
**EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI PT. PLN
(PERSERO) WILAYAH NTT AREA KUPANG MENGGUNAKAN
ETAP POWER STATION**

SKRIPSI



Disusun Oleh :
JESSY SAMPE LIMBONG
NIM : 12.12.903



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2015**

LEMBAR PERSETUJUAN

EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI PT. PLN (PERSERO) WILAYAH NTT AREA KUPANG MENGGUNAKAN ETAP POWER STATION

SKRIPSI

*Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan
guna mencapai gelar Sarjana Teknik*

Disusun oleh :

JESSY SAMPE LIMBONG

NIM : 12.12.903

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

M. Ibrahim Ashari, ST, MT

NIP. P. 1030100358

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE

Bambang Prio Hartono ST, MT

NIP.Y.1018500108

NIP. Y. 1028400082

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2015**



SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Jessy Sampe Limbong
NIM : 12.12.903
Program Studi : Teknik Elektro S-I
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya buat adalah hasil karya sendiri, tidak merupakan plagiasi dari karya orang lain. Dalam skripsi ini tidak memuat karya orang lain, kecuali dicantumkan sumbernya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dan apabila di kemudian hari ada pelanggaran atas surat pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksinya.

Malang 16 Februari 2015
Yang **METERAI**  **aan,**
TEMPEL
PT BNR PERSERO MALANG
28A4EABF540014707
6000 **DJP**
Jessy Sampe Limbong
12.12.903

ABSTRAK

EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI PT. PLN (PERSERO) WILAYAH NTT AREA KUPANG MENGGUNAKAN ETAP POWER STATION

Jessy S Limbong, NIM 1212903

Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE dan
Bambang Prio Hartono ST, MT

Salah satu masalah yang terdapat pada sistem distribusi 20 kV adalah menurunnya tingkat keandalan sistem distribusi yang sering terjadi dalam penyaluran tenaga listrik. Upaya yang diperlukan untuk memenuhi pertumbuhan energi listrik tidak hanya memenuhi permintaan daya yang meningkat setiap tahun tetapi juga memperbaiki mutu keandalan pelayanan. Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan dan yang paling banyak mengalami gangguan, sehingga salah satu masalah utama dalam operasi sistem distribusi adalah mengatasi gangguan, sebab terjadinya banyak gangguan akan mempengaruhi indeks keandalan. Pada skripsi ini, dilakukan simulasi menggunakan *software* ETAP. langkah-langkah yang dilakukan antara lain pengumpulan data, pengolahan data, serta mengevaluasi keandalan pada sistem distribusi 20 kV. Hasil yang didapat dari perhitungan menggunakan *running software* ETAP adalah indeks keandalan pada 13 penyulang berupa indeks SAIFI = 1.4801 kali/tahun, SAIDI = 14.7707 jam/tahun, dan CAIDI = 9.972jam/tahun. Sedangkan setelah dilakukan pemasangan *Recloser* di ketiga penyulang didapatkan SAIFI=1.1345 kali/tahun, SAIDI = 11.4012 jam/tahun dan CAIDI = 10.049 jam/tahun. Untuk meningkatkan nilai keandalan yaitu dengan mengurangi frekuensi terjadinya gangguan dapat dilakukan pemeliharaan jaringan secara preventif dan optimalkan pemasangan dan penambahan *Recloser* pada setiap penyulang.

Kata Kunci : Indeks Keandalan, ETAP, Sistem Distribusi 20 kV, *Recloser*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadirat Tuhan YME atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga kami selaku penyusun dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini yang berjudul **“EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI PT. PLN (PERSERO) WILAYAH NTT AREA KUPANG MENGGUNAKAN ETAP POWER STATION”** dapat terselesaikan.

Adapun maksud dan tujuan dari penulisan Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik ITN Malang.

Sebagai pihak penyusun penulis menyadari tanpa adanya kemauan dan usaha serta bantuan dari berbagai pihak, maka laporan ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh sebab itu, penyusun mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Ir. Anang Subardi, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. M. Ibrahim Ashari, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE selaku Dosen Pembimbing I
5. Bambang Prio Hartono ST, MT selaku Dosen Pembimbing II
6. Rekan – rekan Asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Elektrik
7. Sahabat-sahabat dan rekan-rekan yang tidak kami sebutkan satu-persatu, kami mengucapkan banyak terima kasih atas bantuannya dalam proses pembuatan Skripsi yang telah saya kerjakan, begitu juga dengan penyelesaian laporan ini.

Usaha ini telah kami lakukan semaksimal mungkin, namun jika ada kekurangan dan kejanggalan dalam penyusunan, kami mohon saran dan kritik yang sifatnya membangun. Begitu juga sangat kami perlukan untuk menambah kesempurnaan laporan ini dan dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Malang, 16 Februari 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGHANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GRAFIK	x

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4

BAB II SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV

2.1 Sistem Tenaga Listrik	5
2.2 Sistem Operasi Jaringan Distribusi	6
2.2.1 Sistem Distribusi Primer	7
2.2.2 Sistem Distribusi Sekunder	7
2.3 Tujuan Operasi Sistem Jaringan Distribusi	7
2.4 Kondisi Operasi Sistem Tenaga Listrik	8
2.4.1 Persoalan-Persoalan Operasi Sistem Tenaga Listrik	9
2.5 Sistem Pengaman pada Sistem Jaringan Distribusi	10

2.5.1 Peralatan Pemisah atau Penghubung	11
2.5.2 Circuit Breaker (Pemutus Tenaga)	11
2.5.3 Disconnecting Switch (Saklar Pemisah)	12
2.5.4 Automatic Vacuum Switch (AVS)	13
2.5.5 Peralatan Pengaman Arus Lebih	14
2.6 Pembangkit Tenaga Listrik	19
2.6.1 Frekuensi Pembangkit Listrik	19
2.6.2 Peran Pembangkit Dalam Operasi Sistem	20
2.6.3 Penyaluran Tenaga Listrik	21
2.6.4 Saluran Transmisi	21
2.6.5 Studi Aliran Daya	21
2.6.6 Metode Newton Raphson	22
2.6.7 Metode Single Contingency	23
2.7 Defenisi Dan Teori Dasar Keandalan	24
2.7.1 Konsep Dasar Keandalan	25
2.7.2 Laju Kegagalan	26
2.7.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Indeks Keandalan	28
2.8 Definisi Indeks Keandalan Sistem Distribusi 20 kV	28
2.9 Perhitungan indeks Keandalan	30
2.9.1 SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)	31
2.9.2 SAIDI (System Average Interruption Duration Index)	31
2.9.3 CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index)	31
2.10 Gangguan Sistem Distribusi	32
2.10.1 Usaha-usaha Mengurangi Jumlah Gangguan	33
2.10.2 Modifikasi Sistem	34

**BAB III DATA – DATA PT. PLN NUSA TENGGARA TIMUR AREA KUPANG
DAN PERHITUNGAN KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV**

3.1 Data – Data Di PT. PLN Nusa Tenggara Timur Area Kupang	36
3.1.1 Single Line Diagram PT. PLN NTT Area Kupang	36
3.1.2 Data Beban Penyulang NTT Area kupang	37
3.1.2 Data Pembangkit Tenaga Diesel (PLTD) PT. PLN NTT Area Kupang	38
3.1.3 Data Gangguan Jaringan Tegangan Menengah (JTM) PT. PLN NTT Area Kupang	39
3.2 Perancangan Sistem	40
3.3 Pengenalan ETAP (Electrical Transient Analisis Program) <i>Power Station</i>	41
3.4 Perencanaan simulasi menggunakan ETAP <i>Power Station</i>	42
3.5 Tahapan Pengujian	43
3.6 Langkah - Langkah Memasukan Data	44
3.6.1 Mengambar Single Line Di ETAP <i>Power Station</i>	44
3.6.2 Input Data Di ETAP <i>Power Station</i>	44
3.7 Flowchart Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Menggunakan <i>Software</i> ETAP <i>Power Station</i>	49

**BAB IV EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV MENGGUNAKAN
SOFTWARE ETAP DENGAN PEMASANGAN RECLOSER**

4.1 Evaluasi Keandalan	50
4.2 Hasil <i>Running</i> Simulasi Di ETAP <i>Power Station</i>	51
4.2.1 Analisis Keandalan Sistem	51
4.2.2 Hasil Simulasi Semua Penyulang <i>PT. PLN NTT</i> Area Kupang	52
4.3 Penyulang Yang Di Evaluasi	53
4.3.1 Penyulang Walikota	53

4.3.2 Penyulang Penfui	54
4.3.3 Penyulang Tenau Pelabuhan	54
4.4 Perbandingan Perhitungan Hasil Simulasi <i>Software</i> ETAP Dengan dan Tanpa Menggunakan <i>Recloser</i>	55
4.4.1 Indeks Keandalan Secara Keseluruhan PT. PLN NTT Area Kupang	59

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	60

DAFTAR PUSTAKA	61
-----------------------------	----

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.3 Kondisi operasi sistem tenaga listrik	9
Gambar 2.4 Automatic Circuit Recloser	18
Gambar 2.5 Model 2 Bus	23
Gambar 2.6 Kurva Laju Kegagalan Terhadap Waktu	26
Gambar 3.1 Single Line Diagram PT. PLN NTT Area Kupang	36
Gambar 3.2 Tampilan Model Utama Simulasi <i>Software ETAP Power Station</i>	41
Gambar 3.3 Single line Sistem jaringan menggunakan <i>ETAP Power Station 7.0.0</i>	42
Gambar 3.4 Single Line Diagram Pembangkit Tenau Dan Penyulang Kupang	44
Gambar 3.5 Input Data Pembangkit Tenau	44
Gambar 3.6 Input Data Trafo Step Up 6,3/20kV	45
Gambar 3.7 Input Data Trafo 20/0.38 kV	45
Gambar 3.8 Input Data Beban	46
Gambar 3.9 Input Data Keandalan Peralatan Saluran Kabel	46
Gambar 3.10 Input Data Keandalan Peralatan Trafo Distribusi	47
Gambar 3.11 Input Data Keandalan Saluran Udara	47
Gambar 3.12 Inpt Data keandalan Peralatan <i>Recloser</i>	48
Gambar 3.13 Flowchart Perhitungan Keandalan Sistem	49
Gambar 4.1 <i>Running</i> Keandalan Sistem PT. PLN NTT Area Kupang di semua penyulang ..	51
Gambar 4.2 Penyulang Walikota	53
Gambar 4.3 Penyulang Penfui	54
Gambar 4.4 Penyulang Tenau Pelabuhan	55

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Beban Penyulang PLN NTT Area kupang	37
Tabel 3.2 Data Pembangkit Pusat Listrik Kupang.....	38
Tabel 3.2 Data Gangguan Jaringan Tegangan Menengah	39
Tabel 3.4 Data Keandalan Peralatan	43
Tabel 4.1 <i>Running simulation</i> Pada Semua Penyulang	52
Tabel 4.2 Perbandingan Indeks Keandalan SAIFI Dengan dan Tanpa Menggunakan Recloser	55
Tabel 4.3 Perbandingan Indeks Keandalan SAIDI Dengan dan Tanpa Menggunakan Recloser	56
Tabel 4.4 Perbandingan Indeks Keandalan CAIDI Dengan dan Tanpa Menggunakan <i>Recloser</i>	58
Tabel 4.5 Perbandingan Indeks Keandalan Sistem PLN NTT Area Kupang	59

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Grafik Perbandingan SAIFI Tanpa dan Sesudah Pemasangan <i>Recloser</i>	56
Grafik 4.2 Grafik Perbandingan SAIDI Tanpa dan Sesudah Pemasangan <i>Recloser</i>	57
Grafik 4.3 Grafik Perbandingan CAIDI Tanpa dan Sesudah Pemasangan <i>Recloser</i>	58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan energi listrik selama ini selalu meningkat dari tahun ke tahun sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Perkembangan permintaan Energi listrik tersebut perlu diimbangi dengan peningkatan pembangkit energi listrik dan kemampuan infrastruktur yang ada, sehingga penyaluran energi listrik ke konsumen berjalan lancar dengan kualitas penyaluran energi listrik yang memenuhi standar yang ditetapkan [1]. Sistem distribusi yang dikelola oleh PT. PLN (Persero) Wilayah NTT Area Kupang memiliki andil yang sangat besar dalam memberikan jaminan kualitas penyaluran energi listrik yang memenuhi standar baik secara teknis maupun non teknis kepada konsumen atau pelanggan. Kualitas penyaluran secara teknis ditunjukkan dengan parameter - parameter besaran tegangan, frekuensi, faktor daya dan indeks keandalan yang memenuhi standar yang berlaku secara nasional maupun internasional. Disamping terpenuhinya kualitas teknis diatas yang ditujukan konsumen, sistem juga harus memenuhi syarat lain terkait dengan operasi sistem yang ekonomis yang berkaitan dengan kepentingan perusahaan penyalur energi. Operasi yang ekonomis pada sistem distribusi diantaranya ditunjukkan oleh susut energi yang rendah [2].

Untuk mengetahui keandalan suatu penyulang maka ditetapkan suatu indeks keandalan yaitu besaran untuk membandingkan penampilan suatu sistem distribusi. Indeks keandalan pada dasarnya adalah suatu angka atau parameter yang menunjukkan tingkat pelayanan atau tingkat keandalan dari suplai tenaga listrik sampai ke konsumen. Indeks - indeks keandalan yang sering dipakai dalam suatu sistem distribusi adalah SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), SAIDI (*System Average Interruption Frequency Index*), CAIDI (*Customer Average Interruption Frequency Index*) [3].

Ada beberapa faktor yang harus diketahui dan dihitung sebelum melakukan perhitungan analisis keandalan antara lain : frekuensi kegagalan, lama/durasi kegagalan. Pada skripsi ini, penulis melakukan penelitian yang kemudian perhitungannya disimulasikan menggunakan *software* Etap untuk mengetahui nilai indeks *load point* maupun indeks keandalan sehingga dapat diketahui apakah jaringan tersebut telah memenuhi standar yang berlaku atau belum.

Untuk memperbaiki keandalan suatu sistem tenaga listrik dengan mengurangi frekuensi dan durasi gangguan. Pada frekuensi gangguan, PLN telah melakukan pemeliharaan jaringan secara preventif sehingga jumlah gangguan dapat dikurangi. Sedangkan untuk durasi gangguan, telah disadari pentingnya otomasi sistem distribusi. Salah satunya dengan memasang *Automatic Circuit Recloser*/Penutup Balik Otomatis. *Automatic Circuit Recloser* mempunyai kemampuan sebagai pemutus beban yang dapat bekerja secara otomatis untuk mengamankan sistem dari arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan hubung singkat [7].

Recloser atau Penutup balik otomatis (PBO) digunakan sebagai pelengkap untuk pengamanan terhadap gangguan temporer atau permanen dan membatasi luas daerah yang padam akibat gangguan. Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan pelayanan pada konsumen dengan cara melokalisir gangguan dan mempercepat pencarian gangguan, terutama daerah pelanggan VIP, industri dan bisnis.

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

- Bagaimana menganalisis sistem keandalan distribusi 20 kV di wilayah PLN Area Kupang dengan menggunakan *software* ETAP ?
- Bagaimana mengevaluasi untuk meningkatkan keandalan sistem pada sistem distribusi.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penyusunan skripsi ini adalah :

- Menganalisis sistem keandalan 20 kV dengan *running software* ETAP.
- Mengevaluasi keandalan sistem distribusi 20 kV di PLN Area kupang berdasarkan indeks keandalan SAIDI, SAIFI dan CAIDI.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penulisan skripsi ini permasalahan yang dibatasi sebagai berikut :

- Area yang diproyeksi dalam skripsi ini adalah di PLN Area Kupang.
- Metode yang digunakan dalam *running* keandalan sistem menggunakan metode *Single Contingency level* dan untuk studi aliran daya menggunakan metode *Newton-Rapshon* pada *software* ETAP sebagai pemecahan masalah keandalan sistem.
- Indeks keandalan yang diggunakan yaitu SAIDI, SAIFI dan CAIDI.
- *Software* yang digunakan untuk keandalan sistem distribusi adalah *software* ETAP *Power station*.

1.5 Metodologi penelitian

1. Studi *literature*

Mencari refrensi – refrensi dan teori yang mendukung dalam melakukan simulasi

2. Pengambilan Data

Sebelum melakukan simulasi, dilakukan pengambilan data pada PT.PLN Area Kupang serta penalaran metode apa yang digunakan. Bentuk data yang digunakan adalah :

- Data kuantitatif yaitu data yang dapat dihitung atau data yang berbentuk angka – angka di antaranya berupa data *loadflow*. (*software* ETAP *Power Station*)
- Data kualitatif, yaitu data yang berbentuk diagram. Dalam hal ini single line diagram sistem PLN Area Kupang 20 kV.

3. Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data yang telah diperoleh apabila data yang diperoleh belum sesuai dengan data yang digunakan untuk simulasi.

4. Simulasi

Melakukan simulasi sesuai dengan metode yang digunakan dengan menggunakan *software* ETAP *Power Station*.

5. Analisa dan penarikan kesimpulan

Melakukan analisis dari hasil simulasi dan menarik kesimpulan secara keseluruhan dari apa yang dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan skripsi ini dilakukan dengan menggunakan metode studi literature yang dilakukan dengan pengolahan data dan tahapan simulasi. Sistematika penyusunan skripsi terbagi dalam 5 bab dengan pembahasan yang bersifat individu sehingga diharapkan untuk mudah dipahami. sistematika penulisan tersebut antara lain :

BAB I : PENDAHULUAN

Dalam Bab ini berisikan Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan, Batasan Masalah, Metodologi Penelitian, dan Sistematika Penulisan yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir ini.

BAB II : LANDASAN TEORI

Pada Bab ini dibahas tentang Pengertian keandalan sistem distribusi dan teori-teori yang mendukung dalam simulasi Keandalan Sistem Distribusi di PLN Area Kupang.

BAB III : DATA PENYULANG DISTRIBUSI PT. PLN AREA KUPANG DAN METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan Single Line Diagram, Jumlah Pelanggan Tiap Load Point, Data Panjang Saluran Penyulang, Indeks Kegagalan Peralatan Sistem Distribusi.

BAB IV : SIMULASI HASIL DAN EVALUASI

Bab ini dibahas perhitungan Indeks Keandalan sistem distribusi PLN Area Kupang menggunakan *ETAP Power Station*.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan – kesimpulan yang diperoleh dari simulasi serta saran – saran guna menyempurnakan dan mengembangkan sistem lebih lanjut.

