



**PEMASANGAN *MOTORIZED LOAD BREAK SWITCH*
UNTUK PENINGKATAN KINERJA SISTEM DISTRIBUSI
LISTRIK 20 KV PT PLN APJ JEMBER**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

OKTA ARSY VENA

NIM 101910201077

PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2015

PERSEMBAHAN

Dengan segala kerendahan hati saya persembahkan skripsi ini untuk:

1. Allah SWT atas pertolongan, petunjuk serta rahmat dan hidayah-Nya dalam penyelesaian tugas akhir ini;
2. Nabi Muhammad SAW atas ajaran, safaat dan cintanya kepada umat-Nya;
3. Kedua orang tua saya Ibu Latifah dan Bapak Tri Budi Sanyoto tercinta;
4. Kakak saya Eka Afrillia Listriani, Budi Hermawan, dan adik saya Fahmi Hidayatullah yg saya sayangi;
5. Dhimas Riyadi Prihadi Putra;
6. Sahabat tercinta Jessica, Avrina, Novita, Mbul, Ndic, Wito, Rian, Angga;
7. Seluruh penghuni Labolatorium Jaringan Komputer
8. Singgih Adiyatma, Marshandi, Rizal, Wian, Singgih A, dan dulur seperjuangan Teknik Elektro 2010;
9. Seluruh staf Kampus Teknik khususnya Teknik Elektro;
10. Ibu/Bapak Guru TK ABA Tanggul, SDN Kebonsari 4 Jember, SMPN 5 Jember, SMAN 3 Jember, serta Ibu/Bapak Dosen Fakultas Teknik Universitas Jember;
11. Almamater tercinta Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagi kamu. Dan boleh jadi kamu mencintai sesuatu padahal ia amat buruk bagi kamu. Allah Maha mengetahui sedangkan kamu tidak mengetahui”

(Al-Baqarah: 216)

“Janganlah membanggakan dan menyombongkan diri apa-apa yang kita peroleh, turut dan ikutilah ilmu padi berisi makin tunduk dan makin bersyukur kepada yang menciptakan kita Allah SWT”

(Hadist)

“Don’t say I can’t, but say I will learn till I can”

(Anindya)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : Okta Arsy Vena

NIM : 101910201077

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah dengan judul “Pemasangan *Motorized Load Break Switch* untuk Peningkatan Kinerja Sistem Distribusi Listrik 20 kV PT PLN APJ Jember” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan itu tidak benar.

Jember, April 2015

Yang menyatakan,

Okta Arsy Vena

NIM 101910201077

**PEMASANGAN *MOTORIZED LOAD BREAK SWITCH*
UNTUK PENINGKATAN KINERJA SISTEM DISTRIBUSI
LISTRIK 20 KV PT PLN APJ JEMBER**

SKRIPSI

Oleh

Okta Arsy Vena

NIM 101910201077

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Widjonarko, AMd., S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr.Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pemasangan *Motorized Load Break Switch* untuk Peningkatan Kinerja Sistem Distribusi Listrik 20 kV PT PLN APJ Jember” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Jember pada:

Hari, tanggal : Kamis, 2 April 2015

Tempat : R. Ujian 1 Lt 3 Gedung Dekanat

Tim Penguji:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Widjonarko, AMd., S.T., M.T.

NIP 19710908 199903 1 001

Dr.Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

NIP 19700826 199702 1 001

Pengujji I,

Penguji II,

Ir. Widyono Hadi, M.T.

NIP 19610414 198902 1 001

Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.

NIP 19690608 199903 1 002

Mengesahkan,

Dekan,

Ir. Widyono Hadi, M.T.

NIP 19610414 198902 1 001

Pemasangan *Motorized Load Break Switch* untuk Peningkatan Kinerja Sistem Distribusi Listrik 20 kV PT PLN APJ Jember

Okta Arsy Vena

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember

ABSTRAK

Suatu sistem tenaga listrik membutuhkan suatu sistem proteksi yang reliabel, selektif, sensitif, ekonomis dan sederhana dengan memiliki kemampuan mendeteksi dan menangani gangguan dalam waktu yang cepat sehingga kontinuitas suplai listrik kepada konsumen terjaga. Karena masih rendahnya nilai keandalan pada sistem tenaga listrik kabupaten Jember, penulis mencoba mengangkat topik pemasangan LBS *motorized* sebagai dasar perencanaan sistem SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) pada ketiga penyulang Jember Kota yaitu penyulang Pakusari, penyulang Tegalboto dan penyulang Karimata yang memiliki sistem *backup* satu sama lain.

Dalam penelitian ini dilakukan dengan perhitungan nilai perbandingan keandalan SAIDI dan SAIFI menggunakan ETAP 7.0 dengan memberlakukan sistem skenario tanpa menganalisis secara *real time*. Dengan perancangan pemasangan LBS *motorized* memperkecil nilai SAIDI yaitu 5.4093 jam/tahun menjadi 4.4396 jam/tahun dan nilai SAIFI dari 0,1878 kali/tahun menjadi 0.1413 kali/tahun. Keandalan suatu sistem tenaga listrik juga dapat dilihat dari besarnya NDE (*Non Delivery Energy*). Dengan pemasangan LBS *motorized* memperkecil daya tak tersalurkan sebesar 29.412,34 KW dan menghemat kerugian sebesar Rp. 17.794.683,9.

Kata kunci : *Load Break Switch, LBS, LBS Motorized, SAIDI, SAIFI, Reliability, NDE, Energi tak tersalurkan, ETAP, SCADA*

Installation Motorized Load Break Switch for Improved Performance Power Distribution System 20 KV PT PLN APJ Jember

Okta Arsy Vena

Departement of Electrical Engineering Faculty of Engineering University of Jember

ABSTRACT

An electric power system protection system requires a reliable, selective, sensitive, economical and simple to have the ability to detect and deal with disturbances in quick time so that the continuity of electricity supply to consumers is maintained. Due to the low value of the reliability of the power system Jember, the author tried to raise the topic of motorized LBS mounting as the basis for planning the SCADA system (Supervisory Control And Data Acquisition) in the third feeder is Pakusari feeder, Jember City feeder, Tegalboto feeder, and Karimata feeder which has a backup system each other. In this study done by calculating the ratio of the value of SAIDI and SAIFI reliability using ETAP 7.0 by imposing a scenario without analyzing system in real time. By designing the installation of a motorized LBS reduce SAIDI value is 5.4093 hours/year to 4.4396 hours/year and SAIFI value of 0.1878 times/year to 0.1413 times/year. Reliability of the electric power system can also be seen from the NDE (Non Delivery Energy). With the installation of a LBS motorized far non delivery energy of 29412.34 KW and save losses of Rp. 17,794,683.9.

Keywords : *Load Break Switch, LBS, Motorized LBS, SAIDI, SAIFI, Reliability, NDE, Non Delivery Energy, ETAP, SCADA*

RINGKASAN

Pemasangan *Motorized Load Break Switch* untuk Peningkatan Kinerja Sistem Distribusi Listrik 20 kV PT PLN APJ Jember; Okta Arsy Vena; 101910201077; 75 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pada suatu sistem tenaga listrik membutuhkan suatu sistem proteksi yang reliable, selektif, sensitive, ekonomis dan sederhana dengan memiliki kemampuan mendeteksi dan menangani gangguan dalam waktu yang cepat sehingga kontinuitas suplai listrik terjaga. sistem distribusi energi listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan konsumen. Sistem distribusi adalah penyalur tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk power source*) sampai ke konsumen. Salah satu komponen sistem distribusi yang perlu di monitoring dan dikendalikan adalah LBS (*Load Break Switch*) yang berfungsi sebagai penutup maupun pemutus jaringan listrik 3 fase pada keadaan berbeban

Dengan menggantikan LBS (*Load Break Switch*) yang bersifat manual dengan LBS (*Load Break Switch*) yang bersifat *motorized* pengendalian dan pemantauan pemutusan atau penyambungan sirkuit sistem distribusi dapat dilakukan sehingga kontinuitas penyaluran tenaga listrik kepada konsumen dapat terpenuhi. Untuk itu perlunya penggantian LBS (*Load Break Switch*) *motorized* demi kontinuitas tenaga listrik kepada konsumen dan salah satunya adalah sebagai perencanaan sistem SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*). Dalam penelitian ini dilakukan dengan perhitungan nilai perbandingan keandalan SAIDI dan SAIFI menggunakan ETAP 7.0 dengan memberlakukan sistem skenario tanpa menganalisis secara *real time*. Dengan perancangan pemasangan LBS *motorized* memperkecil nilai SAIDI yaitu 5.4093 jam/tahun menjadi 4.4396 jam/tahun dan nilai SAIFI dari 0,1878 kali/tahun menjadi 0.1413 kali/tahun. Keandalan suatu sistem tenaga listrik juga dapat dilihat dari besarnya NDE (*Non Delivery Energy*). Dengan pemasangan LBS *motorized* memperkecil daya tak tersalurkan sebesar 29.412,34 KW dan menghemat kerugian sebesar Rp. 17.794.683,9.

PRAKATA

Bismillahirrohman nirrohimi, Alhamdulillah robbil ‘alamin, puji syukur atas kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pemasangan LBS *Motorized* untuk Peningkatan Kinerja Sistem Distribusi Listrik 20 Kv PT. PLN APJ Jember Berbasis ETAP”.

Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Mudah-mudahan penulisan skripsi ini dapat bermanfaat untuk penelitian pengembangan selanjutnya dan masyarakat.

Dalam terselesaikannya skripsi ini penulis tidak terlepas dari segala bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis sampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Widyono Hadi, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Jember;
2. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
3. Bapak Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Strata-1 Teknik Elektro, Universitas Jember;
4. Bapak Widjonarko., S.T., M.T. dan Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing, yang senantiasa sabar dan meluangkan waktu, pikiran, dan perhatiannya dalam membimbing saya, serta tak henti-hentinya memberikan motivasi, dorongan dan semangat kepada saya dalam menyelesaikan skripsi ini;
5. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. dan Dr. Ir. Bambang Sudjanarko, M.M. selaku Tim Dosen Penguji yang telah dapat meluangkan waktu pikiran dan perhatian guna memberikan pengarahan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini;

6. Bapak Bambang Supeno, S.T., M.T selaku Komisi Bimbingan Skripsi yang dengan banyak bantuan beliau skripsi ini dapat terselesaikan.
7. Bapak Seluruh Bapak/Ibu Dosen Teknik Elektro dan Karyawan Fakultas Teknik yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu;
8. Keluarga besar yang selama ini memeri motivasi serta banyak memberikan saya dukungan spriritual mauppun material terutama kepada kedua orang tua saya, mbak dan adik saya tercinta;
9. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro 2010 'PATEK' yang selalu memberikan motivasi dan semanat untuk selalu berjuang. Terima kasih dulur seperjuangan, kenangan terindah tak akan aku lupakan;
10. *People who special for me*; Dhimas, Angga, Rian, Novita, Jessica, Avrina, Wito, Nana, Ndik, Gahan terima kasih tak terhingga atas support dan bantuan secara moral dan materiil kalian selama ini.
11. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan semangat secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih banyak.

Dengan menyadari adanya kekurangan serta jauh dari kesempurnaan skripsi ini, baik dalam penyusunan maupun pembahasan masalah karena keterbatasan pengetahuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar dapat lebih baik di masa yang akan datang.

Penulis

Jember, 2 April 2015

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PENGESAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	
DAFTAR GAMBAR	
DAFTAR LAMPIRAN	
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSATAKA	4
2.1 Pengertian dan Fungsi <i>Load Break Switch</i>	4
2.1.1 Pengertian <i>Load Break Switch</i>	4
2.1.2 Mekanisme Kerja LBS	6
2.2 Sistem SCADA	7
2.2.1 Komponen Sistem SCADA	9
2.2.2 Komunikasi SCADA	10

2.2.3 Konfigurasi Sistem SCADA	11
2.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	13
2.3.1 Jaringan Distribusi Radial	14
2.3.2 Jaringan Distribusi Ring.....	18
2.3.3 Jaringan Distribusi Mesh.....	20
2.3.2 Jaringan Distribusi Spindle	20
2.4 Keandalan Penyaluran Listrik.....	21
2.4.1 Keandalan Penyaluran Listrik	21
2.4.2 Keandalan Sistem Distribusi	23
2.5 NDE (Non Delivery Energy).....	25
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Alat dan Bahan	26
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	26
3.3 Tahap Penelitian.....	26
3.4 Diagram Alir Penelitian	28
3.5 Gambar dan Data <i>SITE Plant</i>.....	29
3.6 Load Break Switch yang Digunakan	37
3.6.1 Spesifikasi LBS Manual.....	37
3.6.2 Spesifikasi LBS <i>Motorized</i>	39
3.7 Perencanaan Sistem.....	41
3.7 Parameter yang Dimasukkan ke dalam ETAP	43
3.7.1 Skenario Sebelum Pemasangan LBS <i>motorized</i>	43
3.7.2 Skenario Setelah Pemasangan LBS <i>motorized</i>	45
3.8 Permodelan Jaringan dalam ETAP	48
3.9 Cara Evaluasi Keandalan dengan Menggunakan Software	
ETAP 7.0.....	52
3.10 Indeks Keandalan Peralatan Distribusi.....	56
BAB 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	58

4.1 Parameter yang Dimasukkan ke dalam ETAP	58
4.2 Hasil Pengujian Menggunakan ETAP.....	60
4.2.1 Hasil Sebelum Pemasangan LBS <i>motorized</i>	60
4.2.2 Hasil Setelah Pemasangan LBS <i>motorized</i>	63
4.3 Perhitungan NDE (<i>Non Delivery Energy</i>) atau Energi Tak Tersalurkan	69
4.3.1 Perhitungan NDE Sebelum Pemasangan LBS <i>motorized</i> ...	69
4.3.2 Perhitungan NDE Setelah Pemasangan LBS <i>motorized</i>	70
4.3.3 Kerugian NDE Sebelum Pemasangan LBS <i>motorized</i>	71
4.3.4 Kerugian dari NDE Setelah Pemasangan LBS <i>motorized</i> ..	72
BAB 5. PENUTUP	74
5.1 Kesimpulan.....	74
5.2 Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Data Penyulang Masing-masing Trafo.....	29
Tabel 3.2 Data gangguan bulanan tiap penyulang rayon Jember Kota tahun 2014	30
Tabel 3.3 Rekapitulasi penyulang Jember Kota tahun 2014.....	30
Tabel 3.4 Data Konversi dari daya semu ke daya nyata.....	31
Table 3.5 Data section tiap penyulang	32
Tabel 3.6 Perkiraan angka keluar komponen sistem distribusi.....	56
Tabel 3.7 Waktu operasi kerja dan pemulihan layanan.....	57
Tabel 4.1 Skenario padam sebelum pemasangan sistem SCADA	58
Tabel 4.2 Tabel skenario padam setelah pemasangan SCADA	59
Tabel 4.3 Hasil simulasi sebelum menggunakan SCADA	60
Tabel 4.4 Hasil simulasi setelah menggunakan SCADA.....	63

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Ilustrasi konstruksi kontak <i>Load Break Switch</i> dengan peredam vacuum.....	5
2.2 Konfigurasi 3 elemen penting dalam sistem SCADA	9
2.3 Konfigurasi <i>point to point</i>	12
2.4 Konfigurasi <i>Star</i>	12
2.5 Konfigurasi <i>Party line</i>	12
2.6 Konfigurasi <i>Mix Star and Party Line</i>	13
2.7 Sistem pendistribusian tenaga listrik.....	14
2.8 Jaringan radial tipe pohon	15
2.9 Komponen jaringan radial	16
2.10 Jaringan radial dengan <i>tie</i> dan <i>switch</i>	16
2.11 Jaringan radial tipe pusat beban.....	17
2.12 Jaringan radial tipe <i>phase area</i>	17
2.13 Jaringan distribusi tipe ring	19
2.14 Jaringan distribusi ring terbuka.....	19
2.15 Jaringan distribusi ring tertutup	19
2.16 Jaringan distribusi spindle	21
3.1 Diagram Alir Penelitian	28
3.2 <i>Single Line</i> penyulang Pakusari.....	33
3.3 <i>Single Line</i> penyulang Tegalboto	34
3.4 <i>Single Line</i> penyulang Karimata.....	35

3.5 Jaringan <i>existing</i> sebelum pemasangan sistem SCADA.....	36
3.6 LBS Manual TYPE;ISA-G &ISW-G.....	37
3.7 LBS <i>motorized</i> Type RL27-LBS-SF6.....	39
3.8 Diagram blok sistem	41
3.9 Jaringan setelah pemasangan sistem SCADA.....	42
3.10 Tampilan project editor pada ETAP sebelum di run pada keadaan sebelum pemasangan sistem SCADA.....	48
3.9 Tampilan project editor pada ETAP setelah di run pada keadaan sebelum pemasangan sistem SCADA.....	49
3.10 Tampilan project editor pada ETAP sebelum di run pada keadaan setelah pemasangan sistem SCADA.....	50
3.11 Tampilan project editor pada ETAP setelah di run pada keadaan setelah pemasangan sistem SCADA.....	51
4.1 Grafik hasil running ETAP penyulang Pakusari sebelum pemasangan sistem SCADA	61
4.2 Grafik hasil running ETAP penyulang Tegalboto sebelum pemasangan sistem SCADA	61
4.3 Grafik hasil running ETAP penyulang Karimata sebelum pemasangan sistem SCADA	62
4.4 Grafik hasil running ETAP penyulang Pakusari setelah pemasangan sistem SCADA	63
4.5 Grafik hasil running ETAP penyulang Tegalboto setelah pemasangan sistem SCADA	64
4.6 Grafik hasil running ETAP penyulang Karimata setelah pemasangan sistem SCADA	65

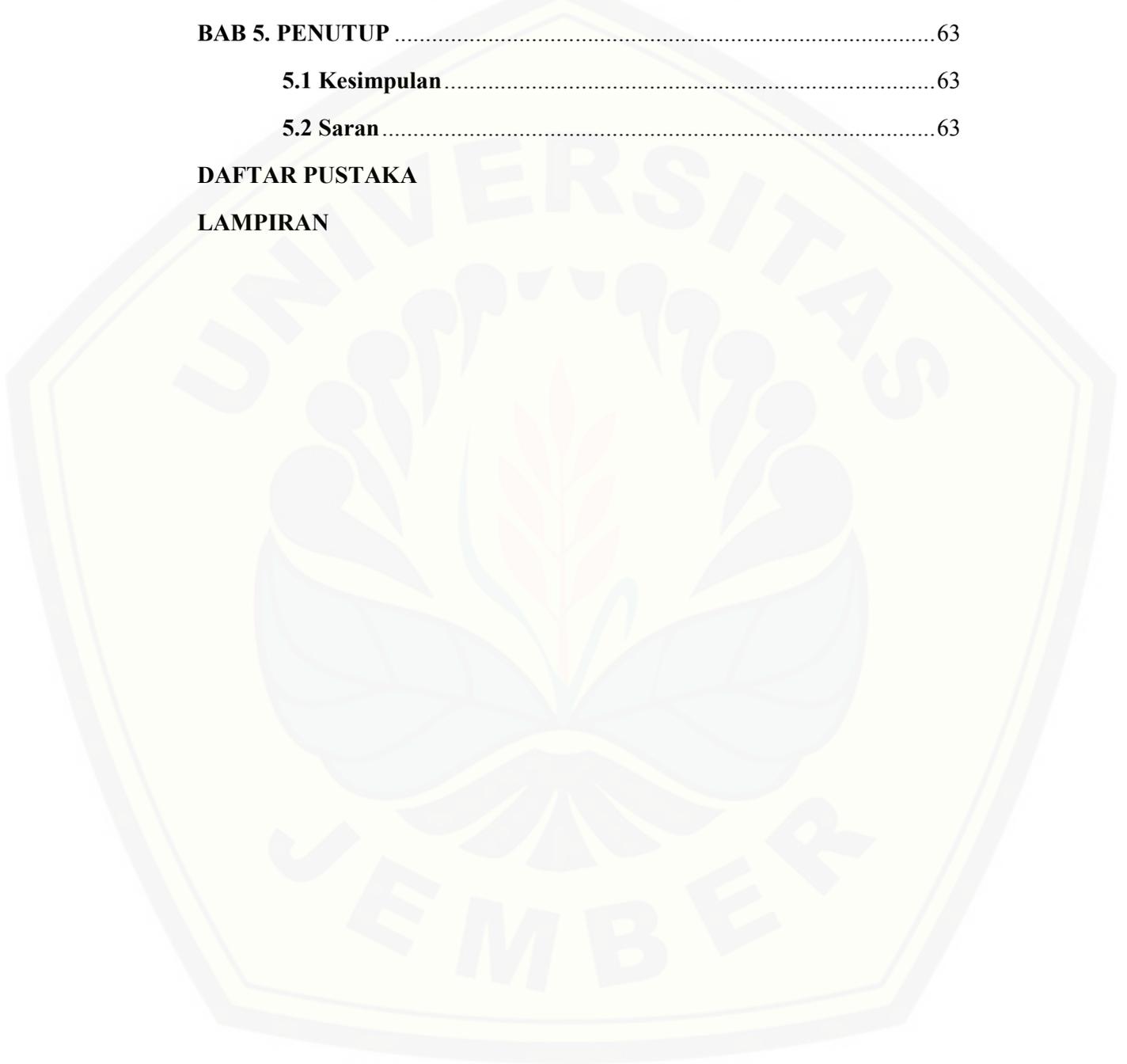
4.7 Grafik perbandingan hasil SAIFI penyulang Pakusari	66
4.8 Grafik perbandingan hasil SAIDI kehandalan penyulang Pakusari	66
4.9 Grafik perbandingan hasil SAIFI kehandalan penyulang Tegalboto	67
4.10 Grafik perbandingan hasil SAIDI kehandalan penyulang Tegalboto	67
4.11 Grafik perbandingan hasil SAIFI kehandalan penyulang Pakusari	68
4.12 Grafik perbandingan hasil SAIDI kehandalan penyulang Pakusari	68
4.13 Grafik perbandingan hasil NDE (<i>Non Delivery Energy</i>)	71
4.14 Grafik Kerugian dari NDE (<i>Non Delivery Energy</i>)	73

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PENGESAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	
DAFTAR GAMBAR	
DAFTAR LAMPIRAN	
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSATAKA	4
2.1 Pengertian dan Fungsi <i>Load Break Switch</i>	4
2.1.1 Pengertian <i>Load Break Switch</i>	4
2.1.2 Mekanisme Kerja LBS	6
2.2 Sistem SCADA	7
2.2.1 Komponen Sistem SCADA	9

2.2.2 Komunikasi SCADA	10
2.2.3 Konfigurasi Sistem SCADA	11
2.3 Keandalan Penyaluran Listrik.....	13
2.3.1 Keandalan Penyaluran Listrik	10
2.3.2 Keandalan Sistem Distribusi	14
2.4 NDE (Non Delivery Energy).....	17
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Alat dan Bahan	18
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	18
3.3 Tahap Penelitian.....	18
3.4 Diagram Alir Penelitian	21
3.5. Gambar dan Data <i>SITE Plant</i>.....	21
3.6 Perencanaan Sistem.....	29
3.7 Parameter yang Dimasukkan ke dalam ETAP	31
3.7.1 Skenario Sebelum Pemasangan LBS <i>motorized</i>	31
3.7.2 Skenario Setelah Pemasangan LBS <i>motorized</i>	33
3.8 Permodelan Jaringan dalam ETAP.....	37
3.9 Cara Evaluasi Keandalan dengan Menggunakan Software	
ETAP 7.0.....	41
3.10 Indeks Keandalan Peralatan Distribusi.....	45
BAB 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1 Parameter yang Dimasukkan ke dalam ETAP	47
4.2 Hasil Pengujian Menggunakan ETAP.....	49
4.2.1 Hasil Sebelum Pemasangan LBS <i>motorized</i>	49
4.2.2 Hasil Setelah Pemasangan LBS <i>motorized</i>	52
4.3 Perhitungan NDE (Non Delivery Energy) atau Energi Tak	
Tersalurkan	58

