

SKRIPSI

**EVALUASI JATUH TEGANGAN PADA JARINGAN TEGANGAN
RENDAH PT. PLN (PERSERO) ULP MATTOANGING**



OLEH :

IKRAM SAOPNA

JANWAR ABBAS KELSABA

105821108118

105821100918

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2024

HALAMAN JUDUL

**EVALUASI JATUH TEGANGAN PADA JARINGAN TEGANGAN
RENDAH PT. PLN (PERSERO) ULP MATTOANGING**



SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik Program Studi Teknik Elektro Disusun dan Diajukan**

OLEH :

IKRAM SAOPNA

JANWAR ABBAS KELSABA

105821108118

105821100918

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2024



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **EVALUASI JATUH TEGANGAN PADA JARINGAN TEGANGAN RENDAH PT. PLN (PERSERO) ULP MATTOANGING**

Nama : 1. IKRAM SAOPNA
2. JANWAR ABBAS KELSABA


Stambuk : 1. 105 82 11081 18
2. 105 82 11009 18

Makassar, 06 Januari 2024

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II


Ir. Abdul Hafid, M.T


Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Ir. Adriani, S.T., M.T., IPM

NBM : 1044 202



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Ikram Saopna** dengan nomor induk Mahasiswa **105 82 11081 18** dan **Janwar Abbas Kelsaba** dengan nomor induk Mahasiswa **105 82 11009 18**, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0001/SK-Y/20201/091004/2024, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu 06 Januari 2024.

Makassar, 01 Rajab 1445 H
06 Januari 2024 M

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. AMBO ASSE, M.Ag

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Eng. MUHAMMAD ISRAN RAMLI, ST., MT

2. Penguji

a. Ketua : Dr Ir., H. Zulfairi Basri Hassanuddin, M. Eng:

b. Sekretaris : Ir. Adriani, ST., MT., IPM

3. Anggota

: 1. Andi Fajaruddin, ST., MT

2. Ir. Suryani, ST., MT

3. Dr. Hj. Hafsa Nirwana, ST., MT

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Abdul Hafid, M.T

Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ir. H. Nurmayati, ST., MT., IPM

NBM: 795 108

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah swt. Atas berkat rahmat dan Hidayahnya-Nya lah, sehingga penulisan skripsi ini yang berjudul **“Evaluasi Jatuh Tegangan Pada Jaringan Tegangan Rendah PT. PLN (Persero) ULP Mattoangin”** dapat terlaksana

Dalam penulisan skripsi ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun, berkat bantuan berbagai pihak terutama pembimbing, hambatan tersebut dapat teratasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan dan melalui lembaran ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, Sang Maha Pencipta yang telah memberikan limpahan anugerah dan lindungan pada hamba-Nya;
2. Orang tua kami yang telah memberikan dukungan dan semangat yang besar kepada kami;
3. Ibu Dr. Ir. Hj Nurnawati, S.T., M.T., I.P.M, selaku Dekan Fakultas Teknik.
4. Ibu Ir. Adriani, S.T.,M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar;
5. Bapak Ir. Abdul Hafid, MT sebagai pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Zahir Zainuddin sebagai pembimbing II yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan laporan proposal ini;

6. Seluruh Dosen serta Staff Universitas Muhammadiyah Makassar yang telah membimbing dan memberikan materi perkuliahan kepada penulis;
7. Rekan-rekan mahasiswa dan juga rekan diluar kampus dan seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penyusunan laporan ini baik secara langsung maupun tidak langsung;

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan skripsi ini dan demi perbaikan pada masa mendatang. Semoga laporan skripsi ini bermanfaat bagi pembacanya.

Makassar,

2023

Penulis



EVALUASI JATUH TEGANGAN PADA JARINGAN TEGANGAN RENDAH PT. PLN (PERSERO) ULP MATTOANGING

ABSTRAK

Ikram Saopna¹. Janwar Abbas Kelsaba².

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar
Jl. Sultan . Alauddin No. 259, Rappocini, Makassar, Sulawesi Selatan, 90221,
Indonesia

*email¹: ikramsaopna@gmail.com

*email¹: janwarabbaskelsaba12@gmail.com

Meningkatnya permintaan energi listrik dari tahun ke tahun menyebabkan rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan juga bertambah besar. Kerugian tersebut disebabkan oleh saluran yang cukup panjang serta beban yang terus bertambah, sehingga dalam penyaluran daya listrik tersebut akan terjadi jatuh tegangan sepanjang saluran yang dilaluinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jatuh tegangan dan pengaruhnya terhadap konsumen serta bagaimana cara menanggulangnya. Penelitian ini dilaksanakan pada jaringan tegangan rendah pada PT. PLN (Persero) Mattoanging difokuskan pada beberapa gardu distribusi dengan analisa data yang diperoleh di lapangan menggunakan beberapa persamaan dasar. Data yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu besar tegangan dari pengiriman sampai tegangan yang sampai kekonsumen. Diharapkan diketahui dari penelitian ini besar jatuh tegangan, penyebab-penyebab jatuh tegangan, serta mendapatkan solusi untuk mengurangi jatuh tegangan tersebut.

Kata kunci : Jaringan Tegangan Rendah, Jatuh Tegangan

**EVALUASI JATUH TEGANGAN PADA JARINGAN TEGANGAN
RENDAH PT. PLN (PERSERO) ULP MATTOANGING**

ABSTRAK

Ikram Saopna¹. Janwar Abbas Kelsaba².

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar
Jl. Sultan . Alauddin No. 259, Rappocini, Makassar, Sulawesi Selatan, 90221,
Indonesia

*email¹: ikramsaopna@gmail.com

*email¹: janwarabbaskelsaba12@gmail.com

The increasing demand for electrical energy from year to year causes power losses and voltage drops on the network to also increase. These losses are caused by the line being quite long and the load continuing to increase, so that when distributing electrical power there will be a voltage drop along the line it passes through. This research aims to determine voltage drops and their impact on consumers and how to overcome them. This research was carried out on the low voltage network at PT. PLN (Persero) Mattoanging. focused on several distribution substations by analyzing data obtained in the field using several basic equations. The data needed in this research is the voltage from delivery to the voltage that reaches the consumer. It is hoped that from this research the magnitude of the voltage drop, the causes of the voltage drop, and a solution to reduce the voltage drop will be known.

Keywords : Low Voltage Network, Voltage Drop

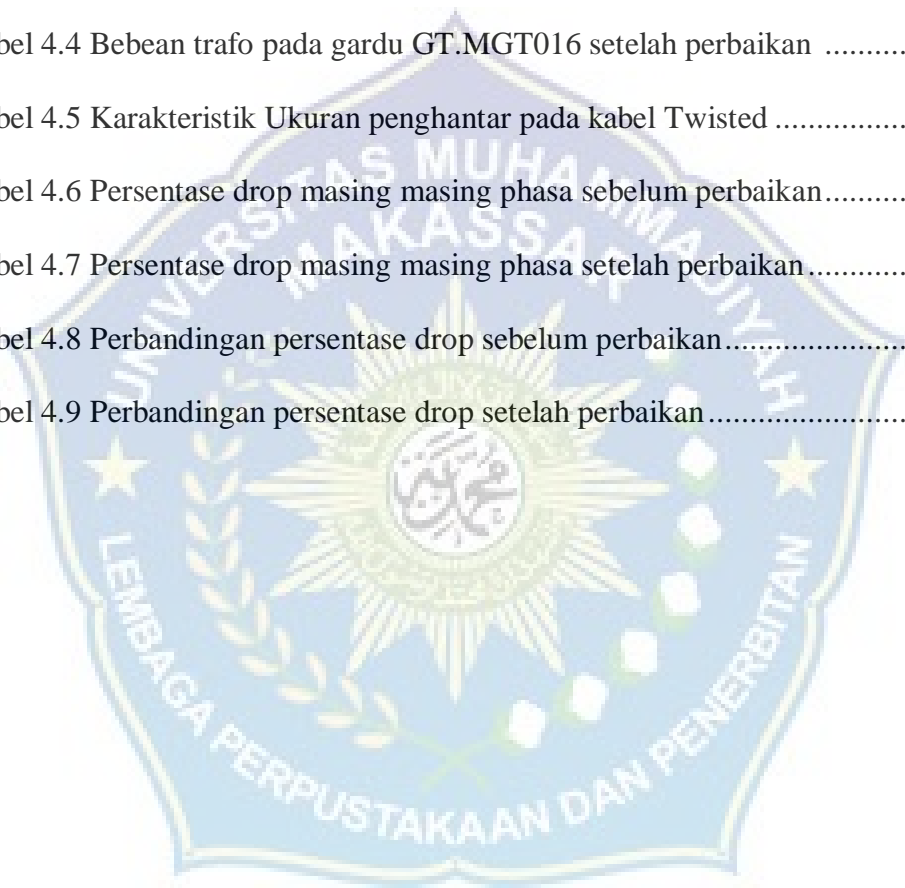
DAFTAR ISI

SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Metode Penulisan	4
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Drop Tegangan	7
2.2 Penyebab Jatuh Tegangan	8
2.3 Bahaya Jatuh Tegangan	9
2.4 Cara Mengatasi Jatuh Tegangan.....	10

2.5 Cara Mengukur Jatuh Tegangan.....	11
2.6 Cara Menghitung Jatuh egangan	11
2.7 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	14
2.8 Saluran Distribusi	16
2.9 Gardu Distribusi	17
3.0 Transformator.....	19
3.1 Macam-macam Jenis Kabel	21
BAB III METODE PENELITIAN	26
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	26
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	26
3.3 Prosedur Penelitian	26
3.4 Teknik Pengumpulan Data.....	27
3.5 Prosedur Pelaksanaan Kegiatan	28
3.6 Analisis Data	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Hasil.....	30
4.2 Deskripsi	34
4.3 Faktor yang menyebabkan terjadinya jatuh tegangan	46
BAB V PENUTUP	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA.....	50
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penghantar	18
Tabel 4.1 Hasil pengukuran gardu GT.MGT016 sebelum perbaikan	31
Tabel 4.2 Beban trafo pada gardu GT.MGT016 sebelum perbaikan	31
Tabel 4.3 Hasil pengukuran gardu GT.MGT016 setelah perbaikan	32
Tabel 4.4 Beban trafo pada gardu GT.MGT016 setelah perbaikan	32
Tabel 4.5 Karakteristik Ukuran penghantar pada kabel Twisted	33
Tabel 4.6 Persentase drop masing masing fase sebelum perbaikan.....	39
Tabel 4.7 Persentase drop masing masing fase setelah perbaikan.....	43
Tabel 4.8 Perbandingan persentase drop sebelum perbaikan.....	43
Tabel 4.9 Perbandingan persentase drop setelah perbaikan.....	44