BAB II

SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV

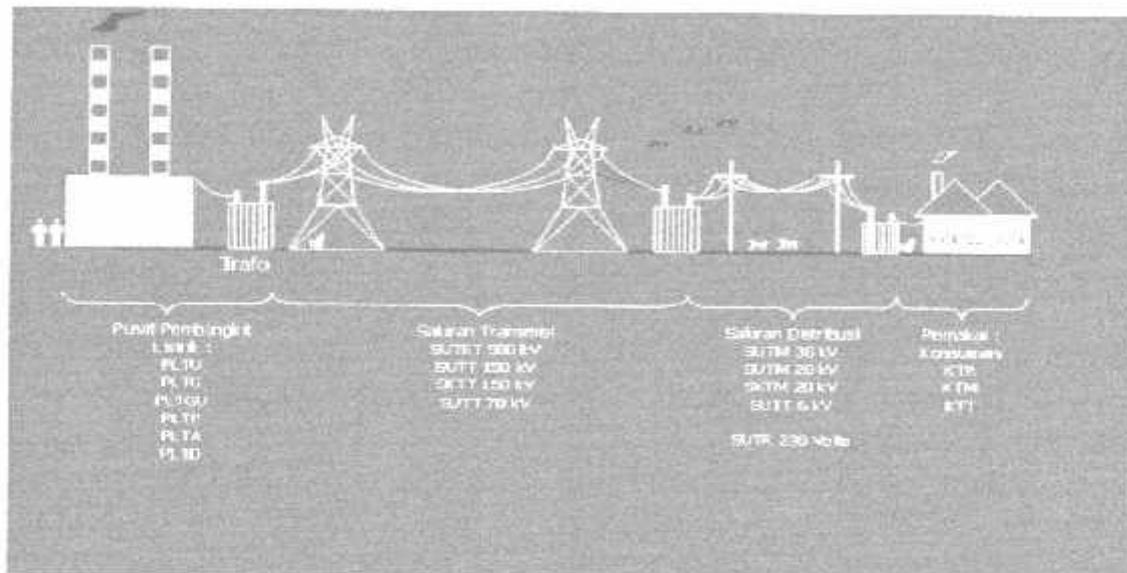
2.1 Sistem Tenaga Listrik

Pada umumnya suatu sistem tenaga listrik yang lengkap mengandung empat unsur Pertama, adanya suatu unsur pembangkit tenaga listrik. Tegangan yang dihasilkan oleh pusat tenaga listrik itu biasanya merupakan tegangan menengah (TM). Kedua, suatu sistem transmisi, lengkap dengan gardu induk. Karena jaraknya yang biasanya jauh, maka diperlukan penggunaan tegangan tinggi (TT), atau tegangan extra tinggi (TET). Ketiga, adanya saluran distribusi, yang biasanya terdiri atas saluran distribusi primer dengan tegangan menengah (TM) dan saluran distribusi sekunder dengan tegangan rendah (TR). Keempat, adanya unsur pemakaian atas utilisasi, yang terdiri atas instalasi pemakaian tenaga listrik. Instalasi rumah tangga biasanya memakai tegangan rendah, sedangkan pemakai besar seperti industri mempergunakan tegangan menengah atau tegangan tinggi. Gambar 2.1 memperlihatkan skema suatu sistem tenaga listrik [1].

Energi listrik dibangkitkan pada pembangkit tenaga listrik (PTL) yang dapat merupakan suatu usat listrik tenaga uap (PLTU), pusat listrik tenaga air (PLTA), pusat listrik tenaga gas (PLTG), pusat listrik tenaga diesel (PLTD), ataupun pusat listrik tenaga nuklir (PLTN). PTL biasanya membangkitkan energi listrik pada tegangan menengah (TM), yaitu pada umumnya antara 6 dan 20 KV.

Pada sistem tenaga listrik yang besar, atau bilamana PTL terletak jauh dari pemakai, maka tenaga listrik itu perlu diangkut melalui saluran transmisi, dan tegangannya harus dinaikkan dari TM menjadi tegangan tinggi (TT). Pada jarak yang sangat jauh malah diperlukan tegangan ekstra tinggi (TET). Menaikkan tegangan itu dilakukan di gardu induk (GI) dengan mempergunakan transformator penaik (*step-up transformer*). Mendekati pusat pemakaian tenaga listrik, yang dapat merupakan suatu industri atau kota, tegangan tinggi diturunkan menjadi tegangan menengah (TM). Hal ini juga dilakukan pada suatu GI dengan mempergunakan transformator penurun (*step down transformer*). Di Indonesia tegangan menengah adalah 20 KV. Saluran 20 KV ini menelusuri jalan-jalan di seluruh kota, dan merupakan sistem distribusi primer.

Di tepi-tepi jalan, biasanya berdekatan dengan persimpangan terdapat gardu-gardu distribusi (GD). Yang mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah melalui transformator distribusi. Melalui tiang-tiang listrik yang terlihat di tepi jalan, tenaga listrik tegangan rendah disalurkan kepada konsumen. Di Indonesia, tegangan rendah adalah 220/380 volt, dan merupakan sistem distribusi sekunder [1].



Gambar 2.1
Sistem Tenaga Listrik

2.2 Sistem Operasi Jaringan Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik secara keseluruhan, Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen.

Pada umumnya sistem distribusi tenaga listrik di Indonesia terdiri atas beberapa bagian, sebagai berikut :

- Saluran Tegangan Menengah (TM) / Distribusi Primer
- Gardu Distribusi (GD)
- Saluran Tegangan Rendah (TR)

Sistem jaringan distribusi terdiri dari dua buah bagian yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Jaringan distribusi primer umumnya bertegangan tinggi (20 KV atau 6 KV). Tegangan tersebut kemudian diturunkan oleh transformator

distribusi pada gardu distribusi menjadi tegangan rendah (220 atau 380 volt) untuk selanjutnya disalurkan ke konsumen melalui saluran distribusi primer. [1]

2.2.1 Sistem Distribusi Primer

Sistem distribusi primer merupakan bagian dari sistem distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari pusat suplai daya besar (*Bulk Power Source*) atau disebut gardu induk ke pusat-pusat beban. Sistem distribusi primer atau sistem distribusi tegangan menengah tersusun oleh penyulang utama (*main feeder*) dan penyulang percabangan (*lateral*). Jaringan distribusi di Indonesia adalah jaringan distribusi bertegangan 20 KV.

2.2.2 Sistem Distribusi Sekunder

Sistem distribusi sekunder merupakan bagian dari sistem distribusi, yang bertugas mendistribusikan tenaga listrik secara langsung dari trafo distribusi ke pelanggan. Jaringan distribusi sekunder di Indonesia adalah jaringan distribusi bertegangan 220/380 Volt. Untuk selanjutnya pada pembahasan skripsi ini, sistem distribusi yang dimaksud adalah sistem distribusi primer atau sistem distribusi tegangan menengah 20 KV.

2.3 Tujuan Operasi Sistem Jaringan Distribusi

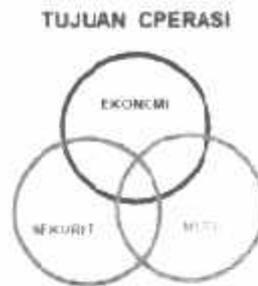
Dalam mencapai tujuan dari operasi sistem tenaga listrik maka perlu diperhatikan tiga hal berikut ini, yaitu :

- a. Ekonomi (*economy*)
- b. Keandalan (*security*)
- c. Kualitas (*quality*)

Ekonomi (*economy*) berarti listrik harus dioperasikan secara ekonomis, tetapi dengan tetap memperhatikan keandalan dan kualitasnya.

Keandalan (*security*) merupakan tingkat keamanan sistem terhadap kemungkinan terjadinya gangguan. Sedapat mungkin gangguan di pembangkit maupun transmisi dapat diatasi tanpa mengakibatkan pemadaman di sisi konsumen.

Kualitas (*quality*) tenaga listrik yang diukur dengan kualitas tegangan dan frekuensi yang dijaga sedemikian rupa sehingga tetap pada kisaran yang ditetapkan. Sebagai gambaran dari tujuan operasi sistem tenaga listrik dapat dilihat seperti pada gambar 2.2. dibawah ini.



Gambar 2.2
Tujuan operasi sistem tenaga listrik

Didalam pelaksanaan pengendalian operasi sistem tenaga listrik, urutan prioritas dari sasaran diatas bisa berubah-ubah tergantung pada kondisi real time. Pada saat terjadi gangguan, maka keamanan adalah prioritas utama sedangkan mutu dan ekonomi bukanlah hal yang utama. Demikian juga pada saat keamanan dan mutu sudah bagus, maka selanjutnya ekonomi harus diprioritaskan.

Efisiensi produksi tenaga listrik diukur dari tingkat biaya yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Hal yang paling mudah dalam optimasi biaya produksi tenaga listrik adalah dengan sistem Merit Order. Merit order ini adalah suatu metode dimana pembangkit dengan biaya yang paling murah akan diprioritaskan untuk beroperasi dibandingkan dengan yang lebih mahal, sampai beban tenaga listrik tercukupi.

2.4 Kondisi Operasi Sistem Tenaga Listrik

Kondisi-kondisi yang mungkin terjadi dalam menjalankan sistem tenaga listrik adalah sebagai berikut :

- a. Normal
- b. Siaga
- c. Darurat
- d. Pemulihan

Normal adalah seluruh konsumen dapat dilayani, kendala operasi teratasi dan sekuriti sistem dapat dipenuhi.

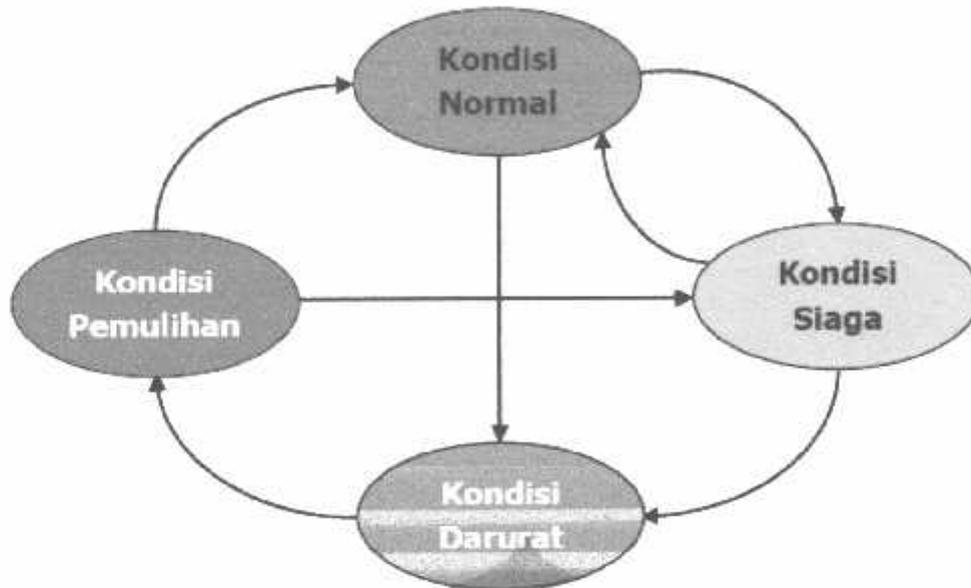
Siaga adalah seluruh konsumen dapat dilayani, kendala operasi dapat dipenuhi,

tetapi sekuriti sistem tidak dapat dipenuhi.

Darurat adalah konsumen tidak dapat dilayani, kendala operasi tidak dapat dipenuhi.

Pemulihan adalah peralihan kondisi darurat tenaga listrik yang diukur dengan kualitas tegangan dan frekuensi yang dijaga sedemikian rupa sehingga tetap pada kisaran yang ditetapkan.

Sebagai gambaran hubungan beberapa kondisi operasi sistem tenaga listrik dapat dilihat seperti pada gambar 2.3. dibawah ini.



Gambar 2.3
Kondisi operasi sistem tenaga listrik

2.4.1 Persoalan-Persoalan Operasi Sistem Tenaga Listrik

Dalam mengoperasikan sistem tenaga listrik ditemui berbagai persoalan Hal ini antara lain disebabkan karena pemakaian tenaga listrik selalu berubah dari waktu ke waktu, biaya bahan bakar serta kondisi alam dan lingkungan.

Berbagai persoalan pokok yang dihadapi dalam pengoperasian sistem tenaga listrik adalah :

a. Pengaturan Frekuensi

Sistem Tenaga Listrik harus dapat memenuhi kebutuhan akan tenaga listrik dari para konsumen dari waktu ke waktu. Untuk ini daya yang dibangkitkan dalam

sistem tenaga listrik harus selalu sama dengan beban sistem, hal ini diamati melalui frekuensi sistem. Kalau daya yang dibangkitkan dalam sistem lebih kecil dari pada beban sistem maka frekuensi turun dan sebaliknya apabila daya yang dibangkitkan lebih besar dari pada beban maka frekuensi naik.

b. Pemeliharaan Peralatan

Peralatan yang beroperasi dalam sistem tenaga listrik perlu dipelihara secara periodik, dan juga perlu segera diperbaiki apabila mengalami kerusakan.

c. Biaya Operasi

Biaya operasi khususnya biaya bahan bakar adalah biaya yang terbesar dari suatu perusahaan listrik, sehingga perlu dipakai teknik-teknik optimasi untuk menekan biaya ini

d. Perkembangan Sistem

Beban selalu berubah sepanjang waktu dan juga selalu berkembang seiring dengan perkembangan kegiatan masyarakat yang tidak dapat dirumuskan secara eksak, sehingga perlu diamati secara terus menerus agar dapat diketahui langkah pengembangan sistem yang harus dilakukan agar sistem selalu dapat mengikuti perkembangan beban sehingga tidak akan terjadi pemadaman tenaga listrik dalam sistem.

e. Gangguan dalam Sistem

Gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah sesuatu yang tidak dapat sepenuhnya dihindarkan. Penyebab gangguan yang paling besar adalah petir, hal ini sesuai dengan *isoceraunic level* yang tinggi di tanah air kita.

f. Tegangan dalam Sistem

Tegangan merupakan salah satu unsur kualitas penyediaan tenaga listrik dalam sistem, oleh karenanya perlu diperhatikan dalam pengoperasian sistem.

2.5 Sistem Pengaman pada Sistem Jaringan Distribusi

Agar suatu sistem distribusi dapat berfungsi dengan secara baik, gangguan-gangguan yang terjadi pada tiap bagian harus dapat dideteksi dan dipisahkan dari sistem lainnya dalam waktu yang secepatnya, bahkan kalau dapat, mungkin pada awal terjadinya gangguan. Keberhasilan berfungsinya proteksi memerlukan adanya suatu koordinasi antara berbagai alat proteksi yang dipakai. Adapun fungsi sistem pengaman adalah :

- Melokalisir gangguan untuk membebaskan peralatan dari gangguan.

- Membebaskan bagian yang tidak bekerja normal, untuk mencegah kerusakan.
- Memberi petunjuk atau indikasi atas lokasi serta macam dari kegagalan
- Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen.
- Untuk mengamankan keselamatan manusia terutama terhadap bahaya yang ditimbulkan listrik.

Dalam usaha menjaga kontinuitas pelayanan tenaga listrik dan menjaga agar peralatan pada jaringan primer 20 kV tidak mengalami kerusakan total akibat gangguan, maka mutlak diperlukan peralatan pengaman. Adapun peralatan pengaman yang digunakan pada jaringan tegangan menengah 20 kV terbagi menjadi :

- Peralatan pemisah atau penghubung
- Peralatan pengaman arus lebih
- Peralatan pengaman tegangan lebih.

2.5.1 Peralatan Pemisah atau Penghubung

Fungsi dari pemutus beban atau pemutus daya (PMT) adalah untuk mempermudah dalam membuka dan menutup suatu saluran yang menghubungkan sumber dengan beban baik dalam keadaan normal maupun dalam keadaan gangguan.

Jenis pemutus yang digunakan pada gardu adalah :

- Circuit Breaker (Pemutus Tenaga)
- Disconnecting Switch (DS)

Sedangkan pemutus pada jaringan adalah :

- Load Break Switch (LBS)
- Vacuum Switch (AVS)

2.5.1.1 Circuit Breaker (Pemutus Tenaga)

Gardu Induk merupakan pemusatan tenaga listrik yang dihasilkan oleh pusat-pusat pembangkit. Di tempat ini dilaksanakan hubungan interkoneksi antara pembangkit-pembangkit tersebut, melalui sistem transmisi disalurkan dan kemudian didistribusikan kepada konsumen. Saluran transmisi dihubungkan dengan ril (*bus*) melalui transformator utama, dimana setiap saluran tersebut dilengkapi dengan *Circuit Breaker* (CB) dan *Disconnecting Switch* (DS). *Circuit Breaker*, dapat dioperasikan secara otomatis maupun

secara manual dengan waktu pemutusan/penyambungan yang tetap sama, sebab faktor ini ditentukan oleh struktur mekanismenya yang menggunakan pegas-pegas. Karena itu CB dapat dioperasikan untuk memutus maupun menghubungkan rangkaian dalam keadaan dilalui arus beban atau tidak, yang dilengkapi dengan alat pemadam busur api. Busur api yang terjadi pada waktu pemisahan kontak akan dapat dipadamkan oleh suatu media isolasi yang dipakai oleh *Circuit Breaker* tersebut.

Dalam keadaan tidak normal (gangguan) *Circuit Breaker* adalah merupakan saklar otomatis yang dapat memisahkan arus gangguan, dimana untuk mengerjakan atau mengoperasikan *Circuit Breaker* dalam keadaan tidak normal ini umumnya digunakan suatu rangkaian trip yang mendapat signal dari suatu rangkaian relay pengaman. Fungsi rangkaian relay adalah mengamankan sistem terhadap gangguan yang berbedabeda macamnya dan untuk ini diperlukan koordinasi tersendiri. Tidak hanya tergantung pada keadaan arus nominal saja, tetapi juga tergantung pada keadaan arus maximum yang mungkin terjadi pada saat gangguan disebut juga momentary current. Dan juga arus yang masih ditahan oleh *Circuit Breaker* sesudah kontak *Circuit Breaker* membuka beberapa cycle yaitu *interrupting current*, serta sistem tegangan dimana *Circuit Breaker* ditempatkan

2.5.1.2 Disconnecting Switch (Saklar Pemisah)

Disconnecting Switch, merupakan alat pemutus rangkaian yang dioperasikan secara manual, karena waktu pemutusan terjadi sangat subyektif, tergantung pada subyek operatornya. Hal ini merupakan alasan utama, mengapa Disconnecting Switch tidak boleh dioperasikan pada saat rangkaian dalam keadaan dilalui arus beban. Tugas utama alat ini umumnya digunakan untuk memutus rangkaian dalam rangka perbaikan atau pemeliharaan. Terdiri dari buah terminal terisolir dari tanah dan terpisah diantaranya oleh jarak isolasi (*isolating distance*). Saklar pemisah merupakan suatu peralatan yang merupakan pasangan circuit breaker. Fungsi saklar pemisah yaitu memisahkan suatu bagian beban dari sumbernya pada keadaan tidak berarus, sehingga dapat dilihat atau dipisahkan dengan pasti bagian yang hidup dengan bagian yang tidak. Hubungan rangkaian pemutus daya dan saklar pemisah adalah menempatkan pemutus daya diantara dua buah saklar pemisah.

Pada umumnya hubungan pemutus daya dan saklar pemisah dilaksanakan dengan sistem interlock. Yang dimaksud dengan interlock adalah agar tidak salah pengoperasian dari dua buah peralatan. Dengan demikian saklar pemisah tidak digunakan untuk memutuskan arus beban dan bekerjanya dengan urutan tertentu yaitu pembukaan saklar pemisah selalu didahului oleh pembukaan pemutus daya dan menutupnya pemutus daya sesudah saklar pemisah ditutup. Beberapa fungsi saklar pemisah dalam gardu induk adalah : Untuk mengisolir pemutus daya pada saat dilakukan pemeliharaan pemutus daya. Sebagai komponen simpangan (*bypassing*) dari pemutus daya guna menjamin kontinuitas penyaluran daya pada saat dilakukan pemeliharaan pemutus daya. Untuk memutuskan dan menghubungkan rel daya dan transformator daya dalam keadaan tanpa beban.

Sukar atau mudahnya pemeliharaan ditentukan oleh metode penempatannya. Sebaiknya saklar pemisah diletakkan pada tempat yang aman dan mudah dicapai guna pemeliharaan. Untuk mengamankan operator sewaktu dilakukan pemeliharaan peralatan, maka saklar pemisah dilengkapi dengan saklar pentanahan (*earthing switch*). Saklar pentanahan dipasang antara bagian yang bertegangan dari saklar pemisah dengan konduktor yang ditanahkan. Saklar pentanahan dapat ditutup hanya jika saklar pemisah telah dibuka. Untuk menjamin hal tersebut maka saklar pemisah dengan saklar pentanahan dipasang saling mengunci (*interlock*).