4.3.1 Perhitungan NDE Sebelum Pemasangan LBS <i>motorized</i> ...	58
4.3.2 Perhitungan NDE Setelah Pemasangan LBS <i>motorized</i>	59
4.3.3 Kerugian NDE Sebelum Pemasangan LBS <i>motorized</i>	60
4.3.4 Kerugian dari NDE Setelah Pemasangan LBS <i>motorized</i> ..	61
BAB 5. PENUTUP	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Data Penyulang Masing-masing Trafo.....	19
Tabel 3.2 Data Konversi dari Daya ke Daya Nyata.....	20
Tabel 3.3 Data Section Tiap Penyulang.....	21
Tabel 3.4 Perkiraan angka keluar komponen sistem distribusi	41
Tabel 3.5 Waktu operasi kerja dan pemulihan layanan	42
Tabel 4.1 Padam skenario sebelum pemasangan sistem SCADA.....	43
Tabel 4.2 Tabel padam skenario setelah pemasangan SCADA	44
Tabel 4.3 Hasil simulasi sebelum menggunakan SCADA	45
Tabel 4.4 Hasil simulasi setelah menggunakan SCADA.....	48

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Ilustrasi konstruksi kontak <i>Load Break Switch</i> dengan peredam vacuum.....	5
2.2 Konfigurasi 3 elemen penting dalam sistem SCADA	9
2.3 Konfigurasi <i>point to point</i>	12
2.4 Konfigurasi <i>Star</i>	12
2.5 Konfigurasi <i>Party line</i>	12
2.6 Konfigurasi <i>Mix Star and Party Line</i>	13
3.1 Diagram Alir Penelitian	18
3.2 <i>Single Line</i> penyulang Pakusari.....	22
3.3 <i>Single Line</i> penyulang Tegalboto	23
3.4 <i>Single Line</i> penyulang Karimata.....	24
3.5 Jaringan <i>existing</i> sebelum pemasangan sistem SCADA.....	25
3.6 Diagram blok sistem	26
3.7 Jaringan setelah pemasangan sistem SCADA	27
3.8 Tampilan project editor pada ETAP sebelum di run pada keadaan sebelum pemasangan sistem SCADA.....	33
3.9 Tampilan project editor pada ETAP setelah di run pada keadaan sebelum pemasangan sistem SCADA.....	34
3.10 Tampilan project editor pada ETAP sebelum di run pada keadaan setelah pemasangan sistem SCADA.....	35

3.11 Tampilan project editor pada ETAP setelah di run pada keadaan setelah pemasangan sistem SCADA.....	36
4.1 Grafik hasil running ETAP penyulang Pakusari sebelum pemasangan sistem SCADA	46
4.2 Grafik hasil running ETAP penyulang Tegalboto sebelum pemasangan sistem SCADA	46
4.3 Grafik hasil running ETAP penyulang Karimata sebelum pemasangan sistem SCADA	47
4.4 Grafik hasil running ETAP penyulang Pakusari setelah pemasangan sistem SCADA	48
4.5 Grafik hasil running ETAP penyulang Tegalboto setelah pemasangan sistem SCADA	49
4.6 Grafik hasil running ETAP penyulang Karimata setelah pemasangan sistem SCADA	50
4.7 Grafik perbandingan hasil SAIFI penyulang Pakusari	51
4.7 Grafik perbandingan hasil SAIDI kehandalan penyulang Pakusari	51
4.8 Grafik perbandingan hasil SAIFI kehandalan penyulang Tegalboto	52
4.8 Grafik perbandingan hasil SAIDI kehandalan penyulang Tegalboto	52
4.9 Grafik perbandingan hasil SAIFI kehandalan penyulang Pakusari	53
4.9 Grafik perbandingan hasil SAIDI kehandalan penyulang Pakusari	53
4.10 Grafik perbandingan hasil NDE (<i>Non Delivery Energy</i>)	56
4.11 Grafik Kerugian dari NDE (<i>Non Delivery Energy</i>)	58

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada suatu sistem tenaga listrik membutuhkan suatu sistem proteksi yang reliable, selektif, sensitive, ekonomis dan sederhana dengan memiliki kemampuan mendeteksi dan menangani gangguan dalam waktu yang cepat sehingga kontinuitas suplai listrik terjaga. Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan konsumen. Sistem distribusi adalah penyalur tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk power source*) sampai ke konsumen. Salah satu komponen sistem distribusi yang perlu di monitoring dan dikendalikan adalah LBS (*Load Break Switch*) yang berfungsi sebagai penutup maupun pemutus jaringan listrik 3 fase pada keadaan berbeban.

Pada sistem kelistrikan PT PLN APJ Jember khususnya sistem kelistrikan Kabupaten Jember yang memiliki 39 penyulang dengan dibagi 9 area rayon dan 8 kantor jaga 9 (PLN Jember, 2014). Dengan hal ini PLN APJ Jember diharapkan mampu menjaga penyaluran daya ketika terjadi gangguan khususnya kejadian ketika daerah dengan daerah lainnya memiliki jalur distribusi yang sama dengan salah satu daerah memiliki suatu gangguan yang pemutusan dayanya diberlakukan pada jalur distribusi tersebut, hal tersebut menjadi pokok permasalahan bagi PT PLN.

Seluruh komponen LBS (*Load Break Switch*) pada sistem kelistrikan PT PLN APJ Jember pengoperasiannya masih bersifat manual dan tidak dapat dimonitoring. Untuk itu perlunya penggantian LBS (*Load Break Switch*) *motorized* demi kontinuitas tenaga listrik kepada konsumen dan salah satunya adalah sebagai perencanaan sistem SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*). Sistem SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) yang memiliki fungsi sebagai *telemetry* dan *telecontrol*.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang mendasari pada tugas akhir ini adalah :

- a. Bagaimana menghitung parameter kehandalan SAIDI dan SAIFI pada jaringan existing sebelum dan sesudah pemasangan LBS *motorized* pada jaringan distribusi penyulang Pakusari, penyulang Tegalboto, dan penyulang Karimata PT. PLN APJ Jember .
- b. Bagaimana menghitung daya yang tak tersalurkan dan menghitung kerugian biaya dari daya yang tak tersalurkan sebelum dan sesudah pemasangan LBS *motorized*.

1.3. Tujuan

Memecahkan permasalahan pada penyaluran daya listrik distribusi penyulang Pakusari, penyulang Tegalboto dan penyulang Karimata dengan merencanakan LBS *motorized* dan menganalisis daya yang tak tersalurkan tiap padam pada PT. PLN APJ Jember demi menjaga suplai listrik kepada konsumen.

1.4. Manfaat

Adapun manfaat yang ingin diharapkan setelah penelitian ini tercapai adalah terpasangnya LBS *motorized* sebagai dasar pemasangan sistem SCADA pada kelistrikan Kabupaten Jember demi kontinuitas penyaluran daya dan optimalisasi kinerja PT. PLN APJ Jember jika terjadi gangguan listrik.

1.5. Batasan Penelitian

Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

- a. Perancangan pemasangan LBS *motorized* diberlakukan pada jaringan distribusi PT. PLN APJ Jember pada penyulang Pakusari, penyulang Tegalboto, dan penyulang Karimata.
- b. Penulis tidak melakukan pengukuran tegangan pada jaringan existing.
- c. Penulis tidak melakukakn perhitungan keandalan SAIDI dan SAIFI menggunakan rumus melainkan dari hasil ETAP 7.0.

- d. Penulis menganalisa parameter keandalan dengan menganggap kedua penyulang lainnya beroperasi normal.
- e. Penulis menganggap dalam satu skenario hanya satu section saja yang mengalami padam
- f. Penulis tidak menyertakan spesifikasi komponen yang akan dipasang. Komponen yang dimaksudkan hanya bersifat universal.
- g. Penulis tidak menyertakan perhitungan biaya pemasangan LBS *motorized*.

1.6.Sistematika Pembahasan

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, tujuan pembahasan, rumusan masalah, batasan masalah, dan sistematika pembahasan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi penjelasan tentang teori yang berhubungan dengan penelitian.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil penelitian dan analisa hasil penelitian.

BAB 5 PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian dan Fungsi *Load Break Switch*

2.1.1 Pengertian *Load Break Switch*

Switch pemutus beban (*Load Break Switch*, LBS) merupakan saklar atau pemutus arus tiga fase untuk penempatan di luar ruas pada tiang pancang, yang dikendalikan secara elektronis. *Switch* dengan penempatan di atas tiang pancang ini dioptimalkan melalui control jarak jauh dan skema otomatisasi. *Switch* pemutus beban juga merupakan sebuah sistem penginterupsi hampa yang terisolasi oleh gas SF₆ dalam sebuah tangki baja anti karat dan disegel. Sistem kabelnya yang *full-insulated* dan sistem pemasangan pada tiang pancang yang sederhana yang membuat proses instalasi lebih cepat dengan biaya yang rendah. Sistem pengendalian elektroniknya ditempatkan pada sebuah kotak pengendali yang terbuat dari baja anti karat sehingga dapat digunakan dalam berbagai kondisi lingkungan. Panel pengendali (*user-friendly*) dan tahan segala kondisi cuaca. Sistem monitoring dan pengendalian jarak jauh juga dapat ditambahkan tanpa perlu menambahkan *Remote Terminal Unit* (RTU)

Ciri-ciri LBS :

1. Dapat digunakan sebagai pemisah maupun pemutus tenaga dengan bebannominal.
2. Tidak dapat memutuskan jaringan dengan sendirinya saat terjadigangguan pada jaringan.
3. Dibuka dan ditutup hanya untuk memanipulasi beban.

Load Break Switch menggunakan puffer interrupter di dalam sebuah tangki baja anti karat yang dilas penuh yang diisi dengan gas SF₆. Interrupter tersebut diletakkan secara berkelompok dan digerakkan oleh mekanisme pegas. Inidioperasikan baik secara manual maupun dengan sebuah motor DC dalam kompartemen motor di bawah tangki. Listrik motor berasal dari baterai-baterai 24Volt dalam ruang kontrol. Transformator arus (CT) dipasang di dalam tangkidan dihubungkan ke elemen-elemen elektronik untuk memberikan indikasi gangguan dan line measurement. Terdapat bushing-bushing epoksi dengan transformer tegangan kapasitif, ini terhubung ke elemen-elemen

elektronik untuk memberikan line sensing dan pengukuran. Elemen-elemen elektronik kontrol terletak dalam ruang kontrol memiliki standar yang sama yang digunakan untuk mengoperasikan switcgear intelijen, yang dihubungkan keswitcgear dengan kabel kontrol yang dimasukkan ke *Switch Cable Entry Module* (SCEM) yang terletak di dalam kompartemen motor.

Load Break Switch dapat dioperasikan dalam keadaan berbeban (onload) namun tidak boleh membuka saat terjadi gangguan berupa arus hubung singkat. Hal ini disebabkan karena SF₆ yang terdapat di dalam peredam busur api LBS memiliki kemampuan terbatas terhadap besarnya arus yang melaluinya. Apabila pada saat terjadi gangguan hubung singkat, LBS ikut membuka hal ini justru dapat menyebabkan kerusakan pada LBS tersebut ataupun dikhawatirkan LBS bisa meledak.

Jenis-jenis *Load Break Switch* menurut pemasangannya :

1. *Pole-Mounted*

Load Break Switch sesuai dengan namanya *Pole-Mounted Load Break Switch* merupakan jenis LBS yang dipasang digantung pada tiang-tiang JTM (*outdoor*). Beberapa LBS jenis ini dilengkapi dengan fitur sebagai *Sectionalizer* (SSO). LBS tipe ini dipasang pada main feeder dan berfungsi sebagai pembatas tiap seksi-seksi jaringan untuk melokalisir daerah gangguan maupun pemadaman.

2. *Pad-Mounted Load Break Switch*

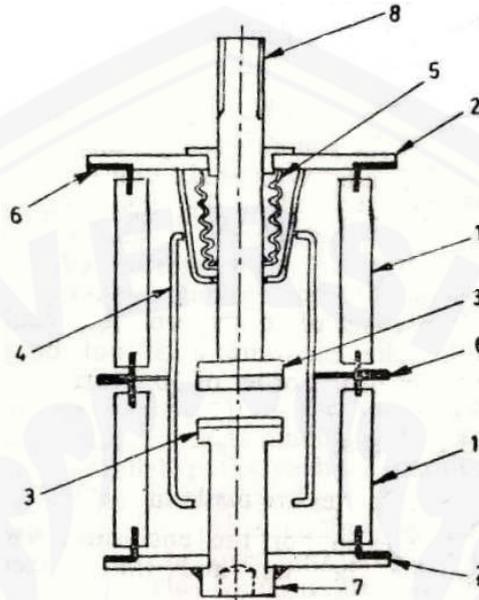
Pad-Mounted Load Break Switch dipasang pada kubikel 20 kV (*indoor*). Karena dipasang di dalam kubikel LBS jenis ini lebih mudah dioperasikan dan lebih aman. Selain itu karena dipasang di dalam ruang tertutup kerusakan-kerusakan yang disebabkan oleh air dapat diminimalisir, sehingga jangka waktu pemeliharaannya dapat dilakukan dalam kurun waktu bertahun-tahun.

3. *Submersible Load Break Switch*

Submersible Load Break Switch adalah jenis LBS yang dapat diletakkan didalam ruang tertutup, sehingga tahan terhadap air. Karena tahan terhadap air, memungkinkan untuk dipasang pada jaringan yang terendam di bawah air, misal pada bendungan, sungai dan sebagainya. LBS jenis ini juga

menggunakan peredam busur api berupa Gas SF₆. (sumber: Retno Wulandari,2013)

2.1.2 Mekanisme Kerja LBS



Gambar 2.1. Ilustrasi konstruksi kontak *load break switch* dengan peredam vacum
(Sumber: Retno Wulandari,2013)

1. *Enclosure*.

Enclosure merupakan bagian penutup (*casing*) terbuat dari bahan isolasi kedap seperti resin sintesis. Penutup tidak harus berpori dan harus mempertahankan kondisi hampa (*vacuum*).

2. *End Flanges : non-magnetic metal* (bahan metal tidak bersifat magnetik).

Merupakan penutup dari *enclosure*. Biasanya terbuat dari metal yang tidak memiliki sifat magnetik.

3. *Contacts* (kontak).

Merupakan bagian yang terbuat dari batang besar dengan permukaan besar berbentuk pipih. Bagian ini berfungsi untuk menyambungkan dan melepas aliran arus yang mengalir pada *Load Break Switch*. Kontak bergerak dengan sangat cepat untuk mengurangi busur api. Dan biasanya terbuat dari tembaga.

4. *Vapour condensing shield* (perisai kondensasi uap).

Pelindung logam yang berguna untuk isolasi yang menutup bagian kontak. Uap logam yang dilepaskan dari permukaan kontak selama ada busur api dan dikondensasikan pada perisai. Serta mencegah dari kondensasi pada penutup (casing) isolator pada *Load Break Switch*.

5. *Metallic bellow* (Logam Bellow).

Bellow merupakan logam yang disusun. Dan salah satu ujung bellow dilas ke *logam-flange* (penutup casing). Ujung yang lain dilas ke kontak bergerak. Bellow umumnya digunakan dalam *Load Break Switch* dengan peredam vakum.

6. *Seal* (segel).

Segel yang digunakan ini biasanya adalah seperti logam-kaca, atau segel logam-keramik.

7. *Fixed contact steam*.

Merupakan bagian kontak yang tidak bergerak.

8. *Moving-contact steam*.

Merupakan bagian kontak yang bergerak. Biasanya digerakan dengan bantuan pegas.

(Sumber: Donny Fisca Efisiyanto,2013)

2.2. Sistem SCADA

SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) adalah sebuah sistem pengawasan dan pengendalian, dengan cara melakukan pengumpulan dan analisa data secara *real time*. Sistem SCADA terdiri dari 3 bagian utama yaitu Master, *Slave*, dan media komunikasi.

Pengaturan tenaga listrik pada sistem yang terinterkoneksi dilaksanakan oleh pusat pengatur sistem tenaga listrik. Kecepatan dan keakuratan data informasi sangatlah dibutuhkan pada pengaturan sistem tenaga listrik, sehingga pusat pengatur tenaga listrik dalam melaksanakan tugas pengaturan didukung oleh peralatan yang berbasis komputer untuk membantu operator (*dispatcher*) dalam melaksanakan tugasnya. Sistem pengaturan yang berbasis komputer disebut

Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA). SCADA terdiri dari perlengkapan *hardware* dan *software*. SCADA berfungsi mulai pengambilan data pada peralatan pembangkit atau gardu induk, pengolahan informasi yang diterima, sampai reaksi yang ditimbulkan dari hasil pengolahan informasi.

Secara umum fungsi dari SCADA adalah:

1. Penyampaian data
2. Proses kegiatan dan monitoring
3. Fungsi kontrol
4. Penghitungan dan pelaporan

Tujuan dari sistem SCADA :

1. Mempercepat proses pemulihan supply tenaga listrik bagi konsumen yang tidak mengalami gangguan
2. Memperkecil kWh yang padam akibat gangguan atau pemadaman
3. Memantau performa jaringan untuk menyusun perbaikan atau pengembangan sistem jaringan 20 kV
4. Mengusahakan optimasi pembebanan jaringan 20 kV

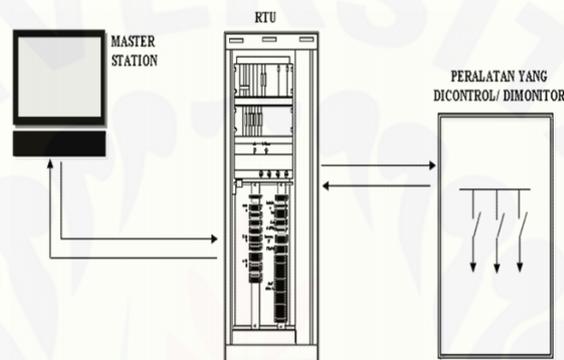
Fungsi dari Sistem SCADA :

1. Telecontrol
Telecontrol berfungsi melakukan perintah *Remote Control (Open / Close)* terhadap peralatan yang berada dilapangan.
2. Telesignaling
Telesignaling berfungsi mengumpulkan data status dan alarm (*Open, Close, power Supply fault*, indikasi relay atau parameter lainnya) yang dianggap Perlu yang dapat dimembantu *dispatcher* dalam memonitor peralatan yang berada dilapangan.
3. Telemetering
Telemetering berfungsi mengukur beban yang terpasang pada alat ukur tenaga listrik (Arus, Tegangan, Daya Aktif, Frekuensi dll) dan semua peralatan yang berada dilapangan.

Dengan adanya peralatan SCADA penyampaian dan pemrosesan data dari sistem tenaga listrik akan lebih cepat diketahui oleh *dispatcher* (pusat kontrol).

2.2.1. Komponen Sistem SCADA

Elemen penting pada sistem SCADA ini terdiri dari 3 bagian utama yaitu : master station, Remote Terminal Unit (RTU), dan peralatan yang dikontrol. Berikut merupakan konfigurasi 3 elemen penting dalam sistem SCADA.



Gambar 2.2. Konfigurasi 3 elemen penting dalam sistem SCADA

1. Master Station

a. Human Machine Interface

Human machine interface berfungsi sebagai perantara antara operator (*dispatcher*) dengan sistem komputer. *Human machine interface* memudahkan operator dalam memonitor sistem tenaga listrik yang ada. Peralatan *human machine interface* diantaranya adalah: *keyboard, VDU, recorder, printer, logger*.

b. Server

Server berfungsi mengolah data yang diterima dari RTU yang dimonitor oleh *dispatcher* di *Control Center* melalui *Human Machine Interface, SCADA Energy Management System, Dispatcher Training Simulation*.

c. Front End

Setelah data dikirim ke *Control Centre* melalui Media komunikasi, data ini diterima dengan melalui *Front End* komputer dan selanjutnya didistribusikan ke fungsi pengolahan data dan ditampilkan ke *Mimic Board* yang ada diruang kendali operasi.

2. Remote Terminal Unit

Remote terminal unit (RTU) berfungsi untuk mengumpulkan data dan kontrol dari peralatan tenaga listrik. Fungsi RTU dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu:

- a. *Telesignal* berfungsi untuk mengetahui status indikasi dari peralatan tenaga listrik.
- b. *Telemetry* berfungsi untuk mengetahui besaran-besaran listrik pada peralatan tenaga listrik, seperti besaran tegangan, daya aktif, daya reaktif, arus dan frekuensi.
- c. *Telecontrolling* berfungsi untuk meneruskan perintah dari pusat pengatur ke peralatan tenaga listrik. Perintah tersebut dapat berupa perubahan status indikasi peralatan atau pengaturan naik dan turunnya daya pembangkit.

2.2.2. Komunikasi SCADA

1 Sistem Radio

Sistem radio banyak dipakai untuk keperluan komunikasi operasi sistem tenaga listrik. sistem radio yang banyak dipakai adalah :

- a. Sistem Simplek satu atau dua frekuensi Yaitu frekuensi untuk penerima (*receiver*) dan Frekuensi untuk pengirim (*transmitter*). Sistem radio simplex dengan satu atau dua frekuensi ini kebanyakan memakai modulasi frekuensi sehingga distorsi relatif tidak banyak ETAPi jarak komunikasinya pendek. Untuk memperpanjang jarak komunikasi maka digunakanlah alat yang bernama *repeater*.

b. Sistem duplex

Sistem ini selalu digunakan frekuensi yang lain antara penerima dan pengirim walaupun tanpa *repeater*, sehingga penerima dan pengirim dapat berfungsi bersamaan.

c. Sistem Single side band (SSB)

Sistem ini menggunakan modulasi amplitudo dengan hanya satu band yang dipakai, *upper* atau *lower side band*. Sistem ini kualitas suaranya tidak sebaik yang menggunakan modulasi frekuensi, ETAPi jangkauannya lebih jauh.

2. Sistem Power Line Carrier (PLC)

Sistem telekomunikasi yang menggunakan SUTT dan SUTET sebagai saluran, biasa disebut *Power Line Carrier*(PLC) dan hanya dipakai di lingkungan perusahaan listrik. Dalam sistem PLC, SUTT atau SUTET selain menyalurkan energi listrik juga mengirimkan sinyal komunikasi telekomunikasi. Sinyal telekomunikasi yang disalurkan adalah untuk pembicaraan dan juga untuk data.

3. Jaringan Telepon

Agar saluran telekomunikasi baik yang berupa saluran dari Perusahaan Umum Telekomunikasi, PLC atau saluran Radio dapat dimanfaatkan oleh sebanyak mungkin orang, maka pada ujung-ujung saluran ini dipasang Sentral Telepon Lokal Otomat(STLO).

4. Jaringan Fiber Optik

Dengan adanya teknologi Fiber Optik, perusahaan listrik menggunakan saluran FO untuk keperluan operasinya, karena bisa dipasang dalam kawat tanah pelindung sambaran petir dari saluran transmisi. Pada saluran transmisi yang sudah beroperasi ETAPi belum ada saluran FO-nya, saluran FO bisa diberikan pada kawat tanah dalam keadaan operasi atau dipasang di bawah kawat fasa.

