pendistribusian tenaga listrik maupun aspek lainnya. Ditinjau dari aspek pendistribusian tenaga listrik, kota Surabaya merupakan konsumen energi listrik terbesar di provinsi Jawa Timur yang akan terus mengalami peningkatan, setiap tahunnya. Fakta di lapangan, aset pendistribusian tenaga lsitrik yang dimiliki oleh PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur masih perlu banyak evaluasi serta pembenahan mengingat kondisi peralatan yang cukup tua serta berpotensi menimbulkan gangguan dan menghambat proses pendistribusian tenaga listrik. Hal ini tentunya memerlukan peremajaan untuk meningkatkan performa peralatan listrik, menekan wilayah padam, mengurangi gangguan dan yang terpenting meningkatkan keandalan.

Kebutuhan akan tenaga listrik berbanding lurus dengan seiring berkembangnya teknologi. Hal ini tentunya menuntut sistem tenaga listrik memiliki mutu pelayanan yang andal dalam menyediakan dan juga mendistribusikan tenaga listrik ke konsumen. PT. PLN (Persero) tidak hanya berusaha dalam memenuhi permintaan daya listrik yang meningkat, disamping itu juga memperbaiki mutu pelayanan. Banyaknya keluhan pelanggan akibat pemadaman yang terjadi baik pada pelanggan umum maupun khusus menjadi cacatan perusahan yang harus segera diatasi. Terlebih lagi apabila pelanggan tersebut termasuk dalam kategori pelanggan premium dan juga pelanggan yang berada di zona *zero down time* atau wilayah yang diberikan pelayanan tanpa mengalami gangguan dengan kata lain wilayah tanpa padam. Dengan menekan indeks

kegagalan agar mencapai keandalan yang baik maka diperlukan studi keandalan pada jaringan distribusi 20kV.

Oleh karena itu diperlukan pengembangan penilaian terhadap mutu pelayanan dengan suatu besaran indeks. Besaran indeks keandalan suatu penyulang akan dikomparasikan dengan indeks acuan berdasarkan SPLN untuk mengetahui tingkat keandalan suatu sistem distribusi agar terciptanya mutu pelayanan yang handal. Mutu pelayanan bergantung dari lamanya waktu pemadaman atau SAIDI (*System Average Interuption Duration Index*), kerapnya pemadaman tiap tahun atau SAIFI (*System Average Interuption Frequency Index*), serta indeks perbandingan antara SAIDI dan SAIFI yakni CAIDI (*Customer Average Interuption Duration Index*) dan juga kemampuan sistem dalam menjaga ketersediaan listrik yaitu ASAI (*Average Service Availability Index*), serta waktu ketidaktersediaannya daya listrik untuk pelanggan dalam satu tahun yaitu ASUI (*Average Service Unavailability Indexs*).

Dalam menentukan tingkat keandalan sistem, perlu adanya pemeriksaan melalui perhitungan serta analisis terhadap tingkat keberhasilan operasi maupun kinerja dari suatu sistem yang ditinjau pada periode tertentu kemudian membandingkan dengan standar yang sebelumnya telah ditetapkan. Dengan latar belakang tersebut, penelitian mengenai studi keandalan distribusi 20kV dilakukan pada beberapa penyulang di PT. PLN (Persero) UP3 Surabaya Utara ULP Ploso dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk meningkatkan mutu pelayanan agar kontinuitas daya listrik yang disalurkan tetap terjaga.

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) merupakan suatu pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi kegagalan dari suatu sistem dan akibat dari kegagalan yang ditimbulkan. Suatu peristiwa yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi pada suatu sistem dapat didefinisikan sebagai *Failure Mode* serta studi yang mendeskripsikan mengenai konsekuensi yang didapat ketika *failure mode* terjadi adalah *Effect Analysis.*

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan latar belakang sebelumnya, maka rumusan masalah yang akan dibahas sebagai berikut :

1. Bagaimana menghitung indeks keandalan SAIDI, SAIFI, CAIDI, ASAI dan ASUI berdasarkan laju kegagalan (*failure rate*), waktu perbaikan (*repair time*), waktu pensaklaran (*switching time*), serta jumlah pelanggan atau *load point* trafo distribusi pada beberapa penyulang di ULP Ploso.
2. Bagaimana cara untuk memperbaiki keandalan sistem distribusi 20kV pada penyulang di ULP Ploso.
3. Bagaimana cara memberikan rekomendasi untuk perbaikan keandalan sistem distribusi pada penyulang di ULP Ploso.

1.3 Tujuan

Tujuan yang diharapkan dari pembuatan tugas akhir ini adalah :

1. Dapat mengetahui indeks keandalan SAIDI, SAIFI, CAIDI, ASAI dan ASUI berdasarkan laju kegagalan (*Failure Rate*), waktu perbaikan rata-rata, serta jumlah pelanggan atau *load point* trafo distribusi pada beberapa penyulang di ULP Ploso.
2. Mengetahui cara untuk memperbaiki keandalan sistem distribusi 20 kV pada penyulang di ULP Ploso.
3. Dapat memberikan rekomendasi untuk perbaikan keandalan sistem distribusi pada penyulang di ULP Ploso.

1.4 Batasan Masalah

Mengingat luasnya bidang kerja serta terbatasnya alokasi waktu yang tersedia, maka diambil beberapa batasan masalah dalam laporan tugas akhir ini. Adapaun batasan masalah tersebut antara lain :

1. Pembahasan mengenai sistem distribusi 20 kV.
2. Studi keandalan dilakukan pada beberapa penyulang di ULP Ploso.
3. Metode yang digunakan adalah metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*).
4. Indeks keandalan mengacu pada Standar PLN (SPLN).
5. *Maintenance analysis, cost analysis* dan *management analysis* tidak dianalisis pada tugas akhir ini.

1.5 Metodologi

Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Studi literatur

   Meliputi studi mengenai keandalan sistem dan pendekatan matematis dalam keandalan sistem tenaga listrik dengan menggunakan FMEA (*Faiure Mode and Effect Analysis*) sebagai metodenya.

2. Tahapan pengumpulan data

   Dalam tahap ini akan dijelaskan mengenai tahapan pengumpulan serta pengolahan data dari permasalahan yang ada di PT. PLN (Persero) ULP Ploso. Langkah yang penulis ambil dalam tahapan pengumpulan serta pengolahan data adalah sebagai berikut :

   a. Mengumpukan *hystorical data* PT. PLN (Persero) ULP Ploso yang berikatan dengan keandalan sistem distribusi 20kV.
   b. Mengumpulkan struktur jaringan distribusi primer 20kV yaitu *single line diagram* (SLD) beberapa penyulang yang ada di PT. PLN (Persero) ULP Ploso.
   c. Membuat daftar potensi kegagalan pada beberapa penyulang yang ada di PT. PLN (Persero) ULP Ploso.
   d. Mengumpulkan data beban dan jumlah pelanggan pada beberapa penyulang yang ada di PT. PLN (Persero) ULP Ploso.
   e. Menghitung nilai laju kegagalan (*failure rate*), waktu perbaikan rata-rata, mode kegagalan serta potensial efek kegagalan peralatan yang ada di jaringan distribusi primer 20kV.
   f. Menentukan nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, ASAI dan ASUI pada beberapa penyulang yang ada di PT. PLN (Persero) ULP Ploso.

3. Pengolahan dan analisis data

   Setelah mendapatkan data yang diperlukan, tahap selanjutnya yakni pengolahan data serta analisis. Tahap ini menjelaskan mengenai tahapan pengolahan data dari analisis dan pendefinisian serta pengukuran permasalahan yang ada di dalam

PT. PLN (Persero) ULP Ploso. Langkah-langkah yang dilakukan dalam tahap analisa dan perbaikan adalah sebagai berikut :

a. Membuat perhitungan keandalan secara manual menggunakan MS. Excel.
b. Membuat formula yang sesuai dengan metode yang diterapkan yaitu metode *Failure Mode Effect and Analysis* (FMEA).
c. Menentukan indeks kegagalan pada setiap *load point* berdasarkan data laju kegagalan, data waktu perbaikan dan data waktu pensaklaran dengan menggunakan metode FMEA (*Failure Mode Effect and Analysis*).
d. Menganalisis kemampuan fungsi komponen atau peralatan.
e. Membuat perancangan penyulang pada software ETAP 12.6.0 sebagai pembanding hasil perhitungan manual dengan MS. Excel.
f. Menentukan penyulang yang perlu diperbaiki keandalannya.
g. Memberikan rekomendasi untuk perbaikan keandalan dan memberi usulan perbaikan penyulang yang ada di PT. PLN (Persero ULP Ploso).

4. Perbaikan Indeks Keandalan

   Perbaikan indeks kegagalan dilakukan apabila masih ditemukan penyulang dengan nilai indeks keandalan yang masih di bawah standar PLN. Dengan menambahkan komponen pengaman seperti *fuse* atau sekering maupun peralatan *switching* seperti LBS (*Load Break Switch*) diharapkan dapat memperbaiki nilai keandalan pada penyulang tersebut.

5. Penarikan Kesimpulan dan Pembuatan Laporan

   Data yang telah diolah kemudian dituangkan dalam bentuk laporan, kemudian pada tahapan akhir yaitu penarikan kesimpulan dari seluruh penelitian yang telah dilakukan, serta selanjutnya memberi beberapa masukan yang membangun bagi PT. PLN Persero ULP Ploso sebagai upaya untuk meningkatkan keandalan.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Sistematika pembahasan Tugas Akhir ini terdiri dari lima bab, yakni :

1. BAB 1 : Pendahuluan
   Pada bab ini membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan 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 distribusi tenaga listrik, bentuk jaringan distribusi, serta jenis gangguan pada sistem distribusi.
3. BAB 3 : Aset dan Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Unit Layanan Pelanggan Ploso
   Pada bab ini membahas mengenai aset yang dimiliki oleh PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Ploso serta keandalan sistem distribusi 20 kV dengan data-data penunjang yang ada untuk dilakukan analisis dengan menggunakan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) sehingga didapatkan nilai indeks keandalannya.
4. BAB 4 : Analisis Data
   Pada bab ini berisi pembahasan tentang analisis keandalan sistem distribusi dengan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) yang kemudian dilakukan langkah perbaikan untuk meningkatkan indeks keandalan.
5. BAB 5 : Penutup
   Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil analisis mengenai sistem keandalan distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) ULP Ploso.

1.7 Relevansi dan Manfaat

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

1. Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perusahaan listrik khususnya PT. PLN (Persero) ULP Ploso sebagai referensi dalam mengetahui indeks keandalan sistem juga upaya perbaikan keandalannya.
2. Tugas akhir ini diharapkan dapat dijadikan pengetahuan kepada pembaca mengenai sistem distribusi 20 kV serta evalusi keandalannya.

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB II
SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

Sistem secara umum didefinisikan sebagai kumpulan dari beberapa sub sistem atau komponen yang saling berhubungan satu sama lain guna menjalankan fungsi tertentu [2]. Adapun sistem jaringan distribusi tenaga listrik adalah bagian dari infrastruktur pengiriman sistem tenaga listrik dimana energi lsitrik yang dikirim kepada pelanggan diambil dari transmisi tegangan tinggi. Pada umumnya sistem tenaga lsitrik mengandung beberapa unsur [3]. Unsur yang pertama yakni adanya suatu unsur dari pembangkit tenaga lsitrik. Tegangan yang dihasilkan pembangkit tenaga listrik biasanya merupakan tegangan menengah. Unsur yang kedua yaitu suatu sistem transmisi dilengkapi dengan gardu induk yang umumnya menggunakan tegangan ultra tinggi, tegangan ekstra tinggi atau tegangan tinggi. Unsur yang ketiga adalah adanya saluran distribusi yang terdiri dari saluran distribusi primer dengan tegangan menengah dan saluran distribusi sekunder dengan tegangan rendah. Unsur yang keempat merupakan adanya tenaga listrik. Instalasi milik pelanggan rumah tangga biasanya menggunakan tegangan rendah, sedangkan pelanggan pemakai daya listrik yang besar seperti industri menggunakan tegangan menengah ataupun tegangan tinggi.

Penghasil tenaga listrik seperti pembangkit pada umumnya terletak jauh dari pusat kota yang memiliki konsumen energi listrik paling banyak. Hasil dari pembangkitan tenaga listrik yakni berupa energi listrik kemudian disalurkan melalui saluran transmisi dengan tegangan yang berbeda dari tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit listrik. Tegangan yang dihasilkan atau dibangkitkan dari generator pembangkit relatif rendah yakni berkisar antara 6 kV hingga 24 kV. Tegangan tersebut kemudian dinaikkan melalui transformator penaik tegangan (*step up*) menjadi tegangan tinggi yakni 150 kV hingga 500 kV. Pada pembangkit listrik di Pulau Jawa, tegangan 150 kV digunakan untuk menyuplai sistem kelistrikan di wilayah lokal sedangkan tegangan 500 kV digunakan untuk menyuplai listrik ke tempat – tempat yang tersebar di seluruh Pulau Jawa melalui sistem interkoneksi.

Adapun tujuan dari peningkatan tegangan ini adalah selain memperbesar daya hantar dari saluran juga untuk memperkecil rugi daya serta susut tegangan pada saluran transmisi. Selanjutnya tegangan tinggi tersebut turunkan menggunakan transformator penurun tegangan (*step down*) dua kali di Gardu Induk. Pertama tegangan diturunkan dari 500 kV ke 150 kV atau dari 150 kV ke 70 kV. Kedua yakni tegangan diturunkan dari 150 kV ke 70 kV atau atau dari tegangan 70 kV ke 20 kV.

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik [4]

Energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik dibangkitkan di tempat – tempat tertentu dan jauh dari pusat beban. Sedangkan sebagai besar pemakai tenaga listrik tersebar di berbagai tempat. Oleh sebab itu, pendistribusian tenaga listrik memerlukan berbagai penanganan teknis. Pendistribusian tenaga listrik berguna untuk menyalurkan energi listrik dari pusat listrik ke pusat beban atau konsumen.

Pelayanan kebutuhan energi listrik dalam sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama, yaitu :

1. Pembangkit
2. Transmisi
3. Distribusi

Berikut adalah gambaran proses penyaluran energi listrik dari pembangkit hingga sampai ke konsumen.

Gambar 2.1 Penyaluran Energi Listrik

2.1.1 Pusat Pembangkit Energi Listrik

Pusat pembangkit energi listrik merupakan tempat pertama kali energi listrik dihasilkan atau dibangkitkan. Terdapat turbin sebagai penggerak mula (*prime mover*) dan generator sebagai pembangkit listrik. Biasanya pada pusat pembangkit listrik terdapat gardu induk atau biasa disebut dengan GI. Gardu induk merupakan sistem instalasi listrik yang terdiri dari peralatan-peralatan listrik serta pengaman dan berfungsi untuk menghubungkan listrik dari jaringan transmisi ke jaringan distribusi. Peralatan utama pada GI antara lain transformator penaik tegangan (*step up*) yang berfungsi untuk menaikkan tegangan yang dihasilkan generator pembangkit yakni 6 kV hingga 24 kV ke tegangan tinggi yakni 150 kV hingga 500 kV. Tegangan yang dinaikkan hingga 500 kV pada pembangkit di pulau Jawa biasanya untuk menyuplai listrik Jawa – Bali,

sedangkan tegangan yang dinaikkan hingga 150 kV biasanya untuk menyuplai daerah lokal. Pada GI yang dekat dari pembangkit dilengkapi juga peralatan pengaman serta peralatan telekomunikasi. Jenis pusat pembangkit energi listrik pada umumnya antara lain :

a. PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air)
b. PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Batubara)
c. PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu)
d. PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel)
e. PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas)
f. PLTU (Pembangkit Listrik tenaga Uap)
g. PLTPB (Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi)
h. PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)
i. PLTO (Pembangkit Listrik Tenaga Ombak)
j. PLTSa (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah)
k. PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir)

2.1.2 Saluran Transmisi

Saluran transmisi merupakan konduktor yang dipasang pada menara ataupun tiang. Saluran transmisi juga dapat disalurkan menggunakan kabel bawah tanah. Saluran transmisi berfungsi sebagai media yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik dari pusat pembangkit yang pada umumnya terletak jauh dari pusat-pusat beban ke gardu induk penurun tegangan sebagai suplai jaringan distribusi primer atau tegangan menegah. Tegangan tinggi yang dihasilkan bertujuan untuk menekan *drop* tegangan. Jenis saluran transmisi pada umunya antara lain :

a. SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) dengan tegangan kerja lebih dari 500 kV.
b. SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) dengan tegangan kerja antara 70kV hingga 150 kV.
c. Saluran Kabel Tegangan Tinggi (*high voltage underground cable*)

2.1.3 Sistem Distribusi

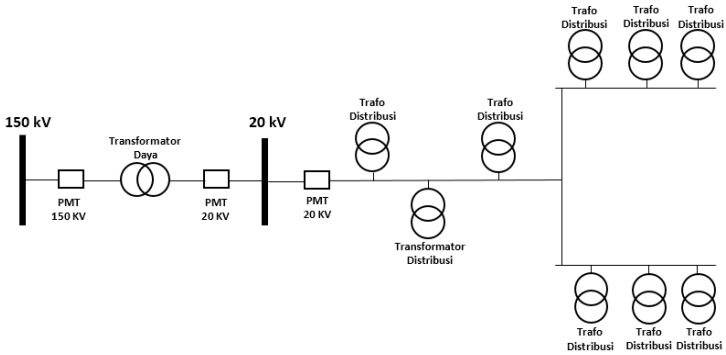
Sistem distribusi merupakan sub sistem yang terdiri dari pusat pengatur distribusi, saluran tegangan menengah atau saluran distribusi primer 20 kV dan 6 kV yang disalurkan melalui kabel saluran udara atau kabel tanah (*underground cable*), gardu distribusi tegangan menengah dan tranformator penurun tegangan rendah 380 V dan 220 V yang menghasilkan tegangan kerja atau tegangan jala-jala untuk pelanggan perumahan maupun pelanggan industri.

2.2 Bentuk Jaringan Distribusi [4]

Jaringan sistem distribusi tegangan menengah dapat dikelompokkan menjadi lima model yakni, jaringan radial, jaringan hantaran penghubung (*tie line*), jaringan lingkaran (*loop*), jaringan spindel dan jaringan sistem gugus atau kluster.

2.2.1 Jaringan Radial

Jaringan dengan pola radial dalam suatu sistem distribusi merupakan jaringan yang paling dasar, sederhana dan ekonomis. Jaringan ini banyak digunakan karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu sumber dan jaringan dan dicabang – cabang ke beban yang dilayani. Karena adanya percabangan tersebut maka arus yang mengalir sepanjang saluran tidak sama besarnya, oleh karena hal tersebut maka luas penampang konduktor pada jaringan ini tidak sama. Semakin menjauhi pusat sumber maka ukuran penampangnya bisa lebih kecil. Berikut ini merupakan contoh jaringan radial yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



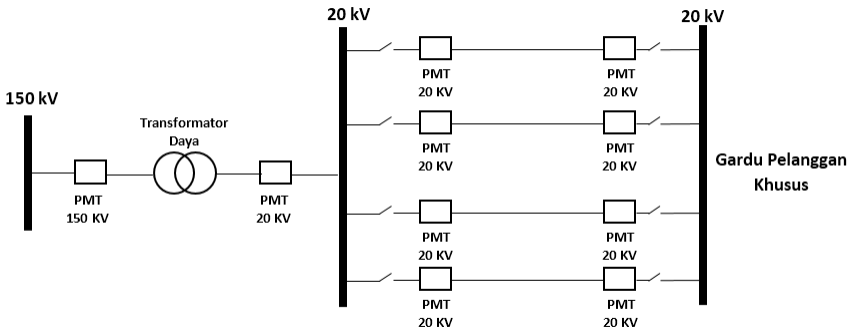
Gambar 2.2 Konfigurasi Jaringan Distribusi Radial

Berdasarkan gambar di atas, penyulang tersebut menyuplai gardu – gardu distribusi yang akan disalurkan ke pelanggan. Gardu distribusi merupakan tempat untuk membagi, memutus serta menyalurkan tegangan kepada pelanggan. Gardu distribusi bisa dalam bentuk gardu pasangan dalam maupun pasangan luar. Gardu pasangan dalam biasanya berupa bangunan beton sedangkan gardu pasangan luar biasanya berupa tiang untuk menopang trafo tenaga.

Sistem jaringan radial tentunya memiliki kekurangan dan kelebihan. Kelebihannya yakni sistem ini tidak rumit dan lebih ekonomis dibandingkan dengan sistem yang lain. Akan tetapi keandalan pada sistem ini lebih rendah dibandingkan sistem yang lain. Kekurangan pada sisem ini yakni keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga bisa jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu distribusi akan terkena dampaknya. Kerugian lainnya yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar terjadi di ujung jaringan.

2.2.2 Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

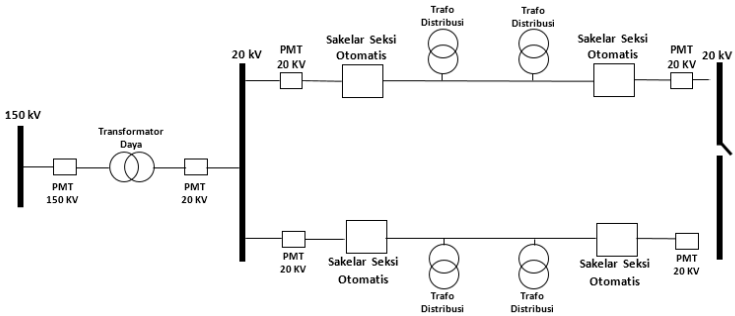
Sistem distribusi hantaran penghubung (*tie line*) sering digunakan untuk pelanggan khusus yang tidak boleh padam seperti bandar udara, rumah sakit, pusat berbelanjaan (*mall*), dan lain sebagainya. Pada sistem ini minimal memiliki dua penyulang yang dilengkapi sakelar otomatis seperti *Automatic Transfer Switch* (ATS) atau *Automatic Change Over Switch*. Terdapat penyulang utama yang digunakan untuk menyuplai beban serta penyulang cadangan. Kondisi ini diperlukan apabila penyulang utama yang beroperasi mengalami gangguan, maka sakelar seperti ATS bekerja untuk memindah beban dan disuplai melalui penyulang cadangan. Berikut ini merupakan contoh jaringan hantaran penghubung (*tine line*) yang ditunjukkan oleh Gambar 2.3. :



Gambar 2.3. Konfigurasi Jaringan Distribusi Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

2.2.3 Jaringan Lingkaran (*Loop*)

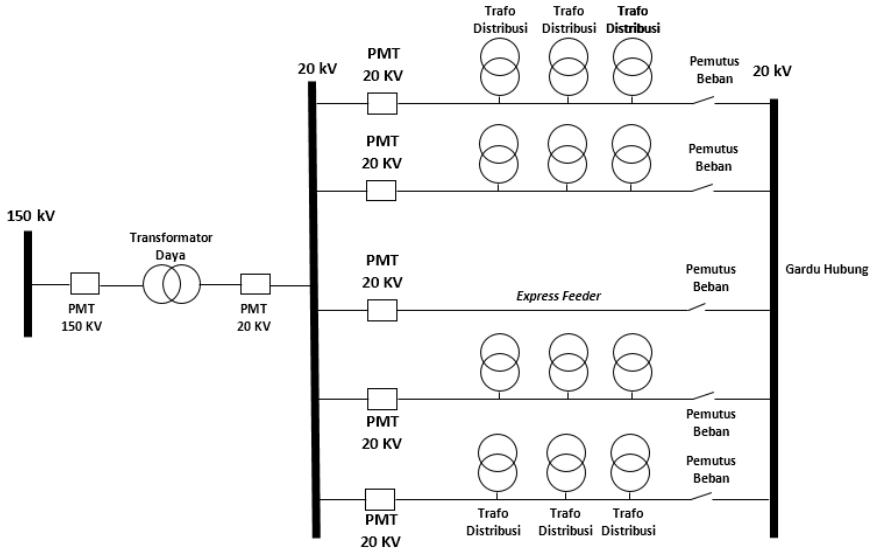
Jaringan lingkaran (*loop*) pada sistem distribusi dipasok oleh beberapa gardu induk, dengan demikian tingkat keandalannya menjadi lebih baik. Berikut ini merupakan contoh jaringan lingkaran yang ditunjukkan oleh Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Konfigurasi Jaringan Distribusi Lingkaran (*Loop*)

2.2.4 Jaringan Spindel

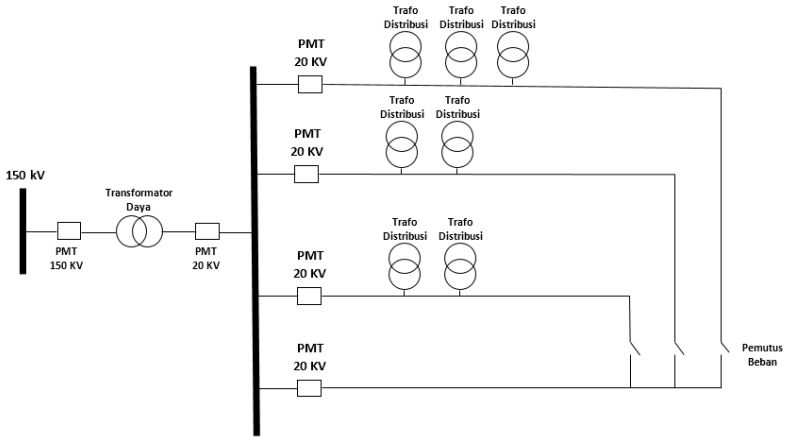
Jaringan spindel merupakan kombinasi antara jaringan radial dan jaringan lingkaran (*loop*). Jaringan ini terdiri dari beberapa penyulang yang tegangannya disuplai oleh gardu induk serta tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH). Jaringan spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan penyulang langsung (*express*) yang terhubung melalui gardu hubung. Jaringan spindel biasanya menggunakan kabel tanah (*underground cable*). Pada pengoperasiannya, sistem spindel berfungsi sebagai sistem radial. Berikut ini merupakan contoh jaringan spindel yang ditunjukkan oleh Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan Spindel

2.2.5 Jaringan Sistem Gugus atau Kluster

Jaringan sistem gugud atau kluster biasanya banyak digunakan di daerah perkotaan yang memiliki kerapatan beban yang tinggi. Dalam jaringan ini terdapat sakelar pemutus beban serta penyulang cadangan. Penyulang cadangan ini berfungsi untuk menyuplai beban ketika penyulang utama mengalami gangguan saat pengoperasiannya. Berikut ini merupakan contoh jaringan kluster yang ditunjukkan oleh Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Konfigurasi Jaringan Kluster

2.3 Jenis Gangguan

Jenis gangguan dalam sistem distribusi tegangan menengah 20 kV terbagi menjadi dua :

1. Gangguan internal
   Gangguan internal merupakan gangguan yang berasal dari sistem atau dari peralatan listrik itu sendiri.
2. Gangguan eksternal
   Gangguan ekternal merupakan gangguan yang berasal dari alam misal petir, cuaca buruk, bencana alam dan lain sebagianya. Gangguan eksternal juga dapat disebabkan oleh aktivitas makhluk hidup seperti manusia, tumbuh-tumbuhan seperti pohon dan juga hewan.

