

SKRIPSI

**ANALISIS KEDIP TEGANGAN PADA SYSTEM DISTRIBUSI
TENAGA LISTRIK 20 KV**



FEBRIANTO AIDIL

105 82 1631 15

AGUS SALIM

105 82 1619 15

**PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

2019

**ANALISIS KEDIP TEGANGAN PADA SYSTEM DISTRIBUSI
TENAGA LISTRIK 20 KV**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat

Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Elektro

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik

Disusun dan diajukan oleh :

FEBRIANTO AIDIL

AGUS SALIM

105 82 1631 15

105 82 1619 15

PADA

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

MAKASSAR

2019



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

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

Judul Skripsi : **ANALISIS KEDIP TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK 20 KV**

Nama : 1. Febrianto Aidil
2. Agus Salim

Stambuk : 1. 10582 1631 15
2. 10582 1619 15

Makassar, 27 Juni 2019

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II

Rizal Ahdiyut Duyo, S.T.,M.T

Adriani, S.T., M.T.

Mengetahui,

Ketua Jurusan Elektro



Adriani, S.T., M.T.
NBM. 1044 202



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Febrianto Aidil** dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1631 15 dan **Agus Salim** dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1619 15, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0004/SK-Y/20201/091004/2019, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Selasa tanggal 25 Juni 2019.

Panitia Ujian :

Makassar,

23 Syawal 1440 H

27 Juni 2019 M

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, M.T

2. Penguji

a. Ketua : Ir. Abdul Hafid, M.T

b. Sekretaris : Rahmania, S.T.,M.T

3. Anggota

: 1. Dr. Umar Katu, S.T.,M.T

2. Dr. Ir. Hj. Hafsa Nirwana, M.T

3. Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng :

Mengetahui :

Pembimbing I

Rizal Ahdiyati Duyo, S.T.,M.T

Pembimbing II

Adriani, S.T., M.T.

Dekan



Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T.,IPM

NBM : 855 500

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “*Menganalisi kedip tegangan pada system distribusi tenaga listrik 20 Kv*”. Tidak lupa pula penulis tuturkan shalawat serta salam kepada junjungan kita baginda Muhammad SAW., yang telah memberi suri tauladan atas umatnya.

Skripsi ini disusun guna melengkapi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Skripsi ini dibuat berdasarkan pada data yang penulis peroleh selama melakukan penelitian, baik data yang diperoleh dari studi literatur, hasil percobaan maupun hasil bimbingan dari dosen pembimbing.

Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada:

1. Kedua orang tua, kakak serta keluarga yang telah memberikan bantuan baik berupa moril maupun materiel.
2. Bapak Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

3. Ibu Adriani, S.T., M.T. selaku ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Bapak Rizal Ahdiyati Duyo, S.T., M.T selaku Pembimbing I dan Ibu Adriani, S.T., M.T. selaku Pembimbing II yang telah memberikan waktu, arahan serta ilmunya selama membimbing penulis.
5. Para Staf dan Dosen yang telah membantu penulis selama melakukan studi di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Saudara-saudara serta rekan-rekan Reaksi 2015 dan terkhususnya kelas Teknik Listrik A yang telah banyak membantu penulis selama menyelesaikan studi dan skripsi ini.

Akhir kata penulis sampaikan pula harapan semoga skripsi ini dapat memberi manfaat yang cukup berarti khususnya bagi penulis dan bagi pembaca pada umumnya. Semoga Allah SWT. Senantiasa selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua. Aamiin.

Billahi Fi Sabilil Haq Fastabiqul Khairat

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, April 2019

Penulis

**ANALISIS KEDIP TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI
TENAGA LISTRIK 20 KV AKIBAT HUBUNG SINGKAT
PADA PENYULANG**

Febrianto Aidil¹, Agus Salim²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar

E-Mail: febriantoaidil10@yahoo.com

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar

E-Mail: agus97@gmail.com

ABSTRAK

Abstrak; Febrianto Aidil dan Agus Salim; PT. PLN (Persero) mendapatkan suplai tenaga listrik dari transformator 150/20 kV yang berada di GI Panakkukang. Pada sistem distribusi ini sering kali ditemukan gangguan listrik yang salah satunya disebabkan oleh arus hubung singkat. Gangguan hubung singkat yang biasanya terjadi pada sistem distribusi adalah gangguan hubung singkat 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa. Untuk mengetahui nilai kedip tegangan akibat gangguan hubung singkat ini diperlukan analisa perhitungan arus gangguan hubung singkat dan perhitungan kedip tegangan pada titik gangguan 25%, 50%, 75%, dan 100%, dan untuk mendapatkan hasilnya kita harus terlebih dahulu mengetahui panjang penyulang, kapasitas trafo, besar reaktansi GI, serta bebannya. Penyulang yang digunakan untuk perhitungan dan analisa adalah penyulang ALAUDDIN. Kedip tegangan dan persentase kedip tegangan dari tegangan normal saat terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah pada titik 25%, 50%, 75%, dan 100% secara berurutan adalah $9635,253 \angle 0,809^\circ$ V sebesar 48,176%; $7002,022 \angle 0,914^\circ$ V sebesar 35,010%; $4202,695 \angle 1,762^\circ$ V sebesar 21,014%; dan $1372,800 \angle 5,679^\circ$ V sebesar 6,864%. Kedip tegangan dan persentase kedip tegangan dari tegangan normal saat terjadi gangguan 2 fasa pada titik 25%, 50%, 75%, dan 100% secara berurutan adalah - $10.779 \angle -46.5$ V sebesar 25%; $893.3 \angle 77.2$ V sebesar 50%; $9355.5 \angle 0.01$ V sebesar 75%; dan $-3.125 \angle 90$ V sebesar 100%. Kedip tegangan dan persentase kedip tegangan dari tegangan normal saat terjadi gangguan 3 fasa pada titik 25%, 50%, 75%, dan 100% secara berurutan adalah 499207.37 V sebesar 25%; 998971.74 V sebesar 50%; 9078.81 V sebesar 75%; dan 448585.61 V sebesar 100%.

Kata Kunci : Hubung Singkat, Kedip Tegangan, Penyulang

**ANALYSIS OF VOLTAGE FLICKER ON A 20 KV POWER
DISTRIBUTION SYSTEM DUE TO SHORT
CIRCUIT IN FEEDERS**

Febrianto Aidil¹, Agus Salim²

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Muhammadiyah
University of Makassar

E-Mail: febriantoaidil10@yahoo.com

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Muhammadiyah
University of Makassar

E-Mail: agus97@gmail.com

ABSTRACT

Abstract; Febrianto Aidil dan Agus Salim; PT. PLN (Persero) get electric power supply from 150/20 kV transformer which located in the GI Panakkukang. In distribution system of electrical supplies often found a power interruptions that caused by short circuit. Short circuit which usually occur in the distribution system is short circuit to ground 1 phase, 2-phase and 3-phase. To determine the value of the pulsating voltage due to short circuit current calculation is necessary analysis and calculation of short circuit voltage blink per feeder length by 25%, 50%, 75% and 100%, and to get result we must first know the length of feeder, transformer capacity, GI reactivity, and load. Feeders are used for calculations and analysis is feeder ALAUDDIN. Voltage Dip and percentage of voltage dip from nominal voltage during one phase to ground short circuit per long feeders 25%, 50%, 75% and 100% are $9635,253 \angle 0,809^\circ$ V in 48,176%; $7002,022 \angle 0,914^\circ$ V in 35,010%; $4202,695 \angle 1,762^\circ$ V in 21,014%; and $1372,800 \angle 5,679^\circ$ V in 6,864%. Voltage Dips and percentage of voltage dip from nominal voltage during 2 phases short-circuit per long feeders 25%, 50%, 75% and 100% are $-10.779 \angle -46.5$ V in 25%; $893.3 \angle 77.2$ V in 50%; $9355.5 \angle 0.01$ V in 75%; and $-3.125 \angle 90$ V in 100%. Voltage Dip and percentage of voltage dip from nominal voltage during 3-phase shortcircuit per long feeders 25%, 50%, 75% and 100% are 499207.37 V in 25%; 998971.74 V in 50%; 9078.81 V in 75%; and 448585.61 V in 100%.