Meskipun Disconnecting Switch tidak dimaksudkan untuk memutuskan arus beban nominal maupun arus hubung singkat akan tetapi memenuhi persyaratan tertentu.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi :

- Mempunyai kapasitas arus nominal 15% diatas arus beban penuh.
- Harus sanggup menahan tegangan nominal hingga tegangan 10% diatas gangguan nominal.
- Dalam keadaan tertutup harus mampu menahan *momentary current* pada waktu terjadi hubung singkat.
- Dapat menahan timbulnya beban termis dan gaya elektrodinamis yang timbul pada saat terjadinya gangguan hubung singkat.

2.5.1.3 Automatic Vacuum Switch (AVS)

Suatu peralatan pemutus yang bekerja secara otomatis untuk membebaskan seksi-seksi yang terganggu dari suatu sistem distribusi jaringan distribusi tenaga listrik atau

dengan kata lain membebaskan atau melokalisir daerah yang terganggu tetap mendapatkan supply tenaga listrik. Pemasangan AVS pada jaringan distribusi tenaga listrik 20 KV dilengkapi dengan pemasangan recloser (pemutus balik otomatis) dan *fault section indicator* penyulang. Hal ini dimaksudkan untuk mengoptimalkan kerja dari AVS. Kontruksi AVS terdiri dari beberapa bagian antara lain :

1. Vacuum Switch (VS)

Merupakan saklar yang menggunakan media hampa udara untuk memadamkan busur api yang timbul diantara kontak-kontaknya pada saat menyambung dan memutuskan beban, dan sebagai bahan penyekat (isolasi) pada saat VS membuka (off).

2. Kotak Pengatur AVS Tree type

Kotak pengatur ini memperoleh supply daya listrik dari satu atau dua buah power control transformator 20/0.13 KV-3.9 KV. Kotak pengatur ini terdiri dari : *Power Supply Switch (SW)*, digunakan untuk menghubungkan kotak pengatur dengan power control transformator.

2.5.2 Peralatan Pengaman Arus Lebih

Fungsi dari peralatan pengaman arus lebih adalah untuk mengatasi gangguan arus lebih pada sistem distribusi sebelum gangguan tersebut meluas keseluruh sistem yang ada. Peralatan yang banyak digunakan pada jaringan distribusi di Kupang adalah :

Fuse Cut Out

Rele Arus Lebih

Recloser (Pemutus Balik Otomatis)

a. Fuse Cut Out

Fuse merupakan kombinasi alat pelindung dan pemutus rangkaian, yang mempunyai prinsip melebur (*expulsion*) atau mengamankan gangguan permanen antara fasa ke tanah, apalagi dilewati arus yang besarnya melebihi rating arusnya. Apabila terjadi gangguan maka elemen pelebur yang terletak pada tabung fiber akan meleleh dan terjadi busur api yang akan mengenai tabung fiber sehingga menghasilkan gas yang dapat segera mematikan busur api. Karakteristik waktu/arus dari sebuah fuse adalah sekitar I^2t .

karakteristik arus waktu dari berbagai sambungan fuse yang berbeda, elemen-elemennya berbeda dan membutuhkan perhatian yang hati-hati untuk memakainya pada sebuah sistem.

Untuk semua jenis fuse, batas arus fusernya biasanya lebih tinggi daripada arus normalnya. Factor penting yang mempengaruhi batas arus yang sesuai dari fuse adalah arus beban lebih yang mungkin pada rangkaian termasuk harmonisa yang ada, naiknya arus lebih bersamaan arus ke transformator, starting motor, kapasitor. Fuse-fuse yang melewati arus melampaui batas arus untuk waktu lebih lama daripada waktu melewati arus pemutus minimum dapat mengalami kerusakan yang dapat mempengaruhi karakteristiknya, terutama kemampuan memutus.

b. Rele Arus Lebih (Over Current Relay)

Relai merupakan peralatan pengaman yang dipasang pada peralatan yang berfungsi untuk melindungi peralatan listrik dari gangguan yang mungkin terjadi. Tujuan dipasang relai pengaman adalah :

- Menghindari atau mengurangi kerusakan yang terjadi akibat gangguan pada alat yang dilalui arus gangguan.
- Menyelamatkan sistem atau bagian sistem lainnya yang tidak terganggu supaya tetap dapat bekerja terus, dengan cara melepaskan bagian sistem yang terganggu sedemikian rupa sehingga penyimpangan atau kesalahan akibat gangguan tersebut tidak memberikan akibat negative yang lebih luas terhadap keseluruhan sistem yang ada.

Peralatan proteksi harus dirancang sedemikian rupa sehingga gangguan dapat dengan segera diputuskan atau dihilangkan. Suatu gangguan yang serius dapat menyebabkan pemutusan yang cepat dan dapat kerusakan pada peralatan. Gangguan yang terjadi secara tidak langsung harus diketahui oleh operator sehingga peralatan dapat dioperasikan di luar daerah kritis. Kejadian-kejadian yang sangat berbahaya bagi operasi generator ataupun transformator adalah hubung singkat, gangguan ke tanah, penguatan kurang, arus lebih dan panas berlebihan. Relay pengaman merupakan bentuk dasar dari peralatan listrik otomatis dan sangat perlu untuk kerja dari sistem distribusi daya yang modern bahkan tergantung padanya. Bila terjadi gangguan baik arus, tegangan, frekuensi dan daya, relay pengaman akan mendeteksi dan memutus bagian

yang mengalami gangguan dari sistem. Selanjutnya akan mengembalikan ke keadaan normal atau membangkitkan sinyal peringatan kepada operator.

Relay jenis ini adalah besar-nya arus yang masuk ke dalam relay, atau relay arus lebih (*over current relays*). Relay ini memberikan reaksi terhadap besarnya arus masukan, dan bekerja untuk memutuskan (trip) bilamana besarnya arus melebihi nilai tertentu yang dapat diatur. Relay arus lebih akan menutup kontak - kontaknya untuk menggerakkan rangkaian yang menyebabkan saklar daya membuka atau menutup bilamana arus mencapai suatu nilai yang telah ditentukan terdahulu. Dengan demikian, maka pada relay arus lebih terdapat kepekaan terhadap besar arus yang mengalir.

Relay arus lebih dikategorikan menjadi 3 yaitu :

1. Relay arus lebih seketika (*instantaneous over current relay*) Relay arus lebih
2. karakteristik tunda waktu (*definite time over current relay*)
3. Relay arus lebih dengan karakteristik tunda waktu terbalik (*inverse time over current relay*)

Relay arus lebih seketika adalah relay yang bekerjanya tanpa penundaan waktu atau jangka waktu relay mulai saat relay arusnya pickup sampai selesai, sangat singkat (sekitar 20 sampai 100 ms). Relay arus lebih dengan karakteristik tunda waktu tertentu, yaitu suatu relay dengan jangka waktu mulai relay arus pickup sampai selesainya kerja relay diperpanjang dengan nilai atau waktu tertentu. Sehingga apabila arus yang mengalir telah melebihi arus setting maka relay akan bekerja sesuai dengan waktu penundaan yang telah ditetapkan. Ada beberapa jenis relay arus lebih dengan tunda waktu, hal ini sangat tergantung pada karakteristik waktu tundanya. Berdasarkan tunda waktu kerjanya, relay lebih dapat dibedakan menjadi 4, yaitu :

1. Waktu tertentu (*definite time*).
2. Waktu minimal tertentu terbalik (*inverse definite minimum time/IDMT*).
3. Sangat berbanding terbalik (*very inverse*).
4. Sangat berbanding terbalik sekali (*extremely inverse*).

Pada jaringan distribusi di Kupang relay arus lebih yang digunakan adalah jenis *inverse* dan *inverse definite minimum time (IDMT)*. Masing-masing disetting dengan operasi cepat atau dengan waktu diperlambat (*delay*).

c. Automatic Circuit Recloser/Penutup Balik Otomatis (PBO) [9]

Automatic Circuit Recloser atau Pemutus Balik Otomatis lebih dikenal dengan *recloser* pada dasarnya adalah *Circuit Breaker*/Pemutus Beban yang dilengkapi dengan Peralatan Kontrol/*Control Device*, secara fisik mempunyai kemampuan sebagai pemutus beban yang dapat bekerja secara otomatis untuk mengamankan sistem dari arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan hubung singkat.

Recloser atau Penutup balik otomatis (PBO) digunakan sebagai pelengkap untuk pengaman terhadap gangguan temporer atau permanen dan membatasi luas daerah yang padam akibat gangguan.

Sebagian besar gangguan (80-95%) pada jaringan distribusi dan transmisi adalah bersifat temporer (sementara), berlangsung dari beberapa *cycle* sampai beberapa detik. Penyebab gangguan kebanyakan disebabkan oleh dahan/ranting pohon yang mengenai saluran udara. Penutup balik adalah alat pengaman arus lebih yang diatur waktu untuk memutus dan menutup kembali secara otomatis, terutama untuk membebaskan dari gangguan yang bersifat temporer (sementara).

Recloser dilengkapi dengan sarana indikasi arus lebih, Pengatur waktu operasi, serta penutupan kembali secara otomatis. Desain dari *recloser* memungkinkan untuk dapat membuka kontak-kontaknya secara tetap dan terkunci/*lockout*, sesuai pemrogramannya setelah melalui beberapa kali operasi buka-tutup.

Pada gangguan yang bersifat sementara, *recloser* akan membuka dan menutup kembali bila gangguan telah hilang. Jika gangguannya bersifat tetap/permanent, maka *recloser* akan membuka kontak-kontaknya secara tetap dan terkunci/*lock out*. Apabila gangguan telah dihilangkan, maka *recloser* dapat ditutup kembali. *Recloser* biasanya dipasang pada sebuah atau lebih cabang (*lateral*) pada jaringan sehingga gangguan yang terjadi tidak mempengaruhi seluruh jaringan.

2.6 Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit listrik memasok tenaga listrik ke sistem tenaga listrik yang terdiri dari generator dan penggerak mula, adapun penggerak mula berupa mesin pemutar poros generator yang merubah suatu bentuk energi menjadi energi mekanik.

Jenis penggerak bermacam-macam, sesuai dengan sumber tenaga yang menghasilkan gerak tersebut antara lain :

1. Mesin diesel
2. Turbin gas
3. Turbin uap
4. Turbin air
5. Kincir Angin, dll.

Tenaga listrik diperoleh dari generator arus bolak-balik dengan frekuensi tertentu. Generator-generator di sistem tenaga listrik di Indonesia menggunakan frekuensi 50 Hertz (Hz), dengan kapasitas yang beragam dari beberapa ratus kiloWatt (kW) sampai ratus MegaWatt (MW).

Pembangkit-pembangkit dalam suatu sistem tenaga listrik dibagi dalam 2 kelompok besar, yaitu kelompok pembangkit listrik termal dan kelompok pembangkit listrik tenaga air atau hidro. Pembangkit listrik termal dapat berupa Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), dan sebagainya.

2.6.1 Frekuensi Pembangkit Listrik

Frekuensi sistem tenaga listrik (selanjutnya disebut frekuensi) merupakan salah satu besaran yang digunakan untuk menyatakan mutu tenaga listrik. Frekuensi berlaku sama di setiap bagian sistem, artinya pada suatu saat yang bersamaan besarnya relatif sama meskipun diukur pada tempat berbeda di dalam sistem.

Frekuensi adalah jumlah gelombang sinusoida dari tegangan atau arus listrik dalam rentang waktu satu detik. Satuan yang digunakan menyatakan ukuran frekuensi adalah Hertz (Hz). Satu Hertz berarti satu siklus per detik (*cycle/second*) Didalam pembangkitan tenaga listrik, frekuensi menunjukkan jumlah putaran elektrik mesin

pembangkit. Satu putaran elektrik dapat diwakilkan oleh satu gelombang sinusoida. Sistem tenaga yang di kelola PLN menggunakan frekuensi 50 Hz yang setara dengan 50 putaran elektrik per detik atau 3000 putaran per menit.

Frekuensi juga dapat dipakai sebagai ukuran kesetimbangan sesaat antara daya nyata (MW) yang di konsumsi oleh konsumen (selanjutnya disebut beban) dengan daya nyata pasokan dari pembangkit tenaga listrik. Pada keadaan keduanya setimbang, frekuensi 50 Hz, bila frekuensi kurang dari 50 Hz berarti pasokan daya nyata dari pembangkit kurang. Sebaliknya jika pasokan daya nyata dari pembangkit berlebih, menyebabkan frekuensi lebih dari 50 Hz.

Nilai frekuensi sistem tenaga selalu berubah-ubah, karena dari waktu ke waktu daya nyata yang dikonsumsi oleh konsumen (beban) bersifat acak, sedangkan alat pengatur kecepatan (*speed governor*) pada tiap mesin pembangkit masing-masing bekerja sendiri. Hampir tidak ada kemungkinan pasokan daya nyata unit pembangkit terus menerus tepat sama dengan beban sistem.

2.5.3 Peran Pembangkit Dalam Operasi Sistem

Berdasarkan peran untuk memenuhi pasokan bagi sistem tenaga listrik, unit pembangkit biasanya dapat dikategorikan sebagai salah satu dari tiga jenis pembangkit, yaitu :

1. Pembangkit pemikul beban dasar (*base load power plant*)
2. Pembangkit pemikul beban menengah (*mid range power plant*)
3. Pembangkit pemikul beban puncak (*peaking unit*).

Pembangkit pemikul beban dasar (*base load*) adalah pembangkit dengan 5000 jam operasi rata-rata pertahun (*capacity factor > 57%*). Pembangkit dalam kategori ini memiliki daya keluaran besar, biaya kapital tinggi dan biaya operasi rendah. Pembangkit tenaga uap berbahan bakar batubara dan pembangkit tenaga panas bumi biasanya digunakan sebagai pemikul beban dasar.

Pembangkit pemikul beban menengah (*mid range*) adalah pembangkit dengan jam operasi lebih besar dari 2000 jam pertahun dan lebih kecil dari 5000 jam operasi rata-rata pertahun ($23% > \textit{capacity factor} > 57%$). Pembangkit *combined cycle*,

pembangkit berbahan bakar gas dan pembangkit tua yang kurang efisien digunakan sebagai pemikul beban menengah.

Pembangkit pemikul beban puncak (peakers) dioperasikan untuk memenuhi beban pada waktu beban maksimum (beban puncak). Periode beban puncak tidak selalu sama. Pembangkit ini beroperasi kurang dari 2000 jam rata-rata pertahun dan (capacity factor < 23%), sehingga Pembangkit yang dipilih biasanya yang berbiaya kapital rendah dan biaya operasi tinggi. Pembangkit tenaga berbahan bakar minyak, air, pump storage dan mesin diesel digunakan sebagai pemikul beban puncak.

2.6 Penyaluran Tenaga Listrik

Pembangkit listrik kebanyakan dibangun tidak berdekatan dengan pusat beban karena alasan keterbatasan lahan, dampak terhadap lingkungan ataupun karena ketersediaan energi primernya. Kondisi tersebut mengharuskan adanya saluran transmisi untuk menyalurkan energi listrik ke pusat pusat beban. Sistem tenaga listrik yang besar bisa terdiri dari ratusan atau bahkan ribuan *bus*.

2.6.1 Saluran Transmisi

Saluran transmisi memegang peranan yang penting dalam pengiriman daya yang aman dan optimal. Keterbatasan kemampuan pada saluran transmisi akan dapat mengakibatkan :

1. Ketidak sanggupannya mengakses sumber energi terbarukan
2. Ketidak sanggupannya untuk mendapatkan sumber energi yang bervariasi
3. Harga listrik mahal
4. Memerlukan cadangan yang besar
5. Sejumlah pembangkit menjadi unit harus operasi (*must run*).

2.6.2 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan bagian yang sangat penting dalam perencanaan sistem tenaga listrik. Beberapa metode telah dikembangkan dalam studi aliran daya ini yaitu metode *Gauss Seidel*, metode *Newton Raphson* dan metode *Fast Decouple*.

Tujuan utama dari studi aliran daya adalah :

1. Untuk mengetahui daya aktif dan reaktif tiap pembangkit.
2. Untuk mengetahui besar tegangan dan sudut phase pada setiap bus.
3. Untuk mengetahui daya aktif dan daya reaktif yang mengalir pada setiap komponen tenaga listrik (penghantar dan transformator).

2.6.3 Metode Newton Raphson.

Metode *Newton Raphson* digunakan untuk menyelesaikan persamaan aliran daya untuk menyelesaikan fungsi $f(x) - K$.

Didalam metode Newton, x awal disebut dengan x^0 . Kesalahan (error) adalah selisih nilai antara K dengan $f(x^0)$, yang disebut ϵ , sehingga :

$$f(x^0) + \epsilon = K \dots\dots\dots(3)$$

agar nilai kesalahan ϵ mendekati nol digunakan metode ekspansi Taylor.

$$f(x^0) + \frac{df(x^0)}{dx} \Delta x + \epsilon = \dots\dots\dots(3.1)$$

agar ϵ menjadi nol,

$$\Delta x = \left(\frac{df(x^0)}{dx}\right)^{-1} [K - f(x^0)] \dots\dots\dots(3.2)$$

Persamaan aliran daya yang merupakan fungsi tidak linier diselesaikan dengan metode Newton Raphson. Bila dituliskan dalam bentuk polar, maka :

$$I_i = \sum |Y_{ij} Y_j| < (\theta_{ij} + \delta_j) \dots\dots\dots(3.3)$$

daya kompleks pada bus i adalah:

$$P_i - jQ_i = |Y_i| \left| \sum_{j=1}^N |Y_{ij} Y_j| \right| < (\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \dots\dots\dots(3.4)$$

daya aktif pada bus I :

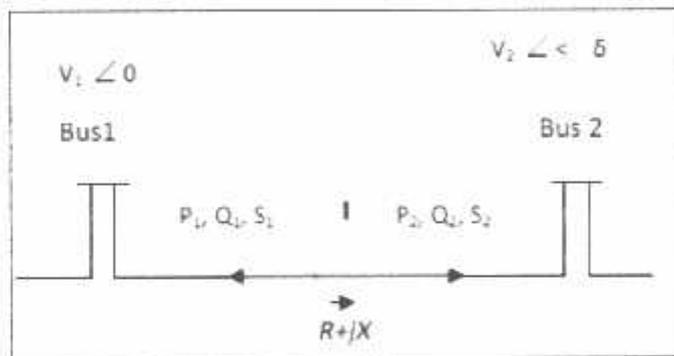
$$P_i = |Y_i| \left| \sum_{j=1}^N |Y_{ij} Y_j| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right| \dots\dots\dots(3.5)$$

daya reaktif pada bus i =

$$Q_i = -|V_i| \left| \sum_{n=1}^N |Y_{ij} V_j| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right| \dots \dots \dots (3.6)$$

2.6.4 Metode Single Contingency

Metode Single Contingency adalah analisa yang dimaksudkan untuk menirukan keadaan steady state dari sistem tenaga listrik terhadap beberapa kemungkinan contingency yang mungkin terjadi seperti lepasnya satu atau dua pembangkit secara mendadak, tripnya satu atau beberapa penghantar, hilangnya reaktor dsb. Indeks keandalan sekuriti (N-1) dipakai untuk menggambarkan tingkat keandalan sistem dengan memperhitungkan kemungkinan gangguan unit



Gambar 2.5 Model 2 Bus

- V1, V2= Tegangan pada bus kirim dan penerima
- P1, Q1= Daya aktif dan reaktif pada bus kirim
- P2, Q2= Daya aktif dan reaktif pada bus terima
- S1, S2 =Daya nyata pada bus kirim dan terima
- δ= Sudut Tegangan pada penerimaan terakhir

Aliran arus dari bus 1 ke bus 2 dapat dihitung sebagai berikut :

$$I = \frac{V_1 \angle 0 - V_2 \angle \delta}{R + jX} \dots \dots \dots (10)$$

Dimana :

R adalah resistansi saluran dan X adalah reaktansi saluran

2.7 Defenisi Dan Teori Dasar Keandalan

Didalam pengoperasian jaringan distribusi selalu diinginkan tercapainya hal-hal sebagai berikut :

1. Cara penanganan gangguan secepat mungkin
2. Keandalan cukup baik dalam arti :
 - a. Kontinuitas cukup baik
 - b. Bila terjadi gangguan, daerah yang mengalami pemadaman sesedikit mungkin
 - c. Tegangan sumber cukup baik
 - d. *Losses* tidak terlalu besar

tetapi untuk mencapai semuanya itu tergantung dari sistem dan tipe peralatan pengaman yang diterapkan. Sistem pengaman bertujuan untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan beserta peralatannya yang disebabkan karena adanya gangguan serta meningkatkan kontinuitas pelayanan pada konsumendan menjaga keselamatan umum.