Timbulnya gangguan bisa bersifat temporer atau sementara dan juga permanen. Gangguan yang bersifat temporer atau sementara terjadi dalam waktu yang tidak lama serta tidak memerlukan tindakan khusus atau dengan kata lain dapat normal kembali. Hal ini dapat terjadi apabila peralatan penghubung bekerja kembali untuk menormalkan jaringan. Namun perlu ditelusuri penyebab gangguan temporer ini, dikarenakan dapat merusak peralatan listrik apabila gangguan ini terjadi secara

berulang. Contoh penyebab gangguan temporer yakni dahan pohon yang bersentuhan dengan kawat penghantar SUTM 20 kV tanpa pelindung atau biasa disebut dengan *bare conductor* dengan jenis kabel AAAC, timbulnya *flashover* antar penghantar, dan lain sebagainya.

Adapun ganggguan lainnya yakni yang bersifat permanen atau tetap, merupakan ganggguan yang terjadi dalam jangka waktu yang lama. Gangguan ini dapat menyebabkan terjadinya pemadaman pada jaringan yang mengakibatkan padamnya pelanggan. Gangguan ini juga menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik. Berikut ini merupakan penyebab yang mengakibatkan terjadinya gangguan permanen :

1. Bencana alam seperti angin kencang yang menyebabkan terjadinya gesekan antar penghantar, sambaran petir yang mengenai jaringan listrik, hujan deras yang menyebabkan peralatan listrik mengalami perubahan suhu yang ekstrim dan lain sebagainya yang menyebabkan terjadinya gangguan pada jaringan listrik.
2. Gangguan pada peralatan listrik seperti kebocoran pada transformator, timbulnya *parsial discharge* akibat peralatan listrik dengan suhu yang tinggi, kualitas kabel atau isolasi kabel yang kurang baik, titik panas (*hot spot*) pada sambungan antar peralatan dan lain sebagainya yang dapat menyebabkan terjadinya hubung singkat.
3. Kelalaian manusia seperti pekerja bangunan yang sedang bekerja diketinggian hingga melampaui batas aman SUTM dengan bagunan tinggal, anak kecil hingga orang dewasa yang bermain layang – layang serta benangnya mengenai jaringan listrik, pekerja yang sedang menggali tanah serta peralatan galian mengenai kabel tanah yang menyebabkan isolasi kabel tanah tersebut mengelupas, aktivitas alat berat yang mengenai saluran udara mapun kabel tanah yang dapat merusak isolasi peralatan listrik. Hal ini dapat menyebabkan kerugian baik dari jiwa manusia maupun peralatan listrik itu sendiri.

Gangguan hubung singkat yang terjadi pada jaringan listrik terbagi menjadi 4 yakni :

1. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, merupakan gangguan yang terjadi akibat dari salah satu fasa terhubung ke tanah. Gangguan hubung singkat ini paling sering terjadi dan diakibatkan karena dahan pohon mengenai salah satu penghantar SUTM.
2. Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah, merupakan gangguan yang terjadi akibat salah satu fasa mengalami suhu yang tinggi diakibatkan oleh beban berlebih yang menyebabkan tejadinya *flashover* ke peralatan listrik seperti isolator yang berada di dekatnya.
3. Gangguan hubung singkat antar fasa, merupakan gangguan yang disebabkan karena rusaknya isolasi antar fasa, bisa juga disebabkan oleh sentuhan langsung antar fasa. Selain itu gangguan ini juga dapat disebabkan oleh binatang yang melintasi jaringan dan menyentuh dua fasa SUTM.
4. Gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah, merupakan gangguan yang terjadi akibat petir yang menyambar ketiga fasa SUTM. Namun gangguan ini sangat jarang terjadi.

2.4 Peralatan Sistem Distribusi 20 kV

Proses penyaluran tenaga listrik dari gardu induk hingga sampai ke pelanggan memerlukan bermacam – macam peralatan serta kegunaanya masing – masing. Peralatan tersebut antara lain, jaringan tenaga listrik, isolator, gardu trafo tiang atau gardu distribusi serta peralatan pengaman dan *sectionalizer* seperti pemutus tenaga (PMT), pemisah (PMS) dan pemutus berbeban (PMB).

2.4.1 Jaringan Tegangan Menegah[6]

Pada sistem distribusi di Indonesia, lingkup Jaringan Tegangan Menengah dimulai dari keluaran terminal (*outgoing*) pemutus tenaga dari trafo penurun tegangan gardu induk, hingga sisi masukan (*incoming*) transformator distribusi 20 kV – 400 V.

Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah dapat dikelompokkan menjadi tiga (3) jenis konstruksi yakni :

a. Saluran Udara Tegangan Menegah (SUTM)

Konstruksi ini merupakan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pendistribusian tegangan menengah ke konsumen yang ada di Indonesia. Adapun ciri utama jaringan ini adalah penggunaan penghantar yang telanjang dan ditopang dengan isolator pada tiang beton maupun besi.

Penggunaan penghantar telanjang ini harus memperhatikan faktor keselamatan ketenagalistrikan seperti jarak aman minimum antar fasa, bangunan, tanaman dan jangkauan manusia. Jenis penghantar ini adalah penghantar tanpa isolasi atau telanjang AAAC (*All Alumunium Alloy Conductor*) dan penghatar berisolasi setengah (*half insulated single core*) AAAC-S.

Gambar 2.7 Saluran Udara Tegangan Menengah

b. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)

Dalam upaya meningkatkan keamanan dan keandalan penyaluran tenaga listrik, penggunakan penghantar udara tanpa isolasi atau telanjang dan juga penghantar udara berisolasi setengah dapat digantikan dengan penghantar udara berisolasi yang dipilin.

Isolasi penghantar antar fasanya tidak perlu dilindungi oleh pelindung mekanis, akan tetapi berat kabel pilin menjadi pertimbangan terhadap pemilihan kekuatan beban kerja tiang beton sebagai penopangnya.

Gambar 2.8 Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah

c. Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM)

Konstruksi ini merupakan jenis konstruksi yang aman dan andal untuk mendistribusikan tenaga listrik, akan tetapi relatif mahal untuk penyaluran daya yang sama. Hal ini dikarenakan isolasi penghantar atas fasa dan pelindung mekanis yang disyaratkan. Dibandingkan dengan SUTM penggunakan SKUTM memperkecil resiko kegagalan operasi yang diakibatkan oleh faktor eksternal dan faktor insternal. Kelompok SKUTM dibagi menjadi dua yakni: SKTM bawah tanah (*underground medium voltage cable*) dan SKUTM laut (*submarine medium voltage cable*).

2.4.2 Isolator

Merupakan isolasi atau pengaman penghantar bertegangan dengan tiang atau traves. Jenis konstruksinya dibedakan menjadi dua yaitu :

a. Isolator tumpu
   Terdiri dari pin insulator, pin *post* insulator dan *line post* insulator.
b. Isolator tarik
   Terdiri dari isolator piringan dan *long rod* insulator. Material *long rod* dapat berupa keramik, gelas maupun polimer.

2.4.3 Peralatan Hubung

Peralatan hubung dipasang pada percabangan atau pengalokasian seksi pada jaringan SUTM, hal ini bertujuan untuk memudahkan operasional. Peralatan hubung antara lain :

a. *Fuse Cut Out* (FCO)

Fuse Cut Out (FCO) dalam pemasangannya di lapangan dapat diletakkan pada konstruksi gardu trafo tiang maupun di percabangan pada jaringan tegangan menengan. FCO yang dipasang pada percabangan dapat disebut juga FCOB (*Fuse Cut Out Branch*). FCO merupakan pengaman lebur dalam bentuk *fuse link* [7]. Jenis karakteristik *fuse link* yaitu : tipe-K (cepat), tipe-T (lambat) dan tipe-H (tahan surja petir). Data aplikasi pengaman lebur serta kapasitasnya mengacu pada SPLN 64 tahun 1985. Pemasangan FCO pada gardu trafo tiang terbagi menjadi dua. Pertama pesangan FCO sebelum *lightning arrester*. Kedua pemasangan FCO setelah *lightning arrester*. Apabila pemasangan FCO diletakkan sebelum *lightning arrester* maka dipilih *fuse link* tipe-H (tahan surja petir), jika FCO dipasang setelah *lightning arrester* maka dipilih *fuse link* tipe-K (cepat).

Gambar 2.9 *Fuse Cut Out* (FCO)

b. Pemutus

Merupakan peralatan pengaman yang dapat dioperasikan dalam keadaan berbeban. Pemutus tenaga biasanya dilengkapi oleh pemadam busur api, jenis pemadam busur api antara lain gas SF6, vakum, maupun minyak. Pemutus tenaga dapat berupa *Circuit Breaker* (CB) yang dapat beroperasi dalam keadaan berbeban dan juga dalam keadaan gangguan. Pemutus lainnya yakni pemutus berbeban. Pemutus berbeban dapat dioperasikan dalam keadaan berbeban akan tetapi tidak boleh dioperasikan dalam keadaan gangguan. Contoh pemutus berbeban adalah *load break switch* (LBS). Untuk mengoperasikan dalam keadaan berbeban tentu harus memperhitungkan beban yang tersambung dengan peralatan itu sendiri. Dalam mengoperasikan LBS terdapat dua cara yakni secara manual dan juga otomatis. Pengoperasian secara otomatis dikendalian langsung oleh pengatur distribusi di masing – masing daerah dengan menggunakan SCADA. Dewasa ini terdapat jenis LBS *threeway*, yakni LBS yang dilengkapi dua masukan dan satu keluaran. Dalam pengaplikasiannya di lapangan, kedua masukan tersebut berasal dari dua penyulang

(*feeder*) yang berbeda. Peralatan ini bertujuan untuk meningkatkan keandalan, apabila terjadi gangguan pada penyulang utama sebagai masukan 1, penyulang pada masukan 2 akan otomatis menyuplai tegangan, sehingga akan menekan zona padam.

Gambar 2.10 Load Break Switch (LBS)

2.4.4 Gardu Distribusi[7]

Gardu Distribusi merupakan suatu bangunan gardu listrik yang terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PBHTM), Transformator Distribusi (TD), dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PBHTR) untuk memasok kebutuhan energi

listrik bagi para konsumen baik dengan Tegangan Menengah 20 kV maupun Tegangan Rendah (220/380V).

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan menjadi :

a. Jenis pemasangannya
   - Gardu pasangan dalam : Gardu beton dan Gardu kios.
   - Gardu pasangan luar : Gardu portal dan Gardu cantol.
b. Jenis konstruksinya
   - Gardu beton : bangunan sipil berupa beton dan batu.
   - Gardu tiang : gardu portal dan gardu cantol.
   - Gardu kios.
c. Jenis penggunaannya
   - Gardu pelanggan khusus.
   - Gardu pelanggan umum.

Gambar 2.11 Konstruksi Gardu Distribusi

2.5 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan sistem distribusi merupakan suatu ukuran tingkat penyedia pelayanan tenaga listrik. Dalam hal ini tolak ukur yang dijadikan ukuran dalam menentukan keandalan distem distribusi dilihat dari berapa lama sistem mengalami pemadaman dan seberapa sering sistem mengalami gangguan. Disamping itu tolak ukur lainnya yakni seberapa cepat waktu yang dibutuhkan sistem untuk memulihkan kembali pasca terjadinya gangguan.

Keandalan sistem distribusi dibedakan menjadi tiga yakni :

1. Keandalan sistem tinggi
   Dalam keadaan normal sistem dapat memberikan kapasitas yang cukup untuk kebutuhan beban puncak dengan variasi tegangan yang baik. Dalam keadaan saat terjadi gangguan maka sistem ini memerlukan peralatan dan pengaman yang cukup banyak agar terhindar dari berbagai macam gangguan.
2. Keandalan sistem menengah
   Dalam keadaan normal sistem dapat memberikan kapasitas yang cukup untuk kebutuhan beban puncak dengan variasi tegangan yang baik. Dalam keadaan saat terjadi gangguan maka sistem dapat memberikan suplai kerpada sebagian beban dalam keadaan beban puncak. Jadi dalam sistem membutuhkan peralatan yang cukup banyak untuk mengatasi gangguan pada sistem.
3. Keandalan sistem rendah
   Dalam keadaan normal sistem dapat memberikan kapasitas yang cukup untuk kebutuhan beban puncak dengan variasi tegangan yang baik dan dalam keadaan saat 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.

2.6 Definisi Keandalan Sistem Distribusi Menurut SPLN[5]

Berdasarkan SPLN 59 tahun 1985 mengenai keandalan pada sistem distribusi 20 kV dan 6 kV terdapat definisi dasar yaitu :

1. Pedamanan (*Interupption Of Suply*)
   Terhentinya pelayanan pada satu atau lebih komsumen, akibat dari satu atau lebih komponen mendapat gangguan.
2. Keluar (*Outage*)
   Keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya, diakibatkan karena beberapa peristiwa yang berhubungan dengan komponen tersebut.
3. Lama Keluar (*Outage Duration*)
   Periode dari saat permulaan komponen mengalami keluar sampai saat komponen dapat dioperasikan kembali sesuai dengan fungsinya.
4. Lama Keluar Paksa Transien (*Transient Forced Outage Duration*)
   Waktu singkat, karena alat pemutus mampu bekerja menutup kembali dengan cepat, tanpa merusak komponen.
5. Lama Keluar Paksa Permanen (*Permanent Forced Outage Duration*)
   Waktu yang diperlukan dari saat permulaan komponen mengalami keluar sampai mendapat perbaikan.
6. Lama Keluar Terencana (*Schedule Outage Duration*)
   Waktu yang diperlukan untuk perawatan dan pemeliharaan yang telah direncanakan.
7. Lama pemadaman (*Interuption Duration*)
   Waktu dari saat permulaan terjadinya pemadaman sampai saat menyala kembali. Apapun dianggap pemadaman adalah pemadaman sebagai akibat dari kegagalan menetap baik yang darurat maupun terencana.
8. Kegagalan Parsial (*Partial Failure*)
   Kegagalan parsial menggambarkan kondisi sebuah komponen yang bekerja tidak bisa sama dengan kemampuan yang semestinya tetapi tidak berarti tidak bisa bekerja sama sekali.

9. Kegagalan Total (*Complete Failure*)
   Kegagalan total, menggambarkan kondisi sebuah komponen yang sama sekali tidak bisa bekerja.
10. Keluar Paksa Transien (*Transient Forced Outage*)
    Keluar yang penyebabnya bisa hilang dengan sendirinya, sehingga alat atau komponen yang gagal tersebut bisa berfungsi normal kembali bisa secara otomatis atau setelah sebuah pemutus ditutup lagi, atau pelebur diganti. Contoh keluar darurat transien ialah sambaran petir yang tidak menyebabkan alat atau komponen mengalami kerusakan.
11. Keluar Paksa Permanen (*Permanent Forced Outage*)
    Keluar yang penyebabnya tidak bisa hilang dengan sendirinya, tetapi harus dihilangkan terlebih dahulu atau komponen yang keluar harus diganti atau diperbaiki sebelum komponen tersebut bisa digunakan kembali. Contoh keluar paksa permanan ialah sambaran petir, yang menyebabkan pecahnya isolator sehingga baru dapat berfungsi kembali sesudah isolator diganti.
12. Pemadaman Paksa (*Forced Interruption*)
    Pemadaman yang disebabkan oleh keluar darurat.
13. Pemadaman Terencana (*Schedule Interruption*)
    Pemadaman yang disebabkan oleh keluar terencana.
14. Pemadaman Sejenak (*Momentary Interruption*)
    Pemadaman yang waktunya terbatas diperlukan hanya untuk mengembalikan suplai dengan cara otomatis, dengan cara pengaturan jarak jauh atau dengan cara manual langsung dikerjakan oleh operator yang sudah siap di tempat. Pemadaman ini biasanya mmerlukan waktu tidak lebih dari 5 menit.
15. Pemadaman Temporer (*Temporary Interruption*)
    Pemadaman yang waktunya terbatas diperlukan hanya untuk mengembalikan suplai dengan cara manual yang dikerjakan oleh operator yang tidak siap di tempat. Pemadaman ini biasanya memerlukan waktu 1 – 2 jam.
16. Peadaman Bertahan (*Suistaned Intteruption*) Pemadaman yang bukan pemadaman sejenak, dan juga bukan pemadaman temporer.

2.7 Indeks Keandalan [5]

Berdasarkan SPLN – 59 tahun 1985, dua indeks keandalan yang digunakan dalam membandingkan penampilan sistem distribusi adalah indeks frekuensi pemadaman rata-rata dan indeks lama pemadaman rata-rata.

2.7.1 *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI)

SAIFI merupakan indeks rata – rata jumlah interupsi atau gangguan yang berkelanjutan setiap pelanggan per tahun. Untuk dapat menghitung indeks ini dapat menggunakan cara sebagai berikut :

$$SAIFI = \frac{Total\ jumlah\ pemadaman}{Total\ jumlah\ pelanggan\ yang\ dilayani} \quad (2.1)$$

$$SAIFI = \frac{\Sigma\lambda_{LP} \times \mathrm{N}_{LP}}{\Sigma\mathrm{N}}\ (kegagalan/tahun * pelanggan \quad (2.2)$$

Keterangan :

λ_{LP} :Jumlah laju kegagalan *load point* dalam satu tahun (kegagalan/tahun)

N_{LP} : Jumlah pelanggan *load point* yang mengalami pemadaman

N : Jumlah pelanggan pada penyulang

2.7.2 *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI)

SAIDI merupakan indeks rata – rata durasi atau lamanya waktu gangguan pada pelanggan dalam satu tahun. Untuk dapat menghitung indeks ini dapat menggunakan cara sebagai berikut :

$$SAIDI = \frac{\Sigma\ Durasi\ pemadaman\ pelanggan}{Total\ jumlah\ pelanggan\ yang\ dilayani} \quad (2.3)$$

$$SAIDI = \frac{\Sigma\ U_{LP} \times\ N_{LP}}{\Sigma N}(jam/tahun * pelanggan) \quad (2.4)$$

Keterangan :

U : Waktu rata – rata kegagalan *load point* dalam satu tahun (jam/tahun)

N_{LP} : Jumlah pelanggan *load point* yang mengalami pemadaman

N : Jumlah pelanggan pada penyulang

2.7.3 *Customer Average Interruption Duration Index* (CAIDI)

CAIDI merupakan waktu rata – rata yang dibutuhkan untuk mengembalikan pelayanan pelanggan dalam setiap gangguan/interupsi. Untuk dapat menghitung indeks ini dapat menggunakan cara sebagai berikut :

$$CAIDI = \frac{\Sigma \text{ Durasi pemadaman pelanggan}}{\text{Jumlah total gangguan pelanggan}} \tag{2.5}$$

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \ (jam/pelanggan * kegagalan) \tag{2.6}$$

2.7.4 *Average Service Availability Index* (ASAI)

ASAI merupakan representasi waktu ketersediaan daya untuk pelanggan dalan satu tahun. Untuk dapat menghitung indeks ini dapat menggunakan cara sebagai berikut :

$$ASAI = \frac{Jam\ ketersedian\ pelayanan\ pelanggan}{Kebutuhan\ jam\ pelayanan\ pelanggan} \tag{2.7}$$

$$ASAI = \frac{\Sigma\, N_{LP} \times 8760 - (\Sigma\, N_{LP} \times U_{LP})}{\Sigma\, N_{LP} \times 8760} \tag{2.8}$$

Keterangan :

U : Waktu rata – rata kegagalan *load point* dalam satu tahun (jam/tahun)

N_{LP} : Jumlah pelanggan *load point* yang mengalami pemadaman

8760 : Jumlah total jam dalam satu tahun

2.7.5 *Average Service Unavailability Index* (ASUI)

ASUI merupakan indeks yang merepresentasikan waktu ketidaktersediaan daya pada pelanggan dalan satu tahun. Untuk dapat menghitung indeks ini dapat menggunakan cara sebagai berikut :

$$ASUI = 1 - \left(\frac{Jam\ ketersedian\ pelayanan\ pelanggan}{Kebutuhan\ jam\ pelayanan\ pelanggan}\right) \quad (2.9)$$

$$ASUI = 1 - ASAI \quad (2.10)$$

2.7.6 Laju Kegagalan dan Waktu Perbaikan

Jumlah kegagalan dalam suatu interval tertentu yang dinyatakan dengan jumlah kegagalan per satuan waktu disebut juga laju kegagalan (λ). Peralatan listrik pada jaringan distribusi 20 kV memiliki nilai laju kegagalan yang dapat menyebabkan zona di sekitar peralatan listrik tersebut ikut mengalami kegagalan kerja. Di samping itu, masing – masing peralatan listrik memiliki nilai waktu perbaikan (r) atau *repair time*. Waktu perbaikan merupakan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan peralatan mulai dari terjadinya gangguan pada peralatan hingga peralatan tersebut dapat beroperasi kembali. Nilai laju kegagalan dan waktu perbaikan peralatan listrik mengacu pada Standar PLN – 59 tahun 1985. Tabel di bawah ini merupakan nilai laju kegagalan dan waktu perbaikan para peralatan listrik.

Tabel 2.1 Nilai Laju Kegagalan dan Waktu Perbaikan[5]

No.	Peralatan	Laju Kegagalan	Waktu Perbaikan
1.	Saluran udara	0,2/km/tahun	3 jam
2.	Pemutus tenaga	0,004/unit/tahun	10 jam
3.	Sakelar beban	0,003/unit /tahun	10 jam
4.	Sakelar pisah	0,003/unit /tahun	10 jam
5.	Trafo Distribusi	0,005/unit /tahun	10 jam

Waktu yang dibutuhkan untuk membuka atau menutup sakelar beban atau sakelar pisah adalah 0,15 jam. Proses membuka atau menutupnya sakelar beban dan sakelar pisah ini disebut juga *switvhing time*. Pada keandalan distribusi 20 kV indeks kerap kali pemadaman atau SAIFI dan indeks lama waktu padam SAIDI berdasarkan nilai standar atau target dari PLN (Majalah Fokus yang diterbitkan PT. PLN) adalah sebagai berikut :

SAIDI : 50 menit/pelanggan/tahun
(0,83 jam/pelanggan/tahun)
SAIFI : 1,2 kali/pelanggan/tahun

Berdasarkan standar lainnya yakni IEEE 01366-2003, nilai dari indeks keadalan yakni sebesar :

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

Untuk mendapatkan hasil indeks kegagalan menggunakan metode FMEA diperlukan perhitungan untuk menentukan indeks keandalan yang dihitung untuk setiap *load point* serta indeks keandalan secara keseluruhan.

a. *Failure rate* atau laju kegagalan untuk setiap *load point* (λ_{LP}) adalah hasil penjumlahan dari indeks – indeks secara keseluruhan dalam sistem dengan persamaan sebagai berikut :

$$\lambda_{LP} = \Sigma\, \lambda_i \tag{2.11}$$

Keterangan :
λ : Laju kegagalan

b. Waktu pemadaman pada setiap *load point* (U_{LP}) dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut ini :

$$U_{LP} = \Sigma\, \lambda_i . r_i \tag{2.12}$$

r : waktu perbaikan (*switching time*)

2.8 FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) merupakan suatu pendekatan untuk mengidentifikasi mode kegagalan dan penyebab kegagalan serta dampak kegagalan yang ditimbulkan oleh tiap – tiap komponen terhadap sistem. Setiap kegagalan yang ditimbulkan oleh masing – masing sistem akan memberikan dampak atau pengaruh. Metode ini diterapkan dalam mengevaluasi keandalan sistem distribusi yang didasari oleh kegagalan yang tejadi pada suatu peralatan dan pengaruhnya terhadap keandalan sistem.

