

SKRIPSI

**STUDI *LOSSES* DAN KEANDALAN JARINGAN DISTRIBUSI
TEGANGAN MENENGAH DI KAWASAN INDUSTRI
MAKASSAR (KIMA)**

Disusun dan diajukan oleh:

MUHAMMAD UMAR

D041 18 1320



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI LOSSES DAN KEANDALAN JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH DI KAWASAN INDUSTRI MAKASSAR (KIMA)

Disusun dan diajukan oleh:



MUHAMMAD UMAR

UNIVERSITAS HASANUDDIN

D041 18 1320

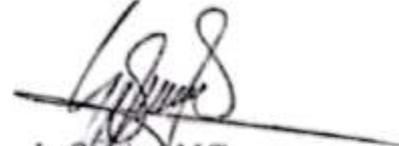
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 17 Juli 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

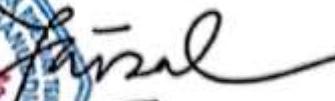
Menyetujui

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Prof. Dr. Ir. Salama Manjang, M.T.
NIP. 196212311990031024


Ir. Gassing, M.T.
NIP. 196007201987021001

Ketua Departemen Teknik Elektro

Prof. Dr. Ir. H. Pangala Samman IPU, ACPE, APEC Eng.
NIP. 19750605 200212 1 004



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Muhammad Umar
NIM : D041181320
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**STUDI *LOSSES* DAN KEANDALAN JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN
MENENGAH DI KAWASAN INDUSTRI MAKASSAR (KIMA)**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitnya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklasifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 23 September 2024

Yang Menyatakan

Muhammad Umar



ABSTRAK

MUHAMMAD UMAR. *Studi Losses Dan Keandalan Jaringan Distribusi Tegangan Menengah Pada Kawasan Industri Makassar (KIMA)* (dibimbing oleh Salama Manjang dan Gassing).

Kehilangan energi yang berupa rugi-rugi daya sulit untuk dihindari. Kerugian daya pada saluran distribusi sangat perlu diperhatikan karena dapat menyebabkan kehilangan daya yang besar. Besar daya yang hilang saat pen-distribusian harus dianalisa dan diantisipasi, sehingga daya yang hilang masih mencapai batas yang diperbolehkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sistem distribusi energi listrik yang menyuplai kelistrikan yang ada di jaringan distribusi tegangan menengah pada Kawasan Industri Makassar (KIMA), khususnya pada penyulang KIMA Baru yang meliputi rugi daya distribusi, keseimbangan beban trafo distribusi, dan kebutuhan kapasitor, serta analisis dari adanya perbaikan pada sistem distribusi. Pada penelitian ini dilakukan tujuh kali simulasi *load flow analysis* dengan menggunakan data pengukuran beban selama satu minggu, diperoleh rugi daya aktif tertinggi pada hari kelima saat beban puncak sebesar 69,72 kW, hari keempat sebesar 60,18 kW, hari keenam sebesar 57,17 kW, hari ketiga sebesar 56,93 kW, hari kedua sebesar 52,58 kW, hari pertama sebesar 51,28 kW, dan terakhir yang terkecil pada hari ketujuh sebesar 46,70 kW. Keseimbangan beban antar fasa dari 19 trafo yang menyuplai beban listrik di Penyulang KIMA Baru dimana ada 2 trafo dengan indikator penilaian (buruk), 5 trafo dengan indikator penilaian kurang, 7 Trafo dengan indikator penilaian cukup, dan 5 trafo dengan indikator penilaian baik. Perhitungan kebutuhan kapasitor yang telah dilakukan terdapat 7 dari 19 trafo dengan nilai power faktor dibawah 0,85 sesuai standar PLN dengan total kebutuhan kapasitor bank adalah 10 step kapasitor bank 50 kVAR. Analisis akibat dari adanya perbaikan faktor daya dan keseimbangan beban, dilakukan simulasi *load flow analysis* pada *software* ETAP menggunakan data beban penyulang KIMA baru saat kondisi beban puncak atau hari kelima pengukuran. simulasi *load flow analysis* pada *software* ETAP menggunakan data beban penyulang KIMA baru saat kondisi beban puncak atau hari kelima pengukuran menunjukkan total rugi – rugi daya sebelum perbaikan faktor daya dan keseimbangan beban sebesar 69,72201 kW, sedangkan sesudah perbaikan faktor daya dan keseimbangan beban sebesar 38,38060 kW terjadi pengematan total energi sebesar 31,34141 kW.

Kata kunci: Evaluasi, sistem distribusi, rugi daya, keseimbangan beban, kapasitor.

ABSTRACT

Energy loss in the form of power losses is difficult to avoid. Power losses on distribution lines are very noteworthy because they can cause large power losses. The amount of power lost during distribution must be analyzed and anticipated, so that the lost power still reaches the allowable limit. This study aims to evaluate the electrical energy distribution system that supplies electricity in the medium voltage distribution network in the Makassar Industrial Estate (KIMA), especially in the New KIMA extension which includes distribution power losses, distribution transformer load balance, and capacitor requirements, as well as analysis of improvements to the distribution system. In this study, seven load flow analysis simulations were carried out using load measurement data for one week, the highest active power loss was obtained on the fifth day when the peak load was 69.72 kW, the fourth day was 60.18 kW, the sixth day was 57.17 kW, the third day was 56.93 kW, the second day was 52.58 kW, the first day was 51.28 kW, and the smallest on the seventh day was 46.70 kW. The load balance between phases of 19 transformers that supply electrical loads in the New KIMA Repeater where there are 2 transformers with poor assessment indicators, 5 transformers with poor assessment indicators, 7 transformers with sufficient assessment indicators, and 5 transformers with good assessment indicators. Calculation of capacitor requirements that have been carried out there are 7 of 19 transformers with power factor values below 0.85 according to PLN standards with a total capacitor bank requirement of 10 step capacitor banks of 50 kVAR. Analysis of the consequences of improving the power factor and load balance, load flow analysis simulation is carried out on ETAP software using new KIMA repeater load data during peak load conditions or the fifth day of measurement. load flow analysis simulation on ETAP software using new KIMA repeater load data during peak load conditions or the fifth day of measurement shows total power losses before improving the power factor and load balance of 69.72201 kW, while after improving the power factor and load balance of 38.38060 kW there is a total energy saving of 31.34141 kW.

Keywords: Evaluation, distribution system, power loss, load balancing, capacitor.

KATA PENGANTAR

Assalamu'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Tiada kata yang mewakili perasaan penulis saat ini kecuali rasa syukur. Untuk itu, penulis ucapkan terima kasih kepada Tuhan Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya. Alhamdulillah atas hidayah dan inayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Penelitian ini yang berjudul : “STUDI *LOSSES* DAN KEANDALAN JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH DI KAWASAN INDUSTRI MAKASSAR (KIMA)”. Atas berkat dukungan moral dan materil yang diberikan dalam penyusunan Tugas Akhir, maka penulis mengucapkan terima kasih kepada.

1. **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.** selaku Rektor universitas Hasanuddin.
2. **Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Irsan Ramli, S.T, M.T** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Prof. Dr.-Ing. Ir. Faizal A Samman IPU, ACPE APEC Eng.** selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T** selaku pembimbing I dan Bapak **Ir. Gassing, M.T** selaku pembimbing II, yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, ide, serta gagasan dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak **Azran Budi Arief, S.T., M.T** selaku penguji I dan Ibu **Ir. Tajuddin Waris, M.T** selaku penguji II, yang telah meluangkan waktu dan memberikan saran dan kritikan yang membangun dalam penulisan skripsi ini, ide, serta gagasan dalam penyelesaian Proposal penelitian ini.
6. Orang tua yang selalu tiada hentinya mendoakan dan memberikan semangat, motivasi, serta dukungan kepada penulis sampai pada saat ini. Cinta dan kasih kedua orang tua yang mendorong penulis untuk terus maju menuju cita-cita dan impian penulis.
7. Keempat saudari dan ketiga saudara penulis yang tiada henti-hentinya memberikan semangat dan motivasi kepada penulis

8. Teman-teman seperjuangan Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Infrastruktur Ketenagalistrikan yang menemani penulis dalam kegiatan riset dan penelitian.
9. Teman-teman “CAL18RATOR” yang selama ini telah membantu, mendukung, dan kebersamai penulis selama perkuliahan dikampus merah putih. Teman-teman yang kebersamai “Berlari Meraih Mimpi” dan memberikan motivasi bahwa “Tak Ada yang Tak Mungkin Bila Kita Yakini”.
10. Saudara - saudara “D24GON Monyet-Monyet MAPALA 09 SMFT-UH” yang sama-sama berjuang di dikdas dan ormed ke-24 serta bermain dan belajar di green corner lanana 875 mdpl.
11. Saudara – saudara “TEKNIK 2018” yang senantiasa kebersamai proses yang dilalui penulis selama berkuliah.
12. Partner “Pengurus HME FT – UH Periode 2020/2021” yang senantiasa membantu dan menjadi teman diskusi penulis dalam menyelesaikan tanggung jawab sebagai koordinator pengembangan sumber daya mahasiswa.
13. Partner “Pengurus MAPALA 09 SMFT-UH 2021/2022” yang kebersamai penulis dalam merasakan dan memaknai ”More than Just Life” yang sebenarnya.
14. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini jauh dari kata sempurna dan masih terdapat beberapa kekurangan, oleh karena itu besar harapan atas saran dan kritik yang membangun untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini.