2.2.3 Konfigurasi Sistem SCADA

Sistem SCADA terdiri dari sebuah Master Station dan beberapa RTU (*Remote Terminal Unit*). Master Station dalam berhubungan dengan RTU ada beberapa jenis *network*, yaitu:

1. *Point to Point*

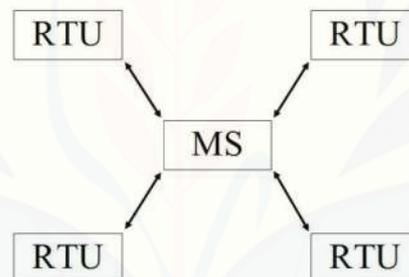
Merupakan konfigurasi *network* satu Master Station (MS) untuk satu RTU.



Gambar 2.3. Konfigurasi *point to point*

2. *Star*

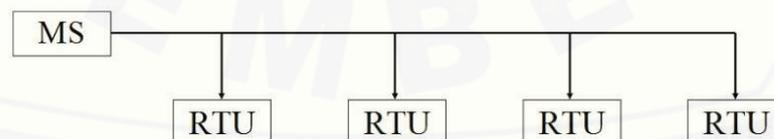
Merupakan konfigurasi *network* satu Master Station (MS) untuk beberapa RTU.



Gambar 2.4 Konfigurasi *Star*

3. *Party Line*

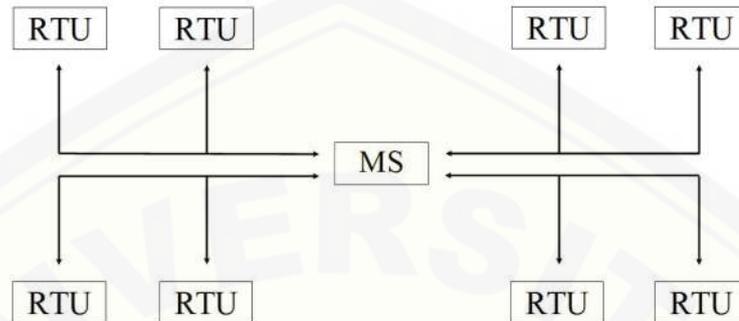
Merupakan konfigurasi *network* satu Master Station (MS) untuk beberapa RTU pada satu jalur komunikasi tunggal.



Gambar 2.5. Konfigurasi *party line*

4. *Mix Star* dan *Party Line*

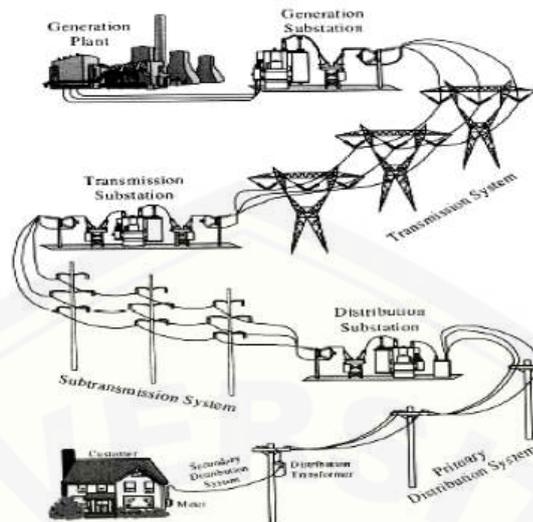
Merupakan konfigurasi network satu Master Station dengan beberapa jalur komunikasi untuk beberapa RTU.



Gambar 2.6 Konfigurasi *mix star* dan *party line*

2.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem penyaluran tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik ke konsumen (beban), merupakan hal penting untuk dipelajari. Mengingat penyaluran tenaga listrik ini, prosesnya melalui beberapa tahap, yaitu dari pembangkit tenaga listrik penghasil energi listrik, disalurkan ke jaringan transmisi (SUTET) langsung ke gardu induk. Dari gardu induk tenaga listrik disalurkan ke jaringan distribusi primer (SUTM), dan melalui gardu distribusi langsung ke jaringan distribusi sekunder (SUTR), tenaga listrik dialirkan ke konsumen. Dengan demikian sistem distribusi tenaga listrik berfungsi membagikan tenaga listrik kepada pihak pemakai melalui jaringan tegangan rendah (SUTR), sedangkan suatu saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik bertegangan ekstra tinggi ke pusat-pusat beban dalam daya yang besar (melalui jaringan distribusi). Pada gambar 1 dibawah ini dapat dilihat, bahwa tenaga listrik yang dihasilkan dan dikirimkan ke konsumen melalui Pusat Pembangkit Tenaga Listrik, Gardu Induk, Saluran Transmisi, Gardu Induk, Saluran Distribusi, dan kemudian ke beban (konsumen tenaga listrik).



Gambar 2.7 Sistem pendistribusian tenaga listrik

(Sumber: Daman Suswanto,2010)

2.3.1 Jaringan Distribusi Radial

Bila antara titik sumber dan titik bebannya hanya terdapat satu saluran (line), tidak ada alternative saluran lainnya. Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar, paling sederhana dan paling banyak digunakan. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang ke titik-titik beban yang dilayani.

Catu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya pencabangan-pencabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir sepanjang saluran menjadi tidak sama besar.

Oleh karena kerapatan arus (beban) pada setiap titik sepanjang saluran tidak sama besar, maka luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak sama. Maksudnya, saluran utama (dekat sumber) yang menanggung arus beban besar, ukuran penampangnya relative besar, dan saluran cabang-cabangnya makin ke ujung dengan arus beban yang lebih kecil, ukurannya lebih kecil pula.

Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah:

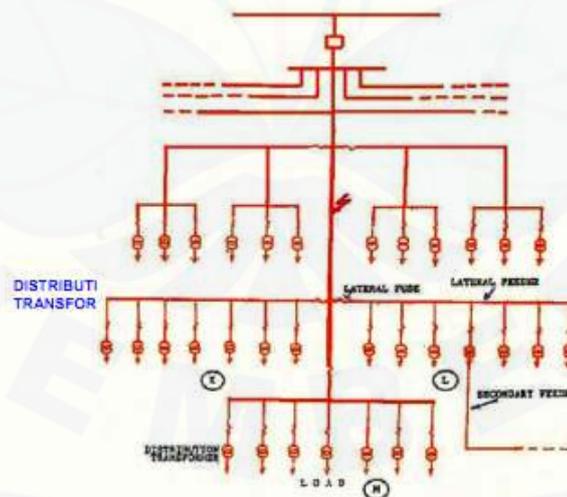
- a. Bentuknya sederhana.
- b. Biaya investasi relative murah.

- c. Kualitas pelayanan dayanya relative jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relative besar.
- d. Kontinuitas pelayanan daya tidak terjamin, sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternative saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka seluruh rangkaian sesudah titik gangguan akan mengalami “black out” secara total.

Untuk melokalisir gangguan pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman, fungsinya untuk membatasi daerah yang mengalami pemdaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi. Jaringan distribusi radial memiliki beberapa modifikasi, yaitu:

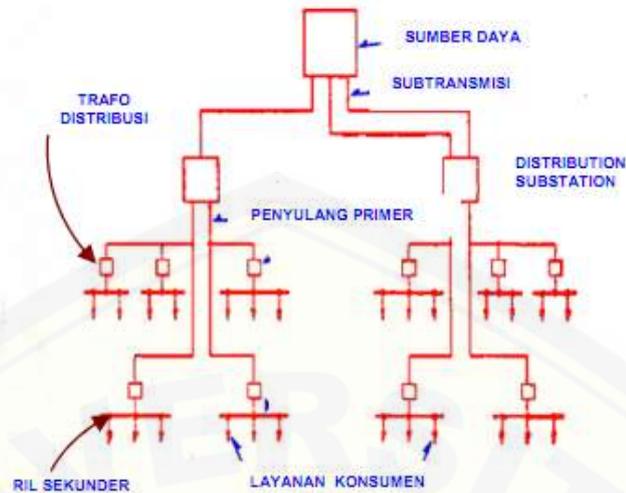
a. Bentuk Jaringan Radial Tipe Pohon

Bentuk ini merupakan bentuk yang paling dasar. Satu saluran utama dibentang menurut kebutuhannya, selanjutnya dicabangkan dengan daerah saluran cabang (lateral penyulan) dan lateral penyulang ini dicabang-cabang lagi dengan sub lateral penyulang (anak cabang). Sesuai dengan kerapatan arus yang ditanggung masing-masing saluran, ukuran penyulang yang utama adalah yang terbesar, ukuran lateral adalah lebih kecil dari penyulang utama, dan sub lateral adalah yang terkecil.



Gambar 2.8 Jaringan radial tipe pohon

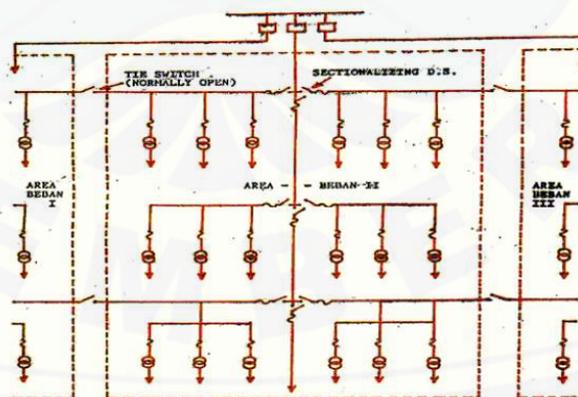
(Sumber : Artono Arismunandar, 1975)



Gambar 2.9 Komponen jaringan radial
(Sumber : Artono Arismunandar, 1975)

b. Bentuk Jaringan Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

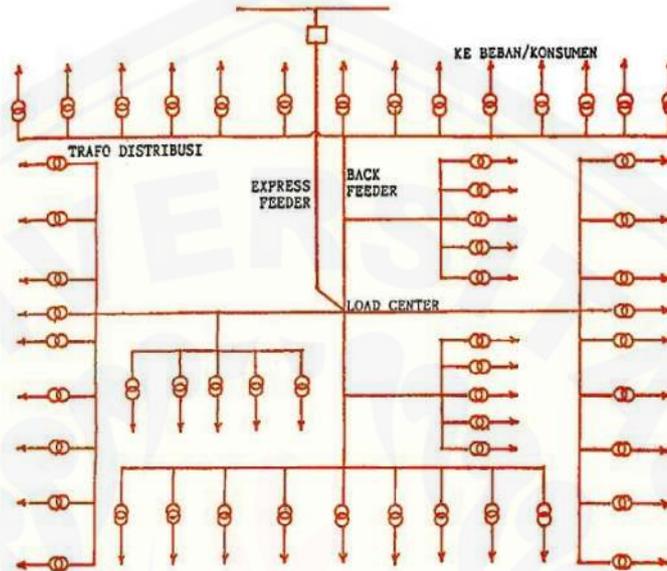
Bentuk ini adalah modifikasi dari bentuk dasar dengan menambahkan tie dan switch pemisah, yang diperlukan untuk mempercepat pemulihan pelayanan bagi pelanggan, dengan cara menghubungkan area-area yang tidak terganggu pada penyulang yang bersangkutan, dengan penyulang disekitarnya. Dengan demikian bagian yang terganggu dilokalisirkan bagian penyulang lainnya yang “sehat” segera dapat dioperasikan kembali, dengan cara melepas switch yang terhubung ke titik gangguan, dan menghubungkan bagian penyulang yang sehat ke penyulang disekitarnya.



Gambar 2.10 Jaringan radial dengan *tie* dan *switch*

c. Bentuk Jaringan Radial dengan Pusat Beban.

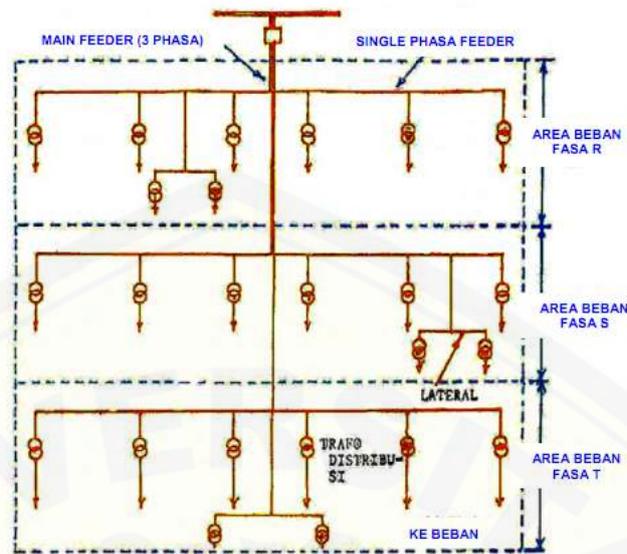
Bentuk ini mencatu daya dengan menggunakan penyulang utama (*main feeder*) yang disebut *express feeder* langsung ke pusat beban, dan dari titik pusat beban ini disebar dengan menggunakan *back feeder* secara radial.



Gambar 2.11 Jaringan radial tipe pusat beban
(Sumber : Artono Arismunandar, 1975)

d. Bentuk Jaringan Radial dengan Pembagian Fasa Area

Pada bentuk ini masing-masing fasa dari jaringan bertugas melayani daerah beban yang berlainan. Bentuk ini akan dapat menimbulkan akibat kondisi sistem 3 fasa yang tidak seimbang, bila digunakan pada daerah beban yang baru dan belum mantap dengan pembagian bebannya. Karena hanya cocok untuk daerah beban yang stabil dan penambahan maupun pembagian bebannya dapat diatur merata dan simetris pada setiap fasanya.



Gambar 2.12 Jaringan radial tipe *phase area*
(Sumber : Artono Arismunandar, 1975)

2.3.2 Jaringan Distribusi Ring

Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan loop. Susunan rangkaian penyulang membentuk ring, yang memungkinkan titik beban dilayani dari dua arah penyulang, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin, serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena rugi tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil. Sistem ini terdiri dari dua jenis, yaitu:

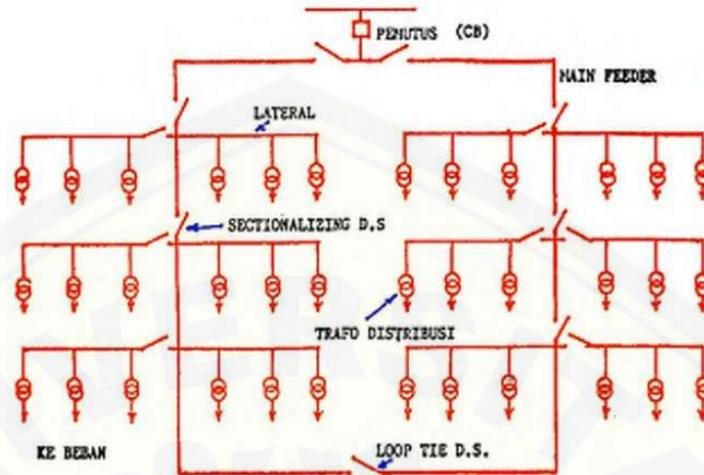
a. Sistem Open Loop

Sistem saluran disambungkan melalui suatu alat pemisah, dimana salah satunya dalam kondisi normal terbuka dan satunya lagi dalam kondisi normal tertutup, ini dikarenakan untuk menghindari terjadinya arah arus yang berlawanan.

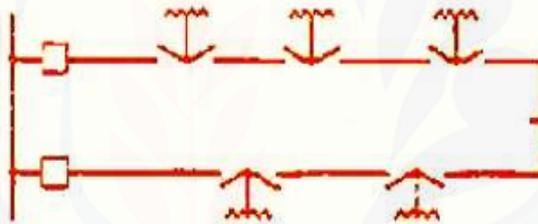
b. Sistem Close Loop

Sistem ini memiliki keandalan yang lebih tinggi. Alat pemisah biasanya berupa saklar daya yang lebih mahal. Saklar daya digerakkan oleh relay yang membuka saklar daya pada tiap ujung saluran yang terganggu, sehingga bagian saluran yang tidak terganggu tetap bisa beroperasi.

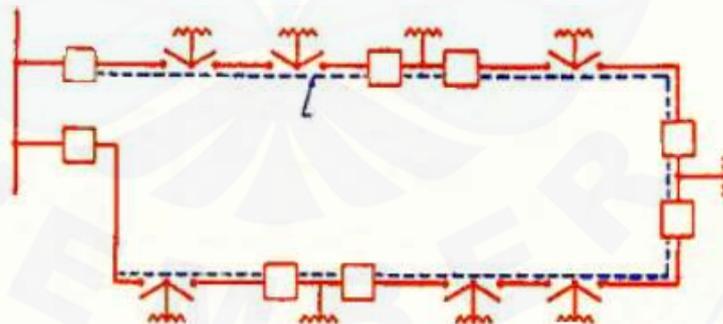
Pengoperasian relay ini menggunakan kawat pilot yang menghubungkan semua saklar daya.



Gambar 2.13 Jaringan distribusi tipe ring
(Sumber : Artono Arismunandar, 1975)



Gambar 2.14 Jaringan distribusi ring terbuka
(Sumber : Artono Arismunandar, 1975)



Gambar 2.15 Jaringan distribusi ring tertutup
(Sumber : Artono Arismunandar, 1975)

2.3.3 Jaringan Distribusi mesh

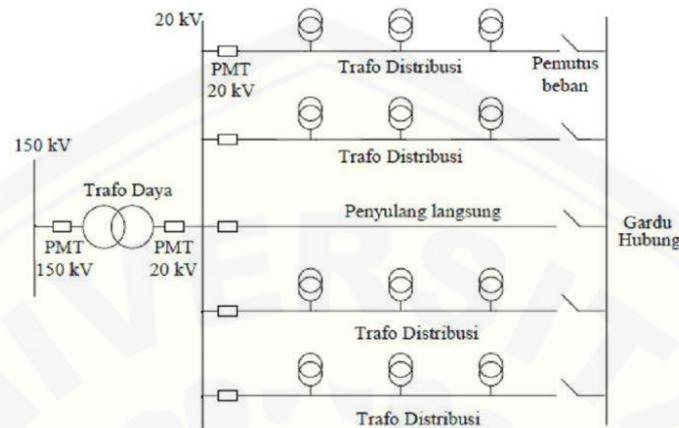
Jaringan tipe ini berbentuk jaring-jaring, kombinasi antara radial dan loop. Sistem ini menyediakan banyak saluran maupun sumber. Sistem ini juga disebut sistem interkoneksi karena disuplai oleh beberapa sumber yang saling berhubungan satu dengan yang lain dan membentuk jaring. Ciri-ciri dari jaringan mesh adalah sebagai berikut.

- a. Titik beban memiliki lebih banyak alternatif saluran, sehingga bila salah satu penyulang terganggu, maka dengan segera akan dapat digantikan oleh penyulang yang lain. Dengan demikian kontinuitas penyaluran daya sangat terjamin.
- b. Spesifikasi jaringan mesh ini adalah:
 1. Kontinuitas penyaluran daya paling terjamin.
 2. Kualitas tegangannya baik, rugi daya pada saluran sangat kecil.
 3. Dibanding dengan bentuk lain, jaringan ini paling flexible dalam mengikuti pertumbuhan serta pengembangan beban.
 4. Sebelum pelaksanaannya, memerlukan koordinasi perencanaan yang teliti dan rumit.
 5. Membutuhkan biaya investasi yang besar.
 6. Membutuhkan tenaga-tenaga yang terampil dalam pengoperasiannya.
- c. Dengan spesifikasi tersebut, bentuk ini hanya layak digunakan untuk melayani daerah beban yang benar-benar memerlukan tingkat keandalan dan kontinuitas pelayanan yang tinggi, misalnya: instalasi militer, rumah sakit, dan pusat sarana perhubungan. Karena bentuk ini merupakan jaringan yang menghubungkan beberapa sumber, maka bentuk jaringan mesh ini disebut juga jaringan interkoneksi.

2.3.4 Jaringan Distribusi Spindle

Selain bentuk-bentuk dasar dari jaringan yang sudah disebutkan diatas, terdapat pula bentuk modifikasi jaringan yang populer yaitu bentuk spindle. Jaringan ini biasanya terdiri dari maksimum 6 penyulang dalam keadaan dibebani,

dan satu penyulang dalam keadaan kerja tanpa beban. Jaringan sistribusi spindle merupakan saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM) yang penerapannya sangat cocok di kota-kota besar.



Gambar 2.16 Jaringan distribusi spindle
(Sumber: Edi Sopyandi, 2011)

2.4 Keandalan Penyaluran Listrik

Adanya sistem SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) diharapkan dapat meningkatkan pelayanan kebutuhan energi listrik kepada pelanggan. Beberapa faktor yang menentukan kualitas energi listrik yang dipakai adalah kestabilan tegangan, frekuensi, kontinuitas pelayanan dan faktor daya.

2.4.1 Keandalan Tenaga Listrik

Keandalan merupakan tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem, untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Untuk dapat menentukan tingkat keandalan dari suatu sistem, harus diadakan pemeriksaan dengan cara melalui perhitungan maupun analisa terhadap tingkat keberhasilan kinerja atau operasi dari sistem yang ditinjau, pada periode tertentu kemudian membandingkannya dengan standar yang diETAPkan sebelumnya.

Keandalan tenaga listrik adalah menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik kepada pelanggan terutama pelanggan daya besar yang membutuhkan kontinuitas penyaluran tenaga listrik secara mutlak. Apabila tenaga listrik tersebut

putus atau tidak tersalurkan akan mengakibatkan proses produksi dari pelanggan besar tersebut terganggu. Struktur jaringan tegangan menengah memegang peranan penting dalam menentukan keandalan penyaluran tenaga listrik karena jaringan yang baik memungkinkan dapat melakukan *manuver* tegangan dengan mengalokasikan tempat gangguan dan beban dapat dipindahkan melalui jaringan lainnya.

Kontinuitas pelayanan yang merupakan salah satu unsur dari kualitas pelayanan tergantung kepada macam sarana penyalur dan peralatan pengaman. Jaringan distribusi sebagai sarana penyalur tenaga listrik mempunyai tingkat kontinuitas tergantung kepada susunan saluran dan cara pengaturan operasinya. Tingkat kontinuitas pelayanan dari sarana penyalur disusun berdasarkan lamanya upaya menghidupkan kembali suplai setelah mengalami gangguan.

Tingkatan-tingkatan tersebut antara lain:

1. Tingkat 1 : dimungkinkan berjam-jam; yaitu waktu yang diperlukan untuk mencari dan memperbaiki bagian yang rusak karena gangguan.
2. Tingkat 2 : padam beberapa jam; yaitu waktu yang diperlukan untuk mengirim petugas ke lokasi gangguan, melokalisasi dan melakukan manipulasi untuk menghidupkan sementara kembali dari arah atau saluran yang lain.
3. Tingkat 3 : padam beberapa menit; manipulasi oleh petugas yang jaga digardu atau dilakukan deteksi atau pengukuran dan pelaksanaan manipulasi jarak jauh.
4. Tingkat 4 : padam beberapa detik; pengamanan atau manipulasi secara otomatis.
5. Tingkat 5 : tanpa padam; dilengkapi instalasi cadangan terpisah dan otomatisasi penuh.

Umumnya jaringan distribusi luar kota (pedesaan) terdiri dari jenis saluran udara dengan sistem jaringan radial mempunyai kontinuitas tingkat 1, sedangkan untuk pelayanan dalam kota susunan jaringan yang dipakai adalah jenis kabel tanah dengan sistem jaringan spindel yang mempunyai kontinuitas tingkat 2.