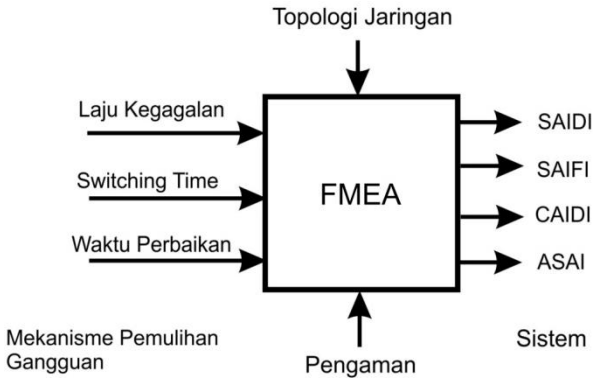
Adapun kegunaan dari metode FMEA ialah :

1. Dapat digunakan untuk pemeliharaan yang bersifat preventif.
2. Dapat digunakan untuk mendeteksi sistem apabila terjadi kegagalan.
3. Dapat digunakan untuk proses pemakaian peralatan baru.
4. Dapat digunakan untuk penggantian peralatan.

Berikut ini merupakan hal -hal yang dibutuhkan sebagai bahan analisis keandalan sistem distribusi dengan menggunakan metode FMEA

1. Diperlukan konfigurasi atau topologi jaringan dari tiap – tiap penyulang pada sistem distribusi 20 kV.
2. Diperlukannya data jaringan yang dimiliki oleh masing – masing peralatan seperti laju kegagalan, waktu perbaikan serta *switching time* dan juga data pendukung lainnya.
3. Diperlukan data konsumen yang meliputi data beban dan juga jumlah pelanggan pada setiap titik beban.
4. Penjumlahan yang berpengaruh pada setiap titik beban akibat kegagalan seperti laju kegagalan dan lamanya waktu ganggguan rata – rata dimana nilai tersebut sebagai dasar untuk mengetahui indeks SAIDI, SAIFI, CAIDI, ASAI dan ASUI.

Berikut ini merupakan skema dari metode FMEA yang ditunjukkan oleh Gambar 3.2.



Gambar 2.12 Skema Metode FMEA

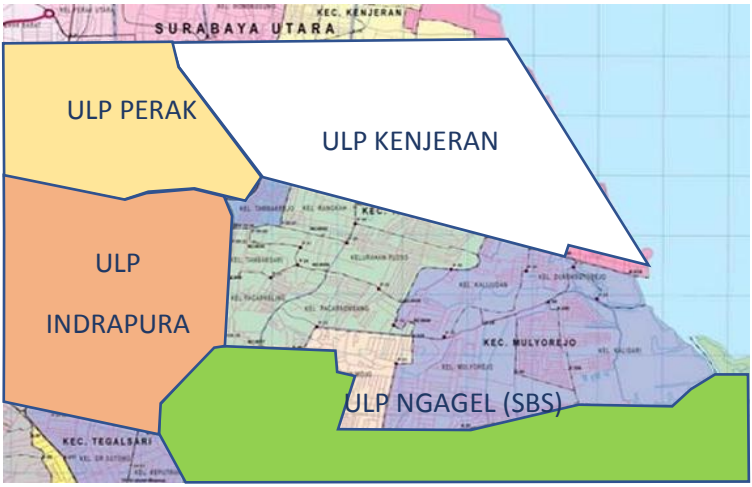
-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB III
ASET DAN KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI PT. PLN PERSERO UNIT LAYANAN PELANGGAN PLOSO

3.1 PT. PLN (Persero) UP3 Surabaya Utara ULP Ploso

PT. PLN (Persero) UP3 Surabaya Utara merupakan perusahaan listrik yang melayani pendistribusian tenaga listrik wilayah surabaya bagian utara. UP3 Surabaya Utara memiliki 6 Unit Layanan Pelanggan (ULP) yakni ULP Indrapura, ULP Ploso, ULP Tandes, ULP Perak, ULP Kennjeran dan ULP Embong Wungu. Pada Tugas Akhir ini aset serta keandalan dalam pendistribusian tenaga listrik terfokus pada Unit Layanan Pelanggan Ploso.

Wilayah kerja PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Ploso Surabaya Utara berbatasan dengan beberapa ULP diantaranya yakni, sebelah utara berbatasan dengan ULP Kenjeran, sebelah barat laut berbatasan dengan ULP Tandes, sebelah barat berbatasan dengan ULP Indrapura serta sebelah selatan berbatasan dengan ULP Ngagel.



Gambar 3.1 Peta Wilayah Kerja ULP Ploso

PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Ploso memiliki aset yang tertera pada Tabel 3.1 di bawah ini :

Tabel 3.1 Aset ULP Ploso

No.	Keterangan	Jumlah
1.	Jumlah Kecamatan	4 kecamatan
2.	Jumlah Wilayah	17.43 km^2
3.	Jumlah Pelanggan	67.720 pelanggan
4.	Daya Tersambung	242.979.650 VA
5.	Rupiah Pendapatan/Bulan	±41.45 Milyar
6.	Jumlah Penyulang	19 penyulang
7.	Panjang JTM	250.845 kms
8.	Jumlah Pegawai	11 orang

3.2 Penyulang di ULP Ploso

Tugas akhir ini membahas evaluasi keandalan distribusi pada enam (6) penyulang dari 19 penyulang yang dimiliki ULP Ploso. Pemilihan penyulang yang dievaluasi berdasarkan permasalahan yang terjadi di lapangan. Berikut ini merupakan penyulang yang dimiliki ULP Ploso yang tertera pada Tabel 3.2 :

Tabel 3.2 Penyulang ULP Ploso

Gardu Induk	Trafo					Penyulang
	No. Trafo	Prim. (kV)	Sek. (kV)	Daya (MVA)	Panjang (kms)	
Kenjeran	1	150	20	50	3,63	Tambak Deres
					2,243	Kalijudan
					2,327	Babatan
					5,156	Tambak Sari
					5,022	Karang Asem
					9,001	Residen Sudirman
	2	150	20	50	13,565	Mojoarum
					10,325	Darma Husada
					13,859	Mulyosari
					12,8	Rangkah
	3	150	20	60	21,108	Tempurejo
					6,74	Wisper
					1,166	Gersikan
					6,486	Bogen
Kalisari	1	150	20	60	2,15	Arkadia
					2,152	Ir. Soekarno
Simpang	1	150	20	50	11,692	Tapak Siring
	2	150	20	50	1,437	Galaxy
Undaan	1	150	20	60	4,08	Soka

Berdasarkan Tabel 3.2 dengan total yakni 19 penyulang, beberapa penyulang yang akan dievaluasi keandalannya adalah penyulang mojoarum, penyulang bogen, penyulang wisma permai, penyulang karang asem, penyulang gersikan dan penyulang soka. Pemilihan penyulang tersebut didasari fakta di lapangan bahwasannya penyulang ini kerap kali mengalami gangguan ketika beroperasi. Pemilihan penyulang ini juga didasari dengan keragaman beban. Beberapa penyulang melayani rumah sakit, perguruan tinggi, sekolah, perkantoran, pusat perbelanjaan, restoran dan juga perumahan.

3.2.1 Penyulang Mojoarum

Penyulang Mojoarum disuplai oleh Gardu Induk Kenjeran trafo 2 dengan panjang saluran 13.565 kms. Penyulang mojoarum merupakan salah satu penyulang yang juga menyuplai listrik untuk ULP Ploso. Penyulang mojoarum melayani pelanggan sebanyak 2.585 pelanggan dan memiliki trafo sebanyak 47 buah dengan total daya sebesar 14.940 VA. Penyulang mojoarum dibagi dalam 4 *section* yang dihubungkan dengan oleh sakelar pemutus beban.

3.2.2 Penyulang Bogen

Penyulang bogen disuplai oleh Gardu Induk Kenjeran trafo 3 dengan panjang saluran 6.486 kms. Penyulang bogen merupakan penyulang yang sering mengalami gangguan pada tahun 2018. Penyulang bogen melayani pelanggan sebanyak 5190 pelanggan dan memiliki trafo sebanyak 40 buah dengan total daya sebesar 5705 VA. Penyulang bogen dibagi dalam 3 *section* yang dihubungkan dengan oleh sakelar pemutus beban.

3.2.3 Penyulang Wisma Permai

Penyulang wisma permai disuplai oleh Gardu Induk Kenjeran trafo 3 dengan panjang saluran 6.54 kms. Penyulang wisma permai melayani pelanggan sebanyak 984 pelanggan dan memiliki trafo sebanyak 18 buah dengan total daya sebesar 7.210 VA. Penyulang wisma permai dibagi dalam 3 *section* yang dihubungkan dengan oleh sakelar pemutus beban.

3.2.4 Penyulang Karang Asem

Penyulang karang asem disuplai oleh Gardu Induk Kenjeran trafo 1 dengan panjang saluran 5.022 kms. Penyulang karang asem merupakan penyulang yang paling sering mengalami gangguan pada tahun 2018. Penyulang karang asem melayani pelanggan sebanyak 3.577 pelanggan dan memiliki trafo sebanyak 28 buah dengan total daya sebesar 6.525 VA. Penyulang karang asem dibagi dalam 2 *section* yang dihubungkan dengan oleh sakelar pemutus beban.

3.2.5 Penyulang Gersikan

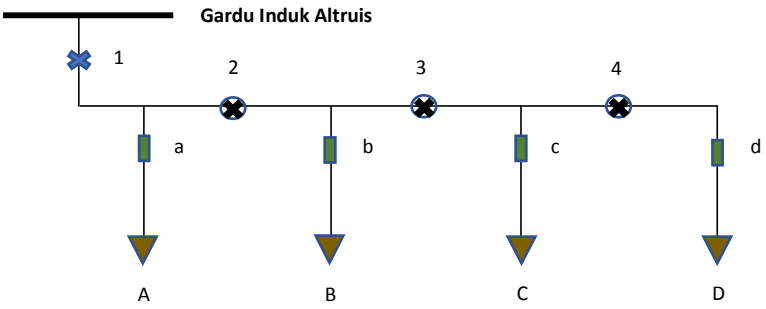
Penyulang gersikan disuplai oleh Gardu Induk Kenjeran trafo 3 dengan panjang saluran 1.166 kms. Penyulang gersikan merupakan penyulang yang paling sering mengalami gangguan pada tahun 2018. Penyulang gersikan melayani pelanggan sebanyak 2.909 pelanggan dan memiliki trafo sebanyak 53 buah dengan total daya sebesar 9.863 VA. Penyulang gersikan dibagi dalam 4 *section* yang dihubungkan dengan oleh sakelar pemutus beban.

3.2.6 Penyulang Soka

Penyulang soka disuplai oleh Gardu Induk Undaan trafo 1 dengan panjang saluran 4.04 kms. Penyulang soka merupakan penyulang yang kerap kali mengalami gangguan pada tahun 2018. Penyulang soka melayani pelanggan sebanyak 381 pelanggan dan memiliki trafo sebanyak 7 buah dengan total daya sebesar 6.041,6 VA. Penyulang soka dibagi dalam 2 *section* yang dihubungkan dengan oleh sakelar pemutus beban.

3.3 Contoh Evaluasi dan Perhitungan Menggunakan Metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

Dalam hal ini akan dijelaskan mengenai contoh evaluasi dan perhitungan dasar menggunakan metode FMEA. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan indeks keandalan SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI dan ASUI. Di bawah ini merupakan contoh topologi jaringan radial sederhana yang dilengkapi *sectionalizer* dan juga *fuse*. Terdapat empat *sectionalizer* berupa pemutus beban.



Gambar 3.3 Topologi Jaringan Sederhana

Berdasarkan Gambar 3.2, jaringan tersebut memiliki *load point* sebanyak 4, *fuse* sebanyak 4, serta *section* sebanyak 4. Selanjutnya membuat data saluran yang tediri dari panjang saluran dan laju kegagalan yang dapat terlihat dari Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.3 Data Saluran

Komponen *Section*	**Panjang saluran (km)**	λ_{LP} **f/tahun**	r_L **jam**
1	2	0,2	4
2	3	0,3	4
3	1	0,1	4
4	2	0,2	4
Komponen Distributor	**Panjang saluran (km)**	λ_{LP} **f/tahun**	r_L **jam**
a	1	0,2	2
b	2	0,4	2
c	3	0,6	2
d	1	0,2	2
Loaad Point	**Jumlah Pelanggan**	**Beban Terhubung (kW)**	
A	1000	5000	
B	700	3000	
C	800	4000	
D	500	2000	

Diketahui nilai *switching time* yaitu sebesar 0,5 jam.

Tabel 3.4 Evaluasi Keandalan

Komponen Gagal	LP A			LP B			LP C			LP D		
	λ_L f/yr	r_L Hr	U Hr/yr	λ_L f/yr	r_L Hr	U Hr/yr	λ_L f/yr	r_L Hr	U Hr/yr	λ_L f/yr	r_L Hr	U Hr/yr
Section												
1	0.2	4	0.8	0.2	4	0.8	0.2	4	0.8	0.2	4	0.8
2	0.3	0.5	0.15	0.3	4	1.2	0.3	4	1.2	0.3	4	1.2
3	0.1	0.5	0.05	0.1	0,5	0.05	0.1	4	0.4	0.1	4	0.4
4	0.2	0.5	0.1	0.2	0.5	0.1	0.2	0.5	0.1	0.2	4	0.8
Distributor												
a	0.2	2	0.4									
b				0.4	2	0.8						
c							0.6	2	1.2			
d										0.2	2	0.4
Total	1	1.5	1.5	1.2	2.45	2.95	1.4	2.65	3.7	1	3.6	3.6

Berikut ini merupakan penjelasan dari hasil tabel :

1. Apabila terjadi kegagalan pada *section* 1, maka pemutus tenaga pada Gardu Induk akan bekerja (*open*) sehingga menyebabkan pemadaman dari *load point* A hingga *load point* D. Oleh sebab itu semua *load point* mendapatkan waktu perbaikan selama 4 jam karena adanya perbaikan pada *section* 1.
2. Apabila terjadi kegagalan pada *section* 2, maka pemutus tenaga pada Gardu Induk akan bekerja (*open*) sehingga menyebabkan pemadaman dari *load point* A hingga *load point* D. Akan tetapi zona padam dapat ditekan dengan membuka *sectionalizer* 2 serta pemutus tenaga pada Gardu Induk dioperasikan kembali (*close*), sehingga *load point* A dapat tersuplai tegangan dengan mendapatkan waktu perbaikan selama 0,5 jam. Oleh sebab itu *load point* B hingga *load point* D mendapatkan waktu perbaikan selama 4 jam.
3. Apabila terjadi kegagalan pada *section* 3, maka pemutus tenaga pada Gardu Induk akan bekerja (*open*) sehingga menyebabkan pemadaman dari *load point* A hingga *load point* D. Akan tetapi zona padam dapat ditekan dengan membuka *sectionalizer* 3 serta pemutus tenaga pada Gardu Induk dioperasikan kembali (*close*), sehingga *load point* A hingga *load point* B dapat tersuplai tegangan dengan mendapatkan waktu perbaikan selama 0,5 jam. Oleh sebab itu *load point* C hingga *load point* D mendapatkan waktu perbaikan selama 4 jam.
4. Apabila terjadi kegagalan pada *section* 4, maka pemutus tenaga pada Gardu Induk akan bekerja (*open*) sehingga menyebabkan pemadaman dari *load point* A hingga *load point* D. Akan tetapi zona padam dapat ditekan dengan membuka *sectionalizer* 4 serta pemutus tenaga pada Gardu Induk dioperasikan kembali (*close*), sehingga *load point* A hingga *load point* C dapat tersuplai tegangan dengan mendapatkan waktu perbaikan selama 0,5 jam. Oleh sebab itu *load point* D mendapatkan waktu perbaikan selama 4 jam.
5. Apabila terjadi kegagalan pada distributor a, maka *fuse* pada pangkal distributor a akan bekerja (*open*) sehingga terjadi pemadaman pada *load point* A. Namun kegagalan ini tidak memberikan pengaruh terhadap *load point* B hingga *load point* D, karena *fuse* langsung

melokalisasi gangguan dengan kata lain menekan zona padam tanpa membuat pemutus tenaga pada Gardu Induk bekerja (*open*). Oleh sebab itu hanya *load point* A yang mendapatkan waktu perbaikan selama 2 jam.

6. Apabila terjadi kegagalan pada distributor b, maka *fuse* pada pangkal distributor b akan bekerja (*open*) sehingga terjadi pemadaman pada *load point* B. Namun kegagalan ini tidak memberikan pengaruh terhadap *load point* A, *load point* C hingga *load point* D, karena *fuse* langsung melokalisasi gangguan dengan kata lain menekan zona padam tanpa membuat pemutus tenaga pada Gardu Induk bekerja (*open*). Oleh sebab itu hanya *load point* B yang mendapatkan waktu perbaikan selama 2 jam.
7. Apabila terjadi kegagalan pada distributor c, maka *fuse* pada pangkal distributor c akan bekerja (*open*) sehingga terjadi pemadaman pada *load point* C. Namun kegagalan ini tidak memberikan pengaruh terhadap *load point* A, *load point* B dan *load point* D, karena *fuse* langsung melokalisasi gangguan dengan kata lain menekan zona padam tanpa membuat pemutus tenaga pada Gardu Induk bekerja (*open*). Oleh sebab itu hanya *load point* C yang mendapatkan waktu perbaikan selama 2 jam.
8. Apabila terjadi kegagalan pada distributor d, maka *fuse* pada pangkal distributor d akan bekerja (*open*) sehingga terjadi pemadaman pada *load point* D. Namun kegagalan ini tidak memberikan pengaruh terhadap *load point* A hingga *load point* C, karena *fuse* langsung melokalisasi gangguan dengan kata lain menekan zona padam tanpa membuat pemutus tenaga pada Gardu Induk bekerja (*open*). Oleh sebab itu hanya *load point* D yang mendapatkan waktu perbaikan selama 2 jam.

Selanjutnya dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai keandalan jaringan distribusi berdasarkan data dari Tabel 3.4. adapun perhitungan yang diperoleh yakni :

Dengan menggunakan persamaan 2.2 maka akan didapat nilai SAIFI sebesar :

$$SAIFI = \frac{(1000 \times 1) + (800 \times 1.4) + (700 \times 1.2) + (500 \times 1)}{1000 + 700 + 800 + 500}$$

$$= 1.153 kali/pelanggan/tahun$$

Selanjutnya dengan menggunakan persamaan 2.4 maka akan didapat nilai SAIDI sebesar :

$$SAIDI = \frac{(1000 \times 1.5) + (700 \times 2.95) + (800 \times 3.7) + (500 \times 3.6)}{1000 + 800 + 700 + 500}$$

$$= 2.775 jam/pelanggan/tahun$$

Setelah memperoleh hasil SAIFI dan SAIDI, dengan menggunakan persamaan 2.6 maka akan didapat nilai CAIDI sebesar :

$$CAIDI = \frac{2.775}{1.153}$$

$$= 2.48 jam/pelanggan/tahun$$

Kemudian dengan menggunakan persamaan 2.8 maka akan didapat nilai ASAI sebesar :

$$ASAI = \frac{3000 \times 8760 - 8325}{3000 \times 8760}$$

$$= 0.999683$$

Dengan menggunakan persamaan 2.10 maka akan didapat nilai ASUI sebesar :

$$ASUI = 1 - ASAI$$
$$= 1 - 0.999683$$
$$= 0.000317$$

3.4 Upaya Peningkatan Keandalan

Ada beberapa hal yang perlu dilakukan dalam upaya meningkatkan keandalan sistem distribusi 20 kV. hal – hal tersebut antara lain :

1. Lamanya waktu pemadaman
   Untuk dapat menekan waktu pemadaman yang terjadi maka perlu dilakukan *upgrading* waktu perbaikan pada peralatan jaringan distribusi 20 kV dari metode konvensional menjadi metode otomatis. Hal tersebut dapat mempercepat proses pemulihan sehingga peralatan listrik dapat tersuplai tegangan dan bekerja sebagaimana mestinya.
2. Kerap kalinya pemadaman
   Untuk dapat mengurangi kerap kalinya pemadaman yang terjadi dapat dilakukan dengan membuat pemeliharaan yang terjadwal atau *preventive maintenance* pada peralatan jaringan distribusi 20 kV. Hal ini akan memberikan dampak positif pada peningkatan keandalan sistem serta meningkatkan performa peralatan. Akan tetapi lain halnya apabila pemadaman terjadi akibat faktor ekternal seperti cuaca, bencana alam, hewan, tumbuhan serta kelalaian manusia.

Di samping itu rekonfigurasi jaringan tegangan menengah juga merupakan salah satu cara untuk memperbaiki keandalan sistem. Dengan mengurangi beban ke penyulang yang masih memiliki beban yang sedikit sehinggan angka pemadaman pada pemadaman dapat ditekan. Selain itu dapat juga dilakukan penambahan *sectonalizer* untuk proses manuver beban. Terdapat dua kondisi pada *sectinalizer* yakni *perfect switching* dan *imperfect switching*. *Perfect switching* merupakan suatu kondisi dimana *sectionalizer* bekerja dengan sempurna tanpa adanya kegagalan kerja saat beroperasi. Sedangkan *imperfect switching* merupakan kondisi dimana *sectionalizer* dapat mengalami kegagalan kerja sehingga tidak dapat melokalisir gangguan. Begitu pula dengan peralatan pemutus lainnya yakni *fuse*, *fuse* dapat bekerja secara sempurna tanpa mengalami kegagalan setiap adanya gangguan serta *fuse* juga memiliki potensi gagal untuk memproteksi.

Dalam tugas akhir ini, kondisi yang digunakan pada *sectionalizer* ialah kondisi *perfect switching*. Artinya *sectionalizer* akan bekerja secara sempurna dalam melokalisir gangguan dan tidak

mengalami kegagalan proteksi oleh *fuse*, sehingga *fuse* akan selalu berhasil memutus saluran ketika terjadi gangguan. Pada proses rekonfigurasi jaringan diawali dengan pemodelan jaringan yang akan dianalisis dengan topologi yang dideskripsikan dengan cabang – cabangnya. Setiap cabang dan komponen juga dipertimbangkan seperti jumlah cabang, jumlah komponen, jumlah *load point*, serta data pelanggan dan data keandalan setiap peralatan yang mengacu pada Standar PLN – 59 tahun 1985. Didasari hal tersebut selanjutnya penempatan *sectionalizer* dan *fuse* dilakukan. Perubahan penempatan maupun penambahan *fuse* akan memberikan pengaruh terhadap nilai keandalan. dengan melakukan rekonfigurasi dalam hal ini penambahan *fuse* maka akan didapat prioritas lokasi untuk pemasangan peralatan, sehingga dapat menghasilkan nilai keandalan yang optimal.

----- Halaman ini sengaja dikosongkan -----

BAB IV
ANALISA DAN EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV ULP PLOSO

Evaluasi merupakan suatu kegiatan yang dilakukan berkenaan dengan berbagai proses untuk menentukan nilai dari suatu hal. Dengan kata lain evaluasi adalah proses menentukan nilai untuk suatu hal yang didasarkan pada acuan – acuan tertentu untuk menentukan sebuah tujuan. Dalam hal ini evaluasi keandalan sistem distribusi merupakan suatu proses untuk mengetahui bagaimana keandalan dari suatu sistem distribusi saat terjadi kegagalan dan proses perbaikan dari sistem tersebut agar sistem dapat berjalan dengan normal kembali. Evaluasi juga menjadi bekal untuk memprediksi bagaimana cara memperkirakan suatu sistem distribusi dapat beroperasi sebagaimana mestinya dengan menambahkan komponen maupun merekonfigurasi jaringan distribusi itu sendiri.