Gowa, 23 September 2024

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	16
1.1 Latar Belakang.....	16
1.2 Rumusan Masalah	17
1.3 Tujuan Penelitian.....	18
1.4 Manfaat penelitian.....	18
1.5 Batasan Masalah.....	18
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	19
2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	19
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	20
2.2.1 Ruang Lingkup Sistem Tenaga Listrik	22
2.2.2 Struktur Jaringan Distribusi Distribusi Tenaga Listrik.....	23
2.2.3 Kawat Penghantar Jaringan Distribusi Tenaga Listrik	26
2.3 Gardu Distribusi	31
2.3.1 Pengertian Umum Gardu Distribusi	31
2.3.2 Jenis-Jenis Gardu Distribusi	34
2.4 Susut Daya Listrik dan Jatuh Tegangan	37
2.4.1 Daya Listrik	37
2.4.2 Susut Daya Listrik	39
2.4.3 Jatuh Tegangan	41
2.5 Beban Penuh Transformator.....	42
2.5.1 Keseimbangan Beban Transformator	42
2.5.2 Perbaikan Faktor Daya.....	44
2.6 Keandalan Sistem Jaringan Distribusi.....	45

BAB III METODE PENELITIAN.....	48
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	48
3.1.1 Waktu Penelitian.....	48
3.1.2 Lokasi Penelitian.....	48
3.2 Variabel Penelitian	48
3.3 Alat Penelitian	49
3.4 Teknik Pengumpulan Data	49
3.4.1 Studi Literatur.....	49
3.4.2 Pengumpulan dan Pengolahan Data	49
3.5 Teknik Analisis.....	50
3.6 Diagram Penelitian	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1 Profil Gardu Induk dan Penyulang KIMA Baru	52
4.1.1 Data Diagram Satu Garis Penyulang KIMA Baru.....	52
4.1.2 Data Transformator Penyulang KIMA Baru	52
4.1.3 Data Arus Beban Penyulang KIMA Baru.....	55
4.1.4 Data Gangguan Pada Penyulang KIMA Baru	64
4.2 Simulasi Aliran Daya Pada <i>Software</i> ETAP.....	66
4.3 Perbaikan Rugi-rugi Daya (<i>Losses</i>) Pada Penyulang KIMA Baru.....	72
4.3.1 Analisis Pembebanan Pada Jaringan Distribusi KIMA Baru	72
A. Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM001.....	72
B. Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM011.....	74
C. Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM002.....	75
D. Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM005.....	76
E. Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM014.....	77
F. Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM006.....	78
G. Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM009.....	79
H. Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM010.....	81
I. Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM007.....	82
J. Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM008.....	83
K. Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM016.....	84
L. Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM015	85
M. Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM019.....	86
N. Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM017.....	88

O.	Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM018.....	89
P.	Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM012.....	90
Q.	Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM013.....	91
R.	Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM011.....	92
T.	Analisis Pembebanan Pada Gardu Distribusi PT – IKM.PB.KCP	94
4.3.2	Perbaikan Faktor Daya Pada Saluran Distribusi Tegangan Menengah Penyulang KIMA Baru.....	95
A.	Perbaikan Faktor Daya Pada Trafo PT – IKM001	96
B.	Pebaikan Faktor Daya Pada Trafo PT – IKM011	97
C.	Perbaikan Faktor Daya Pada Trafo PT – IKM009	97
D.	Perbaikan Faktor Daya Pada Trafo PT – IKM010	98
E.	Perbaikan Faktor Daya Pada Trafo PT – IKM015	99
F.	Perbaikan Faktor Daya Pada Trafo PT – IKM019	100
G.	Perbaikan Faktor Daya Pada Trafo PT – IKM018	101
4.3.3	Perbaikan Keseimbangan Arus Beban Pada Trafo	102
4.3.4	Simulasi Aliran Daya Setelah Perbaikan Faktor Daya Dan Perbaikan Keseimbangan Beban Pada <i>Softwere</i> ETAP	103
4.4	Perhitungan SAIDI dan SAIFI Pada Penyulang KIMA Baru	106
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		110
5.1	Kesimpulan.....	110
5.2	Saran.....	110
DAFTAR PUSTAKA		112
LAMPIRAN.....		114

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Struktur Dasar Sistem Tenaga Listrik	20
Gambar 2 Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR), dan Sambungan Rumah	21
Gambar 3 Pembagian/pengelompokan Tegangan Sistem Tenaga Listrik	23
Gambar 4 Gardu Induk.....	24
Gambar 5 Jaringan Distribusi Primer 20KV	24
Gambar 6 Gardu Distribusi Jenis Tiang.....	25
Gambar 7 Jaringan Distribusi Sekunder 220V	26
Gambar 8 Kawat Penghantar AAAC	28
Gambar 9 Kawat Penghantar ACSR.....	28
Gambar 10 Contoh Gambar Monogram Gardu Distribusi.....	32
Gambar 11 Penampang Fisik Gardu Distribusi	32
Gambar 12 Bagan Satu Garis Gardu Beton	34
Gambar 13 Gardu Mobil	36
Gambar 14 Segitiga Daya	38
Gambar 15 Rangkaian Ekuivalen Saluran Jarak Pendek	42
Gambar 16 Faktor Pengali Perbaikan Faktor Daya dengan Kapasitor	45
Gambar 17 Lokasi Penelitian	48
Gambar 18 Diagram alir penelitian.....	51
Gambar 19 Kurva beban penyulang KIMA Baru	63
Gambar 20 Kotak dialog pertama	66
Gambar 21 Membuat projek baru di ETAP	67
Gambar 22 Tampilan <i>user information</i> pada ETAP	68
Gambar 23 Tampilan utama <i>softwere</i> ETAP	69
Gambar 24 Grafik Nilai SAIDI.....	108
Gambar 25 Grafik Nilai SAIFI	109

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Sifat Logam Penghantar Jaringan Distribusi Tenaga Listrik.....	30
Tabel 2 Alat yang digunakan dalam penelitian.....	49
Tabel 3 Data transformator penyulang KIMA Baru.....	52
Tabel 4 Data pembebanan trafo PT – IKM001.....	55
Tabel 5 Data pembebanan trafo PT – IKM011.....	55
Tabel 6 Data pembebanan trafo PT – IKM002.....	56
Tabel 7 Data pembebanan trafo PT – IKM005.....	56
Tabel 8 Data pembebanan trafo PT – IKM014.....	56
Tabel 9 Data pembebanan trafo PT – IKM006.....	57
Tabel 10 Data pembebanan trafo PT – IKM009.....	57
Tabel 11 Data pembebanan trafo PT – IKM010.....	58
Tabel 12 Data pembebanan trafo PT – IKM007.....	58
Tabel 13 Data pembebanan trafo PT – IKM008.....	59
Tabel 14 Data pembebanan trafo PT – IKM016.....	59
Tabel 15 Data pembebanan trafo PT – IKM015.....	59
Tabel 16 Data pembebanan trafo PT – IKM019.....	60
Tabel 17 Data pembebanan trafo PT – IKM017.....	60
Tabel 18 Data pembebanan trafo PT – IKM018.....	61
Tabel 19 Data pembebanan trafo PT – IKM012.....	61
Tabel 20 Data pembebanan trafo PT – IKM013.....	62
Tabel 21 Data pembebanan trafo PT – IKM011.....	62
Tabel 22 Data pembebanan trafo PT – IKM.PB.KCP.....	62
Tabel 23 Data gangguan pada penyulang KIMA Baru.....	64
Tabel 24 Hasil Simulasi <i>Load Flow Analisis</i> Penyulang KIMA Baru.....	70
Tabel 25 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo PT – IKM001.....	74
Tabel 26 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo PT – IKM011.....	75
Tabel 27 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo PT – IKM002.....	76
Tabel 28 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo PT – IKM005.....	77
Tabel 29 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo PT – IKM014.....	78
Tabel 30 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo PT – IKM009.....	81
Tabel 31 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo PT – IKM010.....	82
Tabel 32 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo PT – IKM007.....	83
Tabel 33 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo PT – IKM008.....	84
Tabel 34 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo PT – IKM016.....	85
Tabel 35 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo PT – IKM015.....	86
Tabel 36 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo PT – IKM019.....	88
Tabel 37 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo PT – IKM017.....	89
Tabel 38 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo PT – IKM018.....	90
Tabel 39 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo PT – IKM012.....	91
Tabel 40 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo PT – IKM013.....	92
Tabel 41 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo PT – IKM011.....	93
Tabel 42 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo PT – IKM. PB.KCP.....	95
Tabel 43 Total Penggunaan Daya dan Power Faktor.....	95

Tabel 44 Perbandingan penggunaan daya setelah perbaikan power faktor trafo PT – IKM001	96
Tabel 45 Perbandingan penggunaan daya setelah perbaikan power faktor trafo PT – IKM011	97
Tabel 46 Perbandingan penggunaan daya setelah perbaikan power faktor trafo PT – IKM009	98
Tabel 47 Perbandingan penggunaan daya setelah perbaikan power faktor trafo PT – IKM010	99
Tabel 48 Perbandingan penggunaan daya setelah perbaikan power faktor trafo PT – IKM015	100
Tabel 49 Perbandingan penggunaan daya setelah perbaikan power faktor trafo PT – IKM019	100
Tabel 50 Perbandingan penggunaan daya setelah perbaikan power faktor trafo PT – IKM019	101
Tabel 51 Perbaikan keseimbangan beban	103
Tabel 52 Perbandingan Rugi – rugi daya sebelum dan sesudah perbaikan faktor daya dan perbaikan kesiimbangan beban	104
Tabel 53 SAIDI penyulang KIMA Baru per bulan tahun 2023.	107
Tabel 54 SAIFI penyulang KIMA Baru per bulan tahun 2023.....	109

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Single-line</i> Diagram Sistem Distribusi Energi Listrik Penyulang KIMA Baru	115
Lampiran 2. <i>Single-line</i> Diagram ETAP 12.6.0 Sistem Distribusi Energi Listrik Penyulang KIMA Baru	116
Lampiran 3. Hasil Simulasi <i>Load Flow Analysis</i> Pada <i>Software</i> ETAP.....	118
Lampiran 4. Daftar Data Mentah Dari P.T PLN ULP DAYA Makassar	160

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jaringan distribusi adalah suatu saluran atau jaringan yang menghubungkan dari sumber daya listrik besar (gardu induk) ke peralatan atau pemakai listrik baik terminal, industri dan substation. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*bulk power source*) sampai ke peralatan. Sistem distribusi daya listrik meliputi semua Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 KV dan semua Jaringan Tegangan Rendah (JTR) 380/220 Volt hingga ke kWh meter pelanggan. Pendistribusian daya listrik dilakukan dengan menarik kabel distribusi melalui penghantar ke tanah. Penghantar bawah tanah dari mulai gardu induk hingga ke pusat – pusat beban. Jadi untuk daerah ini tetap disuplai melalui hantaran bawah tanah 3 fasa 1 kabel. Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang paling penting bagi peralatan. (Shiddiq, 2018).