2.4.2 Keandalan Sistem Distribusi

Lebih dari beberapa dekade, sistem distribusi kurang dipertimbangkan dari segi keandalan ataupun pemodelan keandalan dibandingkan sistem pembangkit. Hal ini dikarenakan sistem pembangkit memiliki biaya investasi yang besar dan kegagalan pada pembangkit dapat menyebabkan dampak bencana yang sangat luas untuk kehidupan manusia dan lingkungannya. Parameter-parameter keandalan yang biasa digunakan untuk mengevaluasi sistem distribusi radial adalah angka-angka kegagalan rata-rata (λ_s), waktu pemadaman rata-rata (r_s) dan waktu pemadaman tahunan (U_s).

Dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\lambda_s = \sum_i \lambda_i \dots\dots\dots(1)$$

$$U_s = \sum_i \lambda_i r_i \dots\dots\dots(2)$$

$$r_s = \frac{U_s}{\lambda_s} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan:

λ_i = angka kegagalan rata-rata komponen ke – i

r_i = waktu pemadaman rata-rata komponen ke – i

Indeks keandalan yang dimaksud adalah indeks yang berorientasi pelanggan seperti *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI), *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI), *Customer Average Interruption Duration Index* (CAIDI), *Average Service Availability Index* (ASAI) dan *Average Service Unavailability Index* (ASUI).

1. *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI)

SAIFI adalah indeks keandalan yang merupakan jumlah dari perkalian frekuensi padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Dengan indeks ini gambaran mengenai frekuensi kegagalan rata-rata yang terjadi pada bagian-bagian dari sistem bisa dievaluasi sehingga dapat

dikelompokkan sesuai dengan tingkat keandalannya. Satuannya adalah pemadaman per pelanggan.

Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah dari Perkalian Frekuensi Padam dan Pelanggan Padam}}{\text{Jumlah Pelanggan}}$$

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N} \dots\dots\dots (4)$$

Dengan:

λ_i : angka kegagalan rata-rata/frekuensi padam

N : jumlah pelanggan yang dilayani pada titik beban i

2. Sistem Average Interruption Duration Index (SAIDI)

SAIDI adalah indeks keandalan yang merupakan jumlah dari perkalian lama padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Dengan indeks ini, gambaran mengenai lama pemadaman rata-rata yang diakibatkan oleh gangguan pada bagian-bagian dari sistem dapat dievaluasi. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$SAIDI = \frac{\text{Jumlah dari Perkalian Jam Padam dan Pelanggan Padam}}{\text{Jumlah Pelanggan}}$$

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N} \dots\dots\dots (5)$$

Dengan :

U_i : waktu padam pelanggan dalam periode tertentu (jam/tahun)

3. Gangguan pada Sistem Distribusi

Gangguan pada sistem distribusi dapat diakibatkan oleh faktor alam, kelalaian manusia, atau usia peralatan yang terlalu lama sehingga sudah tidak mampu melakukan proses penyaluran dan pengamanan. Sumber gangguan pada sistem distribusi saluran udara sebagian besar disebabkan oleh pengaruh luar. Menurut intensitasnya, sumber gangguan dapat dibagi sebagai berikut: angin dan pohon, petir, hujan dan cuaca, kegagalan atau kerusakan peralatan, manusia, binatang, benda-benda asing, dan sebagainya. Terjadinya gangguan dapat menyebabkan terputusnya aliran tenaga listrik sehingga berakibat padam terhadap

pelanggan. Aliran tenaga listrik yang padam dapat menimbulkan kerugian pada pelanggan, terutama pelanggan daya besar. Macam gangguan pada sistem distribusi dibagi menjadi 2, yaitu:

- 1) Gangguan yang bersifat temporer: gangguan dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangan.
- 2) Gangguan yang bersifat permanen: gangguan yang memerlukan tindakan perbaikan untuk menghilangkan penyebab gangguan tersebut.

2.5 NDE (*Non Delivery Energy*)

Non Delivery Energy atau yang disebut Energi tak tersalurkan adalah analisa ekonomis suatu sistem atau komponen tertentu. Dimana dalam konteks analisa keandalan suatu sistem distribusi 20 kV, value analysis berbanding lurus dengan perhitungan aspek ekonomi suatu indeks keandalan (Ferry Praditama).

Adapun perhitungan aspek ekonomi pada sistem, yaitu:

1. NDE (*Non Delivery Energy*)

$$NDE = P_c t_{CA} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

NDE : Total energi yang tidak terkirim dalam durasi waktu tertentu.

P_c : Jumlah total energi yang tidak terkirim.

t_{CA} : Durasi waktu pemadaman

2. Biaya kerugian per titik beban

$$N = NDE \times TDL \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

NDE : Total energi yang tidak terkirim dalam durasi waktu tertentu.

TDL : Tarif dasar listrik Peraturan Menteri ESDM No.9
2014

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam kegiatan adalah sebagai berikut:

1. Alat
 - a. Laptop
 - b. Kalkulator
 - c. Autocad
 - d. ETAP 7.0

1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data gangguan, data data penyulang Pakusari, penyulang Tegalboto dan penyulang Karimata PT. PLN APJ Jember.

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun tempat dan waktu penelitian dan analisis secara umum dilakukan di:

Tempat : Laboratorium Jaringan Komputer Fakultas Teknik, Universitas Jember

Alamat : Jalan Slamet Riyadi No. 62 Kecamatan Patrang Kabupaten Jember

Waktu : Maret 2014 – Maret 2015

3.3. Tahap Penelitian

- a. Perumusan Masalah

Setelah menemukan topik yang tepat untuk diangkat menjadi sebuah penelitian langkah selanjutnya adalah menentukan rumusan masalah dari topik tersebut sebagaimana rumusan masalah adalah yang nantinya pokok permasalahan yang akan dibahas.

b. Studi Literatur

Dalam tahap ini mencari sumber yang tepat untuk menunjang dalam penelitian dengan berupa situs-situs dalam internet dan jurnal sekripsi baik dalam negeri maupun internasional yang masih berhubungan dengan topik yang telah diangkat.

c. Survei lapangan dan Pengambilan Data

Kegiatan survei lapangan dilakukan untuk mengetahui alat dalam bentuk nyata dari obyek yang dibahas. Data-data yang diperlukan diperoleh dari PT PLN APJ Jember. Data tersebut berupa *Single-Line Diagram* dan data Penyulang Pakusari, Penyulang Tegalboto, dan Penyulang Karimata.

d. Pemodelan sistem

Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan, data diolah untuk pemodelan perencanaan sistem SCADA pada Penyulang Pakusari, Penyulang Tegalboto, dan Penyulang Karimata.

e. Analisis Sistem

Analisis yang digunakan adalah perbandingan hasil SAIDI dan SAIFI dari data PT PLN APJ Jember dengan hasil SAIDI dan SAIFI yang didapat dari penelitian setelah perencanaan sistem SCADA pada Penyulang Pakusari, Penyulang Tegalboto, dan Penyulang Karimata PT PLN APJ Jember. Perhitungan indeks keandalan digunakan untuk mengevaluasi apakah sudah memenuhi target SAIDI dan SAIFI pada Visi PLN.

f. Perhitungan Daya yang Tak Tersalurkan

Perhitungan dilakukan setelah SAIDI dan SAIFI telah diketahui nilainya. Selain dilakukan perhitungan daya tak tersalurkan setelah pemasangan SCADA dan sebelum pemasangan SCADA perhitungan selanjutnya adalah banyaknya kerugian yang didapat oleh daya tak tersalurkan tersebut

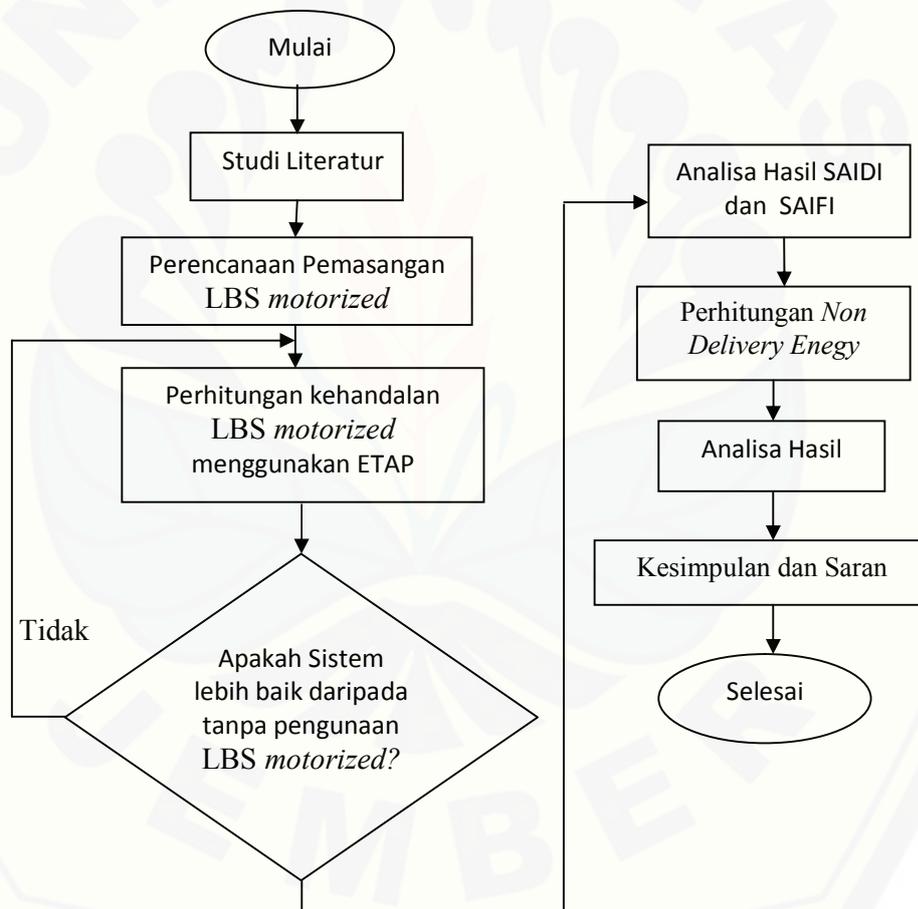
g. Perhitungan Biaya Pemasangan Sistem SCADA

Berapa biaya yang dibutuhkan dalam pemasangan sistem SCADA pada Penyulang Pakusari, Penyulang Tegalboto, dan Penyulang Karimata PT PLN Jember yang dihitung secara sederhana.

h. Membuat Kesimpulan dan Saran

Pengambilan kesimpulan dilakukan setelah semua tahap penelitian sudah dilaksanakan sehingga dapat diambil kesimpulan dari rancangan sistem yang sudah dibuat, dan saran digunakan untuk memperbaiki kekurangan dalam penelitian yang berguna untuk calon peneliti selanjutnya.

3.4. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.5. Gambar dan Data *SITE Plant*

Jaringan distribusi PLN APJ Jember mempunyai 3 Gardu Induk yaitu Gardu Induk Jember, Gardu Induk Tanggul, dan Gardu Induk Lumajang dengan total pelanggan 737.520 yang masing-masing penyulang masuk dalam rayon. Berikut data penyulang untuk Gardu Induk Jember yang terbagi dalam tiga trafo.

Tabel 3.1 Data Penyulang Masing-Masing Trafo

GARDU INDUK	NAMA	SETTING	
	PENYULANG	BEBAN	
JEMBER TRAFO. I 60 MVA INOUE	ARJASA	300	Amp
	RAMBIPUJI	300	Amp
	TANJUNG	300	Amp
	SERUJI	300	Amp
	Beban Total	866	Amp
JEMBER TRAFO. II 20 MVA MODALEK	TEGAL BOTO	320	Amp
	KARIMATA	300	Amp
	Beban Total	720	Amp
JEMBER TRAFO III 60 MVA GOLD STAR	AMBULU	320	Amp
	SUKORAMBI	320	Amp
	BLATER	320	Amp
	GLANTANGAN	400	Amp
	PAKUSARI	400	Amp
	GAJAH MADA	320	Amp
	KALISAT	360	Amp
	Beban Total	1800	Amp
JEMBER TRAFO. IV 60 MVA UNINDO	WATU ULO	400	Amp
	MAYANG	400	Amp
	SEMEN PUGER	400	Amp
	BALUNG	320	Amp
	Beban Total	1800	Amp

(sumber: PLN APJ Jember 2014)

Data PLN menyatakan, total gangguan terbanyak selama setahun 2014 terletak pada daerah rayon Jember kota yang berjumlah 61 kasus gangguan. Jember kota mempunyai paling banyak penyulang yaitu penyulang pakusari, penyulang ambulu, penyulang sukorambi, penyulang tegalboto, penyulang

balung, penyulang arjasa, penyulang penyulang glantangan, pakusari, penyulang sukorambi, dan penyulang gajahmada.

Tabel 3.2 Data gangguan bulanan tiap penyulang rayon Jember Kota tahun 2014

No.	Penyulang	Trafo	Panjang (Kms)	Total Gangguan	BULAN											
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ARJASA	TRAFO I (50 MVA)	105.47	7	1				1	1	1	1		1		1
2	AMBULU	TRAFO III (60 MVA)	5.08	3			2									1
3	BLATER	TRAFO III (60 MVA)	116.96	2	1	1										
4	GAJAH MADA	TRAFO III (60 MVA)	13.27	3	1							1			1	
5	GLANTANGAN	TRAFO III (60 MVA)	7.32	5	1	1						1	1	1		
6	KARIMATA	TRAFO II (20 MVA)	15.21	6	1	1	1	1	2							
7	PAKUSARI	TRAFO II (20 MVA)	76.88	14	1	1	3	1	2	1	1	1			2	2
8	SERUJI	TRAFO I (50 MVA)	26.50	3	1		1							1		
9	SUKORAMBI	TRAFO III (60 MVA)	25.86	7	1			1	1	2					2	
10	TANJUNG	TRAFO I (50 MVA)	7.40	3	1		1									1
11	TEGALBOTO	TRAFO II (20 MVA)	16.09	8	2		1	1						3	1	
JUMLAH			416.03	61	5	9	6	4	4	5	6	1	3	6	7	5

Tabel 3.3 Rekapitulasi penyulang Jember Kota tahun 2014

N O	PENYULANG	DAYA	PELANGGAN	RATA2 PER 100 KMs	LAMA PADAM (MENIT)	KALI PADAM
1	AMBULU	2310	4392	4162,33	126	3
2	ARJASA	12135	22010	663,96	106	7
3	BLATER	9995	30617	1710,04	157	2
4	GAJAHMADA	10490	9483	22602,28	24	3
5	GLANTANGA N	160	4441	68352,70	111	5
6	KARIMATA	6655	10000	39442,55	90	6
7	PAKUSARI	12210	20601	18210,20	182	14
8	SERUJI	13430	9861	11319,90	26	3
9	SUKORAMBI	10390	12104	27068,83	122	7
10	TANJUNG	7640	4374	40551,50	76	3
11	TEGAL BOTO	9795	9377	49714,14	104	8
GABUNGAN		95210	137260	12628,54	1124	61

Dengan ini penulis mengambil 3 penyulang yaitu Penyulang Pakusari (Trafo I 60MVA), Penyulang Karimata (Trafo II 20MVA), dan Penyulang Tegal Boto (Trafo II 20 MVA) yang mempunyai jalur *backup* satu sama lain sehingga dapat diteliti lebih lanjut sebagai perencanaan pemasangan SCADA.

Tabel 3.4 Data konversi dari daya semu ke daya nyata

SECTION	KVA	PF	KW
PAKUSARI			
sec 1	7340	0.8	5872
sec 2	100	0.8	80
sec 3	1330	0.8	1064
sec 4	1935	0.8	1548
sec 5	720	0.8	576
sec 6	1130	0.8	904
TEGALBOTO			
sec 1	1825	0.8	1460
sec 2	2190	0.8	1752
sec 3	3810	0.8	3048
sec 4	870	0.8	696
KARIMATA			
sec 1	360	0.8	288
sec 2	1555	0.8	1244
sec 3	1990	0.8	1592
sec 4	2950	0.8	2360

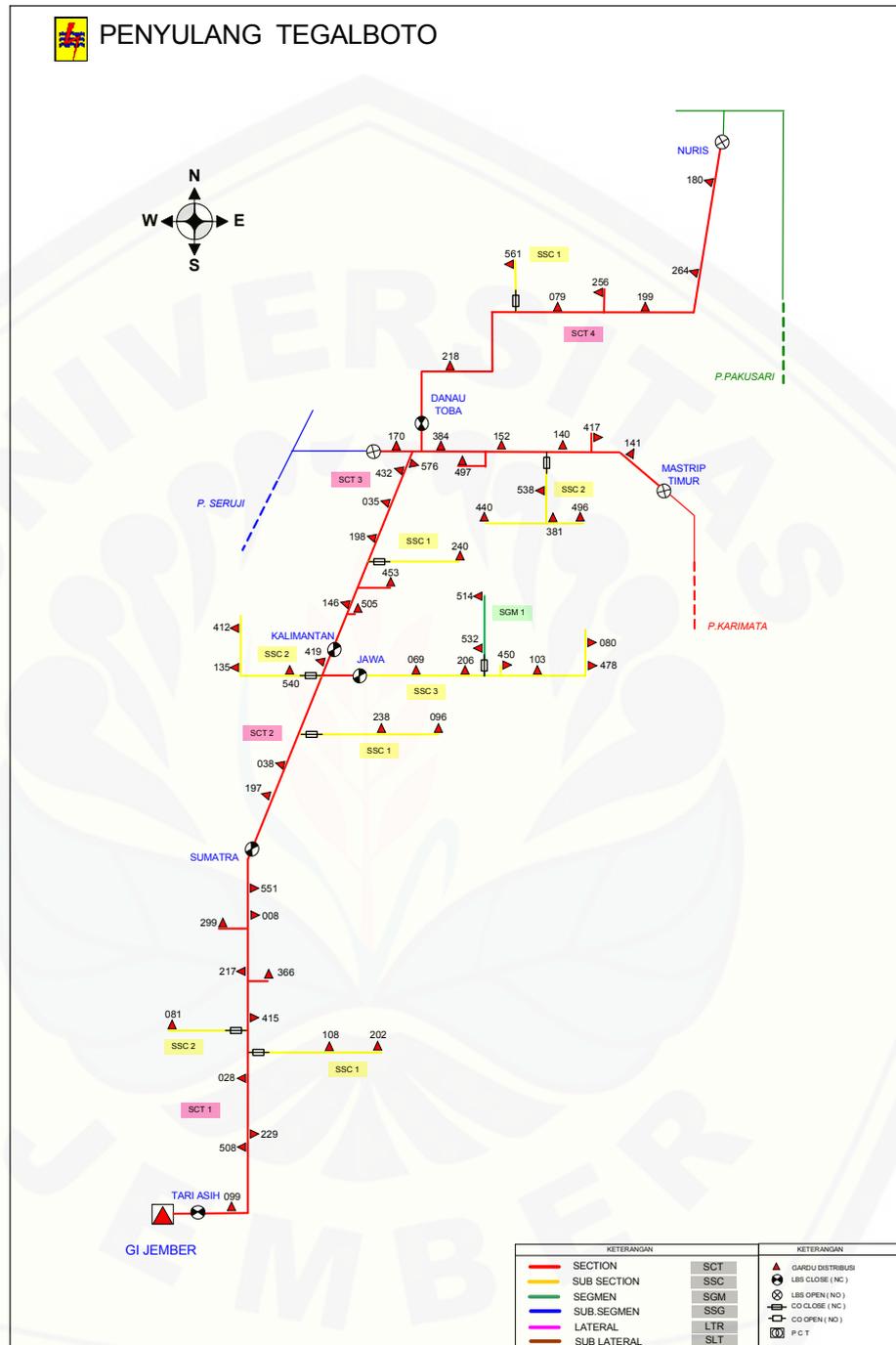
Pada table diatas menjelaskan tentang pengkonversian daya total tiap section dari beberapa section meliputi penyulang Pakusari, Tegalboto dan Karimata. Pada penyulang pakusari dibagi 6 section yaitu pada section 1 dengan power factor 0.8 dikonversikan dari 7340 KVA menjadi 5872 Kw. Untuk section selanjutnya mempunyai daya yang berbeda namun ETAP pada power factor yang sama. Pada penyulang tegalboto dibagi 4 section yaitu pada section 1 dengan power factor 0.8 dikonversikan dari 1825 KVA menjadi 1460 Kw. Untuk section selanjutnya mempunyai daya yang berbeda namun ETAP pada power factor yang sama. Pada penyulang tegalboto dibagi 4 section yaitu pada section 1 dengan power factor 0.8 dikonversikan dari 360 KVA menjadi 288 Kw. Untuk section selanjutnya mempunyai daya yang berbeda namun ETAP pada power factor yang sama.

Table 3.5 Data section tiap penyulang

NO	SECTION	Σ SALURAN TIAP SECTION (Km)	Σ TRAFO
PAKUSARI			
1	SECTION 1	18,680	44
2	SECTION 2	0,339	1
3	SECTION 3	9,438	13
4	SECTION 4	6,468	21
5	SECTION 5	5,030	10
6	SECTION 6	6,116	11
TEGALBOTO			
1	SECTION 1	3,415	12
2	SECTION 2	4,488	16
3	SECTION 3	4,389	19
4	SECTION 4	4,246	7
KARIMATA			
1	SECTION 1	2,309	3
2	SECTION 2	3,437	10
3	SECTION 3	4,868	12
4	SECTION 4	6,041	19

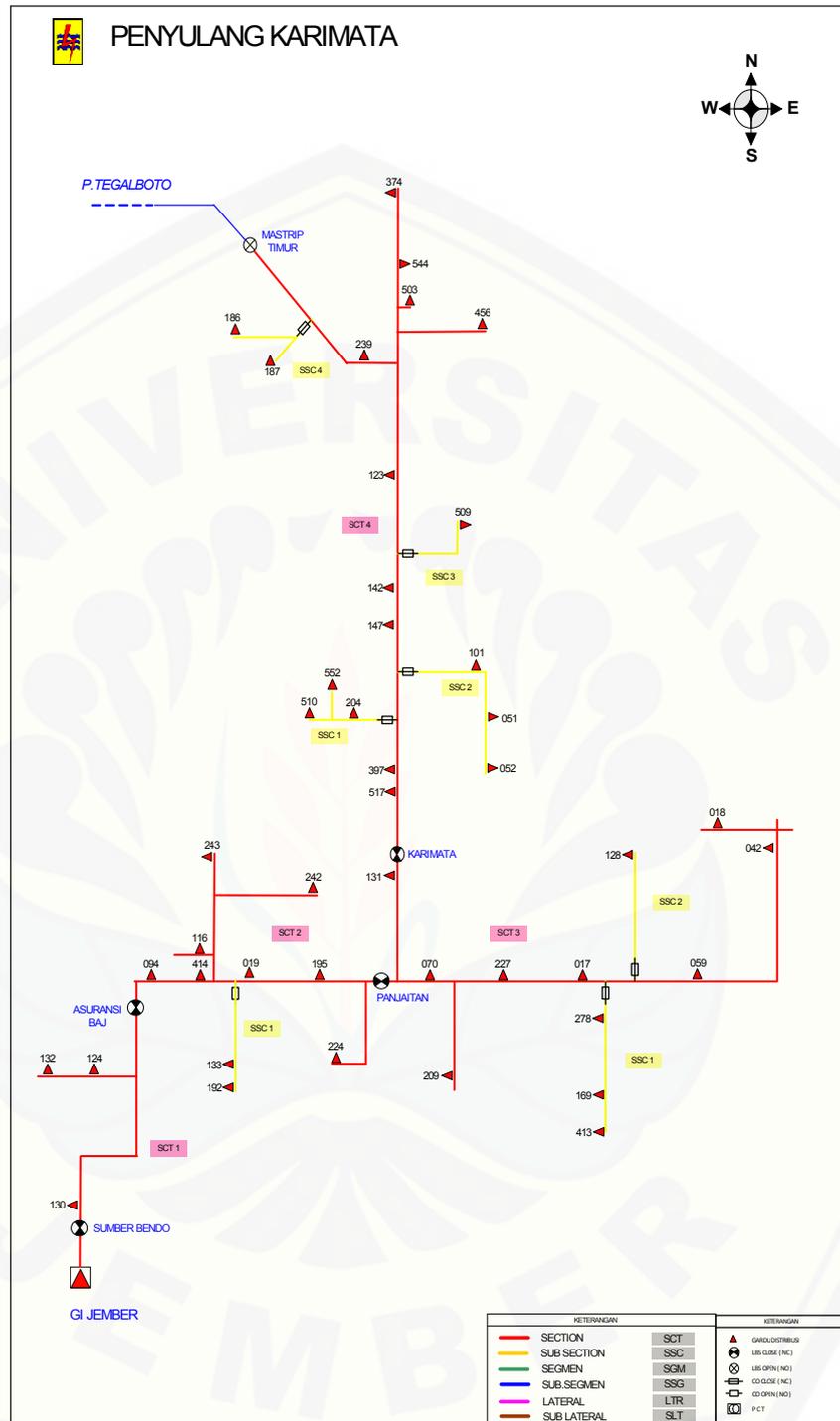
Tabel menunjukkan penyulang pakusari memiliki panjang SUTM terpanjang, yaitu 46,071 Km dengan total trafo distribusi sebanyak 100 buah, penyulang Tegalboto memiliki panjang SUTM 16,538 Km dengan trafo distribusi sebanyak 54 buah, dan penyulang Karimata yang memiliki panjang 16,655 Km dengan trafo distribusi sebanyak 44 buah. Section 1 memiliki panjang SUTM sepanjang 18,680 Km dengan trafo distribusi terbanyak yaitu 44 buah trafo.