Terdapat berbagai macam cara maupun metode untuk mengevaluasi sebuah keandalan sistem. Metode yang digunakan dalam mengevaluasi keandalan sistem distribusi di PT. PLN (Persero) ULP Ploso adalah metode FMEA (*Falure Mode and Effect Analysis*). Hasil yang didapat berupa indeks kegagalan yaitu SAIDI, SAIFI, CAIDI, ASAI dan ASUI. Indeks tersebut didasari dari topologi jaringan distribusi 20 kV milik ULP Ploso, laju kegagalan peralatan dalam per tahun, waktu perbaikan (*repair time*) peralatan, serta waktu yang diperlukan untuk menemukan gangguan dan melokalisasi gangguan sehingga sistem distribusi dapat beroperasi kembali (*switching time*). Komponen *sectionalizer* pada tugas akhir ini diasumsikan selalu bekerja dalam kondisi *perfect switching*, serta peralatan pensakelaran lainnya seperti *Fuse Cut Out Branch* (FCOB) juga diasumsikan bekerja secara sempurna menjadi pengaman saat terjadi gangguan. Hal ino dilakukan untuk mempermudah analisa keandalan pada sistem.

Tahapan awal yang dilakukan untuk mengevaluasi keandalan sistem distribusi menggunakan metode FMEA (*Falure Mode and Effect Analysis*) ialah mengumpulkan data jaringan mulai dari data penyulang, data peralatan pemutus, data panjang saluran udara tegangan menengah, data trafo distribusi, serta data beban (*load point*). Masing – masing peralatan tersebut memiliki laju kegagalan yang mengacu pada Standar PLN 59 tahun 1985. Selain laju kegagalan pada peralatan terdapat juga waktu perbaikan, yakni waktu yang dibutuhkan sebuah peralatan ketika terjadi gangguan hingga dapat beroperasi sebagaimana mestinya. Berangkat dari mode kegagalan tiap – tiap peralatan pada jaringan tentunya akan menimbulkan efek atau pengaruh pada *load point*. Oleh sebab itu didapat tabel FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) pengaruh mode kegagalan terhadap *load point*. Selanjutnya dapat diketahui jumlah keseluruhan laju kegagalan pada masing – masing peralatan dan lama waktu pemadaman untuk masing – masing *load point*, dimana nilai tersebut dapat digunakan untuk memperoleh indeks keandalan pada jaringan.

Adapun upaya perbaikan keandalan dilakukan ketika nilai dari indeks keandalan masih di luar standar. Upaya ini diharapkan dapat memperbaiki indeks keandalan jaringan yang nilainya sesuai dengan standar atau mendekati standar. Rekonfigurasi jaringan dilakukan dalam upaya perbaikan ini dengan menempatkan FCOB (*Fuse Cut Out Branch*) atau sakelar percabangan di lokasi tertentu sehingga dapat menekan nilai indeks kegagalan yang masih di luar standar.

4.1 Sistem Distribusi Gardu Induk di ULP Ploso

Dalam hal ini evaluasi keandalan sistem distribusi dilakukan pada beberapa penyulang di ULP Ploso dari dua Gardu Induk yang berbeda serta transformator penurun tegangan dari 150 kV ke 20 kV yang berbeda pula. Terdapat empat Gardu Induk yang menyuplai wilayah ULP Ploso, dua dari empat Gardu Induk yang melayani ULP Ploso hanya terdapat masing – masing dua penyulang, dimana penyulang tersebut untuk melayani pelanggan khusus dan juga pelanggan premium. Untuk itu pemilihan penyulang sebagai bahan evaluasi keandalan sistem distribusi didasari oleh keberagaman beban dan permasalahan yang terjadi di lapangan. Dua Gardu Induk lainnya adalah Gardu Induk Kenjeran dan Gardu Induk Undaan. Hampir sebagian besar Gardu Induk Kenjeran melayani penyulang – penyulang di ULP Ploso.

4.1.1 Gardu Induk Kenjeran

Berdasarkan data SLD (terlampir), Gardu Induk Kenjeran memiliki tiga transformator daya utama dengan 25 penyulang. Terdapat 14 penyulang yang merupakan aset ULP Ploso. Adapun penyulang yang akan dievaluasi keandalannya dari Gardu Induk Kenjeran yakni :

- Penyulang Mojoarum
- Penyulang Bogen
- Penyulang Wisma Permai
- Penyulang Karang Asem
- Penyulang Gersikan

4.1.2 Gardu Induk Undaan

Berdasarkan data SLD (terlampir), Gardu Induk Undaan memiliki satu transformator daya utama dengan 12 penyulang. Terdapat 1 penyulang yang merupakan aset ULP Ploso. Adapun penyulang yang akan dievaluasi keandalannya dari Gardu Induk Kenjeran yakni Penyulang Soka.

4.2 Penyulang Mojoarum

Penyulang Mojoarum merupakan penyulang yang suplai dari Gardu Induk Kenjeran trafo 2. Berikut ini merupakan data dari Penyulang Mojoarum :

Tabel 4.1 Data Beban Penyulang Mojoarum

DATA TRAFO DISTRIBUSI			
No. *Load Point*	**Nomor Gardu**	**Daya (kVA)**	**Jumlah Pelanggan**
1	AB 058	200	222
2	AB 696	100	1
3	AB 059	100	155
4	AB 188	400	367
5	AB 062	160	1
6	AB 072	200	95
7	AB 073	160	82
8	AB 074	160	99
9	AB 707	2180	1
10	AB 663	250	45
11	AB 662	100	10
12	AB 022	160	1
13	AB 734	100	1
14	AB 423	555	1
15	AB 574	555	1
16	AB 422	600	1
17	AB 441	50	1

Tabel 4.1 Data Beban Penyulang Mojoarum (Lanjutan)

DATA TRAFO DISTRIBUSI			
No. *Load Point*	**Nomor Gardu**	**Daya (kVA)**	**Jumlah Pelanggan**
18	AB 421	555	1
19	AB 565	2000	1
20	AB 607	250	1
21	AB 452	160	1
22	AB 451	160	3
23	AB 427	600	1
24	AB 699	1110	1
25	AB 568	200	1
26	AB 642	160	18
27	AB 643	250	4
28	AB 641	160	19
29	AB 724	160	1
30	AB 428	200	192
31	AB 388	200	146
32	AB 390	160	99
33	AB 389	150	90
34	AB 386	250	204
35	AB 364	160	99
36	AB 385	160	107
37	AB 383	75	113
38	AB 360	160	55
39	AB 384	160	4

Tabel 4.1 Data Beban Penyulang Mojoarum (Lanjutan)

DATA TRAFO DISTRIBUSI			
No. *Load Point*	**Nomor Gardu**	**Daya (kVA)**	**Jumlah Pelanggan**
40	AB 362	160	75
41	AB 718	240	1
42	AB 382	160	128
43	AB 434	200	72
44	AB 435	200	114
45	AB 723	160	1
46	AB 429	250	182
47	AB 431	100	40

Tabel 4.2 Data Panjang Saluran Penyulang Mojoarum

Data Panjang Saluran			
Saluran	**L (kms)**	**Saluran**	**L (kms)**
L1	0,450	L13	0,135
L2	0,225	L14	0,495
L3	0,135	L15	0,045
L4	0,090	L16	0,810
L5	0,135	L17	0,090
L6	0,003	L18	0,045
L7	1,395	L19	0,045
L8	0,090	L20	0,045
L9	0,180	L21	0,135
L10	0,360	L22	0,045
L11	0,270	L23	0,045
L12	0,003	L24	0,045

Tabel 4.2 Data Panjang Saluran Penyulang Mojoarum (Lanjutan)

Data Panjang Saluran			
Saluran	**L (kms)**	**Saluran**	**L (kms)**
L25	0,135	L42	0,360
L26	0,090	L43	0,270
L27	0,045	L44	0,225
L28	0,045	L45	0,360
L29	0,003	L46	0,360
L30	0,135	L47	0,135
L31	0,090	L48	0,090
L32	0,180	L49	0,360
L33	0,090	L50	0,003
L34	0,045	L51	0,180
L35	0,045	L52	0,180
L36	0,045	L53	0,225
L37	0,045	L54	0,405
L38	0,003	L55	0,225
L39	0,180	L56	0,450
L40	0,135	L57	0,045
L41	0,135	L58	0,405

Pada metode yang digunakan yakni metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) nilai dari laju kegagalan dan waktu perbaikan mengacu pada Standar PLN – 59 tahun 1985 seperti yang tertera di bawah ini :

Tabel 4.3 Standar Laju Kegagalan Berdasarkan SPLN-59 1985[5]

No.	Peralatan	Laju Kegagalan	Waktu Perbaikan
1.	Saluran udara	0,2/km/tahun	3 jam
2.	Pemutus tenaga	0,004/unit/tahun	10 jam
3.	Sakelar beban	0,003/unit/tahun	10 jam
4.	Sakelar pisah	0,003/unit/tahun	10 jam
5.	Trafo Distribusi	0,005/unit/tahun	10 jam

Waktu yang diperlukan untuk membuka dan menutup kembali pemutus tenaga dan pemutus beban (*switching time*) yakni sebesar 0,15 jam.

4.3 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan dengan motedo FMEA menggunakan Ms. Excel

Berdasarkan data yang diperoleh selanjutnya yakni melakukan perhitungan menggunakan Ms. Excel dengan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) pada setiap *load point*. Berikut ini merupakan hasil perhitungan indeks keandalan menggunakan Ms. Excel untuk penyulang mojoarum :

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan pada Penyulang Mojoarum

	λ	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP1	2,459	3,35447	222	0,19101	0,260564	1,36416	0,9996	0,00038
LP2	2,459	3,35447	1	0,00086	0,001174	1,36416	0,9996	0,00038
LP3	2,459	3,35447	155	0,13336	0,181925	1,36416	0,9996	0,00038
LP4	2,459	3,35447	367	0,31576	0,430752	1,36416	0,9996	0,00038
LP5	2,459	3,35447	1	0,00086	0,001174	1,36416	0,9996	0,00038
LP6	2,459	3,35447	95	0,08174	0,111503	1,36416	0,9996	0,00038
LP7	2,459	3,35447	82	0,07055	0,096244	1,36416	0,9996	0,00038
LP8	2,459	3,35447	99	0,08518	0,116198	1,36416	0,9996	0,00038
LP9	2,459	3,35447	1	0,00086	0,001174	1,36416	0,9996	0,00038
LP10	2,459	3,35447	45	0,03872	0,052817	1,36416	0,9996	0,00038
LP11	2,459	3,35447	10	0,0086	0,011737	1,36416	0,9996	0,00038
LP12	2,459	3,35447	1	0,00086	0,001174	1,36416	0,9996	0,00038
LP13	2,459	3,35447	1	0,00086	0,001174	1,36416	0,9996	0,00038
LP14	2,459	1,76676	1	0,00086	0,000618	0,71849	0,9998	0,0002
LP15	2,459	1,76676	1	0,00086	0,000618	0,71849	0,9998	0,0002
LP16	2,459	1,76676	1	0,00086	0,000618	0,71849	0,9998	0,0002
LP17	2,459	1,76676	1	0,00086	0,000618	0,71849	0,9998	0,0002
LP18	2,459	1,76676	1	0,00086	0,000618	0,71849	0,9998	0,0002
LP19	2,459	1,76676	1	0,00086	0,000618	0,71849	0,9998	0,0002
LP20	2,459	1,76676	1	0,00086	0,000618	0,71849	0,9998	0,0002

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan pada Penyulang Mojoarum (Lanjutan)

	λ	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP21	2,459	1,76676	1	0,00086	0,000618	0,71849	0,9998	0,0002
LP22	2,459	1,76676	3	0,00258	0,001855	0,71849	0,9998	0,0002
LP23	2,459	0,8638	1	0,00086	0,000302	0,35128	0,9999	9,9E-05
LP24	2,459	0,8638	1	0,00086	0,000302	0,35128	0,9999	9,9E-05
LP25	2,459	4,30477	1	0,00086	0,001506	1,75062	0,9995	0,00049
LP26	2,459	4,30477	18	0,01549	0,027112	1,75062	0,9995	0,00049
LP27	2,459	4,30477	4	0,00344	0,006025	1,75062	0,9995	0,00049
LP28	2,459	4,30477	19	0,01635	0,028618	1,75062	0,9995	0,00049
LP29	2,459	4,30477	1	0,00086	0,001506	1,75062	0,9995	0,00049
LP30	2,459	4,30477	192	0,1652	0,289194	1,75062	0,9995	0,00049
LP31	2,459	4,30477	146	0,12562	0,219908	1,75062	0,9995	0,00049
LP32	2,459	4,30477	99	0,08518	0,149116	1,75062	0,9995	0,00049
LP33	2,459	4,30477	90	0,07744	0,13556	1,75062	0,9995	0,00049
LP34	2,459	4,30477	204	0,17552	0,307268	1,75062	0,9995	0,00049
LP35	2,459	4,30477	99	0,08518	0,149116	1,75062	0,9995	0,00049
LP36	2,459	4,30477	107	0,09206	0,161165	1,75062	0,9995	0,00049
LP37	2,459	4,30477	113	0,09722	0,170203	1,75062	0,9995	0,00049
LP38	2,459	4,30477	55	0,04732	0,082842	1,75062	0,9995	0,00049
LP39	2,459	4,30477	4	0,00344	0,006025	1,75062	0,9995	0,00049
LP40	2,459	4,30477	75	0,06453	0,112966	1,75062	0,9995	0,00049

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan pada Penyulang Mojoarum (Lanjutan)

	λ	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP41	2,459	4,30477	1	0,00086	0,001506	1,75062	0,9995	0,00049
LP42	2,459	4,30477	128	0,11013	0,192796	1,75062	0,9995	0,00049
LP43	2,459	4,30477	72	0,06195	0,108448	1,75062	0,9995	0,00049
LP44	2,459	4,30477	114	0,09808	0,171709	1,75062	0,9995	0,00049
LP45	2,459	4,30477	1	0,00086	0,001506	1,75062	0,9995	0,00049
LP46	2,459	4,30477	182	0,15659	0,274132	1,75062	0,9995	0,00049
LP47	2,459	4,30477	40	0,03442	0,060249	1,75062	0,9995	0,00049

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat terlihat indeks kegagalan dari perhitungan secara manual menggunakan Ms. Excel pada penyulang mojoarum. Hasil dari perhitungan tersebut didapat dengan menggunakan rumus indeks keandalan sebagai berikut :

- SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

Berikut ini merupakan perhitungan untuk memperoleh nilai SAIFI pada setiap *load point*. Berdasarkan tabel 4.4 *load point* 1 atau LP1 memiliki nilai laju kegagalan sebesar 2.459 kegagalan/tahun serta jumlah pelanggan pada LP1 adalah 222 pelanggan serta total pelanggan seluruhnya adalah 2858 konsumen :

$$SAIFI\ LP1 = \frac{2.459\ \times\ 222}{2858} = 0.1910\ \text{kali/pelanggan/tahun}$$

Untuk perhitungan indeks SAIFI pada *load point* lainnya dapat dengan menggunakan perhitungan dengan cara yang sama.

- SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

Berikut ini merupakan perhitungan untuk memperoleh nilai SAIDI pada setiap *load point*. Berdasarkan pada tabel 4.4 load point 1 atau LP1 memiliki nilai durasi pemadaman selama 3.35447 jam/tahun dan jumlah pelanggan pada LP1 adalah 222 pelanggan serta total pelanggan seluruhnya adalah 2858 pelangga :

$$SAIDI\ LP1 = \frac{3.35447\ \times\ 222}{2858} = 0.269564\ \text{jam/pelanggan/tahun}$$

Untuk perhitungan indeks SAIDI pada *load point* lainnya dapat dengan menggunakan perhitungan dengan cara yang sama.

- CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*)

Berikut ini merupakan perhitungan untuk memperoleh nilai CAIDI pada setiap *load point*. Untuk nilai SAIFI pada LP1 adalah 0.1910 dan SAIDI pada LP1 adalah 0.269564 :

$$CAIDI\ LP1 = \frac{0.269564}{0.1910} = 1.36416$$

Untuk perhitungan indeks CAIDI pada *load point* lainnya dapat dengan menggunakan perhitungan dengan cara yang sama.

- ASAI (*Average Service Availability Index*)

Berikut ini merupakan perhitungan untuk memperoleh nilai ASAI pada setiap *load point*. Berdasarkan tabel 4.4 load point 1 atau LP1 memiliki nilai durasi pemadaman selama 3.35447 jam/tahun dan jumlah pelanggan/ konsumen pada LP1 adalah 222 konsumen serta 8760 adalah jumlah total jam dalam satu tahun kalender :

$$ASAI\ LP1 = \frac{222 \times 8760 - (222 \times 3.35477)}{222 \times 8760} = 0.9996$$

Untuk perhitungan indeks ASAI pada *load point* lainnya dapat dengan menggunakan perhitungan dengan cara yang sama.

.

- ASUI (*Average Service Unavailability Index*)

Berikut ini merupakan perhitungan untuk memperoleh nilai ASUI pada setiap *load point*. Nilai ASAI pada LP1 adalah 0.9996 :

$$ASUI\ LP1 = 1 - 0.9996 = 0{,}00038$$

Untuk perhitungan indeks ASUI pada *load point* lainnya dapat dengan menggunakan perhitungan dengan cara yang sama.

Hasil perhitungan menggunakan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) diperoleh indeks keandalan penyulang mojoarum yang dipaparkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Mojarum

No.	Indeks Keandalan	Hasil
1.	SAIFI (kegagalan/plg/tahun)	2,459
2.	SAIDI (jam/plg/tahun)	3,933488
3.	CAIDI	1,59963
4.	ASAI	0,9996
5.	ASUI	0,00039

Tabel di bawah ini merupakan perbandingan antara perhitungan indeks keandalan yakni SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI dan ASUI menggunakan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dengan nilai indeks keandalan berdasarkan data dari PT. PLN (Persero) ULP Ploso.

Tabel 4.6 Hasil Perbandingan metode FMEA dengan Data PLN pada Penyulang Mojoarum

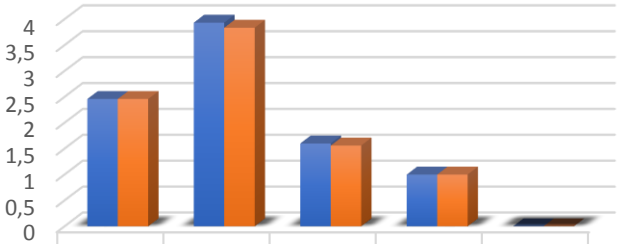
No.	Indeks Keandalan	Hasil FMEA	Data PLN	Selisih (%)
1.	SAIFI (kegagalan/plg.tahun)	2,459	7,7250	5,266 (68,1%)
2.	SAIDI (jam/plg.tahun)	3,933488	6,6230	2,6895 (40,6%)
3.	CAIDI (jam/plg/gagal)	1,59963	0,8573	0,7423 (46,4%)

Terdapat perbedaan mengenai nilai dari indeks keandalan yang diperoleh dengan metode FMEA dan juga data PLN. Hal ini dapat terjadi karena :

- ✓ Data PLN merupakan data riil yang terjadi dilapangan dan dapat dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah faktor lingkungan dan cuaca. Di samping itu cara perhitungan indeks keandalan dari pihak PLN merupakan perhitungan *historical*.
- ✓ Metode FMEA tidak mempertimbangkan faktor alam serta juga pemadaman terencana maupun yang tidak terencana oleh pihak PLN.
- ✓ Manuver beban atau pemindahan beban yang dilakukan pihak PLN didasari dari jumlah beban yang dipikul dan juga bergantung terhadap waktu.

Sehingga didapatkan nilai indeks keandalan yang berbeda jika dibandingkan dengan perhitungan metode FMEA yang merupakan perhitungan *predictive*.

Berikut merupakan hasil komparasi indeks keandalan antara perhitungan menggunakan metode FMEA dan data PLN dalam bentuk grafik sebagai berikut :



	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
FMEA	2,459	3,933488	1,59963	0,9996	0,00039
ETAP	2,459	3,8351	1,56	0,9996	0,0004

FMEA ETAP

Gambar 4.3 Perbandingan Perhitungan Keandalan Menggunakan Metode FMEA dan Data PLN Penyulang Mojoarum

4.4 Simulasi dengan Menggunakan *Software* ETAP 12.6.0

Pada tugas akhir ini, untuk memperoleh nilai keandalan pada beberapa penyulang di ULP Ploso selain melakukan perhitungan menggunakan Ms. Excel juga dilakukan perhitungan dengan menggunaka *software* ETAP 12.6.0. Hal ini dilakukan untuk menjadi pembanding nilai indeks keandalan pada sistem distribusi menggunakan metode FMEA dengan nilai indeks keandalan sistem distribusi menggunakan *software* ETAP 12.6.0.

Langkah awal untuk melakukan simulasi menggunakan ETAP 12.6.0 ialah dengan menggambar *single line diagram* serta memasukkan data penunjang jaringan. Data penunjang tersebut hampir sama seperti perhitungan menggunakan Ms. Excel yakni : panjang saluran, jumlah pelanggan, laju kegagalan, waktu perbaikan, serta waktu *switching time*.

Dengan langkah – langkah tersebut maka selanjutnya menjalankan program keandalan, hasilnya yakni berupa nilai indeks keandalan untuk penyulang yang disimulasikan. Berikut ini merupakan hasil indeks keandalan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 :

Project:	ETAP	Page: 1
Location:	12.6.0H	Date: 21-05-2019
Contract:		SN:
Engineer:	Study Case: RA	Revision: Base
Filename: P_Mojoarum		Config.: Normal

SUMMARY

System Indexes

SAIFI	2.4590 f / customer.yr
SAIDI	3.8351 hr / customer.yr
CAIDI	1.560 hr / customer interruption
ASAI	0.9996 pu
ASUI	0.00044 pu
EENS	0.000 MW hr / yr
ECOST	0.00 $ / yr
AENS	0.0000 MW hr / customer.yr
IEAR	0.000 $ / kW hr

Gambar 4.4 Hasil Indeks Keandalan Menggunakan *Software* ETAP 12.6.0

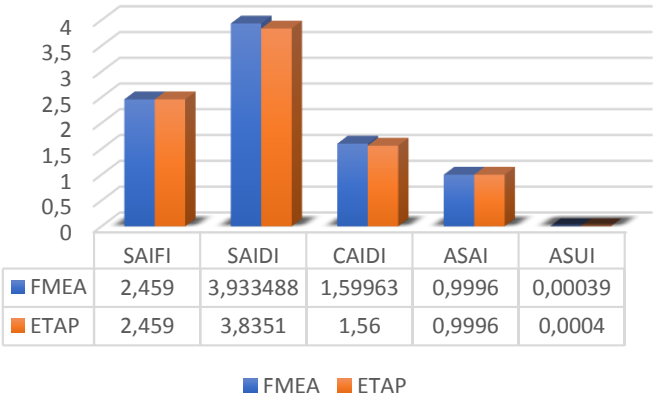
4.5 Evaluasi Hasil Simulasi Keandalan dengan menggunakan *Software* ETAP 12.6.0 dan Ms. Excel pada Penyulang Mojoarum

Di bawah ini merupakan tabel hasil perbandingan dari indeks keandalan menggunakan perhitungan manual dengan metode FMEA menggunakan Ms. Excel dan dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0.

Tabel 4.7 Hasil Perbandingan Perhitungan Metode FMEA menggunakan Ms. Excel dengan *software* ETAP 12.6.0 pada Penyulang Mojoarum

No.	Indeks Keandalan	Hasil FMEA	Hasil ETAP	Selisih (%)
1.	SAIFI (kegagalan/plg.tahun)	2,459	2,459	0%
2.	SAIDI (jam/plg.tahun)	3,933488	3,8351	0,0983 (2,501291%)
3.	CAIDI (jam/plg/gagal)	1,59963	1,560	0,03963 (2,477%)
4.	ASAI	0,9996	0,9996	0%
5.	ASUI	0,00039	0,0004	0,00001 (2,5%)

Berdasarkan tabel di atas terlihat adanya persentase selisih nilai yang kecil dari hasil perhitungan keandalan dengan metode FMEA menggunakan Ms. Excel dan perhitungan keandalan menggunakan *software* ETAP. Apabila dibandingkan dengan menggunakan grafik seperti yang tertera pada Gambar 4.5 hasil perbedaan perhitungan antara FMEA menggunakan Ms. Excel dengan perhitungan menggunakan *software* ETAP sangatlah signifikan atau hampir tidak terlihat.



Gambar 4.5 Perbandingan Hasil Perhitungan Keandalan Menggunakan metode FMEA dan *Software* ETAP pada Penyulang Mojoarum

Adanya hasil yang berbeda dari perhitungan menggunakan Ms. Excel dengan perhitungan menggunakan *software* ETAP dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain :

- Metode Perhitungan
  Perhitungan yang dilakukan dengan *software* ETAP 12.6.0 menggunakan alogaritma analitikal baru untuk mendapatkan hasil indeks keandalan yang merupakan gabungan dari topologi jaringan radial dengan topologi jaringan mesh.
- Kegagalan pada jaringan
  Pada *software* ETAP 12.6.0 ketika terjadi kegagalan kerja pada jaringan maka pemutus (*switch*) yang beroperasi adalah pemutus yang terdekat dengan gangguan. Lain halnya dengan perhitungan FMEA menggunakan Ms. Excel, apabila terjadi kegagalan kerja pada jaringan maka pemutus yang akan bekerja yakni pemutus dari sisi sumber (PMT Gardu Induk), sehingga tidak mempengaruhi penyulang lain yang terhubung.