Mengingat perusahaan tenaga listrik PLN yang berdaya besar cenderung dibangun didaerah perkotaan dan areal pabrik dengan tujuan untuk mempermudah penyaluran tenaga listrik ke konsumen-konsumen. Proses penyaluran terdapat beberapa masalah, salah satu masalahnya yaitu rugi-rugi daya dan susut energi. Penyebab adanya rugi-rugi tersebut yaitu memiliki beberapa faktor diantaranya, kebocoran isolator adanya resistansi pada penghantar serta faktor jarak menuju beban yang terlalu jauh sehingga menimbulkan adanya daya yang hilang pada penghantar. Faktor lain yang mempengaruhi susut pada jaringan adalah panjang jaringan dan luas penampang konduktornya, dimana semakin panjang jaringan dengan penampang konduktor yang kecil, maka susut pada jaringan akan semakin besar.

Kehilangan energi yang berupa rugi-rugi daya sulit untuk dihindari. Kerugian daya pada saluran distribusi sangat perlu diperhatikan karena dapat menyebabkan kehilangan daya yang besar. Besar daya yang hilang saat pen-distribusian harus dianalisa dan diantisipasi, sehingga daya yang hilang masih mencapai batas yang diperbolehkan. Kekurangan energi listrik pada daerah

mengakibatkan tegangan merendah atau bisa mengakibatkan pemadaman listrik (Shiddiq, 2018). Keandalan sistem distribusi energi listrik juga sangat dipengaruhi oleh konfigurasi sistem, peralatan yang dipasang, dan sistem operasinya. Konfigurasi yang tepat, peralatan yang andal serta pengoperasian sistem yang otomatis akan memberikan penampilan sistem distribusi yang baik (Hartati dkk., 2007)

Berdasarkan dari uraian latar belakang di atas sehingga pada penelitian ini akan membahas tentang rugi-rugi daya dengan menggunakan software ETAP menghitung susut energi yang diakibatkan oleh rugi-rugi daya, serta menghitung tingkat keandalan jaringan distribusi tegangan menengah Kawasan Industri Makassar (KIMA) dengan menghitung *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) dan *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI). Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, maka akan dilakukan penelitian yang berjudul “ **Studi Losses Jaringan Distribusi Tegangan Menengah Di Kawasan Industri Makassar (KIMA)** “.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menghitung losses yang terjadi pada saluran distribusi tegangan menengah 20 kV pada gardu induk KIMA khususnya pada penyulang KIMA Baru pada saat beban puncak dengan simulasi pada *software* ETAP ?
2. Bagaimana cara mengurangi losses yang terjadi pada jaringan distribusi kawasan industri makassar (KIMA) ?
3. Bagaimana tingkat keandalan jaringan distribusi tegangan menengah Kawasan Industri Makassar (KIMA) dengan menghitung *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) dan *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini, yaitu :

1. Untuk menghitung besar rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran distribusi tegangan menengah 20 kV Gandu Induk main power house pada saat beban puncak dengan simulasi ETAP .
2. Merekonfigurasi jaringan distribusi untuk mengurangi *losses* yang terjadi pada jaringan distribusi kawasan industri makassar (KIMA).
3. Untuk mengetahui tingkat keandalan jaringan distribusi tegangan menengah Kawasan Industri Makassar (KIMA) dengan menghitung *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) dan *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) ?

1.4 Manfaat penelitian

1. Untuk mahasiswa, penelitian ini dilakukan untuk menambah wawasan tentang susut energi pada saluran distribusi tegangan menengah 20 kV, serta dijadikan referensi bagi kalangan akademis yang ingin menganalisa kerugian daya, kerugian energi, serta tingkat keandalan pada saluran distribusi tegangan menengah 20 kV.
2. Sebagai masukan bagi perusahaan untuk meminimalisir kerugian yang bisa terjadi khususnya kerugian daya.

1.5 Batasan Masalah

Pada skripsi ini, penulis hanya menghitung rugi-rugi daya (*losses*) menggunakan *software* pada saluran distribusi tegangan menengah 20 kV Gardu Induk Kawasan Industri Makassar. Menghitung *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) dan *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) secara manual pada saluran distribusi tegangan menengah 20 kV Gardu Induk Kawasan Industri Makassar. Data yang digunakan merupakan data yang diperoleh dari hasil observasi.

BAB II

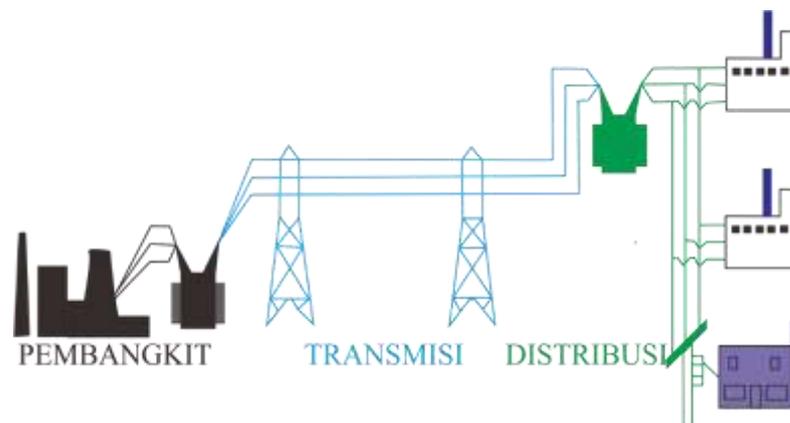
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Pada awal perkembangannya, teknologi energi listrik dari sumber energi terbarukan masih bersifat parsial. Baik energi air, angin, surya, ombak laut, biomassa, dan lain-lain masih dirancang- bangun untuk menghasilkan listrik guna mengatasi persoalan kekurangan listrik pada daerah tertentu saja. Kapasitas pembangkitan energi listriknya juga bervariasi dari ukuran kecil berukuran beberapa puluh watt hingga berukuran sedang, yaitu hingga mega watt. Akan tetapi, perkembangan selanjutnya sejak awal abad ke-21 ini telah dilakukan berbagai upaya melalui penelitian-penelitian yang komprehensif tentang bagaimana mengintegrasikan pembangkit- pembangkit listrik energi terbarukan dengan jaringan listrik yang sudah ada (*interconnection system*). Integrasi pembangkit- pembangkit listrik energi terbarukan dengan jaringan listrik terinterkoneksi inilah yang dikenal dengan istilah pembangkitan terdistribusi (*distributed generation, DG*)(Syahputra, 2016).

Sistem ketenagalistrikan secara umum merupakan suatu sistem yang terdiri dari lima sub sistem utama yaitu pembangkit listrik, sistem transmisi, Gardu Induk, sistem distribusi dan beban. Sistem ketenagalistrikan secara umum, sumber listrik berasal dari pembangkit tenaga listrik. Lokasi pembangkit listrik umumnya berada jauh dari sumber beban, sehingga untuk menyalurkan energi listrik yang telah dibangkitkan harus disalurkan melalui sistem transmisi. Energi listrik yang dibangkitkan tegangannya akan dinaikkan menggunakan transformator penaik tegangan untuk kemudian disalurkan melalui sistem transmisi menuju Gardu Induk untuk kemudian dapat disalurkan ke sumber beban. Tegangan ini dinaikkan dengan maksud untuk mengurangi jumlah arus yang mengalir pada saluran transmisi. Setelah daya listrik yang disalurkan mendekati sumber beban atau Gardu Induk, maka selanjutnya tegangan transmisi diturunkan melalui transformator penurun tegangan (*step-down transformer*) di Gardu Induk tersebut. Tegangan diturunkan menjadi tegangan menengah 20 kV untuk dapat disalurkan ke Gardu Distribusi. Kemudian dari Gardu Distribusi tegangan kembali diturunkan menjadi tegangan

rendah 220V/380 V sehingga selanjutnya dapat disalurkan melalui saluran distribusi menuju pusat-pusat beban (Wibowo, 2018).