Keywords: Short-circuit, Voltage Dip, Feeder

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I: PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat Penelitian.....	3
E. Batasan Masalah	4
BAB II: TINJAUAN PUSTAKA	
A. Konsep Kualitas Daya Listrik	6
B. Transformator Tenaga	9
C. Teori Hubung Singkat Sistem Distribusi 20 Kv	10
D. Perhitungan Impedansi	12
1. Impedansi Sumber.....	13
2. Impedansi Transformator	14

3. Impedansi Penyulang	15
4. Impedansi Ekvivalen.....	16
E. Perhitungan Gangguan Hubung Singkat	17
F. Kedip Tegangan (Voltage Sag)	19
1. Penyebab Kedip Tegangan.....	24
a. Starting motor berdaya besar.....	25
b. Pembebanan yang besar pada sistem	25
c. Gangguan hubung singkat pada sistem distribusi	26
2. Akibat Gangguan kedip Tegangan.....	27
3. Toleransi Terhadap Kedip Tegangan pada Sistem Transmisi/Distribusi.....	28

BAB III: METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	29
B. Data (Parameter) dan Variabel Penelitian	29
1. Data (Parameter)	29
2. Variabel Penelitian.....	30
C. Skema Penelitian	31
D. Langkah Penelitian.....	32

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sistem Distribusi 20 KV Gardu Induk Panakkukang	32
B. Perhitungan Impedansi Sumber	32
C. Perhitungan Reaktansi Transformator.....	33
D. Perhitungan Impedansi Penyulang	33

E. Perhitungan Impedansi Ekiivalen Jaringan	35
F. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat	37
1. Perhitungan Arus Gangguan Hubung	
Singkat 1 Fasa ke tanah.....	37
2. Perhitungan Arus Gangguan Hubung	
Singkat Fasa – Fasa.....	40
3. Perhitungan Arus Gangguan Hubung	
Singkat 3 Fasa	43
G. Perhitungan Kedip Tegangan.....	46
1. Perhitungan Kedip Tegangan Untuk	
Gangguan 3 Fasa	46
2. Perhitungan Kedip Tegangan Untuk	
Gangguan Fasa-Fasa	47
3. Perhitungan Kedip Tegangan Untuk	
Gangguan 1 Fasa ke tanah.....	50
BAB V: PENUTUP	
A. Kesimpulan	53
B. Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kedip Tegangan	1
Gambar 2.1 Impedansi penghantar	13
Gambar 2.2 Konversi X_s dari 150 kV ke 20 kV	14
Gambar 2.3. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.....	18
Gambar 2.4. Gangguan Hubung Singkat Fasa-Fasa	19
Gambar 2.5. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa.....	19
Gambar 2.7. Gelombang terjadinya tegangan kedip.....	21
Gambar: Skema penelitian	30
Gambar: Langkah penelitian.....	31
Gambar 4.1 penyulang Alauddin	37
Gambar 4.2. Grafik Arus Gangguan Hubung Singkat 1 fasa ke tanah	40
Gambar 4.3. Grafik Gangguan Hubung Singkat Fasa-Fasa.....	42
Gambar 4.4 Grafik Gangguan Arus Hubung Singkat 3 Fasa.....	44
Gambar 4.5 Grafik perbandingan antara arus gangguan hubung singkat	46

DAFTAR TABEL

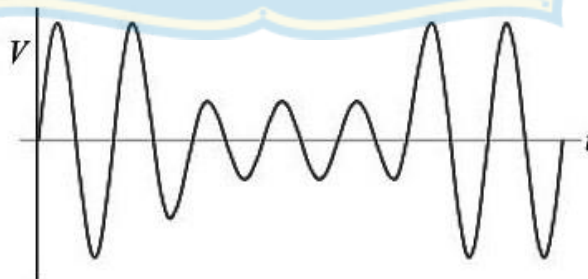
Tabel 2.1 Defenisi kualitas daya listrik sesuai standar IEEE 1159-1995	8
Tabel 3.1 Tipikal rentang kualitas daya input dan parameter beban.....	29
Tabel 4.1 Impedansi penyulang urutan positif & negative	34
Tabel 4.2 Impedansi penyulang urutan nol	35
Tabel 4.3 Impedansi $Z_{1\text{ eki}}$ & $Z_{2\text{ eki}}$	36
Tabel 4.4 Impedansi Ekuivalen $Z_{0\text{ eki}}$	36
Tabel 4.5 Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke tanah.....	39
Tabel 4.6 Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa-Fasa	42
Tabel 4.7 Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa	44
Tabel 4.8 Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat	45