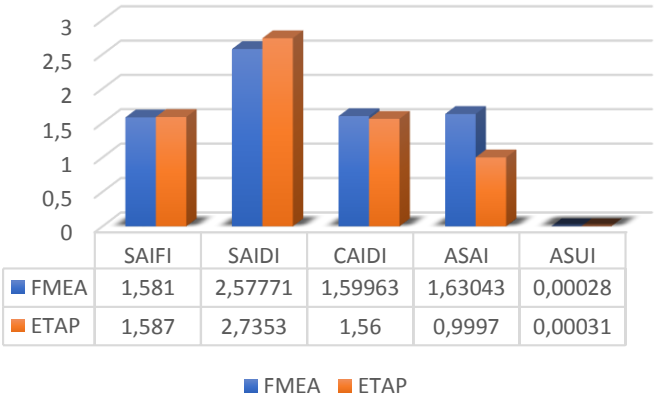
4.6 Evaluasi Hasil Simulasi Keandalan dengan menggunakan *Software* ETAP 12.6.0 dan Metode FMEA menggunakan Ms. Excel pada Semua Penyulang

Dengan menggunakan cara yang sama dengan perhitungan pada Penyulang Mojoarum untuk mendapatkan indeks keandalan, berikut ini merupakan hasil indeks keandalan berdasarkan perhitungan metode FMEA menggunakan Ms. Excel dan data dari PLN serta hasil simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6.0 pada semua penyulang.

4.6.1 Penyulang Bogen

Tabel 4.8 Perbandingan Hasil FMEA dengan Data PLN pada Penyulang Bogen

No.	Indeks Keandalan	Hasil FMEA	Data PLN	Selisih (%)
1.	SAIFI (kegagalan/plg.tahun)	1,581	17,570	15,989 (91%)
2.	SAIDI (jam/plg.tahun)	2,57771	19,5810	17,003 (86,8%)
3.	CAIDI (jam/plg/gagal)	1,63043	1,1144	0,516 (31,6%)

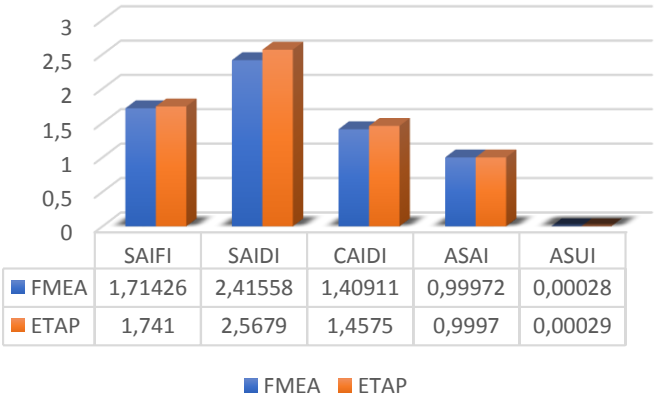


Gambar 4.6 Perbandingan Hasil Perhitungan Keandalan Menggunakan FMEA dan *Software* ETAP pada Penyulang Bogen

4.6.2 Penyulang Wisma Permai

Tabel 4.9 Perbandingan Hasil FMEA dengan Data PLN pada Penyulang Wisma Permai

No.	Indeks Keandalan	Hasil FMEA	Data PLN	Selisih (%)
1.	SAIFI (kegagalan/plg.tahun)	1,71426	10,3420	8,6277 (83,42%)
2.	SAIDI (jam/plg.tahun)	2,41558	29,94	27,52 (91,93%)
3.	CAIDI (jam/plg/gagal)	1,40911	2,894	1,4848 (51,3%)

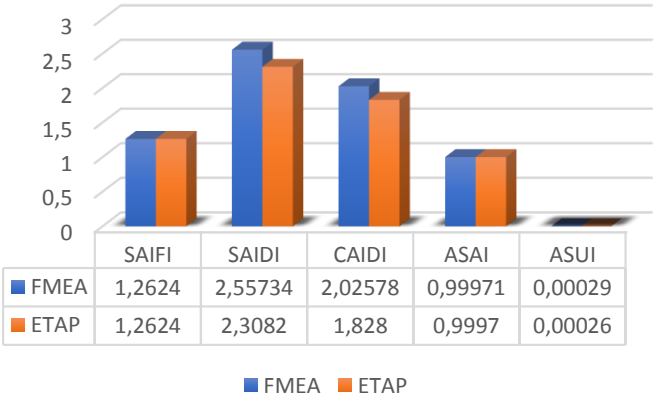


Gambar 4.7 Perbandingan Hasil Perhitungan Keandalan Menggunakan FMEA dan *Software* ETAP pada Penyulang Wisma Permai

4.6.3 Penyulang Karang Asem

Tabel 4.10 Perbandingan Hasil FMEA dengan Data PLN pada Penyulang Karang Asem

No.	Indeks Keandalan	Hasil FMEA	Data PLN	Selisih (%)
1.	SAIFI (kegagalan/plg.tahun)	1,2624	2,9370	1,16746 (57,01%)
2.	SAIDI (jam/plg.tahun)	2,55734	5,0650	2,50766 (49,5%)
3.	CAIDI (jam/plg/gagal)	2,02578	1,7254	0,30038 (14,8%)

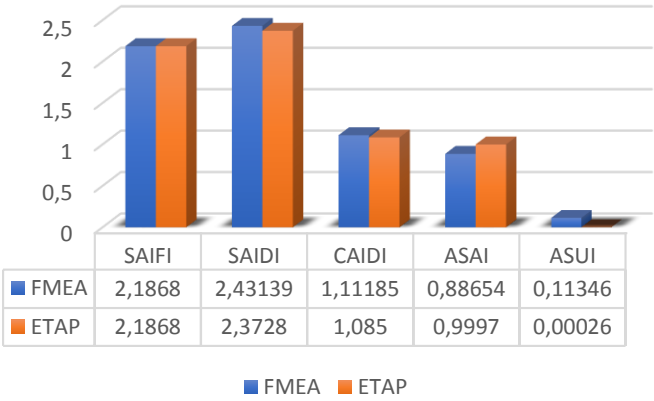


Gambar 4.8 Perbandingan Hasil Perhitungan Keandalan Menggunakan FMEA dan *Software* ETAP pada Penyulang Karang Asem

4.6.4 Penyulang Gersikan

Tabel 4.11 Perbandingan Hasil FMEA dengan Data PLN pada Penyulang Gersikan

No.	Indeks Keandalan	Hasil FMEA	Data PLN	Selisih (%)
1.	SAIFI (kegagalan/plg.tahun)	2,1868	6,0460	3,8592 (63,8%)
2.	SAIDI (jam/plg.tahun)	2,43139	4,8950	2,4636 (50,3%)
3.	CAIDI (jam/plg/gagal)	1,11185	0,8096	0,30225 (27,1%)

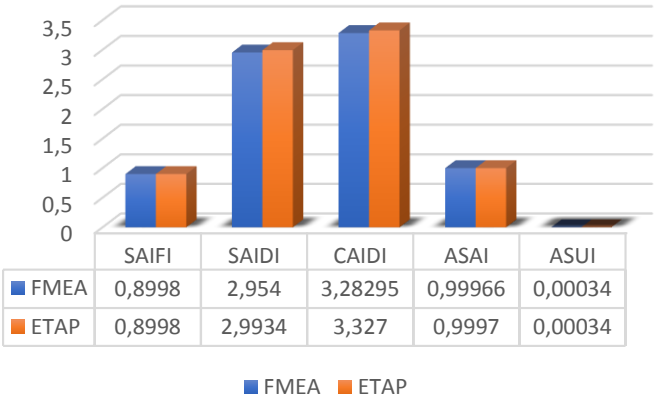


Gambar 4.9 Perbandingan Hasil Perhitungan Keandalan Menggunakan FMEA dan *Software* ETAP pada Penyulang Gersikan

4.6.5 Penyulang Soka

Tabel 4.12 Perbandingan Hasil FMEA dengan Data PLN pada Penyulang Soka

No.	Indeks Keandalan	Hasil FMEA	Data PLN	Selisih (%)
1.	SAIFI (kegagalan/plg.tahun)	0,8998	2,9610	2,0612 (69,61%)
2.	SAIDI (jam/plg.tahun)	2,954	3,8130	0,859 (22,52)
3.	CAIDI (jam/plg/gagal)	3,28295	1,0749	2,2080 (67,25%)



Gambar 4.10 Perbandingan Hasil Perhitungan Keandalan Menggunakan FMEA dan *Software* ETAP pada Penyulang Soka

Tabel 4.13 Data Penyulang yang Dievaluasi

No.	Penyulang	Jumlah *Load Point*	Jumlah Pelanggan	Panjang Saluran (kms)
1.	Mojoarum	47	2858	11,040
2.	Bogen	40	5190	6,840
3.	Wisma Permai	18	984	8,190
4.	Karang Asem	28	3577	5,562
5.	Gersikan	53	2909	9,529
6.	Soka	7	381	4,289

Berdasarkan hasil evaluasi enam penyulang yang ada di ULP Ploso, semakin panjang saluran distribusi maka nilai laju kegagalannya juga semakin besar sehingga nilai indeks keandalan SAIFI dan SAIDI akan semakin tinggi. Peralatan yang dapat memutus beban seperti PMT pada Gardu Induk, pemutus beban berupa LBS, serta *Fuse Cut Out Branch* akan mengkompensasi laju kegagalan yang tentunya berpengaruh dan mengurangi nilai laju kegagalan per *load point*. Semakin banyak *sectionalizer* maka akan menekan daerah padam sehingga dapat mengurangi kerapnya pemadaman dan lamanya waktu pemadaman pada pelanggan karena pelanggan pada *section* yang tidak terkena gangguan tida mengalami waktu perbaikan (*repair time*).

4.7 Upaya Perbaikan Indeks Keandalan pada Sistem Distribusi 20 kV

Listrik telah menjadi kebutuhan utama bagi manusia karena penggunakan energi listrik dibutuhkan setiap waktunya. Oleh sebab itu ketersediaan tenaga listrik secara kontinyu sangat diperlukan. Dalam menjadi kontinuitas diperlukan upaya peningkatan keandalan dalam pendistribusian tenaga listrik. Keandalan dapat ditingkatkan oleh banyak faktor yaitu kegagalan peralatan dalam menyuplai tenaga listrik dari pusat energi listrik hingga ke pelanggan sangat minim terjadi, jumlah pemadaman pada pelanggan dapat ditekan, lamanya waktu pemadaman pada pelanggan bisa berkurang.

Pemadaman yang terjadi dapat dikategorikan menjadi dua kondisi yaitu pemadaman terencana dan pemadaman tidak terencana. Pemadaman terencana adalah pemadaman yang direncanakan terkait jadwal pemeliharaan pada peralatan maupun padam sesaat karena kondisi khusus. Contoh kondisi khusus adalah saat ada ditemukan suatu peristiwa yang berpotensi menyebabkan padamnya sebuah penyulang, maka perlu dilakukan pemadaman sesegera mungkin, dikarenakan apabila tidak dilakukan pemadaman dengan segera akan timbul berbagai macam kemungkinan seperti padamnya penyulang yang menyebabkan rusaknya peralatan. Tentunya kejadian ini akan menimbulkan banyak kerugian selain menurunkan nilai kinerja juga biaya untuk memperbaiki bahkan mengganti peralatan yang rusak. Peristiwa yang memungkinkan perlu dilakukan pemadaman segera yakni layang – layang yang tersangkut di jaringan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), balon udara yang tersangkut di Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), dan peristiwa lainnya.

Pemadaman tidak terencana adalah pemadaman yang terjadi akibat gangguan. Gangguan yang tidak dapat dihindarkan seperti halnya peristiwa yang telah dipaparkan di atas yakni gangguan yang disebabkan akibat perubahan lingkungan, perubahan suhu yang ekstrim, bencana alam, binatang, tumbuh – tumbuhan, serta kelalaian manusia.

Untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi terdapat dua cara yakni dengan mengurangi kerap kalinya gangguan dan mengurangi lamanya waktu padam. Mengurangi kerap kalinya gangguan dapat

dilakukan dengan menambahkan peralatan pemutus seperti *fuse cut out branch*. Apabila terjadi gangguan pada *load point* yang berada di bawah *fuse cout out branch* maka *fuse cut out branch* akan putus dan mendapatkan waktu perbaikan, *load point* yang berada sebelum *fuse cut out branch* tidak ikut mengalami pemadaman. Laju kegagalan pada peralatan yang berada di percabangan tidak akan mempengaruhi nilai laju kegagalan pada *load point* di luar percabangan, sehingga laju kegagalan pada setiap *load point* akan berkurang dan dapat mengurangi kerap kalinya pemadaman. Kedua yakni mengurangi lamanya waktu padam dengan cara menambahkan peralatan *sectionalizer*. Ketika terjadi gangguan pada satu *section* maka dengan adanya penambahan *sectionalizer*, *load poin* yang berada di luar *section* tersebut dapat terhindar dari waktu perbaikan peralatan, karena mendapat manuver tegangan dari penyulang lain (*switching time*).

4.7.1 Upaya Mengurangi Jumlah Gangguan

Terdapat beberapa cara dalam upaya mengurangi junlah gangguan pada sistem distribusi 20 kV, antara lain :

- Mengevaluasi setiap terjadinya gangguan dengan mencari penyebab gangguan tersebut. Dengan adanya evaluasi maka potensi untuk terjadinya gangguan dapat diminimalisir.
- Menjadwalkan pemeliharaan secara berkala untuk setiap peralatan pada sisem distribusi 20 kV sesuai dengan buku instruksi dalam melakukan pemeliharaan.
- Melakukan pemeriksaan peralatan pengaman dengan memastikan peralatan tersebut dapat bekerja sebagaimana mestinya dan mengurangi potensi terjadinya gagal kerja pada peralatan.
- Melakukan pengembangan sistem dengan melakukan peramalan beban yang terus meningkat khususnya pada daerah metropolis.
- Melakukan inspeksi jaringan dari keluaran Gardu Induk hingga ke beban paling ujung.
- Dilakukannya pendidikan kilat (diklat), pelatihan serta sertifikasi bagi tenaga kerja yang bekerja di bidang ketenagalistrikan. Sehingga pekerja dinyatakan kompeten dan

bertanggungjawab terhadap tugas masing – masing demi kelancaran kontinuitas pendistribusian tenaga listrik.

4.7.2 Rekonfigurasi Jaringan Distribusi

Rekonfigurasi jaringan distribusi dilakukan untuk meningkatkan keandalan pada sistem distribusi. Salah satu cara merekonfigurasi jaringan yakni dengan menambahkan maupun memindahkan peralatan pada jaringan distribusi. Peralatan yang umum digunakan adalah peralatan pengaman seperti *sectionalizer* dan juga *fuse cout out branch*.

- *Sectionalizer*, merupakan peralatan pengaman yang dapat mengisolir gangguan dengan mengurangi zona padam dengan dilakukannya manuver tegangan untuk melimpahkan beban kepada penyulang lain.
- *Fuse Cut Out Branch*, merupakan peralatan pengaman yang biasanya ditempatkan pada percabangan. Pemilihan rating FCOB disesuaikan dengan jumlah beban (*load point*) yang di bawah FCOB.

4.7.3 Upaya Peningkatan Indeks Keandalan pada Penyulang Mojoarum

Dalam upaya peningkatan indeks keandalan pada Penyulang Mojoarum dilakukan menambahan peralatan *Fuse Cut Out Branch* (FCOB). Pemasangan FCOB dilakukan di *section* 4 dimana terdapat 23 *load point* pada *section* tersebut. Adapun pemasangan FCOB tersebut dengan cara menempatkan FCOB di *section* 4 diantara L45, L46 dan L49 (gambar terlampir) dimana L merupakan panjang dari saluran udara pada Penyulang Mojoarum dengan total *load point* yang terdapat di bawahnya sebanyak 10 *load point*. Ketika terjadi kegagalan kerja pada FCOB, maka 13 trafo lainnya tidak mengalami pemadaman dan waktu perbaikan. Hal ini tentunya mengurangi zona padam yang terjadi pada Penyulang Mojoarum.

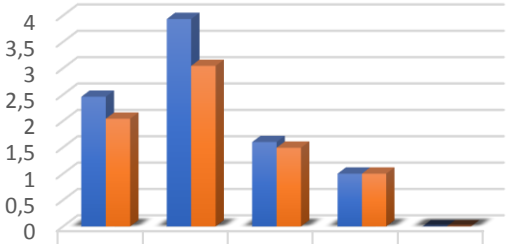
Setelah dilakukannya upaya perbaikan keandalan pada Penyulang Mojoarum, maka didapatkan hasil seperti yang tertera pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.18 Perbandingan Indeks Keandalan Sebelum dan Setelah Dilakukan Upaya Perbaikan

No.	Indeks	Sebelum Perbaikan	Setelah Perbaikan	Selisih
1.	SAIFI	2,459	2,0417	0.4173 (17%)
2.	SAIDI	3,933488	3,0440	0.889488 (22,6%)
3.	CAIDI	1,59963	1,491	0,10863 (6.8%)
4.	ASAI	0,9996	0,9997	0,0001 (0.01%)
5.	ASUI	0,00039	0,00035	0.00004 (10,25%)

Berdasarkan tabel di atas nilai indeks keandalan SAIFI menurun sebesar 17% setelah dilakukan penambahan FCOB karena laju kegagalan *load poin* akan berkurang. Adapun nilai indeks keandalan SAIDI menurun sebesar 22.6%.

Berikut ini merupakan grafik perbandingan upaya peningkatan keandalan pada Penyulang Mojoarum :



	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
Sebelum Perbaikan	2,459	3,9334881	1,59963	0,9996	0,00039
Setelah Perbaikan	2,0417	3,044	1,491	0,9997	0,00035

Sebelum Perbaikan Setelah Perbaikan

Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Upaya Peningkatan Keandalan pada Penyulang Mojoarum

----- Halaman ini sengaja dikosongkan -----

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi yang diperoleh dari perhitungan dan analisis indeks keandalan di PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Ploso pada tugas akhir ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil evaluasi keandalan sistem distribusi pada enam penyulang di ULP Ploso dengan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) menunjukkan nilai indeks keandalan SAIFI terendah terdapat di Penyulang Wi sma Permai sebesar 2,451558 serta indeks keandalan SAIDI terendah terdapat di Penyulang Soka sebesar 0,8998. Selain itu nilai indeks keandalan SAIFI dan SAIDI terbesar terdapat di Penyulang Mojoarum sebesar 3,933448 dan 2,459. Oleh karena hal tersebut dilakukan upaya perbaikan keandalan pada Penyulang Mojoarum.

2. Pada analisis ini hasil yang didapat dari upaya perbaikan keandalan pada Penyulang Mojoarum adalah Penyulang Mojoarum memiliki nilai SAIFI sebesar 2,459 sebelum dilakukannya upaya perbaikan keandalan, setelah dilakukan upaya perbaikan keandalan yakni dengan menambah peralatan *Fuse Cut Out Branch* (FCOB) maka nilai SAIFI dapat ditekan menjadi 2,0417. Selain itu nilai SAIDI yang sebelumnya 3,933488 menjadi 3,0440 setelah dilakukan upaya perbaikan keandalan.

3. Dalam analisis ini nilai dari laju kegagalan pada setiap *load point* tertinggi berasal dari penyulang yang memiliki saluran terpanjang yaitu Penyulang Mojoarum. Dengan adanya penambahan peralatan proteksi sebagai upaya peningkatan keandalan berupa *fuse* untuk membantu proses manuver tegangan atau pelimpahan beban saat terjadi gangguan, maka

indeks keandalan SAIFI dapat ditekan sebesar 17% dan SAIDI dapat ditekan sebesar 22,6%.

5.2 Saran

Diharapkan untuk penelitian selanjutnya mengenai keandalan sistem distribusi 20 kV dapat mempertimbangkan aspek lainnnya yang dapat mempengaruhi nilai indeks keandalan seperti *management analysis*, *cost analysis*, maupun *maintenance analysis*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Anam, sjamsul "*Diktat Kuliah Sistem Distribusi*", Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2013.

[2] Artana, Ketut Buda, 2007. *Teori Keandalan Sistem dan Pengaplikasiannya System*, Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

[3] Kadir, Abdul, "distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik", UI-Press, Jakarta, 2000.

[4] Marsudi, Djiteng, "*Operasi Sistem Tenaga Listrik*", Balai Penerbit dan Humas ISTN, Jakarta Selatan, 1990.

[5] SPLN No.59 : 1985, "Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV", Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, 1985.

[6] Keputusan Direksi PT. PLN (Persero) No. 606.K/DIR/2010, "Buku 5 Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah", PT. PLN (Persero), Jakarta, 2010.

[7] Keputusan Direksi PT. PLN (Persero) No. 606.K/DIR/2010, "Buku 4 Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik", PT. PLN (Persero), Jakarta, 2010.

[8] Billinton, Roy, "*Reliability Evaluation of Power System*", Plenum Press, New York, 1996.

[9] Gonen, Turan, " *Electric Power Distribution System Engineering*", CRC Press, Boca Raton, Second Edition, 2007.

[10] Anhar Husada, Tosa, "Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20kV di PT. PLN (Persero) Area Tanjung Karang Menggunakan Metode FMEA", Tugas Akhir ITS, Surabaya, 2017

----- Halaman ini sengaja dikosongkan -----

LAMPIRAN

Tabel 1.1 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Bogen

TOTAL			**5190**						
	SAIFI			**1,581**					
		SAIDI			**2,577709**				
			CAIDI			**1,63043**			
				ASAI			**0,999717**		
					ASUI			**0,000283**	
	λ	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	r
LP1	1,581	1,89375	56	0,017059	0,020434	1,197818	0,999784	0,000216	1,197818
LP2	1,581	1,89375	1	0,000305	0,000365	1,197818	0,999784	0,000216	1,197818
LP3	1,581	1,89375	1	0,000305	0,000365	1,197818	0,999784	0,000216	1,197818
LP4	1,581	1,89375	185	0,056355	0,067504	1,197818	0,999784	0,000216	1,197818
LP5	1,581	1,89375	171	0,052091	0,062395	1,197818	0,999784	0,000216	1,197818
LP6	1,581	1,89375	54	0,01645	0,019704	1,197818	0,999784	0,000216	1,197818
LP7	1,581	1,89375	1	0,000305	0,000365	1,197818	0,999784	0,000216	1,197818
LP8	1,581	1,89375	1	0,000305	0,000365	1,197818	0,999784	0,000216	1,197818
LP9	1,581	1,89375	137	0,041734	0,049989	1,197818	0,999784	0,000216	1,197818
LP10	1,581	1,76345	15	0,004569	0,005097	1,115402	0,999799	0,000201	1,115402
LP11	1,581	1,76345	152	0,046303	0,051646	1,115402	0,999799	0,000201	1,115402
LP12	1,581	1,76345	198	0,060316	0,067276	1,115402	0,999799	0,000201	1,115402
LP13	1,581	1,76345	54	0,01645	0,018348	1,115402	0,999799	0,000201	1,115402
LP14	1,581	1,76345	203	0,061839	0,068975	1,115402	0,999799	0,000201	1,115402
LP15	1,581	1,76345	90	0,027416	0,03058	1,115402	0,999799	0,000201	1,115402
LP16	1,581	1,76345	156	0,047521	0,053005	1,115402	0,999799	0,000201	1,115402
LP17	1,581	1,76345	181	0,055137	0,0615	1,115402	0,999799	0,000201	1,115402

Tabel 1.1 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Bogen (Lanjutan)

LP18	1,581	1,76345	203	0,061839	0,068975	1,115402	0,999799	0,000201	1,115402
LP19	1,581	1,76345	159	0,048435	0,054025	1,115402	0,999799	0,000201	1,115402
LP20	1,581	3,0708	264	0,080421	0,156203	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP21	1,581	3,0708	1	0,000305	0,000592	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP22	1,581	3,0708	256	0,077984	0,151469	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP23	1,581	3,0708	247	0,075242	0,146144	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP24	1,581	3,0708	314	0,095652	0,185786	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP25	1,581	3,0708	300	0,091387	0,177503	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP26	1,581	3,0708	207	0,063057	0,122477	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP27	1,581	3,0708	240	0,07311	0,142002	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP28	1,581	3,0708	208	0,063362	0,123069	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP29	1,581	3,0708	217	0,066103	0,128394	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP30	1,581	3,0708	104	0,031681	0,061534	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP31	1,581	3,0708	248	0,075547	0,146736	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP32	1,581	3,0708	220	0,067017	0,130169	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP33	1,581	3,0708	1	0,000305	0,000592	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP34	1,581	3,0708	1	0,000305	0,000592	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP35	1,581	3,0708	174	0,053005	0,102952	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP36	1,581	3,0708	157	0,047826	0,092893	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP37	1,581	3,0708	1	0,000305	0,000592	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP38	1,581	3,0708	6	0,001828	0,00355	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP39	1,581	3,0708	5	0,001523	0,002958	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315
LP40	1,581	3,0708	1	0,000305	0,000592	1,942315	0,999649	0,000351	1,942315