2. Penyulang Tegalboto

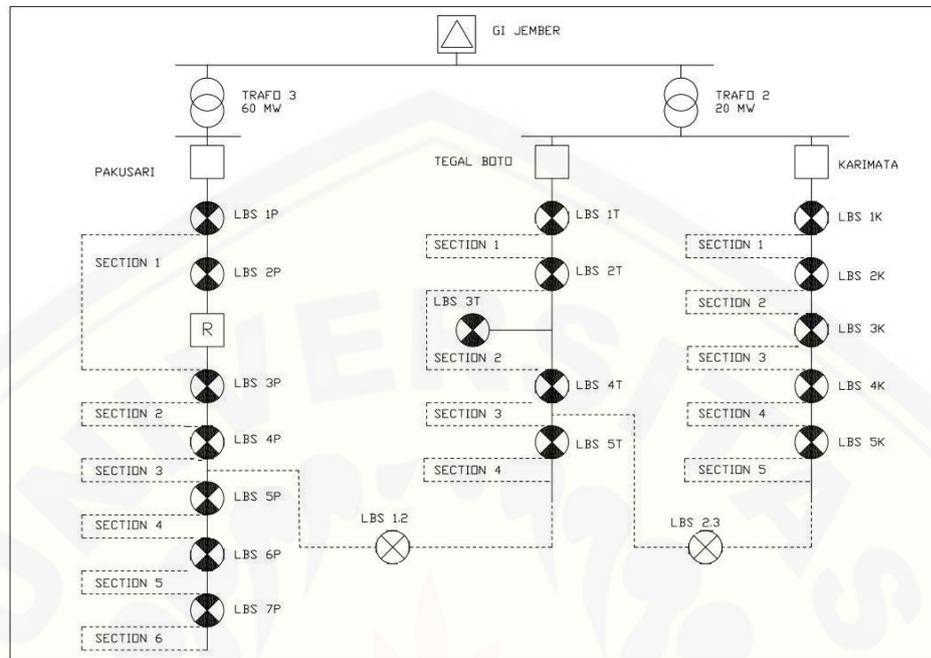


Gambar 3.3. Single Line Penyulang Tegalboto
(Sumber: PLN APJ Jember, 2014)

3. Penyulang Karimata



Gambar 3.4. Single Line Penyulang Karimata
(Sumber: PLN APJ Jember, 2014)



Gambar 3.5 Jaringan *existing* sebelum pemasangan LBS *Motorized*

Pada gambar jaringan sebelum pemasangan LBS *Motorized* terdapat 3 penyulang yaitu penyulang Pakusari, penyulang Tegalboto, penyulang Karimata. Penyulang Pakusari di supply dari trafo 3 60 MW sedangkan penyulang Tegalboto dan penyulang Karimata di supply dari trafo 20 MW. Penyulang pakusari memiliki 6 section dengan total 7 LBS NC (*Normally Close*) dengan satu recloser. Penyulang tegalboto memiliki 4 section dengan total 5 LBS NC (*Normally Close*) dan penyulang Karimata dengan memiliki 5 section dengan total 5 LBS NC (*Normally Close*). Ketiga penyulang memiliki LBS 1,2 NO (*Normally Close*) yang menghubungkan penyulang Pakusari dengan penyulang Tegalboto, sedangkan LBS 2,3 menghubungkan penyulang Tegalboto dan penyulang Karimata.

Seluruh LBS yang ada masih bersifat manual bukan berbasis motor baik LBS NC dan LBS NO.

3.6 Load Break Switch yang Digunakan

3.6.1 Spesifikasi LBS Manual



Gambar 3.6 LBS Manual TYPE;ISA-G & ISW-G

(Sumber: PLN APJ Jember)

TYPE;ISA-G & ISW-G

1. Side Break Style
2. Outdoor, Gang Operated
3. Three-pole Load Inteription
4. 630 Amp. Load Interrupter
5. 630 Amp. Continuous
6. 40 kA Momentary. 12 kV through 38 kV design Max.

a. ANSI/NEMA Standart Setting

Voltage		Ampere			Low-frequency withstand voltage		Type
Max design (kV)	BIL (kV)	Cont (A)	Mom (kA)	Intterrupt (A)	Dry. One-min (kV)	Wet. Ten-sec (kV)	
							ISA-106
15.5	110	600	40	600	50	45	A-G
							ISA-206
25.8	150	600	40	600	70	60	A-G
							ISW-306
38	200	600	40	600	95	80	S-G

b. IEC Recommendation Rating

Voltage		Ampere			Low-frequency withstand voltage		Type
Max design (kV)	BIL (kV)	Cont (A)	Mom (kA)	Intterrupt (A)	Dry. One-min (kV)	Wet. Ten-sec (kV)	
							ISA-106
12	75	630	20	630	28	28	A-G
							ISA-206
24	125	630	16	630	50	50	A-G
							ISW-306
36	170	630	16	630	70	70	S-G

3.6.2 Spesifikasi LBS *Motorized*Gambar 3.7 LBS *motorized* Type RL27-LBS-SF6

a. Operational Specification

Type RL27-LBS-SF6	27/12/150	27/16/150
Maximum Line Voltage	27 kV	27 kV
Rated Continuous Current (RMS)	630 Amp	630 Amp
Fault Make Capacity (RMS)	12.5 kA	16 kA
Fault Make Capacity (Peak)	31.5 kA	40 kA
No Load Mechanical Operations	5000	5000
Rated Full Load Operations	600	600
Short Time Current (RMS 4 Sec)	12.5 kA	16kA
DC Resistance Bushing to Bushing	<120 $\mu\Omega$	<120 $\mu\Omega$
Fault Make Operations	5	5
Frequency	50/60 Hz	50/60 Hz

Break Capacity

Mainly Active (0.7 Pf) Breaking

Capacity	630 Amp	630 Amp
Cable Charging Interrupting Current	25 A	25 A

Impulse Withstand

Phase To Phase, Pash To Earth	150kV	150kV
Across Open Contacts	170 kV	170 kV

Power Frequency Withstand (Wet And Dry)

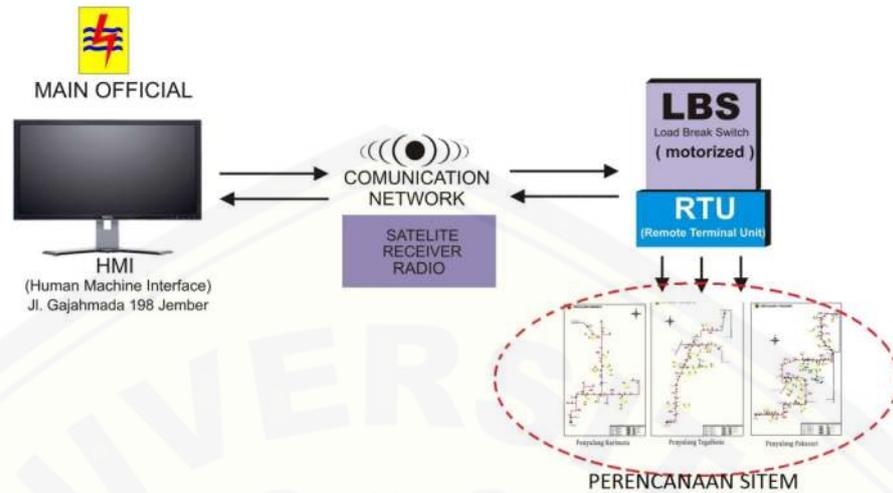
Phase To Earth	60 kV	60 kV
Across Open Contacts	60 kV	60 kV

b. General Specifications

Contruction

	316 Grade Stainless
Tank Contruction	Steel
Insulating Medium	Sf6 Gas
SF6 Operating Gas Pressure @25°C	100kpa Gauge
Mass Of SF6 Required To Fill The LBS From Vacuum To 100kpag	1.0kg
Maintenance Interval	5 Years
Earthing	12mm Stud Provide
Applicable Standarts	Iec 60265-1

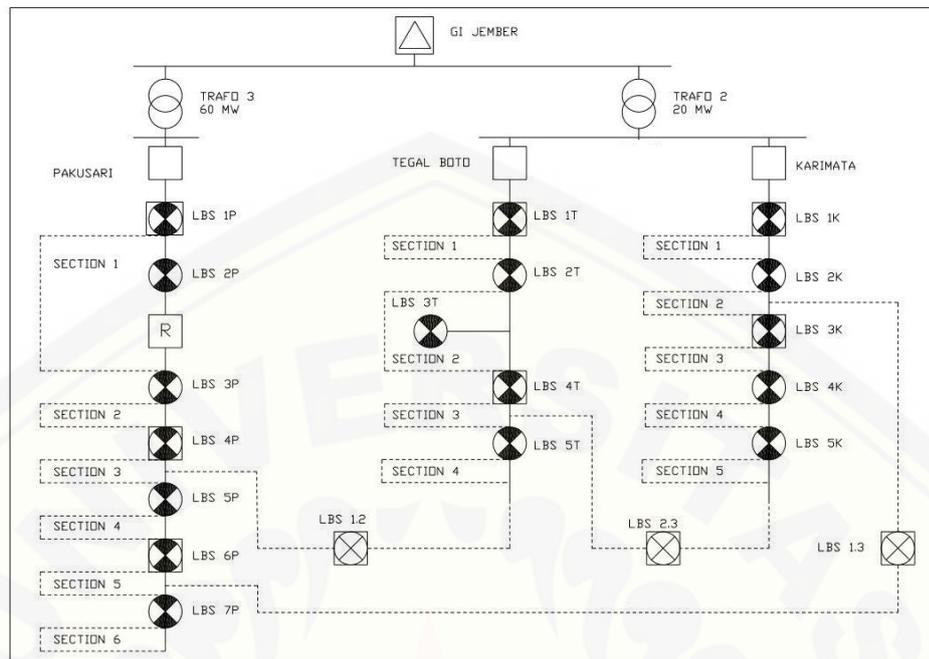
3.7 Perencanaan Sistem



Gambar 3.8 Diagram blok sistem

HMI (*Human Machine Interface*) atau yang biasa disebut penghubung antarmuka mesin dengan manusia terletak pada kantor pusat pelayanan PT. PLN APJ Jember yang terletak pada jalan Gajahmada no 198 Jember. Jaringan komunikasinya mengandalkan satelit, receiver dan radio seperti sistem SCADA pada umumnya. Dengan peralatan yang dikontrol adalah LBS *motorized* yang terdapat pada titik tertentu yang telah dipasang RTU.

LBS yang ada saat ini pada tiap jaringan sebenarnya LBS yang masih bersifat manual, atau dioperasikan langsung dengan bantuan manusia. Oleh sebab itu, peralatan LBS manual ini masih tidak layak dipasang sebuah RTU. Dengan masalah yang didapatkan penulis, penulis menggantikan LBS tertentu yang sekiranya layak dapat dan optimal diganti LBS berbasis motor. Untuk lebih sederhananya, penulis mengambil jaringan yang mengutamakan adanya LBS dengan pengambilan jaringan tiap section.



Gambar 3.9 Jaringan Setelah Pemasangan LBS *Motorized*

Gambar diatas menunjukkan jaringan setelah pemasangan LBS *Motorized*. Penyulang pakusari memiliki LBS *motorized* pada LBS 1P, LBS 4P dan LBS 6P. penyulang Tegalboto memiliki 2 LBS *motorized* pada LBS 1T dan LBS 4T. penyulang Karimata memiliki 2 LBS *motorized* yaitu pada LBS 1K dan LBS 3K. ketiganya dihubungkan dengan LBS *motorized* NO (*Normally Open*) yaitu LBS 1,2 *motorized* NO (*Normally Open*) yang menghubungkan penyulang Pakusari dengan penyulang Tegalboto, LBS 2,3 *motorized* yang menghubungkan penyulang Tegalboto dengan penyulang Karimata, dan LBS 1,3 *motorized* NO (*Normally Open*) yang menghubungkan penyulang Pakusari dengan penyulang Karimata.

3.8 Paramater yang dimasukkan ke dalam ETAP

Perhitungan SAIDI dan SAIFI dilakukan pada software ETAP 7.0 dengan beberapa data yang dimasukkan. Karena penulis tidak mengambil data secara *real time* maka penulis memberlakukan sistem Skenario tiap section. Total terdapat 14 section pada ketiga penyulang. Berikut Skenario yang diberikan:

3.7.1 Skenario sebelum pemasangan SCADA

1. Penyulang pakusari

Skenario 1 : section 1 dianggap padam selama 3 jam (waktu pemadaman / *repair time* sesuai SPLN 59/1985), recloser *open* dengan operator mengirim kode *open*, LBS 1P NC secara manual *diclose* dengan petugas. Section 2 sampai section 6 padam beberapa menit sebelum recloser *open* dan LBS ditutup. Estimasi pemadaman pada section 2 sampai section 6 padam adalah 0,65 jam sesuai SPLN 59/1985 (perjalanan yang dibutuhkan petugas ke LBS 0,5 jam dan yang dibutuhkan petugas untuk membuka/menutup LBS 0,15 jam)

Skenario 2 : section 1 tidak padam/dianggap tidak mengalami gangguan. Section 2 padam selama 3 jam. Recloser *open* dengan operator mengirim kode *open*, LBS 3P NC open, LBS 1,2 NO di *close* oleh petugas. Section 3 sampai section 6 padam selama 0,65 jam.

Skenario 3 : section 1 dan section 2 tidak padam/ dianggap tidak mengalami gangguan. Section 3 padam selama 3 jam. LBS 1,2 NO tidak bisa mem-*back up* section 4 sampai section 6 karena berada pada section 3. Sehingga section 4 sampai section 6 padam selama 3 jam.

Skenario 4 : section 1 sampai section 3 tidak padam/ dianggap tidak mengalami gangguan. Section 4 padam selama 3 jam. LBS 1,2 NO tidak bisa mem-*back up* section 5 sampai section 6 karena berada pada section 3. Sehingga section 5 sampai section 6 padam selama 3 jam.

Skenario 5 : section 1 sampai section 4 tidak padam/ dianggap tidak mengalami gangguan. Section 5 padam selama 3 jam. LBS 1,2 NO tidak bisa mem-*back up* section 5 sampai section 6 karena berada pada section 3. Sehingga section 6 padam selama 3 jam.

Skenario 6 : section 1 sampai section 5 tidak padam/ dianggap tidak mengalami gangguan. Section 6 padam selama 3 jam.

2. Penyulang Tegalboto

Skenario 1 : section 1 dianggap padam/ mengalami gangguan selama 3 jam. LBS 2T NC secara manual oleh petugas di*open* dan LBS 2,3 NO di*close* secara manual dan mesuply section 2 sampai section 4. Section 2 sampai section 4 padam beberapa menit sebelum LBS di*open* dan di*close*. Estimasi pemadaman pada section 2 sampai section 4 padam adalah 0,65 jam sesuai SPLN 59/1985 (perjalanan yang dibutuhkan petugas ke LBS 0,5 jam dan yang dibutuhkan petugas untuk membuka/menutup LBS 0,15 jam)

Skenario 2 : section 1 dianggap tidak padam/ tidak mengalami gangguan. Section 2 padam selama 3 jam. LBS 2.3 NO di*close* oleh petugas secara manual. Section 3 sampai section 4 padam selama 0,65 jam.

Skenario 3 : section 1 dan section 2 tidak padam/ tidak mengalami gangguan. Section 3 pada selama 3 jam. Karena LBS 2,3 NO masuk dalam jaringan pada section 3 yang mengalami padam, maka section 4 tidak ter-*back up* dan padam selama 3 jam.

Skenario 4 : section 1 sampai section 3 tidak padam/ tidak mengalami gangguan. Section 4 padam selama 4 jam.

3. Penyulang Karimata

Skenario 1 : section 1 dianggap padam/ mengalami gangguan. Section 2 sampai section 4 padam selama 0,65 jam. Estimasi pemadaman pada section 2 sampai section 4 padam adalah 0,65 jam sesuai SPLN 59/1985 (perjalanan yang dibutuhkan petugas ke LBS 0,5 jam dan yang dibutuhkan petugas untuk membuka/menutup LBS 0,15 jam).

Skenario 2 : section 1 dianggap tidak padam/ tidak mengalami gangguan. Section 2 padam selama 3 jam. LBS 3K NC diopen secara manual oleh petugas dan LBS 2.3 diclose. Sehingga section 3 dan section 4 padam 0,65 jam sebelum akhirnya tersupply.

Skenario 3 : section 1 sampai section 2 tidak padam/ tidak mengalami gangguan. Section 3 padam selama 3 jam. Section 4 tersupply setelah padam selama 0,65 jam.

Skenario 4 : section 1 sampai section 3 tidak padam/ tidak mengalami gangguan. Section 4 padam selama 3 jam.

3.7.2 Skenario setelah pemasangan SCADA

1. Penyulang pakusari

Skenario 1 : section 1 dianggap padam selama 3 jam. LBS 2P NC tidak terpasang RTU maka LBS 2P NC diopen oleh petugas secara manual dengan estimasi padam pada section 2 adalah 0,65 jam. Section 3 sampai section 6 padam selama 0,17 jam dikarenakan pada LBS 3 NC dan LBS 6P NC sudah terpasang RTU dan bisa diopen secara otomatis oleh *dispatcher*. LBS 1,2 dan LBS 1,3 diclose oleh dispatcher secara kondisional tergantung penyulang *back up* mana yg memiliki cadangan daya lebih.

Skenario 2 : section 1 dianggap tidak ada gangguan. Section 2 padam selama 3 jam. LBS 3P NC yg sudah terpasang RTU diopen secara otomatis oleh dispatcher.

Section 3 sampai section 6 mengalami padam selama 0,17 jam. LBS 1,2 dan LBS 1,3 diclose oleh *dispatcher* secara kondisional tergantung penyulang *back up* mana yg memiliki cadangan daya lebih.

Skenario 3 : section 1 sampai section 2 dianggap tidak ada gangguan. Section 3 padam selama 3 jam. Karena LBS 4P NC belum memiliki RTU maka petugas membuka LBS secara manual dengan estimasi waktu padam section 4 adalah 0,65 jam, sedangkan untuk section 5 dan section 6 hanya padam selama 0,17 jam karena memiliki RTU di LBS 5 NC dan bias disuply dengan menutup LBS 1,3 NO.

Skenario 4 : section 1 sampai section 3 dianggap tidak ada gangguan. Section 4 padam selama 3 jam. Section 5 dan section 6 hanya padam selama 0,17 jam karena memiliki RTU di LBS 5 NC dan bias disuply dengan menutup LBS 1,3 NO oleh *dispatcher*.

Skenario 5 : section 1 sampai section 4 dianggap tidak ada gangguan. Section 5 padam selama 3 jam. Karena LBS 6P NC belum memiliki RTU maka petugas membuka LBS secara manual dengan estimasi waktu padam section 6 adalah 0,65 jam.

Skenario 6 : section 1 sampai section 5 dianggap tidak ada gangguan. Section 6 padam selama 3 jam.

2. Penyulang Tegalboto

Skenario 1 : section 1 dianggap padam selama 3 jam. Karena LBS 2 T NC tidak terpasang RTU maka LBS 2 NC diopen oleh petugas secara manual dengan estimasi padam pada section 2 adalah 0,65 jam. Section 3 sampai section 4 padam selama 0,17 jam dikarenakan pada LBS 4T NC sudah terpasang RTU dan bisa diopen secara otomatis oleh *dispatcher*.

Skenario 2 : section 1 dianggap tidak mengalami gangguan. Section 2 padam selama 3 jam. Section 3 dan section 4 hanya padam selama 0,17 jam karena memiliki RTU di LBS 4T NC dan bisa disuply dengan menutup LBS 2,3 NO oleh *dispatcher*.

Skenario 3 : section 1 dan section 2 dianggap tidak mengalami gangguan. Section 3 padam selama 3 jam. LBS 5T NC belum terpasang RTU sehingga *diopen* oleh petugas secara manual dengan estimasi padam pada section 4 adalah 0,65 jam lalu tersuply oleh LBS 1,2 oleh *dispatcher* secara otomatis.

Skenario 4 : section 1 sampai section 3 dianggap tidak mengalami gangguan. Section 4 padam selama 3 jam.

3. Penyulang Karimata

Skenario 1 : section 1 dianggap padam selama 3 jam. Karena LBS 2K NC tidak terpasang RTU maka LBS 2K NC *diopen* oleh petugas secara manual dengan estimasi padam pada section 2 adalah 0,65 jam. Section 3 sampai section 4 padam selama 0,17 jam dikarenakan pada LBS 3K NC sudah terpasang RTU dan bisa *diopen* secara otomatis oleh *dispatcher*.