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Pembangkitan dan Penyaluran Energi Listrik.....	16
Gambar 2.2 Prinsip Kerja Transformator.....	20
Gambar 2.3 Kabel NYA.....	22
Gambar 2.4 Kabel NYM.....	22
Gambar 2.5 Kabel NYY.....	23
Gambar 2.6 Kabel NYAF.....	23
Gambar 2.7 Kabel NYBY.....	24
Gambar 2.8 Kabel NYCY.....	24
Gambar 2.9 Kabel NYMHYO.....	25
Gambar 2.10 Kabel NYMHY.....	25
Gambar 3.1 Diagram Alir prosedur pelaksana kegiatan.....	28

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada masa ini listrik merupakan salah satu kebutuhan utama bagi semua lapisan masyarakat seperti public, bisnis, industry, maupun social. Hampir di semua sector masyarakat membutuhkan energi listrik ini untuk menjalankan kegiatan untuk kepentingan masing masing. Karna kebutuhan masyarakat terhadap listrik yang semakin tinggi seiring dengan meningkatnya kemajuan teknologi menyebabkan permintaan energi listrik pun meningkat sehingga beban dari penyediaan dan penjual tenaga listrik dalam hal ini adalah PT PLN (Persero) bertambah besar sehingga PT PLN (Persero) harus menyuplai listrik secara kontinu.

Transformator distribusi (trafo distribusi) merupakan perangkat listrik yang digunakan untuk menyuplai listrik ke pelanggan secara langsung dan kontinu sesuai dengan kapasitas pembebanan. Salah satu syarat keandalan sistem penyaluran tenaga listrik yang harus dipenuhi untuk pelayanan kepada konsumen kualitas tegangan yang baik dan stabil. Oleh karena itu penting untuk mengetahui kualitas transformator distribusi, dengan salah satu indikatornya yaitu besar jatuh tegangan yang terjadi pada transformator distribusi.

Meningkatnya energi listrik dari tahun ke tahun menyebabkan rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan juga bertambah besar. Kerugian tersebut disebabkan oleh saluran yang cukup panjang, ketidakseimbangan

beban transformator, transformator yang overload dan underload, serta beban yang semakin bertambah, sehingga dalam penyaluran daya listrik tersebut akan terjadi jatuh tegangan sepanjang saluran yang dilaluinya.

Dalam penyaluran energi listrik dimana pada pusat pembangkit tenaga listrik yang berada jauh dari pusat beban akan mengalami kerugian yang cukup besar, yang semestinya untuk tegangan pada jaringan distribusi berdasarkan rekomendasi National Electrical Code (NEC) batas yang diperbolehkan adalah kurang lebih 5% dari nilai tegangan nominalnya .

Kajian terhadap tegangan sistem yang merupakan salah satu penentu kualitas sistem tenaga listrik. Tegangan listrik yang lebih (over voltage) atau tegangan listrik yang (under voltage) atau yang tidak stabil akan menyebabkan pelayanan terhadap beban terganggu, beban tidak dapat bekerja secara optimal bahkan dapat menyebabkan kerusakan pada beban listrik dan pada akhirnya akan merugikan para pelanggan/konsumen listrik. Untuk itu perusahaan penyedia tenaga listrik dalam hal ini PT. PLN yang tentunya melayani kebutuhan listrik dalam skala besar khususnya di harus selalu memperhatikan kualitas tegangan pada sistem tenaga listriknya. Berkaitan dengan hal tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisa drop tegangan pada jaringan tegangan rendah di PT. PLN (persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Mottoanging, yang sebelumnya warga sekitar perumahan tersebut menyurat ke Unit Induk Wilayah (UIW) Sulseirabar untuk dilakukan perbaikan tegangan pada sistem distribusi tenaga listrik tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka di dapat permasalahan dalam proposal skripsi ini yaitu;

1. Bagaimanakah perhitungan nilai presentase untuk Jatuh tegangan ?
2. Apa saja yang mempengaruhi terjadinya Jatuh tegangan?
3. Apakah solusi untuk memperkecil Jatuh tegangan pada jaringan tegangan rendah?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan peneliti yang berjudul “Evaluasi Jatuh Tegangan Pada Jaringan Tegangan Rendah PT. PLN (Persero) ULP Mattoanging”

1. Untuk Menghitung nilai presentase Jatuh tegangan;
2. Menjelaskan penyebab terjadinya Jatuh tegangan;
3. Memberikan solusi terhadap perbaikan Jatuh tegangan pada (JTR)

1.4 Manfaat penelitian

Adapun manfaat yang mampu diperoleh dari penilaian ini adalah sebagai berikut

1. Memberikan sumbangan positif sebagai acuan untuk meningkatkan kualitas energi listrik pada Penyulang Baruga.
2. Untuk menentukan cara mengurangi Jatuh tegangan pada saluran distribusi.
3. sebagai informasi baru sebagai bahan pertimbangan bagi penelitian selanjutnya dalam skala yang lebih luas dan kompleks yang berkaitan dengan judul ini.

1.5 Batasa Masalah

Penelitian ini membahas tentang persentase Jatuh tegangan pada jaringan tegangan rendah di PT PLN (Persero) ULP Mottoanging. Namun, mengingat keterbatasan penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini maka penulis memberikan batasan perhitungan persentase Jatuh tegangan jaringan tegangan rendah hanya pada penyulang Baruga GT PBG004 wilayah PT.PLN (Persero) ULP Mottoanging.

Merujuk pada permasalahan yang ada, maka dilakukan sebagai berikut

1. Analisis persentase yang dilakukan pada drop tegangan
2. Analisis penyebab terjadinya drop tegangan.

1.6 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penulisan tugas akhir ini adalah

1. Sudi Linear

Metode ini dilakukan dengan mencari dan mengumpulkan data dari jurnal yang sudah dipublikasikan, buku, website, dan data dari PT. PLN (Persero) Mottoanging.

2. Studi Bimbingan

Diskusi dengan dosen pembimbing ataupun pegawai PLN serta teman-teman mahasiswa mengenai masalah yang timbul pada tugas akhir.

3. Studi Lapangan

Data yang diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung pada drop tegan yang terjadi pada rumah pelanggan.

4. Metode Data

Data yang di dapat di analisis sehingga di diperoleh pengaruh terjadinya drop tegangan pada jaringan tegangan rendah.

1.7 Sistematika Penulisan

1. BAB I PENDAHULUAN

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

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi teori-teori dasar yang menjadi landasan bagi penelitian, baik dari buku, jurnal, maupun dari berbagai sumber literature lainnya.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini mengurangi tentang waktu dan tempat diadakannya penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta metode penelitian berupa langka langka dalam penelitian.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab menjelaskan tentang pembahasan permasalahan yang ada mengenai penelitian yang dilakukan.

5. BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran yang di dapat dari hasil penelitian.

6. DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang daftar referensi penulisan dalam memilih teori yang berhubungan dengan judul penelitian.

7. LAMPIRAN

Lampiran merupakan bagian yang berisi segala hal yang berkaitan dengan penelitian meliputi dokumentasi dari hasil penelitian serta alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jatuh Tegangan atau Drop tegangan

Menurut Arismunandar dan Kuwahara (2004:3) Jatuh voltage adalah selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman dan tegangan pada ujung penerimaan tenaga listrik. Penurunan Tegangan atau Voltage Drop merupakan sebuah penyimpangan voltase terhadap voltase supply akibat adanya berbagai penyebab. Penyimpangan tersebut berupa voltase yang lebih rendah dari voltase yang seharusnya saat arus melalui sebuah konduktor maupun melalui sebuah rangkaian. Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Besarnya Jatuh tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan.

Atas dasar hal tersebut maka Jatuh tegangan yang diijinkan untuk instalasi arus kuat hingga 1.000 V yang ditetapkan dalam persen dari tegangan kerjanya. Jatuh tegangan (ΔV) adalah selisih antara tegangan kirim (V_k) dengan tegangan terima (V_T), maka Jatuh tegangan dapat didefinisikan adalah $\Delta V = (V_k) - (V_T)$

Karena adanya hambatan pada penghantar maka tegangan yang diterima konsumen (V_r) akan lebih kecil dari tegangan kirim (V_s), sehingga Jatuh tegangan (V_{drop}) merupakan selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (sending end) dan tegangan pada ujung penerimaan (receiving

end) tenaga listrik. Jatuh tegangan relatif dinamakan regulasi tegangan VR (*voltage regulation*) dan dinyatakan oleh rumus :

$$\Delta v = \frac{v_s - v_r}{v_r} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

Di mana :

V_s = tegangan pada pangkal pengiriman

V_r = tegangan pada ujung penerimaan

Drop tegangan pada jaringan disebabkan oleh arus yang melalui tahanan kawat. Adanya rugi tegangan akibat hambatan listrik (R) dan reaktansi (X). Berdasarkan Hukum Ohm, hambatan R dapat dinyatakan dengan persamaan

$$V = I \times R \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

V = tegangan (volt)

I = arus (ampere)

R = hambatan (Ω)

2.2 Penyebab Jatuh Tegangan

Terjadinya voltage drop atau penurunan tegangan diakibatkan berbagai hal. Berbagai hal tersebut mulai dari kabel, besarnya beban, kemampuan sumber kelistrikan, dan lain sebagainya. Jatuh tegangan tidak harus terjadi di jaringan rumah, tetapi juga dapat terjadi di jaringan PLN sendiri.

Berikut merupakan beberapa penyebab terjadinya Jatuh tegangan

1. Luas Penampang terlalu kecil (penampang tidak sesuai dengan beban).
Semakin kecil kawat semakin besar ruginya.
2. Panjang kabel penghantar. Semakin panjang kabel penghantar yang digunakan maka semakin besar kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi.
3. Sambungan tidak baik juga dapat mengakibatkan adanya *loss contact*, sambungan antar kawat tidak rapat sehingga terdapat celah udara yang seharusnya kedap udara sehingga menyebabkan alat cepat rusak.
4. Terlalu banyak percabangan saluran SR (tarikan SR) untuk sambungan pelayanan.
5. Besarnya arus yang mengalir, semakin besar arus mengalir maka semakin besar juga voltage drop yang terjadi
6. Tahanan jenis kabel, semakin jelek kabel yang digunakan maka tahanan jenis kabel juga semakin besar. Hal ini menyebabkan bertambah besar voltage drop yang terjadi.