Tabel 1.2 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Wisma Permai

TOTAL			**984**						
	SAIFI			**1,714256**					
		SAIDI			**2,41558**				
			CAIDI			**1,409112**			
				ASAI			**0,999717**		
					ASUI			**0,000283**	
	λ	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	r
LP1	1,741	2,1332	1	0,001769	0,002168	1,225273	0,999756	0,000244	1,225273
LP2	1,741	2,1332	260	0,46002	0,56365	1,225273	0,999756	0,000244	1,225273
LP3	1,741	2,1332	1	0,001769	0,002168	1,225273	0,999756	0,000244	1,225273
LP4	1,741	2,1332	211	0,373324	0,457424	1,225273	0,999756	0,000244	1,225273
LP5	1,588	2,9333	172	0,277577	0,512731	1,847166	0,999665	0,000335	1,847166
LP6	1,741	2,5469	1	0,001769	0,002588	1,462895	0,999709	0,000291	1,462895
LP7	1,741	2,5469	1	0,001769	0,002588	1,462895	0,999709	0,000291	1,462895
LP8	1,741	2,5469	26	0,046002	0,067296	1,462895	0,999709	0,000291	1,462895
LP9	1,741	2,5469	1	0,001769	0,002588	1,462895	0,999709	0,000291	1,462895
LP10	1,741	2,5469	23	0,040694	0,059531	1,462895	0,999709	0,000291	1,462895
LP11	1,741	2,5469	1	0,001769	0,002588	1,462895	0,999709	0,000291	1,462895
LP12	1,741	2,5469	135	0,238857	0,349422	1,462895	0,999709	0,000291	1,462895
LP13	1,741	2,5469	51	0,090235	0,132004	1,462895	0,999709	0,000291	1,462895
LP14	1,741	2,5469	1	0,001769	0,002588	1,462895	0,999709	0,000291	1,462895
LP15	1,741	2,5469	1	0,001769	0,002588	1,462895	0,999709	0,000291	1,462895
LP16	1,741	2,5469	96	0,169854	0,248478	1,462895	0,999709	0,000291	1,462895
LP17	1,741	2,5469	1	0,001769	0,002588	1,462895	0,999709	0,000291	1,462895
LP18	1,741	2,5469	1	0,001769	0,002588	1,462895	0,999709	0,000291	1,462895

Tabel 1.3 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Karang Asem

TOTAL			**3577**						
	SAIFI			**1,2624**					
		SAIDI			**2,557339**				
			CAIDI			**2,025775**			
				ASAI			**0,999715**		
					ASUI			**0,000285**	
	λ	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	r
LP1	1,2624	2,62265	418	0,147521	0,306477	2,077511	0,999701	0,000299	2,077511
LP2	1,2624	2,62265	206	0,072702	0,151039	2,077511	0,999701	0,000299	2,077511
LP3	1,2624	2,62265	1	0,000353	0,000733	2,077511	0,999701	0,000299	2,077511
LP4	1,2624	2,62265	358	0,126346	0,262485	2,077511	0,999701	0,000299	2,077511
LP5	1,2624	2,62265	208	0,073408	0,152505	2,077511	0,999701	0,000299	2,077511
LP6	1,2624	2,62265	191	0,067408	0,140041	2,077511	0,999701	0,000299	2,077511
LP7	1,2624	2,62265	182	0,064232	0,133442	2,077511	0,999701	0,000299	2,077511
LP8	1,2624	2,62265	119	0,041998	0,087251	2,077511	0,999701	0,000299	2,077511
LP9	1,2624	2,62265	141	0,049762	0,103381	2,077511	0,999701	0,000299	2,077511
LP10	1,2624	2,62265	184	0,064938	0,134908	2,077511	0,999701	0,000299	2,077511
LP11	1,2624	2,62265	234	0,082584	0,171568	2,077511	0,999701	0,000299	2,077511
LP12	1,2624	2,62265	139	0,049056	0,101915	2,077511	0,999701	0,000299	2,077511
LP13	1,2624	2,62265	174	0,061408	0,127576	2,077511	0,999701	0,000299	2,077511
LP14	1,2624	2,39406	60	0,021175	0,040158	1,896435	0,999727	0,000273	1,896435
LP15	1,2624	2,39406	81	0,028587	0,054213	1,896435	0,999727	0,000273	1,896435
LP16	1,2624	2,39406	71	0,025057	0,04752	1,896435	0,999727	0,000273	1,896435
LP17	1,2624	2,39406	88	0,031057	0,058898	1,896435	0,999727	0,000273	1,896435
LP18	1,2624	2,39406	27	0,009529	0,018071	1,896435	0,999727	0,000273	1,896435
LP19	1,2624	2,39406	105	0,037057	0,070276	1,896435	0,999727	0,000273	1,896435
LP20	1,2624	2,39406	1	0,000353	0,000669	1,896435	0,999727	0,000273	1,896435

Tabel 1.3 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Karang Asem (Lanjutan)

LP21	1,2624	2,39406	294	0,103759	0,196772	1,896435	0,999727	0,000273	1,896435
LP22	1,2624	2,39406	103	0,036351	0,068937	1,896435	0,999727	0,000273	1,896435
LP23	1,2624	2,39406	1	0,000353	0,000669	1,896435	0,999727	0,000273	1,896435
LP24	1,2624	2,39406	69	0,024352	0,046181	1,896435	0,999727	0,000273	1,896435
LP25	1,2624	2,39406	62	0,021881	0,041496	1,896435	0,999727	0,000273	1,896435
LP26	1,2624	2,39406	58	0,020469	0,038819	1,896435	0,999727	0,000273	1,896435
LP27	1,2624	2,39406	1	0,000353	0,000669	1,896435	0,999727	0,000273	1,896435
LP28	1,2624	2,39406	1	0,000353	0,000669	1,896435	0,999727	0,000273	1,896435

Tabel 1.4 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Gersikan

TOTAL			**2909**						
	SAIFI			**2,1868**					
		SAIDI			**2,431393**				
			CAIDI			**1,11185**			
				ASAI			**0,886544**		
					ASUI			**0,113456**	
	λ	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	r
LP1	2,1868	1,54469	192	0,144333	0,101953	0,70637	0,999824	0,000176	0,70637
LP2	2,1868	1,54469	108	0,081187	0,057348	0,70637	0,999824	0,000176	0,70637
LP3	2,1868	1,54469	257	0,193196	0,136468	0,70637	0,999824	0,000176	0,70637
LP4	2,1868	1,54469	1	0,000752	0,000531	0,70637	0,999824	0,000176	0,70637
LP5	2,1868	1,54469	1	0,000752	0,000531	0,70637	0,999824	0,000176	0,70637
LP6	2,1868	1,54469	1	0,000752	0,000531	0,70637	0,999824	0,000176	0,70637
LP7	2,1868	1,54469	4	0,003007	0,002124	0,70637	0,999824	0,000176	0,70637
LP8	2,1868	2,40598	1	0,000752	0,000827	1,100229	0,999725	0,000275	1,100229
LP9	2,1868	2,40598	54	0,040594	0,044662	1,100229	0,999725	0,000275	1,100229
LP10	2,1868	2,40598	1	0,000752	0,000827	1,100229	0,999725	0,000275	1,100229
LP11	2,1868	2,40598	1	0,000752	0,000827	1,100229	0,999725	0,000275	1,100229
LP12	2,1868	2,40598	1	0,000752	0,000827	1,100229	0,999725	0,000275	1,100229
LP13	2,1868	2,40598	1	0,000752	0,000827	1,100229	0,999725	0,000275	1,100229
LP14	2,1868	2,40598	48	0,036083	0,0397	1,100229	0,999725	0,000275	1,100229
LP15	2,1868	2,40598	279	0,209734	0,230756	1,100229	0,999725	0,000275	1,100229
LP16	2,1868	2,40598	1	0,000752	0,000827	1,100229	0,999725	0,000275	1,100229
LP17	2,1868	2,40598	184	0,138319	0,152183	1,100229	0,999725	0,000275	1,100229

Tabel 1.4 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Gersikan (Lanjutan)

LP18	2,1868	2,40598	137	0,102988	0,11331	1,100229	0,999725	0,000275	1,100229
LP19	2,1868	2,40598	79	0,059387	0,065339	1,100229	0,999725	0,000275	1,100229
LP20	2,1868	2,40598	18	0,013531	0,014887	1,100229	0,999725	0,000275	1,100229
LP21	2,1868	2,40598	1	0,000752	0,000827	1,100229	0,999725	0,000275	1,100229
LP22	2,1868	2,40598	30	0,022552	0,024812	1,100229	0,999725	0,000275	1,100229
LP23	2,1868	2,40598	1	0,000752	0,000827	1,100229	0,999725	0,000275	1,100229
LP24	2,1868	2,40598	38	0,028566	0,031429	1,100229	0,999725	0,000275	1,100229
LP25	2,1868	2,61562	147	0,110505	0,132175	1,196095	0,999701	0,000299	1,196095
LP26	2,1868	2,61562	346	0,260101	0,311105	1,196095	0,999701	0,000299	1,196095
LP27	2,1868	2,61562	7	0,005262	0,006294	1,196095	0,999701	0,000299	1,196095
LP28	2,1868	2,61562	1	0,000752	0,000899	1,196095	0,999701	0,000299	1,196095
LP29	2,1868	2,61562	1	0,000752	0,000899	1,196095	0,999701	0,000299	1,196095
LP30	2,1868	2,61562	1	0,000752	0,000899	1,196095	0,999701	0,000299	1,196095
LP31	2,1868	2,61562	28	0,021049	0,025176	1,196095	0,999701	0,000299	1,196095
LP32	2,1868	2,61562	1	0,000752	0,000899	1,196095	0,999701	0,000299	1,196095
LP33	2,1868	2,61562	1	0,000752	0,000899	1,196095	0,999701	0,000299	1,196095
LP34	2,1868	2,61562	1	0,000752	0,000899	1,196095	0,999701	0,000299	1,196095
LP35	2,1868	2,61562	1	0,000752	0,000899	1,196095	0,999701	0,000299	1,196095
LP36	2,1868	2,61562	41	0,030821	0,036865	1,196095	0,999701	0,000299	1,196095
LP37	2,1868	2,61562	5	0,003759	0,004496	1,196095	0,999701	0,000299	1,196095
LP38	2,1868	2,61562	225	0,169141	0,202308	1,196095	0,999701	0,000299	1,196095
LP39	2,1868	2,99442	34	0,025559	0,034998	1,369316	0,999658	0,000342	1,369316
LP40	2,1868	2,99442	48	0,036083	0,049409	1,369316	0,999658	0,000342	1,369316
LP41	2,1868	2,99442	35	0,026311	0,036028	1,369316	0,999658	0,000342	1,369316
LP42	2,1868	2,99442	75	0,05638	0,077202	1,369316	0,999658	0,000342	1,369316
LP43	2,1868	2,99442	43	0,032325	0,044263	1,369316	0,999658	0,000342	1,369316

Tabel 1.4 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Gersikan (Lanjutan)

LP44	2,1868	2,99442	1	0,000752	0,001029	1,369316	0,999658	0,000342	1,369316
LP45	2,1868	2,99442	47	0,035332	0,04838	1,369316	0,999658	0,000342	1,369316
LP46	2,1868	2,99442	37	0,027814	0,038086	1,369316	0,999658	0,000342	1,369316
LP47	2,1868	2,99442	98	0,07367	0,100878	1,369316	0,999658	0,000342	1,369316
LP48	2,1868	2,99442	1	0,000752	0,001029	1,369316	0,999658	0,000342	1,369316
LP49	2,1868	2,99442	65	0,048863	0,066909	1,369316	0,999658	0,000342	1,369316
LP50	2,1868	2,99442	47	0,035332	0,04838	1,369316	0,999658	0,000342	1,369316
LP51	2,1868	2,99442	42	0,031573	0,043233	1,369316	0,999658	0,000342	1,369316
LP52	2,1868	2,99442	53	0,039842	0,054556	1,369316	0,999658	0,000342	1,369316
LP53	2,1868	2,99442	38	0,028566	0,039116	1,369316	0,999658	0,000342	1,369316

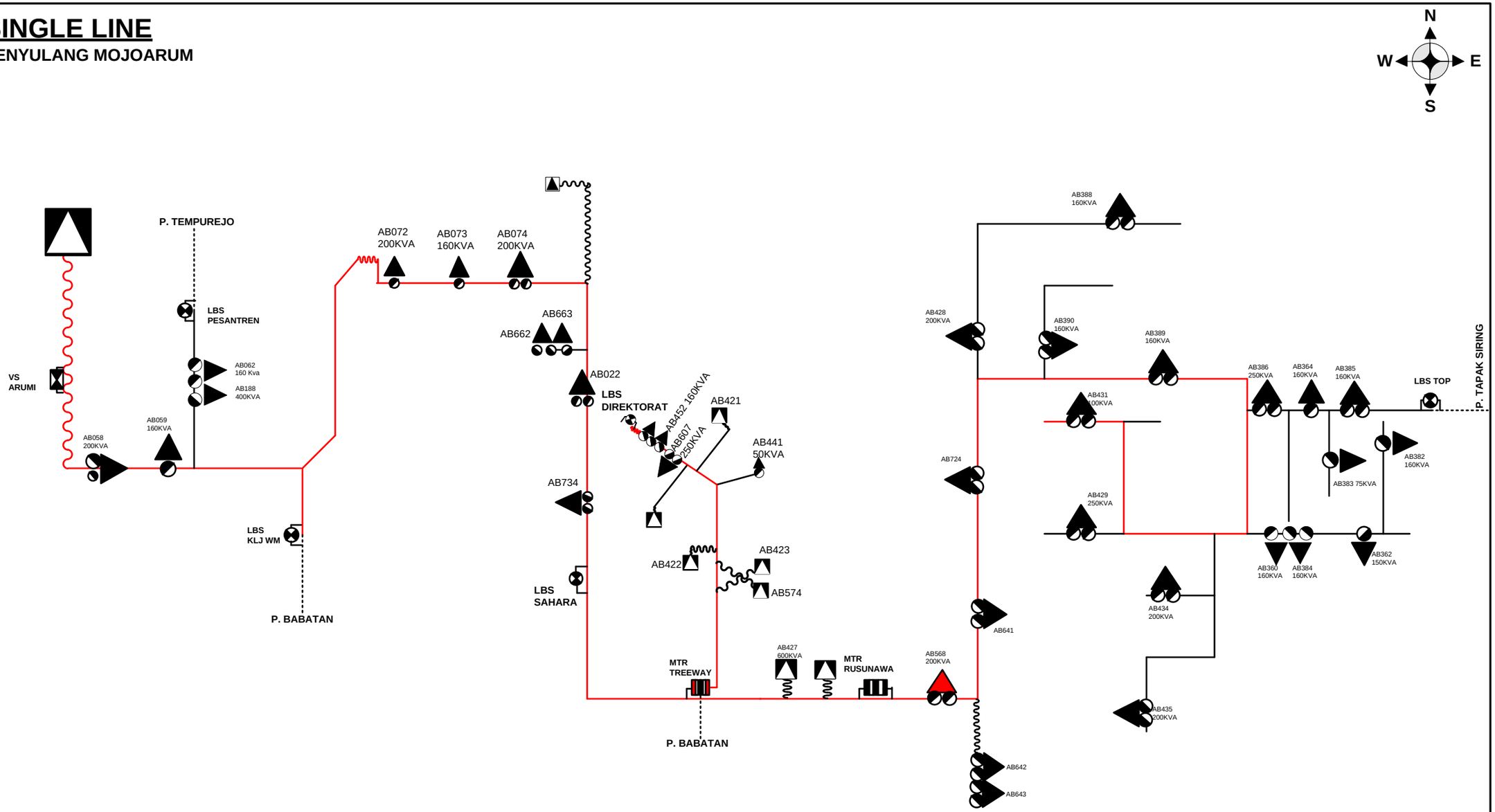
Tabel 1.5 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Soka

TOTAL			**381**						
	SAIFI			**0,8998**					
		SAIDI			**2,954**				
			CAIDI			**3,282952**			
				ASAI			**0,999663**		
					ASUI			**0,000337**	
	λ	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	r
LP1	0,8998	2,954	77	0,181849	0,597003	3,282952	0,999663	0,000337	3,282952
LP2	0,8998	2,954	18	0,04251	0,139559	3,282952	0,999663	0,000337	3,282952
LP3	0,8998	2,954	1	0,002362	0,007753	3,282952	0,999663	0,000337	3,282952
LP4	0,8998	2,954	234	0,552633	1,814268	3,282952	0,999663	0,000337	3,282952
LP5	0,8998	2,954	48	0,113361	0,372157	3,282952	0,999663	0,000337	3,282952
LP6	0,8998	2,954	1	0,002362	0,007753	3,282952	0,999663	0,000337	3,282952
LP7	0,8998	2,954	2	0,004723	0,015507	3,282952	0,999663	0,000337	3,282952