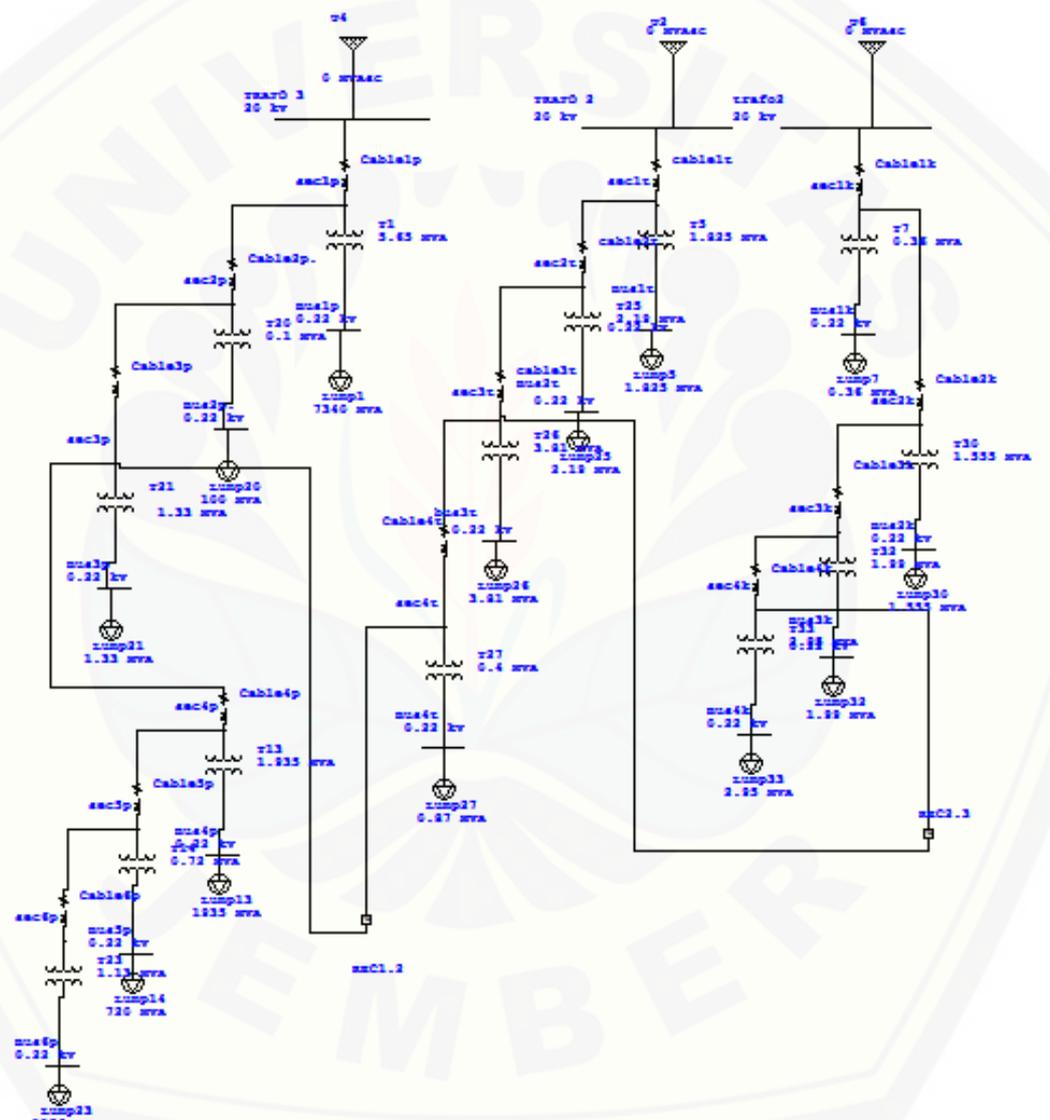
Skenario 2 : section 1 dianggap tidak mengalami gangguan. Section 2 padam selama 3 jam. Section 3 dan section 4 hanya padam selama 0,17 jam karena memiliki RTU di LBS 3K NC dan bisa disuply dengan menutup LBS 2,3 NO atau LBS 1,3 NO oleh *dispatcher* secara kondisional tergantung penyulang *back up* mana yg memiliki cadangan daya lebih.

Skenario 3 : section 1 dan section 2 dianggap tidak memiliki gangguan. Section 3 padam selama 3 jam. Karena LBS 4K NC belum terpasang RTU maka LBS 4K NC *diopen* oleh petugas secara manual dengan estimasi padam pada section 2 adalah 0,65 jam kemudian tersuply dari LBS 2,3 NO secara otomatis oleh *dispatcher*.

Skenario 4 : section 1 sampai section 3 dianggap tidak memiliki gangguan. Section 4 padam selama 3 jam.

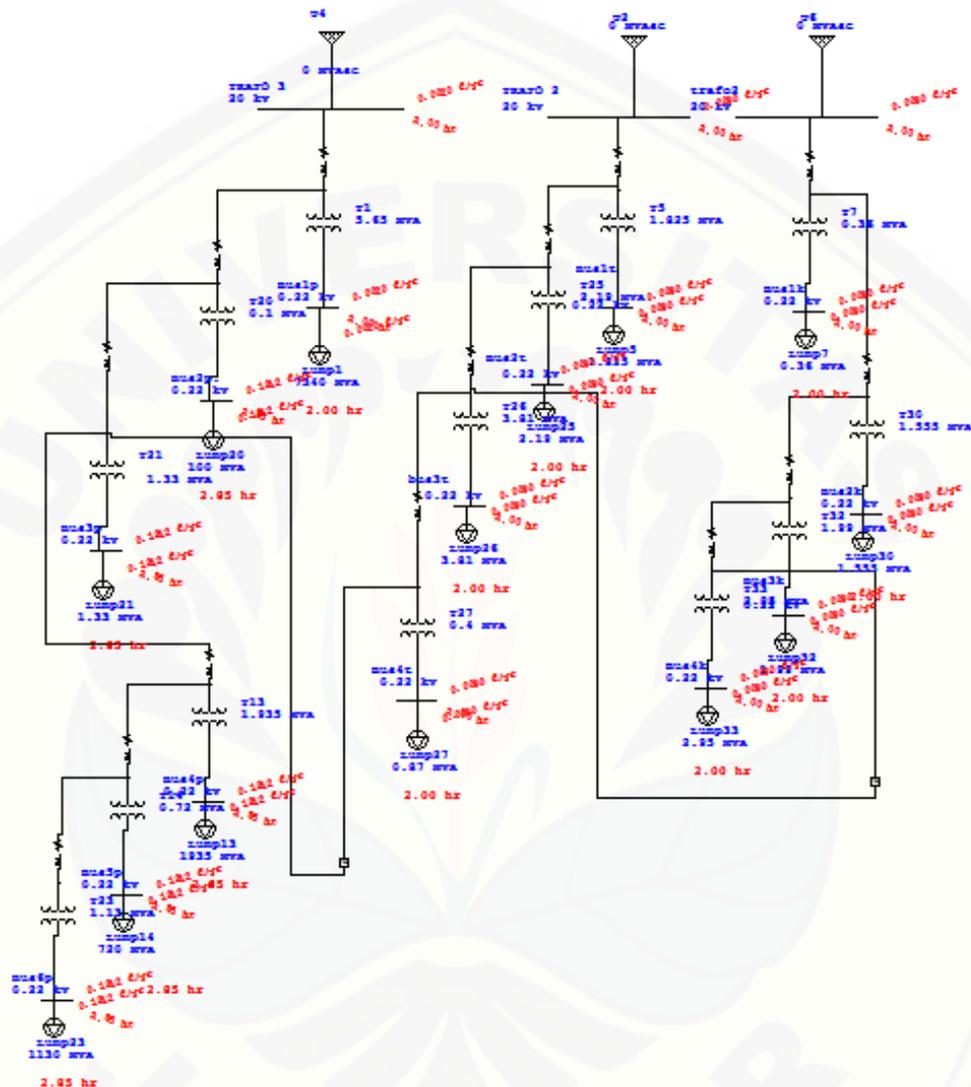
3.9 Permodelan Jaringan dalam ETAP

Berikut merupakan penjelasan beserta gambar pemodelan jaringan distribusi pada project editor dalam ETAP



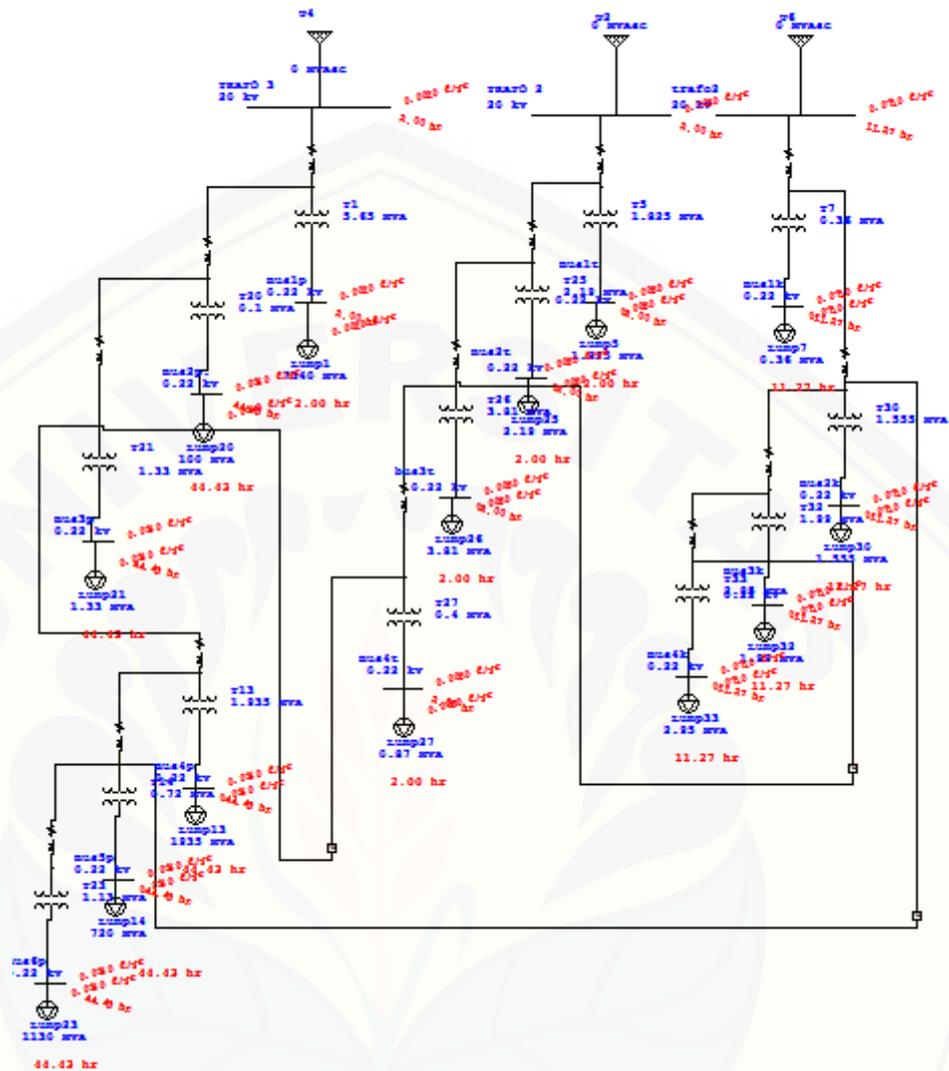
Gambar 3.10 Tampilan project editor pada ETAP sebelum di run pada keadaan sebelum pemasangan LBS motorized

Terlihat dari gambar, tiap section dianggap memiliki 1 kabel inputan, 1 trafo distribusi dan 1 beban. Yang masing-masing memiliki inputan data yang berbeda.



Gambar 3.11 Tampilan project editor pada ETAP sesudah di run pada keadaan sebelum pemasangan LBS Motorized

Dari gambar diatas merupakan salah satu hasil run Skenario, terdapat perbandingan sebelum dan sesudah di run, yaitu hasil *Average Interrupting Rate*, *Average Outage Duration*, dan *Annual Outage Duration* tiap bus. Hasil tiap bus yang terlihat dari gambar bukan merupakan sebuah hasil.



Gambar 3.13 Tampilan project editor pada ETAP setelah di run pada keadaan setelah pemasangan LBS *motorized*

Dari gambar diatas merupakan salah satu hasil run Skenario, terdapat perbandingan sebelum dan sesudah di run, yaitu hasil *Average Interrupting Rate*, *Average Outage Duration*, dan *Annual Outage Duration* tiap bus. Hasil tiap bus yang terlihat dari gambar bukan merupakan sebuah hasil. Pengaruh penambahan jalur terdapat pada perbedaan lama padam yang terdapat pada Skenario.

3.9 Cara evaluasi keandalan dengan menggunakan software ETAP 7.0

Adapun beberapa langkah yang perlu dilakukan dalam menjalankan software ETAP, yaitu:

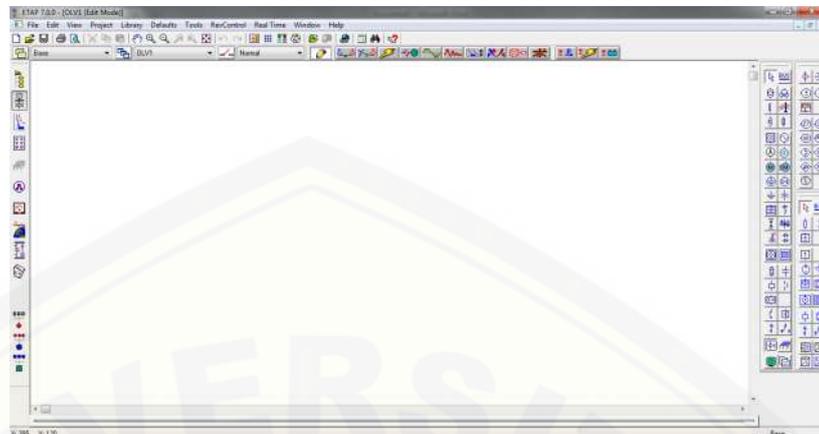
Langkah 1 : buka program ETAP 7.0



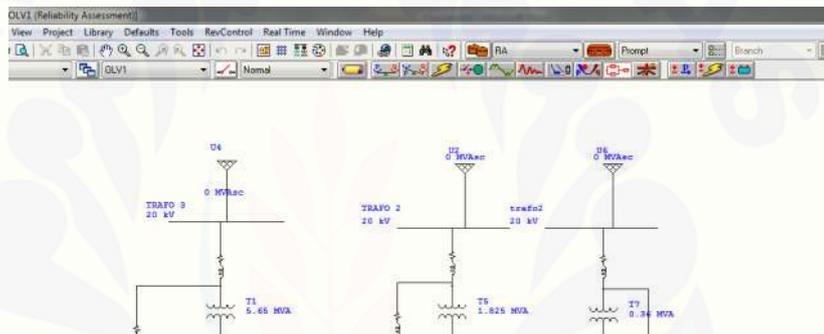
Langkah 2 : buat lembar kerja baru pada *toolbar* File-New project-OK.



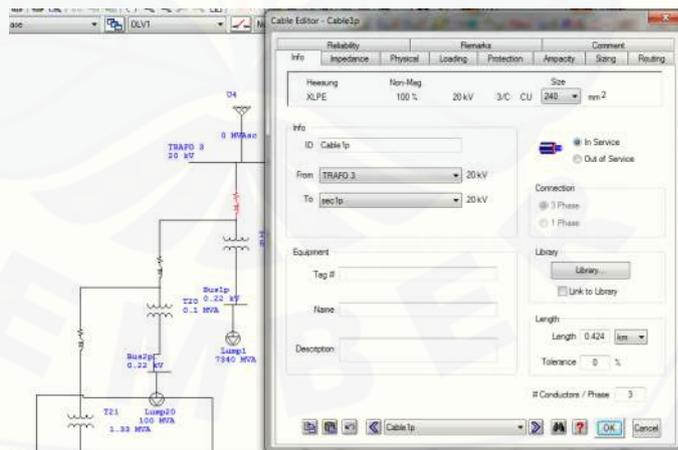
Langkah 3 : gambar sistem pada *project editor*.



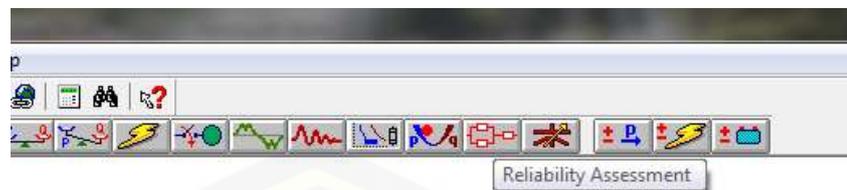
Langkah 5 : gambar sesuai sistem yang dibutuhkan, seperti digambar terdapat trafo, kabel, bus, trafo distribusi dan lain-lain.



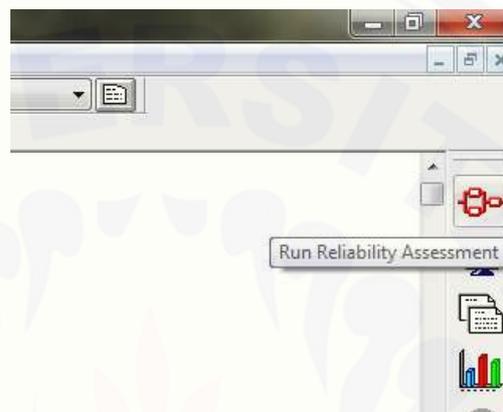
Langkah 6 : beri nilai sesuai data inputan yang diberikan tiap komponen, contohnya pada kabel.



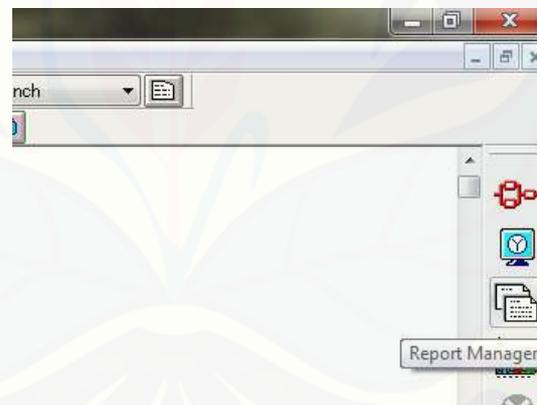
Langkah 7 : setelah sistem tergambar lengkap pada *project editor*, langkah selanjutnya cari menu *Reliability Assesment* pada *toolbox*.



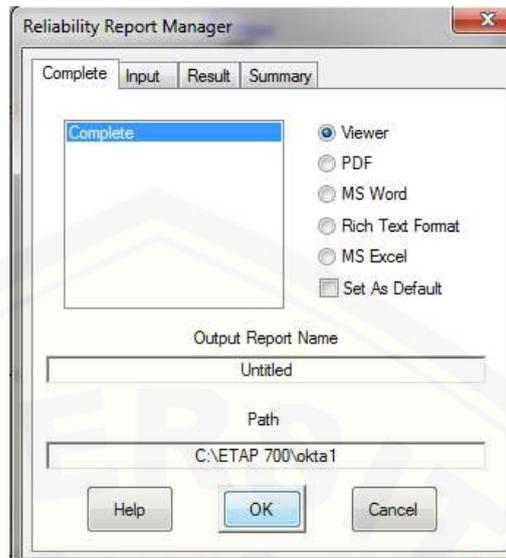
Langkah 8 : setelah klik menu *Reliability Assesment* muncul menu *Run Realiability Assessment*.



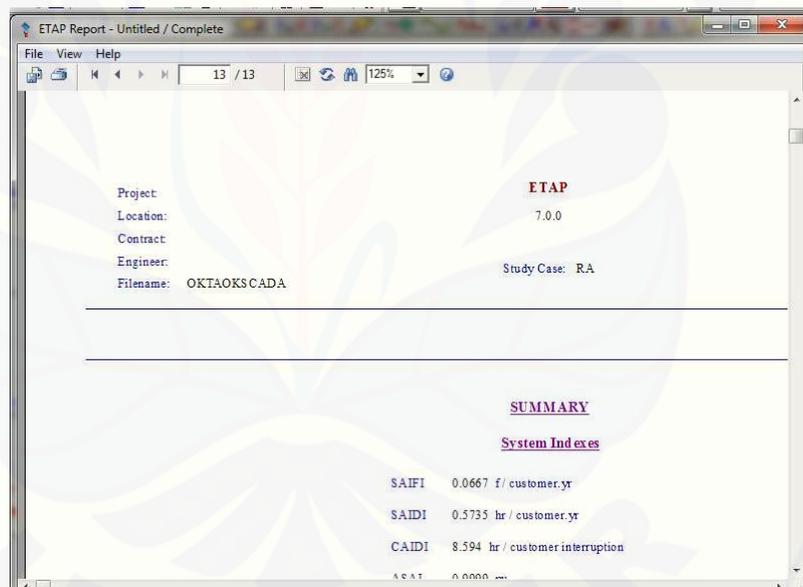
Langkah 9 : kemudian klik *Report Manager*.



Langkah 10 : muncul tampilan *Reliability Report Manager*. Klik complete-OK



Langkah 11: muncul tampilan report lengkap dari data inputan dan outputan dengan total 13 halaman, seperti di gambar terdapat hasil SAFI, SAIDI, CAIDI dan lain-lain.



3.10 Indeks Keandalan Peralatan Distribusi

Pada suatu sistem distribusi, tingkat keandalan adalah hal yang sangat penting untuk mengetahui kinerja suatu sistem maupun suatu komponen dalam jaringan. Keandalan merupakan kemungkinan kelangsungan pelayanan beban dengan kualitas pelayanan listrik yang baik untuk suatu periode tertentu dengan kondisi operasi yang sesuai. Keandalan sistem tenaga listrik sangat tergantung pada keandalan peralatan pendukung sistem, proses alamiah dari peralatan serta kesalahan dalam mengoperasikan peralatan tersebut (Prambudhi Setyo, 2007)

Berikut yang menjadi standart perhitungan dalam analisis perhitungan sistem:

Tabel 3.6 Perkiraan angka keluar komponen sistem distribusi

Komponen	Angka Keluar *
Saluran udara	0,2/km/tahun
Kabel saluran bawah tanah	0,07/km/tahun
pemutus tenaga	0,004/unit/tahun
Sakelar beban	0.003/unit/tahun
Sakelar pisah	0.003/unit/tahun
Penutup balik	0.005/unit/tahun
Penyambung kabel	0.001/unit/tahun
Trafo distribusi	0.005/unit/tahun
Pelindung Jaringan	0.005/unit/tahun

*satuan dalam kali/km/tahun atau kali/unit/tahun

(Sumber : SPLN 59 tahun 1985)

Tabel 3.7 Waktu operasi kerja dan pemulihan layanan

Operasi Kerja	Waktu/Jam
A. Menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke G.I	0,5
A. Menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk sampai dari satu gardu ke gardu berikutnya	1,0
B. Waktu yang dibutuhkan untuk sampai dari satu gardu ke gardu berikutnya	0,16
B. wWaktu yang dibutuhkan untuk sampai dari satu gardu ke gardu berikutnya untuk sistem spot network	0,2
C. Waktu yang dibutuhkan untuk memeriksa indikator gangguan (hanya untuk sistem spindle)	0,083
D. Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup pemutus tenaga atau sakelar	0,25
E. Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup pemutus sakelar beban atau sakelar pisah	0,15
F. Waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kawat penghantar udara	3
G. Waktu yang dibutuhkan untuk mencari lokasi gangguan pada kabel bawah tanah	5
H. Waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kabel saluran bawah tanah.	10
I. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti/memperbaiki pemutus tenaga, sakelar beban, penutup kembali atau sakelar pisah	10
J. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti penyambung kabel (bulusan) untuk kabel yang belisolasi kertas	15
K. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti trafo distribusi	10
L. waktu yang dibutuhkan untuk mengganti pelindung jaringan	10
M. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti/memperbaiki bus tegangan rendah	10

(Sumber : SPLN 59 tahun 1985)

BAB 4

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas mengenai hasil perencanaan pemasangan LBS *motorized* PT PLN APJ Jember pada penyulang Pakusari, penyulang Tegalboto, penyulang Karimata. Pengujian yang dilakukan tidak bersifat *real time* atau yang dimaksud pengambilan data secara langsung, melainkan menggunakan sistem skenario padam tiap section. Hasil kehandalan SAIFI dan SAIDI dilakukan melalui program ETAP 7.0 dengan membandingkan kehandalan sebelum pemasangan sistem dan setelah pemasangan sistem.