2.3 Bahaya Jatuh Tegangan

Penurunan Tegangan atau Voltage Drop yang berlebihan akan menyebabkan peralatan mengalami kerusakan karena berbagai faktor seperti sering berkedip, motor menjadi panas, serta kerusakan komponen seperti kompresor dan sebagainya. Kondisi Penurunan Tegangan atau Voltage Drop menyebabkan beban harus bekerja keras karena voltase pendorong arus menurun, sedangkan daya yang diperlukan tidak berubah. Kondisi ini dapat juga menyebabkan kabel menjadi panas berlebih dan terbakar.

Kondisi ini menyebabkan penggunaan MCB yang membatasi peningkatan arus (Amper) yang tidak wajar dari kebakaran akibat penurunan voltase tersebut. Beban cenderung mencoba untuk menarik sejumlah daya sesuai kebutuhan, sehingga saat voltase turun, amper yang diperlukan oleh alat otomatis akan meningkat. Hal ini akan berbahaya bila tidak dibatasi dengan pemutus arus berupa MCB.

2.4 Cara Mengatasi Jatuh Tegangan

Hampir semua rangkaian kelistrikan terutama pada kendaraan mengalami voltage drop atau penurunan tegangan. Perbedaannya hanya terletak pada besar kecilnya voltage drop yang terjadi. Oleh karena itu perlu dilakukan cara untuk mengatasi terjadinya voltage drop. Voltage drop dapat menyebabkan terjadinya berbagai masalah seperti lampu redup, klakson kurang keras, dan lain sebagainya. Berikut merupakan cara mengatasi voltage drop atau penurunan tegangan

1. Memperpendek rangkaian kelistrikan yang ada. Hal ini akan menyebabkan panjang kabel yang digunakan akan dihemat seefisien mungkin. Dengan begitu maka voltage drop yang terjadi dapat dikurangi.
2. Memperbesar diameter kabel yang dipakai. Diameter kabel yang besar akan menyebabkan voltage drop yang terjadi akan semakin kecil karena tahanan kabel yang berkurang.
3. Memakai kabel dengan kualitas yang baik. Dengan begitu tahanan jenis kabel juga akan kecil sehingga voltage drop yang terjadi kecil.

4. Memasang soket dan menggunakan soket anti karat. Hal ini akan mengurangi timbulnya tahanan sehingga memperkecil voltage drop yang terjadi.

2.5 Cara Mengukur Jatuh Tegangan

Drop voltase yang disebut juga dengan sebutan Jatuh tegangan cukup mudah untuk diukur. Alat yang diperlukan hanya berupa sebuah multimeter atau voltmeter.

Cara pengukurann Jatuh Tegangan atau voltage drop dapat dilakukan dengan cara berikut ini:

- Matikan semua peralatan listrik yang dicurigai sebagai penyebab drop voltase.
- Ukur voltase pada sumber listrik yang paling dekat dengan panel PLN. Voltase yang terukur seharusnya sekitar 220V sampai 230V jika sumber PLN normal.
- Ukur kembali pada colokan yang paling dekat dengan meteran PLN, jika perbedaan terlalu besar, segera hubungi PLN.
- Jika normal, lanjutkan dengan pengukuran selanjutnya. Hidupkan satu per satu peralatan, lalu lakukan pengukuran setiap saat peralatan dihidupkan.

2.6 Cara Menghitung Jatuh Tegangan

Sebenarnya secara sederhana voltage drop dapat dihitung dengan mengurangi tegangan awal sebelum beban dihidupkan dengan tegangan akhir sesudah beban dihidupkan. Semisal mengukur voltage drop lampu

kepala, maka voltage drop adalah pengurangan tegangan baterai saat lampu mati dengan tegangan baterai pada saat lampu kepala dinyalakan. Secara sederhana cara menghitung voltage drop sangat sederhana.

Namun dalam aplikasi pada kelistrikan, maka kabel yang digunakan, panjang kabel, beban yang digunakan juga menyebabkan besar kecilnya voltage drop yang terjadi. Oleh karena itu diperlukan perhitungan yang lebih teliti untuk mendapatkan perhitungan voltage drop yang akurat. Untuk menghitung besarnya voltage drop atau penurunan tegangan maka perlu menghitung terlebih dahulu tegangan akhir atau tegangan yang melewati beban.

Untuk menghitung jatuh tegan pada jarak dan ukuran kabel maka dapat kita gunakan rumus sebagai berikut :

$$|\Delta v| = |IR| \cdot |\Delta Z| \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

Δv = Jatuh tegangan

IR = Arus pada phasa R,S dan T (V)

ΔZ = jumlah reaktansi dan resistansi dikalikan dengan Panjang kabel
(Ω /km)

Untuk menghitung nilai total dari fase netral maka dapat kita gunakan rumus sebagai berikut :

$$IN = I_R \angle 0^0 + I_S \angle 240^0 + I_T \angle 120^0 \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

I_N = Arus netral

I_R = arus pada fase R

I_S = Arus pada fase S

I_T = Arus pada fase T

Untuk melengkapi dengan kabel dan ukuran maka dapat menghitung terlebih dahulu hambatan kabel yang digunakan. Rumus menghitung tahanan kabel sebagai berikut:

$$R = p \times l / A \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

R= Tahanan

p = Tahanan Jenis Kabel

l =Panjang Kabel (m)

A=Luas Penampang Kabel (m²)

Untuk lebih jelasnya berikut merupakan contoh perhitungan voltage drop pada sebuah rangkaian kelistrikan.

Diketahui sebuah kabel mempunyai panjang 6 m, luas penampang 20 m², tahanan jenis kabel 20 ohm meter, tahanan beban sebesar 10 ohm, dan tegangan awal 220 volt. Berapa voltage drop yang terjadi?

Dari data diatas maka hitung terlebih dahulu tahanan kabel yang digunakan yaitu:

$R = 20 \times 6 / 20$ maka tahanan sebesar 6 ohm.

Karena tahanan kabel dan tahanan beban dirangkai secara seri maka keduanya dijumlahkan untuk mendapatkan tahanan total. Tahanan total pada rangkaian tersebut adalah $6 + 10 = 16$ ohm.

Arus yang mengalir sebesar $I = V/R$ atau $I = 12/16$ yaitu sebesar 0,75 Ampere. Maka voltage drop setelah kabel yang terjadi sebesar, $V_1 = I \times R = 0,75 \times 6 = 4.5$ volt.

Sementara itu voltage drop setelah beban yang terjadi yaitu sebesar $V_2 = I \times R = 0,75 \times 10 = 7,5$ volt.

2.7 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Menurut Kothari (2005:96) Sistem tenaga listrik merupakan kumpulan peralatan/mesin listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem yang disebut sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi untuk mensuplai tenaga dan mengalirkan listrik dari sumber tenaga listrik (pembangkit, gardu induk, dan gardu distribusi) ke beban atau konsumen.

Fungsi utama dari sistem distribusi adalah untuk menyalurkan energi listrik dari sumber daya ke pemakai atau konsumen. Menurut Suhadi, dkk (2008:25) Baik buruknya suatu sistem distribusi dinilai dari bermacam-macam faktor, diantaranya menyangkut hal-hal sebagai berikut:

- a. Kontinuitas pelayanan
- b. Efisiensi
- c. Fleksibilitas

- d. Regulasi tegangan
- e. Harga system

Dari kelima hal diatas, masalah-masalah yang dihadapi dalam suatu sistem jaringan distribusi adalah bagaimana menyalurkan tenaga listrik ke konsumen dengan cara sebaik-baiknya untuk saat tertentu dan juga untuk masa yang akan datang. Pada sistem distribusi, harus memenuhi beberapa syarat sebagai berikut :

- a. Gangguan terhadap pelayanan (interruption) tidak boleh terlalu sering
- b. Gangguan terhadap pelayanan pada suatu daerah jangan terlalu lama
- c. Regulasi tegangan tidak terlalu besar
- d. Biaya sistem operasional harus serendah mungkin
- e. Harus fleksibel (mudah menyesuaikan diri dengan keadaan yang terjadi, seperti perubahan beban pada sistem yang tidak menelan biaya yang tinggi). Menurut Syahputra (2017:129), Jaringan distribusi pada umumnya terdiri dari dua yaitu sebagai berikut:
 1. Jaringan Distribusi Primer yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu induk sub tranmisi ke gardu distribusi. Jaringan ini merupakan jaringan tegangan menengah atau jaringan tegangan primer.
 2. Jaringan distribusi sekunder yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi ke konsumen. Jaringan ini sering disebut jaringan tegangan rendah. JDTR berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan rendah (misalnya

220/380 V). Hantaran berupa kabel tanah atau kawat udara. Jenis saluran yang dipergunakan pada JDTR yaitu saluran SKTR untuk JTR yang menggunakan saluran kabel tanah, SUTR untuk saluran udara tegangan rendah dengan menggunakan saluran kawat terbuka, SKUTR untuk saluran udara tegangan rendah.

2.8 Saluran Distribusi

Saluran distribusi dimulai dari busbar gardu induk 20 kV, disalurkan melalui penyulang distribusi ke gardu hubung atau dapat langsung dihubungkan ke konsumen. Dari gardu hubung, energi disalurkan ke gardu-gardu distribusi. Gardu distribusi adalah gardu tempat mengubah tegangan primer menjadi tegangan sekunder, kemudian membaginya kedalam beberapa jurusan pada PHB-TR dan selanjutnya disalurkan kesetiap titik pelanggan. Gardu distribusi berfungsi melayani konsumen tegangan rendah dimana tegangan 20 kV diturunkan menjadi 380/220 volt pada transformator distribusi, untuk kemudian disalurkan pada konsumen melalui jaringan tegangan rendah (jaringan distribusi sekunder). Gambar 2.1 dibawah ini menunjukkan sistem pembangkitan dan penyaluran energi listrik.



Gambar 2.1 sistem pembangkitan dan penyaluran energi listrik.

2.9 Gardu Distribusi

Dalam buku SPLN (2010:1) gardu distribusi secara umum 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 tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V).

