

SKRIPSI

**EVALUASI SISTEM DISTRIBUSI ENERGI LISTRIK
KAMPUS TAMALANREA UNIVERSITAS HASANUDDIN**

Disusun dan diajukan oleh :

**SYAHBRIAN ARIADI
D041 18 1019**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**EVALUASI SISTEM DISTRIBUSI ENERGI LISTRIK
KAMPUS TAMALANREA UNIVERSITAS HASANUDDIN**

Disusun dan diajukan oleh:

SYAHBRIAN ARIADI

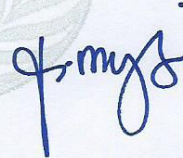
D041 18 1019

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 10 April 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

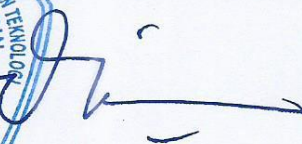


Prof. Dr. Ir. H. Ansar Suyuti, MT., IPU., ASEAN.Eng
NIP. 19671231 199202 1 001

Dr. Fitriyanti Mayasari, ST., MT.
NIP. 19830714 200604 2 001



Ketua Departemen Teknik Elektro,



Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T.
NIP. 19691026 199412 2 001

LEMBAR PERBAIKAN SKRIPSI

EVALUASI SISTEM DISTRIBUSI ENERGI LISTRIK KAMPUS TAMALANREA UNIVERSITAS HASANUDDIN

Oleh:

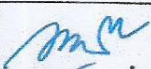
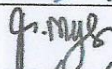
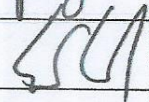
SYAHBRIAN ARIADI

D041 18 1019


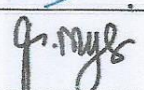
Skripsi ini telah dipertahankan pada Ujian Akhir Sarjana pada tanggal 10 April 2023

Telah dilakukan perbaikan penulisan dan isi skripsi berdasarkan usulan dari
penguji dan pembimbing skripsi.

Persetujuan perbaikan oleh tim penguji:

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	Prof. Dr. Ir. H. Ansar Suyuti, MT., IPU., ASEAN.Eng.	
Sekretaris	Dr. Fitriyanti Mayasari, ST., MT.	
Anggota	Dr. Ikhlas Kitta, ST., MT.	
	Yusri Syam Akil, ST., MT., Ph.D.	

Persetujuan perbaikan oleh tim pembimbing:

Pembimbing	Nama	Tanda Tangan
I	Prof. Dr. Ir. H. Ansar Suyuti, MT., IPU., ASEAN.Eng.	
II	Dr. Fitriyanti Mayasari, ST., MT.	

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Syahbrian Ariadi
NIM : D041181019
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

EVALUASI SISTEM DISTRIBUSI ENERGI LISTRIK KAMPUS TAMALANREA UNIVERSITAS HASANUDDIN

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan 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 penerbitannya. 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 diklarifikasi 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, 15 April 2023

Yang Menyatakan



Syahbrian Ariadi

ABSTRAKs

SYAHBRIAN ARIADI. *Evaluasi Sistem Distribusi Energi Listrik Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin* (dibimbing oleh Ansar Suyuti dan Fitriyanti Mayasari)

Perangkat sistem distribusi tenaga listrik pada masing-masing pembangkit tidak lepas dari kemungkinan terjadinya gangguan-gangguan baik yang kecil maupun yang besar yang mana akan mempengaruhi keandalan suatu pembangkit dalam mendistribusikan aliran daya listrik ke pelanggan. Berdasarkan data dari perusahaan PT. PLN (Persero) Rayon Makassar Timur, dalam beberapa bulan terakhir penyulang Universitas Hasanuddin mengalami *losses* yang meningkat akibat perangkat sistem yang telah berdiri puluhan tahun telah mengalami reduksi secara fungsional. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sistem distribusi energi listrik yang menyuplai kelistrikan yang ada di Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin yang meliputi kuat hantar arus penghantar (KHA), keseimbangan beban trafo distribusi, rugi daya distribusi, kebutuhan kapasitor, dan analisis ekonomi dari adanya perbaikan pada sistem distribusi. Berdasarkan hasil evaluasi yang telah dilakukan berdasarkan standar-standar yang telah ditetapkan terhadap sistem distribusi energi listrik Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin, didapatkan bahwa kuat hantar arus (KHA) *out-going* semua trafo distribusi masih sesuai standar PLN yang termuat dalam PUIL 2011. Keseimbangan beban antar fasa dari 14 trafo yang menyuplai beban listrik di Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin dimana ada 10 trafo dengan indikator penilaian (baik) dan 4 Trafo dengan indikator (cukup). Rugi-rugi daya (*losses*) masih sesuai standar yang ditetapkan PLN yaitu dibawah 10%. Kebutuhan kapasitor yang telah dilakukan terdapat 6 dari 14 trafo dengan nilai power faktor dibawah 0,85 sesuai standar PLN dengan total kebutuhan kapasitor bank adalah 18 step kapasitor bank 50 kVAR. Analisis ekonomi potensi penghematan akibat dari adanya perbaikan faktor daya atau pemasangan kapasitor bank sehingga potensi penghematan ekonomi dengan metode perhitungan Net Present Value dalam kurun waktu 10 tahun sesuai umur penggunaan rata-rata kapasitor bank adalah sebesar Rp. 2.991.920.573

Kata kunci: Evaluasi, sistem distribusi, kuat hantar arus, rugi daya, keseimbangan beban, kapasitor, ekonomi.

ABSTRACT

SYAHBRIAN ARIADI. *Evaluation of the Electrical Energy Distribution System for the Tamalanrea Campus Hasanuddin University* (supervised by Ansar Suyuti dan Fitriyanti Mayasari)

The power distribution system at each power plant cannot be separated from the possibility of disturbances, both small and large, which will affect the reliability of a plant in distributing electric power to customers. Based on data from the company PT. PLN (Persero) East Makassar Rayon, in the last few months Hasanuddin University's feeders have experienced increasing losses due to a functional reduction in system devices that have been established for decades. This study aims to evaluate the electrical energy distribution system that supplies electricity at the Hasanuddin University Tamalanrea Campus which includes conducting current carrying strength (KHA), distribution transformer load balancing, distribution power losses, capacitor requirements, and economic analysis of improvements to the distribution system. Based on the evaluation results that have been carried out based on the standards set for the electrical energy distribution system at Tamalanrea Campus, Hasanuddin University, it was found that the out-going current carrying strength (KHA) of all distribution transformers still complies with PLN standards contained in PUIL 2011. The load balance between the phases of 14 transformers that supply the electrical load at the Hasanuddin University Tamalanrea Campus where there are 10 transformers with rating indicators (good) and 4 transformers with indicators (sufficient). Power losses (losses) are still according to the standards set by PLN, namely below 10%. The capacitor requirements that have been carried out are 6 out of 14 transformers with a power factor value below 0.85 according to PLN standards with a total bank capacitor requirement of 18 50 kVAR bank capacitor steps. Economic analysis of potential savings as a result of improving power factor or installing bank capacitors so that the potential for economic savings using the Net Present Value calculation method within 10 years according to the average usage age of bank capacitors is Rp. 2,991,920,573.

Keywords: Evaluation, distribution system, current carrying capacity, power loss, load balancing, capacitors, economics.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
LEMBAR PERBAIKAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
KATA PENGANTAR.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah	5
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Sistem Distribusi Energi listrik	7
2.1.1. Umum.....	7
2.1.2. Bagian-bagian Sistem Distribusi Energi listrik.....	9
2.1.3. Komponen-komponen Sistem Distribusi Energi listrik	20
2.2. Rugi-rugi Pada Sistem Energi listrik.....	31
2.2.1. Umum.....	31
2.2.2. Jenis Rugi-rugi Pada Sistem Distribusi.....	31
2.3. Evaluasi Sistem Distribusi Energi listrik	34
2.3.1. Kuat Hantar Arus (KHA) Penghantar	34
2.3.2. Keseimbangan Beban Pada Trafo Distribusi	36
2.3.3. Kebutuhan Kapasitor Untuk Perbaikan Faktor Daya.....	39
2.4. Perhitungan Tarif Dasar Listrik.....	41

2.5. Teknik Analisis Ekonomi Kelayakan Proyek Investasi	43
BAB III METODE PENELITIAN	46
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	46
3.2 Metode Pengambilan dan Pengolahan Data	46
3.3 Metode Analisis Data	47
3.4 Diagram Alir	50
3.4.1. Diagram Alir Penelitian	50
3.4.2. Diagram Alir Simulasi <i>Software</i>	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	54
4.1. Sistem Distribusi Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin	54
4.2. Menghitung Kuat Hantar Arus (KHA) penghantar pada Sistem Distribusi Energi listrik Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin. .	61
4.2.1. Trafo MSS Central Workshop	61
4.2.2. Trafo A dan B SS I Teknik Lama	62
4.2.3. Trafo A dan B SS II Pertanian	63
4.2.4. Trafo A dan B SS III Kedokteran	65
4.2.5. Trafo A dan B SS IV Kantin MKU	66
4.2.6. Trafo A dan B SS V Asrama Mahasiswa.....	68
4.2.7. Trafo SS VI PKP.....	69
4.2.8. Trafo SS VII Rektorat	70
4.2.9. Trafo SS VIII Farmasi	70
4.3. Analisis Keseimbangan Beban pada Trafo Distribusi Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin	72
4.3.1. Trafo MSS Central Workshop	72
4.3.2. Trafo A dan B SS I Teknik Lama	82
4.3.3. Trafo A dan B SS II Pertanian	92
4.3.4. Trafo A dan B SS III Kedokteran	102
4.3.5. Trafo A dan B SS IV Kantin MKU.....	112
4.3.6. Trafo A dan B SS V Asrama Mahasiswa.....	122
4.3.7. Trafo SS VI PKP	131
4.3.8. Trafo SS VII Rektorat	136

4.3.9. Trafo SS VIII Farmasi.....	141
4.4. Menghitung Kebutuhan Kapasitor Pada Sistem Distribusi Energi listrik Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin.....	146
4.4.1. Trafo A SS II Pertanian.....	147
4.4.2. Trafo A SS III Kedokteran.....	147
4.4.3. Trafo B SS III Kedokteran.....	148
4.4.4. Trafo A SS IV Kantin MKU.....	149
4.4.5. Trafo A SS IV Kantin MKU.....	149
4.4.6. Trafo A SS V Asrama Mahasiswa.....	150
4.5. Analisis Potensi Penghematan Energi Setelah Adanya Perbaikan Pada Sistem Distribusi Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin..	151
4.5.1. Perbaikan Keseimbangan Beban Antar Fasa Trafo Distribusi...	151
4.5.2. Perbaikan Power Faktor Trafo Distribusi.....	155
4.6. Analisis Potensi Penghematan Ekonomi Setelah Adanya Perbaikan Pada Sistem Distribusi Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin..	159
4.6.1. Analisis Biaya Penalti Kelebihan Daya Reaktif.....	159
4.6.2. Analisis Biaya Proyek Pemasangan Kapasitor Bank.....	161
4.6.3. Analisis Ekonomi Kelayakan Pelaksanaan Proyek Pemasangan Kapasitor Bank.....	163
BAB V PENUTUP.....	166
5.1. Kesimpulan.....	166
5.2. Saran.....	168
DAFTAR PUSTAKA.....	169
LAMPIRAN.....	173

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ruang Lingkup Sistem Energi listrik	8
Gambar 2.2 Skema Pusat Listrik yang dihubungkan Melalui Saluran Transmisi ke Gardu Induk.....	9
Gambar 2.3 Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan	9
Gambar 2.4 Jaringan Tegangan Menengah dengan Konfigurasi Radial.....	11
Gambar 2.5 Jaringan Tegangan Menengah dengan Konfigurasi Ring	12
Gambar 2.6 Jaringan Tegangan Menengah dengan Konfigurasi <i>Spindel</i>	12
Gambar 2.7 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)	13
Gambar 2.8 Gardu Portal dan Bagan Satu Garis.....	16
Gambar 2.9 Bagan Satu Garis Gardu Portal	16
Gambar 2.10 Gardu Tipe Cantol.....	17
Gambar 2.11 Gardu Batu	18
Gambar 2.12 Gardu Kios	19
Gambar 2.13 Penghantar Berisolasi Penuh.....	21
Gambar 2.14 Jenis - jenis Isolator Tumpu	21
Gambar 2.15 Jenis – jenis Isolator Tarik	22
Gambar 2.16 <i>Live Line Connector</i>	22
Gambar 2.17 Transformator Distribusi <i>Fasa 3</i> yang dibelah	25
Gambar 2.18 Transformator CSP (<i>Completely Self Protected</i>) terlihat bagian dalamnya.....	26
Gambar 2.19 <i>Fused Cut Out</i> (FCO).....	27
Gambar 2.20 <i>Lighting Arrester</i> (LA).....	27
Gambar 2.21 a) Contoh Letak Pemasangan <i>Fused Cut Out</i> (FCO) b) Contoh Letak Pemasangan <i>Load Break Switch</i> (LBS).....	28
Gambar 2.22 PHB Tegangan Menengah	29
Gambar 2.23 Vektor Diagram Arus Seimbang.....	36
Gambar 2.24 Vektor Diagram Arus Tidak Seimbang.....	36
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	50
Gambar 3.2 Diagram Alir Simulasi <i>Software</i>	52
Gambar 4.1 Single-line Diagram Sistem Distribusi Energi listrik Universitas Hasanuddin.....	57