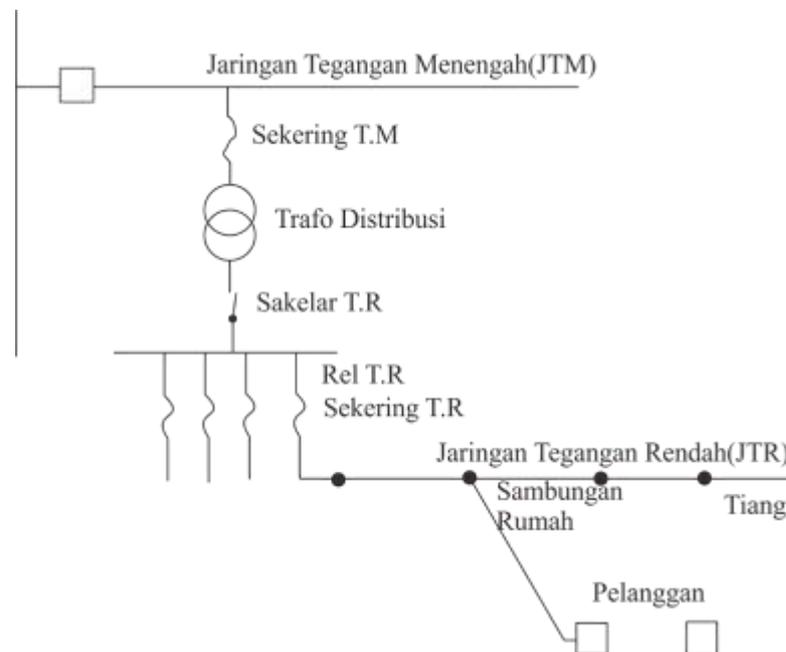
Gambar 1 Struktur Dasar Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik dikatakan sebagai kumpulan/gabungan yang terdiri dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem (Wibowo, 2018).

2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan adalah Sistem Distribusi. Sistem Distribusi adalah bagian sistem tenaga listrik yang paling banyak mengalami gangguan, sehingga masalah utama dalam Operasi Sistem Distribusi adalah mengatasi gangguan. Sistem Distribusi kebanyakan merupakan jaringan yang diisi dari sebuah Gardu Induk (GI) seperti ditunjukkan oleh gambar 2. Jaringan distribusi yang diisi dari sebuah GI pada umumnya tidak dihubungkan secara listrik dengan jaringan distribusi yang diisi dari GI yang lain, sehingga masing-masing jaringan distribusi beroperasi secara terpisah satu sama lain. Seperti terlihat pada gambar 2 Sistem Distribusi terdiri dari Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Baik JTM maupun JTR pada umumnya beroperasi secara radial. Dalam sistem yang perkembangannya masih baru, bebannya relatif masih rendah sehingga tidak diperlukan sistem transmisi (penyaluran). Dalam pengoperasian Sistem Distribusi, masalah yang utama adalah mengatasi gangguan karena jumlah gangguan dalam Sistem Distribusi adalah relatif

banyak dibandingkan dengan jumlah gangguan pada bagian Sistem yang Jain. Di samping itu masalah tegangan, bagian-bagian instalasi yang berbeban lebih dan rugi-rugi daya dalam jaringan merupakan masalah yang perlu dicatat dan dianalisa secara terus menerus, untuk dijadikan masukan bagi perencanaan pengembangan sistem dan juga untuk melakukan tindakan-tindakan penyempurnaan pemeliharaan dan penyempurnaan Operasi Sistem Distribusi (Marsudi, 2006).



Gambar 2 Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR), dan Sambungan Rumah

Sistem pendistribusian tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu sistem pendistribusian langsung dan sistem pendistribusian tak langsung (Suswanto, 2009).

1. Sistem Pendistribusian Langsung

Sistem pendistribusian langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan secara langsung dari Pusat Pembangkit Tenaga Listrik, dan tidak melalui jaringan transmisi terlebih dahulu. Sistem pendistribusian langsung ini digunakan jika Pusat Pembangkit Tenaga Listrik berada tidak jauh dari pusat beban, biasanya terletak daerah pelayanan beban atau dipinggiran kota.

2. Sistem Pendistribusian Tak Langsung

Sistem pendistribusian tak langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan jika Pusat Pembangkit Tenaga Listrik jauh dari pusat-pusat beban, sehingga untuk penyaluran tenaga listrik memerlukan jaringan transmisi sebagai jaringan perantara sebelum dihubungkan dengan jaringan distribusi yang langsung menyalurkan tenaga listrik ke konsumen.

2.2.1 Ruang Lingkup Sistem Tenaga Listrik

Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan seperti pada Gambar 4: (Suhadi, 2008)

- Daerah I : Bagian pembangkitan (Generation)
- Daerah II : Bagian penyaluran (Transmission) , bertegangan tinggi (HV,UHV,EHV)
- Daerah III : Bagian Distribusi Primer, bertegangan menengah (6 atau 20kV).
- Daerah IV : (Di dalam bangunan pada beban/konsumen), Instalasi, bertegangan rendah

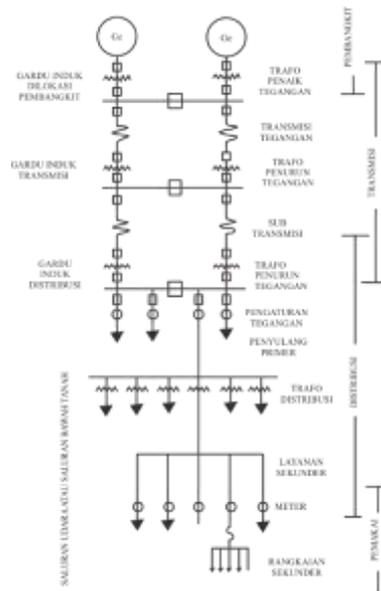
Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahui bahwa porsi materi Sistem Distribusi adalah Daerah III dan IV, yang pada dasarnya dapat diklasifikasikan menurut beberapa cara, bergantung dari segi apa klasifikasi itu dibuat. Dengan demikian ruang lingkup Jaringan Distribusi adalah:

SUTM, terdiri dari : Tiang dan peralatan kelengkapannya, konduktor dan peralatan per-lengkapannya, serta peralatan pengaman dan pemutus.

SKTM, terdiri dari : Kabel tanah, indoor dan outdoor termination, batu bata, pasir dan lain-lain.

Gardu trafo, terdiri dari : Transformator, tiang, pondasi tiang, rangka tempat trafo, LV panel, pipa-pipa pelindung, Arrester, kabel-kabel, transformer band, peralatan grounding, dan lain-lain.

SUTR dan SKTR terdiri dari: sama dengan perlengkapan/ material pada SUTM dan SKTM. Yang membedakan hanya dimensinya.



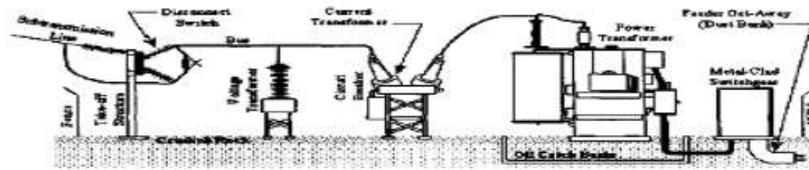
Gambar 3 Pembagian/pengelompokan Tegangan Sistem Tenaga Listrik

2.2.2 Struktur Jaringan Distribusi Distribusi Tenaga Listrik

Secara umum, saluran tenaga Listrik atau saluran distribusi dapat diklasifikasikan sebagai berikut: (Suswanto, 2009)

1. Gardu Induk atau Pusat Pembangkit Tenaga Listrik

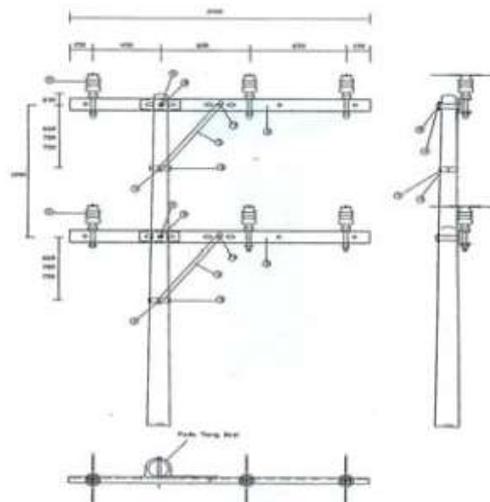
Pada bagian ini jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara langsung, maka bagian pertama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah Pusat Pembangkit Tenaga Listrik. Biasanya Pusat Pembangkit Tenaga Listrik terletak di pingiran kota dan pada umumnya berupa Pusat Pembangkit Tenaga Diesel (PLTD). Untuk menyalurkan tenaga listrik ke pusat-pusat beban (konsumen) dilakukan dengan jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara tak langsung, maka bagian pertama dari sistem pendistribusian tenaga listrik adalah Gardu Induk yang berfungsi menurunkan tegangan dari jaringan transmisi dan menyalurkan tenaga listrik melalui jaringan distribusi primer.



Gambar 4 Gardu Induk (Suswanto, 2009)

2. Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari Pusat Pembangkit Tenaga Listrik ke konsumen untuk sistem pendistribusian langsung. Sedangkan untuk sistem pendistribusian tak langsung merupakan tahap berikutnya dari jaringan transmisi dalam upaya menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi tegangan tinggi (JDTT) memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV. Untuk wilayah kota tegangan diatas 20 kV tidak diperkenankan, mengingat pada tegangan 30 kV akan terjadi gejala-gejala korona yang dapat mengganggu frekuensi radio, TV, telekomunikasi, dan telepon.



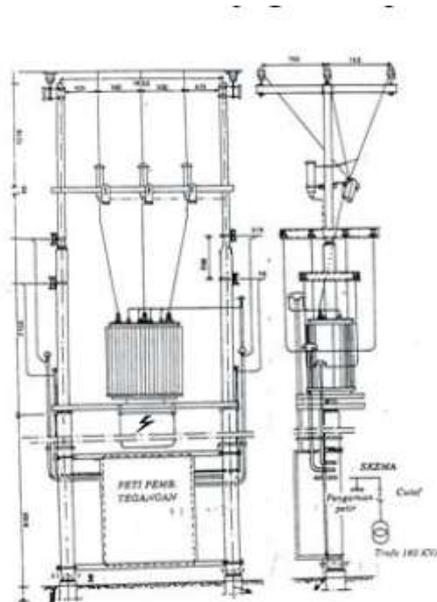
Gambar 5 Jaringan Distribusi Primer 20KV (Suswanto, 2009)

Sifat pelayanan sistem distribusi sangat luas dan kompleks, karena konsumen yang harus dilayani mempunyai lokasi dan karakteristik yang berbeda. Sistem

distribusi harus dapat melayani konsumen yang terkonsentrasi di kota, pinggiran kota dan konsumen di daerah terpencil. Sedangkan dari karakteristiknya ada konsumen perumahan dan konsumen dunia industri. Sistem konstruksi saluran distribusi terdiri dari saluran udara dan saluran bawah tanah. Pemilihan konstruksi tersebut didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut: alasan teknis yaitu berupa persyaratan teknis, alasan ekonomis, alasan estetika dan alasan pelayanan yaitu kontinuitas pelayanan sesuai jenis konsumen.