A. Jenis-jenis gardu distribusi

Dalam buku SPLN (2010:1) Konstruksi Gardu distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya yang kadang kala harus disesuaikan dengan peraturan Pemda setempat. Secara garis besar gardu distribusi dibedakan; Berdasarkan Jenis pemasangannya:

- Gardu pasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantola)
- Gardu pasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kios)

Berdasarkan Jenis Konstruksinya:

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

Berdasarkan Jenis Penggunaannya:

- Gardu Pelanggan Umum
- Gardu Pelanggan Khusus

B. Penghantar Sambungan Rumah

Penghantar yang digunakan dalam instalasi sambungan rumah adalah dari jenis kabel pilin (twisted cable) NFA2X-T untuk sambungan pelayanan fase 1 dan fase 3 dengan panjang maksimum 30 meter sirkuit dengan karakteristik dapat dilihat pada table 2.1 berikut ini:

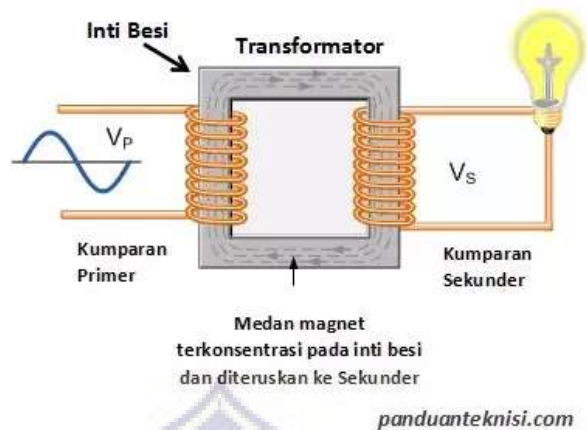
Table 2.1 Penghantar

Daya terhubung (MCB)	Sistem Fase-1		System Fase-3	
	Tunggal	Seri 5 sbngn	Tunggal	Seri 3 sbngn
2 A	2x10 mm	2x10 mm		
4 A	2x10 mm	2x10 mm		
6 A	2x10 mm	2x10 mm		
10 A	2x10 mm	2x10 mm		
16 A	2x10 mm		4x10 mm	
20 A	2x16 mm		4x10 mm	
25 A	2x25 mm		4x16 mm	
30 A	2x25 mm		4x16 mm	
45 A	2x25 mm		4x16 mm	
50 A	2x25 mm		4x25 mm	

3.0 Transformator

Dalam kehidupan sehari-hari, transformator digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan sesuai kebutuhan, mulai dari pusat pembangkit tenaga listrik, gardu induk, gardu distribusi hingga sampai kepada industri, perkantoran, pusat perbelanjaan dan rumah tinggal. Syarifuddin dan Nirwan A.Noor (2012:52) Transformator (trafo) adalah suatu peralatan listrik statis yang dapat memindahkan atau mentransformasikan daya listrik dari suatu jaringan atau rangkaian ke jaringan atau rangkaian lainnya melalui suatu medium medan magnet pada frekuensi yang sama.

Transformator bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, yaitu induksi bersama antara dua rangkaian yang dilingkupi oleh fluks magnet. Sebuah transformator terdiri dari dua belitan, yaitu belitan primer dan belitan sekunder yang terpisah secara listrik namun berhubungan secara magnetis melalui inti besi. Apabila belitan primer dihubungkan dengan tegangan AC, maka timbul fluks bolak balik dalam inti besi pada kedua belitan dan membangkitkan gaya gerak listrik pada kedua belitan. Apabila belitan sekunder dihubungkan dengan beban listrik, maka mengalir arus ke beban tersebut sehingga terjadi transfer energi listrik dari belitan primer ke beban melalui belitan sekunder. Pada gambar 2.2 dapat dilihat prinsip kerja transformator.



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Transformator

Dimana :

V_p = Tegangan pada sisi masukan (Primer)

V_s = Tegangan pada sisi keluaran (Sekunder)

N_p = Jumlah lilitan pada sisi (Primer)

N_s = Jumlah lilitan pada sisi (Sekunder)

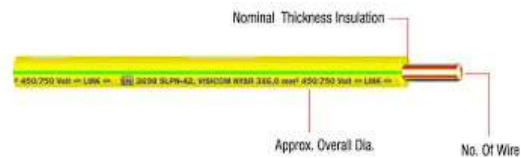
Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Dalam bidang tenaga listrik, transformator berfungsi mengubah level tegangan, yaitu untuk menaikkan atau menurunkan tegangan sehingga memungkinkan pemilihan tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk setiap keperluan misalnya kebutuhan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Dalam bidang elektronika transformator digunakan antara lain sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban, untuk memisahkan satu rangkaian dari rangkaian yang

lain, dan untuk menghambat arus searah sambil tetap melewatkan arus bolak balik antara rangkaian. Dalam bidang tenaga listrik, pemakaian transformator dibagi menjadi:

- a) Transformator daya atau transformator penaik tegangan (step-up) yang digunakan di pusat-pusat pembangkit.
- b) Transformator distribusi atau transformator penurun tegangan (step-down) yang digunakan di gardu induk dan distribusi.
- c) Transformator pengukuran yang terdiri dari transformator tegangan dan transformator arus, digunakan untuk menurunkan tegangan .

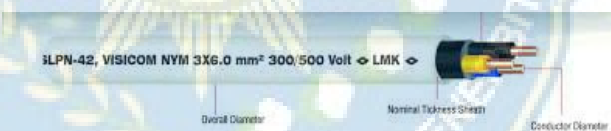
3.1 Macam-macam Jenis kabel

- a) Kabel NYA : Kabel jenis ini di gunakan untuk instalasi rumah dan dalam instalasi rumah yang sering di gunakan adalah NYA dengan ukuran 1,5 mm² dan 2,5 mm². Yang berinti tunggal, berlapis bahan isolasi PVC Kode warna isolasi ada warna merah, kuning, biru dan hitam. Lapisan isolasinya hanya 1 lapis sehingga mudah cacat, tidak tahan air (NYA adalah tipe kabel udara) dan mudah digigit tikus. agar aman jika menggunakan kabel tipe ini lebih baik kabel di pasang di dalam pipah atau saluran penutup, karena selain tidak bisa di ganggu sama hewan pengerat dan tidak kenah air, juga apabila ada isolasi yang terkelupas (terbuka) tidak bisa tersentuh langsung sama manusia.



Gambar 2.3 Kabel NYA

- b. Kabel NYM : Kabel jenis ini hanya direkomendasikan khusus untuk instalasi tetap di dalam bangunan yang dimana penempatannya biasa diluar/ didalam tembok ataupun didalam pipa (conduit). Kabel NYM berinti lebih dari 1, memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya warna putih atau abu-abu), ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel NYM memiliki lapisan isolasi dua lapis, sehingga tingkat keamanannya lebih baik dari kabel NYA (harganya lebih mahal dari NYA). Kabel ini dapat dipergunakan dilingkungan yang kering dan basah, namun tidak boleh ditanam.



Gambar 2.4 kabe NYM

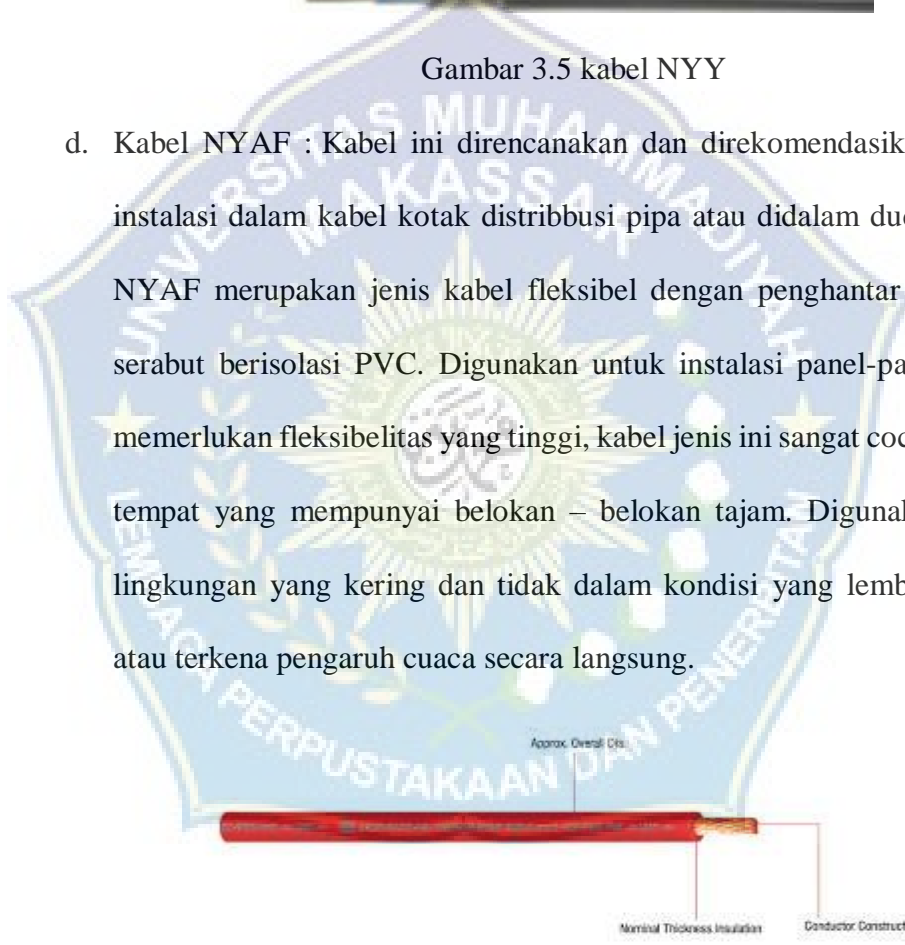
- c. Kabel NYY : Kabel ini dirancang untuk instalasi tetap didalam tanah yang dimana harus tetap diberikan perlindungan khusus (misalnya duct, pipa PVC atau pipa besi). Kabel protodur tanpa sarung logam. Instalasi bisa ditempatkan didalam dan diluar ruangan, dalam kondisi lembab ataupun kering. memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya warna hitam), ada yang berinti 2, 3 atau 4. Dan memiliki lapisan isolasi yang lebih

kuat dari kabel NYM (harganya lebih mahal dari NYM). Kabel NYY memiliki isolasi yang terbuat dari bahan yang tidak disukai tikus.