Gambar 4.2 Single-line Diagram ETAP Sistem Distribusi Energi Listrik Universitas Hasanuddin.....	58
Gambar 4.3 Simulasi ETAP Arus Netral Trafo MSS Central Workshop.....	75
Gambar 4.4 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP Trafo MSS Central Workshop	76
Gambar 4.5 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo MSS Central Workshop	80
Gambar 4.6 Losses Panjang dan Luas Penampang Penghantar Trafo MSS Central Workshop	81
Gambar 4.7 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP Trafo A SS I Teknik Lama.....	84
Gambar 4.8 Losses Panjang dan Luas Penampang Penghantar Trafo A SS I Teknik Lama.....	86
Gambar 4.9 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP Trafo B SS I Teknik Lama	89
Gambar 4.10 Losses Panjang dan Luas Penampang Penghantar Trafo B SS I Teknik Lama.....	91
Gambar 4.11 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP Trafo A SS II Pertanian.....	94
Gambar 4.12 Losses Panjang dan Luas Penampang Penghantar Trafo A SS II Pertanian.....	96
Gambar 4.13 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP Trafo B SS II Pertanian	99
Gambar 4.14 Losses Panjang dan Luas Penampang Penghantar Trafo B SS II Pertanian.....	101
Gambar 4.15 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP Trafo A SS III Kedokteran.....	104
Gambar 4.16 Losses Panjang dan Luas Penampang Penghantar Trafo A SS III Kedokteran.....	106
Gambar 4.17 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP Trafo B SS III Kedokteran	109
Gambar 4.18 Losses Panjang dan Luas Penampang Penghantar Trafo B SS III Kedokteran.....	111
Gambar 4.19 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP Trafo A SS IV Kantin MKU	114
Gambar 4.20 Losses Panjang dan Luas Penampang Penghantar Trafo A SS IV Kantin MKU	116
Gambar 4.21 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP Trafo B SS IV Kantin MKU	119
Gambar 4.22 Losses Panjang dan Luas Penampang Penghantar Trafo B SS IV Kantin MKU	121
Gambar 4.23 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP Trafo A SS V Ramsis.....	124
Gambar 4.24 Losses Panjang dan Luas Penampang Penghantar Trafo A SS V Ramsis	126

Gambar 4.25 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP Trafo B SS V Ramsis	129
Gambar 4.26 Losses Panjang dan Luas Penampang Penghantar Trafo B SS V Ramsis	131
Gambar 4.27 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP Trafo SS VI PKP	134
Gambar 4.28 Losses Panjang dan Luas Penampang Penghantar Trafo SS VI PKP	136
Gambar 4.29 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP Trafo SS VII Rektorat	139
Gambar 4.30 Losses Panjang dan Luas Penampang Penghantar Trafo SS VII Rektorat	141
Gambar 4.31 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP Trafo SS VIII Farmasi.....	144
Gambar 4.32 Losses Panjang dan Luas Penampang Penghantar Trafo SS VIII Farmasi	146
Gambar 4.33 Hasil Simulasi Rugi Daya Sebelum Beban Diseimbangkan Trafo MSS Central Workshop.....	153
Gambar 4.34 Hasil Simulasi Rugi Daya Setelah Beban Diseimbangkan Trafo MSS Central Workshop.....	153
Gambar 4.35 Hasil Simulasi Rugi Daya Sebelum Pemasangan Kapasitor Bank Trafo A SS II Pertanian	156
Gambar 4.36 Hasil Simulasi Rugi Daya Setelah Pemasangan Kapasitor Bank Trafo A SS II Pertanian	156

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pemilihan Kekuatan Tiang Ujung Jaringan Distribusi Tegangan Menengah ...	24
Tabel 2.2 Vektor Grup dan Daya Transformator	25
Tabel 2.3 Kuat Hantar Arus Penghantar PUIL 2011	35
Tabel 2.4 Matriks Online Assessment Tier-1 Pada Trafo Distribusi	39
Tabel 2.5 Faktor Pengali Perbaikan Faktor Daya dengan Kapasitor	40
Tabel 2.6 Tarif Adjustment PLN Januari – Maret 2023	41
Tabel 4.1 Lokasi dan Jumlah Trafo Gardu Distribusi Universitas Hasanuddin.....	54
Tabel 4.2 Daerah Asuhan Gardu Distribusi Universitas Hasanuddin.....	59
Tabel 4.3 Kapasitas Trafo Distribusi Universitas Hasanuddin	60
Tabel 4.4 Data Pembebanan Trafo MSS Central Workshop	61
Tabel 4.5 KHA Penghantar Tiap Fasa pada Trafo MSS Central Workshop.....	62
Tabel 4.6 Data Pembebanan Trafo A SS I Teknik Lama.....	62
Tabel 4.7 KHA Penghantar Tiap Fasa pada Trafo A SS I Teknik Lama.....	62
Tabel 4.8 Data Pembebanan Trafo B SS I Teknik Lama.....	62
Tabel 4.9 KHA Penghantar Tiap Fasa pada Trafo B SS I Teknik Lama	63
Tabel 4.10 Data Pembebanan Trafo A SS II Pertanian.....	63
Tabel 4.11 KHA Penghantar Tiap Fasa pada Trafo A SS II Pertanian.....	64
Tabel 4.12 Data Pembebanan Trafo B SS II Pertanian.....	64
Tabel 4.13 KHA Penghantar Tiap Fasa pada Trafo B SS II Pertanian	64
Tabel 4.14 Data Pembebanan Trafo A SS III Kedokteran.....	65
Tabel 4.15 KHA Penghantar Tiap Fasa pada Trafo A SS III Kedokteran	65
Tabel 4.16 Data Pembebanan Trafo B SS III Kedokteran	66
Tabel 4.17 KHA Penghantar Tiap Fasa pada Trafo B SS III Kedokteran	66
Tabel 4.18 Data Pembebanan Trafo A SS IV Kantin MKU	66
Tabel 4.19 KHA Penghantar Tiap Fasa pada Trafo A SS IV Kantin MKU	67
Tabel 4.20 Data Pembebanan Trafo B SS IV Kantin MKU	67
Tabel 4.21 KHA Penghantar Tiap Fasa pada Trafo B SS IV Kantin MKU	67
Tabel 4.22 Data Pembebanan Trafo A SS V Asrama Mahasiswa	68
Tabel 4.23 KHA Penghantar Tiap Fasa pada Trafo A SS V Ramsis.....	68
Tabel 4.24 Data Pembebanan Trafo B SS V Ramsis	68
Tabel 4.25 KHA Penghantar Tiap Fasa pada Trafo B SS V Ramsis	69
Tabel 4.26 Data Pembebanan Trafo SS VI PKP.....	69
Tabel 4.27 KHA Penghantar Tiap Fasa pada Trafo SS VI PKP	69

Tabel 4.28 Data Pembebanan Trafo SS VII Rektorat	70
Tabel 4.29 KHA Penghantar Tiap Fasa pada Trafo SS VII Rektorat	70
Tabel 4.30 Data Pembebanan SS VIII Farmasi	70
Tabel 4.31 KHA Penghantar Tiap Fasa pada Trafo SS VIII Farmasi.....	71
Tabel 4.32 Data Pembebanan Trafo MSS Central Workshop	72
Tabel 4.33 Hasil Pengukuran Power Quality Analyzer	74
Tabel 4.34 Perbandingan Arus Netral Trafo MSS Central Workshop.....	75
Tabel 4.35 Jatuh Tegangan Trafo MSS <i>Central Workshop</i>	75
Tabel 4.36 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP Trafo MSS <i>Central Workshop</i>	77
Tabel 4.37 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo MSS Central Workshop	78
Tabel 4.38 Perbandingan <i>Power Quality Analyzer</i> , Perhitungan Manual, dan Simulasi ETAP 12.6.0.....	80
Tabel 4.39 Data Pembebanan Trafo A SS I Teknik Lama.....	82
Tabel 4.40 Perbandingan Arus Netral Trafo A SS I Teknik Lama	83
Tabel 4.41 Jatuh Tegangan Trafo A SS I Teknik Lama	83
Tabel 4.42 Persentase Jatuh Tegangan Trafo A SS I Teknik Lama.....	83
Tabel 4.43 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP 12.6.0 Trafo A SS I Teknik Lama.....	84
Tabel 4.44 Simulasi Persentase Jatuh Tegangan Trafo A SS I Teknik Lama.....	84
Tabel 4.45 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo A SS I Teknik Lama	85
Tabel 4.46 Perbandingan <i>Power Quality Analyzer</i> , Perhitungan Manual, dan Simulasi ETAP 12.6.0.....	85
Tabel 4.47 Data Pembebanan Trafo B SS I Teknik Lama	87
Tabel 4.48 Perbandingan Arus Netral Trafo B SS I Teknik Lama	88
Tabel 4.49 Jatuh Tegangan Trafo B SS I Teknik Lama.....	88
Tabel 4.50 Persentase Jatuh Tegangan Trafo B SS I Teknik Lama.....	88
Tabel 4.51 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP 12.6.0 Trafo B SS I Teknik Lama.....	89
Tabel 4.52 Simulasi Persentase Jatuh Tegangan Trafo A SS I Teknik Lama.....	89
Tabel 4.53 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo B SS I Teknik Lama	90
Tabel 4.54 Perbandingan <i>Power Quality Analyzer</i> , Perhitungan Manual, dan Simulasi ETAP 12.6.0.....	90
Tabel 4.55 Data Pembebanan Trafo A SS II Pertanian.....	92
Tabel 4.56 Perbandingan Arus Netral Trafo A SS II Pertanian	93
Tabel 4.57 Jatuh Tegangan Trafo A SS II Pertanian	93
Tabel 4.58 Persentase Jatuh Tegangan Trafo A SS II Pertanian.....	93

Tabel 4.59 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP 12.6.0 Trafo A SS II Pertanian.....	94
Tabel 4.60 Simulasi Persentase Jatuh Tegangan Trafo A SS II Pertanian.....	94
Tabel 4.61 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo A SS II Pertanian	95
Tabel 4.62 Perbandingan Power Quality Analyzer, Perhitungan Manual, dan Simulasi ETAP 12.6.0.....	95
Tabel 4.63 Data Pembebanan Trafo B SS II Pertanian.....	97
Tabel 4.64 Perbandingan Arus Netral Trafo B SS II Pertanian	98
Tabel 4.65 Jatuh Tegangan Trafo B SS II Pertanian.....	98
Tabel 4.66 Persentase Jatuh Tegangan Trafo B SS II Pertanian.....	98
Tabel 4.67 Jatuh Simulasi ETAP 12.6.0 Trafo B SS II Pertanian	99
Tabel 4.68 Simulasi Persentase Jatuh Tegangan Trafo B SS II Pertanian.....	99
Tabel 4.69 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo B SS II Pertanian	100
Tabel 4.70 Perbandingan Power Quality Analyzer, Perhitungan Manual, dan Simulasi ETAP 12.6.0.....	100
Tabel 4.71 Data Pembebanan Trafo A SS III Kedokteran.....	102
Tabel 4.72 Perbandingan Arus Netral Trafo A SS III Kedokteran	103
Tabel 4.73 Jatuh Tegangan Trafo A SS III Kedokteran.....	103
Tabel 4.74 Persentase Jatuh Tegangan Trafo A SS III Kedokteran.....	103
Tabel 4.75 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP 12.6.0 Trafo A SS III Kedokteran.....	104
Tabel 4.76 Simulasi Persentase Jatuh Tegangan Trafo A SS III Kedokteran.....	104
Tabel 4.77 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo A SS III Kedokteran	105
Tabel 4.78 Perbandingan Power Quality Analyzer, Perhitungan Manual, dan Simulasi ETAP 12.6.0.....	105
Tabel 4.79 Data Pembebanan Trafo B SS III Kedokteran	107
Tabel 4.80 Perbandingan Arus Netral Trafo B SS III Kedokteran	108
Tabel 4.81 Jatuh Tegangan Trafo B SS III Kedokteran.....	108
Tabel 4.82 Persentase Jatuh Tegangan Trafo B SS III Kedokteran.....	108
Tabel 4.83 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP 12.6.0 Trafo B SS III Kedokteran	109
Tabel 4.84 Simulasi Persentase Jatuh Tegangan Trafo B SS III Kedokteran	109
Tabel 4.85 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo B SS III Kedokteran.....	110
Tabel 4.86 Perbandingan Power Quality Analyzer, Perhitungan Manual, dan	

Simulasi ETAP 12.6.0.....	110
Tabel 4.87 Data Pembebanan Trafo A SS IV Kantin MKU	112
Tabel 4.88 Perbandingan Arus Netral Trafo A SS IV Kantin MKU	113
Tabel 4.89 Jatuh Tegangan Trafo A SS IV Kantin MKU.....	113
Tabel 4.90 Persentase Jatuh Tegangan Trafo A SS IV Kantin MKU.....	113
Tabel 4.91 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP 12.6.0 Trafo A SS IV Kantin MKU.....	114
Tabel 4.92 Simulasi Persentase Jatuh Tegangan Trafo A SS IV Kantin MKU.....	114
Tabel 4.93 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo A SS IV Kantin MKU.....	115
Tabel 4.94 Perbandingan Power Quality Analyzer, Perhitungan Manual, dan Simulasi ETAP 12.6.0.....	115
Tabel 4.95 Data Pembebanan Trafo B SS IV Kantin MKU	117
Tabel 4.96 Perbandingan Arus Netral Trafo B SS IV Kantin MKU.....	118
Tabel 4.97 Jatuh Tegangan Trafo B SS IV Kantin MKU	118
Tabel 4.98 Persentase Jatuh Tegangan Trafo B SS IV Kantin MKU	118
Tabel 4.99 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP 12.6.0 Trafo B SS IV Kantin MKU	119
Tabel 4.100 Simulasi Persentase Jatuh Tegangan Trafo B SS IV Kantin MKU	119
Tabel 4. 101 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo B SS IV Kantin MKU.....	120
Tabel 4.102 Perbandingan Power Quality Analyzer, Perhitungan Manual, dan Simulasi ETAP 12.6.0	120
Tabel 4.103 Data Pembebanan Trafo A SS V Ramsis.....	122
Tabel 4.104 Perbandingan Arus Netral Trafo A SS V Asrama Mahasiswa	123
Tabel 4.105 Jatuh Tegangan Trafo A SS V Ramsis.....	123
Tabel 4.106 Persentase Jatuh Tegangan Trafo A SS V Ramsis.....	123
Tabel 4.107 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP 12.6.0 Trafo A SS V Ramsis.....	124
Tabel 4.108 Simulasi Persentase Jatuh Tegangan Trafo A SS V Ramsis.....	124
Tabel 4.109 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo A SS V Ramsis	125
Tabel 4.110 Perbandingan Power Quality Analyzer, Perhitungan Manual, dan Simulasi ETAP 12.6.0	125
Tabel 4.111 Data Pembebanan Trafo B SS V Ramsis.....	127
Tabel 4.112 Perbandingan Arus Netral Trafo B SS V Asrama Mahasiswa.....	128
Tabel 4.113 Jatuh Tegangan Trafo B SS V Ramsis.....	128
Tabel 4.114 Persentase Jatuh Tegangan Trafo B SS V Ramsis	128
Tabel 4.115 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP 12.6.0 Trafo B SS V Ramsis.....	129
Tabel 4.116 Simulasi Persentase Jatuh Tegangan Trafo B SS V Ramsis	129