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik untuk perumahan, komersial, dan industri terus meningkat setiap tahunnya. Suplai daya dari sumber ke beban tersebut harus dikirim dengan suatu sistem pelayanan dan kualitas yang baik. Sistem distribusi dibedakan menjadi jaringan distribusi primer dan sekunder. Jaringan distribusi primer adalah jaringan dari trafo ke gardu induk (GI), sedangkan jaringan distribusi sekunder adalah jaringan dari trafo distribusi ke konsumen atau beban. Jaringan distribusi primer lebih dikenal dengan jaringan tegangan menengah (JTM) 20 kV, dan jaringan distribusi sekunder adalah jaringan tegangan rendah (JTR) 220/380 V. Sistem distribusi adalah sistem yang paling banyak mengalami gangguan baik pada jaringan tegangan menengah maupun jaringan tegangan rendah. Salah satu gangguan pada sistem distribusi yaitu kedip tegangan. Menurut standar IEEE 1159-1995, kedip tegangan adalah penurunan nilai tegangan rms antara 0,1 pu sampai 0,9 pu selama durasi 0,5 siklus hingga 1 menit.



Gambar 1.1 Kedip Tegangan
(Sumber: <http://geogle.co.id>)

Penyebab terjadinya kedip tegangan diantaranya sebagai berikut :

- a. Proses starting motor induksi berdaya besar. Motor induksi umumnya pada saat starting mengkonsumsi 5 sampai 6 kali arus ratingnya.
- b. Gangguan hubung singkat pada saluran distribusi. Gangguan hubung singkat ini dapat terjadi karena adanya gangguan satu fasa ke tanah, gangguan fasa ke fasa dan gangguan tiga fasa.

Penyulang merupakan salah satu penyulang yang disuplai oleh transformator tenaga 150/20 kV yang terdapat pada GI/GITET. Kedip tegangan dapat terjadi karena adanya hubung singkat pada penyulang. Hubung singkat yang sering terjadi pada penyulang adalah hubung singkat 1 fasa ke tanah, 2 fasa, dan 3 fasa. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah pada umumnya terjadi karena sambaran petir, cabang pohon yang menyentuh saluran SUTM, dan kontak hewan seperti burung. Gangguan hubung singkat 2 fasa dapat disebabkan oleh cuaca yang kurang baik dan cabang pohon yang menyentuh saluran SUTM. Sedangkan untuk gangguan 3 fasa dapat disebabkan oleh peristiwa switching atau trip circuit breaker (PMT) 3 fasa, yang juga dapat menyebabkan kedip tegangan pada penyulang lain dari gardu induk yang sama. Kedip tegangan yang terjadi pada penyulang dihitung berdasarkan titik gangguan 25%, 50%, 75%, dan 100% dari panjang penyulang.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka di dalam tugas akhir ini penulis akan "*Analisis kedip tegangan pada system distribusi tenaga listrik 20 Kv*", sehingga diharapkan dapat memberikan manfaat dalam meningkatkan penguasaan di bidang peningkatan kualitas daya.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

- a. Berapa nilai arus hubung singkat akibat gangguan 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa?
- b. Berapa nilai kedip tegangan akibat gangguan hubung singkat pada penyulang?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah :

- a. Mengetahui nilai arus hubung singkat akibat gangguan 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa pada penyulang.
- b. Mengetahui nilai kedip tegangan akibat gangguan hubung singkat pada penyulang.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa didapat pada penulisan Tugas Akhir ini diantaranya :

- a. Menambah pengetahuan dibidang teknik elektro khususnya pada analisa kedip tegangan akibat hubung singkat.
- b. Peneliti dapat menghitung dan menganalisa besar arus hubung singkat akibat gangguan 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa.
- c. Peneliti dapat menghitung dan menganalisa besar kedip tegangan yang disebabkan oleh gangguan arus hubung singkat.

E. Batasan Masalah

Agar dalam penulisan Tugas Akhir ini dapat sesuai sasaran dan tujuan yang diharapkan, maka diadakan pembatasan masalah. Adapun batasan-batasan masalah tersebut diantaranya :