4.1. Parameter yang dimasukkan ke dalam ETAP

Berikut data yang dibutuhkan dalam ETAP. Data yang dimasukkan tiap section selalu berbeda sesuai skenario yang ada. Untuk dua penyulang lainnya yang dianggap tidak mengalami padam, parameter yang diinputkan adalah 0 (nol), dikarenakan dianggap tidak pengaruh terhadap kehandalan.

Data yang mendasari skenario yang ada pada tabel 3.5. Skenario yang tertulis adalah mengganggu jaringan pada SUTM mengalami gangguan

Tabel 4.1 Skenario padam sebelum pemasangan LBS *motorized*

SKENARIO	PADAM					
	Section 1 (Jam)	Section 2 (Jam)	Section 3 (Jam)	Section 4 (Jam)	Section 5 (Jam)	Section 6 (Jam)
PAKUSARI						
1	3	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
2	-	3	0,65	0,65	0,65	0,65
3	-	-	3	3	3	3
4	-	-	-	3	3	3
5	-	-	-	-	3	3
6	-	-	-	-	-	3
TEGALBOTO						
1	3	0,65	0,65	0,65		
2	-	3	0,65	0,65		
3	-	-	3	3		
4	-	-	-	3		

KARIMATA				
1	3	0,65	0,65	0,65
2	-	3	0,65	0,65
3	-	-	3	0,65
4	-	-	-	3

Pada tabel diatas, data yang diberi sesuai data SPLN yang ada yaitu waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kawat penghantar udara yaitu 3 jam. Dan untuk section lainnya yang diberi inputan sebesar 0,65 adalah kalkulasi waktu menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke G.I yaitu 0,5 jam dengan waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup sakelar beban atau saklar pisah dalam hal ini adalah LBS yaitu 0,15 jam.

Table 4.2 Tabel skenario padam setelah pemasangan LBS *motorized*

PADAM						
Skenario	section 1 (Jam)	section 2 (Jam)	section 3 (Jam)	section 4 (Jam)	section 5 (Jam)	section 6 (Jam)
PAKUSARI						
1	3	0,65	0,17	0,17	0,17	0,17
2	-	3	0,17	0,17	0,17	0,17
3	-	-	3	0,65	0,17	0,17
4	-	-	-	3	0,17	0,17
5	-	-	-	-	3	0,65
6	-	-	-	-	-	3
TEGALBOTO						
1	3	0,65	0,17	0,17		
2	-	3	0,17	0,17		
3	-	-	3	0,65		
4	-	-	-	3		
KARIMATA						
1	3	0,65	0,17	0,17		
2	-	3	0,17	0,17		
3	-	-	3	0,65		
4	-	-	-	3		

Untuk tabel padam skenario setelah pemasangan LBS *motorized* data yang ada tetap berdasarkan pada SPLN. Untuk inputan yang diberi sebesar 0,17 jam adalah penulis menganggap waktu terlama *dispatcher* yang dibutuhkan untuk membuka/menutup saklar beban dalam hal ini adalah LBS secara otomatis pada program SCADA selama 10 menit.

4.2. Hasil Pengujian Menggunakan ETAP

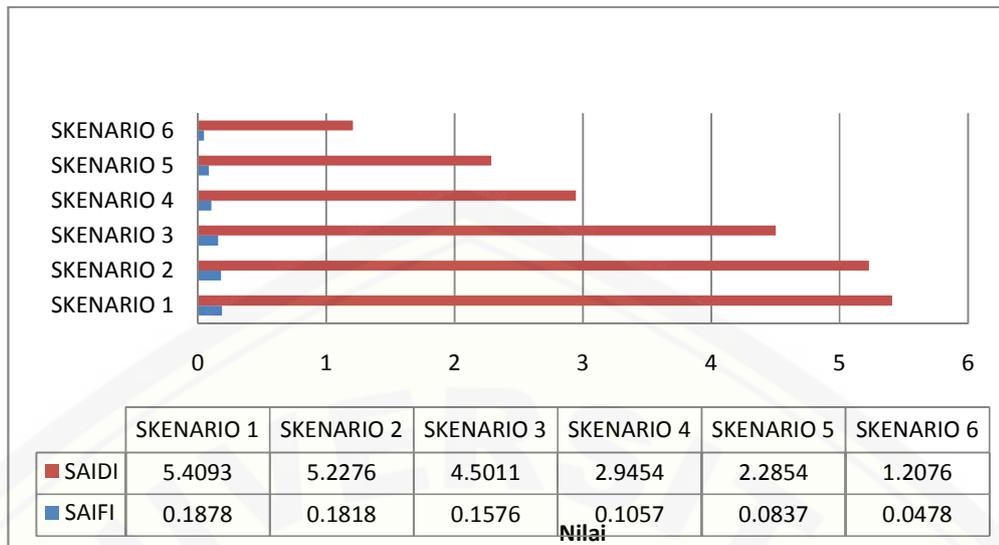
Berikut merupakan hasil data pengujian pemasangan LBS *motorized* sebelum dan sesudah menggunakan ETAP.

4.2.1 Hasil Sebelum Pemasangan LBS *Motorized*

Tabel 4.3 Hasil simulasi sebelum menggunakan LBS *motorized*

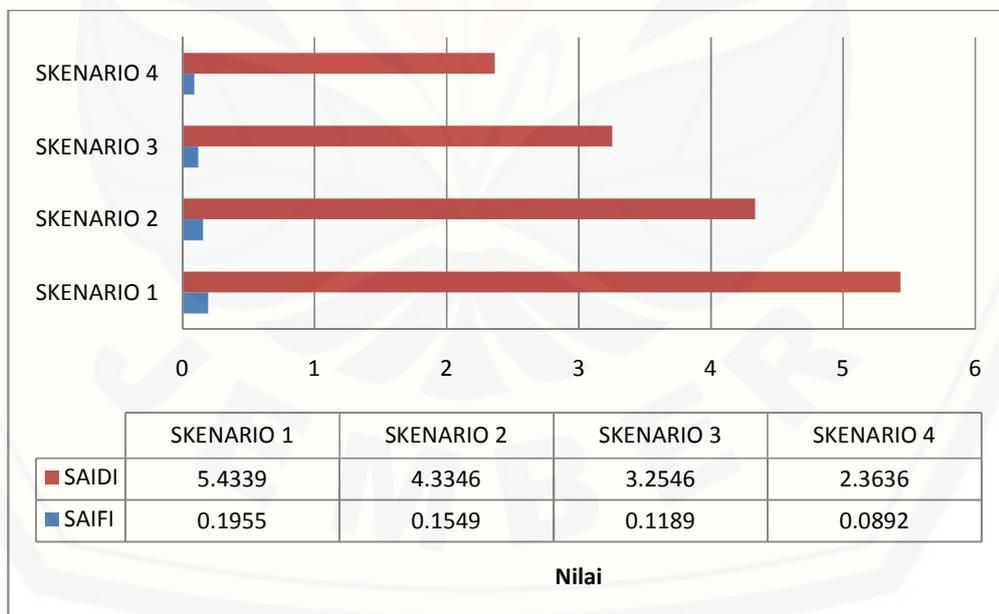
NO	SKENARIO	ETAP	
		SAIFI	SAIDI
PENYULANG PAKUSARI			
1	SKENARIO 1	0.1878	5.4093
2	SKENARIO 2	0.1818	5.2276
3	SKENARIO 3	0.1576	4.5011
4	SKENARIO 4	0.1057	2.9454
5	SKENARIO 5	0.0837	2.2854
6	SKENARIO 6	0.0478	1.2076
PENYULANG TEGALBOTO			
7	SKENARIO 1	0.1955	5.4339
8	SKENARIO 2	0.1549	4.3346
9	SKENARIO 3	0.1189	3.2546
10	SKENARIO 4	0.0892	2.3636
PENYULANG KARIMATA			
11	SKENARIO 1	0.1327	3.6686
12	SKENARIO 2	0.0887	2.3486
13	SKENARIO 3	0.0690	1.7589
14	SKENARIO 4	0.0458	1.0627

Pada hasil simulasi ETAP tanpa menggunakan LBS *motorized*, terdapat 2 hasil yaitu SAIFI dan SAIDI. SAIFI dan SAIDI terbesar terletak pada skenario 1 penyulang pakusari dengan nilai SAIFI 0,1878 kali/tahun dan nilai SAIDI 5.4093 jam/tahun sedangkan untuk nilai SAIFI dan SAIDI terkecil terdapat pada skenario 4 penyulang Karimata yaitu 0,0458 kali/tahun dan 1.0627 jam/tahun.



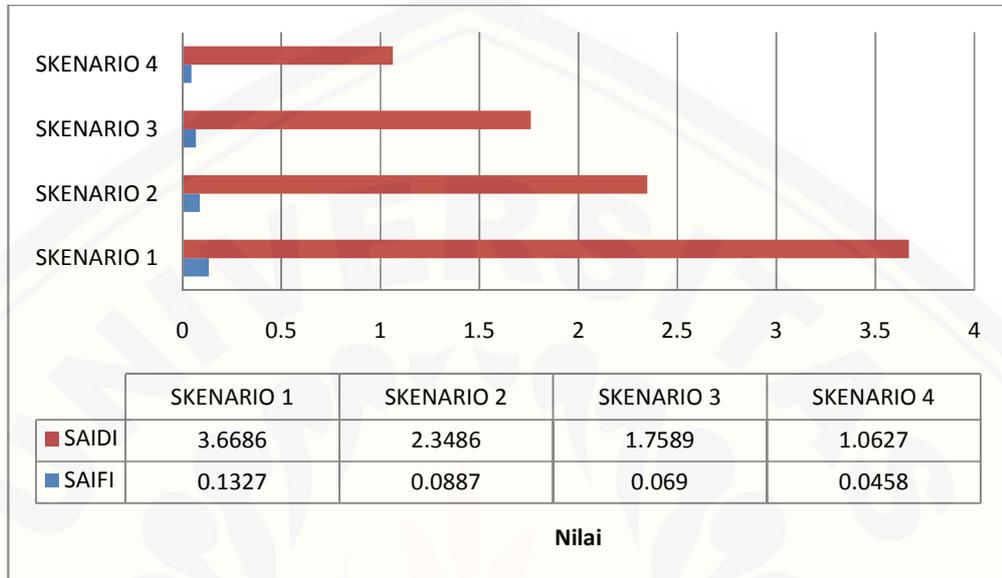
Gambar 4.1 Grafik hasil running ETAP penyulang Pakusari sebelum pemasangan LBS motorized

Skenario yang dilakukan pada penyulang pakusari memiliki 6 skenario dikarenakan memiliki 6 section pada penyulangnya. Dengan hasil SAIFI terkecil terletak pada skenario 6 yaitu 0,0478 kali/tahun, dan hasil terbesar yaitu terletak pada skenario 1 yaitu 0.1878 kali/tahun. SAIDI yang memiliki nilai terkecil terletak pada skenario 6 yaitu 1,2076 jam/tahun dan nilai terbesar terletak pada skenario pertama..



Grafik 4.2 hasil running ETAP penyulang Tegalboto sebelum pemasangan LBS motorized

Terlihat pada grafik, terdapat 4 skenario karena penyulang Tegaboto memiliki 4 section di dalamnya. Seperti yang terlihat pada grafik, grafik SAIFI dan SAIDI memiliki grafik menurun. Itu menunjukkan skenario 1 yang memiliki nilai terbesar dan skenario 4 yang mempunyai nilai terkecil.



Gambar 4.3 Grafik hasil running ETAP penyulang Karimata sebelum pemasangan LBS *motorized*

Total skenario pada penyulang karimata adalah 4 skenario, karena seperti halnya penyulang Tegaboto, penyulang karimata sendiri juga mempunyai 4 section. Seperti yang terlihat pada grafik, grafik SAIFI dan SAIDI memiliki grafik menurun. Itu menunjukkan skenario 1 yang memiliki nilai terbesar dan skenario 4 yang mempunyai nilai terkecil.

Seluruh penyulang memiliki data SAIFI dan SAIDI yang relative menurun grafiknya, hal itu menunjukkan bahwa semakin sedikit lama padam yang diberikan semakin kecil pula SAIFI dan SAIDInya. Semakin kecil nilai SAIFI dan SAIDI semakin bagus pula kehandalan suatu sistem.

4.2.2 Hasil Setelah Pemasangan LBS *Motorized*

4.4 Hasil simulasi setelah menggunakan LBS *motorized*

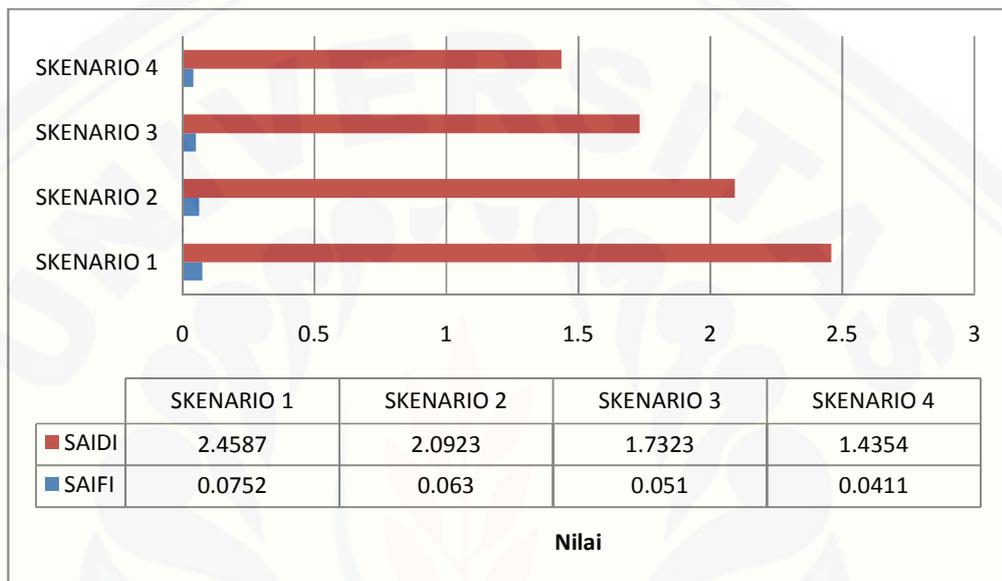
NO	SKENARIO	ETAP	
		SAIFI	SAIDI
PENYULANG PAKUSARI			
1	SKENARIO 1	0.1413	4.4396
2	SKENARIO 2	0.1367	4.3033
3	SKENARIO 3	0.1186	3.7585
4	SKENARIO 4	0.0797	2.5917
5	SKENARIO 5	0.0632	2.0967
6	SKENARIO 6	0.0362	1.1883
PENYULANG TEGALBOTO			
7	SKENARIO 1	0.0752	2.4587
8	SKENARIO 2	0.0630	2.0923
9	SKENARIO 3	0.0510	1.7323
10	SKENARIO 4	0.0411	1.4354
PENYULANG KARIMATA			
11	SKENARIO 1	0.0976	3.1294
12	SKENARIO 2	0.0646	2.1394
13	SKENARIO 3	0.0498	1.6971
14	SKENARIO 4	0.0324	1.0557

Pada tabel menunjukkan nilai SAIFI dan SAIDI mengalami penurunan dari data sebelum pemasangan sistem SCADA. Hal ini menunjukkan semakin bagusnya sistem yang ada.



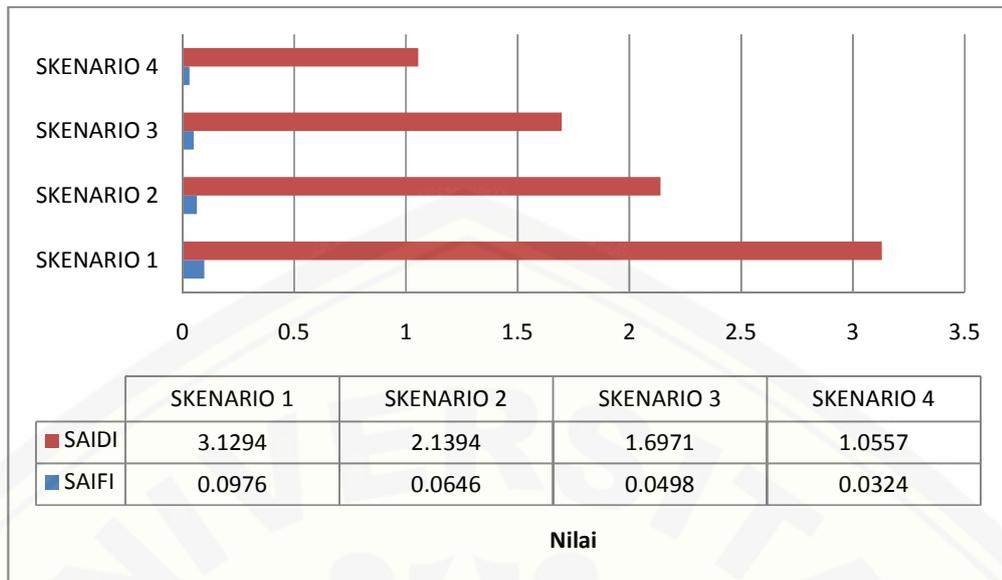
Gambar 4.4 Grafik hasil running ETAP penyulang Pakusari setelah pemasangan sistem SCADA

Skenario yang dilakukan pada penyulang pakusari memiliki 6 skenario dikarenakan memiliki 6 section pada penyulangnya. Dengan hasil SAIFI terkecil terletak pada skenario 6 yaitu 0,0362 kali/tahun, dan hasil terbesar yaitu terletak pada skenario 1 yaitu 0,1413 kali/tahun. SAIDI yang memiliki nilai terkecil terletak pada skenario 6 yaitu 1.1883 jam/tahun dan nilai terbesar terletak pada skenario pertama..



Gambar 4.5 Grafik hasil running ETAP penyulang Tegalboto setelah pemasangan LBS *motorized*

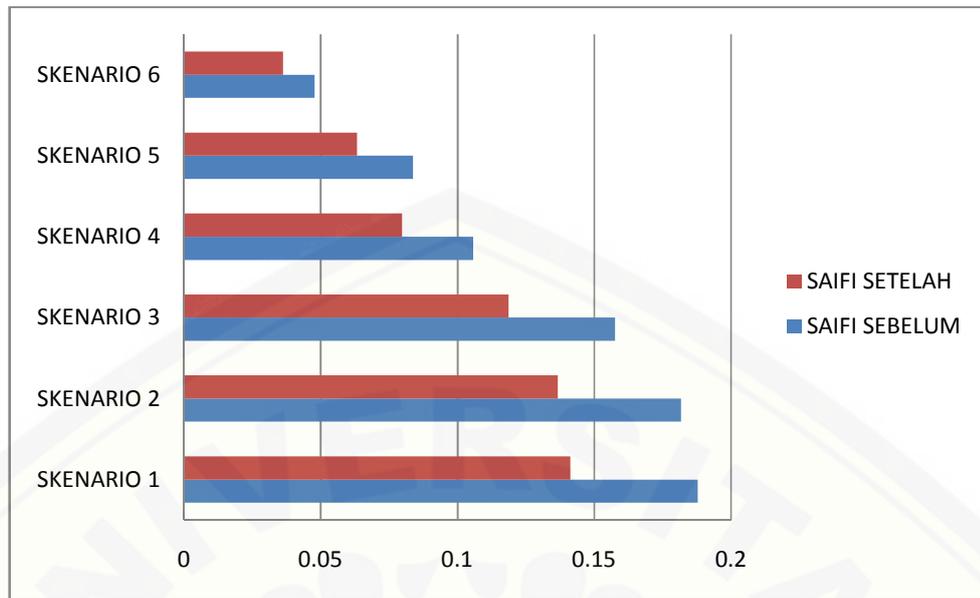
Terlihat pada grafik, terdapat 4 skenario karena penyulang Tegaboto memiliki 4 section di dalamnya. Seperti yang terlihat pada grafik, grafik SAIFI dan SAIDI memiliki grafik menurun. Itu menunjukkan skenario 1 yang memiliki nilai terbesar dan skenario 4 yang mempunyai nilai terkecil.



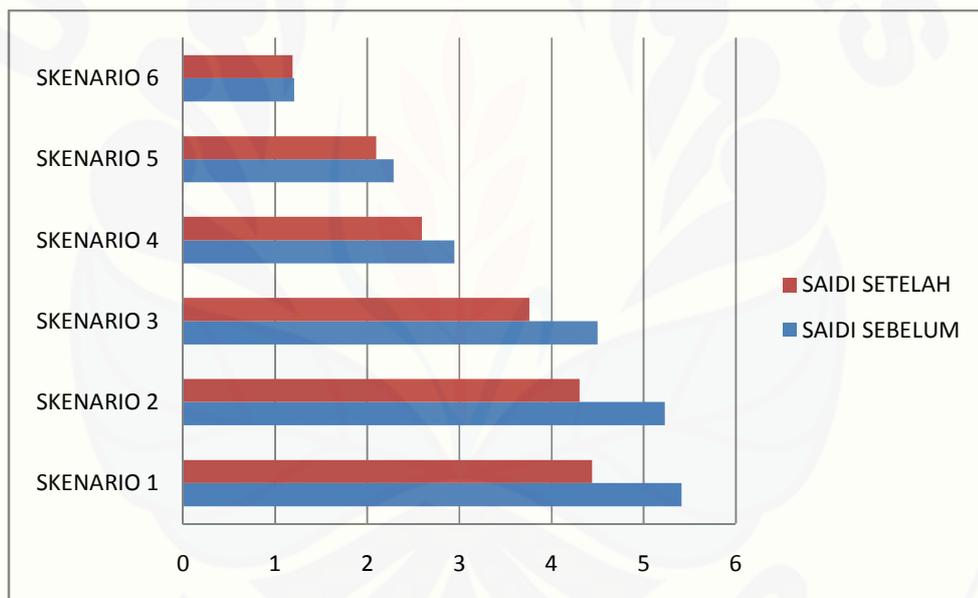
Gambar 4.6 Grafik hasil running ETAP penyulang Karimata setelah pemasangan LBS *motorized*

Total skenario pada penyulang karimata adalah 4 skenario, karena seperti halnya penyulang Tegalboto, penyulang karimata sendiri juga mempunyai 4 section. Seperti yang terlihat pada grafik, grafik SAIFI dan SAIDI memiliki grafik menurun. Itu menunjukkan skenario 1 yang memiliki nilai terbesar dan skenario 4 yang mempunyai nilai terkecil.

Seluruh penyulang memiliki data SAIFI dan SAIDI yang relative menurun grafiknya, hal itu menunjukkan bahwa semakin sedikit lama padam yang diberikan semakin kecil pula SAIFI dan SAIDInya. Semakin kecil nilai SAIFI dan SAIDI semakin bagus pula kehandalan suatu sistem.