Tabel 4.117 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo B SS V Ramsis	130
Tabel 4.118 Perbandingan Power Quality Analyzer, Perhitungan Manual, dan Simulasi ETAP 12.6.0	130
Tabel 4.119 Data Pembebanan Trafo SS VI PKP.....	132
Tabel 4.120 Perbandingan Arus Netral Trafo SS VI PKP	133
Tabel 4.121 Jatuh Tegangan Trafo SS VI PKP	133
Tabel 4.122 Persentase Jatuh Tegangan Trafo SS VI PKP	133
Tabel 4.123 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP 12.6.0 Trafo SS VI PKP.....	134
Tabel 4.124 Simulasi Persentase Jatuh Tegangan Trafo SS VI PKP.....	134
Tabel 4.125 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo SS VI PKP	135
Tabel 4.126 Perbandingan Power Quality Analyzer, Perhitungan Manual, dan Simulasi ETAP 12.6.0	135
Tabel 4.127 Data Pembebanan Trafo SS VII Rektorat	137
Tabel 4.128 Perbandingan Arus Netral Trafo SS VII Rektorat	138
Tabel 4.129 Jatuh Tegangan Trafo SS VII Rektorat.....	138
Tabel 4.130 Persentase Jatuh Tegangan Trafo SS VII Rektorat	138
Tabel 4.131 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP 12.6.0 Trafo SS VII Rektorat.....	139
Tabel 4.132 Simulasi Persentase Jatuh Tegangan Trafo SS VII Rektorat	139
Tabel 4.133 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo SS VII Rektorat	140
Tabel 4.134 Perbandingan Power Quality Analyzer, Perhitungan Manual, dan Simulasi ETAP 12.6.0	140
Tabel 4.135 Data Pembebanan Trafo SS VIII Farmasi.....	142
Tabel 4.136 Perbandingan Arus Netral Trafo SS VIII Farmasi.....	143
Tabel 4.137 Jatuh Tegangan Trafo SS VIII Farmasi	143
Tabel 4.138 Persentase Jatuh Tegangan Trafo SS VIII Farmasi.....	143
Tabel 4.139 Jatuh Tegangan Simulasi ETAP 12.6.0 Trafo SS VIII Farmasi	144
Tabel 4.140 Simulasi Persentase Jatuh Tegangan Trafo SS VIII Farmasi.....	144
Tabel 4.141 Daya Semu, Aktif, dan Reaktif Trafo SS VIII Farmasi	145
Tabel 4.142 Perbandingan Power Quality Analyzer, Perhitungan Manual, dan Simulasi ETAP 12.6.0	145
Tabel 4.143 Total Penggunaan Daya dan Power Faktor.....	147
Tabel 4.144 Dampak Pemasangan Kapasitor Trafo A SS II Pertanian.....	148
Tabel 4.145 Dampak Pemasangan Kapasitor Trafo A SS III Kedokteran.....	149
Tabel 4.146 Dampak Pemasangan Kapasitor Trafo B SS III Kedokteran	149

Tabel 4.147 Dampak Pemasangan Kapasitor Trafo A SS IV Kantin MKU	150
Tabel 4.148 Dampak Pemasangan Kapasitor Trafo B SS IV Kantin MKU	151
Tabel 4.149 Dampak Pemasangan Kapasitor Trafo A SS V Ramsis.....	151
Tabel 4.150 Persentase Kesimbangan Beban Trafo.....	152
Tabel 4.151 Total Penghematan Energi dari Penyeimbangan Beban Trafo Central Workshop	153
Tabel 4.152 Penyeimbangan Beban Trafo B SS I Teknik Lama	154
Tabel 4.153 Total Penghematan Energi dari Penyeimbangan Beban Trafo B SS II Teknik Lama.....	154
Tabel 4.154 Penyeimbangan Beban Trafo A SS III Kedokteran	154
Tabel 4.155 Total Penghematan Energi dari Penyeimbangan Beban Trafo A SS III Kedokteran	154
Tabel 4.156 Penyeimbangan Beban Trafo A SS III Kedokteran	155
Tabel 4.157 Total Penghematan Energi dari Penyeimbangan Beban Trafo A SS V Ramsis	155
Tabel 4.158 Total Penggunaan Daya dan Power Faktor.....	155
Tabel 4.159 Total Penghematan Energi Setelah Pemasangan Kapasitor Trafo A SS II Pertanian.....	156
Tabel 4.160 Total Penghematan Energi Setelah Pemasangan Kapasitor Trafo A SS III Kedokteran	157
Tabel 4.161 Total Penghematan Energi Setelah Pemasangan Kapasitor Trafo B SS III Kedokteran	157
Tabel 4.162 Total Penghematan Energi Setelah Pemasangan Kapasitor Trafo A SS IV Kantin MKU.....	157
Tabel 4.163 Total Penghematan Energi Setelah Pemasangan Kapasitor Trafo B SS IV Kantin MKU.....	158
Tabel 4.164 Total Penghematan Energi Setelah Pemasangan Kapasitor Trafo A SS V Ramsis	158
Tabel 4.165 Konsumsi Daya dan Power Factor Trafo.....	159
Tabel 4.166 Biaya Tagihan Listrik Penalti Daya Reaktif Perbulannya	161
Tabel 4.167 Biaya Proyek Pemasangan Kapasitor Bank	162
Tabel 4.168 Present Value Proyek Pemasangan Kapasitor Bank	163
Tabel 4.169 Present Value Proyek Pemasangan Kapasitor dengan Bunga 100 %	164

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Single-line</i> Diagram Sistem Distribusi Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin	173
Lampiran 2. Single-line Diagram ETAP 12.6.0 Sistem Distribusi Energi Listrik Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin	174
Lampiran 3. Daftar Tagihan Rekening Listrik Universitas Hasanuddin.....	175
Lampiran 4. Dokumentasi Pengambilan Data di Trafo Distribusi Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin	177

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Evaluasi Sistem Distribusi Energi Listrik Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin”.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat kelulusan pada Pendidikan Strata (S1) Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Orang tua tercinta Ibunda Hj. Rosnawati, S.Pd. dan Ayahanda H. Anwar, S.Sos. serta Syahwal Ariadi, S.ST dan istrinya Rosmini, S.Kep., Ns. beserta calon bayinya yang selalu mendoakan serta menyemangati penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Ansar Suyuti, M.T., IPU., ASEAN.Eng. selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Dr. Fitriyanti Mayasari, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, ide, dan saran dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Ikhlas Kitta, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I dan Bapak Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktunya untuk menguji penulis serta memberikan kritik dan saran dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak/Ibu Dosen dan seluruh staf Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan banyak ilmu maupun pengalaman yang membantu dalam kelancaran penyusunan skripsi ini.
5. Pimpinan UPT PPUK Unhas beserta staf kelistrikan UPT PPUK Unhas atas bantuan selama proses pengambilan data di Kampus Tamalanrea Unhas yang telah membantu kelancaran penyusunan skripsi ini.

6. Teman seperjuangan di Lab Riset Instalasi dan Distribusi (Iqbal Firaldi dan Abdul Muhaimin) yang selalu membantu dan menjadi rekan diskusi dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Teman-teman CALIBRATOR'18 (Elektro 2018) yang selalu berbagi kebahagiaan, waktu, dan kebersamaan selama berproses menjadi mahasiswa serta mengajarkan untuk “Terus berlari meraih mimpi, karena takkan ada yang hentikan langkahmu”
8. Teman-teman TEKNIK Angkatan 2018 atas kebersamaan waktu dan momen berharganya selama berproses menjadi mahasiswa.
9. Kabinet Revolusi SMFT-UH Periode 2021/2022 atas pembelajaran dan momen berharganya selama periode kepengurusan yang telah mengajarkan penulis bahwa “Perubahan adalah hal paling konsisten, maka jangan ragu untuk berinovasi dan jangan pernah takut untuk berevolusi”
10. Teman-teman Kerja Praktek PT. PLN (Persero) Unit Pembangkitan PLTA Bakaru atas bantuan dan kerjasamanya selama masa KP hingga saat ini.
11. Teman-teman KKN Tematik Desa Wisata Maros Posko 3 Desa Lekopancing atas kebersamaan waktunya selama 1 bulan pelaksanaan kuliah kerja nyata.
12. Saudara seperkumpulan di Warkop Alisha (Adit, Gentle, Rull, Caesar, Rahim, Alba) yang telah menjadi rumah kedua penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT memberikan perlindungan kepada kita semua.

Gowa, 15 April 2023

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan vital bagi masyarakat dan merupakan sumber daya yang paling ekonomis yang dapat digunakan dalam berbagai macam kegiatan. Hampir segala aktivitas manusia didukung oleh keberadaan energi listrik. Penggunaan energi listrik didasarkan atas suplai energi yang murah dan penggunaan energinya lebih mudah dibandingkan dengan energi lainnya. Energi listrik juga sangat berperan penting dalam menunjang segala aktivitas yang berlangsung baik pada sektor industri, bangunan komersial, transportasi maupun rumah tangga. Ketersediaan energi listrik yang memadai dan tepat sasaran akan memacu perkembangan pembangunan daerah seperti sektor industri, bisnis, pelayanan publik, pendidikan dan bahkan kualitas hidup masyarakat dengan semakin banyaknya warga yang menikmati energi listrik. Kemudian secara langsung maupun tidak langsung, hal itu akan memengaruhi pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat.

Berdasarkan UU No. 30 Tahun 2009 tentang ketenagalistrikan pasal 28, tertulis bahwa pemegang izin usaha penyediaan energi listrik wajib menyediakan energi listrik yang memenuhi standar mutu keandalan yang berlaku dan memberikan pelayanan yang sebaik-baiknya kepada konsumen dan masyarakat (Taufiqurrahman, 2020). Kontinuitas penyaluran energi listrik merupakan aspek utama dalam menunjang segala aktivitas baik ekonomi, industri, dan pendidikan. Keandalan sistem distribusi memiliki peran penting dalam penyaluran energi listrik ke pelanggan. Gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem distribusi memengaruhi keandalan sistem distribusi sehingga mengakibatkan terjadinya pemadaman pada pelanggan. Keandalan sistem sangat dipengaruhi oleh konfigurasi sistem, alat pengaman yang terpasang, dan sistem proteksinya. Pada suatu sistem distribusi energi listrik, tingkat keandalan adalah hal yang sangat penting dalam menentukan kinerja suatu sistem tersebut. Keandalan ini dapat dilihat dari sejauh mana suplai energi listrik bisa menyuplai energi secara kontinu dalam satu tahun ke konsumen. Penggunaan evaluasi keandalan sistem pada jaringan distribusi 20 kV

merupakan salah satu faktor yang penting untuk meningkatkan dan menjamin penanganan secara benar terhadap permasalahan yang real terjadi di lapangan, sehingga dapat diantisipasi terjadinya gangguan serta mengurangi kerugian akibat energi yang tidak tersuplai pada sistem distribusi. Permasalahan yang paling mendasar pada distribusi daya listrik adalah terletak pada mutu, kontinuitas dan ketersediaan pelayanan daya listrik pada pelanggan (Dasman dan Handayani, 2015).

Sistem energi listrik disalurkan mulai dari pembangkit melalui gardu induk transformator *step up*, kemudian disalurkan melalui saluran transmisi dengan tegangan 150 kV – 500 kV. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator *step down* pada gardu induk distribusi. Pada gardu distribusi diturunkan tegangan dari 20 kV menjadi tegangan rendah 220/380 V sampai ke konsumen. Perangkat sistem distribusi 20 kV pada masing-masing pembangkit tidak lepas dari kemungkinan terjadinya gangguan-gangguan baik yang kecil maupun yang besar yang mana akan memengaruhi keandalan suatu pembangkit dalam mendistribusikan aliran daya listrik ke pelanggan. Dampak langsung yang dapat dirasakan pelanggan dari gangguan tersebut adalah pemadaman sesaat. Pemadaman ini mengakibatkan kerugian baik kepada pelanggan maupun bagi PLN. Selain itu, terdapat berbagai macam masalah seperti terjadinya ketidakseimbangan pada sistem distribusi yang dipengaruhi oleh jenis beban. Beban kapasitif yang bersifat menyimpan tegangan sementara, cenderung mengakibatkan nilai tegangan jaringan menjadi lebih tinggi daripada yang seharusnya. Sedangkan beban induktif yang bersifat menyerap arus listrik, cenderung membuat tegangan listrik jaringan turun. Oleh karena itu, sangat perlu dilakukan analisis terhadap keandalan sistem pendistribusian aliran daya listrik agar penyedia jasa layanan dapat mengetahui seberapa andal sistemnya mampu menyuplai energi. 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)

Di Area Makassar terdapat 13 Gardu Induk, diantaranya adalah Gardu Induk sektor Tello 30 kV. Gardu induk Tello mengasuh 13 penyulang, salah satunya adalah Penyulang yang melayani Universitas Hasanuddin. Penyulang ini merupakan salah satu pendistribusian energi listrik untuk pelanggan yang berada di daerah Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin dan sekitarnya. Sejak pemindahan Universitas Hasanuddin dari Kampus Barayya ke Kampus Tamalanrea pada tahun 1989, terhitung sudah 34 tahun sejak pemindahan tersebut. Sehingga dalam kurun waktu itu tentunya peralatan-peralatan dan *monitoring* sistem distribusi energi listrik yang melayani Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin telah mengalami reduksi secara fungsional, terlebih penambahan beban listrik yang selalu meningkat tiap tahunnya menyebabkan potensi terjadinya gangguan dan *losses* cukup besar.

Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan sebelumnya yang menyangkut sistem distribusi yang melayani Universitas Hasanuddin, penulis mencoba mengangkat judul tugas akhir yaitu “**Evaluasi Sistem Distribusi Energi listrik Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin**”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana menghitung kapasitas Kuat Hantar Arus (KHA) penghantar pada sistem distribusi energi listrik Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin?
2. Bagaimana perbandingan nilai rugi-rugi daya (*losses*) sistem distribusi energi listrik Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin dengan simulasi sistem distribusi menggunakan *software* ETAP 12.6.0 ?
3. Bagaimana mengukur dan menganalisis keseimbangan beban tiap trafo distribusi yang ada di Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin?
4. Bagaimana menghitung kebutuhan kapasitor pada sistem distribusi energi listrik yang ada pada Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin?