Keandalan merupakan probabilitas suatu alat (*device*) untuk dapat berfungsi sesuai dengan fungsi yang diinginkan selama jangka waktu yang ditetapkan. Analisa bentuk Kegagalan merupakan suatu analisa bagian dari sistem atau peralatan yang dapat gagal, bentuk kegagalan yang mungkin, efek masing-masing, bentuk kegagalan dari sistem yang kompleks. Keandalan menyatakan kemungkinan bekerjanya suatu peralatan atau sistem sesuai dengan fungsinya untuk suatu selang waktu tertentu dan kondisi tertentu. Dengan demikian keandalan dapat digunakan untuk membandingkan suatu peralatan atau sistem dengan peralatan atau sistem yang lain. Evaluasi keandalan ada dua macam, yaitu penilaian secara qualitative dan secara quantitative.

Sistem merupakan sekumpulan komponen-komponen sistem yang disusun menurut pola tertentu. Keandalan dari suatu sistem distribusi ditentukan oleh keandalan dari kompoen-komponen yang membentuk suatu sistem tersebut dan komponen itu sendiri.

Keandalan merupakan probabilitas suatu alat (*device*) untuk dapat berfungsi sesuai dengan fungsi yang diinginkan selama jangka waktu yang ditetapkan. Definisi keandalan mengandung empat istilah penting yaitu :

- a. Fungsi
- b. Lingkungan (kondisi operasi)
- c. Waktu
- d. Probabilitas

a. Fungsi

Keandalan suatu komponen perlu dilihat apakah suatu komponen dapat melakukan fungsinya secara baik pada jangka waktu tertentu. Kegagalan fungsi dari komponen dapat disebabkan oleh perawatan yang tak terencana (*unplanned maintenance*). Fungsi atau kinerja dari suatu komponen terhadap suatu sistem mempunyai tingkatan yang berbeda-beda.

b. Lingkungan

Keandalan setiap peralatan sangat bergantung pada kondisi operasi lingkungan. Secara umum lingkungan tersebut menyangkut pemakaian, transportasi, penyimpanan, instalasi, pemakai, ketersediaan, alat-alat perawatan, debu, kimia, dan polutan lain.

c. Waktu

Keandalan menurun sesuai dengan penambahan waktu. Waktu operasi meningkat sehingga probabilitas gagal lebih tinggi. Waktu operasi ini diukur tidak hanya dalam unit waktu tetapi bisa dalam jarak operasi.

d. Probabilitas

Keandalan diukur sebagai probabilitas. Sehingga probabilitas yang berubah terhadap waktu dan masuk dalam bidang statistic dan analisa statistic.

2.7.1 Konsep Dasar Keandalan

Dalam membicarakan keandalan, terlebih dahulu harus diketahui kesalahan atau gangguan yang menyebabkan kegagalan peralatan untuk bekerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan. Adapun konsep keandalan meliputi :

a. Kegagalan

Kegagalan adalah berakhirnya kemampuan suatu peralatan untuk melaksanakan suatu fungsi yang diperlukan.

b. Penyebab Kegagalan

Keadaan lingkungan selama disain, pembuatan atau yang akan menuntun kepada kegagalan.

c. Mode Kegagalan

Akibat yang diamati untuk mengetahui kegagalan, misalnya suatu keadaan rangkaian terbuka atau hubung singkat.

d. Mekanisme Kegagalan

Proses fisik, kimia atau proses lain yang menghasilkan kegagalan.

Kata kegagalan adalah istilah dasar yang menunjukkan berakhirnya untuk kerja yang diperlukan. Hal ini berlaku untuk peralatan bagian-bagiannya dalam segala keadaan lingkungan.

Gangguan listrik pada jaringan sistem distribusi dinyatakan sebagai kerusakan dari peralatan yang mengakibatkan sebagian atau seluruh pelayanan listrik terganggu. Besaran yang dapat digunakan untuk menentukan nilai keandalan suatu peralatan listrik adalah besarnya suatu laju kegagalan/kecepatan kegagalan (*failure rate*) yang dinyatakan dengan simbol λ .

2.7.2 Laju Kegagalan [3]

Laju kegagalan adalah nilai rata-rata dari jumlah kesalahan persatuan waktu pada selang waktu pengamatan waktu tertentu (T), dan dinyatakan dalam satuan kegagalan pertahun. Pada suatu pengamatan, nilai laju kegagalan dinyatakan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{d}{t}$$

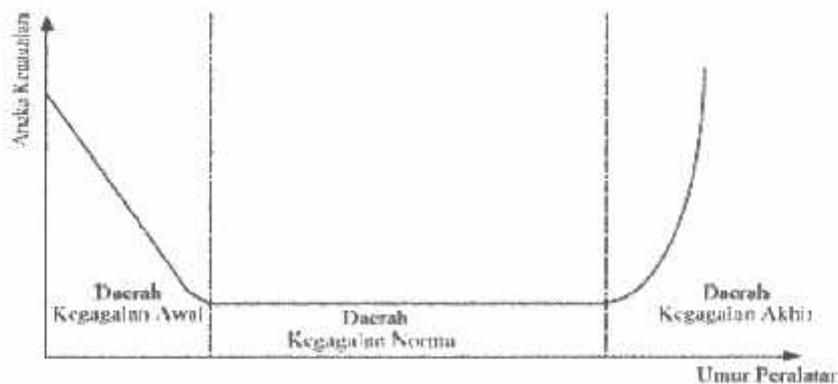
Dimana :

λ = Laju kegagalan (kegagalan/tahun)

d = banyaknya kegagalan yang terjadi pada waktu T

T = selang waktu pengamatan (tahun)

Nilai laju kegagalan akan berubah sesuai dengan umur dari sistem atau peralatan listrik selama beroperasi. Grafik antar laju kegagalan dengan unsur suatu sistem atau peralatan listrik secara ideal dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2.6 Kurva Laju Kegagalan Terhadap Waktu

Dari gambar diatas terdapat tiga macam daerah kegagalan, seperti berikut ini :

a. Daerah kegagalan awal

Periode ini mulai pada waktu yang ditentukan sebelumnya dimana angka kegagalan berkurang secara cepat dibandingkan periode berikutnya. Pada daerah kegagalan awal ini, kegagalan dapat disebabkan oleh karena kesalahan pada perencanaan dan pemasangan peralatan listrik. Nilai laju kegagalan pada daerah ini sangat besar dan akan semakin mengecil dengan bertambahnya waktu.

b. Daerah kegagalan normal

Periode dimana kegagalan terjadi pada angka kecepatan yang hampir sama yang mendekati uniform. Pada daerah kegagalan normal ini, laju kegagalan dapat dianggap konstan. Hal ini disebabkan oleh karena sistem suatu peralatan listrik sudah beroperasi dengan stabil sehingga kemungkinan terjadinya kegagalan pada setiap waktu adalah sama. Pada pembahasan selanjutnya, laju kegagalan yang akan digunakan adalah laju kegagalan normal ini saja. Karena sistem atau peralatan listrik bekerja pada daerah ini.

c. Daerah kegagalan akhir

Periode dimana kegagalan terjadi pada angka kegagalan bertambah secara cepat dibanding dengan periode sebelumnya. Pada daerah kegagalan akhir ini, laju kegagalan semakin besar dengan bertambahnya waktu. Hal ini disebabkan oleh karena dengan semakin tuanya peralatan listrik, maka kegagalan yang terjadi akan semakin banyak.

2.7.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Indeks Keandalan [5]

Pada suatu sistem distribusi tenaga listrik, tingkat keandalan adalah hal yang sangat penting dalam menentukan kinerja sistem tersebut. Hal ini dapat dilihat dari sejauh mana supply tenaga listrik dilaksanakan secara kontinyu dalam satu tahun ke konsumen. Tingkat pertumbuhan beban listrik di Kupang dan sekitarnya adalah yang tertinggi di Nusa Tenggara Timur yang ditandai dengan tumbuhnya daerah kawasan yaitu : industri, bisnis dan pemukiman berakibat makin tingginya permintaan supply tenaga listrik yang kontinyu dan andal.

Beberapa definisi ini diberikan untuk memahami faktor-faktor yang mempengaruhi indeks keandalan dalam suatu sistem distribusi sesuai standart IEEE P1366 antara lain :

- *Pemadaman/Interruption of Supply*. Terhentinya pelayanan pada satu atau lebih konsumen, akibat dari salah satu atau lebih komponen mendapat gangguan.
- *Keluar/Outage*. Keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya, diakibatkan karena beberapa peristiwa yang berhubungan dengan komponen tersebut. Suatu *outage* dapat atau tidak dapat menyebabkan pemadaman, hal ini masih tergantung pada konfigurasi sistem.
- *Lama keluar/Outage Duration*. Periode dari saat permulaan komponen mengalami *outage* sampai saat dapat dioperasikan kembali sesuai dengan fungsinya.
- *Lama Pemadaman/interruption Duration*. Waktu dari saat permulaan terjadinya pemadaman sampai saat menyala kembali.
- *Jumlah total konsumen terlayani/Total Number of Costumer Served*. Jumlah total konsumen yang terlayani sesuai dengan periode laporan terakhir. Periode laporan. Periode laporan diasumsikan sebagai satu tahun.

2.8 Definisi Indeks Keandalan Sistem Distribusi 20 KV

Keandalan merupakan kemungkinan kelangsungan pelayanan beban dengan kualitas pelayanan listrik yang baik untuk suatu priode tertentu dengan kondisi operasi yang sesuai. Dan keandalan merupakan salah satu syarat yang tidak boleh diabaikan dalam sistem tenaga listrik. Keandalan sistem tenaga listrik sangat tergantung pada keandalan peralatan pendukung sistem, proses alamiah dari peralatan serta kesalahan dalam mengoperasikan peralatan tersebut.

Ada beberapa definisi kegagalan yang sering dipakai adalah :

- Bila kehilangan daya sama sekali selama $t > 1 \text{ cycle}$
- Bila kehilangan daya sama sekali selama $t > 10 \text{ cycle}$
- Bila kehilangan daya sama sekali selama $t > 5 \text{ detik}$
- Bila kehilangan daya sama sekali selama $t > 2 \text{ menit}$

Pemilihan kriteria kegagalan tersebut sangat tergantung pada macam beban pada titik perhatian kita, yaitu sesuai dengan waktu maksimum pemadaman yang tidak mengganggu kerja beban.

Indeks keandalan suatu sistem distribusi digunakan untuk mengukur tingkat keandalan dari tiap-tiap titik beban/*load point*. Yang merupakan indeks-indeks keandalan dasar antara lain :

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

2.9 Perhitungan indeks Keandalan

1. Frekuensi Gangguan (Failure Rate) [2]

Dalam masa kerjanya, suatu komponen atau sistem akan mengalami berbagai kerusakan atau kegagalan dalam pengoperasiannya. Kerusakan-kerusakan tersebut akan memberi dampak pada performa kerja dan efisiensinya. Kerusakan atau kegagalan tersebut apabila dilihat secara temporer, maka akan memiliki suatu laju tertentu yang berubah-ubah. Laju kegagalan dari suatu komponen atau sistem merupakan obyek yang dinamik dan mempunyai performa yang berubah terhadap waktu t (detik, menit, jam, hari, minggu, bulan dan tahun). Keandalan komponen atau sistem sangat erat kaitannya dengan laju kegagalan tiap satuan waktu. Sehingga laju kegagalan dapat disimpulkan frekuensi suatu sistem/komponen gagal bekerja, biasanya dilambangkan dengan λ (lambda), laju kegagalan sistem biasanya tergantung dari waktu tertentu selama sistem tersebut bekerja.

Laju kegagalan dapat dirumuskan :

$$\lambda LP = \sum_{i=k} \lambda_i \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana : λ_i = laju kegagalan untuk peralatan K
 K = semua peralatan yang berpengaruh terhadap *load point*

2. Lama/Durasi Gangguan [2]

Laju perbaikan atau *downtime rate* adalah frekuensi lamanya suatu sistem/komponen dalam masa perbaikan (kondisi OFF).

Laju perbaikan dapat dirumuskan :

$$ULP = \sum_{i=k} U_i = \sum_{i=k} \lambda_i \times r_j \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana : r_j adalah waktu perbaikan (repairing time atau switching time)

Indeks keandalan merupakan suatu metode pengevaluasian terhadap parameter keandalan suatu peralatan distribusi tenaga listrik terhadap keandalan mutu pelayanan kepada pelanggan. Beberapa indeks keandalan yang umum digunakan dalam menentukan nilai keandalan suatu sistem distribusi antara lain :

2.9.1 SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

SAIFI (*system average interruption frequency index*) adalah indeks frekuensi gangguan sistem rata-rata tiap tahun. Menginformasikan tentang frekuensi gangguan permanen rata-rata tiap konsumen dalam suatu area yang dievaluasi.

Indeks dirumuskan dengan :

$$SAIFI = \frac{\text{Total number of customer interruptions}}{\text{Total number of customers served}} = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana : λ_i = frekuensi gangguan

N_i = jumlah pelanggan pada titik beban i

2.9.2 SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

SAIDI (*system average interruption durasi index*) adalah indeks durasi gangguan sistem rata-rata tiap tahun. Menginformasikan tentang frekuensi gangguan permanen rata-rata tiap konsumen dalam suatu area yang dievaluasi. Indeks ini dirumuskan dengan :

$$SAIDI = \frac{\text{Sum of customer interruption durations}}{\text{Total number of customer served}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

U_i adalah durasi pemadaman tahunan untuk beban i

2.9.3 CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*)

CAIDI (*Customer average interruption durasi index*) adalah indeks durasi gangguan konsumen rata-rata tiap tahun, menginformasikan tentang waktu rata-rata untuk penormalan kembali gangguan tiap-tiap konsumen dalam satu tahun.

Indeks ini dirumuskan dengan :

$$CAIDI = \frac{\text{Sum of customer interruption durations}}{\text{Total number of customer interruptions}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i \lambda_i} \dots\dots\dots(2.4)$$

Indeks ini juga sama dengan perbandingan antara SAIDI dengan SAIFI,

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

Besarnya nilai CAIDI ini dapat digambarkan sebagai besar durasi pemadaman (r) sistem distribusi keseluruhan ditinjau dari sisi pelanggan.

2.10 Gangguan Sistem Distribusi

Gangguan pada sistem distribusi adalah terganggunya sistem tenaga listrik yang menyebabkan bekerjanya rele pengaman penyulang bekerja untuk membuka circuit breaker digardu induk yang menyebabkan terputusnya suplai tenaga listrik.

Hal ini untuk mengamankan peralatan yang dilalui arus gangguan tersebut untuk dari kerusakan. Sehingga fungsi dari peralatan pengaman adalah untuk mencegah kerusakan peralatan dan tidak meniadakan gangguan. Gangguan pada jaringan distribusi lebih banyak terjadi pada saluran distribusi yang dibentangkan di udara bebas (SUTM) yang umumnya tidak memakai isolasi dibanding dengan saluran distribusi yang ditanam dalam tanah (SKTM) dengan menggunakan isolasi pembungkus. Sumber gangguan pada jaringan distribusi dapat berasal dari dalam sistem maupun dari luar sistem distribusi.

1. Gangguan dari dalam sistem antara lain :
 - a) Tegangan lebih atau arus lebih
 - b) Pemasangan yang kurang tepat
 - c) Usia pemakaian
2. Gangguan dari luar sistem antara lain :
 - a) Dahan/ranting pepohonan yang mengenai SUTM
 - b) Sambaran petir
 - c) Hujan atau cuaca
 - d) Kerusakan pada peralatan
 - e) Binatang ataupun layang-layang
 - f) Penggalian tanah
 - g) Gagalnya isolasi karena kenaikan temperature
 - h) Kerusakan sambungan

Berdasarkan sifatnya gangguan pada sistem distribusi dibagi menjadi :

a) Gangguan Temporer

Gangguan yang bersifat sementara karena dapat hilang dengan sendirinya dengan cara memutuskan bagian yang terganggu sesaat, kemudian menutup balik kembali, baik secara otomatis (*autorecloser*) maupun secara manual oleh operator. Bila gangguan tidak dapat dihilangkan dengan sendirinya atau dengan bekerjanya alat pengaman *recloser* dapat menjadi gangguan tetap dan dapat menyebabkan pemutusan tetap. Bila gangguan sementara terjadi terjadi berulang-ulang dapat menyebabkan gangguan permanen, dapat menyebabkan kerusakan peralatan.

b) Gangguan Permanen

Gangguan bersifat tetap sehingga untuk membebaskannya perlu tindakan perbaikan atau penghilangan penyebab gangguan. Hal ini ditandai dengan jatuhnya (*trip*) kembali pemutus daya setelah operator memasukkan sistem kembali setelah terjadi gangguan. Untuk mengatasi gangguan - gangguan sebuah peralatan harus dilengkapi dengan sistem pengaman relay, dimana sistem pengaman ini diharapkan dapat mendeteksi adanya gangguan sesuai dengan fungsi dan daerah pengamannya.

2.10.1 Usaha-usaha Mengurangi Jumlah Gangguan

Karena gangguan dalam sistem distribusi adalah hal yang tidak diinginkan tetapi tidak dapat dihindarkan, maka perlu dilakukan usahausaha untuk mengurangi jumlah gangguan dengan memperhatikan hasil analisa gangguan. Usaha-usaha untuk mengurangi jumlah gangguan dapat dilakukan dengan :

- a) Merencanakan dan melaksanakan pemeliharaan peralatan sesuai dengan buku instruksi pemeliharaan, sehingga terjadinya *Forced Outage* dapat sebanyak mungkin dihindari.
- b) Memeriksa alat-alat pengaman (relay-relay) secara periodik dan juga secara isidentil segera setelah ada laporan yang menyatakan keraguan atas kerjanya suatu relay. Kerjanya relay yang baik diperlukan untuk mencegah kerusakan peralatan maupun mencegah meluasnya gangguan.
- c) Dalam operasi real time mengikuti perkembangan cuaca khususnya yang menyangkut petir karena penyebab gangguan terbesar adalah petir.

- d) Mengadakan analisa gangguan untuk menemukan sebab gangguan dengan tujuan sedapat mungkin mencegah atau mengurangi kemungkinan terulangnya gangguan yang serupa. Mengembangkan sistem seirama dengan pertumbuhan beban sehingga dapat dicegah terjadinya beban lebih dalam sistem, mengenai perkembangan sistem.
- e) Karena salah satu sumber gangguan yang utama adalah kesalahan pemasangan peralatan, maka perlu ada pendidikan dan pelatihan secara terus-menerus dengan tujuan agar kesalahan pemasangan peralatan dapat dihindarkan.
- f) Pada SUTM, tanaman merupakan sumber gangguan yang utama karena SUTM tidak mempunyai jalur khusus yang bebas tanaman seperti halnya pada SUTT 150 KV, 70 KV. Sehingga untuk SUTM perlu ada pemeliharaan yang intensif agar pada jalurnya tidak terdapat tanaman yang menyentuh penghantar.