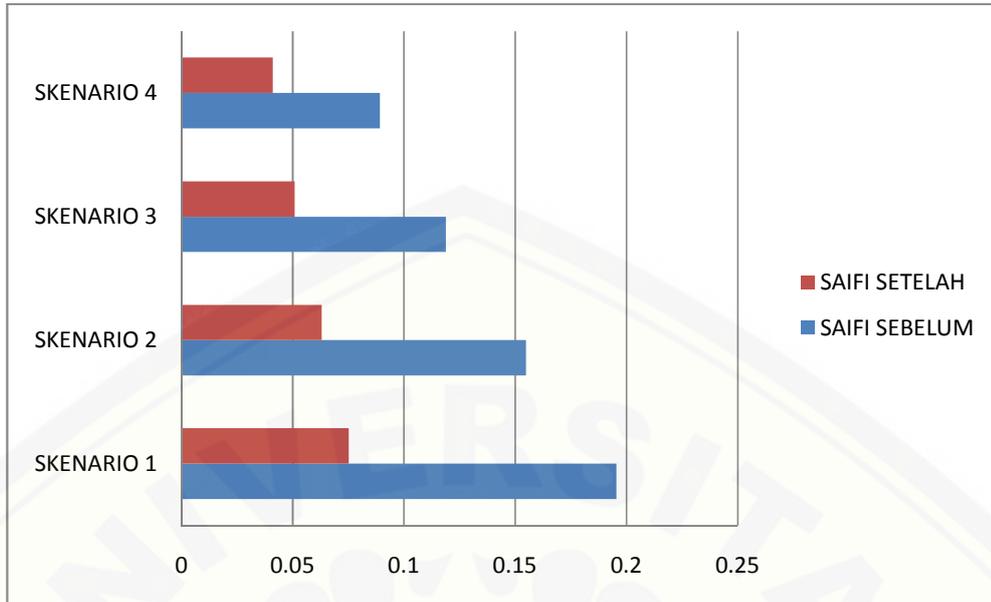


Gambar 4.7 Grafik perbandingan hasil SAIFI penyulang Pakusari

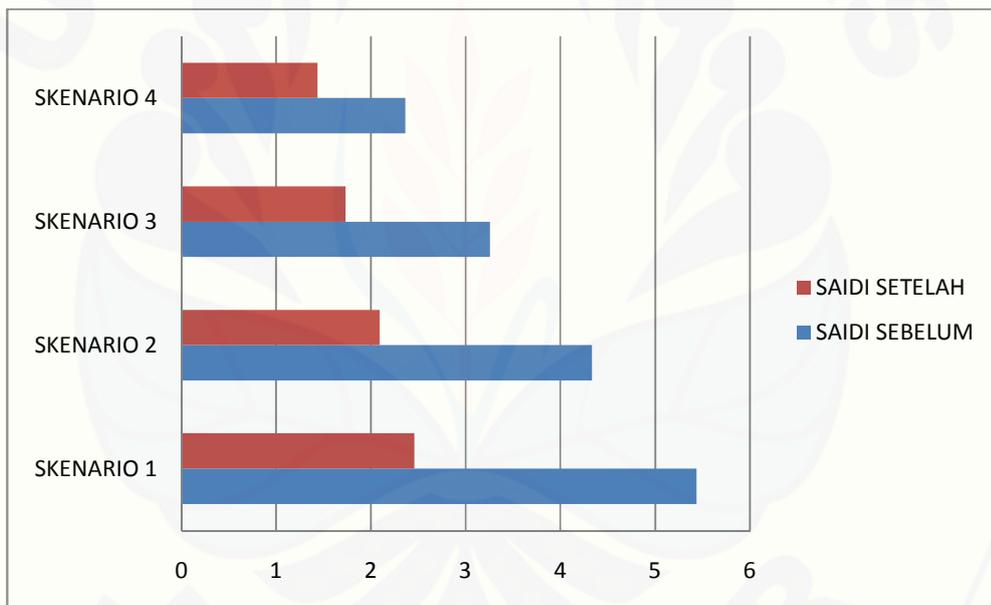


Gambar 4.8 Grafik perbandingan hasil SAIDI penyulang Pakusari

Seluruh skenario pada penyulang Pakusari mengalami penurunan nilai setelah dipasangnya LBS *motorized*. Dilihat dari grafik, nilai SAIFI maupun SAIDI sama-sama nilai yang didapat bernilai lebih kecil daripada hasil sebelum pemasangan LBS *motorized*.

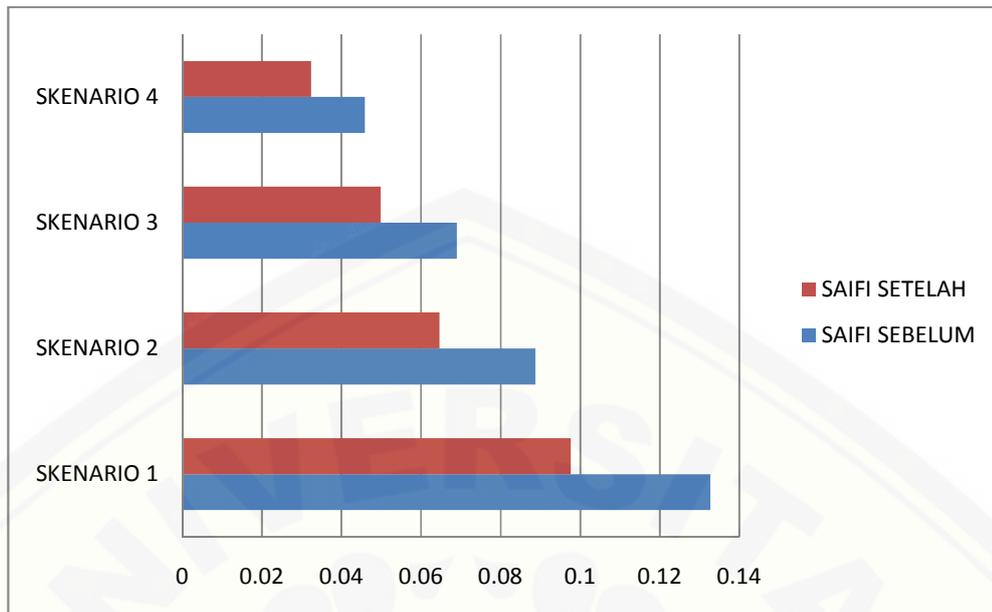


Gambar 4.9 Grafik perbandingan hasil SAIFI penyulang Tegalboto

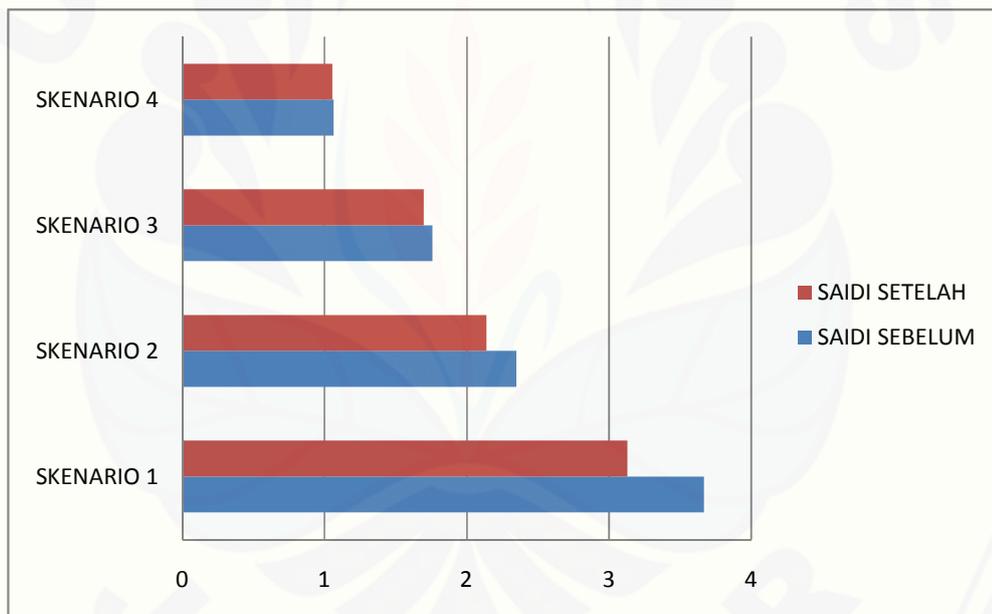


Gambar 4.10 Grafik perbandingan hasil SAIDI penyulang Tegalboto

Dari hasil perbandingan kehandalan pada grafik diatas, nilai SAIDI dan SAIFI sebelum pemasangan SCADA dengan nilai SAIDI dan SAIFI setelah keduanya pada penyulang Tegalboto memiliki nilai yang relative cukup jauh.



Gambar 4.11 Grafik perbandingan hasil SAIFI penyulang Karimata



Gambar 4.12 Grafik perbandingan hasil SAIDI penyulang Karimata

Seperti pada grafik, nilai SAIFI mempunyai perbedaan yang cukup jauh lain halnya pada grafik perbandingan hasil SAIDI yang nilainya hamper mendekati. Seperti pada skenario 4 dimana SAIDI sebelum bernilai 1,0627 jam/tahun menjadi 1,0557 jam/tahun dengan selisih yang sangat kecil. Dapat dilihat, grafik cenderung bernilai drastis, karena disebabkan perlakuan yang diberi

dilakukan tiap penyulang. Penyulang satu dianggap mengalami gangguan, dan penyulang sisanya dianggap tidak mengalami gangguan sama sekali. Oleh karena itu, tiap penyulang memiliki nilai yang relative jauh.

4.3 Perhitungan NDE (*Non Delivery Energy*) atau Energi Tak Tersalurkan

$$NDE = PC \times tCA$$

dimana:

PC = Jumlah energy yang tidak terkirim (Kw)

tCA = durasi waktu pemadaman (Jam)

4.3.1 Perhitungan NDE Sebelum Pemasangan SCADA

1. Penyulang Pakusari

$$\text{Skenario 1} : (4520 \times 3) + (4620 \times 0,65) = 16563 \text{ Kw}$$

$$\text{Skenario 2} : (1352 \times 3) + (3268 \times 0,65) = 6180,2 \text{ Kw}$$

$$\text{Skenario 3} : 3268 \times 3 = 9804 \text{ Kw}$$

$$\text{Skenario 4} : 3188 \times 3 = 9564 \text{ Kw}$$

$$\text{Skenario 5} : 2124 \times 3 = 6372 \text{ Kw}$$

$$\text{Skenario 6} : 576 \times 3 = 1728 \text{ Kw}$$

Total NDE pada penyulang Pakusari adalah 50.211,2 Kw

2. Penyulang Tegalboto

$$\text{Skenario 1} : (1460 \times 3) + (5495 \times 0,65) = 7951,75 \text{ Kw}$$

$$\text{Skenario 2} : (1752 \times 3) + (3743 \times 0,65) = 7688,95 \text{ Kw}$$

$$\text{Skenario 3} : 3743 \times 3 = 11229 \text{ Kw}$$

$$\text{Skenario 4} : 695 \times 3 = 2085 \text{ Kw}$$

Total NDE pada penyulang Tegalboto adalah 28.954,7 Kw

3. Penyulang Karimata

$$\text{Skenario 1} : (288 \times 3) + (5196 \times 0,65) = 4241,4 \text{ Kw}$$

$$\text{Skenario 2} : (1244 \times 3) + (3952 \times 0,65) = 6300,8 \text{ Kw}$$

$$\text{Skenario 3} : (1592 \times 3) + (2360 \times 0,65) = 6310 \text{ Kw}$$

$$\text{Skenario 4} : 2360 \times 3 = 7080 \text{ Kw}$$

Total NDE pada penyulang Karimata adalah 23.932,2 Kw

Total daya tak tersalurkan seluruh skenario sebelum pemasangan sistem SCADA adalah sebesar 103.098,1 KW atau 103,0981 MW

4.3.2. Perhitungan NDE Setelah Pemasangan SCADA

1. Penyulang Pakusari

Skenario 1 : $(4520 \times 3) + (1352 \times 0,65) + (3268 \times 0,17) = 14994,36$
Kw

Skenario 2 : $(1352 \times 3) + (3268 \times 0,17) = 4611,56$ Kw

Skenario 3 : $(80 \times 3) + (1064 \times 0,65) + (2124 \times 0,17) = 1292,68$ Kw

Skenario 4 : $(1064 \times 3) + (2124 \times 0,17) = 3553,08$ Kw

Skenario 5 : $(1548 \times 3) + (576 \times 0,65) = 5018,4$ Kw

Skenario 6 : $576 \times 3 = 1728$ Kw

Total NDE pada penyulang Pakusari adalah 31.198,08 Kw

2. Penyulang Tegalboto

Skenario 1 : $(1460 \times 3) + (1752 \times 0,65) + (3780 \times 0,17) = 6161,4$ Kw

Skenario 2 : $(1752 \times 3) + (3780 \times 0,17) = 5898,6$ Kw

Skenario 3 : $(3084 \times 3) + (696 \times 0,65) = 9704,4$ Kw

Skenario 4 : $696 \times 3 = 2088$ Kw

Total NDE pada penyulang Tegalboto adalah 23.852,4 Kw

3. Penyulang Karimata

Skenario 1 : $(288 \times 3) + (1244 \times 0,65) + (3592 \times 0,17) = 2283,24$ Kw

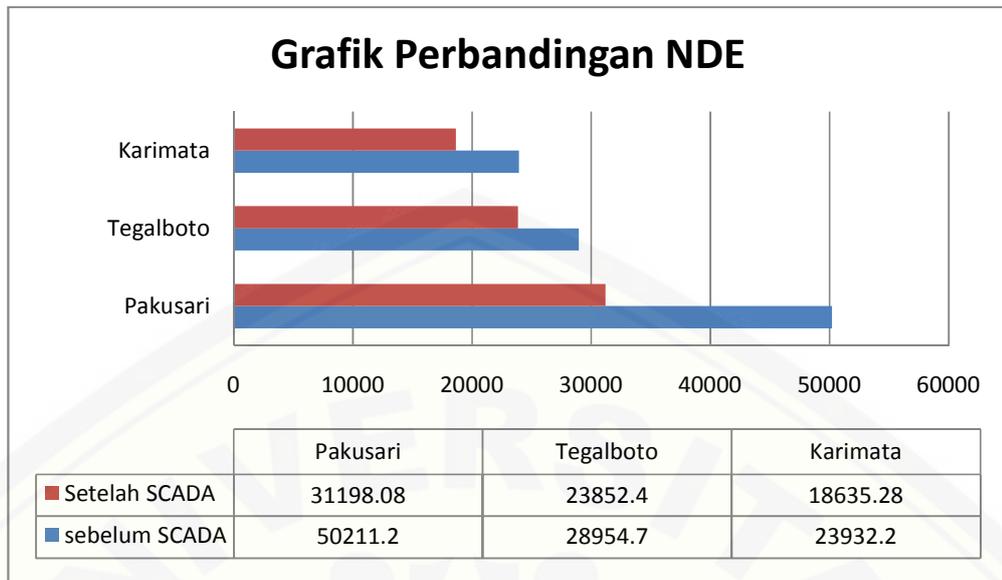
Skenario 2 : $(1244 \times 3) + (3592 \times 0,17) = 4342,64$ Kw

Skenario 3 : $(1592 \times 3) + (236 \times 0,65) = 4929,4$ Kw

Skenario 4 : $2360 \times 3 = 7080$ Kw

Total NDE pada penyulang Karimata adalah 18.635,28 Kw

Total daya tak tersalurkan seluruh skenario setelah pemasangan sistem SCADA adalah sebesar 73.685,76 KW atau 73,69 MW



Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Hasil NDE (*Non Delivery Energy*)

4.3.3. Kerugian dari NDE Sebelum Pemasangan LBS *Motorized*

1. Penyulang Pakusari

Skenario 1 : 16563 Kw x Rp 605 = Rp 10.020.615

Skenario 2 : 6180,2 Kw x Rp 605 = Rp 3.739.021

Skenario 3 : 9804 Kw x Rp 605 = Rp 5.931.420

Skenario 4 : 9564 Kw x Rp 605 = Rp 5.786.220

Skenario 5 : 6372 Kw x Rp 605 = Rp 3.855.060

Skenario 6 : 1728 Kw x Rp 605 = Rp 1.045.440

Total Kerugian dari NDE penyulang Pakusari adalah Rp. 30.377.776

2. Penyulang Tegalboto

Skenario 1 : 7951,75 Kw x Rp 605 = Rp 4.810.808,75

Skenario 2 : 7688,95 Kw x Rp 605 = Rp 4.651.814,75

Skenario 3 : 11229 Kw x Rp 605 = Rp 6.793.545

Skenario 4 : 2085 Kw x Rp 605 = Rp 1.261.425

Total Kerugian dari NDE penyulang Tegalboto adalah Rp 17.517.593,5

3. Penyulang Karimata

Skenario 1 : 4241,4 Kw x Rp 605 = Rp 2.566.047

Skenario 2 : 6300,8 Kw x Rp 605 = Rp 3.811.984

Skenario 3 : 6310 Kw x Rp 605 = Rp 3.817.550

Skenario 4 : 7080 Kw x Rp 605 = Rp 4.283.400

Total Kerugian dari NDE penyulang Karimata adalah Rp 14.478.981

Total kerugian sebelum pemasangan sistem seluruh skenario Rp 62.374.350,5

4.3.4. Kerugian dari NDE Setelah Pemasangan LBS Motorized

1. Penyulang Pakusari

Skenario 1 : 14994,36 Kw x Rp 605 = Rp 9.071.370

Skenario 2 : 4611,56 Kw x Rp 605 = Rp 2.789.993,8

Skenario 3 : 1292,68 Kw x Rp 605 = Rp 782.071,4

Skenario 4 : 3553,08 Kw x Rp 605 = Rp 2.149.613,4

Skenario 5 : 5018,4 Kw x Rp 605 = Rp 3.036.132

Skenario 6 : 1728 Kw x Rp 605 = Rp 1.045.440

Total Kerugian dari NDE penyulang Pakusari adalah Rp 18.874.620,6

2. Penyulang Tegalboto

Skenario 1 : 6161,4 Kw x Rp 605 = Rp 3.727.647

Skenario 2 : 5898,6 Kw x Rp 605 = Rp 3.568.653

Skenario 3 : 9704,4 Kw x Rp 605 = Rp 5.871.162

Skenario 4 : 2088 Kw x Rp 605 = Rp 1.263.240

Total Kerugian dari NDE penyulang Tegalboto adalah Rp 14.430.702

3. Penyulang Karimata

Skenario 1 : 2283,24 Kw x Rp 605 = Rp 1.381.360

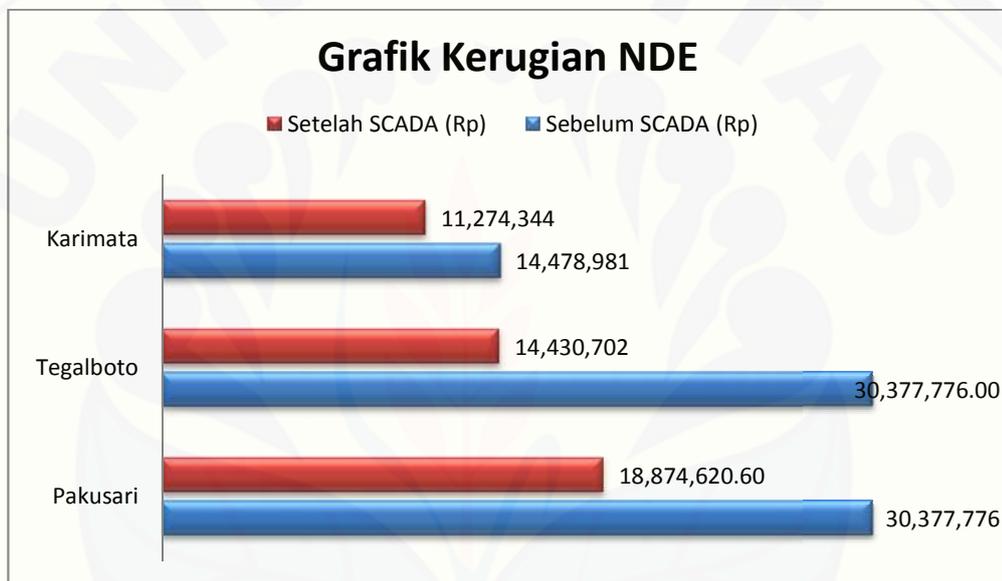
Skenario 2 : 4342,64 Kw x Rp 605 = Rp 2.627.297

Skenario 3 : 4929,4 Kw x Rp 605 = Rp 2.982.287

Skenario 4 : 7080 Kw x Rp 605 = Rp 4.283.400

Total Kerugian dari NDE penyulang Karimata adalah Rp 11.274.344

Total kerugian setelah pemasangan sistem seluruh skenario = Rp 44.579.666,6



Gambar 4.14 Grafik Kerugian dari NDE (*Non Delivery Energy*)

BAB 5

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan perancangan pemodelan sistem ini diperoleh beberapa kesimpulan antara lain:

1. Pemasangan LBS *motorized* memperkecil SAIDI dan SAIFI dari sebelum pemasangan sistem nilai SAIDInya adalah 5.4093 jam/tahun menjadi 4.4396 jam/tahun dan nilai SAIFInya yang dari 0,1878 kali/tahun menjadi 0.1413 kali/tahun.
2. Selisih daya tak tersalurkan sebelum dan pemasangan LBS *motorized* adalah sebesar 29.412,34 KW dari daya sebelum pemasangan sebesar 103.098,1 KW dan setelah pemasangan sebesar 73.685,76 KW.
3. Pemasangan LBS *motorized* menghemat kerugian daya tak tersalurkan sebesar Rp. 17.794.683,9 dari kerugian sebelum pemasangan sebesar Rp 62.374.350,5 menjadi kerugian setelah pemasangan sebesar Rp 44.579.666,6.

5.2 SARAN

Berikut ini adalah saran yang berkaitan dengan penulisan yang telah dilakukan:

1. Pemasangan LBS *motorized* demi dasar perencanaan sistem SCADA dapat diaplikasikan oleh PT. PLN APJ Jember berhubung masih banyaknya sistem yang belum sempurna demi kontinuitas daya listrik kepada pelanggan.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat memperluas jangkauan penelitian misalnya perencanaan sistem SCADA untuk semua penyulang di rayon Jember,
3. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya perhitungan kehandalan dilakukan secara *real time* dengan bantuan software SCADA.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Artono. 1975. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid I dan II*. Jakarta: PT Pradnya Pramita.
- Bhusal, Prabodh. 2004. *Distribution Reliability Analysis*. Bachelor of Engineering, Kathmandu University.
- Didit. 2012. *Analisis Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan Program Analisis Kelistrikan Transien dan Metode Section Technique*. Teknik Elektro. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Novel, Ryan. 2009. *Analisa Perancangan Sistem SCADA pada Sistem Kelistrikan Universitas Indonesia. Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Depok Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor: 19 Tahun 2014*, Jakarta
- Ontoseno. 2012. *Study Keandalan Jaringan Distribusi 20 kV di Wilayah Malang dengan Metode Monte Carlo*. Teknik Elektro. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya
- Prabowo, Herdianto. 2012. *Studi Analisis Keandalan Sistem Distribusi PT. Semen Gresik-Tuban Menggunakan Metode Reliability Index Assesment (RIA) dan Software ETAP (Electrical Transient Analysis Program)*. Teknik Elektro. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Praditama, Fery. *Analisis Keandalan dan Nilai Ekonomis Penyuylang Pujon PT. PLN (Persero) Area Malang*. Teknik Elektro. Univesitas Brawijaya. Malang.
- Saman, Suswanto. 2010. *Konsep Dasar Jaringan Distribusi*.
- Soleh, Muhammad. 2014. *Desain Sistem SCADA untk Peningkatan Pelayanan Pelanggan dn Efisiensi Operasional Sistem Tenaga Listrik di APJ Cirebon*. Teknik Elektro. Universitas Mercu Buana. Jakarta.
- SPLN 59 : 1985. *Keandalan pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV*.
- SPLN S6.001 : 2008. *Perencanaan dan Pembangunan Sistem SCADA*.
- Suhadi, dkk.2008. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta.
- Wiring Manual. 2008. *Automation and Power Distribution*. Moeller.