5. Bagaimana analisis ekonomi tentang potensi penghematan akibat dari adanya perbaikan pada sistem distribusi energi listrik yang terpasang di Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini antara lain :

1. Untuk menghitung kapasitas Kuat Hantar Arus (KHA) penghantar pada sistem distribusi energi listrik Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin?
2. Untuk menghitung perbandingan nilai rugi-rugi daya (*losses*) sistem distribusi energi listrik Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin dengan simulasi sistem distribusi menggunakan *software* ETAP 12.6.0?
3. Untuk menghitung keseimbangan beban tiap trafo distribusi yang ada di Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin?
4. Untuk menghitung kebutuhan kapasitor pada sistem distribusi energi listrik yang ada pada Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin?
5. Untuk menganalisis potensi penghematan ekonomi akibat dari adanya perbaikan pada sistem distribusi energi listrik yang terpasang di Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin?

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Secara akademis, penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi penambahan referensi yang berkaitan dengan Sistem Distribusi Energi listrik di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Secara praktis, penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk pihak Unit Pelayanan Terpadu Pengelolaan Prasarana dan Utilitas Kampus (UPT PPUK) Universitas Hasanuddin sebagai bahan masukan terkait sistem distribusi energi listrik terkhusus tentang analisis rugi-rugi daya (*losses*) serta potensi penghematan energi akibat perbaikan pada sistem yang terpasang di Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin.

1.5 Batasan Masalah

Untuk menghindari permasalahan yang lebih luas maka penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1. Penelitian ini hanya berfokus pada sistem distribusi jalur Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin
2. Penelitian ini hanya mengevaluasi sistem distribusi berdasarkan data yang telah ada, tanpa memperhitungkan faktor eksternal seperti gangguan akibat petir, pohon tumbang, dan sebagainya
3. Penelitian ini hanya berfokus pada perhitungan kebutuhan kapasitor dan tidak berfokus pada optimasi penempatan kapasitor bank.
4. Penelitian ini menggunakan *software* ETAP 12.6.0 untuk analisis data sistem distribusi

1.6 Sistematika Penulisan

Agar penyusunan proposal tugas akhir ini lebih teratur dan sistematis penulisannya maka hal-hal yang dibahas dibagi dalam beberapa bab yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teori penunjang yang relevan untuk bahan penelitian yang diperoleh dari sumber referensi untuk menyusun kerangka teori dan konseptual.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini berisi tentang rancangan penelitian yang meliputi waktu dan tempat penelitian, metode pengambilan dan pengolahan data, metode analisis data, serta diagram alir penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil penelitian yang memuat data yang diperoleh disertai dengan pembahasan mengenai hasil penelitian tersebut.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan menyeluruh dari hasil penelitian yang dilakukan serta saran-saran untuk perbaikan penelitian ini kedepannya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Distribusi Energi listrik

2.1.1. Umum

Jaringan yang keluar dari pembangkit energi listrik sampai pada gardu induk disebut jaringan transmisi sedangkan jaringan yang keluar dari gardu induk sampai kepada konsumen disebut dengan jaringan distribusi. Oleh karena itu, sistem distribusi merupakan salah satu sistem energi listrik yang paling dekat pelanggan. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator sinkron pada pembangkit biasanya dengan besar tegangan 11 kV sampai 24 kV, kemudian dinaikkan tegangannya di gardu induk menggunakan transformator *step up* menjadi tegangan 150 kV sampai 500 kV yang kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Peningkatan tegangan bertujuan untuk memperkecil rugi daya yang terjadi pada saluran.

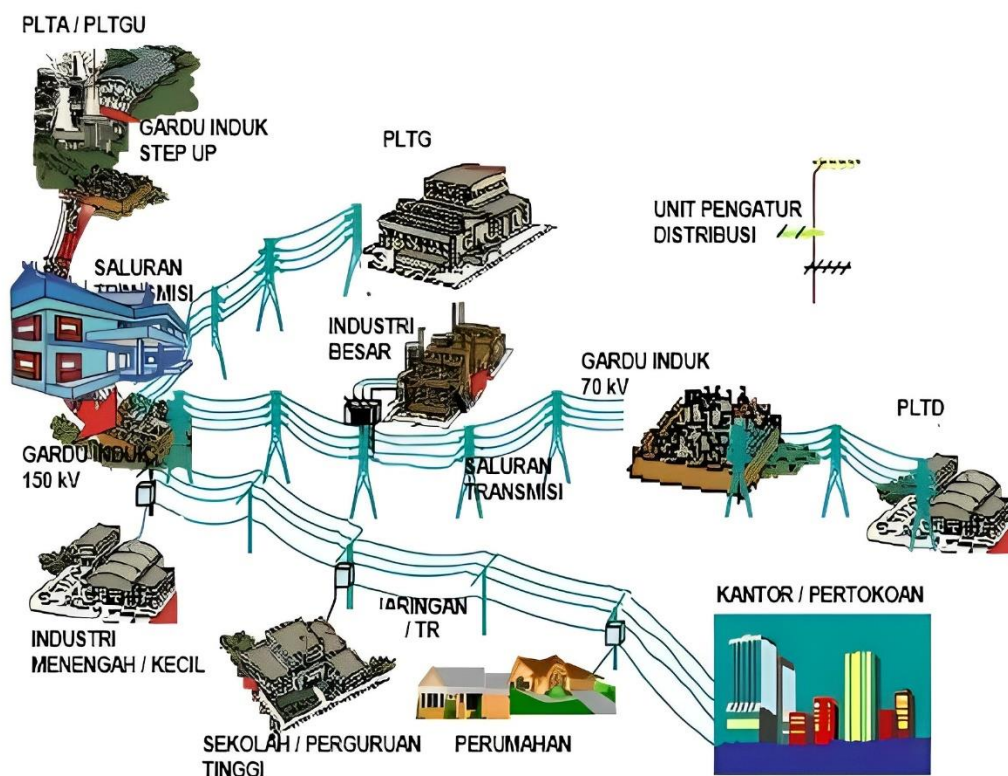
Saluran Tegangan Tinggi (STT) menyalurkan energi listrik menuju pusat penerima, dimana tegangan diturunkan menjadi tegangan sub transmisi 70 kV. Pada gardu induk (GI) energi listrik yang diterima kemudian dilepaskan menuju transformator distribusi dalam bentuk tegangan menengah 20 kV. Setelah energi listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka energi listrik diturunkan tegangannya dalam gardu distribusi menjadi tegangan rendah dengan tegangan 380V/220V yang kemudian disalurkan melalui jaringan tegangan rendah untuk selanjutnya disalurkan ke pelanggan. Sistem distribusi terdiri dari jaringan tegangan menengah (JTM) & jaringan tegangan rendah (JTR), dimana pada umumnya beroperasi secara radial.

Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir (I^2R). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula (Suhadi dkk., 2008).

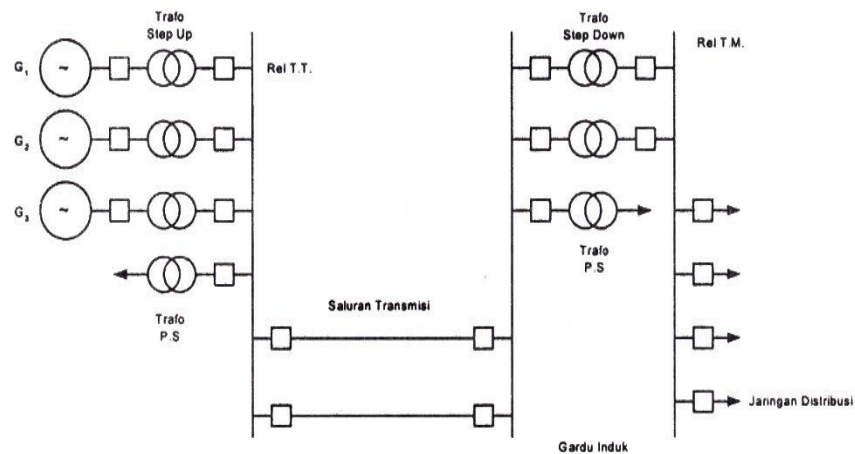
Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan

sistem tegangan tersebut penyaluran energi listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380V. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem energi listrik secara keseluruhan.

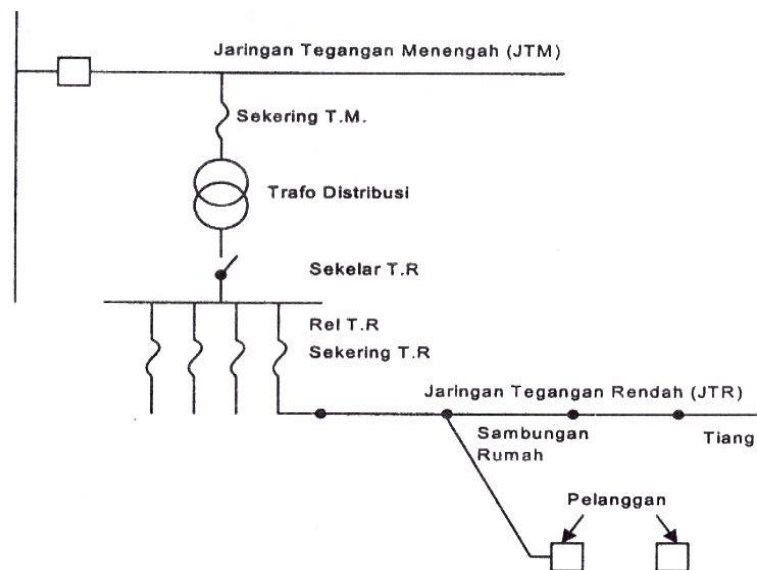
Skema penyaluran energi listrik dapat dilihat dari Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Ruang Lingkup Sistem Energi listrik (Suhadi dkk., 2008)



Gambar 2.2 Skema Pusat Listrik yang dihubungkan Melalui Saluran Transmisi ke Gardu Induk (Suhadi dkk., 2008)



Gambar 2.3 Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan (Suhadi dkk., 2008)

2.1.2. Bagian-Bagian Sistem Distribusi Energi listrik

Demi kemudahan dan penyederhanaan dalam sistem energi listrik maka diadakan pembagian dan pembatasan-pembatasan sebagai berikut (Suhadi dkk., 2008) :

- a. Daerah I : bagian pembangkitan (*generation*)
- b. Daerah II : bagian penyaluran (*transmission*) bertegangan tinggi (70 kV – 500 kV)
- c. Daerah II: bagian distribusi primer bertegangan menengah (6 kV atau 20 kV)
- d. Daerah IV : bagian bertegangan rendah di dalam bangunan pada konsumen tegangan rendah.

Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahui bahwa porsi materi Sistem Distribusi adalah Daerah III dan IV. Dengan demikian ruang lingkup Jaringan Distribusi adalah:

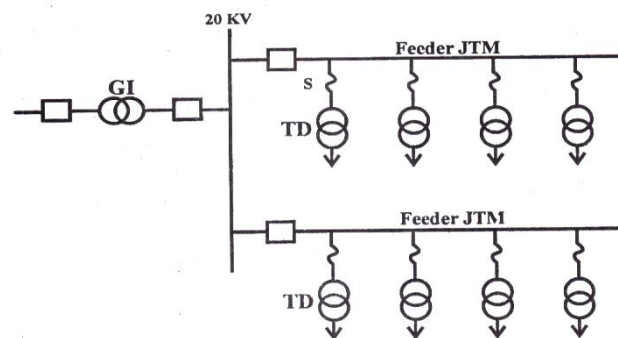
a. Jaringan Tegangan Menengah

Pada pendistribusian energi listrik ke konsumen di suatu kawasan, penggunaan sistem tegangan menengah sebagai jaringan utama adalah upaya utama menghindarkan rugi-rugi penyaluran (*losses*) dengan kualitas persyaratan tegangan yang harus dipenuhi oleh PT. PLN (Persero) selaku pemegang Kuasa Usaha Utama sebagaimana diatur dalam UU ketenagalistrikan No. 30 tahun 2009. Konstruksi JTM dengan tegangan 20 kV wajib memenuhi kriteria keamanan ketenagalistrikan, termasuk di dalamnya adalah jarak aman minimal antara fasa dengan lingkungan dan antara fasa dengan tanah, bila jaringan tersebut menggunakan Saluran Udara atau Kabel Bawah Tanah Tegangan Menengah serta kemudahan dalam hal pengoperasian atau pemeliharaan Jaringan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada jaringan utama. Hal ini dimaksudkan sebagai usaha menjaga keandalan kontinuitas pelayanan konsumen. (PT. PLN (Persero) Buku 5, 2010)

Lingkup Jaringan Tegangan Menengah pada sistem distribusi dimulai dari terminal keluar (*out-going*) pemutus tenaga dari transformator penurun tegangan Gardu Induk atau transformator penaik tegangan pada Pembangkit untuk sistem distribusi skala kecil, hingga peralatan pemisah/proteksi sisi masuk (*in-coming*) transformator distribusi 20 kV - 230/400V.

Terdapat berbagai konfigurasi jaringan tegangan menengah, yaitu (Fariz, 2012) :

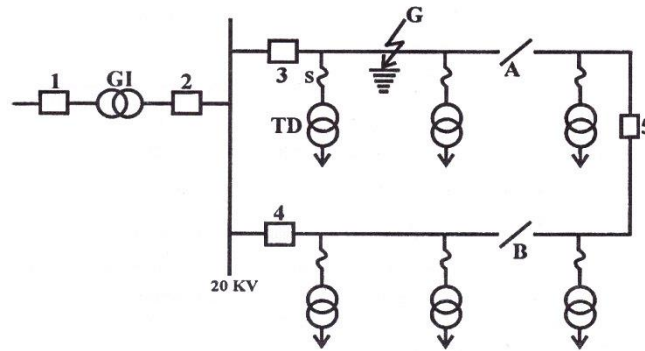
- 1) **Konfigurasi radial**, adalah konfigurasi dengan bentuk paling dasar, paling sederhana dan paling banyak digunakan. Konfigurasi ini dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari satu titik yang merupakan sumber dari jaringan yang kemudian dicabangkan ke titik beban-beban yang dilayani dan tidak memiliki saluran alternatif lain. Gambar jaringan tegangan menengah dengan konfigurasi radial pada Gambar 2.4 menggambarkan jaringan tegangan menengah berupa *feeder* radial yang keluar dari GI. Sepanjang *feeder* terdapat transformator distribusi (TD) yang dilengkapi dengan sekering (S) trafo distribusi yang diletakkan sedekat mungkin dengan beban. Keunggulan dari konfigurasi radial ini adalah bentuknya yang sederhana dan biaya investasinya yang cukup murah. Adapun kelemahan dari konfigurasi ini adalah kualitas pelayan dayanya yang relatif jelek karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar serta keberlanjutan pelayanan dayanya tidak terjamin, sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif sehingga bila terjadi gangguan maka seluruh rangkaian akan mengalami *black out* total.