Gambar 3.5 kabel NYY

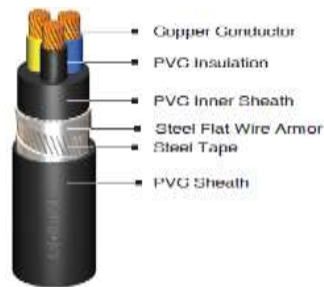
- d. Kabel NYAF : Kabel ini direncanakan dan direkomendasikan untuk instalasi dalam kabel kotak distribusi pipa atau didalam duct. Kabel NYAF merupakan jenis kabel fleksibel dengan penghantar tembaga serabut berisolasi PVC. Digunakan untuk instalasi panel-panel yang memerlukan fleksibilitas yang tinggi, kabel jenis ini sangat cocok untuk tempat yang mempunyai belokan – belokan tajam. Digunakan pada lingkungan yang kering dan tidak dalam kondisi yang lembab/basah atau terkena pengaruh cuaca secara langsung.



Gambar 2.6 kabel NYAF

- e. Kabel NYFGbY/NYRGbY/NYBY : Kabel ini dirancang khusus untuk instalasi tetap dalam tanah yang ditanam langsung tanpa memerlukan perlindungan tambahan (kecuali harus menyeberang jalan). Pada

kondisi normal kedalaman pemasangan dibawah tanah adalah 0,8m.



Gambar 2.7 kabel NYBY

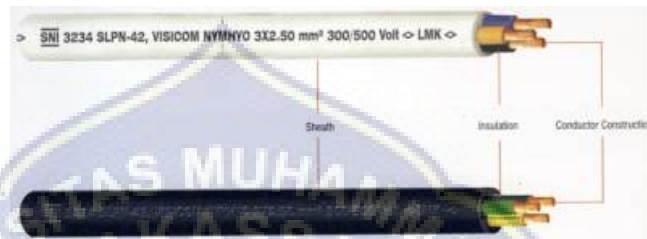
- f. Kabel NYCY : Kabel ini dirancang untuk jaringan listrik dengan penghantar konsentris dalam tanah, dalam ruangan, saluran kabel dan alam terbuka. Kabel protodur dengan dua lapis pelindung pita CU Kabel. Instalasi ini bisa ditempatkan diluar atau didalam bangunan, baik pada kondisi lembab maupun kering.



Gambar 2.8 kabel NYCY

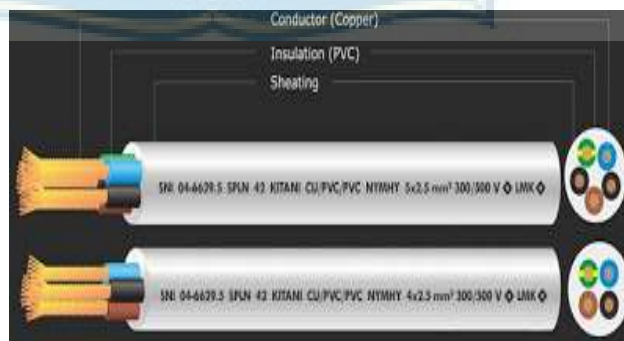
- g. Kabel NYMHYO : Merupakan jenis kabel ini mampu menghantar hingga 700 VA sehingga aman dan menjadikan pembayaran rekening listrik menjadi murah. Untuk jenis kabel NYMHYO biasanya digunakan pada model Roll. Jika digunakan pada pemakaian daya yang besar seperti tersebut diatas hanya bersifat temporary / sementara karena jenis kabel ini hanya mamapu menghantarkan listrik 20VA-

50VA. Kurangi / hilangkan pemakaian jenis kabel ini karena mudah sekali menimbulkan bahaya listrik serta menjadikan pembayaran listrik membengkak. Spin control berputar berdasarkan panas yang dikeluarkan oleh energi listrik. Untuk jenis kabel NYMHYO biasanya digunakan pada lampu taman.



Gambar 2.9 kabel NYMHYO

- h. NYMHY : Kabel jenis ini khusus direkomendasikan untuk digunakan sebagai penghubung alat-alat rumah tangga yang sering dipindah pindah dan harus ditempat kering. Kabel ini mempunyai isolasi plastic tahan panas. Bilamana digunakan untuk penghubung alat pemanas, maka pada titik sambungannya antar alat dengan kabel, temperaturnya tidak boleh lebih dari 85 derajat Celcius, karena hal tersebut dapat membahayakan kabel itu sendiri.



Gambar.2.10 kabel NYMHY

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada wilayah kerja PT. PLN (Persero) ULP Mottoanging bertempat di Jalan Monginsidi No.2, Marica Baru, Kecamatan Makassar, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi-Selatan. Penelitian dan pengumpulan data telah berlangsung selama 2 bulan yang dilakukan mulai bulan Juni 2023 sampai dengan bulan Agustus 2023.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

- a. Tang Ampere
- b. Pulpen
- c. Buku Tulis
- d. Laptop

3.3 Prosedur Penelitian

Dalam menyelesaikan laporan penelitian proyek akhir ini, tentu harus mengikuti Langkah-langkah yang struktural dan sistematis dalam agar menganalisis Jatuh tegangan pada jaringan tegangan rendah dapat di kerjakan dengan baik dan benar.

1. Menganalisis Jatuh tegangan pada jaringan tegangan rendah pada rumah pelanggan.
2. Mengidentifikasi masalah yang terjadi.
3. Mengumpulkan data yang di perlukan untuk perhitungan drop tegangan

pada jaringan tegangan rendah seperti besar arus pada jaringan.

4. Menghitung besar arus Jatuh tegangan dengan menggunakan rumus rumus yang telah ditentukan.
5. Menulis kesimpulan terhadap permasalahan pada tugas akhir ini .

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data menggunakan teknik observasi wawancara dan telaah literatur

- Metode Observasi

Metode observasi adalah metode pengumpulan data yang dilakukan dengan cara melakukan pengamatan dan pengukuran langsung untuk mendapatkan data data yang menunjang perencanaan penulisan tugas akhir. Adapun data-data yang di ambil dari PT.PLN ULP Mattoanging adalah data pengukuran Gardu berupa : Tegangan Sumber R,S,T, Tegangan Ujung Jaringan,

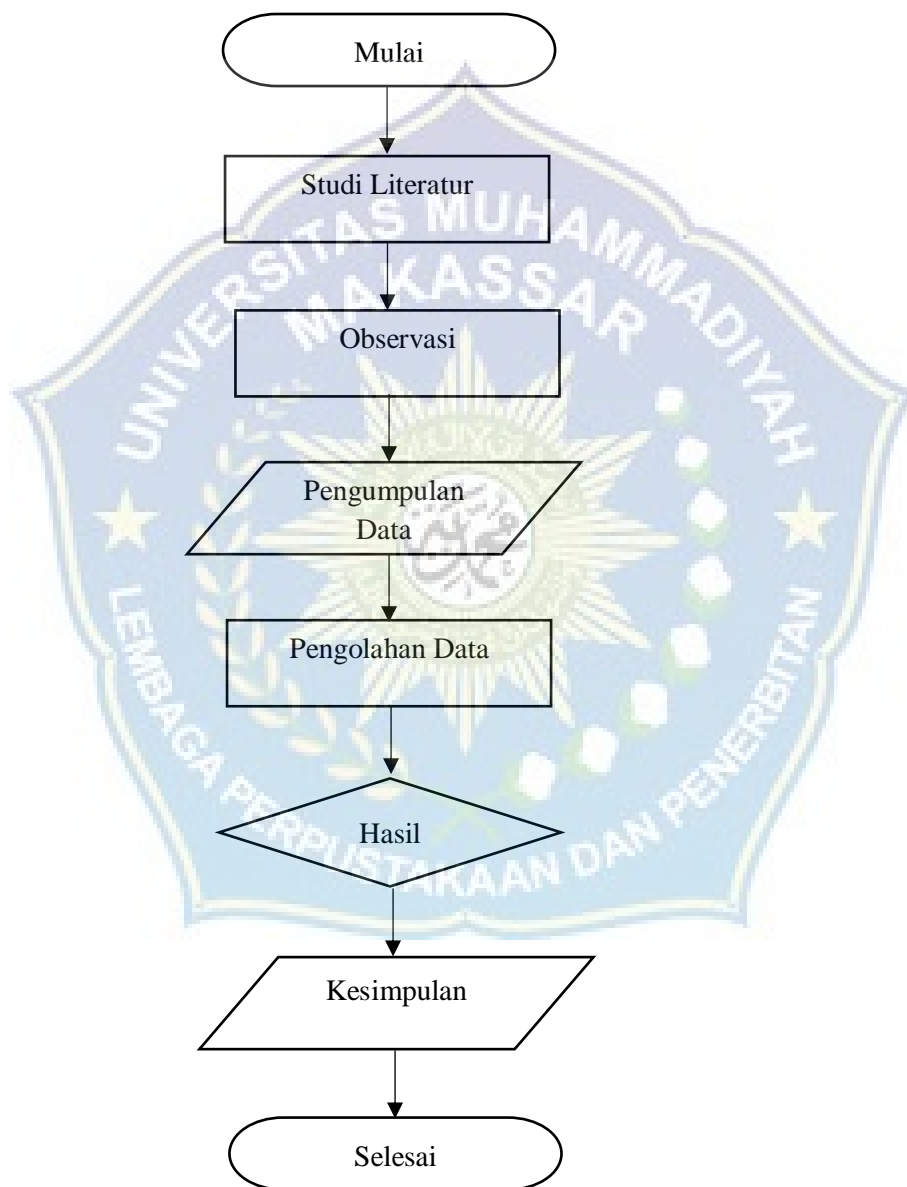
- Metode Studi Literatur

Metode studi literatur adalah metode dengan cara mempelajari buku buku jurnal dan referensi via internet yang berkaitan dengan permasalahan. Seperti teori Tegangan drop, perhitungan perhitungan dan teori teori lainnya yang berhubungan dengan permasalahan yang akan di bahas. Adapun referensi dapat dilihat pada daftar Pustaka.

3.5 Prosedur Pelaksana Kegiatan

Langkah – Langkah prosedur pelaksana kegiatan dapat di lihat pada gambar 3.1

Prosedur pelaksanaan kegiatan berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir prosedur pelaksana kegiatan (*flowchard*)

3.6 Analisis Data

Data peneliti yang di peroleh akan di hitung Jatuh tegangan yang terjadi pada suatu rumah pelanggan dengan menggunakan rumus perhitungn Jatuh tegangan , sehingga akan di dapat besar dan faktor faktor penyebab terjadinya Jatuh tegangan dan cara untuk meminimalisir Jatuh tegangan pada rumah pelanggan. Akan analisis perbandingan antara nilai yang diperoleh dengan pendekatan rumus dan teori.