3. Gardu Pembagi/Gardu Distribusi

Berfungsi merubah tegangan listrik dari jaringan distribusi primer menjadi tegangan terpakai yang digunakan untuk konsumen dan disebut sebagai jaringan distribusi sekunder. Kapasitas transformator yang digunakan pada Gardu Pembagi ini tergantung pada jumlah beban yang akan dilayani dan luas daerah pelayanan beban. Bisa berupa transformator satu fasa dan bisa juga berupa transformator tiga fasa.

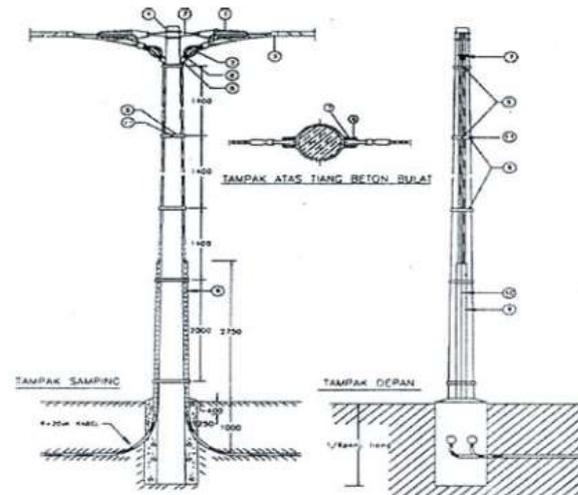


Gambar 6 Gardu Distribusi Jenis Tiang (Suswanto, 2009)

4. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR) merupakan jaringan tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan konsumen. Oleh karena itu besarnya tegangan untuk jaringan distribusi sekunder

ini 130/230 V dan 130/400 V untuk sistem lama, atau 230/400 V untuk sistem baru. Tegangan 130 V dan 30 V merupakan tegangan antara fasa dengan netral, sedangkan tegangan 400 V merupakan tegangan fasa dengan fasa.



Gambar 7 Jaringan Distribusi Sekunder 220V (Suswanto, 2009)

2.2.3 Kawat Penghantar Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Kawat penghantar penggunaannya dalam jaringan distribusi tenaga listrik berfungsi untuk menghantarkan arus listrik dari suatu bagian ke instalasi listrik lainnya atau bagian yang lain. Dalam pemilihan kawat penghantar harus memperhatikan beberapa sifat sebagai berikut :

1. Memiliki daya hantar yang tinggi,
2. Memiliki kekuatan tarik yang tinggi,
3. Memiliki berat jenis yang rendah,
4. Memiliki fleksibilitas yang tinggi,
5. Tidak cepat rapuh,
6. Memiliki harga yang murah.

Kawat penghantar untuk jaringan distribusi tenaga listrik biasanya dipilih dari logam yang mempunyai konduktivitas yang besar, keras dan mempunyai kekuatan tarik (tensile strength) yang besar, serta memiliki berat jenis yang rendah, logam yang tahan akan pengaruh proses kimia dan perubahan suhu serta

mempunyai titik cair yang lebih tinggi. logam yang tahan akan pengaruh proses kimia dan perubahan suhu serta mempunyai titik cair yang lebih tinggi. Untuk memenuhi syarat tersebut, kawat penghantar hendaknya dipilih suatu logam campuran (*alloy*), yang merupakan percampuran dari beberapa logam yang dipadukan menjadi satu logam. Logam campuran yang banyak digunakan untuk jaringan distribusi adalah kawat tembaga campuran (*copper alloy*) atau kawat aluminium campuran (*aluminium alloy*). Jenis bahan kawat penghantar yang dipergunakan dalam jaringan distribusi tenaga listrik, antara lain:

1. Kawat Penghantar berbahan Logam Murni.

Kawat penghantar yang terbuat hanya 1 (satu) jenis bahan saja, yaitu : tembaga atau aluminium. Contoh kawat penghantar berbahan logam murni adalah: AAC (*All Aluminium Conductor*) yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium

BCC (*Bare Copper Conductor*). yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium

2. Kawat Penghantar berbahan Logam Campuran.

Kawat penghantar yang terbuat lebih dari 1 (satu) jenis bahan saja, yaitu : tembaga dengan aluminium, tembaga dengan baja, aluminium dengan baja. Contoh kawat penghantar berbahan logam campuran adalah:

AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.

ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*), yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja .

ACAR (*Aluminium Conductor Alloy Reinforced*). yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

Bentuk kawat penghantar AAAC dapat dilihat pada gambar 9. sedangkan bentuk kawat penghantar ACSR dapat dilihat pada gambar 10. (Syufrijal dan Readysal Monantun, 2013)



Gambar 8 Kawat Penghantar AAAC



Gambar 9 Kawat Penghantar ACSR

Kawat penghantar pada jaringan distribusi tenaga listrik terbagi menjadi 4 (empat) jenis, yaitu kawat tembaga, kawat aluminium, kawat logam campuran, dan kawat logam paduan. (Syufrijal dan Readysal Monantun, 2013)

1. Kawat Tembaga

Tembaga murni merupakan logam liat berwarna kemerah-merahan, yang mempunyai tahanan jenis 0,0175 dengan berat jenis 8,9 dan titik cair sampai 1083° C, lebih tinggi dari kawat aluminium. Kawat tembaga ini mempunyai konduktivitas dan daya hantar yang tinggi. Kawat tembaga ini banyak dipakai untuk penghantar jaringan, tetapi bila dibandingkan dengan kawat aluminium untuk tahanan (resistansi) yang sama, kawat tembaga lebih berat sehingga harganya akan lebih mahal. Dengan berat yang sama, kawat aluminium mempunyai diameter yang lebih besar dan lebih panjang dibandingkan kawat tembaga. Dewasa ini cenderung kawat penghantar jaringan digunakan dari logam aluminium.

2. Kawat Aluminium

Aluminium merupakan logam yang berwarna keperak-perakan dan sangat ringan, beratnya kira-kira sepertiga dari tembaga, dan mempunyai tahanan jenis tiga

kali dari tembaga. Sifat logam alumunium ini mudah dibengkokkan karena lunaknya. Oleh karena itu kekuatan tarik dari kawat alumunium lebih rendah dari kawat tembaga, yaitu setengah dari kekuatan tarik kawat tembaga. Untuk itu kawat alumunium hanya dapat dipakai pada gawang (span) yang pendek, sedangkan untuk gawang yang panjang dapat digunakan kawat alumunium yang dipilin menjadi satu dengan logam yang sejenis maupun yang tidak sejenis, agar mempunyai kekuatan tarik yang lebih tinggi. Oleh karena itu kawat alumunium baik sekali digunakan sebagai kawat penghantar jaringan. Kelemahan kawat alumunium adalah tidak tahan pengaruh suhu, sehingga pada cuaca dingin regangan (*stress*) kawat akan menjadi kendor. Agar kekendoran regangan kawat lebih besar, biasanya dipakai kawat alumunium campuran (*alloy alumunium wire*) pada gawang yang panjang. Selain itu kawat alumunium tidak mudah dipatri (*disolder*) maupun di las dan tidak tahan akan air yang bergaram, untuk itu diperlukan suatu lapisan dari logam lain sebagai pelindung. Kawat alumunium ini banyak digunakan untuk jaringan distribusi sekunder maupun primer jarang sekali mengalami gangguan dari luar. Sedangkan untuk jaringan transmisi kawat yang digunakan adalah kawat alumunium campuran dengan diperkuat oleh baja (*Alumunium Conductor Steel Reinforced*) atau (*Alumunium Clad Steel*).

3. Kawat Logam Campuran

Kawat logam campuran merupakan kawat penghantar yang terdiri dari pencampuran beberapa logam tertentu yang sejenis guna mendapatkan sifat tertentu dari hasil pencampuran tersebut. Dalam proses pencampuran, sifat logam murni yang baik untuk kawat penghantar dipertahankan sesuai dengan aslinya. Proses pencampuran khusus untuk menghilangkan kelemahan dari logam tersebut. Jenis yang banyak digunakan untuk kawat penghantar logam campuran ini adalah kawat tembaga campuran (*copper alloy*) dan kawat alumunium campuran (*alloy alumunium*). Kawat tembaga campuran sedikit ringan dari kawat tembaga murni, sehingga harganya lebih murah. Kekuatan tarik kawat tembaga campuran ini lebih tinggi, sehingga dapat digunakan untuk gawang yang panjang. Sedangkan kawat alumunium campuran mempunyai kekuatan mekanis yang lebih tinggi dari kawat alumunium murni, sehingga banyak dipakai pada gawang yang lebih lebar. Kondiktivitasnya lebih besar serta mempunyai daya tahan yang lebih tinggi

terhadap perubahan suhu. mempunyai tahanan jenis 0,0175 dengan berat jenis 8,9 dan titik cair sampai 1083° C, lebih tinggi dari kawat alumunium.