----- Hakaman ini sengaja dikosongkan -----

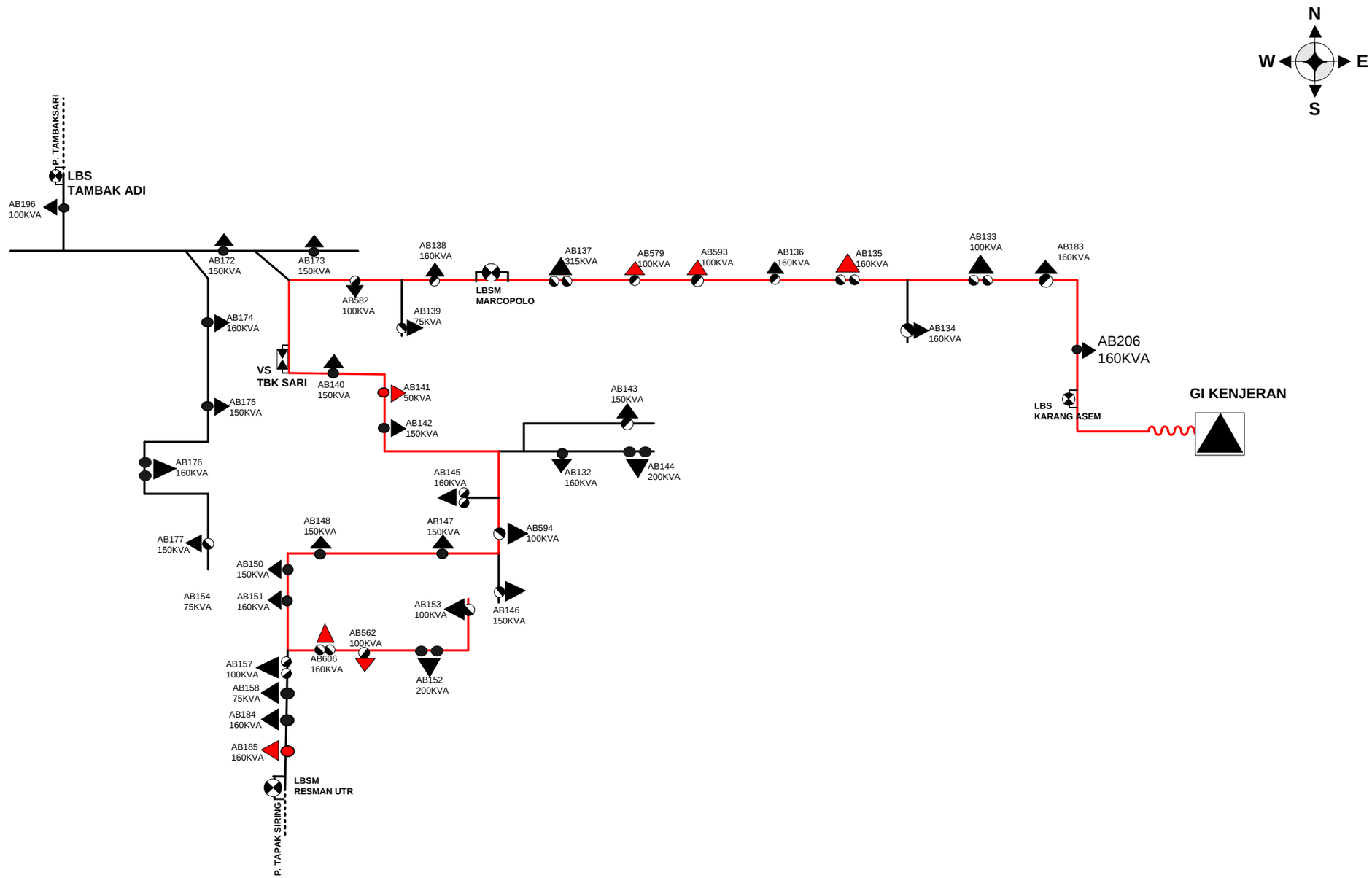
SINGLE LINE

PENYULANG MOJOARUM



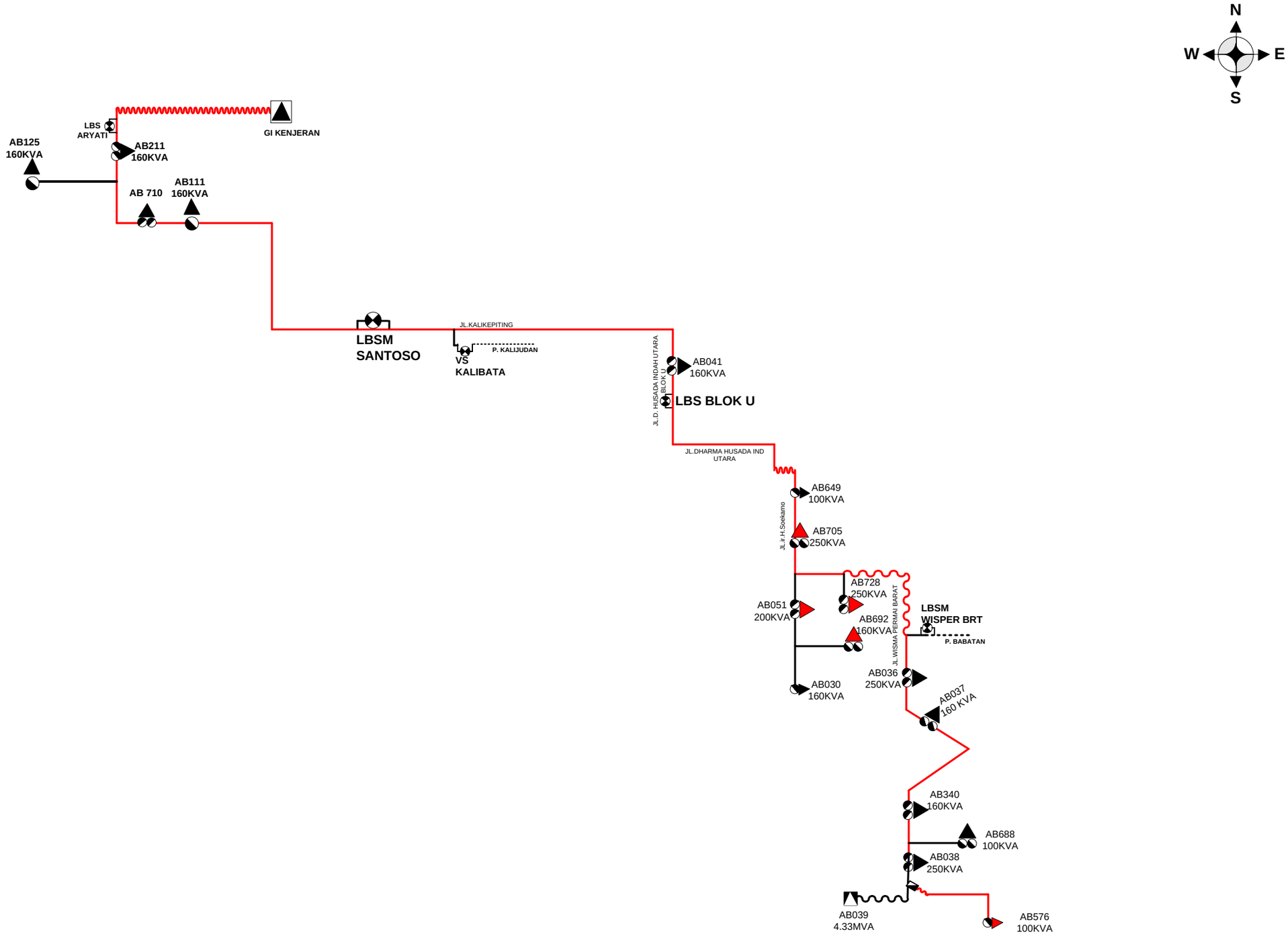
SINGLE LINE

PENYULANG BOGEN



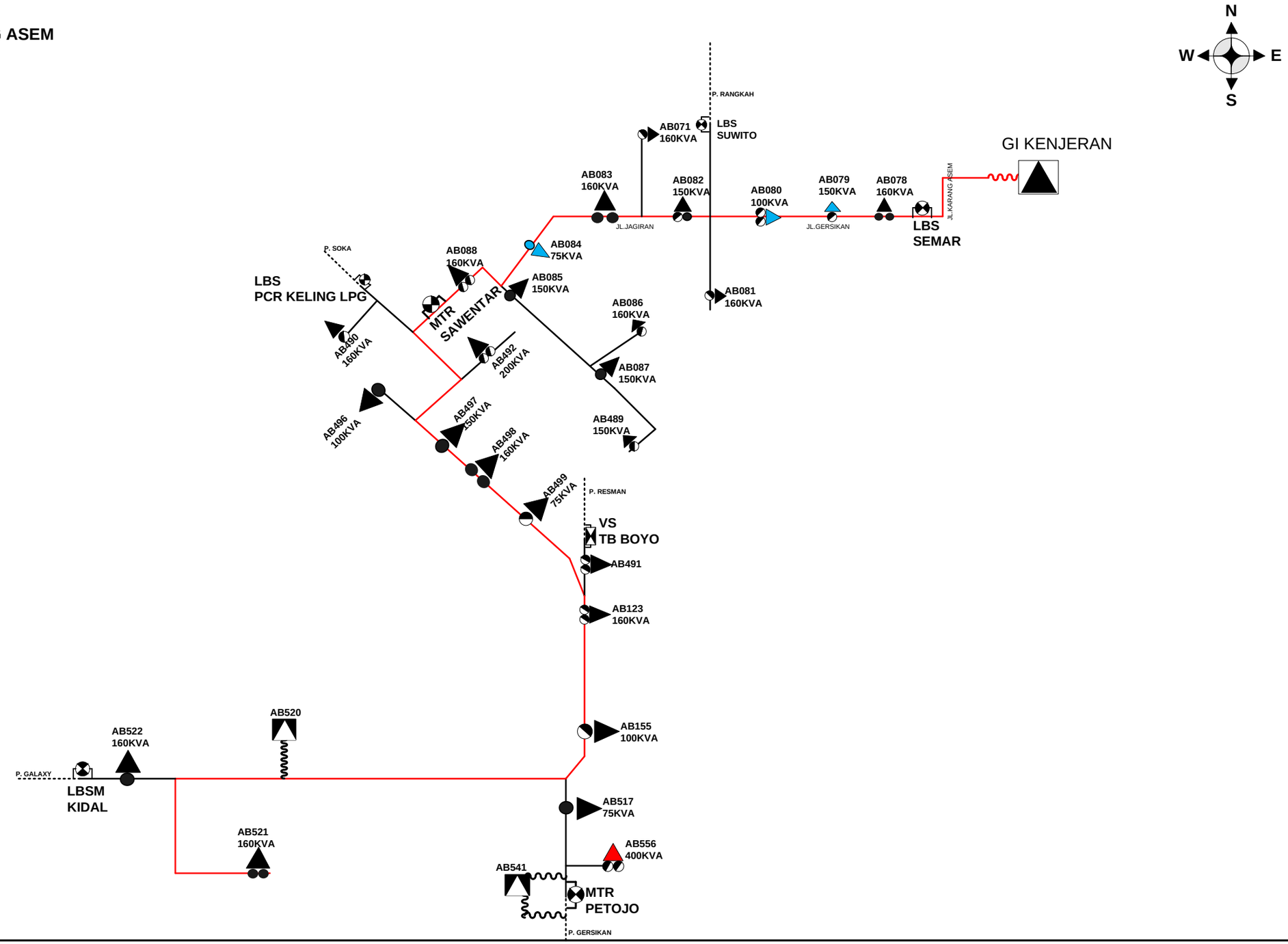
SINGLE LINE

PENYULANG WISPER



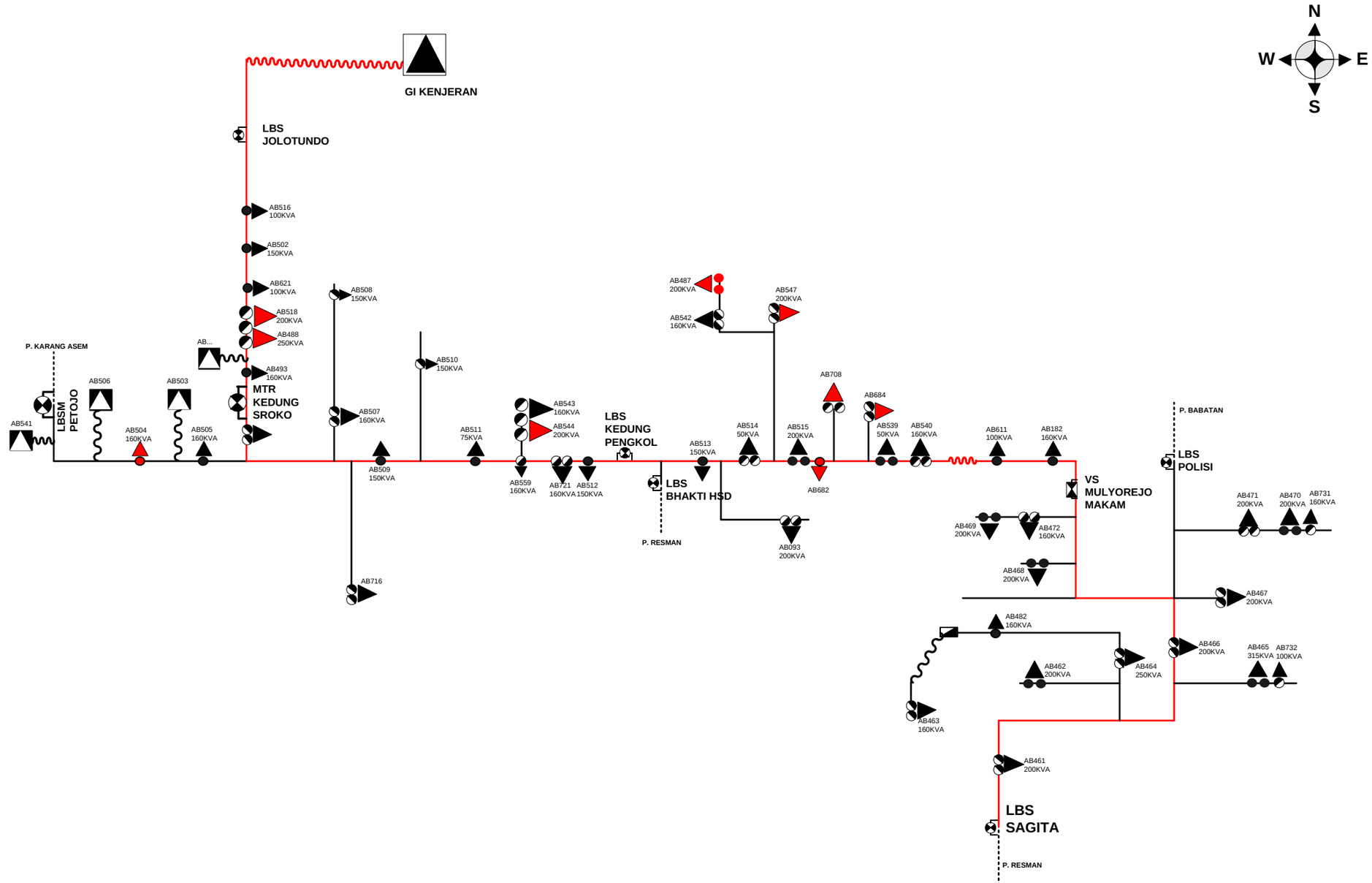
SINGLE LINE

PENYULANG KARANG ASEM



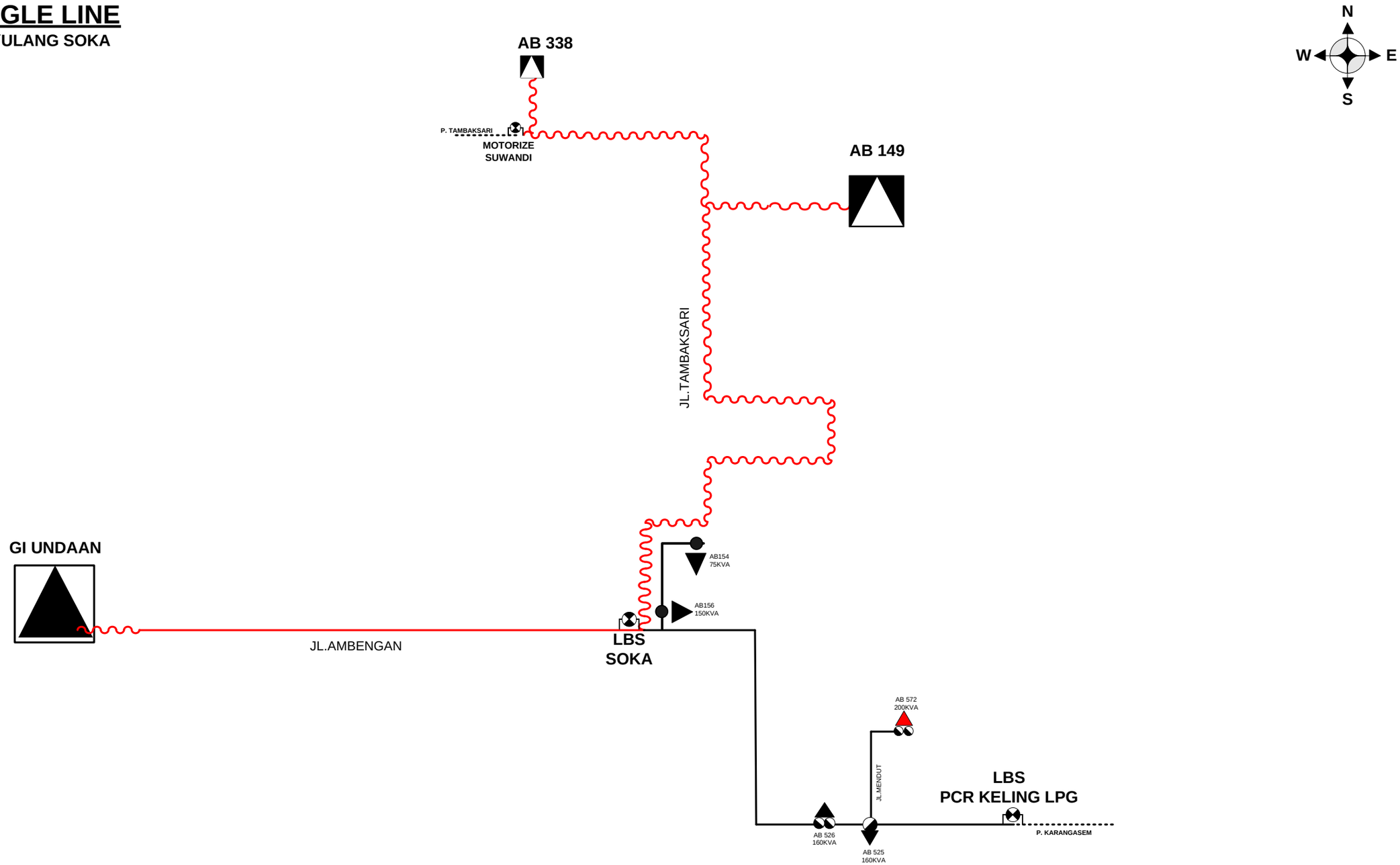
SINGLE LINE

PENYULANG GERSIKAN



SINGLE LINE

PENYULANG SOKA



SUMMARY

System Indexes

SAIFI	2.4590 f / customer.yr
SAIDI	3.8351 hr / customer.yr
CAIDI	1.560 hr / customer interruption
ASAI	0.9996 pu
ASUI	0.00044 pu
EENS	0.000 MW hr / yr
ECOST	0.00 $ / yr
AENS	0.0000 MW hr / customer.yr
IEAR	0.000 $ / kW hr

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

SUMMARY

System Indexes

SAIFI	1.5822 f / customer.yr
SAIDI	2.7353 hr / customer.yr
CAIDI	1.729 hr / customer interruption
ASAI	0.9997 pu
ASUI	0.00031 pu
EENS	0.000 MW hr / yr
ECOST	0.00 $ / yr
AENS	0.0000 MW hr / customer.yr
IEAR	0.000 $ / kW hr

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

SUMMARY

System Indexes

SAIFI	1.7410 f / customer.yr
SAIDI	2.5679 hr / customer.yr
CAIDI	1.475 hr / customer interruption
ASAI	0.9997 pu
ASUI	0.00029 pu
EENS	0.000 MW hr / yr
ECOST	0.00 $ / yr
AENS	0.0000 MW hr / customer.yr
IEAR	0.000 $ / kW hr

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

SUMMARY

System Indexes

SAIFI	1.2624 f / customer.yr
SAIDI	2.3082 hr / customer.yr
CAIDI	1.828 hr / customer interruption
ASAI	0.9997 pu
ASUI	0.00026 pu
EENS	0.000 MW hr / yr
ECOST	0.00 $ / yr
AENS	0.0000 MW hr / customer.yr
IEAR	0.000 $ / kW hr

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

SUMMARY

System Indexes

SAIFI	2.1868 f / customer.yr
SAIDI	2.3728 hr / customer.yr
CAIDI	1.085 hr / customer interruption
ASAI	0.9997 pu
ASUI	0.00027 pu
EENS	0.000 MW hr / yr
ECOST	0.00 $ / yr
AENS	0.0000 MW hr / customer.yr
IEAR	0.000 $ / kW hr

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

SUMMARY

System Indexes

SAIFI	0.8998 f / customer.yr
SAIDI	2.9934 hr / customer.yr
CAIDI	3.327 hr / customer interruption
ASAI	0.9997 pu
ASUI	0.00034 pu
EENS	0.000 MW hr / yr
ECOST	0.00 $ / yr
AENS	0.0000 MW hr / customer.yr
IEAR	0.000 $ / kW hr

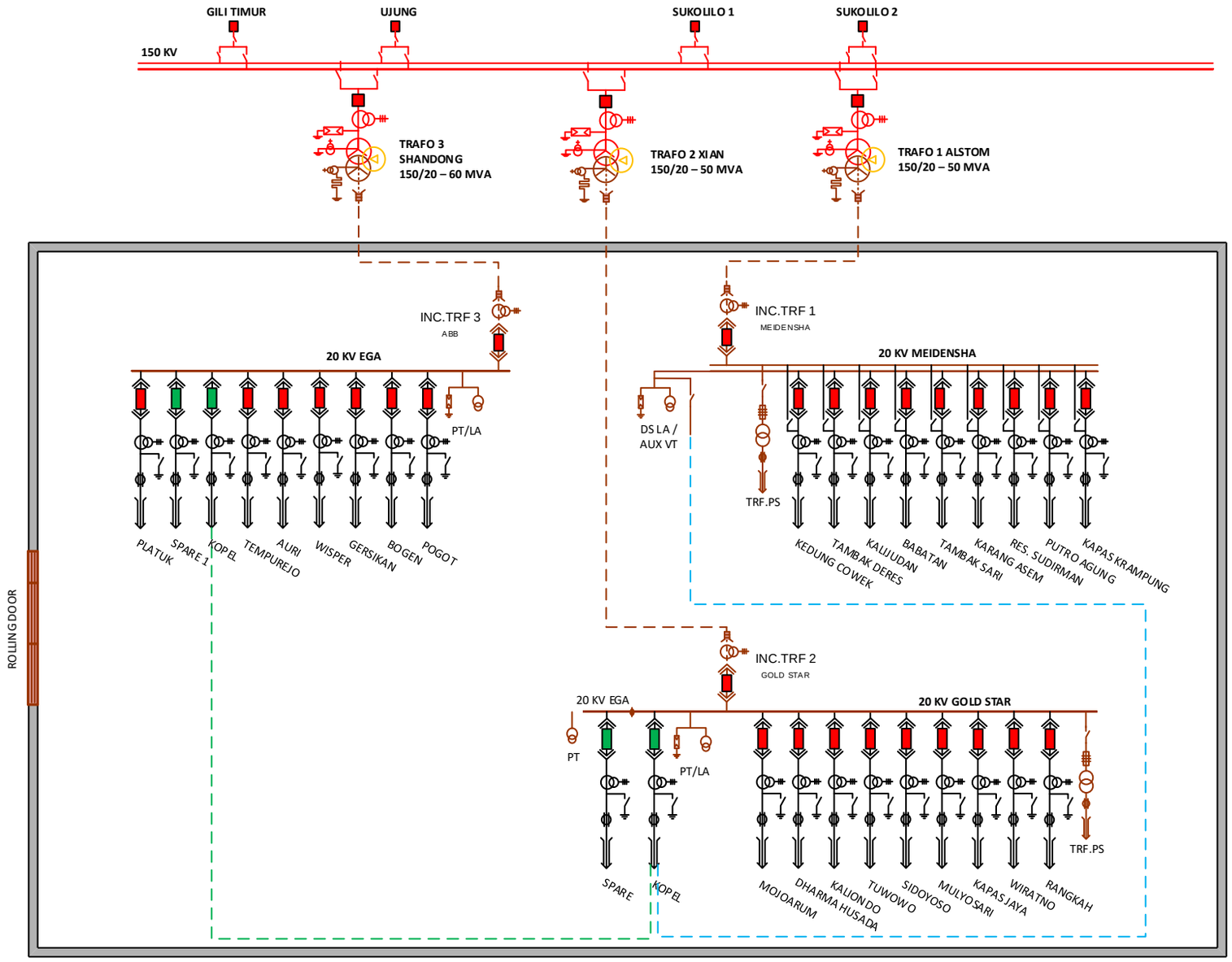
SAIFI	System Average Interruption Frequency Index
SAIDI	System Average Interruption Duration Index
CAIDI	Customer Average Interruption Duration Index
ASAI	Average service Availability Index
ASUI	Average Service Unavailability Index
EENS	Expected Energy Not Supplied
ECOST	Expected Interruption Cost
AENS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

SUMMARY

System Indexes

SAIFI	2.0417 f / customer.yr
SAIDI	3.0440 hr / customer.yr
CAIDI	1.491 hr / customer interruption
ASAI	0.9997 pu
ASUI	0.00035 pu
EENS	0.000 MW hr / yr
ECOST	0.00 $ / yr
AENS	0.0000 MW hr / customer.yr
IEAR	0.000 $ / kW hr

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



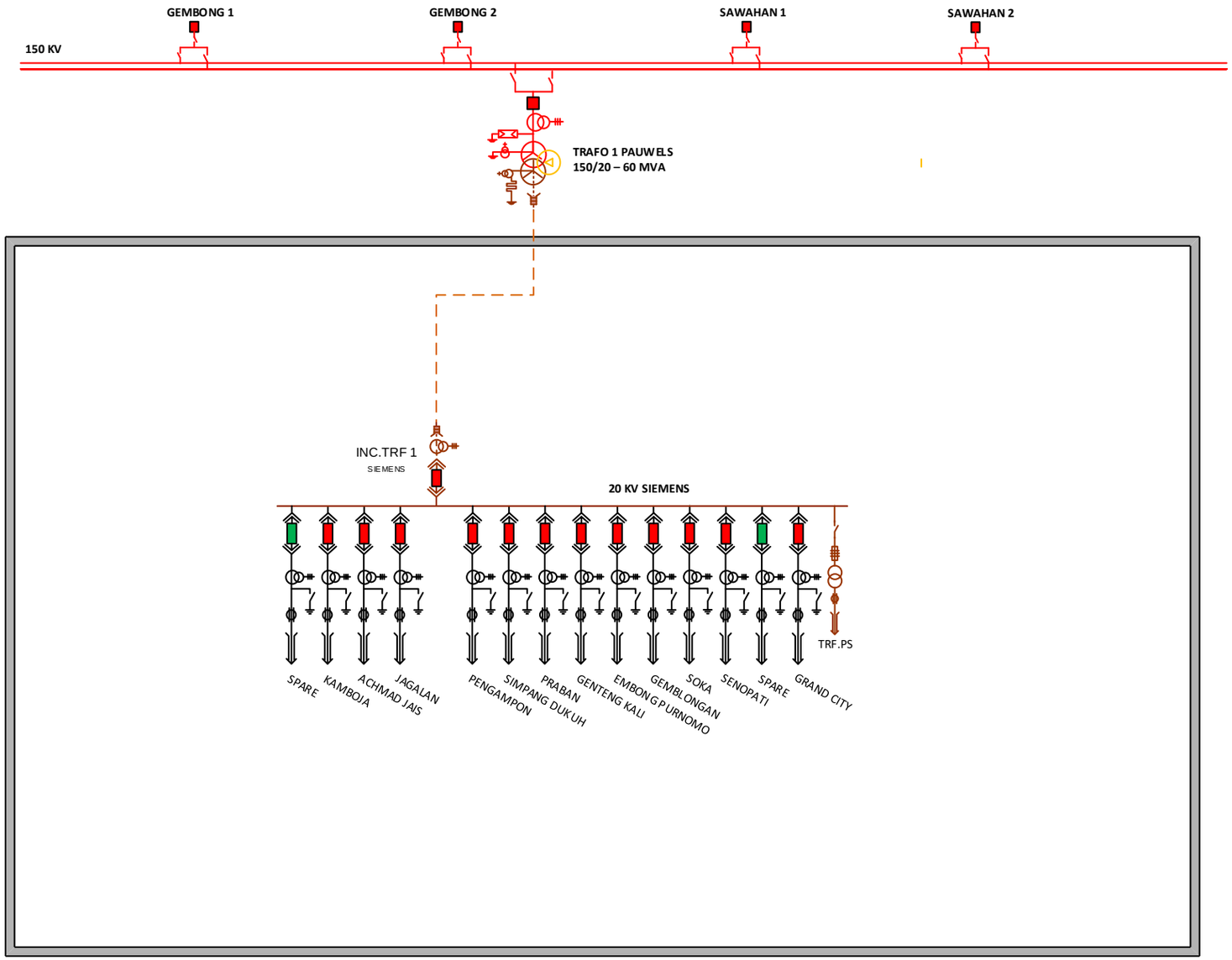
U

PT.PLN (persero) DISTRIBUSI JAWA TIMUR AREA PENGATUR DISTRIBUSI	
GOLONGAN	PERALATAN HUBUNG BAGI TEGANGAN MENENGAH
GAMBAR NOMOR	012.SLD / OPS.01.01 / APDJTM / 2017
TANGGAL REVISI	08 OKTOBER 2017

GARDU INDUK KENJERAN

Jl Karang Asem 22, SURABAYA

DIGAMBAR	DIPERIKSA	DISETUJUI
BURHAN LISTYAWAN	HERMAN WIDOYO	MOHAMMAD GORA SANDY



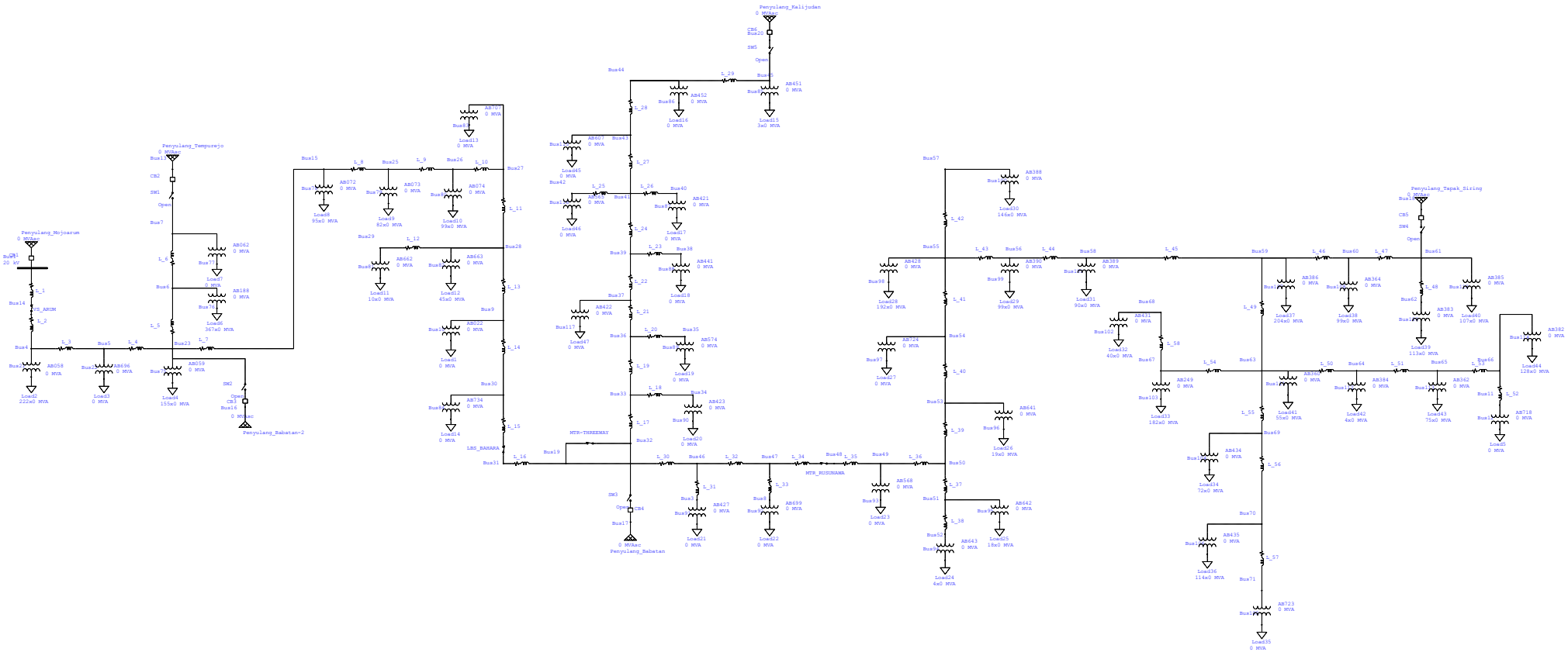
PT.PLN (persero) DISTRIBUSI JAWA TIMUR AREA PENGATUR DISTRIBUSI	
GOLONGAN	PERALATAN HUBUNG BAGI TEGANGAN MENENGAH
GAMBAR NOMOR	033.SLD / OPS.01.01 / APDJTM / 2013
TANGGAL REVISI	13 AGUSTUS 2013