Rumus yang digunakan adalah :

Persamaan (1)

$$\Delta v = \frac{vs-vr}{vr} \times 100$$

Persamaan (3)

$$|\Delta v| = |IR| \cdot |\Delta Z|$$

Persamaan (4)

$$IN = I_R \angle 0^0 + I_S \angle 240^0 + I_T \angle 120^0$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Pada penelitian ini penulis akan menganalisa jatuh tegangan pada jaringan tegangan rendah pada penyulang baruga GT.MGT016, yang berada di area layanan PT.PLN (Persero) ULP Mattoanging , lebih tepatnya Pada Jl. Gontang Raya dan sekitarnya. Adapun hal yang diteliti yaitu tegangan pangkal jaringan tegangan rendah pada PHB-TR dan tegangan ujung jaringan tegangan rendah, yang kemudian dihitung untuk mengetahui besar nilai jatuh tegangan pada gardu distribusi serta pengukuran beban transformator untuk mengetahui faktor penyebab terjadinya jatuh tegangan berdasarkan data beban pada PHB-TR dan data tegangan ujung pada rumah pelanggan. Adapun gardu yang diteliti yaitu GT.MGT016. Berikut adalah data pengukuran pada GT.MGT016:

1. GT.MGT016 Sebelum perbaikan

Pada table 4.1. Dapat dilihat hasil pengukuran pada gardu GT.MGT016 berupa hasil pengukuran pada pangkal JTR (PHB-TR) dan pada ujung jaringan pengukuran ini dilakukan pada awal bulan agustus 2023. Serta pada table 4.2 dapat dilihat hasil pengukuran beban transformator masing masing-jurusan.

Table 4.1 hasil pengukuran tegangan pada gardu GT.MGT016 sebelum perbaikan

KODE GARDU	LOKASI	FASE	TEGANGAN PANEL (V)	TEGANGAN UJUNG JARINGAN (V)
GT.MGT016	JL.GONTANG RAYA	R	228	179
		S	225	161
		T	227	165

(sumber : PT. PLN (PERSERO) ULP Mattoanging)

Table 4.2 beban trafo pada gardu GT.MGT016 sebelum perbaikan

DATA TRAFO		PANJANG KABEL	PENAMPANG	HASIL PENGUKURAN		
KAP.	PRIM/SEK			BEBAN (A)		
			R	S	T	
250 kVA	25 kV / 250 V	750 m	A (LVTC 3X35 + 50 mm ²)	67	102	63
			B (LVTC 3X35 + 50 mm ²)	112	70	117
			TOTAL	179	172	180

(sumber : PT. PLN (PERSERO) ULP Mattoanging)

2. GT.MGT016 setelah perbaikan

Pada table 4.3 dapat dilihat dari hasil pengukuran pada gardu GT.MGT016 berupa hasil pengukuran tegangan pada pangkal jaringan JTR (PHB-TH) dan pada ujung jaringan pengukuran ini dilakukan pada awal bulan agustus 2023 setelah dilakukan perluasan jaringan serta pada table 4.4 dapat di lihat hasil pengukuran pembebanan transformator masing masing jalur setelah dilakukan perbaikan.

Table 4.3 hasil pengukuran tegangan pada gardu GT.MGT016 setelah perbaikan

KODE GARDU	LOKASI	FASE	TEGANGAN PANEL (V)	TEGANGAN UJUNG JARINGAN (V)
GT.MGT016	JL.GONTANG RAYA	R	230	219
		S	229	221
		T	232	220

(sumber : PT. PLN (PERSERO) ULP Mattoanging)

Table 4.4 Beban trafo pada gardu GT.MGT016 setelah perbaikan

DATA TRAFO		PANJANG KABEL	PENAMPANG	HASIL PENGUKURAN		
KAP.	PRIM/SEK			BEBAN (A)		
				R	S	T
250 kVA	25 kV /	150 m	A (LVTC 3X70 + 50 mm ²)	85	110	66

	250 V		B (LVTC 3X70 + 50 mm ²)	115	75	127
			TOTAL	200	185	193

(sumber : PT. PLN (PERSERO) ULP Mattoanging)

Tabel 4.5 Karakteristik Ukuran penghantar Aluminium JTR pada kabel

Twisted

Penghantar		KHA (A)	Resistansi penghantar pada 20°C (Ohm/Km)		Reaktansi pada F=50 Hz (Ohm/km)
Jenis	Ukuran		Fase	Netral	
Kabel Tiwisted	3x35+1x50 mm ²	125	0.867	0.581	0.3790
	3x50+1x50 mm ²	154	0.641	0.581	0.3678
	3x70+1x50 mm ²	196	0.443	0.581	0.3572
	3x95+1x50 mm ²	242	0.308	0.581	0.3449

(sumber : searching Google)

4.2 Deskripsi

Perhitungan jatuh tegangan menggunakan persamaan (1)

Setelah melakukan pengukuran dan pengambilan data tegangan pada pangkal JTR dan tegangan pada ujung JTR maka akan dilakukan persentasi jatuh tegangan secara manual, Adapun hasil perhitungannya sebagai berikut

1. GT.MGT016 sebelum perbaikan

Berdasarkan pada table 4.1 maka hasil perhitungan persentase jatuh tegangan pada gardu distribusi GT.MGT016 adalah:

$$\Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$\Delta V_r = \frac{228 - 179}{228} \times 100\% = 21.49\%$$

$$\Delta V_s = \frac{225 - 161}{225} \times 100\% = 28.44\%$$

$$\Delta V_t = \frac{227 - 165}{227} \times 100\% = 27.31\%$$

Dari hasil perhitungan manual didapatkan nilai persentasi jatuh tegangan setiap fasa pada gardu distribusi GT.MGT016 sebelum perbaikan dimana

- a. Pada fasa R persentase jatuh tegangan dari hasil perhitungan didapatkan hasil 21,49% yang berarti sudah tidak sesuai dengan standar jatuh tegangan yaitu 10%
- b. Pada fasa S persentase jatuh tegangan dari hasil perhitungan didapatkan hasil 28,44% yang berarti sudah tidak sesuai dengan standar jatuh tegangan yaitu 10%

c. Pada phasa T persentase jatuh tegangan dari hasil perhitungan didapatkan hasil 27,31% yang berarti sudah tidak sesuai dengan standar jatuh tegangan yaitu 10%

2. GT.MGT016 setelah perbaikan

Berdasarkan pada table 4.3 maka hasil perhitungan persentase jatuh tegangan pada gardu distribusi GT.MGT016 adalah

$$\Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$\Delta V_r = \frac{230 - 219}{230} \times 100\% = 4.78\%$$

$$\Delta V_s = \frac{229 - 221}{229} \times 100\% = 3.49\%$$

$$\Delta V_t = \frac{232 - 220}{232} \times 100\% = 5.17\%$$

Dari hasil perhitungan manual didapatkan nilai persentasi jatuh tegangan setiap phasa pada gardu distribusi GT.MGT016 setelah perbaikan dimana:

a. Pada phasa R persentase jatuh tegangan dari hasil perhitungan didapatkan hasil 4,78% yang berarti sudah sesuai dengan standar jatuh tegangan yaitu 10%

b. Pada phasa S persentase jatuh tegangan dari hasil perhitungan didapatkan hasil 3,49% yang berarti sudah sesuai dengan standar jatuh tegangan yaitu 10%

- c. Pada fasa T persentase jatuh tegangan dari hasil perhitungan didapatkan hasil 5,17% yang berarti sudah sesuai dengan standar jatuh tegangan yaitu 10%

Perhitungan Jatuh Tegangan menggunakan persamaan (2)

Pada perhitungan ini data yang dibutuhkan untuk menghitung nilai jatuh tegangan adalah panjang saluran, arus, penampang saluran dan konduktivitas bahan penghantar. Pada penelitian ini total panjang saluran sebelum perbaikan adalah 750 m yang memiliki penampang saluran yaitu $3 \times 35 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$ sepanjang 750m. Sedangkan total panjang saluran setelah perbaikan adalah 150m m yang memiliki penampang saluran yaitu $3 \times 70 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$ sepanjang 150m. Adapun hasil perhitungan sebagai berikut:

1. GT.MGT016 sebelum perbaikan

Phasa R

$$LVTC \ 3 \times 35 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$$

$$V_R = 228 \angle 0^\circ \text{ Volt}$$

$$I_R = 67 \text{ Amper}$$

Panjang kabel : 750 m = 0.75km

Untuk R,

$$R_{saluran} = R_{K.penghantar} \times \text{panjang}$$

$$R_{saluran} = 0,867 \times 0,75 = 0,65026$$

Untuk X

$$X_{saluran} = X_{K.penghantar} \times \text{panjang}$$

$$X_{saluran} = 0,3790 \times 0,75 = 0,28425$$

Penyelesaian

$$|\Delta v| = |IR| \cdot |\Delta Z|$$

$$\Delta Z = 0,65026 + j \times 0,28425$$

$$= 0,7096 \angle 23^\circ$$

$$|\Delta v| = |I_R| \cdot |\Delta Z|$$

$$= 67 \times 0,7096$$

$$= 47,5432 \text{ Volt}$$

$$\text{Jadi untuk } V_{penerima} = 228 - 47,5432 = 180,4568 \text{ Volt}$$

Phasa S

$$LVTC \ 3 \times 35 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$$

$$V_S = 225 \angle 0^\circ \text{ Volt}$$

$$I_S = 102 \text{ Amper}$$

$$\text{Panjang kabel : } 750 \text{ m} = 0,75 \text{ km}$$

Untuk R,

$$R_{saluran} = R_{K.penghantar} \times \text{panjang}$$

$$R_{saluran} = 0,867 \times 0,75 = 0,65026$$

Untuk X

$$X_{saluran} = X_{K.penghantar} \times \text{panjang}$$

$$X_{saluran} = 0,3790 \times 0,75 = 0,28425$$

Penyelesaian

$$|\Delta v| = |IR| \cdot |\Delta Z|$$

$$\Delta Z = 0.65026 + jx0.28425$$

$$= 0.7096 \angle 23^\circ$$

$$= 102 \times 0.7096$$

$$= 72.3792 \text{ Volt}$$

$$\text{Jadi untuk } V_{\text{Penerima}} = 225 - 72.3792 = 152.6208 \text{ Volt}$$