Gambar 2.4 Jaringan Tegangan Menengah dengan Konfigurasi Radial (Fariz, 2012)

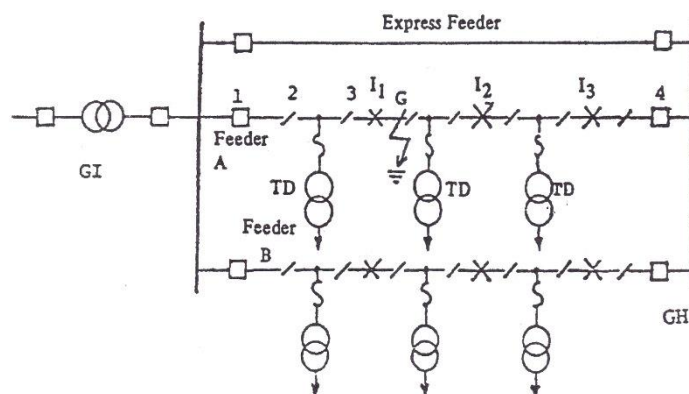
- 2) **Konfigurasi ring**, merupakan perkembangan dari konfigurasi radial yaitu konfigurasi yang pada titik bebannya terdapat dua alternatif saluran yang berasal lebih dari satu sumber. Susunan rangkaian *feeder* membentuk cincin

yang memungkinkan titik beban dilayani dari dua arah *feeder*, sehingga keberlanjutan pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik karena rugi tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil.



Gambar 2.5 Jaringan Tegangan Menengah dengan Konfigurasi Ring (Fariz, 2012)

- 3) **Konfigurasi *spindel***, merupakan konfigurasi yang biasanya terdiri dari maksimum 6 *feeder* dalam keadaan dibebani dan 1 *feeder* dalam keadaan kerja tanpa beban. Saluran dengan 6 *feeder* yang beroperasi dalam keadaan berbeban dinamakan *working feeder* sedangkan saluran yang dioperasikan tanpa beban dinamakan *express feeder*. Fungsi dari *express feeder* adalah sebagai cadangan pada saat terjadi gangguan pada salah satu *working feeder* dan juga berfungsi untuk memperkecil terjadinya *drop* tegangan pada sistem distribusi bersangkutan pada keadaan operasi normal.



Gambar 2.6 Jaringan Tegangan Menengah dengan Konfigurasi *Spindel* (Fariz, 2012)

Konstruksi jaringan Energi listrik Tegangan Menengah dapat dikelompokkan menjadi 3 macam konstruksi sebagai berikut. (PT. PLN (Persero) Buku 5, 2010) :

1) Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah sebagai konstruksi termurah untuk penyaluran energi listrik pada daya yang sama. Konstruksi ini terbanyak digunakan untuk konsumen jaringan Tegangan Menengah yang digunakan di Indonesia.

Ciri utama jaringan ini adalah penggunaan penghantar telanjang yang ditopang dengan isolator pada tiang besi/beton. Penggunaan penghantar telanjang, dengan sendirinya harus diperhatikan faktor yang terkait dengan keselamatan ketenagalistrikan seperti jarak aman minimum yang harus dipenuhi penghantar bertegangan 20 kV tersebut antar *fasa* atau dengan bangunan atau dengan tanaman atau dengan jangkauan manusia.



Gambar 2.7 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) (PT. PLN (Persero) Buku 5, 2010)

2) Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)

Untuk lebih meningkatkan keamanan dan keandalan penyaluran energi listrik, penggunaan penghantar telanjang atau penghantar berisolasi setengah pada konstruksi jaringan saluran udara tegangan menengah 20 kV, dapat juga digantikan dengan konstruksi penghantar berisolasi penuh yang dipilin.

Isolasi penghantar tiap *fasa* tidak perlu dilindungi dengan pelindung mekanis. Berat kabel pilin menjadi pertimbangan terhadap pemilihan kekuatan beban kerja tiang beton penopangnya.

3) Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM)

Konstruksi SKTM ini adalah konstruksi yang aman dan andal untuk mendistribusikan energi listrik Tegangan Menengah, tetapi relatif lebih mahal untuk penyaluran daya yang sama. Keadaan ini dimungkinkan dengan konstruksi isolasi penghantar per *fasa* dan pelindung mekanis yang dipersyaratkan.

Penggunaan SKTM sebagai jaringan utama pendistribusian energi listrik adalah sebagai upaya utama peningkatan kualitas pendistribusian. Dibandingkan dengan SUTM, penggunaan SKTM akan memperkecil risiko kegagalan operasi akibat faktor eksternal atau meningkatkan keamanan ketenagalistrikan. Penerapan instalasi SKTM sering kali tidak dapat lepas dari instalasi SUTM sebagai satu kesatuan sistem distribusi sehingga masalah transisi konstruksi di antaranya tetap harus dijadikan perhatian.

b. Gardu Distribusi (GD)

Pengertian umum Gardu Distribusi energi listrik yang paling dikenal adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan energi listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380 V) (PT. PLN (Persero) Buku 4, 2010).

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas (PT. PLN (Persero) Buku 4, 2010) :

1) Jenis pemasangannya :

- a) Gardu pasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantol
- b) Gardu pasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kios

2) Jenis Konstruksinya :

- a) Gardu Beton (bangunan sipil : batu, beton)
- b) Gardu Tiang : Gardu Portal dan Gardu Cantol
- c) Gardu Kios

3) Jenis Penggunaannya :

- a) Gardu Pelanggan Umum
- b) Gardu Pelanggan Khusus

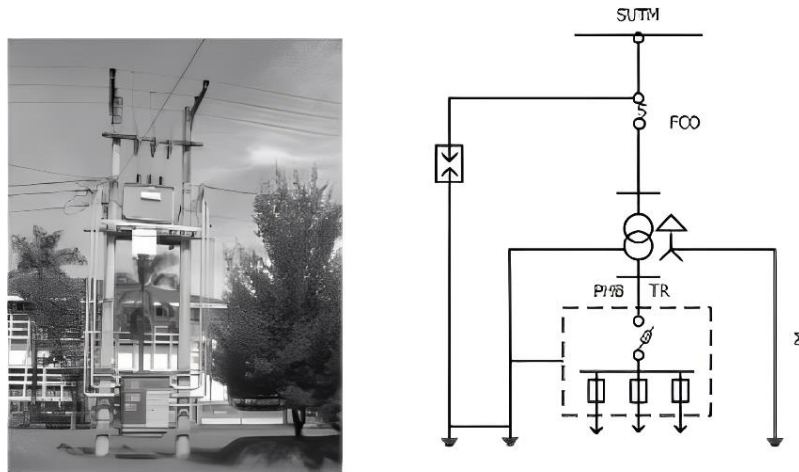
Khusus pengertian Gardu Hubung adalah gardu yang ditujukan untuk memudahkan manuver pembebanan dari satu penyulang ke penyulang lain yang dapat dilengkapi/tidak dilengkapi RTU (*Remote Terminal Unit*). Untuk fasilitas ini lazimnya dilengkapi fasilitas DC *Supply* dari Trafo Distribusi pemakaian sendiri atau Trafo distribusi untuk umum yang diletakkan dalam satu kesatuan. (PT. PLN (Persero) Buku 4, 2010)

Berikut macam – macam Gardu Distribusi (PT. PLN (Persero) Buku 4, 2010) :

1) Gardu Tiang

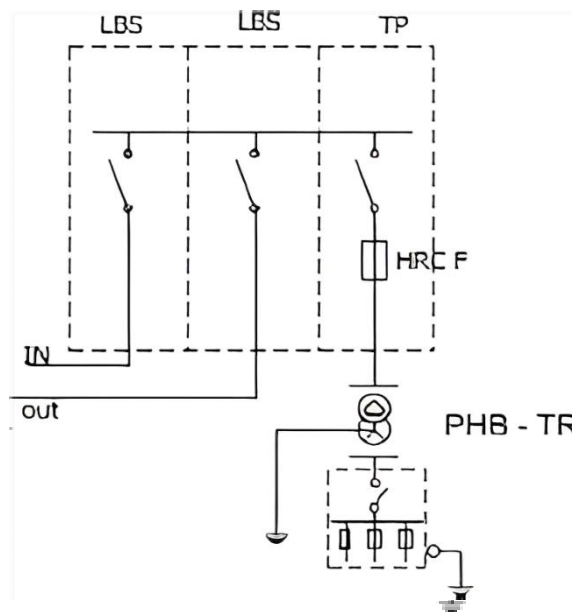
- a) Gardu Portal

Umumnya konfigurasi Gardu Tiang yang dicatu dari SUTM dengan peralatan pengaman. Pengaman Lebur *Cut-Out* (FCO) sebagai pengaman hubung singkat transformator dengan elemen pelebur dan *Lightning Arrester* (LA) sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat *surja* petir. Menggunakan Tiang : beton, besi, kayu.



Gambar 2.8 Gardu Portal dan Bagan satu garis (PT. PLN (Persero) Buku 4, 2010)

Untuk Gardu Tiang pada sistem jaringan lingkaran terbuka (*open-loop*), seperti pada sistem distribusi dengan saluran kabel bawah tanah, konfigurasi peralatan adalah π section dimana transformator distribusi dapat dicatu dari arah berbeda yaitu posisi *Incoming – Outgoing* atau dapat sebaliknya.



Gambar 2.9 Bagan satu garis Gardu Portal (PT. PLN (Persero) Buku 4, 2010)

Guna mengatasi faktor keterbatasan ruang pada Gardu Portal, maka digunakan konfigurasi *switching*/proteksi yang sudah dirakit ringkas sebagai RMU (*Ring Main Unit*). Peralatan *switching incoming-outgoing* berupa Pemutus Beban atau LBS (*Load Break Switch*) atau Pemutus Beban Otomatis (PBO) atau CB (*Circuit Breaker*) yang bekerja secara manual (atau digerakkan dengan *remote control*).

Fault Indicator (dalam hal ini PMFD : *Pole Mounted Fault Detector*) perlu dipasang pada *section* jaringan dan percabangan untuk memudahkan pencarian titik gangguan, sehingga jaringan yang tidak mengalami gangguan dapat dipulihkan lebih cepat.

b) Gardu Cantol

Pada Gardu Distribusi tipe cantol, transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya ≤ 100 kVA *fasa 3* atau *fasa 1*.

Transformator yang dipasang adalah jenis CSP (*Completely Self Protected Transformer*) yaitu peralatan *switching* dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator.



Gambar 2.10 Gardu Tipe Cantol (PT. PLN (Persero) Buku 4, 2010)

Perlengkapan perlindungan transformator tambahan LA (*Lightning Arrester*) dipasang terpisah dengan penghantar pembumiannya yang dihubung langsung dengan *body* transformator.

c) Gardu Beton atau Batu

Seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan *switching*/proteksi, terangkai di dalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton.

Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan.



Gambar 2.11 Gardu Batu (PT. PLN (Persero) Buku 4, 2010

d) Gardu Kios

Gardu tipe ini adalah bangunan terbuat dari konstruksi baja, *fiberglass* atau kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu Kios Kompak, Kios Modular dan Kios Bertingkat.



Gambar 2.12 Gardu Kios (PT. PLN (Persero) Buku 4, 2010)

e) Gardu Hubung

Gardu Hubung (GH) atau *Switching Substation* adalah gardu yang berfungsi sebagai sarana manuver pengendali beban listrik jika terjadi gangguan aliran listrik, program pelaksanaan pemeliharaan atau untuk maksud mempertahankan kontinuitas pelayanan.

Isi dari instalasi GH adalah rangkaian saklar beban *Load Break Switch* (LBS), dan atau pemutus tenaga yang terhubung paralel. GH juga dapat dilengkapi sarana pemutus tenaga pembatas beban pelanggan khusus Tegangan Menengah.

Konstruksi GH sama dengan GD tipe beton atau batu. Pada ruang dalam GH dapat dilengkapi dengan ruang untuk GD yang terpisah dan ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh.

Ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh dapat berada pada ruang yang sama dengan ruang GH, namun terpisah dengan ruang Gardu Distribusinya.

c. Jaringan Tegangan Rendah

Jaringan Distribusi Tegangan Rendah adalah bagian ujung dari suatu sistem energi listrik. Melalui jaringan distribusi ini disalurkan energi listrik ke konsumen. Mengingat ruang lingkup konstruksi jaringan distribusi ini langsung berhubungan dan berada pada lingkungan daerah berpenghuni, maka selain harus memenuhi persyaratan kualitas teknis pelayanan juga harus memenuhi persyaratan aman terhadap pengguna dan akrab terhadap lingkungan. Konfigurasi Saluran Udara Tegangan Rendah pada umumnya berbentuk radial. (PT. PLN (Persero) Buku 3, 2010)

Konstruksi Jaringan Tegangan Rendah terdiri dari (PT. PLN (Persero) Buku 3, 2010) :

- 1) Saluran Udara Tegangan Rendah Kabel pilin
- 2) Saluran Udara Tegangan Rendah *Bare Conductor*
- 3) Saluran Kabel tanah Tegangan Rendah

2.1.3 Komponen-komponen Sistem Distribusi Energi listrik

Komponen-komponen pada system distribusi energi listrik terdiri dari: Jaringan Tegangan Menengah, Gardu Distribusi dan Jaringan Tegangan rendah

a. Jaringan Tegangan Menengah

1) Penghantar

a) Penghantar Telanjang (*BC : Bare Conductor*)

Bare Conductor (BC) yaitu konduktor dengan bahan utama tembaga (Cu) atau aluminium (Al) yang dipilin bulat padat, sesuai SPLN 42 -10 : 1986 dan SPLN 74 : 1987. (PT. PLN (Persero) Buku 5, 2010)

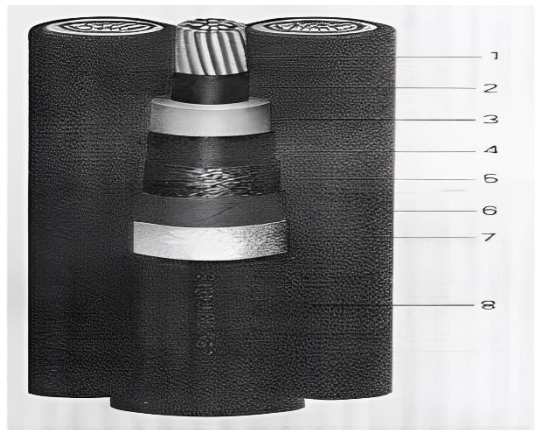
Pilihan konduktor penghantar telanjang yang memenuhi pada dekade ini adalah AAC (*All Aluminium Conductor*) atau AAAC (*All Aluminium Alloy Conduktor*). Sebagai akibat tingginya harga tembaga dunia. Saat ini belum memungkinkan penggunaan penghantar berbahan tembaga sebagai pilihan yang baik.

b) Penghantar Berisolasi Setengah AAAC-S (*half insulated single core*)

Konduktor dengan bahan utama aluminium ini diisolasi dengan material XLPE (*crosslink polyetilene* langsung), dengan batas tegangan pengenal 6 kV dan harus memenuhi SPLN No 43-5-6 tahun 1995

c) Penghantar Berisolasi Penuh (*Three single core*)

XLPE dan berselubung PVC dengan penggantung berupa penghantar baja dengan tegangan pengenal 12/20 (24) kV. Penghantar jenis ini khusus digunakan untuk SKUTM dan berisolasi penuh sesuai SPLN 43-5-2:1995-Kabel. (PT. PLN (Persero) Buku 5, 2010)






Gambar 2.13 Penghantar Berisolasi Penuh (*Three Single Core*) (PT. PLN (Persero) Buku 5, 2010)

2) Isolator



Pada jaringan SUTM, Isolator pengaman penghantar bertegangan dengan tiang penopang/*travers* dibedakan untuk jenis konstruksinya adalah:

a) Isolator Tumpu

Pin- Insulator	Pin-Post insulator	Line-Post insulator
		

Gambar 2.14 Jenis - jenis Isolator Tumpu (PT. PLN (Persero) Buku 5, 2010)

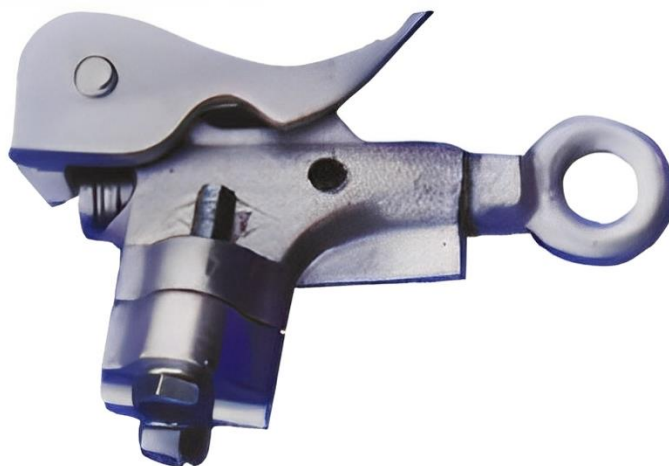
b) Isolator Tarik

Piringan	Long-Rod	Keterangan
		Material dasar isolator Long-Rod dapat berupa keramik atau gelas atau polimer

Gambar 2.15 Jenis-Jenis Isolator Tarik (PT. PLN (Persero) Buku 5, 2010)

3) Peralatan Hubung (*Switching*) Connector

Konektor (*connector*) adalah komponen yang dipergunakan untuk menyadap atau mencabangkan kawat penghantar SUTM ke gardu maupun percabangan jaringan tegangan menengah. Dalam konstruksi sambungan tegangan menengah yang biasa digunakan yaitu sambungan *Joint sleeve*, *Joint Type H*, *Connector* baut, dan *Live Line Connector*. Jenis konektor yang digunakan untuk instalasi ini ditetapkan menggunakan *Live Line Connector* (sambungan yang bisa dibuka-pasang) untuk memudahkan membuka/memasang pada keadaan bertegangan. (PT. PLN (Persero) Buku 5, 2010)

Gambar 2.16 *Live Line Connector* (PT. PLN (Persero) Buku 5, 2010)

4) Tiang

Untuk konstruksi Jaringan Tegangan Menengah (JTM), tiang yang dipakai adalah dari jenis tiang kayu, tiang besi, dan tiang beton dengan ukuran 11 m, 12 m, 13 m, 15 m dan dengan kekuatan 350 daN, 500 daN, 800 daN (Hamma, 2012).

a) Tiang Kayu

Sesuai SPLN 115 : 1995 berisikan tentang Tiang Kayu untuk jaringan distribusi, kekuatan, ketinggian dan pengawetan kayu sehingga pada beberapa wilayah perusahaan PT. PLN Persero bila suplai kayu memungkinkan, dapat digunakan sebagai tiang penopang penghantar-pengantar SUTM. (PT. PLN (Persero) Buku 5, 2010)

b) Tiang Besi

Adalah jenis tiang terbuat dari pipa besi yang disambungkan hingga diperoleh kekuatan beban tertentu sesuai kebutuhan.

Walaupun lebih mahal, pilihan tiang besi untuk area/wilayah tertentu masih diizinkan karena bobotnya lebih ringan dibandingkan dengan tiang beton. Pilihan utama juga dimungkinkan bila mana total biaya material dan transportasi lebih murah dibandingkan dengan tiang beton akibat di wilayah tersebut belum ada pabrik tiang beton.

c) Tiang Beton

Untuk kekuatan sama, pilihan tiang jenis ini dianjurkan digunakan di seluruh PLN karena lebih murah dibandingkan dengan jenis konstruksi tiang lainnya termasuk terhadap kemungkinan penggunaan konstruksi rangkaian besi profil.

Pemilihan kekuatan tiang dipilih berdasarkan luas penampang, sistem jaringan (satu fasa, tiga fasa), sudut belokan hantaran, dan fungsi tiang. Tabel 2.1 memperlihatkan pemilihan kekuatan tiang distribusi tegangan menengah.

Tabel 2.1 Pemilihan Kekuatan Tiang Ujung Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

Jarak gawang	Sudut Jalur	Penghantar A3C	Penghantar Twisted JTR	Ukuran Tiang (daN)					
				200	350	500	800	2x800	1200
50 m	0 ⁰ - 15 ⁰	35 mm ²	X		X				
	15 ⁰ - 30 ⁰	35 mm ²	X			X			
	30 ⁰ - 60 ⁰	35 mm ²	X				X		
	> 60 ⁰	35 mm ²	X					X	X
	0 ⁰ - 15 ⁰	70 mm ²	X		X				
	15 ⁰ - 30 ⁰	70 mm ²	X			X			
	30 ⁰ - 60 ⁰	70 mm ²	X				X		X
	> 60 ⁰	70 mm ²	X					X	X
	0 ⁰ - 15 ⁰	150 mm ²	X			X			
	15 ⁰ - 30 ⁰	150 mm ²	X				X		
	30 ⁰ - 60 ⁰	150 mm ²	X					X	X
	> 60 ⁰	150 mm ²	X					X	X
	0 ⁰ - 15 ⁰	240 mm ²	X			X			
	15 ⁰ - 30 ⁰	240 mm ²	X				X		
	30 ⁰ - 60 ⁰	240 mm ²	X					X	
	> 60 ⁰	240 mm ²	X					X	
	0 ⁰ - 15 ⁰	<i>Double</i>				X			
	15 ⁰ - 30 ⁰	<i>Circuit</i>					X		
30 ⁰ - 60 ⁰	150 mm ²						X	X	
> 60 ⁰							X	X	

Sumber : Hamma (2012)

b. Gardu Distribusi

Gardu Distribusi merupakan salah satu komponen dari suatu sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk mendistribusikan energi listrik pada beban baik tegangan menengah atau tegangan rendah.

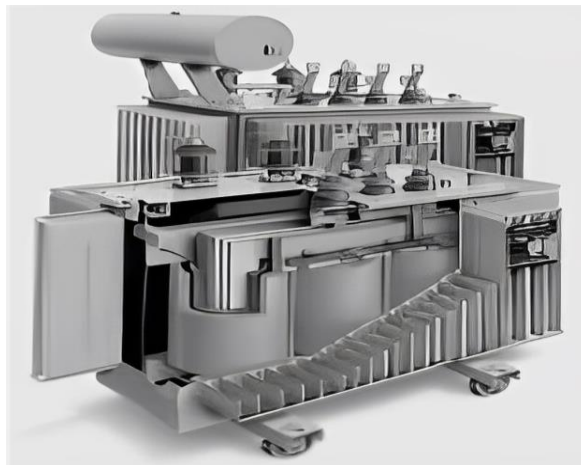
Transformator *step up* digunakan pada pembangkit energi listrik agar tegangan yang didistribusikan pada suatu jaringan panjang tidak terjadi jatuh tegangan (*Voltage drop*). Transformator *step down* untuk menurunkan tegangan listrik dari jaringan distribusi tegangan menengah menjadi tegangan rendah yaitu 20 kV menjadi tegangan 220/380 kV.

1) Transformator

a) Transformator Distribusi *Fasa 3*

Untuk transformator tiga fasa , merujuk pada SPLN, ada tiga tipe vektor grup yang digunakan oleh PLN, yaitu **Yzn5**, **Dyn5** dan **Ynyn0**. Titik netral langsung dihubungkan dengan tanah. Untuk konstruksi, peralatan transformator distribusi sepenuhnya harus merujuk pada SPLN D3.002-1: 2007 (PT. PLN (Persero) Buku 5, 2010).

Transformator gardu pemasangan luar dilengkapi *bushing* Tegangan Menengah (TM) isolator keramik. Sedangkan Transformator gardu pemasangan dalam dilengkapi *bushing* TM isolator keramik atau menggunakan isolator *plug-in premoulded*.



Gambar 2.17 Transformator Distribusi *fasa 3* yang dibelah (PT. PLN (Persero) Buku 5, 2010)

Tabel 2.2 Vektor Grup dan Daya Transformator

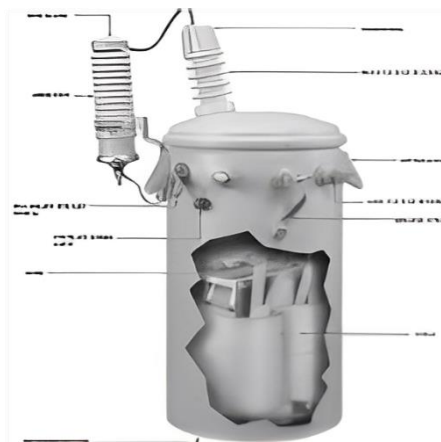
No	Vektor Grup	Daya (kVA)	Keterangan
1	Yzn5	50 100 160	Untuk Sistem 3 Kawat
2	Dyn5	200 250 315 400 500 630	Untuk sistem 3 Kawat

No	Vektor Grup	Daya (kVA)	Keterangan
3	Ynyn0	50	Untuk sistem 4 Kawat
		100	
		160	
		200	
		250	
		315	
		400	
		500	
		630	

Sumber : PT. PLN (Persero) Buku 4 (2010)

b) Transformator *Completely Self Protected* (CSP)

Transformator *Completely Self Protected* (CSP) adalah transformator distribusi yang sudah dilengkapi dengan Pengaman Lebur (*fuse*) pada sisi primer dan LBS (*Load Break Switch*) pada sisi sekunder. Spesifikasi teknis transformator ini merujuk pada SPLN No 95: 1994 dan SPLN D3.002-1: 2007 (PT. PLN (Persero) Buku 4, 2010).



Gambar 2.18 Transformator CSP (*Completely Self Protected*) terlihat bagian dalamnya (PT. PLN (Persero) Buku 4, 2010)

2) Pengaman

a) *Fused Cut Out* (FCO)

Pengaman lebur untuk gardu distribusi pasangan luar dipasang pada *Fused Cut Out* (FCO) dalam bentuk *Fuse Link*. Terdapat 3 jenis

karakteristik *Fuse Link*, tipe-K (cepat), tipe-T (lambat) dan tipe-H yang tahan terhadap arus *surja*.

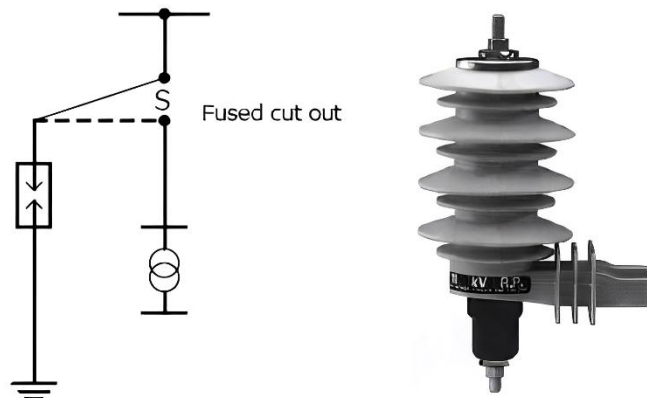
Jika sadapan *Lightning Arrester* (LA) sesudah *Fused Cut Out*, dipilih *Fuse Link* tipe-H. Jika sebelum *Fused Cut Out* (FCO) dipilih *Fuse Link* tipe-K.

Sesuai Publikasi IEC 282-2 (1970)/NEMA) di sisi primer berupa pelebur jenis pembatas arus. Arus pengenal pelebur jenis letupan (*expulsion*) tipe-H (tahan *surja* kilat) tipe-T (lambat) dan tipe-K (cepat) dan untuk pengaman berbagai daya pengenal transformator, dengan atau tanpa koordinasi dengan pengamanan sisi sekunder (PT. PLN (Persero) Buku 5, 2010).