- a. Penentuan lokasi penelitian pada jaringan distribusi 20 KV.
- b. Perhitungan arus hubung singkat akibat gangguan 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa pada penyulang.
- c. Perhitungan nilai kedip tegangan akibat gangguan hubung singkat pada penyulang.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Suatu sistem tenaga listrik dikatakan memiliki tingkat keandalan yang tinggi apabila sistem tersebut mampu menyediakan pasokan energi listrik yang dibutuhkan oleh beban secara terus-menerus dan dengan kualitas daya yang baik. Pada kenyataannya, banyak permasalahan-permasalahan yang dihadapi oleh suatu sistem tenaga listrik dalam penyediaan energi listrik secara kontinu. Salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan kedip tegangan (voltage sag). Gangguan ini merupakan gangguan transien pada sistem tenaga listrik, yaitu penurunan tegangan sesaat (selama beberapa detik) pada jaringan sistem. Kedip tegangan dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu : pertama, adanya gangguan hubung singkat pada jaringan tenaga listrik itu sendiri; kedua, adanya perubahan beban secara mendadak (seperti : switching beban dan pengasutan motor induksi). Koordinasi pengaman sangat diperlukan untuk mengatasi gangguan tersebut, sehingga gangguan tersebut bisa dilokalisir dari sistem yang sedang beroperasi [1].

A, Satria, Hari, melakukan penelitian yang berjudul Penentuan lokasi Voltage sag source menggunakan komponen arus rill pada pabrik semen Tuban III. hasil penelitian ini menunjukkan bahwa gangguan hubung singkat disatu feeder dapat menyebabkan gangguan kedip tegangan di feeder lain, namun kuantitas dari kedip tegangan ini tergantung pada konfigurasi jaringan sistem distribusi tenaga listrik serta jenis gangguan yang terjadi [2].

Jemjem Kurnaer, Nur Pamudji, Gunawan Sidabaloh menulis makalah tentang Kedip Tegangan di Sistem Tenaga Listrik Jawa Bali, "Mengenai kedalaman kedip tegangan (Voltage dip) tidak dijamin oleh pihak PLN, karena kedalaman Voltage dip tergantung pada jarak lokasi gangguan penyebab kedip, kekuatan (kapasitas) pasokan daya, hubungan trafo, jenis gangguan, sistem pentanahan, tegangan pra gangguan, dll. Lamanya kedip tegangan (Voltage dip) disisi pasokan dikaitkan dengan bekerjanya proteksi utama jaringan, dan proteksi cadangan [3].

Dari penelitian sebelumnya, pada penulisan skripsi ini penulis bertujuan untuk menganalisa terjadinya kedip tegangan pada sistem distribusi tegangan menengah khususnya penyulang Alauddin yang ditimbulkan karena adanya gangguan hubung singkat pada sistem distribusi GI Panakkukang, jenis gangguan hubung singkat yang biasanya terjadi adalah gangguan satu fasa ketanah dan fasa ke fasa serta gangguan tiga fasa.

A. Konsep Kualitas Daya Listrik

Perhatian terhadap kualitas daya listrik dewasa ini semakin meningkat seiring dengan peningkatan penggunaan energi listrik dan utilitas kelistrikan. istilah kualitas daya listrik telah menjadi isu penting pada sistem tenaga listrik sejak akhir 1980-an. istilah kualitas daya listrik merupakan suatu konsep yang memberikan gambaran tentang baik atau buruknya mutu daya listrik akibat adanya beberapa jenis gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan salah satunya adalah terjadinya hubung singkat dan tegangan kedip.

Terdapat empat alasan utama, mengapa para ahli dan praktisi di bidang tenaga listrik memberikan perhatian lebih pada kualitas daya listrik yaitu :

1. Pertumbuhan beban-beban listrik dewasa ini bersifat lebih peka terhadap kualitas daya listrik seperti sistem kendali dengan berbasis pada mikroprosesor dan perangkat elektronika daya.
2. Meningkatnya perhatian yang ditekankan pada efisiensi sistem daya listrik secara menyeluruh, sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan penggunaan peralatan yang mempunyai efisiensi tinggi, seperti pengaturan kecepatan motor listrik dan penggunaan kapasitor untuk perbaikan faktor daya. penggunaan peralatan – peralatan tersebut dapat mengakibatkan peningkatan terhadap tingkat harmonik pada sistem daya listrik, di mana para ahli merasa khawatir terhadap dampak harmonisa tersebut di masa mendatang yang dapat menurunkan kemampuan dari sistem daya listrik itu sendiri.
3. Meningkatnya kesadaran bagi para pengguna energi listrik terhadap masalah kualitas daya listrik. para pengguna utilitas kelistrikan menjadi lebih pandai dan bijaksana mengenai persoalan seperti interupsi, sags, dan peralihan transien dan merasa berkepentingan untuk meningkatkan kualitas distribusi daya listriknya.
4. Sistem tenaga listrik yang saling berhubungan dalam suatu jaringan interkoneksi, di mana sistem tersebut memberikan suatu konsekuensi bahwa kegagalan dari setiap komponen dapat mengakibatkan kegagalan pada komponen lainnya.