GARDU INDUK UNDAAN

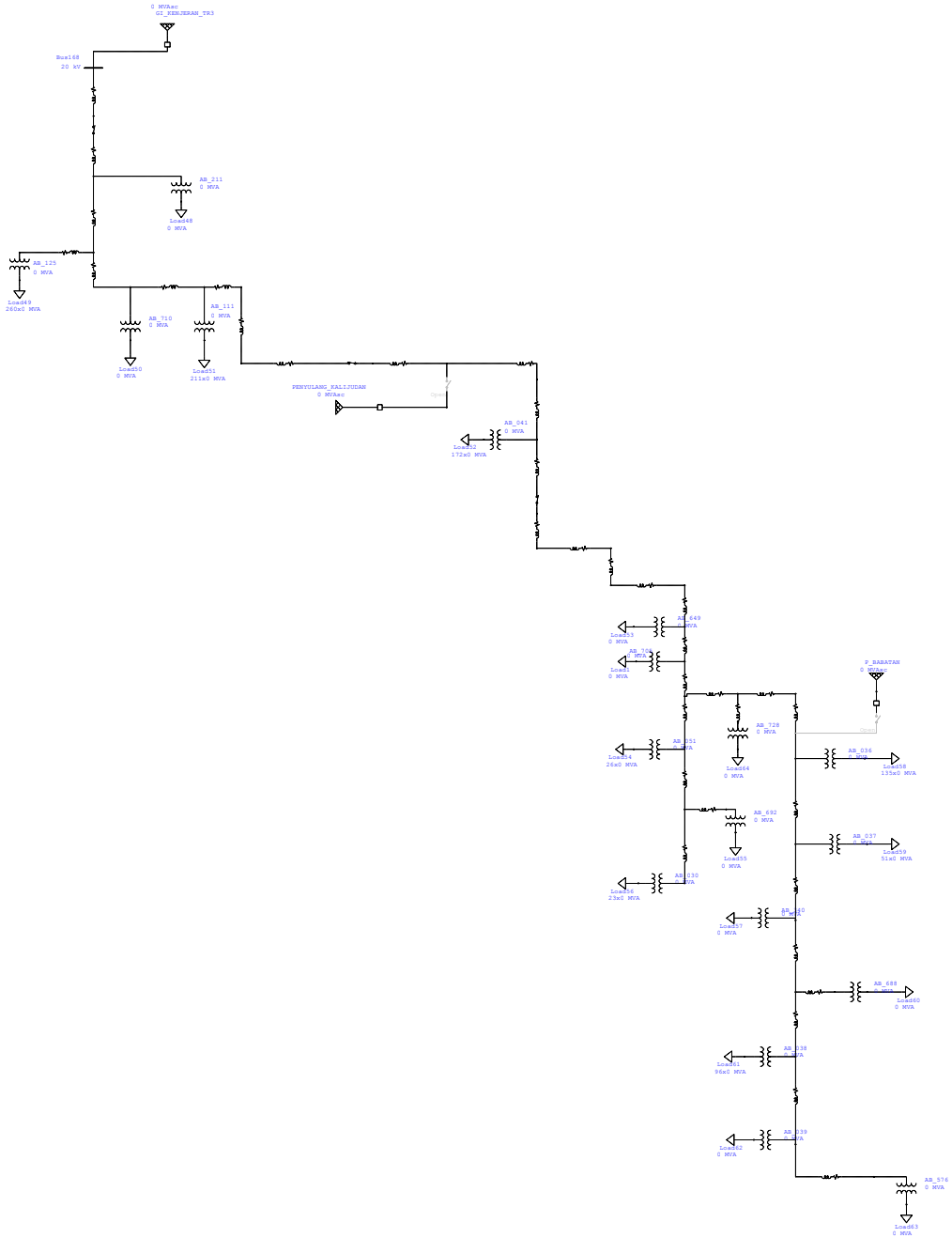
Jl Undaan Kulon 3-5, SURABAYA

DIGAMBAR	DIPERIKSA	DISETUJUI
BURHAN LISTYAWAN	HERMAN WIDOYO	LUDDIE WIED HARDONO

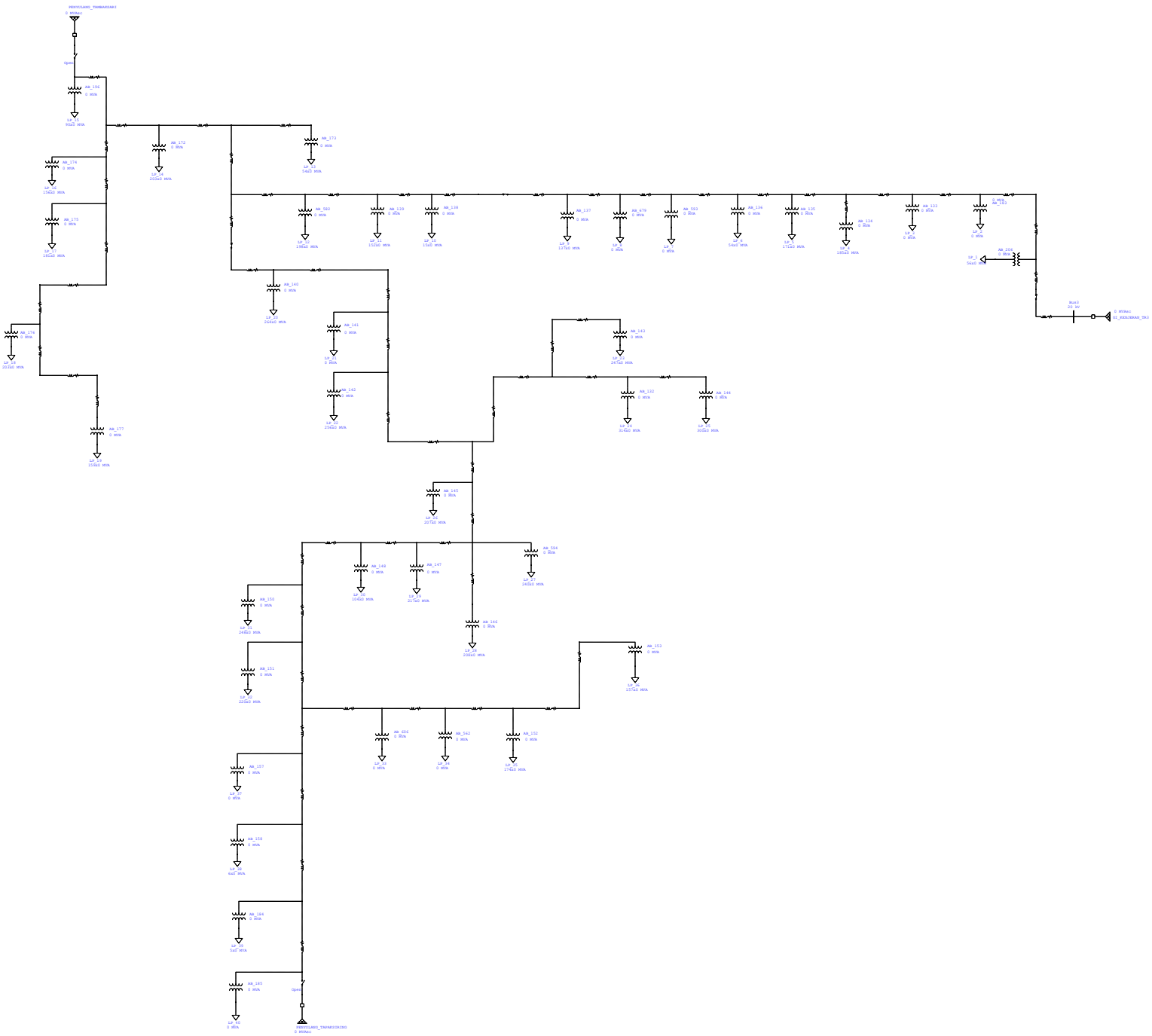
One-Line Diagram - OLV1 (Edit Mode)



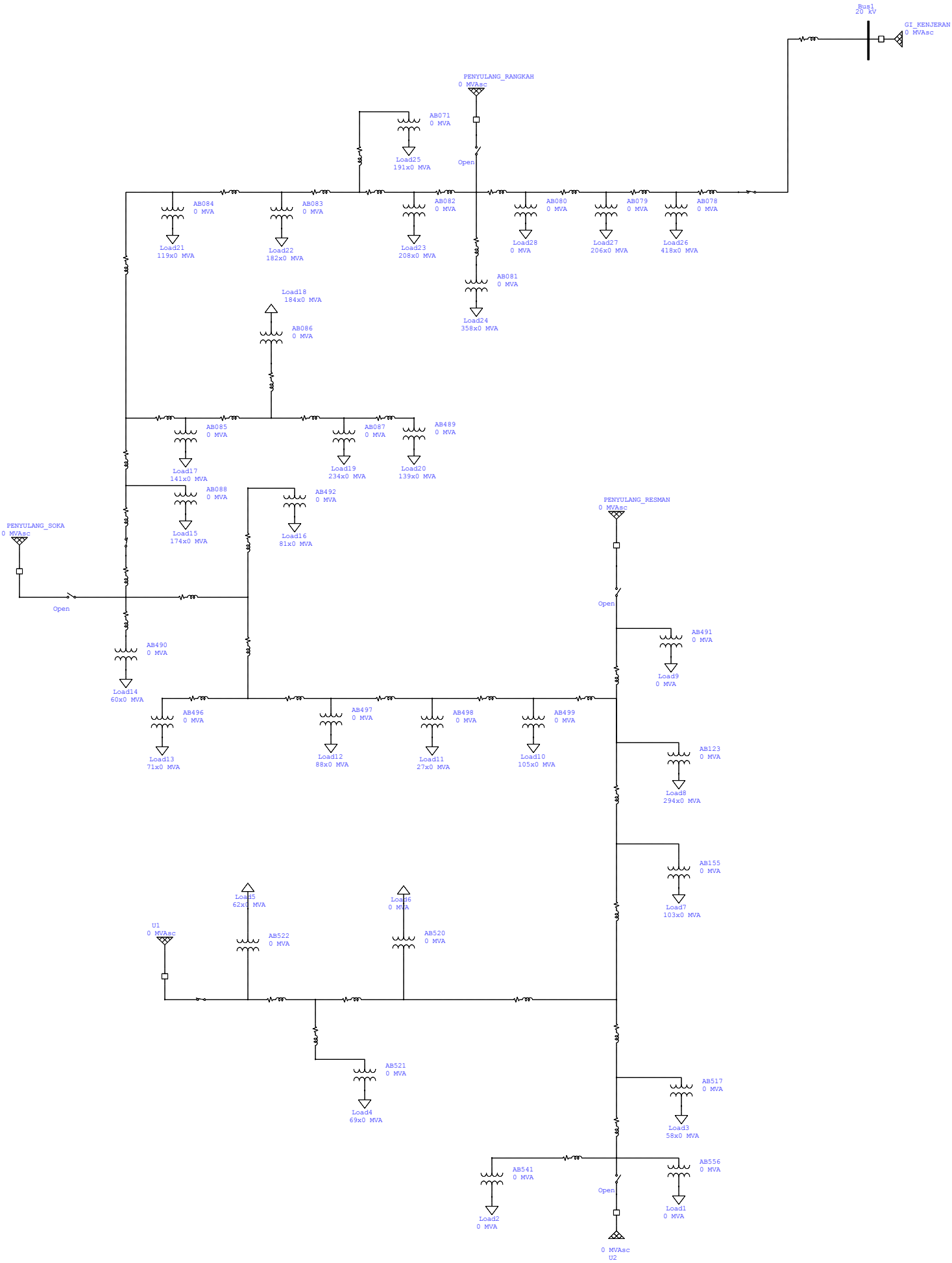
One-Line Diagram - OLV1 (Reliability Assessment)



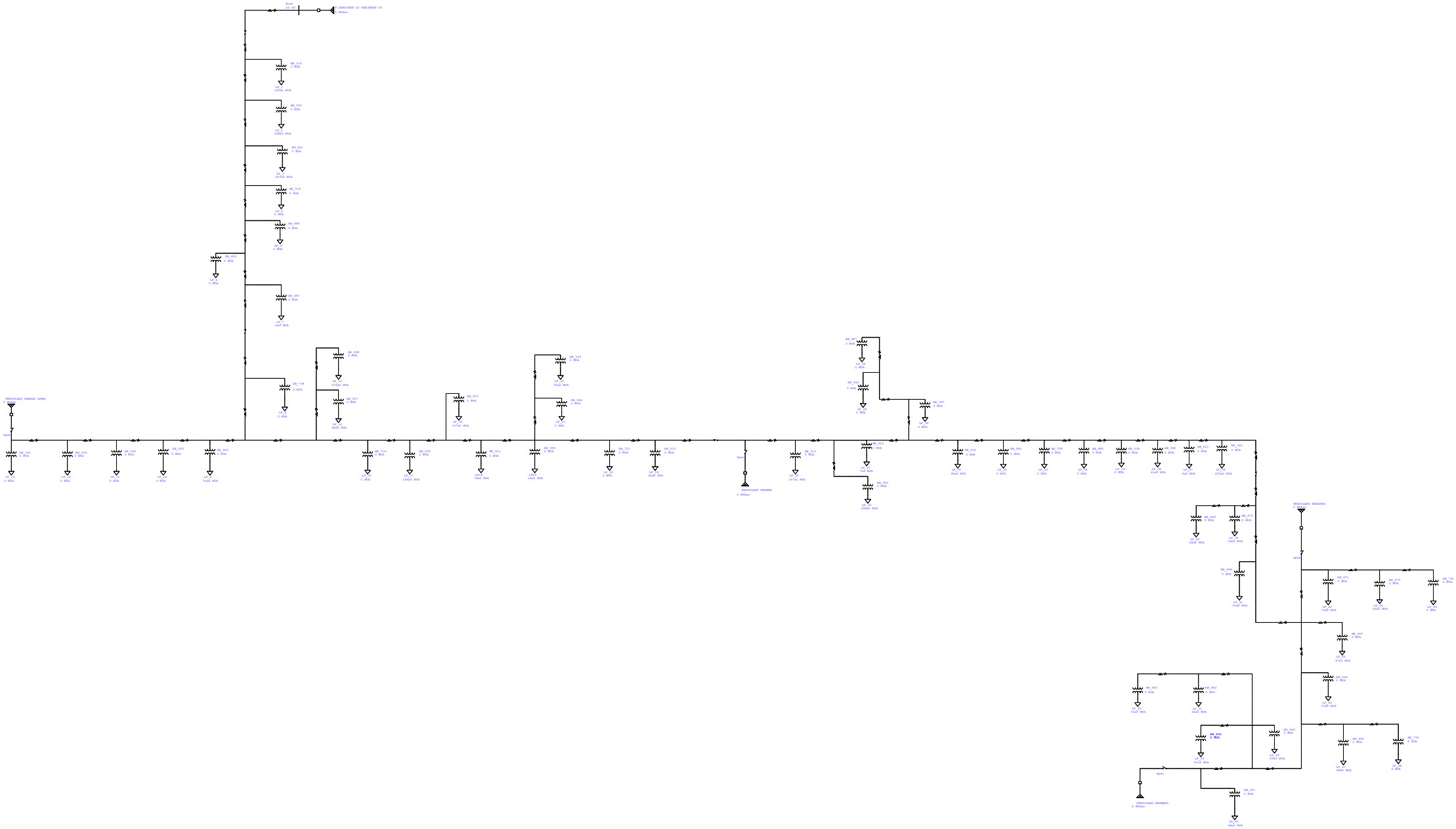
One-Line Diagram - OLV1 (Reliability Assessment)



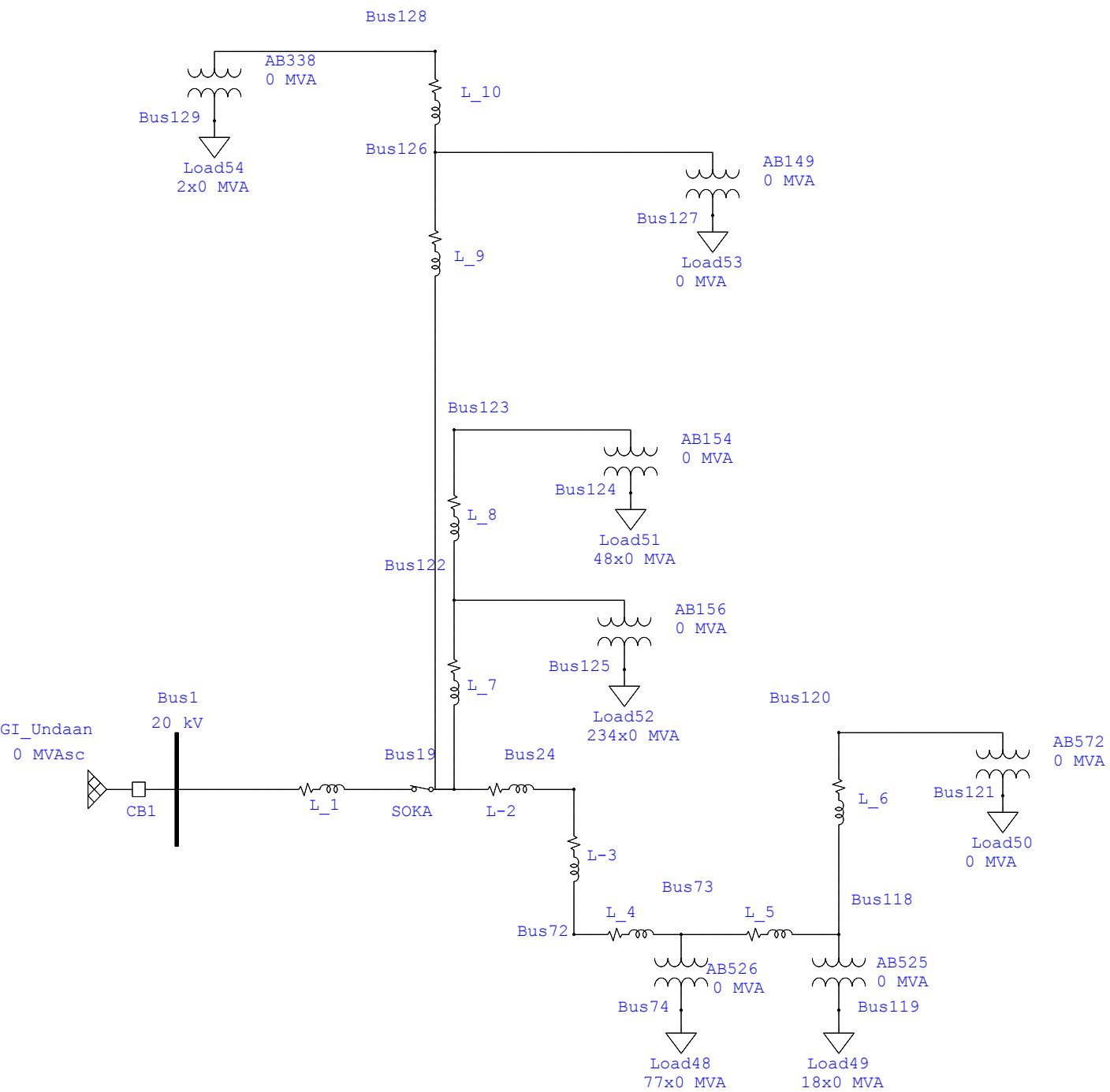
One-Line Diagram - OLV1 (Reliability Assessment)



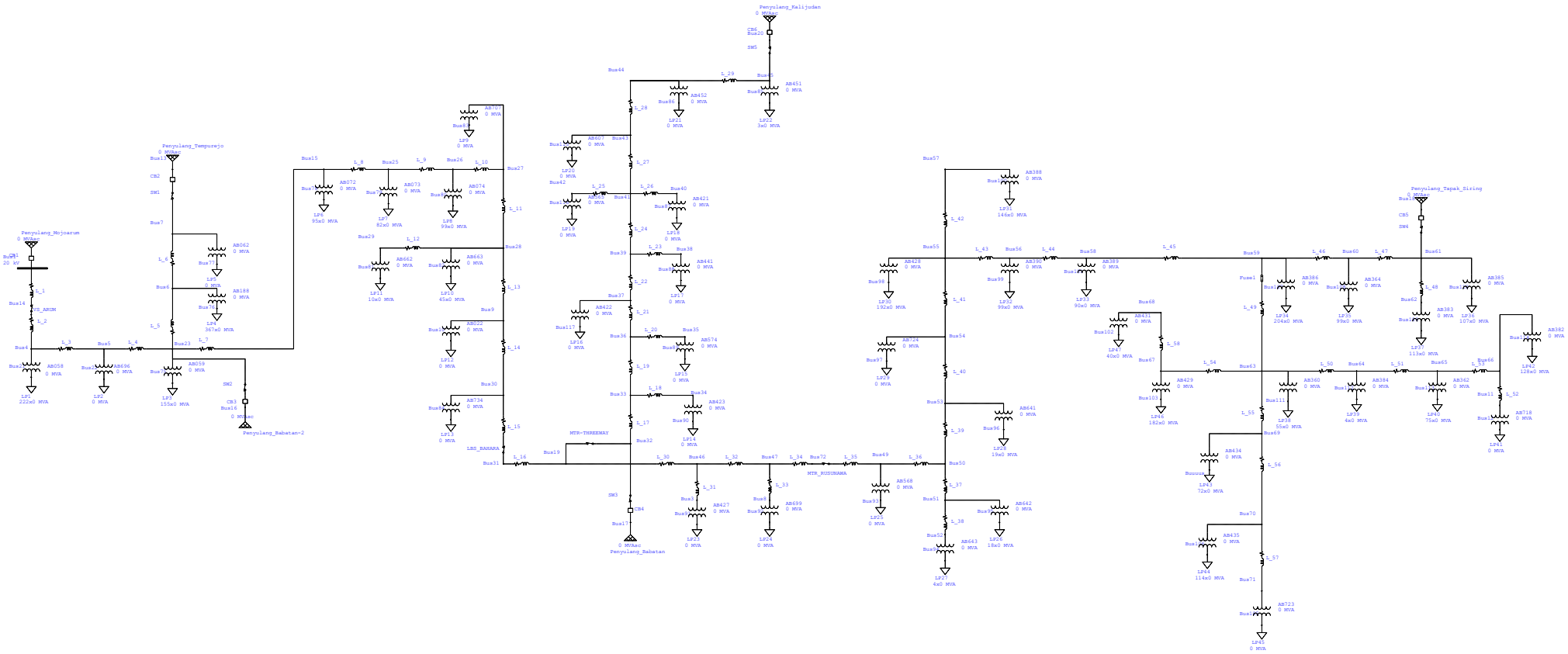
One-Line Diagram - OLV1 (Reliability Assessment)



One-Line Diagram - OLV1 (Edit Mode)



One-Line Diagram - OLV1 (Edit Mode)



BIODATA PENULIS

Penulis bernama lengkap Adfiana Pramudaswari dengan nama panggilan Adfi dilahirkan di kota Magelang pada 04 Mei 1995. Anak sulung dari dua bersaudara memulai pendidikan di SDS Hang Tuah VII Bogor (lulus pada tahun 2007), kemudian melanjutkan ke SMPN 237 Jakarta Timur (lulus pada tahun 2010) serta melanjutkan studi di SMA PKP Jakarta Islamic School Jakarta Timur (lulus pada tahun 2013). Setelah menyelesaikan pendidikan di ibu kota Jakarta, di tahun yang sama penulis melanjutkan studi di kota pelajar yakni di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta jurusan D3 Teknik Elektro konsentrasi Teknik Listrik. Kemudian pada tahun 2017 penulis melanjutkan pendidikan di kota pahlawan melalui program lintas jalur di Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknologi Elektro Surabaya.

Penulis dapat dihubungi melalui emai di bawah ini :
adfianapramudaswari@gmail.com atau
adfiana.pramudaswari@mail.ugm.ac.id

----- Halaman ini sengaja dikosongkan -----