2..10.2 Modifikasi Sistem

Modifikasi sistem merupakan suatu usaha yang dilakukan dengan melakukan penambahan, perbaikan atau penggantian komponen pada jaringan distribusi. Ada beberapa komponen yang telah terbukti sukses selama beberapa tahun untuk menambah keandalan distribusi, diantaranya : *arrester, fuse, fault Indicators, tie switch, dan sectionalizer*.

a. Lightning Arrester

Lighting Arrester pada sistem distribusi umumnya digunakan untuk melindungi peralatan dari gangguan karena sambaran petir. *Arrester* juga digunakan melindungi saluran distribusi dari percikan listrik (*flashover*). Sehingga penggunaan arrester bisa untuk mengurangi gangguan temporer dan akan menambah kualitas listrik. Namun yang menjadi masalah adalah besarnya biaya pengadaan karena pemasangan arrester baru efektif bila dipasang pada tiap fasa per *pole*.

b. Fuse

Semua studi tentang keandalan telah menyimpulkan bahwa *lateral* (percabangan penyulang) sebaiknya dipasang *fuse*. Ukuran yang biasa digunakan adalah lebih besar dari 25K atau 15T untuk menghindari gangguan lebur fuse secara berlebihan. Gangguan peleburan pada *fuse transformer* dapat mengakibatkan aliran arus masuk (*multiple inrush*) yang mengakibatkan *reclosing*. Dalam jaringan distribusi, khususnya saluran udara

sering digunakan penutup balik (recloser) dan sekering lebur (fuse) bersama sama untuk keperluan pengamanan. Penutup balik digerakkan oleh relay dengan karakteristik tertentu dengan sedangkan sekering lebur mempunyai karakteristik sendiri. Oleh karenanya perlu koordinasi antara alat ini. Apabila terjadi gangguan temporer pada saluran cabang (lateral), CB saluran utama yang ada di PLTD harus segera trip, jangan sampai didahului oleh putusnya sekering lebur yang ada di saluran cabang. Tetapi apabila gangguan yang terjadi adalah gangguan permanen dan terjadi di saluran cabang, dibelakang sekering lebur, maka setelah *reclosing* dan CB masuk kembali, diharapkan sekering lebur bekerja terlebih dahulu (putus) mendahului CB masuk kembali.

c. Fault Indicators (FIs)

Salah satu cara untuk meningkatkan keandalan pada jaringan distribusi adalah penggunaan Fault Indicators (FIs) pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). FIs memudahkan operator untuk mempercepat dalam mengidentifikasi lokasi gangguan pada SUTM penyulang. Operator kemudian dapat mengisolir seksi yang mengalami gangguan memulai pentingnya tindakan perbaikan dan switching dalam waktu minimum. FIs dapat mengurangi lokalisasi gangguan dan mengurangi durasi gangguan dan biaya akibat gangguan. Penggunaan *Fault Indicators* pada jaringan distribusi, secara visual arus gangguan dapat diketahui. Visual indikasi arus gangguan dapat membantu secara signifikan mengurangi waktu patroli, untuk mencari letak/ lokasi gangguan. Pengurangan waktu patroli mengakibatkan pengurangan waktu pemulihan gangguan, sehingga nilai CAIDI menurun.

d. Tie Switch

Untuk meningkatkan keandalan dan ketersediaan aliran daya, maka setiap antara beberapa penyulang disambung oleh *Tie Switch* (normally open switch), yang sewaktu-waktu bisa diaktifkan untuk melakukan manuver arus listrik jika terjadi gangguan pada penyulang lain. Pada kenyataannya penyulang yang disambung tersebut tidak hanya penyulang lain yang berasal dari GI yang sama, namun juga dengan penyulang dari GI yang lain. Hal ini tentunya sangat baik pengaruhnya terhadap keandalan dan ketersediaan jaringan distribusi daya listrik yang mensuplai suatu kawasan, dimana secara teori lebih banyak penyebab gangguan, akan dapat lebih cepat ditanggulangi dengan adanya banyak kemungkinan jalur suplai daya listrik.

e. Sectionalizer

Sectionalizer atau Saklar Seksi Otomatis adalah suatu peralatan switching di jaringan distribusi tegangan menengah yang terpasang di sepanjang jaringan. Umumnya jaringan yang digunakan adalah *Overhead Line* atau saluran udara tegangan menengah. *Sectionalizer* berfungsi untuk melokalisir area yang terganggu oleh hubung singkat atau hubung tanah yang bersifat permanen/tetap. *Sectionalizer* adalah peralatan Saklar Seksi Otomatis (SSO) pada jaringan listrik yang bekerja berdasarkan sensor tegangan, ditempatkan di jaringan distribusi dengan beberapa tujuan yang berbeda diantaranya untuk mengisolasi seksi yang terganggu, *rekonfigurasi* jaringan dan lainnya yang secara umum akan memperbaiki keandalan.

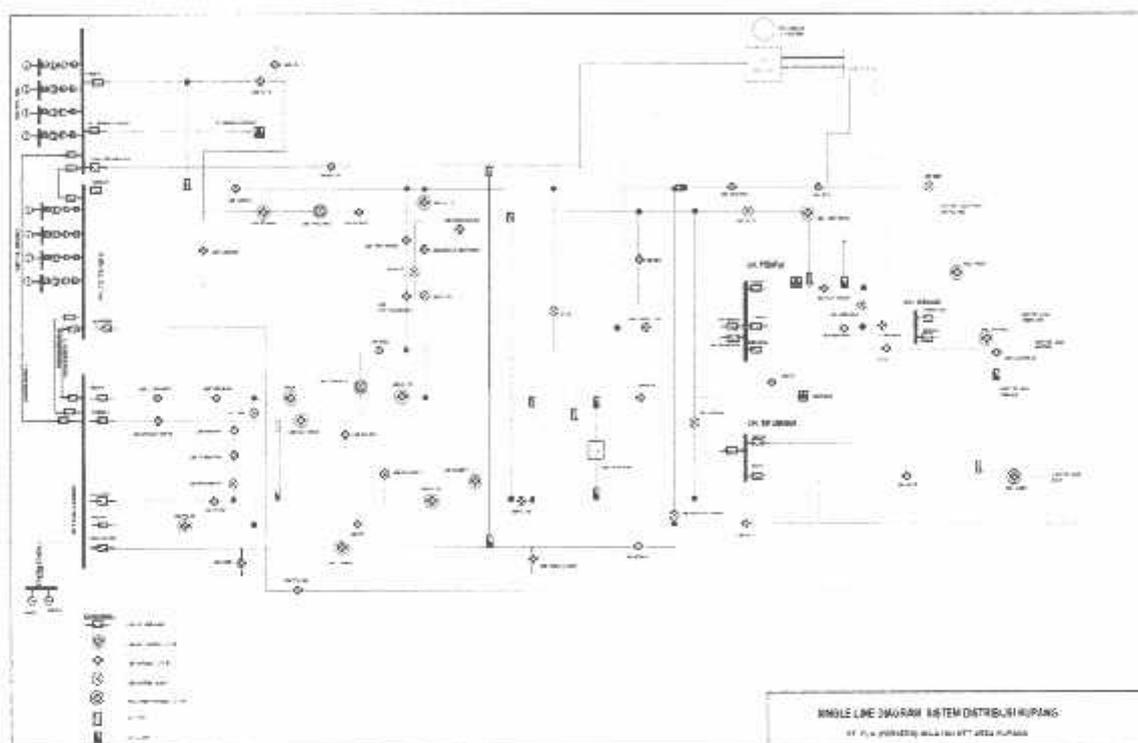
Metode yang digunakan dalam menentukan lokasi *load point* secara optimal ini didasarkan pada evaluasi indeks-Indeks keandalan dari suatu sistem distribusi secara umum. Filosofi dari metode ini adalah untuk menemukan solusi optimal dengan membandingkan indeks-indeks keandalan dengan penempatan alternatif yang mungkin. Optimal dalam hal ini adalah menempatkan *load point* di lokasi jaringan yang dapat memberikan nilai SAIDI yang terkecil dengan batasan investasi yang ada, sehingga dengan investasi yang ada akan diperoleh tingkat keandalan yang signifikan.

BAB III

DATA – DATA PT. PLN NUSA TENGGARA TIMUR AREA KUPANG DAN PERHITUNGAN KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV

3.1 Data – Data Di PT. PLN Nusa Tenggara Timur Area Kupang

3.1.1 Single Line Diagram PT. PLN NTT Area Kupang



Gambar 3.1 Single Line Diagram PT. PLN NTT Area Kupang

PLN NTT Area Kupang merupakan Area pelayanan jaringan yang disuplay dari 2 unit pembangkit tenaga diesel (PLTD), yakni PLTD Tenau dan PLTD Kuanino dengan kapasitas daya 45,7 MW. Memiliki penyulang 15 yang tersebar di kota dan kabupaten kupang. jumlah trafo distribusi yang terdapat pada semua penyulang sebanyak 125 Trofo Distribusi dan jumlah pelanggan sebanyak 1051.474 Sistem distribusi PLN NTT Area Kupang merupakan jaringan sistem distribusi *radial*.

3.1.2 Data Beban Penyulang NTT Area kupang

Tabel 3.1 Data Beban Penyulang PLN NTT Area kupang

NO	POSISI	BEBAN MALAM (KW)	BEBAN SIANG (KW)
1	P. Tingkat 1 - LBS Polda	1,100	800
	LBS Polda - LBS PK	1,100	1,500
	LBS PK - LBS KB12	1,300	400
	LBS KB12 - GI Maulafa	800	400
2	P. Penfui - LBS BI	2,200	900
	LBS BI - LBS KU16	1,400	1,000
	LBS KU16 - LBS PDIP	1,000	1,000
	LBS PDIP - Ujung	1,000	1,000
	LBS LP - Ujung	1,000	1,000
3	P. Tompelo - Cak Doko & TK Baruna	900	800
	LBS TK Baruna - Ujung	700	600
	LBS Cak Doko - LBS Carvita	700	600
	LBS Carvita - Ujung	1,200	1,100
4	P. Walkota - LBS Ain ba	700	700
	LBS Ainba - LBS KU38	300	500
	LBS KU38 - LBS KU35	200	200
	LBS Asumta - Ujung	1,600	1,200
	LBS KU 35 - Ujung	800	600
	LBS WK - LBS KT01	1,400	1,000
6	P. Oebofu - KT15&Indosco	1,200	900
	Rec. KT15 - LBS Nainggolan	600	400
	LBS Nainggolan - Ujung	800	500
	LBS indosco - GI Maulafa	781	400
7	P. Oemok - LBS KU15	900	800
	LBS KU15 - LBS Sonbai	1,600	1,400
	LBS Sonbai - LBS WK/LBS Tarjung	1,400	1,200
8	P. Tenau - LBS Bolok	800	600
	LBS Bolok - Ujung	900	700
9	P. Ekspres - GH	300	200
	GH Penfui - GH Oesao	500	300
10	P. Tarus - LBS Sitarda	1,200	700
	LBS Sitarda - Ujung	1,500	1,300
11	P. Biemarak	500	300
12	P. Camplong - Rec Pariti	1,400	700
	Rec Pariti - Ujung	300	200
13	P. Buraen - Rec Ponain	800	400
	Rec Ponain - Ujung	200	200
14	P. Baun	900	500
15	P. Naloni - Rec Tabun	800	400
	Rec Tabun - Ujung (PLTD Kuanino)	800	700

Tabel 3.2 Data Pembangkit Pusat Listrik Kupang

PT. PLN (PERSERO) WIL. NITD
SEKTOR PEMBANGKITAN & NITD
PUSAT LISTRIK KUPANG

**DATA UNIT PEMBANGKIT PUSAT LISTRIK KUPANG
BULAN NOVEMBER 2014**

NO	LOKASI PLTD	NOMOR URUT & JML MESIN	MESIN										GENERATOR										PROSE DAYA MAMPU	KET	
			MERK	TYPE	NO. SERI	DATA (KW)	RPM	TAHUN	TYPE	MERK	NO. SERI	VOLTAJE	AMPER	TERPASANG KVA	TYPE AVR	EXITER VOLT	AMP	TURBO CHARGER MERK	TYPE						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	PLTD KLAMBO	1.1.1	NISATA	12 V 28 BX	54078	2000	1500	600	1978	1978	ED-AF	MEDEA	H 5508 RI	6.3 KV	15	17	15	15	19	20	21	22	23	24	Bak
		2.1.2	NISATA	12 V 28 BX	54079	2500	1500	600	1978	1978	ED-AF	MEDEA	H 5508 RI	6.3 KV	15	17	15	15	19	20	21	22	23	24	Bak
	PLTD TEMAU	3.1.1	MAK	BM 453	25541	2500	1000	600	1982	1982	FC7839-3H46	SIEMENS	D840250482	6.3 KV	15	17	15	15	19	20	21	22	23	24	Bak
		4.1.2	MAK	BM 455	25542	2500	1500	600	1982	1982	FC7839-3H46	SIEMENS	D840250482	6.3 KV	15	17	15	15	19	20	21	22	23	24	Bak
		5.1.3	MAK	BM 455	25543	2500	1500	600	1982	1982	FC7839-3H46	SIEMENS	D840250482	6.3 KV	15	17	15	15	19	20	21	22	23	24	Bak
		6.1.4	MAK	BM 453	20944	2500	1500	600	1982	1982	FC7839-3H46	SIEMENS	D840250482	6.3 KV	15	17	15	15	19	20	21	22	23	24	Bak
		7.1.1	MERRILL	12 KV MAYCO	8841-1	5000	4000	600	1982	1982	MSM 14072	BRUSH	34632 A-1G	6.3 KV	15	17	15	15	19	20	21	22	23	24	Canggih
		8.1.2	MERRILL	12 KV MAYCO	8841-2	5000	4000	600	1982	1982	MSM 14072	BRUSH	34632 A-2G	6.3 KV	15	17	15	15	19	20	21	22	23	24	Canggih
		9.1.3	MERRILL	12 KV MAYCO	8841-3	5000	4000	600	1982	1982	MSM 14072	BRUSH	34632 A-3G	6.3 KV	15	17	15	15	19	20	21	22	23	24	Canggih
		10.1	SUJZERDING	12 IV 404E	81890386	6500	4500	900	2007	2007	1A2M 1M072	BRUSH	34632 A-3G	6.3 KV	15	17	15	15	19	20	21	22	23	24	Bak
		10.1.1	CATERPILAR	D3816 TA	1P000600	4700	4000	1500	2006	2006			31033027	11 KV	15	17	15	15	19	20	21	22	23	24	Canggih
		11.1.1	CATERPILAR	D3816 TA	1P000603	4700	4000	1500	2007	2007			31033004	6.3 KV	15	17	15	15	19	20	21	22	23	24	Bak
		JUMLAH A				45700	32600								0	0	0	0							



PT. PLN (PERSERO)
WILAYAH NJSA TENGGARA TIMUR
AREA KUPANG

Tabel 3.3 Data Gangguan Jaringan Tegangan Menengah

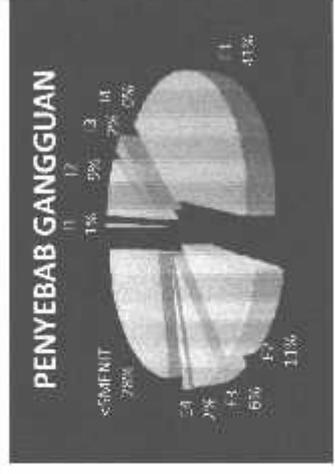
REKAP LAPORAN BULANAN GANGGUAN JTM
Tahun 2014

Rekap-FCIM UI

No.	NAMA UNIT / SISTEM	NAMA PENYULANG	PANJANG JTM *) (kms)	Beban Puncak (Amp)	PENYULANG PADAM BULAN INI (kali)														TOTAL	GANGGUAN AN < 5 MENIT
					PENYEBAB INTERNAL							PENYEBAB EKSTERNAL								
					1	2	3	4	JMLH	E1	E2	E3	E4	JMLH	E1	E2	E3	E4		
A. AREA KUPANG																				
	Rayon Kupang																			
	1	Semen Kupang	3,91																	
	2	Kupang Kota	31,50																	
	3	Oebufu	37,59																	
	4	Osmick	19,62																	
	5	Tenau Pelabuhan	27,54																	
	6	Ekspress	22,39																	
	7	Cesao	25,40																	
	8	Terus	69,05																	
	9	B. smarak	68,69																	
	10	Baun	17,02																	
	11	Naloni	19,10																	
	12	Perfui	38,37																	
	13	Bandara	6,75																	
	14	Tabulolong	61,18																	
	15	Tingkat I	13,31																	
	16	Tompelo	23,37																	
	17	Wajikota	17,42																	
	18	Penghubung I	8,64																	
	19	Penghubung II	8,72																	
	20	Penghubung III	5,80																	
	20	Total	525,22	0,00	4	52	11	1	68	298	92	9	3	402	470	200	-			

NAMA UNIT	1	2	3	4	E1	E2	E3	E4	5	SEMENIT
AREA KUPANG	4	52	11	1	298	92	9	3	200	

- 11 : Tenda samud, gerda bangunan (tukul)
- 12 : Komporan JTM
- 13 : Perawatan TV
- 14 : Tanggapan awal pemukiman bagian 2. Tanggapan
- E1 : Pohon/akar
- E2 : Akibat pekerjaan pihak lain atau bencana
- E3 : Angin, hujan, banjir, tanah longsor, gempa bumi, kebakaran dan bencana alam lain
- E4 : Kawang-kawang, tumbul-tumbul dan penyebab disinternal lainnya



3.2 Perancangan Sistem

Dalam perancangan sistem ini dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP. Diawali dengan pengumpulan data, kemudian menentukan parameter-parameter yang dibutuhkan, perhitungan nilai indeks awal, indeks per-bus, indeks *load point*, indeks keandalan sistem dan tampilan program. Parameter yang digunakan dalam perhitungan sebagai berikut:

- Saluran Udara (Line)

Saluran udara digunakan pada pemasangan di luar bangunan, diregangkan pada isolator-isolator diantara tiang-tiang sepanjang beban yang dilalui suplai tenaga listrik, mulai dari PLTD sampai kepusat beban.

Jaringan udara direncanakan untuk kawasan dengan kepadatan beban rendah atau sangat rendah, misalnya pinggiran kota, kampung/kota-kota kecil, dan tempat-tempat yang jauh serta luas dengan beban tersebar.