4. Kawat Logam Paduan

Kawat logam paduan merupakan kawat penghantar yang terbuat dari dua atau lebih logam yang dipadukan sehingga memiliki kekuatan mekanis dan konduktivitas yang tinggi. Biasanya tujuan dari perpaduan antara logam tersebut digunakan untuk merubah atau menghilangkan kekurangan yang terdapat pada kawat penghantar dari logam murninya. Kawat logam paduan yang banyak digunakan adalah kawat baja yang berlapis dengan tembaga maupun alumunium. Karena kawat baja merupakan penghantar yang memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dari kawat alumunium maupun kawat tembaga, sehingga banyak digunakan untuk gawang yang lebar. Tetapi kawat tembaga ini memiliki konduktivitas yang rendah. Jenis kawat logam paduan ini antara lain kawat baja berlapis tembaga (*copper clad steel*) dan kawat baja berlapis alumunium (*alumunium clad steel*). Kawat baja berlapis tembaga mempunyai kekuatan mekanis yang besar dan dapat dipakai untuk gawang yang lebih lebar. Sedangkan kawat baja berlapis alumunium mempunyai kekuatan mekanis lebih ringan dari kawat baja berlapis tembaga, tetapi konduktivitasnya lebih kecil. Oleh karena itu banyak digunakan hanya untuk gawang yang tidak terlalu lebar. Untuk lebih jelasnya, sifat logam penghantar jaringan distribusi tenaga listrik dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Sifat Logam Penghantar Jaringan Distribusi Tenaga Listrik.

Macam Logam	BD	Tahanan jenis (m/cm)	Titik Cair (0C)	Resistansi (Ω)	Koefisien suhu (0K)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)
Alumunium	2,56	0,03	660	33,3	0,0038	15 - 23
Tembaga	8,95	0,0175	1083	57,14	0,0037	30 - 48
Baja	7,85	0,42	1535	10	0,0052	46 - 90
Perak	10,5	0,018	960	62,5	0,0036	
Kuningan	8,44	0,07	1000	14,28	0,0015	
Emas	19,32	0,022	1063	45,45	0,0035	

2.3 Gardu Distribusi

2.3.1 Pengertian Umum Gardu Distribusi

Gardu listrik pada dasarnya adalah rangkaian dari suatu perlengkapan hubung bagi ; a) PHB tegangan menengah; b) PHB tegangan rendah. Masing-masing dilengkapi gawai-gawai kendali dengan komponen proteksinya. Jenis-jenis gardu listrik atau gardu distribusi didesain berdasarkan maksud dan tujuan penggunaannya sesuai dengan peraturan Pemda setempat, yaitu: 1) Gardu Distribusi konstruksi beton (Gardu Beton); 2) Gardu Distribusi konstruksi metal clad (Gardu besi); 3a) Gardu Distribusi tipe tiang portal, 3b) Distribusi tipe tiang cantol (Gardu Tiang); dan 4a) Gardu Distribusi mobil tipe kios, 4b) Gardu Distribusi mobil tipe trailer (Gardu Mobil).

Komponen-komponen gardu: a) PHB sisi tegangan rendah; b) PHB pemisah saklar daya); c) PHB pengaman transformator); d) PHB sisi tegangan rendah; e) Pengaman tegangan rendah; f) Sistem pembumian; g) alat-alat indikator.

Instalasi perlengkapan hubung bagi tegangan rendah berupa PHB TR atau rak TR terdiri atas 3 bagian, yaitu : 1) Sirkit masuk + sakelar; 2) Rel pembagi; 3) Sirkit keluar + pengaman lebur maksimum 8 sirkit.

Spesifikasi mengikuti kapasitas transformator distribusi yang dipakai. Instalasi kabel daya dan kabel kontrol, yaitu KHA kabel daya antara kubikel ke transformator minimal 125 % arus beban nominal transformator. Pada beban konstruksi memakai kubikel TM single core Cu : $3 \times 1 \times 25 \text{ mm}^2$ atau $3 \times 1 \times 35 \text{ mm}^2$. Antara transformator dengan Rak TR memakai kabel daya dengan KHA 125 % arus nominal. Pada beberapa instalasi memakai kabel inti tunggal masing-masing kabel perfasa, $\text{Cu } 2 \times 3 \times 1 \times 240 \text{ mm}^2 + 1 \times 240 \text{ mm}^2$. (Suhadi, 2008)

- Meneliti kesesuaian hasil pelaksanaan dengan rancangan bahan referensi adalah persyaratanpersyaratan teknis pada rancangan surat perintah kerja.
 - Meneliti kesesuaian spesifikasi teknis dengan material yang terpasang.
2. Uji fisik hasil pelaksanaan.
 - Meneliti apakah hasil pelaksanaan telah memenuhi per- syaratan fisik hasil pekerjaan (kokoh, tidak goyang) tekukan, belokan kabel dan lain-lain.
 - Meneliti mekanisme kerja peralatan.
 - Meneliti kebenaran pengkabelan, pengawatan instalasi listrik.
 - Meneliti kekencangan ikatan-ikatan mur, baut, konektor dan lain-lain.
 - Meneliti kabel-kabel instalasi tidak menahan beban mekanik selain beban sendiri.
 - Meneliti pengkabelan (wiring) instalasi kontrol.
 3. Uji Ketahanan Isolasi
 - Melakukan uji ketahanan isolasi dengan alat megger pada tiap antar fasa dan fasa tanah (referensi PUIL 1 volt = 1 kilo ohm) pada sisi TM dan TR.
 - Uji dilakukan juga pada transformator.
 4. Uji ketahanan Impulse
 - Melakukan uji withstand test 50 k J per 1 menit
 5. Uji Power Frekuensi
 - Melakukan uji tegangan 24 kV selama 15 menit.
 6. Uji alat proteksi -Uji fisik pengaman lebur dengan multi meter -Uji Rak proteksi (jika ada)
 7. Uji alat-alat kontrol
 - Setelah dioperasikan uji unjuk kerja alat-alat kontrol (lampu, voltmeter, ampere meter). Hasil uji laik didokumenkan untuk izinoperasional.
 8. Instalasi untuk pelanggan tegangan menengah, hanya ditambah:
 - Satu sel kubikel transformator tegangan
 - Satu sel kubikel sambungan pelanggan dengan fasilitas.
 - Circuit breaker yang bekerja etas dater batas arus nominal. Daya tersambung pelanggan.
 - Transformator arus.
 - Satu sel kubikel untuk sambungan kabel milik pelanggan

- a. Tegangan perencanaan 25 kV;
- b. Power frekuensi withstand voltage 50 kV untuk 1 menit;
- c. Impulse withstand voltage 125 kV;
- d. Arus nominal 400A; e) Arus nominal transformator 50A;
- e. Arus hubung singkat dalam 1 detik 12,5 kA;
- f. Short circuit making current 31,5 kA.

Komponen tegangan rendah (contoh rujukan PHB tegangan rendah), yaitu;

- a. Tegangan perencanaan 414 Volt(fasa-fasa);
- b. Power frekuensi withstand 3 kV untuk 1 menit test fasa-fasa;
- c. Impulse withstand voltage 20 kV;
- d. Arus perencanaan rel/busbar 800 A, 1.200 A, 1.800 A;
- e. Arus perencanaan sirkit keluar 400A;
- f. Test ketahanan tegangan rendah.

Harga Efektif (RMS)

Rel	(Waktu 0,5 detik)	Peak
800 A	16 kA	32 kA
1200 A	25 kA	52 kA
1800 A	32 kA	72 kA

2. Gardu metal clad (Gardu besi)

Yaitu gardu distribusi yang bangunan pelindungnya terbuat dari besi. Gardu besi termasuk gardu jenis pasangan dalam, karena pada umumnya semua peralatan penghubung/pemutus, pemisah dan trafo distribusi terletak di dalam bangunan besi. Semua peralatan tersebut sudah di instalasi di dalam bangunan besi, sehingga dalam pembangunannya pelaksana pekerjaan tinggal menyiapkan pondasinya saja. (Suhadi, 2008)

3. Gardu Tiang Tipe Portal.

Gardu Tiang, yaitu gardu distribusi yang bangunan pelindungnya/penyangganya terbuat dari tiang. Dalam hal ini trafo distribusi terletak di bagian atas tiang. Karena trafo distribusi terletak pada bagian atas tiang, maka gardu tiang hanya dapat melayani daya listrik terbatas, mengingat berat trafo yang relatif tinggi,

Bagian pengukuran sisi tegangan tinggi, bagian trafo distribusi dan bagian panel sisi tegangan rendah.