Gambar 2.19 *Fused Cut Out* (FCO) (PT. PLN (Persero) Buku 5, 2010)

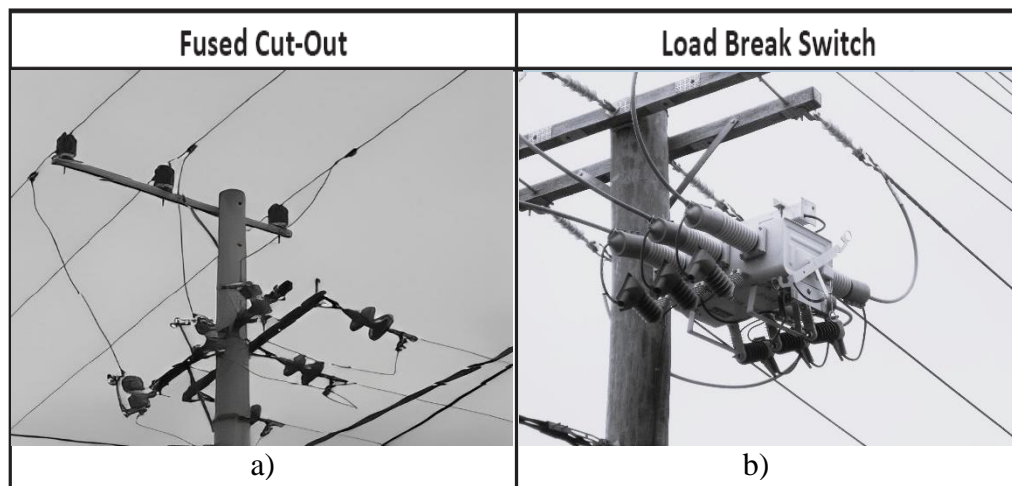
b) *Lightning Arrester* (LA)



Gambar 2.20 *Lightning Arrester* (LA) (PT. PLN (Persero) Buku 5, 2010)

Lightning Arrester (LA) berfungsi untuk melindungi transformator distribusi, khususnya pada pasangan luar dari tegangan lebih akibat *surja* petir. Dengan pertimbangan masalah gangguan pada SUTM, Pemasangan *Arrester* dapat saja dipasang sebelum atau sesudah FCO.

Pada percabangan atau pengalokasian seksi pada jaringan SUTM untuk maksud kemudahan operasional harus dipasang Pemutus Beban (*Load Break Switch : LBS*), selain LBS dapat juga dipasangkan *Fused Cut-Out (FCO)*.



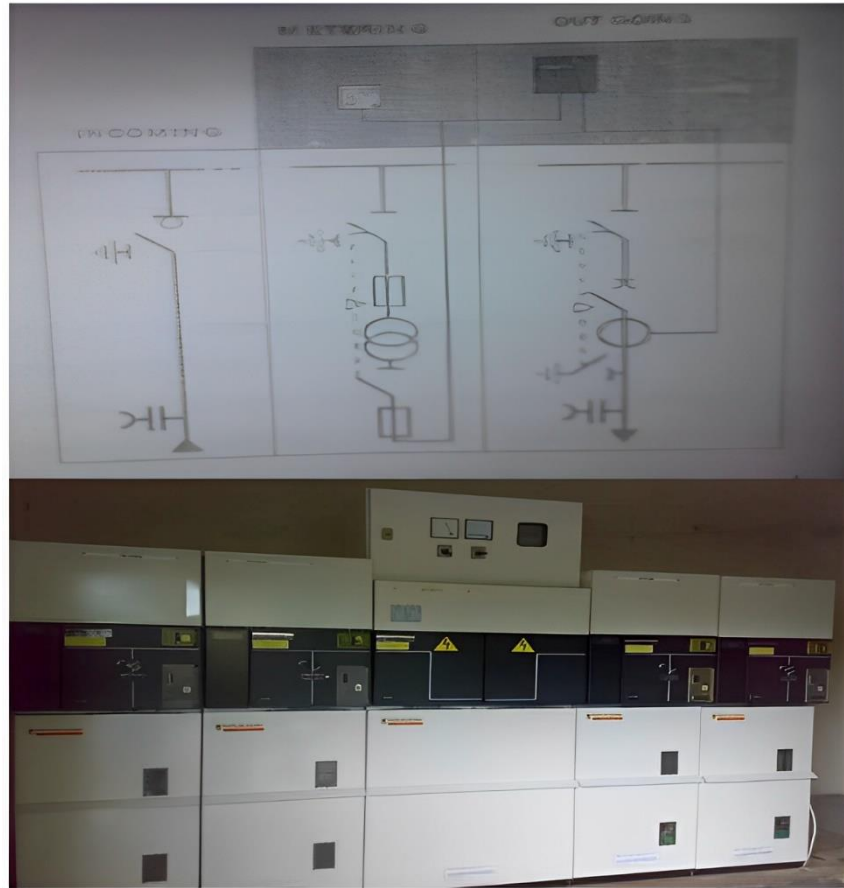
Gambar 2.21 a) Contoh Letak Pemasangan *Fused Cut Out (FCO)*; b) Contoh Letak Pemasangan *Load Break Switch (LBS)* (PT. PLN (Persero) Buku 5, 2010)

3) PHB sisi Tegangan Rendah (PHB-TR) dan Panel Tegangan Menengah

PHB-TR adalah suatu kombinasi dari satu atau lebih Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah dengan peralatan kontrol, peralatan ukur, pengaman dan kendali yang saling berhubungan. Keseluruhannya dirakit lengkap dengan sistem pengawatan dan mekanis pada bagian-bagian penyangganya.

PHB Tegangan Menengah atau yang biasa disebut dengan istilah *cubicle* merupakan seperangkat panel hubung bagi dengan tegangannya 20.000 Volt yang dipasang dalam gardu induk berfungsi sebagai pembagi,

pemutus, penghubung, pengontrol dan proteksi sistem penyaluran energi listrik ke pusat-pusat beban.



Gambar 2.22 PHB Tegangan Menengah (Hamma, 2012)

C. Jaringan Tegangan Rendah (JTR)

1) Komponen utama konstruksi Jaringan Tegangan Rendah.

Terdapat sejumlah komponen utama konstruksi pada Jaringan Tegangan Rendah :

- a) Tiang Beton
- b) Penghantar Kabel Pilin Udara (NFA2Y)
- c) Penghantar Kabel Bawah Tanah (NYFGBY)
- d) Perlengkapan Hubung Bagi dengan Kendali
- e) *Tension bracket*
- f) *Strain clamp*

- g) *Suspension bracket*
- h) *Suspension Clamp*
- i) *Stainless steel strip*
- j) *Stopping buckle*
- k) *Link*
- l) *Plastic strap*
- m) *Joint sleeve Press Type (Al – Al ; Al – Cu)*
- n) *Connector press type*
- o) *Piercing Connector Type*
- p) *Elektroda Pembumian*
- q) *Penghantar Pembumian*
- r) *Pipa galvanis*
- s) *Turn buckle*
- t) *Guy-wire insulator*
- u) *Ground anchor set*
- v) *Steel wire*
- w) *Guy-Anchor*
- x) *Collar bracket*
- y) *Terminating thimble*
- z) *U – clamp dan Connector Block*

2) Operasi Jaringan Sistem Distribusi Tegangan Rendah

Jaringan sistem distribusi tegangan rendah atau yang biasa disebut dengan jaringan tegangan sekunder digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada di konsumen menggunakan SUTR dengan besar tegangan 380/220V. SUTR dapat berupa saluran udara dengan konduktor yang telanjang atau kabel udara. Saluran tegangan rendah dapat berupa kabel tanah namun kabel ini sangat jarang sekali dipakai di Indonesia karena harganya yang relatif mahal. SUTR yang menggunakan kabel udara banyak dikembangkan pemakaiannya oleh PLN karena gangguannya lebih sedikit dibandingkan dengan SUTR yang

menggunakan konduktor telanjang. jika dibandingkan dengan kabel tanah tegangan rendah, SUTR yang memakai kabel udara masih lebih murah. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial dan pengamannya hanya berupa sekring saja. Sistem ini biasanya disebut tegangan rendah yang langsung akan dihubungkan kepada konsumen/pemakai energi listrik dengan peralatan-peralatan sebagai berikut:

- Papan pembagi pada transformator distribusi
- Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder)
- Saluran layanan pelanggan (SLP) (ke konsumen/pemakai)
- Alat pembatas dan pengukur daya (kWH meter) serta *fuse* atau pengaman pada pelanggan

2.2. Rugi-rugi Pada Sistem Energi listrik

2.2.1. Umum

Rugi (*losses*) dalam sistem kelistrikan merupakan sesuatu yang sudah pasti terjadi. Pada dasarnya rugi daya adalah selisih jumlah energi listrik yang dibangkitkan dibandingkan dengan jumlah energi listrik yang sampai ke konsumen. *Losses* adalah turunan nilai ekuitas dari transaksi yang sifatnya insidental dan bukan kegiatan utama entitas. Dimana seluruh transaksi kejadian lainnya yang memengaruhi entitas selama periode tertentu, kecuali yang berasal dari biaya atau pemberian kepada pemilik (*prive*).

2.2.2. Jenis Rugi-Rugi Pada Sistem Distribusi

Setiap peralatan listrik yang digunakan tidak selamanya bekerja dengan sempurna. Semakin lama waktu pemakaian maka akan berkurangnya efisiensi dari peralatan tersebut sehingga akan mengakibatkan rugi-rugi yang semakin besar pula (Hadi, 1994).

Pada sistem distribusi listrik rugi daya (*losses*) dibedakan menjadi beberapa jenis. Menurut Keputusan Direksi PT.PLN (Persero) No.217-1.K/DIR/2005

(2005:2) tentang Pedoman Penyusunan Laporan Neraca Energi (Kwh), jenis susut (rugi daya) energi listrik dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

- Berdasarkan tempat terjadinya, susut transmisi dan susut distribusi.
- Berdasarkan sifatnya, susut teknis dan non teknis

a. Rugi-rugi pada sistem energi listrik berdasarkan tempat terjadinya dibagi menjadi dua yaitu:

- 1) Rugi-rugi sistem transmisi yaitu rugi-rugi transformator *step up* (trafo tegangan tinggi), saluran transmisi, dan transformator di gardu induk
- 2) Rugi-rugi pada sistem distribusi yaitu rugi-rugi pada *feeder* utama (penyulang utama) serta jaringan, transformator distribusi, peralatan distribusi, dan pengukuran.

b. Rugi-rugi pada sistem energi listrik berdasarkan sifatnya terbagi menjadi:

- 1) Rugi-rugi Non-teknis.

Rugi-rugi non teknis muncul akibat adanya masalah pada penyaluran sistem energi listrik. Untuk mengantisipasi rugi non teknis yang sering terjadi seperti pencurian dan penyambungan listrik secara ilegal maka PLN harus melakukan langkah seperti melakukan pemeriksaan ke setiap pelanggan dan melakukan tindakan pemutusan aliran listrik serta melaporkan ke pihak berwajib jika terbukti adanya tindak pencurian dan penyambungan listrik secara ilegal.

- 2) Rugi-rugi Teknis.

Rugi-rugi teknis (susut teknis) muncul akibat sifat daya hantar material/peralatan listrik itu sendiri yang sangat bergantung dari kualitas bahan dari material/peralatan listrik tersebut, jika pada jaringan maka akan sangat bergantung pada konfigurasi jaringannya.

a) Kerugian akibat panas

Jika suatu penghantar dialiri arus listrik secara terus-menerus maka akan menimbulkan panas, panas ini timbul akibat energi listrik yang mengalir pada penghantar tersebut. Semakin lama arus tersebut mengalir maka semakin panas penghantar tersebut dan semakin banyak energi listrik yang hilang karena energi tersebut berubah menjadi panas. Hal inilah yang merugikan karena jika energi hilang maka tegangan pada ujung penghantar tersebut akan berkurang. Semakin banyak energi yang menjadi panas maka semakin banyak daya yang hilang.

b) Kerugian akibat jarak

Sangat berpengaruh pada keandalan jaringan karena semakin jauh atau panjang penghantar listrik tersebut maka akan banyak daya listrik yang menghilang karena penghantar itu sendiri memiliki tahanan, jadi karena jarak penghantar sangat jauh dari sumber atau pembangkit energi listrik maka nilai tahanan penghantar itu sendiri akan mengurangi daya yang mengalir pada penghantar tersebut.

c) Luas penampang penghantar

Arus listrik yang mengalir dalam penghantar selalu mengalami tahanan dari penghantar itu sendiri, besarnya tahanan tergantung bahannya. Tegangan juga sangat berpengaruh terhadap rugi-rugi daya, semakin besar tegangan pada suatu saluran maka semakin kecil arus pada saluran tersebut. Begitu juga dengan arus, merupakan salah satu faktor yang memengaruhi besar kecilnya rugi daya pada suatu saluran.

2.3. Evaluasi Pada Sistem Distribusi Energi listrik

2.3.1. Kuat Hantar Arus (KHA) Penghantar

Menurut PUIL 2011, Kuat Hantar Arus (KHA) adalah kemampuan/kuat sebuah kawat penghantar untuk dilewati oleh beban/arus listrik dalam jumlah maksimum. Dalam definisi yang lain, KHA juga bisa diartikan sebagai total beban maksimum yang mampu ditahan oleh sebuah penghantar secara terus menerus dan dalam batas yang aman.

Jaringan tegangan rendah pada sistem distribusi energi listrik Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin merupakan jaringan yang terhubung langsung pada pusat-pusat beban yang terbagi di gedung fakultas maupun gedung administrasi lainnya yang ada di Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin. Jaringan tegangan rendah dimulai dari *out-going* trafo distribusi 20 kV/220 V yang ada pada masing-masing gardu distribusi/*Substation*.

Dalam menyuplai energi listrik ke pusat-pusat beban yang ada di Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin tentunya membutuhkan kabel ataupun penghantar yang berfungsi untuk mengalir energi listrik ke konsumen tegangan rendah. Kemampuan suatu kabel ataupun penghantar dalam mengalirkan arus listrik juga bervariasi bergantung dari kebutuhan beban pada masing-masing gardu distribusi/*Substation*. Karena jika penggunaan penghantar kabel tidak tepat pemakaiannya pada sebuah instalasi, maka hal tersebut akan menyebabkan pemanasan berlebih pada kabel penghantar tersebut, terlebih lagi jika suhu panas terus-menerus mengalami peningkatan maka akan menimbulkan percikan api dan mungkin saja kabel dengan mudahnya dapat terbakar.