- Transformator Distribusi (Load)

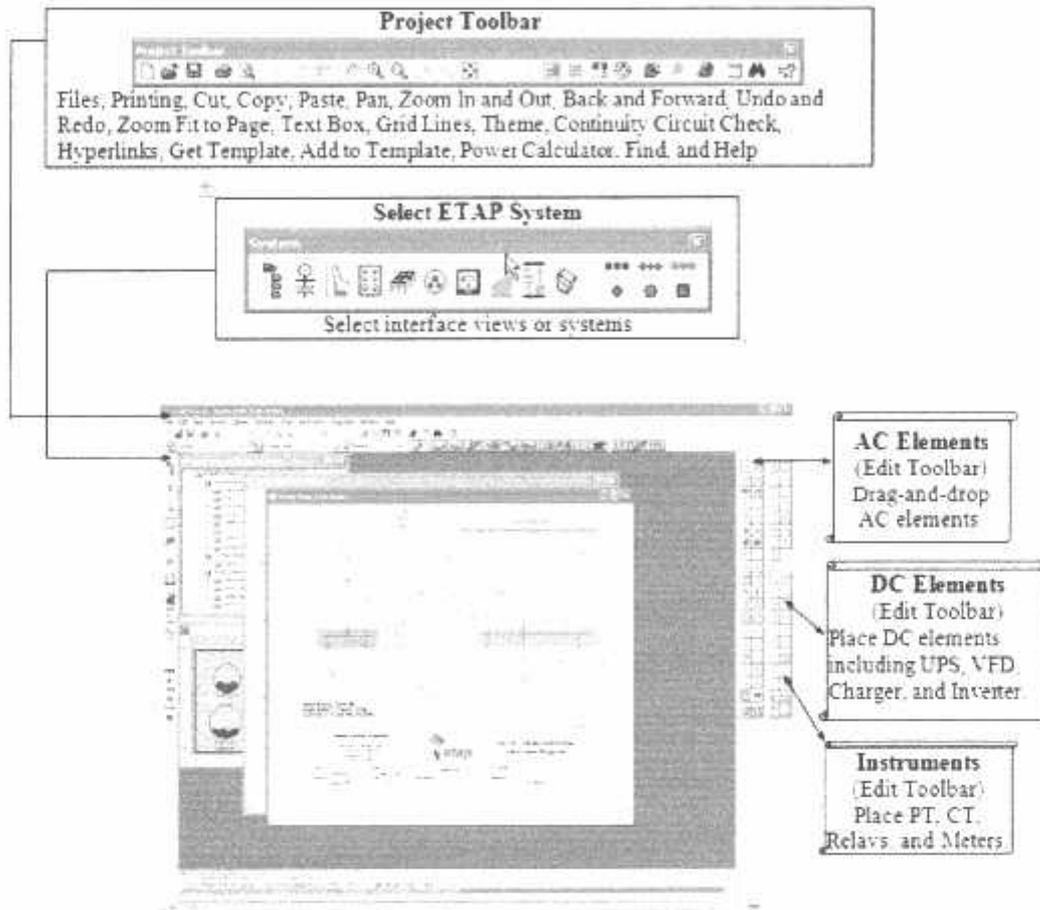
Transformator distribusi merupakan suatu komponen dalam penyaluran tenaga listrik dari PLTD kekonsumen. Berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah 20kV menjadi tegangan rendah 220V/380V. Transformator distribusi dapat dipasang di dalam dan di luar ruangan tergantung kepada keadaan lokasi beban.

Indeks keandalan suatu sistem distribusi digunakan untuk mengukur tingkat keandalan dari tiap-tiap beban/*load point*. Dalam pengujian ini diawali dengan menentukan parameter-parameter yang dibutuhkan beserta jumlahnya dan juga nilai indeks-indeks keandalan dasar yang akan dimasukkan dalam perhitungan. Selain parameter-parameter di atas, ada beberapa indeks-indeks keandalan dasar yang harus diketahui nilai-nilainya seperti,

- λ_A adalah laju kegagalan aktif dinyatakan dalam jumlah kegagalan per tahun (*failure/yr*). Mode kegagalan ini menyebabkan operasi peralatan proteksi primer.
- λ_P adalah mode kegagalan komponen yang disebabkan tidak beroperasinya peralatan pengaman dan tidak memiliki pengaruh pada sistem yang bekerja. Layanan dapat dipulihkan dengan memperbaiki atau mengganti perangkat yang gagal.
- Frekuensi Gangguan (λ_{LP}) adalah frekuensi rusak atau gagalnya suatu sistem atau komponen tahunan rata-rata dalam pengoperasiannya (*fault/year*). Lama/durasi Gangguan (ULP) adalah lama/durasi terputusnya pasokan listrik tahunan rata-rata (*hours/year*).

3.3 Pengenalan ETAP (Electrical Transient Analisis Program) Power Station

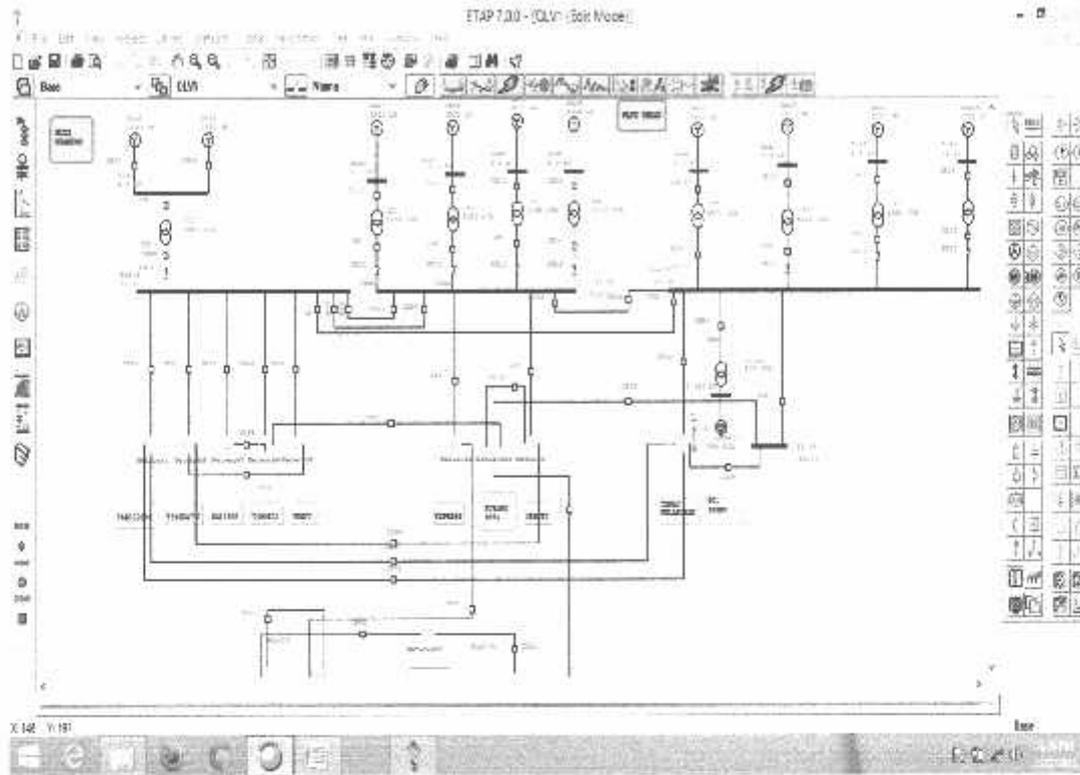
ETAP *power station* adalah *software* untuk *power* sistem yang bekerja berdasarkan perencanaan, setiap plant harus menyediakan modeling peralatann dan alat-alat pendukung yang berhubungan dengan analisis yang akan di lakukan. Perangkat ini dapat bekerja dalam keadaan offline yaitu untuk simulasi tenaga listrik dan online untuk pengelolaan data real time. ETAP *Power Station* dapat digunakan untuk menggambar single line diagram secara langsung. Single line diagram pada *Software* ETAP terdiri dari sejumlah komponen yang membantu kita dalam merangkai rangkaian kompleks.



Gambar 3.2
Tampilan Model Utama Simulasi *Software* ETAP *Power Station*

3.4 Perencanaan simulasi menggunakan ETAP Power Station

Menggambar Single line Diagram di ETAP *Power Station*. Menggambar Single line Diagram pada software ETAP *Power Station* berdasarkan gambar single line dan data yang diperoleh dari sistem tenaga listrik PT. PLN NTT Area Kupang.



Gambar 3.3
Single line Sistem jaringan menggunakan ETAP *Power Station* 7.0.0

Pada Semua Penyulang yang di gunakan untuk perhitungan hanya jaringan 3 fasa, sedangkan jaringan 1 fasa tidak termasuk dalam hitungan. Jaringan 3 fasa sepanjang 52 Km memiliki 125 Trafo di sepanjang saluran dari pangkal sampai ujung. untuk jumlah pelanggan sebanyak 1051.474 pelanggan.

3.5 Tahapan Pengujian

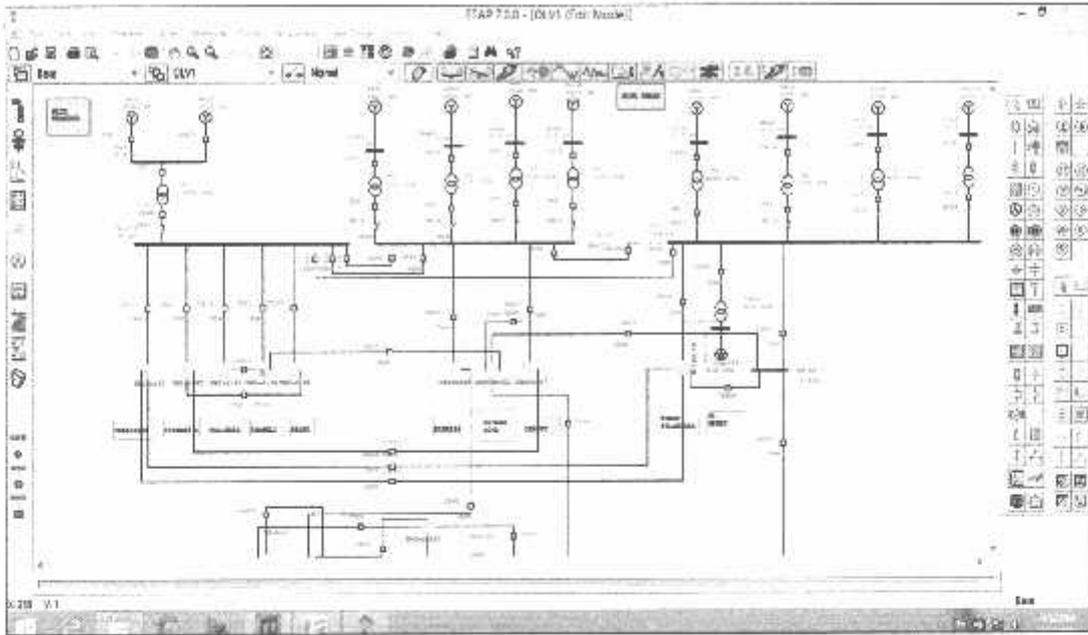
Ada beberapa hal yang perlu di ketahui sebelum menghitung indeks keandalan sistem distribusi yaitu dengan mengetahui nilai data keandalan peralatan. Data-data ini diperoleh dari SPLN No.59 : 1985, "Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6kV". Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, 1985. [6]

Tabel 3.4 Data Keandalan Peralatan

Peralatan	Laju kegagalan/frekuensi gangguan (fault/year)	Repair Time (Waktu/jam)
Pemutus Tenaga (Circuit Breaker)	0,004 gangguan/unit/tahun	10
Saluran udara	0,2 gangguan/km/tahun	3
Saluran kabel	0,07 gangguan/km/tahun	10
Sakelar Pisah (Air Break Switch)	0,003 gangguan/unit/tahun	0,15
Penutup Balik (Recloser)	0,005 gangguan/unit/tahun	10
Bus	0,001 gangguan/unit/tahun	10
Penyambung Kabel	0,001 gangguan/unit/tahun	15
Sakelar Beban	0,003 gangguan/unit/tahun	0,15
Pelindung Jaringan	0,005 gangguan/unit/tahun	10
Trafo Distribusi	0,005 gangguan/unit/tahun	10

3.6 Langkah - Langkah Memasukan Data

3.6.1 Menggambar Single Line Di Etap Power Station



Gambar 3.4 Single Line Diagram Pembangkit Tenau Dan Penyulang Kupang

3.6.2 Input Data Di ETAP Power Station

Synchronous Generator Editor - Gen3

Protection	PSS	Harmonic	Reliability	Fuel Cost	Remarks	Comment
Info	Rating	Capability	Imp Model	Grounding	Exciter	Governor
5.5kV	2500kW	Swing				
Rating	kVA	%	% PF	kVA	% PF	Poles
2500	513	05	2541	05	4	
% of Base kVA			PLA		rpm	
100			265.5		1500	

Gen Category	% V	Angle	kW	kvar	% PF	Qmax	Qmin
1 Design	100	0					
2 Normal	100	0					
3 Shutdown	100	0					
4 Emergency	100	0					
5 Standby	100	0					
6 Startup	100	0					

Prime Mover Rating

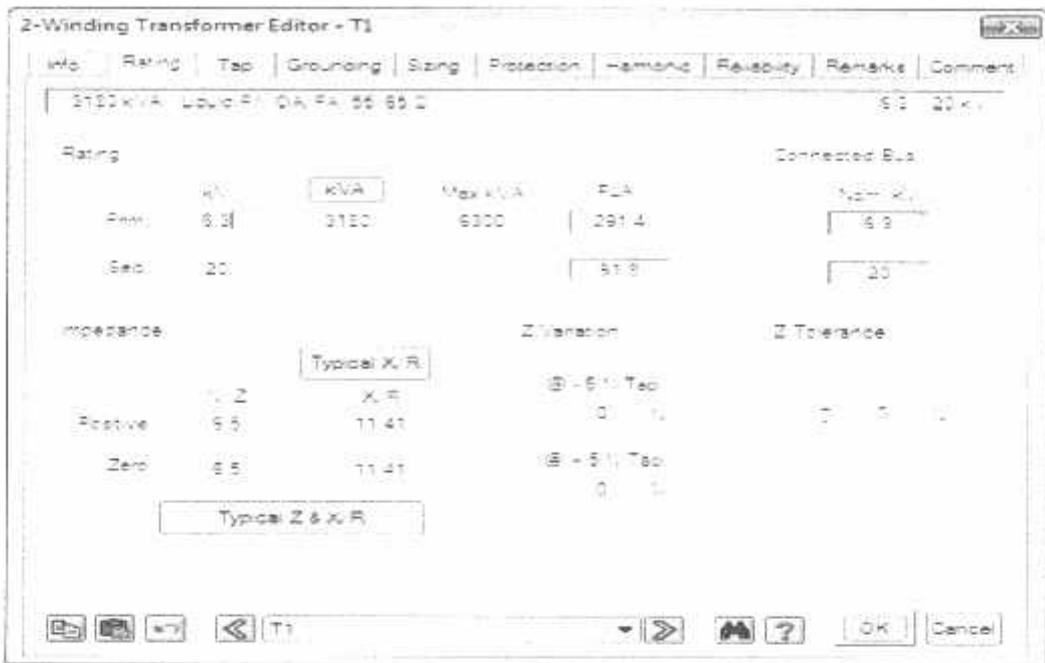
Continuous	kW	MP	Peak	kW	Min. Limit	Peak kW
3353	2500	3353	2500		3353	1540

Operating Values

MP	Angle	kW	kvar
0	0	0	0

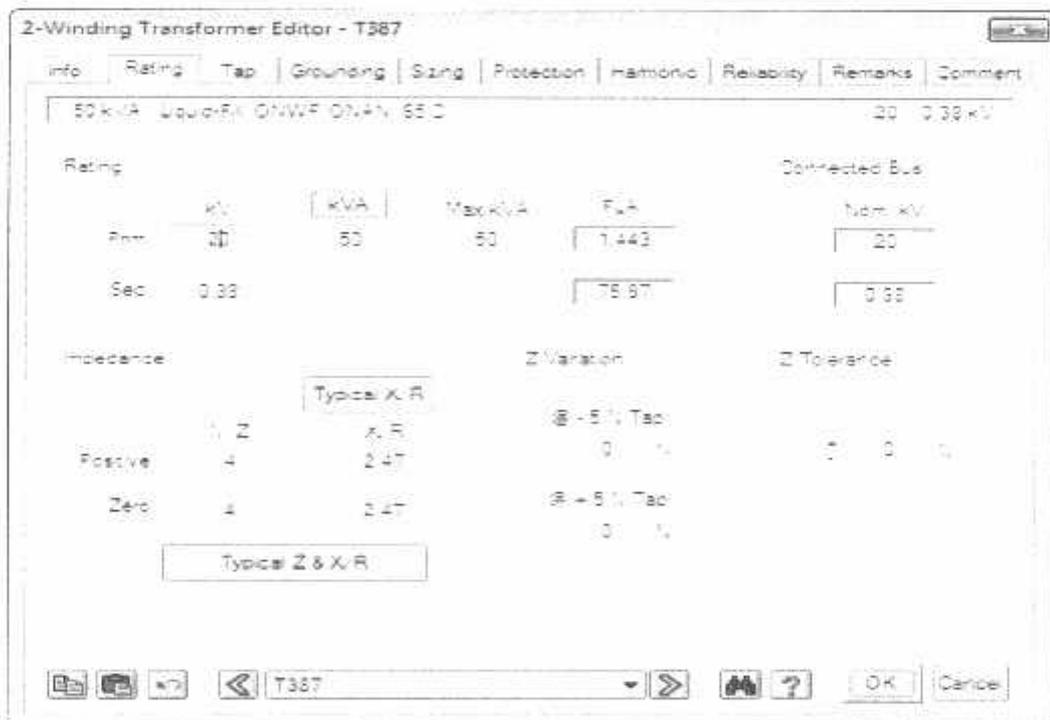
Gen3

Gambar 3.5 Input Data Pembangkit Tenau



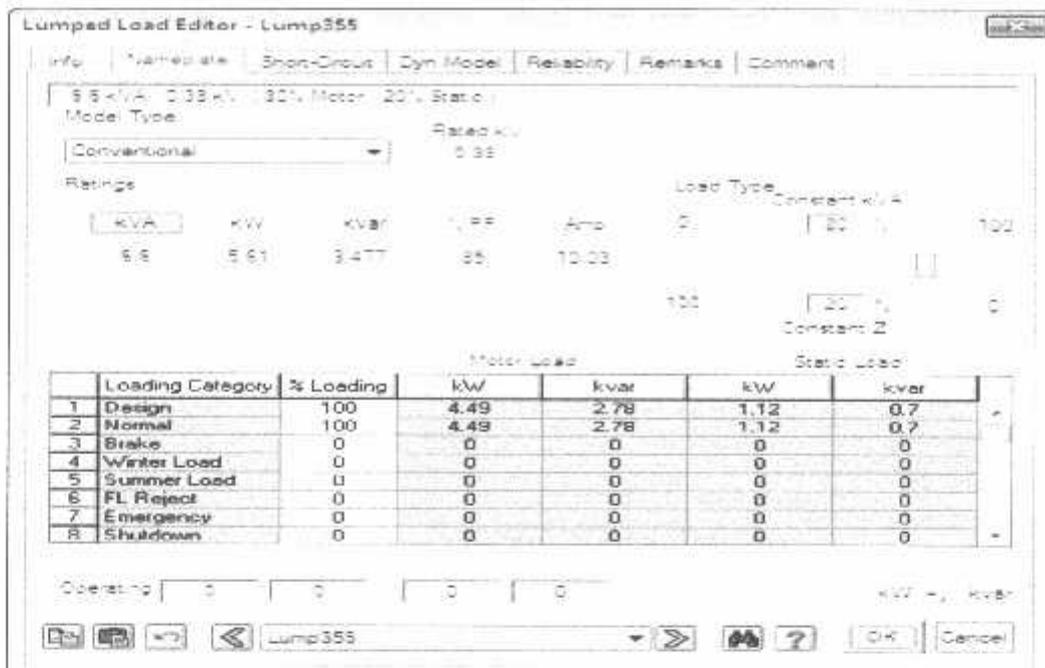
Gambar 3.6

Input Data Trafo Step Up 6,3/20kV



Gambar 3.7

Input Data Trafo 20/0.38 kV



Gambar 3.8
Input Data Beban



Gambar 3.9
Input Data Keandalan Peralatan Saluran Kabel

2-Winding Transformer Editor - T221

Info	Rating	Tap	Grounding	Sizing	Protection	Harmonic	Reliability	Remarks	Comment
100 kVA	Liquid-Fill	ONWF/ONAN	65 C					20	382 kV