Keterangan gambar:

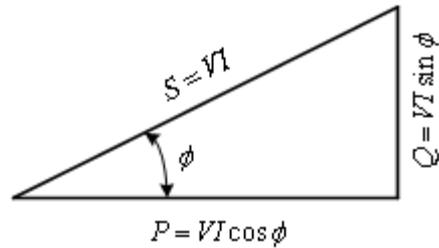
- | | | |
|-------------------|-------------------|----------------------|
| 1. Saklar pemisah | 6. Pengubah tap | 11. Saklar Pemisah |
| 2. Penyalur Petir | 7. Pemutus | 12. Poros berganda |
| 3. Pemutus | 8. Kotak control | 13. Gudang peralatan |
| 4. Isolator | 9. Trafo bantu | |
| 5. Transformator | 10. Baterai Nikad | |

Pada gardu beton dan gardu metal bagian-bagian tersebut tersekat satu dengan lainnya, sedang pada gardu tiang panel distribusi tegangan rendah diletakkan pada bagian bawah tiang. Pada gardu distribusi, sistem pengaman yang digunakan umumnya berupa arrester untuk mengantisipasi tegangan lebih (over voltage), kawat tanah (ground wire) untuk melindungi saluran fasa dari sambaran petir dan sistem pentanahan untuk menetralsir muatan lebih, serta sekring pada sisi tegangan tinggi (fuse cut out) untuk memutus rangkaian jika terjadi arus lebih (beban lebih). (Suhadi, 2008)

2.4 Susut Daya Listrik dan Jatuh Tegangan

2.4.1 Daya Listrik

Daya listrik adalah hasil kali antara tegangan dan arus listrik. Dalam implementasinya, terdapat beberapa jenis daya yang digambarkan dalam sebuah grafik fungsi yang biasa disebut sebagai segitiga daya. Segitiga daya merupakan grafik hubungan yang terbentuk oleh tiga jenis daya yang diawali dari besaran listrik yang terjadi saat proses penyaluran, seperti tegangan dan arus listrik karena saat proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit menuju konsumen, akan terdapat arus yang mengalir pada penghantar yang menghasilkan medan magnet dan terbentuklah nilai induktansi (L) selanjutnya pada penghantar tersebut juga terdapat tegangan yang menyebabkan terjadinya medan magnet sehingga timbulah nilai kapasitansi (C). (Marniati, 2018)



Gambar 14 Segitiga Daya

Berdasarkan Gambar 15 dijelaskan jenis – jenis daya yang biasanya muncul dalam sistem penyaluran tenaga listrik yaitu :

Daya Nyata / Daya Aktif

Daya nyata merupakan daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya. (Marniati, 2018)

$$L - N / 1 \text{ fasa ; } P = V_{L-N} \times I \times \cos \phi \quad (1)$$

$$L - L / 3 \text{ fasa ; } P = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \times \cos \phi \quad (2)$$

Dimana:

V_{L-L} = Tegangan line-line (V)

V_{L-N} = Tegangan line-netral (V)

I = Arus yang melalui penghantar (A)

$\cos \phi$ = Faktor daya

P = Daya Nyata

Daya Semu

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar. (Marniati, 2018)

$$L - N / 1 \text{ fasa ; } S = V_{L-N} \times I \quad (3)$$

$$L - L / 3 \text{ fasa ; } S_3 = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \quad (4)$$

Dimana:

S = Daya Semu (VA)

I = Arus yang melalui penghantar (A)

V_{L-L} = Tegangan line-line (V)

V_{L-N} = Tegangan line-netral (V) Daya Reaktif

Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar itu sendiri, dimana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan panas. Daya reaktif ini adalah hasil kali antara besarnya arus dan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor daya. (Marniati, 2018)

$$L - N / 1 \text{ fasa ; } Q = V_{L-N} \times I \times \sin \phi \quad (5)$$

$$L - L / 3 \text{ fasa ; } Q = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \times \sin \phi \quad (6)$$

Dimana :

V_{L-L} = Tegangan line-line (V)

V_{L-N} = Tegangan line-netral (V)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (A)

$\sin \phi$ = Faktor daya

Q = Daya Reaktif (VAR)

2.4.2 Susut Daya Listrik

Rugi Daya (losses) dalam sistem kelistrikan merupakan sesuatu yang sudah pasti terjadi. Pada dasarnya, rugi daya adalah selisih antara jumlah energi listrik yang dibangkitkan dengan jumlah energi listrik yang sampai ke konsumen. Menurut Surat Keputusan Menteri Keuangan Nomor: 431/KMK.06/2002 (2002:4), "Rugi daya adalah gangguan dalam sistem dimana sejumlah energi yang hilang dalam

proses pengaliran listrik mulai dari gardu induk sampai ke konsumen. Apabila tidak terdapat gardu induk, rugi daya dimulai dari gardu distribusi sampai dengan konsumen” Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa rugi daya merupakan daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik utama ke suatu beban seperti ke rumah-rumah, ke gedung-gedung dan lain sebagainya. Dalam setiap penyaluran daya listrik ke beban, terdapat rugirugi daya yang diakibatkan oleh faktor-faktor tertentu seperti jarak saluran listrik ke beban yang terlalu jauh, yang juga akan berakibat bertambah besarnya tahanan saluran kabel yang digunakan. (Naim et al., 2022)

Susut daya atau hilang daya atau rugi daya listrik adalah berkurang atau hilangnya pasokan daya pada proses pengiriman daya listrik dari sumber (pembangkit) kepada beban (konsumen) pada penghantar. Susut daya listrik untuk saluran tiga fasa dinyatakan oleh persamaan : (Marniati, 2018)

$$PL = 3I^2R_{Total} \quad (7)$$

Dimana :

PL = Susut Daya (Watt)

R = Tahanan kawat per fasa (Ω / Km)

I = Arus beban (A)

Penyaluran daya listrik pada jaringan distribusi primer dipengaruhi oleh parameter resistansi, induktansi dan kapasitansi, ketiga parameter ini mengakibatkan terjadinya jatuh tegangan dan susut daya. Untuk panjang jaringan yang pendek pengaruh kapasitansi dapat diabaikan. Menurut Stevenson, William, 1994.

Untuk mencari tahanan saluran dapat dicari dengan persamaan:

$$R_{total} = R \times l \quad (8)$$

Dimana:

R_{total} = tahanan saluran (Ω)

R = resistansi (Ω /Km)

l = panjang saluran (Km)

Susut daya atau hilang daya seperti yang dinyatakan diatas dihitung atas dasar I (arus) pada waktu tertentu. Berdasarkan SPLN 1:1978 sebuah jaringan tegangan menengah (JTM) dengan kriteria susut daya yang dapat diizinkan tidak boleh lebih dari 2%. Efisiensi atau daya guna saluran adalah perbandingan antara daya yang diterima dan daya yang disalurkan. Adapun efisiensi dinyatakan oleh persamaan : (Marniati, 2018)

$$\eta = \frac{Pr}{Ps} \times 100\% \quad (9)$$

$$\eta = \frac{Pr}{Pr+Pl} \times 100\% \quad (10)$$

Dimana :

Pr = Daya yang diterima (kW)

Ps = Daya yang dikirimkan (kW)

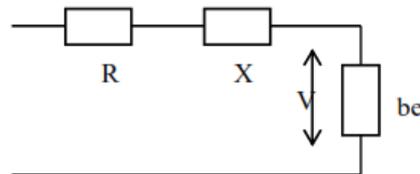
η = Efisiensi daya (%)

PL = Rugi-rugi daya (kW)

2.4.3 Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran volt. Besarnya batas atas dan batas bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. PT. PLN mengatur standar jatuh tegangan dalam SPLN no. 72 tahun 1987 yaitu turun tegangan yang diperbolehkan pada JTM dan JTR adalah 2 % dari tegangan kerja untuk sistem spindel dan 5% dari tegangan kerja untuk sistem radial di atas tanah dan sistem simpul tergantung kepadatan beban. Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah, masalah induktansi dan kapasitansi diperhitungkan karena nilainya cukup berarti. (Naim et al., 2022)

Untuk saluran udara yang kapasitansinya dapat diabaikan disebut dengan saluran pendek. Secara umum, hal ini diterapkan pada sistem yang tegangannya sampai dengan 66 kv dan panjangnya mencapai 50 miles (80,5 km). Oleh sebab itu, rangkaian ekivalennya terdiri dari tahanan dan reaktansi yang tersambung seri seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini : (Naim et al., 2022)



Gambar 15 Rangkaian Ekivalen Saluran Jarak Pendek

Jatuh tegangan pada sistem distribusi mencakup jatuh tegangan pada penyulang tegangan menengah, transformator distribusi, penyulang jaringan tegangan rendah, sambungan rumah, dan Instalasi rumah. Sesuai dengan definisi jatuh tegangan adalah : (Naim et al., 2022)

$$\Delta V = |V_k| - |V_t| \quad (11)$$

Dimana :

V_k = nilai mutlak tegangan ujung kirim

V_t = nilai mutlak tegangan ujung terima

2.5 Beban Penuh Transformator

2.5.1 Keseimbangan Beban Transformator

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (12)$$

Dimana :

S = daya transformator (kVA)

V = tegangan sisi primer (kV)

I = arus jala -jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh dapat menggunakan rumus :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (13)$$

Dimana :

S = daya transformator (kVA)

I_{FL} = arus beban penuh (A)

V = tegangan sisi sekunder (V)

Arus rata rata siang dan malam dapat dihitung dengan:

$$I_r = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (14)$$

Persentasi pembebanan taransformator adalah :

$$\frac{I_{rata\ rata}}{I_{FL}} \times 100 \% \quad (15)$$

jika [I] adalah besaran arus phase dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan yang tidak seimbang besarnya arus – arus phase dapat dinyatakan dengan keofisien a, b, c sebagai berikut :

$$I_R = a \times I_r \text{ maka } a = \frac{I_R}{I_r} \quad (16)$$

$$I_S = b \times I_r \text{ maka } b = \frac{I_S}{I_r} \quad (17)$$

$$I_T = c \times I_r \text{ maka } c = \frac{I_T}{I_r} \quad (18)$$

Dengan I_R , I_S dan I_T berturut – turut adalah arus di fasa R, S dan T. Koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana pada keaadaan seimbang besarnya koefisien a, b, dan c adalah 1. Maka rata – rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah :

$$I_x = \frac{[a-1] + [b-1] + [c-1]}{3} \times 100\% \quad (19)$$

Dimana :

a = kofiesien ketidakseimbangan arus beban fasa R

b = koefisien ketidakseimbangan arus beban fasa S

c = koefisien ketidakseimbangan arus beban fasa T

I_x = rata – rata ketidakseimbangan beban (%)

2.5.2 Perbaikan Faktor Daya

Jika kapasitor dihubungkan secara paralel pada saluran, maka kapasitor akan memberi arus reaktif untuk mengimbangi arus yang diambil oleh beban induktif. Kapasitor *shunt* akan memberikan arus *leading* dengan menghitung sebagian atau seluruh komponen *lagging* dari arus beban induktif pada tempat di mana kapasitor itu terpasang.