Phasa T

$$\text{LVTC } 3 \times 35 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$$

$$V_T = 227 \angle 0^\circ \text{ Volt}$$

$$I_T = 63 \text{ Amper}$$

$$\text{Panjang kabel : } 750 \text{ m} = 0.75 \text{ km}$$

Untuk R,

$$R_{\text{saluran}} = R_{K.\text{penghantar}} \times \text{panjang}$$

$$R_{\text{saluran}} = 0,867 \times 0,75 = 0,65026$$

Untuk X

$$X_{\text{saluran}} = X_{K.\text{penghantar}} \times \text{panjang}$$

$$X_{\text{saluran}} = 0,3790 \times 0,75 = 0,28425$$

Penyelesaian

$$|\Delta v| = |IR| \cdot |\Delta Z|$$

$$\Delta Z = 0.65026 + jx0.28425$$

$$= 0.7096 \angle 23^\circ$$

$$\begin{aligned}
 |\Delta v| &= |IT| \cdot |\Delta Z| \\
 &= 63 \times 0.7096 \\
 &= 44.7089 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

Jadi untuk $V_{Penerima} = 227 - 44.7089 = 182.2911$ Volt

Sehingga diperoleh pesentase jatuh tegangan sebelum perbaikan dari perhitungan diatas sebagai berikut:

$$\Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$\Delta V_r = \frac{228 - 180.4568}{228} \times 100\% = 20.85\%$$

$$\Delta V_s = \frac{225 - 152.6208}{225} \times 100\% = 32.16\%$$

$$\Delta V_t = \frac{227 - 182.2911}{227} \times 100\% = 19.69\%$$

Table 4.6 persentase drop masing masing phasa menggunakan teori sebelum perbaikan

NO	SALURAN	TEGANGAN SUMBER	TEGANGAN UJUNG	PERSENTASE DROP
1	R	228	180.46	20.85%
2	S	225	152.62	32.16%
3	T	227	182.29	19.69%

(sumber :perhitungan pribadi)

2. GT.MGT016 Setelah perbaikan

Phasa R

$$\text{LVTC } 3 \times 70 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$$

$$V_R = 230 \angle 0^\circ \text{ Volt}$$

$$I_R = 85 \text{ Amper}$$

$$\text{Panjang kabel : } 150 \text{ m} = 0.15 \text{ km}$$

Untuk R,

$$R_{\text{saluran}} = R_{K.\text{penghantar}} \times \text{panjang}$$

$$R_{\text{saluran}} = 0,443 \times 0,15 = 0,06645$$

Untuk X

$$X_{\text{saluran}} = X_{K.\text{penghantar}} \times \text{panjang}$$

$$X_{\text{saluran}} = 0,3572 \times 0,15 = 0,05358$$

Penyelesaian

$$|\Delta v| = |IR| \cdot |\Delta Z|$$

$$\Delta Z = 0,06645 + j \times 0,05358$$

$$= 0.0853 \angle 38^\circ$$

$$|\Delta v| = |IR| \cdot |\Delta Z|$$

$$= 85 \times 0.0853$$

$$= 7.2505 \text{ Volt}$$

$$\text{Jadi untuk } V_{\text{penerima}} = 230 - 7.2505 \text{ Volt} = 222.75 \text{ Volt.}$$

Phasa S

LVTC $3 \times 70 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$

$$V_S = 229 \angle 0^\circ \text{ Volt}$$

$$I_S = 110 \text{ Amper}$$

Panjang kabel : 150 m = 0.15 km

Untuk R,

$$R_{saluran} = R_{k.penghantar} \times panjang$$

$$R_{saluran} = 0,443 \times 0,15 = 0,06645$$

Untuk X

$$X_{saluran} = X_{k.penghantar} \times panjang$$

$$X_{saluran} = 0,3572 \times 0,15 = 0,05358$$

Penyelesaian

$$|\Delta v| = |IR| \cdot |\Delta Z|$$

$$\Delta Z = 0,06645 + jx0,05358$$

$$= 0,0853 \angle 38^\circ$$

$$|\Delta v| = |IR| \cdot |\Delta Z|$$

$$= 110 \times 0,0853$$

$$= 9,383 \text{ Volt}$$

Jadi untuk $V_{penerima} = 229 - 9383 = 219.617 \text{ Volt}$.

Phasa T

LVTC $3 \times 70 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$

$$V_T = 232 \angle 0^\circ \text{ Volt}$$

$$I_T = 66 \text{ Amper}$$

Panjang kabel : 150 m = 0.15 km

Untuk R,

$$R_{saluran} = R_{K.penghantar} \times \text{panjang}$$

$$R_{saluran} = 0,443 \times 0,15 = 0,06645$$

Untuk X

$$X_{saluran} = X_{K.penghantar} \times \text{panjang}$$

$$X_{saluran} = 0,3572 \times 0,15 = 0,05358$$

Penyelesaian

$$|\Delta v| = |IR| \cdot |\Delta Z|$$

$$\Delta Z = 0,06645 + jx0,05358$$

$$= 0,0853 \angle 38^\circ$$

$$|\Delta v| = |IR| \cdot |\Delta Z|$$

$$= 66 \times 0,0853$$

$$= 5,6298 \text{ Volt}$$

Jadi untuk $V_{Penerima} = 232 - 5,6298 = 226,3702 \text{ Volt}$.

Sehingga diperoleh persentase jatuh tegangan setelah perbaikan dari perhitungan diatas sebagai berikut:

$$\Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$\Delta V_r = \frac{230 - 222,75}{230} \times 100\% = 3,15\%$$

$$\Delta V_s = \frac{229 - 219,617}{229} \times 100\% = 4,09\%$$

$$\Delta V_t = \frac{232 - 226.3702}{232} 100\% = 2.42\%$$

Table 4.7 persentase drop masing masing fasa menggunakan teori setelah perbaikan

NO	SALURAN	TEGANGAN SUMBER	TEGANGAN UJUNG	PERSENTASE DROP
1	R	228	222.75	3.15%
2	S	225	219.617	4.09%
3	T	232	226.3702	2.42%

(sumber :perhitungan pribadi)

Table 4.8 Perbandingan persentase drop tegangan antara pengukuran pengamatan dengan pengukuran teori sebelum perbaikan

NO	SALURAN	TEGANGAN SUMBER (V)	PERSENTASE DROP PENGAMTAN	PERSENTASE DROP TEORITIS
1	R	228	21,49%	20.85%
2	S	225	28,44%	32.16%
3	T	227	27,31%	19.69%

(sumber :perhitungan pribadi)

Table 4.9 Perbandingan persentase drop tegangan antara pengukuran pengamatan dengan pengukuran teori setelah perbaikan

NO	SALURAN	TEGANGAN SUMBER (V)	PERSENTASE DROP PENGAMTAN	PERSENTASE DROP TEORITIS
1	R	228	4,78%	3.15%
2	S	225	3,49%	4.09%
3	T	227	5,17%	2.42%

(sumber :perhitungan pribadi)

Perhitungan nilai total arus netral menggunakan persamaan (3)

1. GT.MGT016 Sebelum perbaikan

$$I_R = 179 \text{ A}$$

$$I_S = 172 \text{ A}$$

$$I_T = 180 \text{ A}$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
 IN &= I_R \angle 0^\circ + I_S \angle 240^\circ + I_T \angle 120^\circ \\
 &= 179 \angle 0^\circ + 172 \angle 240^\circ + 180 \angle 120^\circ \\
 &= 179(\cos 0^\circ + j \sin 0^\circ) + 172(\cos 240^\circ + \\
 &\quad j \sin 240^\circ) + 180(\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ)
 \end{aligned}$$

$$= 179 (1 + j 0) + 172(-0.5 - j0.866) + 180 (-0.5 + j0.866)$$

$$= 179 - 86 - j148.952 - 90 + 155.8$$

$$I_N = 3 + j6.928 A = 7.549A$$

Sehingga di peroleh nilai dari arus total netral adalah 7.549 Ampere

2. GT.MGT016 Setelah perbaikan

$$I_R = 179 A$$

$$I_S = 172 A$$

$$I_T = 180 A$$

Penyelesaian:

$$I_N = I_R \angle 0^\circ + I_S \angle 240^\circ + I_T \angle 120^\circ$$

$$= 200 \angle 0^\circ + 185 \angle 240^\circ + 180 \angle 120^\circ$$

$$= 200 (\cos 0^\circ + j \sin 0^\circ) + 185 (\cos 240^\circ +$$

$$j \sin 240^\circ) + 193 (\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ)$$

$$= 200 (1 + j 0) + 185(-0.5 - j0.866) + 193 (-0.5 + j0.866)$$

$$= 200 - 92.5 - j160.21 - 96.5 + j167.138$$

$$I_N = 11 + j6.928 A = 13 A$$

Sehingga di peroleh nilai dari arus total netral adalah 13 *Ampere*

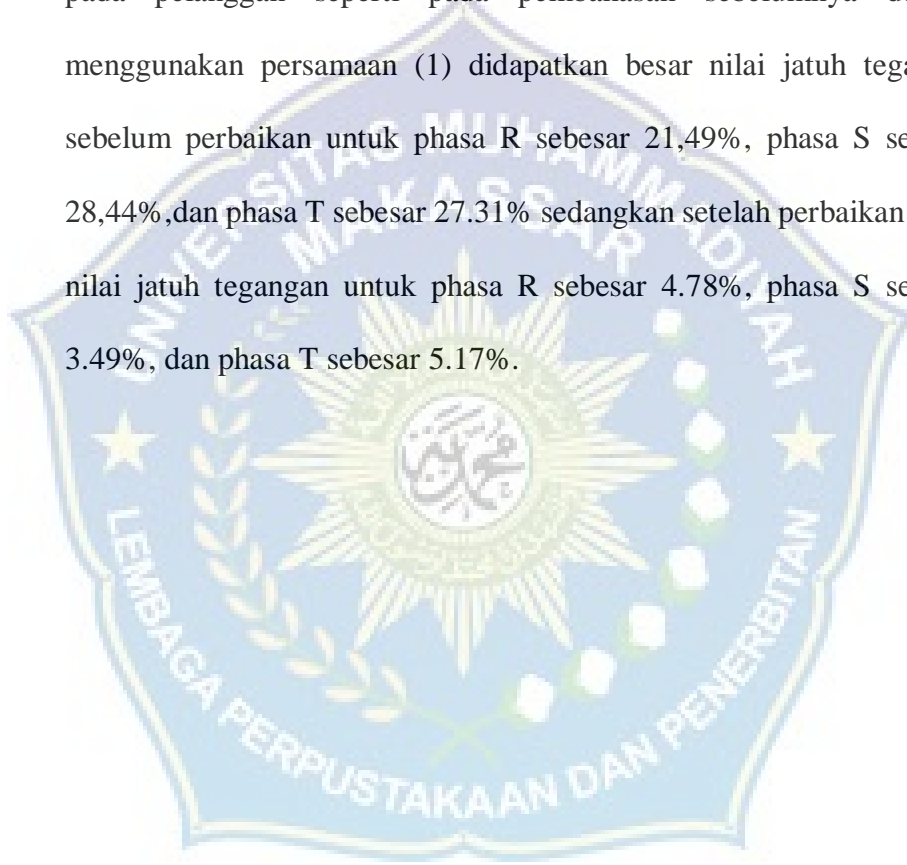
4.3 Faktor yang menyebabkan terjadinya jatuh tegangan

Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya jatuh tegangan yaitu , panjang saluran, diameter dan penghantar . Berdasarkan hasil wawancara terhadap beberapa staf teknik PT PLN(Persero) ULP Mattoanging, faktor yang menyebabkan terjadinya jatuh tegangan pada gardu yang diteliti adalah karena Panjang atau jarak jaringan dari tiang ke tiang , luas penampang dan jenis kabel sambungan rumah seri banyak yang sudah melampaui standar jatuh tegangan.

Faktor yang pertama yaitu sambungan rumah seri banyak.Pencabangan / sambungan seri dibatasi 5 sambungan pelayanan. Jumlah sambungan pelayanan dari atas tiang tidak melebihi 5 sambungan dan untuk listrik pedesaan tidak melebihi 7 sambungan (PLN Buku 1, 2010). Pada JTR yang diteliti kali ini pada ujung jaringan terdapat lebih dari 10 sambungan rumah yang terpasang Serta karena instalasi penyambungan antar konektor kurang bagus dan jarak tarikan yang terlalu panjang, sehingga hal ini menyebabkan terjadinya jatuh tegangan yang drastis di ujung jaringan.

Namun, pada penelitian ini solusi yang dilakukan adalah penambahan jaringan tegangan rendah dan memperbesar ukuran

penampang kabel agar sambungan rumah seri banyak berkurang jumlahnya, karena dengan ditambahkan jaringan tegangan rendah maka jarak dari sambungan rumah ke jaringan tegangan rendah akan lebih dekat serta sambungan rumah tidak mencantol hanya pada satu tiang saja. Sehingga akan berdampak mengurangi besar nilai jatuh tegangan pada pelanggan seperti pada pembahasan sebelumnya dengan menggunakan persamaan (1) didapatkan besar nilai jatuh tegangan sebelum perbaikan untuk fasa R sebesar 21,49%, fasa S sebesar 28,44%, dan fasa T sebesar 27.31% sedangkan setelah perbaikan besar nilai jatuh tegangan untuk fasa R sebesar 4.78%, fasa S sebesar 3.49%, dan fasa T sebesar 5.17%.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan seluruh pembahasan yang dikemukakan pada bab sebelumnya dan dari hasil perhitungan yang telah diperoleh pada bab iv, maka dapat diambil beberapa kesimpulan jatuh tegangan yang terjadi pada jaringan tegangan rendah PT.PLN (Persero) ULP Panakkukang yaitu:

1. Besar nilai jatuh tegangan pada jaringan tegangan rendah PT.PLN(Persero) ULP Mattoanging berbeda disetiap phasa pada gardu GT.MGT016 dimana:

Hasil perhitungan secara pengamatan

Persentase jatuh tegangan sebelum perbaikan pada phasa R sebesar 21,49%, phasa S sebesar 28,44%, dan phasa T sebesar 27.31%.

Persentase jatuh tegangan setelah perbaikan pada phasa R sebesar 4.78%, phasa S sebesar 3.49%, dan phasa T sebesar 5.17%.

Sedangkan untuk hasil perhitungan secara teori

Persentase jatuh tegangan sebelum perbaikan pada phasa R sebesar 20.85%, phasa S sebesar 32.16%, dan phasa T sebesar 19.69%.

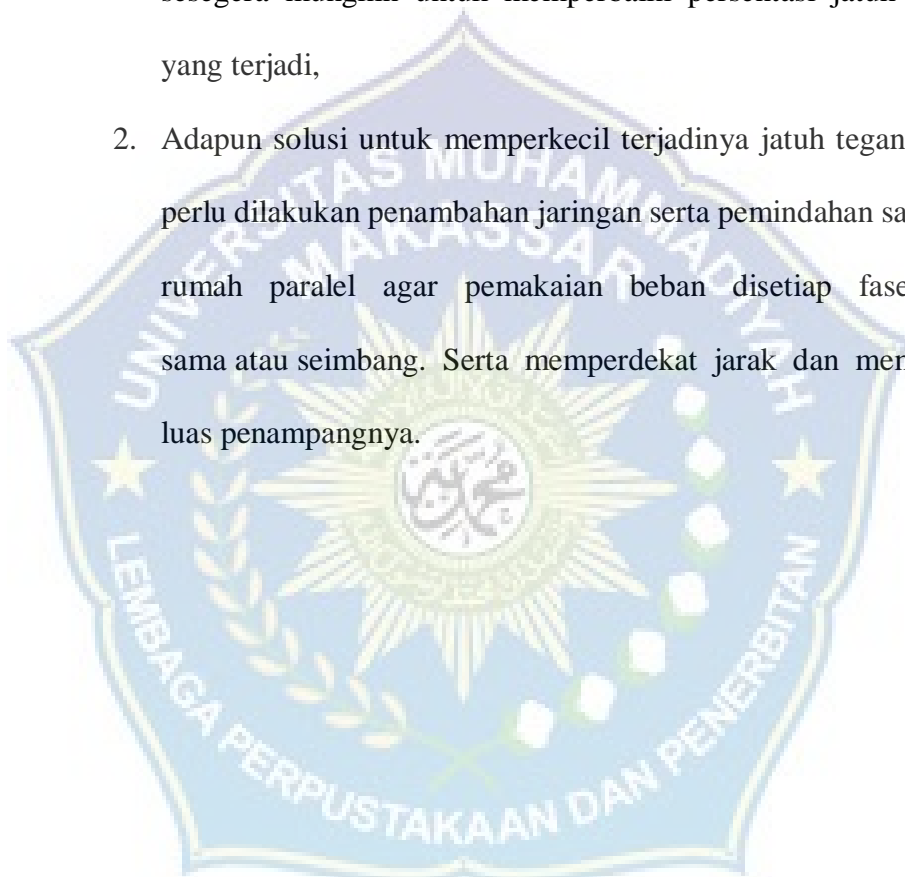
Persentase jatuh tegangan setelah perbaikan pada phasa R sebesar 3.15%, phasa S sebesar 4.09%, dan phasa T sebesar 2.42%.

2. Adapun penyebab terjadinya jatuh tegangan di PT.PLN (Persero) ULP Mattoanging yaitu sambungan rumah seri banyak yang tidak sesuai standar, jarak kabel yang terlalu jauh , ukuran dan jenis kabelnya .

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, penulis dapat memberikan saran sebagai berikut:

1. Upaya penekanan persentasi jatuh tegangan dapat dilakukan sesegera mungkin untuk memperbaiki persentasi jatuh tegangan yang terjadi,
2. Adapun solusi untuk memperkecil terjadinya jatuh tegangan yaitu perlu dilakukan penambahan jaringan serta pemindahan sambungan rumah paralel agar pemakaian beban disetiap fase hampir sama atau seimbang. Serta memperdekat jarak dan memperbesar luas penampangnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, Rahmat. 2016."Analisa Jatuh Tegangan Jaringan Distribusi Primer 20kV pada Penyulang Indrapuri(Studi Kasus pada PT.PLN (Persero) Rayon Lambaro)". Banda Aceh.
- Andi Nurul Maajidah dan Anugrah Trisakti Putra 2010. "Analisa Jatuh Tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah PT PLN (Persero) Rayon Takalar"
- Kothari,DP, 2005, Modern Power Sistem Analysis, Tata MoGraw Hill, New Dehi Lily.S., 2015. Analisa Rugi - Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi, E-Journa Teknik Elektro dan Komputer, ISSN.2301-8402.
- Made Suartika dan I Wayan Arta Wijaya. 2010. "Rekonfigurasi Jaringan Tegangan Rendah (JTR) untuk Memperbaiki Drop Tegangan di Daerah Banjar Tulangnyuh Klungkung. Bali.
- NFPA U.S. Home Product Report 1988-1992 (Appliances & Equipment) Alison L. Miller August, 1994.
- Politeknik Negeri Ujung Pandang. 2015. Pedoman Penulisan Proposal dan Laporan Tugas Akhir Program Diploma Tiga (D-3) Bidang Rekayasa dan Tata Niaga Makassar.
- PT PLN (Persero). 1995. SPLN 1:1995 Tegangan-Tegangan Standar. Jakarta
- PT PLN (Persero).2010. Buku 4 Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik. Jakarta.

PT PLN (Persero). 2010. Buku 1 Kriteria Disain Enjinereng Konstruksi Jaringan
Distribusi Tenaga Listrik. Jakarta

PT PLN (Persero). 2010. Buku 2 Standar Konstruksi Sambungan Tenaga
Listrik.Syahputra, Ramadoni. 2017. Transmisi dan Distribusi Tenaga
Listrik. Yogyakarta.LP3M UMY Yogyakarta.

Sarifuddin dan Nirwan A.Noor. 2012. Bahan ajar Mesin Arus Searah dan
Transformator. Makassar. Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Septiani Ainun 2018. "Analisa Jatuh Tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah
PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Panakkukang"

Suprianto.2018."Analisa Tegangan Jatuh pada Jaringan Distribusi 20 kV
PT.PLN Area Rantau Prapat Rayon Aek Kota Batu". Journal of electrical
technology,3(2).

Suhadi dkk. 2008. Teknik Distribusi Tenaga Listrik. Jilid I. Jakarta. Direktorat
Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.