Reliability Parameters				Library			
λ_A	0.005	Failure/yr		Library			
λ_P	0	Failure/yr		Source			
λ_R	876	Repair/yr	MTTF	200	yr		
FOR	5.7E-6		MTTR	10	hr		
Replacement				Alternative Supply			
<input type="checkbox"/> Available				Switching Time			
t_p	22	hr		0.15	hr		

T221
OK
Cancel

Gambar 3.10

Input Data Keandalan Peralatan Trafo Distribusi

Lumped Load Editor - Lump244

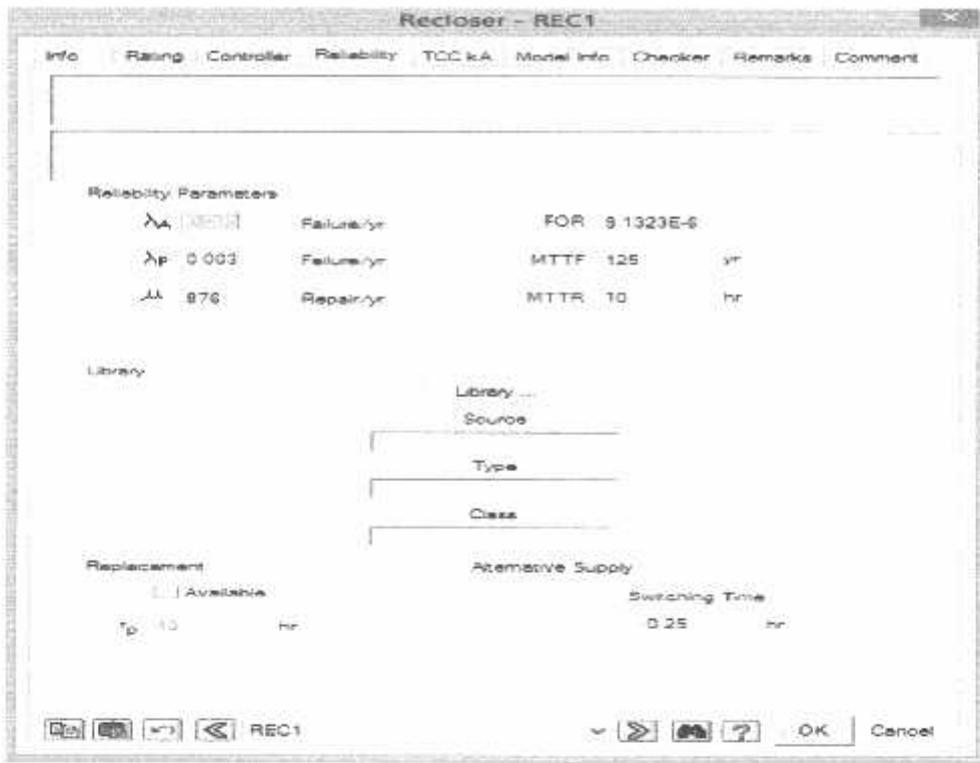
Info	Nameplate	Short-Circuit	Dyn Model	Reliability	Remarks	Comment
88 kVA	382 kV (80% Motor - 20% Static)					

Reliability Parameters				Library			
λ_A	0.1	Failure/yr		Library			
λ_R	2920	Repair/yr	MTTF	10	yr		
FOR	3.4245E-5		MTTR	3	hr		
Replacement				Connected Load			
<input checked="" type="checkbox"/> Available				No. of Loads: 32			
t_p	22	hr	Interruption Cost				
			Load Sector		none		

Lump244
OK
Cancel

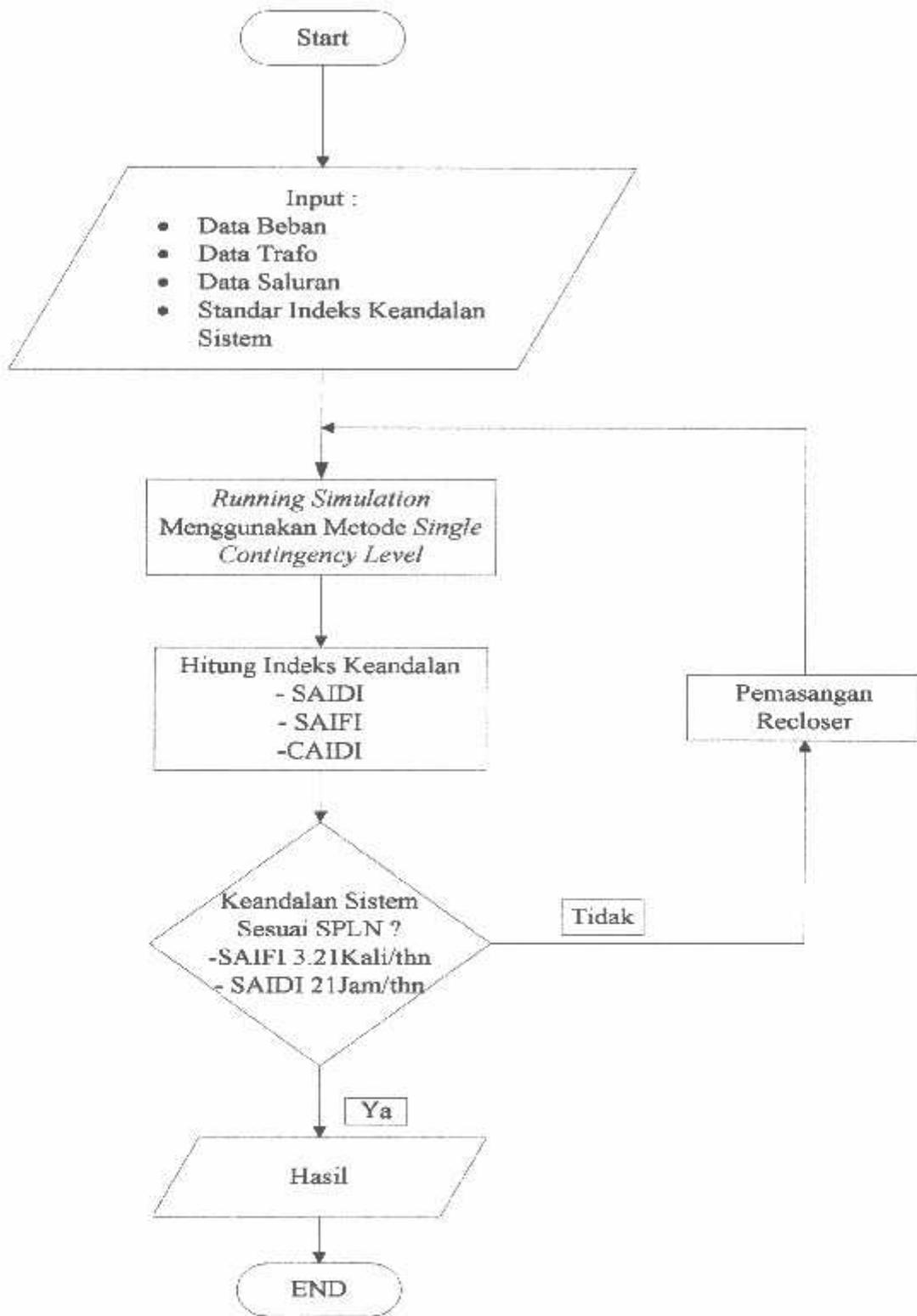
Gambar 3.11

Input Data Keandalan Saluran Udara



Gambar 3.12
Input Data keandalan Peralatan Recloser

3.7 Flowchart Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Menggunakan *Software ETAP Power Station*



Gambar 3.13
Flowchart Perhitungan Keandalan Sistem

BAB IV

EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP DENGAN PEMASANGAN RECLOSER

4.1 Evaluasi Keandalan

Pada dasarnya Evaluasi keandalan Sistem mempunyai dua fungsi utama yaitu :

- Melihat penampilan sistem (system performance).
- Memprediksi sistem untuk waktu yang akan datang (system prediction).

Dalam skripsi ini hasil yang dapat diperoleh dari evaluasi keandalan dengan *software* ETAP *Power Station* dari sistem distribusi adalah indeks keandalan. Dengan memiliki indeks keandalan suatu sistem distribusi dapat dilihat tingkat keandalan sistem tersebut. Dari angka perbandingan yang dimiliki dapat digunakan untuk tolak ukur perencanaan perbaikan atau pengembangan sistem yang akan datang. Selain itu, indeks keandalan juga bermanfaat sebagai pembanding antar sistem yang akan memacu meningkatkan keandalan sistem yang lemah.

Prediksi sistem merupakan salah satu langkah yang dapat dilakukan untuk memperkirakan (prediksi) keandalan suatu sistem lewat penambahan beberapa komponen tanpa melupakan aspek kebutuhan dan biaya. Namun pada saat ini, lebih banyak digunakan untuk menilai sistem yang ada daripada untuk perkiraan keandalan sistem pada masa yang akan datang.

Penilaian terhadap penampilan sistem menjadi sangat penting karena alasan sebagai berikut :

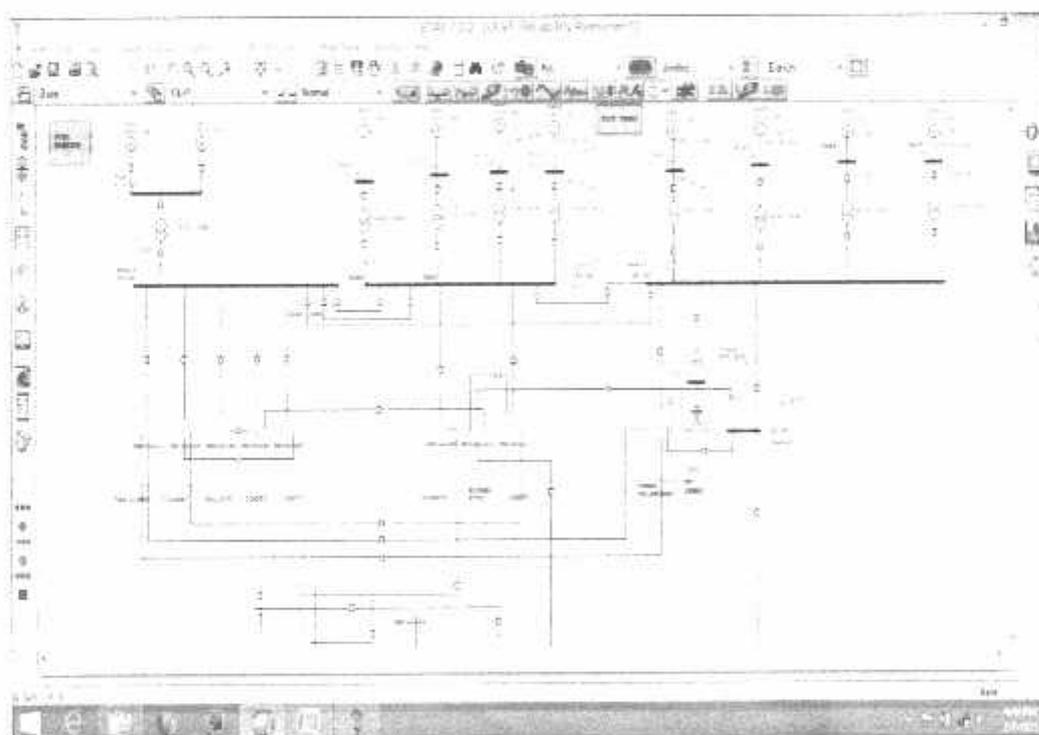
- Menentukan secara urut perubahan terhadap penampilan sistem dalam mengenali daerah yang rawan dan perlu untuk dilakukan pembenahan.
- Menentukan indeks pada daerah pelayanan sebagai panduan untuk menilai keandalan sistem yang akan datang. Membandingkan perkiraan sebelumnya dengan pekerjaan operasi yang sesungguhnya

Mengevaluasi keandalan jaringan distribusi 20 kV dengan menghitung indeks-indeks keandalan. Indeks keandalan yang dihitung adalah indeks –indeks titik beban (load point) dan indeks-indeks sistem secara keseluruhan.

4.2 Hasil *Running* Simulasi Di ETAP *Power Station*

4.2.1 Analisis Keandalan Sistem

Pada hasil *running Reliability* menggunakan *software* ETAP menggunakan metode *Single Contingency Level* didapatkan hasil Indeks keandalan berupa SAIFI, SAIDI dan CAIDI di semua penyulang. didapatkan Indeks keandalan di beberapa penyulang yang belum memenuhi standar PLN, yaitu Penyulang Walikota dengan nilai SAIDI 24.2299 jam/tahun, Penyulang Penfui dengan nilai SAIFI 3.4032kali/tahun, dan SAIDI 32.9526 jam/tahun, dan Penyulang Tenau dengan nilai SAIDI 25.7572 jam/tahun. pada penyulang tersebut belum sesuai dengan standar SPLN 59:1985 yaitu SAIFI (3.2 kali/tahun), SAIDI (21 jam/tahun).



Gambar 4.1 *Running* Keandalan Sistem

PT. PLN NTT Area Kupang di semua penyulang

4.2.2 Hasil Simulasi Semua Penyulang PT. PLN NTT Area Kupang

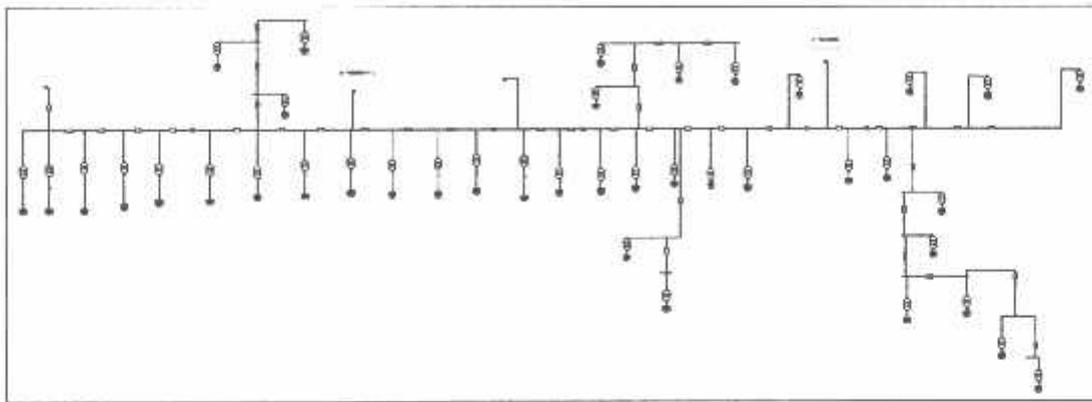
Tabel 4.1 *Running simulation* Pada Semua Penyulang

No.	Nama penyulang	Total Bus	SAIFI (<i>f/customer.yr</i>)	SAIDI (<i>hr/customer.yr</i>)	CAIDI (<i>hr/customer interruptions</i>)
1	Tablolong	8	1.1388	11.1388	9.718
2	Walikota	23	2.5599	24.2299	9.465
3	Tompelo	14	0.7236	6.9218	9.563
4	Penfui	40	3.4032	32.9526	9.683
5	Express	7	0.8140	8.3014	10.198
6	Kupang Kota	12	1.5859	15.5116	9.781
7	Oebufu	3	0.5594	5.8449	10.449
8	Tenau Pelabuhan	11	2.6241	25.7572	9.816
9	PT.Semen Kupang	1	0.0575	0.8094	14.077
10	Tarus	6	0.6036	3.2681	5.414
11	Bismarak	4	0.7006	7.3186	10.446
12	Naioni	8	1.0517	4.9532	4.710
13	Baun	5	1.8584	4.0489	2.179
Total Keseluruhan Bus/Penyulang		142	SAIFI (<i>f/customer.yr</i>) 1.4801	SAIDI (<i>hr/customer.yr</i>) 14.7707	CAIDI (<i>hr/customer interruptions</i>) 9.972

Dari Tabel 4.1 diketahui penyulang yang belum memenuhi Standar SPLN No. 59 Tahun 1985 Yaitu Penyulang Walikota dengan nilai SAIDI 24.2299 jam/tahun, dan nilai Penyulang Penfui dengan Nilai SAIFI 3.4032 kali/tahun, dan Nilai SAIDI 32.9526 jam/tahun. paada pennyulang Tenau Pelabuhan Nilai SAIDI 25.7572 jam/tahun. Sedangkan Pada penyulang yang lainnya sudah memenuhi Standar yang di keluarkan oleh PLN.

Dari hasil *running* Keandalan menggunakan *software* ETAP di dapatkan nilai keandalan Pada semua Penyulang sebagai berikut: SAIFI :1.4801 Kali/tahun, SAIDI : 14.7707 jam/tahun, dan CAIDI sebesar 9.972 jam/tahun. Besar nilai CAIDI didapat dari membagi nilai SAIDI dengan nilai SAIFI.

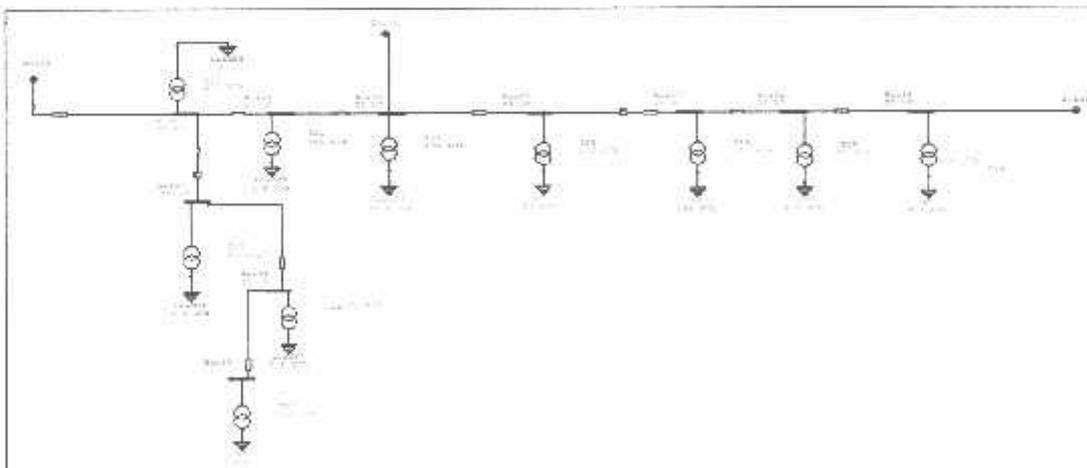
4.3.2. Penyulang Penfui



Gambar 4.3 Penyulang Penfui

Penyulang Penfui di suplay dari PLTD Tenau dengan daya 45,7 MVA. Penyulang Penfui memiliki 40 *Load poin*, 40 Bus berupa trafo distribusi. dengan jumlah 3.580 pelanggan. Dari jumlah *load point*, Penyulang Penfui Tergolong cukup besar. Pada saat konfigurasi normal PLN antar penyulang hanya terdapat *Load Break Switch* (normally open), dan satu buah recloser. sedangkan pada simuasi pada penyulang ditambahkan dua buah recloser. Pada Gambar 4.4 adalah Penyulang Penfui setelah di Pasang recloser.

4.3.3. Penyulang Tenau Pelabuhan



Gambar 4.4 Penyulang Tenau Pelabuhan

Penyulang Tenau Pelabuhan di suplay dari PLTD Tenau dengan daya 45,7 MWA. Penyulang Tenau Pelabuhan memiliki 10 *Load poin*, 10 Bus berupa trafo distribusi. Penyulang ini Tergolong kecil. Pada saat konfigurasi normal PLN antar penyulang hanya terdapat *Load Break Switch* (normally open), sedangkan pada simuasi pada penyulang ditambahkan dua buah recloser. Pada Gambar 4.5 adalah Penyulang Tenau pelabuhan setelah di Pasang recloser.