Sesuai dengan standar IEEE 1159-1995 beberapa fenomena gangguan dalam sistem tenaga listrik telah diidentifikasi, dimana merupakan gangguan yang sering terjadi dan tidak termasuk gangguan seperti medan elektromagnetik atau interferensi frekuensi radio. tiga kategori pertama umumnya dianggap fenomena intermiten (sementara/sebentar), sedangkan empat terakhir (ketidakseimbangan, distorsi, fluktuasi dan variasi frekuensi) adalah steady state atau gangguan kontinyu. dari standar IEEE 1159-1995 mencoba menjelaskan dan mendefinisikan fenomena elektromagnetik yang dapat menyebabkan masalah kualitas daya. Dari Tabel 2.1 dapat dilihat beberapa jenis gangguan dalam sistem tenaga listrik.

Tabel 2.1 Defenisi kualitas daya listrik sesuai standar IEEE 1159-1995

No.	Kategori Gangguan	Tipe Gangguan	Rentang Waktu	Penyebab
1.	Transient	Oscilatory, Impulsive	Less than 1 Cycle	Lightning, Switching Loads
2.	Short duration Variation	Sags, Swells, Interruptions	Less than 1 Minute	Faults, Motor starting, Utility Protective Equipment
3.	Long duration variations	Undervoltages, Overvoltages, Sustained Interruptions	Over 1 Minute	Poor Voltage regulation, Incorrect Transformer tap setting, Overloaded feeder, Utility Equipment
4.	Voltage imbalance	-	Steady state	Unbalance loads, Equipment failure
5.	Waveform distortion	Harmonics, Notching, Noise	Steady state	Electronic loads
6.	Voltage fluctuations	-	Steady state	Arcing load, loose Connections
7.	Power Frequency variations	-	Steady state	Poor generator Control

Sumber: Standar IEEE 1159-1995, Power Quality Monitoring [4]

B. Transformator Tenaga

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksielektromagnet. transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai , dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. penggunaan transformator yang sederhana dan handal memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan serta merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik [5].

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum Ampere dan hukum Faraday, yaitu: arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. jika pada salah satu kumparan pada transformator diberi arus bolak-balik maka jumlah garis gaya magnet berubahubah. akibatnya pada sisi primer terjadi induksi. sisi sekunder menerima garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah-ubah pula. Maka di sisi sekunder juga timbul induksi, akibatnya antara dua ujung terdapat beda tegangan. kerja transformator yang berdasarkan induksi electromagnet, menghendaki adanya gandingan magnet antara rangkaian primer dan sekunder. gandingan magnet ini berupa inti besi tempat melakukan fluks bersama [7].

C. Teori Hubung Singkat Sistem Distribusi 20 Kv.

secara langsung tidak melalui media (resistor/beban) yang semestinya sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar). Tenaga listrik yang disalurkan kepada Hubung singkat adalah terjadinya hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan konsumen melalui sistem tenaga listrik, sistem tenaga Listrik terdiri dari beberapa subsistem, yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Tenaga listrik disalurkan ke masyarakat melalui jaringan distribusi. Oleh karena itu, jaringan distribusi merupakan bagian jaringan listrik yang paling dekat dengan masyarakat. Jaringan distribusi dikelompokkan menjadi dua, yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Tegangan distribusi primer yang dipakai PLN adalah 20 kV, 12 kV, 6 kV. Pada saat ini, tegangan distribusi primer yang cenderung dikembangkan oleh PLN adalah 20 kV. Tegangan pada jaringan distribusi primer, diturunkan oleh gardu distribusi menjadi tegangan rendah yang besarnya adalah 380/220 V, dan disalurkan kembali melalui jaringan tegangan rendah kepada konsumen.

Dalam pengoperasiannya sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan-gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen, gangguan tersebut merupakan penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi untuk menyalurkan energi listrik. Suatu gangguan di dalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan di dalam jaringan listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari saluran yang seharusnya. Berdasarkan ANSI/IEEE Std. 100-1992, gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan oleh kegagalan suatu perangkat,

komponen, atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. gangguan yang sering ditimbulkan yaitu gangguan hubung singkat antar fase atau hubung singkat fase ke tanah [4].