Di dalam pedoman Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) telah ditentukan bagaimana cara menghitung penampang kabel menggunakan rumus KHA. Dimana nantinya, hasil dari perhitungan KHA tersebut akan dibandingkan dengan kabel standar KHA pada PUIL sehingga penentuan ukuran luas penampang yang akan dipergunakan pada sebuah kabel penghantar akan tepat dan sesuai dengan standarnya. Menghitung kuat arus hantar kabel dapat dilakukan dengan merujuk pada aturan yang telah ditetapkan pada pedoman PUIL. Berikut ini adalah

rumus bagaimana cara untuk menghitung dan menentukan kapasitas hantar arus (KHA) :

$$\text{Kuat Hantar Arus (KHA)} = 125 \% \times I \quad (2.1)$$

Dimana:

KHA = Kuat Hantar Arus (A)

I = Arus Maksimal (A)

Tabel 2.3 Kuat Hantar Arus Penghantar PUIL 2011

Jenis kabel	Luas Penampang (mm ²)	KHA terus menerus					
		Inti tunggal		2-inti		3-inti dan 4-inti	
		di tanah (A)	di udara (A)	di tanah (A)	di udara (A)	di tanah (A)	di udara (A)
NY Y	1,5	40	26	31	20	26	18,5
NYBY	2,5	54	35	41	27	34	25
NYFGbY	4	70	46	54	37	44	34
NYRGbY	6	90	58	68	48	56	43
NYCY	10	122	79	92	66	75	60
NYCWY	16	160	105	121	89	98	80
NYSY	25	206	140	153	118	128	106
NYCEY	35	249	174	187	145	157	131
NYSEY	50	296	212	222	176	185	159
NYHSY	70	365	269	272	224	228	202
NYKY	95	438	331	328	271	275	244
NYKBY	120	499	386	375	314	313	282
NYKFGbY	150	561	442	419	361	353	324
NYKRGbY	185	637	511	475	412	399	371
	240	743	612	550	484	464	436
	300	843	707	525	590	524	481
	400	986	859	605	710	600	560
	500	1125	1000	-	-	-	-

Sumber : Badan Standardisasi Nasional (2011)

2.3.2. Keseimbangan Beban Pada Trafo

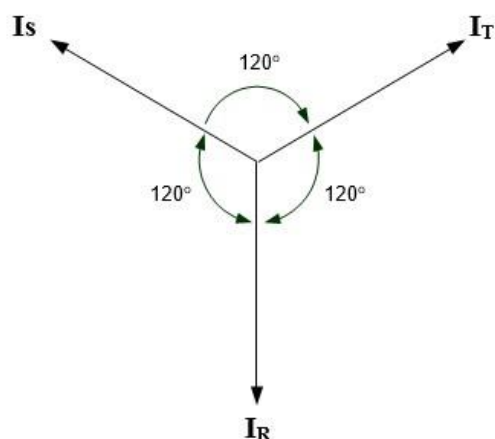
Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi energi listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya *losses* (rugi-rugi), yaitu *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo.

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana:

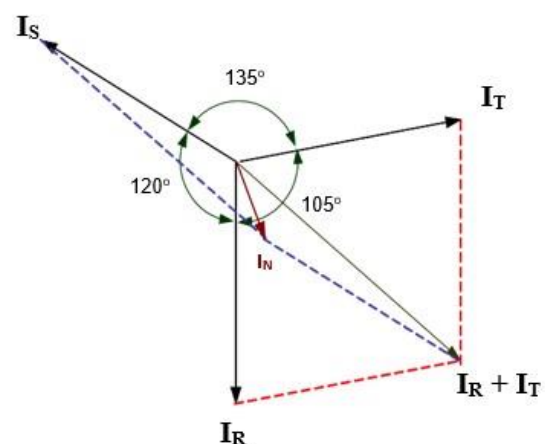
- Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidakseimbang adalah keadaan di mana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu:

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 2.23
Vektor Diagram Arus Seimbang



Gambar 2.24
Vektor Diagram Arus Tidak Seimbang

Gambar 2.23 menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N). Sedangkan pada Gambar 2.24 menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

Menghitung arus beban (full load) pada suatu trafo distribusi dengan menggunakan rumus :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (2.2)$$

Dengan:

I_{FL} = Arus beban penuh (A)

S = Daya Trafo (kVA)

V = Tegangan sisi sekunder trafo (kV)

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan *losses* (rugi-rugi). *Losses* pada penghantar netraltrafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \quad (2.3)$$

Dengan:

P_N = Losses pada penghantar netral trafo (watt)

I_N = Arus yang mengalir pada netral trafo (A)

R_N = Tahanan Penghantar Trafo (Ω)

Misalnya daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi \quad (2.4)$$

Dengan:

P = daya pada ujung kirim

V = tegangan pada ujung kirim

$\cos \phi$ = faktor daya

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran. Jika $[I]$ adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a , b dan c sebagai berikut:

$$\begin{aligned} [I_R] &= a [I] \\ [I_S] &= b [I] \\ [I_T] &= c [I] \end{aligned} \tag{2.5}$$

Dengan I_R , I_S dan I_T berturut-turut adalah arus di fasa R, S dan T. Bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai:

$$P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi \tag{2.6}$$

Apabila persamaan tersebut menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a , b , dan c yaitu:

$$a + b + c = 3 \tag{2.7}$$

Dimana pada keadaan seimbang, nilai $a = b = c = 1$

Tabel 2.4 Matriks *Online Assessment Tier-1* Pada Trafo Distribusi

Charac. Group	Characteristic	Health Index			
		Baik	Cukup	Kurang	Buruk
Visual Inspection	Kebocoran Minyak Trafo	Bersih	Packing retak	Packing retak/berminyak	Rembes/Tetes
	Kondisi Fisik Trafo	Mulus	Cacat sirip minor	Cacat sirip major	Bengkak
	Pembumian Trafo	$< 1,7 \Omega$	$1,7 \Omega - < 5 \Omega$	$5 \Omega - < 10 \Omega$	$\geq 5 \Omega$
	Kesesuaian Ampere Fuse TR	Sesuai standar	Deviasi 1 tingkat di atas standar	Deviasi 2 tingkat di atas standar	Fuse TR tidak ada (<i>by pass</i>)
	Kondisi <i>Low Voltage Switch Borad (LVSB)</i>	Boks bersih, instalasi rapi	Boks kotor, instalasi rapi	Boks karatan, instalasi rapi	Boks bocor, instalasi buruk
Load Reading and Profilling	Pembebanan Arus (TR) (% thp KHA Outlet)	$< 60 \%$	$60 \% - < 80\%$	$80 \% - < 100 \%$	$\geq 100 \%$
	Ketidakeimbangan Arus antar Fasa	$< 10 \%$	$10 \% - < 20\%$	$20 \% - < 25 \%$	$\geq 25 \%$
	Besar arus netral TR (% terhadap arus beban trafo)	$< 10 \%$	$10 \% - < 15\%$	$15 \% - < 20 \%$	$\geq 20 \%$
	Pembebanan Trafo (% Terhadap Kapasitas)	$< 60 \%$	$60 \% - < 80\%$	$80 \% - < 100 \%$	$\geq 100 \%$

Sumber : PT. PLN (Persero) (2014)

2.3.3. Kebutuhan Kapasitor untuk 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

Tabel 2.5 Faktor Pengali Perbaikan Faktor Daya dengan Kapasitor

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	0.918	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	0.551	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	0.770	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

Sumber : Khaddavi (2021)

2.4. Perhitungan Tarif Dasar Listrik

Tarif daya listrik (TDL) adalah harga yang telah ditetapkan oleh pemerintah untuk pelanggan listrik dari perusahaan listrik negara (PLN). Untuk golongan tarif daya listrik yang mendapatkan subsidi yaitu golongan pemakai listrik pada rumah tangga yang di bawah 900 VA sedangkan penggunaan di atas 900 VA tidak mendapatkan subsidi.

Tabel 2.6 Tarif Adjustment PLN Januari – Maret 2023

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	R-1/TR	900 VA-RTM	*)	1.352,00	1.352,00
2.	R-1/TR	1.300 VA	*)	1.444,70	1.444,70
3.	R-1/TR	2.200 VA	*)	1.444,70	1.444,70
4.	R-2/TR	3.500 VA s.d. 5.500 VA	*)	1.699,53	1.699,53
5.	R-3/TR	6.600 VA ke atas	*)	1.699,53	1.699,53
6.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.444,70	1.444,70
7.	B-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
8.	I-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
9.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan Blok LWBP = 996,74 kVArh = 996,74 ****)	-
10.	P-1/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.699,53	1.699,53
11.	P-2/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.415,01 Blok LWBP = 1.415,01 kVArh = 1.522,88 ****)	-
12.	P-3/TR		*)	1.699,53	1.699,53
13.	L/TR, TM, TT		-	1.644,52	-

Catatan :

*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
 $RM1 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian.}$

***) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
 $RM2 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian LWBP.}$
 Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

****) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
 $RM3 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian WBP dan LWBP.}$
 Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

*****) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).

K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat ($1,4 \leq K \leq 2$), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

WBP : Waktu Beban Puncak.
 LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

Sumber : PT. PLN (Persero) (2023)

Metode Perhitungan Tarif Daya Listrik adalah sebagai berikut.

$$\text{Biaya WBP} = K \times \frac{\text{Biaya Pemakaian (Rp/kWh)} \times \text{Daya Terpakai (kW)}}{\text{Waktu Pemakaian}} \quad (2.8)$$

$$\text{Biaya LWBP} = \frac{\text{Biaya Pemakaian (Rp/kWh)} \times \text{Daya Terpakai (kW)}}{\text{Waktu Pemakaian}} \quad (2.9)$$

$$\text{Biaya Total} = \text{Biaya WBP} + \text{LWBP} \quad (2.10)$$

Dengan nilai :

Biaya WBP = Biaya waktu beban puncak.

Biaya LWBP = Biaya luar waktu beban puncak.

$K = 1.4 \leq K \leq 2$, faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP Berdasarkan ketentuan dari PLN.

Dalam Tarif Dasar Listrik PLN telah ditetapkan bahwa pelanggan industri dengan faktor daya (pf) beban listriknya lebih rendah dari 0,85 akan dikenakan biaya pemakaian daya reaktif (kVARh), disamping biaya pemakaian daya aktif (kWh). Dengan demikian pelanggan listrik diwajibkan membayar biaya kelebihan kVARh yang dipakai selama satu bulan. berikut perhitungan kelebihan pemakaian kVARh dalam rupiah yang ditagihkan oleh PLN:

$$Q = P \times \tan (\text{Arc Cos } \theta) \quad (2.11)$$

$$Q_f = Q - (\tan (\text{Arc Cos } \theta) \times P) \quad (2.12)$$

$$\text{Denda} = Q_f \times \text{Biaya Pemakaian} \quad (2.13)$$

Keterangan :

Q_f = Daya Reaktif yang dikenakan biaya per bulan (kVARh)

P = Daya Aktif Listrik yang dikonsumsi (kWh)

Q = Daya Reaktif yang dikonsumsi perbulan (kVAR)

Denda = Biaya kelebihan pemakaian kVARh (Rp.)

Untuk terhindar dari denda kVArh maka pemakaian listrik dalam sebuah industri harus memiliki nilai $\cos \phi$ lebih besar dari 0,85 atau jumlah pemakaian daya reaktif per bulan tidak lebih dari 0,62 kali dari pemakaian daya aktif per bulan sesuai yang tertera pada Pasal 3 Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 28 Tahun 2016 tentang Tarif Energi listrik Yang Disediakan Oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero).

2.5. Teknik Analisis Ekonomi Kelayakan Proyek Investasi

Aplikasi prinsip-prinsip ekonomi teknik digunakan baik dalam analisis kelayakan ekonomi proyek-proyek teknik maupun membantu dalam pengambilan keputusan, dengan berdasarkan parameter ekonomi berikut :

A. *Net Present Value*

Net Present Value digunakan untuk menentukan nilai tunai penerimaan dan pencairan uang di masa depan, sehingga dengan metode ini kelayakan perencanaan investasi dan proyeksi *cashflow* di masa depan harus dinyatakan pada nilai yang sekarang atau didiskontokan dengan tingkat suku bunga yang sesuai. Untuk menghitung *Net Present Value* (NPV) dipergunakan persamaan sebagai berikut :

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{c_1}{(1+r)^t} - C_0 \quad (2.14)$$

Keterangan :

NPV = *Net Present Value*

C_0 = *Initial Investment*

t = Jangka Waktu

r = Tingkat Diskonto

Pengembalian modal dalam jangka waktu tertentu yang diharapkan, apabila memberikan harga $NPV > 0$, maka investasi dikategorikan layak dan $NPV < 0$ investasi dikategorikan tidak layak.

B. *Internal Rate of Return (IRR)*

Internal Rate of Return disingkat IRR yang merupakan indikator tingkat efisiensi dari suatu investasi. Suatu proyek/investasi dapat dilakukan apabila laju pengembaliannya (*rate of return*) lebih besar daripada laju pengembalian apabila melakukan investasi di tempat lain (bunga deposito bank, reksadana dan lain-lain)

Jika hasil IRR yang didapat lebih besar dari *cost of capital* maka menggambarkan bahwa investasi yang dilakukan akan menghasilkan *return* lebih besar dari yang diharapkan, sehingga perusahaan sebaiknya menerima proyek tersebut. IRR yang lebih kecil dari *cost of capital* menggambarkan investasi yang dilakukan akan menghasilkan *return* lebih kecil dari yang diharapkan, sehingga perusahaan sebaiknya menolak proyek investasi tersebut. Sedangkan untuk IRR yang sama dengan *cost of capital* maka investasi yang dilakukan diperkirakan akan menghasilkan *return* sebesar yang diharapkan (Peterson, 2002).

Berikut rumus yang dapat digunakan untuk menghitung nilai *Internal Rate of Return (IRR)* :

$$IRR = r_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \times (r_2 - r_1) \quad (2.15)$$

Keterangan :

IRR = *Internal Rate of Return*

r₁ = Tingkat bunga yang kecil

r₂ = Tingkat bunga yang besar

NPV₁ = *Net Present Value* pada tingkat bunga kecil

NPV₂ = *Net Present Value* pada tingkat bunga besar

C. *Payback Period*

Payback period (PP) adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi, Cara perhitungan PP adalah dengan menghitung waktu yang dibutuhkan (tahun) agar arus kas bersih kumulatif yang ditaksir akan sama dengan investasi awal. Bila periode waktu PP lebih

pendek dari umur proyek maka investasi proyek akan dinilai layak dan bila periode waktu PP lebih panjang dari umur proyek maka investasi proyek dinilai belum layak.

$$PP = \frac{C_0}{C_t} \quad (2.16)$$

Keterangan :

PP = *Payback Periode*

C_0 = *Initial Investment*

C_t = Keuntungan tiap satu waktu