4.4 Perbandingan Perhitungan Hasil Simulasi *Software* ETAP Dengan dan Tanpa Menggunakan *Recloser*

Berdasarkan hasil *running software* ETAP pada penyulang yang belum memenuhi nilai standar PLN yaitu Penyulang Walikota, Penfui, dan Penyulang Tenau Pelabuhan setelah pemasangan *Recloser* didapatkan nilai indeks keandalan berupa nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI di ketiga penyulang tersebut. ini adalah indeks keandalan yang di dapat dari Ketiga penyulang yang di evaluasi dalam kondisi dengan dan tanpa adanya *Recloser*.

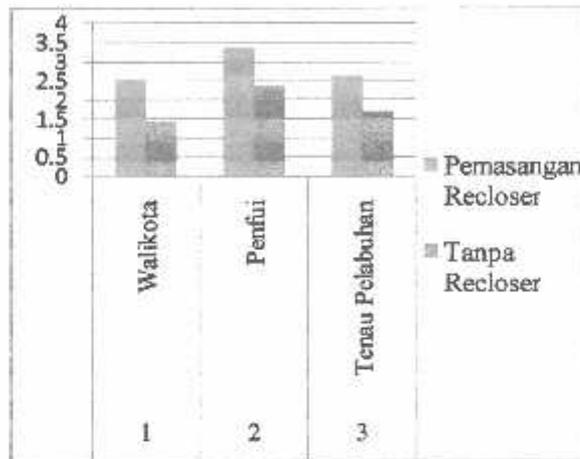
Tabel 4.2
Perbandingan Indeks Keandalan SAIFI Dengan dan Tanpa Menggunakan *Recloser*

SAIFI (<i>f/customer.yr</i>) Penyulang Yang di Evaluasi			
No.	Nama Penyulang	Tanpa Recloser	Pemasangan Recloser
1	Walikota	2.5599	1.4387
2	Penfui	3.4032	2.3795
3	Tenau Pelabuhan	2.6241	1.7054

Dari Tabel 4.2 bahwa penyulang Penfui Sebelum di evaluasi nilai Keandalan SAIFI 3.4032 kali/tahun, nilai tersebut belum sesuai dengan standar PLN yaitu 3.2 kali/tahun.

Setelah dilakukan evaluasi dengan cara penambahan *Recloser* pada penyulang Penfui didapatkan nilai SAIFI menjadi 2.3795 kali/tahun, dan sudah memenuhi standar PLN.

Untuk penyulang walikota dan Tenau pelabuhan jika dilakukan pemasangan recloser maka nilai keandalan SAIFI akan lebih baik.



Grafik 4.1

Grafik Perbandingan SAIFI Tanpa dan Sesudah Pemasangan *Recloser*

Dari Perbandingan nilai SAIFI dengan dan tanpa pemasangan recloser di ketiga penyulang yang dievaluasi memiliki nilai indeks keandalan yang lebih bagus dari sebelum pemasangan *Recloser*.

Tabel 4.3

Perbandingan Indeks Keandalan SAIFI Dengan dan Tanpa Menggunakan *Recloser*

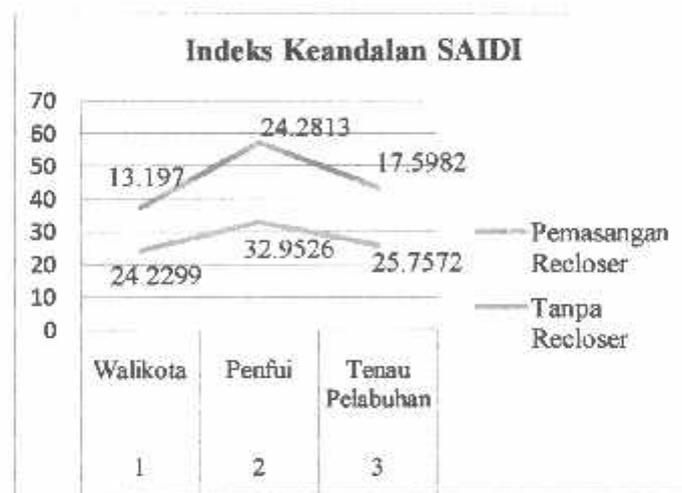
SAIFI (<i>hr/customer.yr</i>) Penyulang Yang di Evaluasi			
No	Nama Penyulang	Tanpa Recloser	Pemasangan Recloser
1	Walikota	24.2299	13.1970
2	Penfui	32.9526	24.2813
3	Tenau Pelabuhan	25.7572	17.5982

Dari Tabel 4.3 bahwa penyulang Walikota, Penfui, dan Penyulang Tenau Pelabuhan Sebelum di evaluasi nilai Keandalan SAIFI Pada ketiga penyulang tersebut belum

memenuhi standar yang dikeluarkan PLN yaitu 21 jam/tahun. Setelah dilakukan evaluasi pada ketiga penyulang tersebut dengan cara penambahan dan pemasangan *Recloser* pada ketiga penyulang tersebut didapatkan nilai SAIDI di penyulang Walikota dengan nilai SAIDI 13.1970 jam/tahun, dan sudah memenuhi standar PLN.

Untuk penyulang Penfui setelah dilakukan Penambahan recloser maka nilai keandalan SAIDI 24.2813 jam/tahun. Namun nilai SAIDI pada Penyulang Penfui belum sepenuhnya sesuai dengan standar PLN yaitu 21 jam/tahun.

Pada Penyulang Tenau pelabuhan setelah dilakukan evaluasi dengan cara yang sama didapatkan nilai keandalan SAIDI 17.5982 jam/tahun. Sehingga penyulang tenau pelabuhan telah sesuai dengan standar yang di tentukan oleh PLN yaitu SAIDI 21 jam/tahun.



Grafik 4.2

Grafik Perbandingan SAIDI Tanpa dan Sesudah Pemasangan *Recloser*

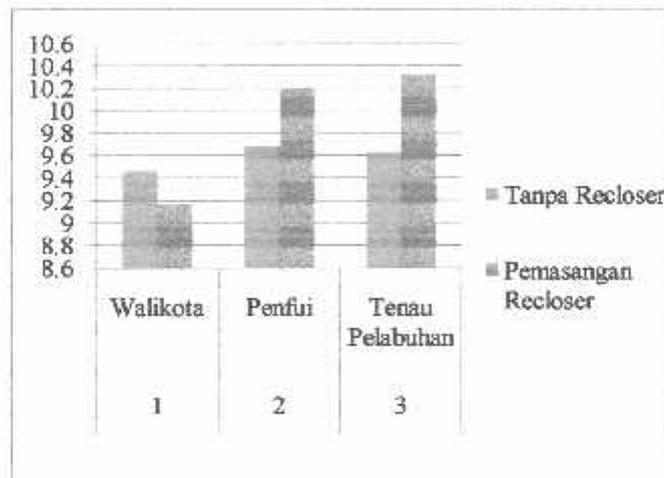
Jika melihat dari hasil simulasi yang telah dilakukan terlihat adanya perbedaan yang cukup signifikan, sehingga agar bisa mendapatkan nilai indeks keandalan dari nilai SAIDI yang lebih baik dari sebelumnya maka dilakukan beberapa skenario pada Ketiga penyulang dengan Pemasangan *recloser*.

Namun pada penyulang Penfui belum memenuhi standar PLN yakni SAIDI 21 jam/tahun.

Tabel 4.4
Perbandingan Indeks Keandalan CAIDI Dengan dan Tanpa Menggunakan
Recloser

CAIDI (<i>hr/customer interruptions</i>) Penyulang Yang di Evaluasi			
No	Nama Penyulang	Tanpa Recloser	Pemasangan Recloser
1	Walikota	9.465	9.173
2	Penfui	9.683	10.204
3	Tenau Pelabuhan	9.620	10.319

Diketahui pada hasil *running reliability* pada ketiga penyulang yang dievaluasi didapatkan nilai indeks CAIDI tidak jauh berbeda dengan sebelum di evaluasi.



Grafik 4.3
Grafik Perbandingan CAIDI Tanpa dan Sesudah Pemasangan *Recloser*

Pada hasil evaluasi dengan cara pemasangan recloser di tiga penyulang maka terlihat nilai keandalan CAIDI tidak jauh berbeda dengan sebelum dilakukan pemasangan recloser. Akan tetapi nilai keandalan SAIFI dan SAIDI cukup baik dengan adanya pemasangan recloser.

4.3.1 Indeks Keandalan Secara Keseluruhan PT. PLN NTT Area Kupang

Berdasarkan hasil *running software* ETAP pada semua penyulang yang sudah di evaluasi dengan cara Penambahan dan pemasangan *Recloser* diketiga penyulang tersebut maupun pada sebelum di lakukan evaluasi. didapatkan hasil sebelum dilakukan evaluasi yaitu dengan nilai SAIFI: 1.4801, SAIDI 14.7707 dan CAIDI sebesar 9.972 jam/tahun. Ini adalah indeks keandalan yang di dapat dari 13 Penyulang dalam kondisi Sebelum dievaluasi.

Tabel 4.5
Perbandingan Indeks Keandalan Sistem PLN NTT Area Kupang

SAIFI (<i>f/customer.yr</i>) Keseluruhan		SAIDI (<i>hr/customer.yr</i>) Keseluruhan		CAIDI (<i>hr/customer.interruptions</i>) Keseluruhan	
Kondisi awal	Evaluasi di 3 penyulang	Kondisi awal	Evaluasi di 3 penyulang	Kondisi awal	Evaluasi di 3 penyulang
1.4801	1.1345	14.7707	11.4012	9.972	10.049

Tabel 4.5 menunjukkan perbandingan nilai Keandalan sistem 20 kV Sebelum dan sesudah dilakukan evaluasi dengan cara pemasangan recloser pada ketiga penyulang yang nilai keandalan belum sesuai dengan standar yang di keluarkan PLN. Terlihat bahwa setelah di lakukan pemasangan recloser pada tiga penyulang dari ketigabelas penyulang yang ada, hasil nilai keandalan SAIFI, SAIDI, dan CAIDI berkurang apabila di bandingkan sebelum di evaluasi dari nilai SAIFI 1.4801 kali/tahun, menjadi nilai SAIFI 1.1345 kali/tahun. nilai SAIDI 14.7707 jam/tahun menjadi nilai SAIDI 11.4012 jam/tahun. dan nilai CAIDI 9.972 jam/tahun, menjadi 10.049 jam/tahun.

Hal ini membuktikan bila di lakukan penambahan dan pemaasangan recloser pada penyulang belum memenuhi standar PLN, maka nilai Keandalan akan lebih baik. Akan tetapi apabila di lakukan pemasangan recloser/diprotrksi pada semua penyulang maka nilai Keandalan sistem di PLN Area Kupang akan jauh lebih baik.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan Simulasi dan evaluasi keandalan pada Sistem Distribusi PT. PLN NTT Area Kupang maka dapat ditarik Kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil simulasi menggunakan *software* ETAP *Power Station* terlihat bahwa nilai SAIFI pada semua penyulang belum memenuhi standar PLN yaitu pada penyulang penfui dengan nilai SAIFI 3.4032 kali/tahun, Standar SAIFI PLN yakni 3.2 kali/tahun. Nilai SAIDI pada penyulang Penfui yaitu 32.9526 jam/tahun, penyulang walikota 24.2299 jam/tahun, penyulang tenau nilai SAIDI 25.7572 jam/tahun, belum memenuhi standar nilai SAIDI PLN yakni 21jam/tahun.
2. Setelah dilakukan evaluasi pada ketiga penyulang tersebut, indeks keandalan SAIFI pada penyulang Penfui sudah memenuhi standar PLN yaitu 2.3795 kali/tahun. untuk nilai SAIDI di penyulang penfui belum memenuhi standar PLN yaitu SAIDI 24.2813 jam/tahun. sedangkan pada semua penyulang sudah memenuhi standar SAIDI PLN.
3. Pemasangan dan Penambahan *Recloser* pada sistem distribusi sangatlah penting dan berpengaruh pada nilai Indeks Keandalan.

5.2 Saran

1. Perlu adanya penyegaran pembangkit baru dalam hal ini penambahan kapasitas pembangkit tenaga listrik.
2. Perlu diketahui koordinasi *recloser* dengan peralatan lain seperti *fuse*, *Tie switch* dan *circuit breaker* pada jaringan distribusi sehingga tercipta sistem yang lebih solid dan terpadu.

Daftar Pustaka

1. Aris munandar. (1993). Teknik Tenaga Listrik. pradnya paramita, Jakarta
2. Billington, Roy.Allan N. Ronald“ *Power System of Evaluation Reliability*”, NewYork. Gordon and Breach. 1970.
3. Gonen, Turan. 1986. *Electric Power Distribution System Engineering*. New York : McGraw-Hill.
4. Sistem Tenaga Listrik. Cekmas Cekdin. Hal 8.
5. Wicaksono, Henki P. dkk. “Analisis Keandalan Sistem Distribusi Di PT. PLN (PERSERO) APJ Kudus Menggunakan *Software ETAP (Electrical Transient Analysis Program)* dan Metode *Section Technique*” Proceeding Seminar Tugas Akhir Teknik Elektro FTI-ITS, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
6. SPLN No.59 : 1985, “Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV”, Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, 1985.
7. SPLN No.68-2 : 1986, “Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik Bagian dua: Sistem Distribusi”, Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, 1985.
8. <https://imaduddin.wordpress.com/feed/>. *Reliability (Keandalan) sistem tenaga listrik-Bagian I*
9. http://harpreventif.blogspot.com/favicon.ico_/recloser Pemeliharaan Preventif LBS & Recloser_files/recloser Pemeliharaan Preventif LBS & Recloser.
10. Cekdin. Cek mas, Sistem tenaga listrik contoh soal dan penyelesaiannya menggunakan MATLAB. Andi, Yogyakarta, 2007.



LAMPIRAN

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Kupang pada tanggal 01 Juni 1991 dari ayah Jhonny Sampe Limbong dan ibu Suzana Tadak. Penulis memulai pendidikan pada tahun 1997 di SD GMIT III Atambua dan lulus tahun 2003. Pertengahan tahun 2003 penulis menempuh pendidikan di SMP Negeri 1 Atambua sampai tahun 2006. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMKN Negeri 1 Atambua bidang Studi Teknik komputer dan Jaringan (TKJ) mulai tahun 2007 lulus tahun 2010 dan pada tahun yang sama penulis melanjutkan studi di perguruan tinggi Institut Teknologi Nasional Malang. Penulis memilih Program Studi Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Fakultas Teknologi Industri dan diwisuda pada tanggal 28 Maret 2015, dengan judul skripsi “Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Di PT. PLN (PERSERO) Wilayah NTT Area Kupang Menggunakan ETAP *Power Station*”.



PT.BNI(PERSERO)MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK
Kampus I :Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp. (0341)551431(Hunting), Fax (0341)553015 Malang 65145
Kampus II :Jl.Raya Karanglo, Km.2 Telp.(0341)417636 Fax (0341)417634 malang

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama : Jessy S Limbong
NIM : 12.12.903
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : **EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI
PT. PLN (PERSERO) WILAYAH NTT AREA KUPANG
MENGUNAKAN ETAP POWER STATION**

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :

Hari : Sabtu
Tanggal : 21 Februari 2015
Nilai : 80.2 (A)

Panitia Ujian Skripsi

Ketua Majelis Penguji

M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP.Y.1030100358

Sekretaris Majelis Penguji

Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST, MT
NIP.P.1030100361

Anggota Penguji,

Penguji I

Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT
NIP. 131991182

Penguji II

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP.Y.1038900209



Formulir Perbaikan Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi jenjang Strata satu (S-1) Jurusan Teknik Elektro konsentrasi Teknik Energi Listrik, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

Nama : Jessy Sampe Limbong

NIM : 12.12.903

Jurusan : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Judul Skripsi : **EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI
PT. PLN (PERSERO) WILAYAH NTT AREA KUPANG
MENGUNAKAN ETAP POWER STATION**

No	Materi Perbaikan		Paraf
1	Penguji I	- Flowchart Salah - Perlu di Mengerti Prinsip Kerja Recloser	
2	Penguji II		

Disetujui,

Penguji I

Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT
NIP.131991182

Penguji II

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP.Y.1038900209

Mengetahui,

Pembimbing I

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE
NIP.Y.1018500108

Pembimbing II

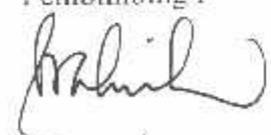
Bambang Prio Hartono, ST, MT
NIP.Y.10287400082



**BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik**

1.	Nim	: 1212903		
2.	Nama	: JESSY SAMPE LIMBONG		
3.	Konsentrasi Jurusan	: Teknik Energi Listrik		
4.	Jadwal Pelaksanaan:	Waktu	Tempat	
	21 Oktober 2014	09:00	III.1.1	
5.	Judul proposal yang diseminarkan Mahasiswa	EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20KV DI APJ MALANG DENGAN		
6.	Perubahan judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian			
7.	Catatan :			
8.	Catatan : - Konsisten dgn penulisan istilah contoh hantut atau arak kb - Jelaskan / tentukan data yg akan digunakan seluruh APJ atau bagian-bagian dari APJ -			
	Persetujuan judul Skripsi			
	Disetujui, Dosen Keahlian I	Disetujui, Dosen Keahlian II	Disetujui, Dosen Keahlian III	
	 (.....)	(.....)	(.....)	
Mengetahui, Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs			
	Pembimbing I	Pembimbing II		
 M. Ibrahim Ashari, ST, MT NIP. P 1030100358	(.....)	 (.....)		

**BERITA ACARA SEMINAR PROGRESS SKRIPSI
 PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1**

KONSENTRASI		T. ENERGI LISTRIK	
Nama Mahasiswa	JESSY SAMPE LIMBONG	NIM	1212903
Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat / Ruang
Pelaksanaan	10 Desember 2014		
Judul Skripsi	EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20KV DI APJ MALANG DENGAN Kumpang		
1. Perubahan Judul	Lokasi di Kumpang		
Catatan :			
(1) Flow chart di perbaiki (2) check tegang pemadaman pada feeder yg tinggi (3) Jalankan Power Flowing lebih parameter di daerah yg tinggi			
6. Mengetahui, Ketua Jurusan		Disetujui, Dosen Pembimbing	
 M. Ibrahim Asnari, ST, MT		Pembimbing I  Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE	Pembimbing II  Bambang Prio Hartono, ST, MT

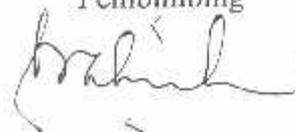
MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI
SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2014-2015

Nama Mahasiswa : Jessy S Limbong
 NIM : 12.12.903
 Nama Pembimbing : Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE
 Judul Skripsi : Evaluasi Keandalan Sistem 20 kV Di PT. PLN NTT
 Area Kupang Menggunakan ETAP

Minggu Ke-	Hari, Tanggal	Waktu Bimbingan	Materi Bimbingan	Paraf
1	Kamis, 13-11-2014	09.00	Data-data yang akan diambil di PT-PLN Kupang, berupa Data Load Flow	
2	Kamis, 4-12-2014	09.20	Data-data sudah didapat, Tahap awal mengerjakan di ETAP, berupa menggambar single line diagram.	
3	Kamis, 18-12-2014	09.00	Gambar single line dan semua penyulang di PT. PLN Kupang Total 15 penyulang.	
4	Selasa, 23-12-2014	11.57	Lengkapi data Kabel JTM, JTR, dan Kabel Rumah / Bangunan.	
5	Kamis, 4-2-2015	01.00	Simulasikan untuk menghitung semua indeks keandalan di seluruh feeder.	
6	Kamis, 11-2-2015	09.00	Setelah nilai indeks keandalan diketahui lakukan pemasangan Recloser di feeder yang belum sesuai standar PLN.	
7				

Malang,

Pembimbing

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE
NIP.1018500108