1. Fungsi kapasitor adalah untuk memperbaiki faktor daya (Cos phi) karena adanya penggunaa beban-beban induktif seperti motor-motor listrik.
2. Kapasitor bisa menghemat penggunaan listrik pada beban-beban induktif tapi tidak pada beban-beban resistif.
3. PLN menetapkan aturan denda bagi pelanggan dengan daya 200 kVA ke atas jika cos phi rata-rata perbulan di bawah 0.85
4. Pelanggan dengan daya di bawah 200 kVA tidak dikenakan denda akibat kekurangan faktor daya sebagaimana pada point nomor 3. Jadi tidak ada gunanya menambah kapasitor dengan maksud menghindari denda PLN jika faktor daya pelanggan berada di atas 0.85

Cos ϕ Awal	Target cos ϕ yang ingin dicapai									
	cos ϕ (0.90)	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
0.40	1.805	1.832	1.861	1.895	1.924	1.959	1.998	2.037	2.085	2.146
0.41	1.742	1.769	1.798	1.831	1.840	0.896	1.935	1.973	2.021	2.082
0.42	1.681	1.709	1.738	1.771	1.800	1.836	1.874	1.913	1.961	2.022
0.43	1.624	1.651	1.680	1.713	1.742	1.778	1.816	1.855	1.903	0.964
0.44	1.558	1.585	1.614	1.647	1.677	1.712	1.751	1.790	1.837	1.899
0.45	1.501	1.532	1.561	1.592	1.626	1.659	1.695	1.737	1.784	1.846
0.46	1.446	1.473	1.502	1.533	1.567	1.600	1.636	1.677	1.725	1.786
0.47	1.397	1.425	1.454	1.485	1.519	1.532	1.588	1.629	1.677	1.758
0.48	1.343	1.370	1.400	1.430	1.461	1.497	1.534	1.575	1.625	1.681
0.49	1.297	1.326	1.355	1.386	1.420	1.453	1.489	1.530	1.578	1.639
0.50	1.248	1.276	1.303	1.337	1.369	1.403	1.441	1.481	1.529	1.590
0.51	1.202	1.230	1.257	1.291	1.323	1.357	1.395	1.435	1.483	1.544
0.52	1.160	1.188	1.215	1.249	1.281	1.315	1.353	1.393	1.441	1.502
0.53	1.116	1.144	1.171	1.205	1.237	1.271	1.309	1.349	1.397	1.458
0.54	1.075	1.103	1.130	1.161	1.196	1.230	1.268	1.308	1.356	1.417
0.55	1.035	1.063	1.090	1.124	1.156	1.190	1.228	1.268	1.316	1.377
0.56	0.995	1.020	1.051	1.085	1.117	1.151	1.189	1.229	1.277	1.338
0.57	0.958	0.986	1.013	1.047	1.079	1.113	1.151	1.191	1.239	1.300
0.58	0.921	0.949	0.976	1.010	1.042	1.076	1.114	1.154	1.202	1.263
0.59	0.884	0.912	0.939	0.973	1.005	1.039	1.077	1.117	1.165	1.226
0.60	0.819	0.878	0.905	0.939	0.971	1.005	1.043	1.083	1.131	1.192
0.61	0.815	0.843	0.870	0.904	0.936	0.970	1.008	1.048	1.096	1.157
0.62	0.781	0.809	0.836	0.870	0.902	0.936	0.974	1.014	1.062	1.123
0.63	0.719	0.777	0.801	0.838	0.870	0.904	0.942	0.982	1.030	1.091
0.64	0.716	0.744	0.771	0.805	0.837	0.871	0.909	0.949	0.997	1.058
0.65	0.685	0.713	0.740	0.774	0.806	0.840	0.878	0.916	0.966	1.007
0.66	0.651	0.682	0.709	0.743	0.775	0.809	0.847	0.887	0.939	0.996
0.67	0.624	0.652	0.679	0.713	0.745	0.779	0.817	0.857	0.905	0.966
0.68	0.595	0.623	0.650	0.681	0.716	0.750	0.788	0.828	0.876	0.937
0.69	0.565	0.593	0.620	0.651	0.686	0.720	0.758	0.798	0.843	0.907
0.70	0.536	0.561	0.591	0.625	0.657	0.691	0.729	0.780	0.811	0.878
0.71	0.508	0.536	0.563	0.597	0.629	0.663	0.701	0.774	0.783	0.850
0.72	0.479	0.507	0.534	0.568	0.600	0.631	0.672	0.712	0.754	0.821
0.73	0.452	0.480	0.507	0.541	0.573	0.607	0.645	0.685	0.727	0.794
0.74	0.425	0.453	0.480	0.514	0.546	0.580	0.618	0.658	0.700	0.767
0.75	0.398	0.426	0.453	0.487	0.519	0.553	0.591	0.631	0.673	0.740
0.75	0.371	0.399	0.426	0.460	0.492	0.526	0.564	0.604	0.652	0.713
0.77	0.345	0.373	0.400	0.431	0.466	0.500	0.538	0.578	0.620	0.687
0.78	0.319	0.347	0.374	0.408	0.440	0.474	0.511	0.552	0.594	0.661
0.79	0.292	0.320	0.347	0.381	0.413	0.447	0.485	0.525	0.567	0.634
0.80	0.266	0.291	0.321	0.355	0.387	0.421	0.459	0.499	0.541	0.608
0.81	0.240	0.268	0.295	0.329	0.361	0.395	0.433	0.473	0.515	0.658
0.82	0.214	0.242	0.269	0.303	0.335	0.369	0.407	0.447	0.489	0.556
0.83	0.188	0.216	0.243	0.277	0.309	0.343	0.381	0.421	0.463	0.530
0.84	0.162	0.190	0.217	0.251	0.283	0.317	0.355	0.395	0.437	0.504
0.85	0.136	0.161	0.191	0.225	0.257	0.291	0.329	0.369	0.417	0.478
0.86	0.109	0.140	0.167	0.198	0.230	0.261	0.301	0.343	0.390	0.450
0.87	0.083	0.114	0.141	0.172	0.201	0.238	0.275	0.317	0.361	0.424
0.88	0.054	0.085	0.112	0.143	0.175	0.209	0.246	0.288	0.335	0.395
0.89	0.028	0.059	0.086	0.117	0.149	0.183	0.230	0.262	0.309	0.369
0.90		0.031	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.234	0.281	0.341

Gambar 16 Faktor Pengali Perbaikan Faktor Daya dengan Kapasitor

2.6 Keandalan Sistem Jaringan Distribusi

Definisi keandalan (reliability) secara umum merupakan kemampuan sistem dapat berfungsi dengan baik untuk jangka waktu tertentu. Ukuran keandalan dapat dinyatakan dengan seberapa sering sistem mengalami pemadaman, berapa lama pemadaman terjadi dan berapa cepat waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan kondisi dari pemadaman yang terjadi. Sistem yang mempunyai keandalan yang tinggi akan mampu memberikan tenaga listrik setiap saat dibutuhkan, sedangkan sistem yang mempunyai keandalan rendah akan

menyebabkan sering terjadinya pemadaman. Keandalan sistem distribusi sangat dipengaruhi oleh gangguan yang terjadi pada sistem yang menyebabkan terjadinya pemutusan beban atau outage, sehingga berdampak pada kontinuitas ketersediaan pelayanan tenaga listrik ke pelanggan. Tingkat keandalan pada sistem distribusi listrik dapat dilihat dari frekuensi terjadinya pemutusan beban (outage), berapa lama pemutusan terjadi dan waktu yang dibutuhkan untuk pemulihan sistem dari pemutusan yang terjadi (restoration). Tingkat pemutusan yang terjadi ini berbanding terbalik dengan keandalan sistem. Frekuensi pemutusan beban yang tinggi akan mengakibatkan keandalan sistem yang rendah. (Imran & Bintoro, 2019)

Indek nilai keandalan Keandalan dari pelayanan konsumen dapat dinyatakan dalam beberapa indeks yang biasanya digunakan untuk mengukur keandalan dari suatu sistem. Adapun indeks tersebut, diantaranya : (Imran & Bintoro, 2019)

1. Laju kegagalan

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

$$\lambda = \frac{f}{T} \quad (20)$$

Dimana:

λ = Angka kegagalan (kali/tahun)

f = Banyaknya kegagalan

T = Selang waktu pengamatan (1 tahun)

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

Nilai indeks ini didefinisikan sebagai jumlah rata-rata gangguan sistem yang terjadi per pelanggan yang dilayani oleh sistem per satuan waktu (umumnya pertahun). Indeks ini ditentukan dengan persamaan :

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah dari perkalian angka kegagalan dan pelanggan padam}}{\text{Jumlah pelanggan total}}$$

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i \cdot N_i}{\sum N_t} \quad (21)$$

Dimana:

λ_i = Angka kegagalan pada saluran i

N_i = Jumlah pelanggan pada saluran i

N_t = Jumlah pelanggan yang dilayani keseluruhan

standar nilai SAIFI menurut SPLN NO 68-2 1986 yaitu sebesar 3,2 kali/pelanggan/tahun.

3. SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

Indeks ini didefinisikan sebagai nilai rata-rata dari lamanya gangguan sistem untuk setiap konsumen selama satu tahun. Indeks ini ditentukan dengan persamaan :

$$SAIDI = \frac{\text{Jumlah dari perkalian durasi gangguan dan pelanggan padam}}{\text{Jumlah pelanggan total}}$$

$$SAIDI = \frac{\sum U_i \cdot N_i}{\sum N_t} \quad (22)$$

Dimana:

U_i = Durasi gangguan pada saluran i

N_i = Jumlah pelanggan pada saluran i

N_t = Jumlah pelanggan yang dilayani keseluruhan

standar nilai SAIDI menurut SPLN NO 68-2 1986 yaitu sebesar 21,09 jam/pelanggan/tahun.