Hubung singkat merupakan suatu hubungan abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda. istilah gangguan atau gangguan hubung singkat digunakan untuk menjelaskan suatu hubungan singkat. untuk mengatasi gangguan tersebut, perlu dilakukan analisis hubung singkat sehingga sistem proteksi yang tepat pada sistem tenaga listrik dapat ditentukan. analisis hubung singkat adalah analisis yang mempelajari kontribusi arus gangguan hubung singkat yang mungkin mengalir pada setiap cabang didalam sistem (di jaringan distribusi, transmisi, trafo tenaga atau dari pembangkit) sewaktu gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam sistem tenaga listrik [5].

Gangguan hubung singkat menyebabkan terjadinya interupsi kontinuitas pelayanan daya kepada para konsumen apabila gangguan itu sampai menyebabkan terputusnya suatu rangkaian (sircuit) atau menyebabkan keluarnya satu unit pembangkit, penurunan tegangan yang cukup besar menyebabkan rendahnya kualitas tenaga listrik dan merintanginya kerja normal pada peralatan konsumen, pengurangan stabilitas sistem dan menyebabkan kerusakan pada peralatan. gangguan dapat terdiri dari gangguan temporer atau permanent. kebanyakan gangguan temporer di amankan dengan circuit breaker (CB) atau pengaman lainnya. gangguan permanent adalah gangguan yang menyebabkan

kerusakan permanent pada sistem. seperti kegagalan isolator, kerusakan penghantar, kerusakan pada peralatan seperti transformator atau kapasitor. Pada saluran bawah tanah hampir semua gangguan adalah gangguan permanen. kebanyakan gangguan peralatan akan menyebabkan hubung singkat. gangguan permanen hampir semuanya menyebabkan pemutusan/gangguan pada konsumen.

Menurut standart IEC 909 dan standar yang terkait mengklasifikasikan arus hubung singkat dengan besarnya (maksimum dan minimum) dari jarak titik lokasi. arus hubung singkat maksimum menentukan rating peralatan, sementara itu arus hubung singkat minimum menentukan pengaturan alat proteksi. standar ini adalah kalkulasi dari hubung singkat dan rating peralatan dengan rating tegangan sistem sampai 240 kV dan frekuensi dari 50-60 Hz. yang meliputi gangguan 3 fasa, gangguan fasa-fasa, dan 1 fasa ke tanah [7].

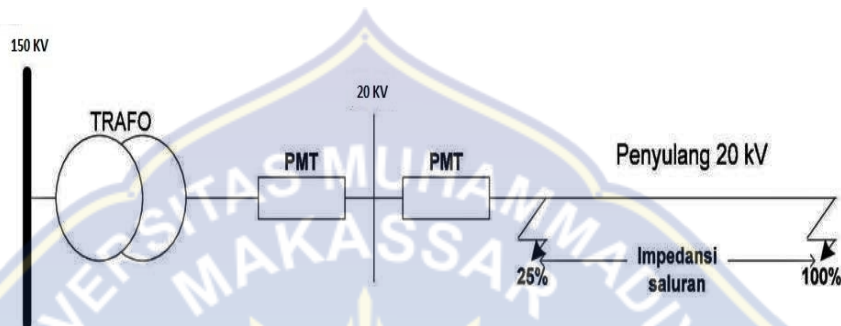
D. Perhitungan Impedansi

Dalam menghitung impedansi dikenal tiga macam impedansi urutan yaitu:

1. Impedansi urutan positif (Z_1), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan positif.
2. Impedansi urutan negatif (Z_2), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan negatif.
3. Impedansi urutan nol (Z_0), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh urutan nol.

Untuk menghitung nilai impedansi yang terdapat pada penghantar di jaringan. Terlebih dahulu harus dimiliki nilai impedansi ohm per kilometer dari

jenis penghantar yang dipakai pada jaringan tersebut. Nilai impedansi ohm per kilometer ini didapat dari data yang ada di lapangan. Untuk menghitung impedansi pada jaringan, ohm per kilometer dikalikan dengan jarak penghantar. Seperti yang terlihat pada gambar 2.1 impedansi penghantar dari GI A ke GI B dengan pemutus/ PMT [5]:



Gambar 2.1 Impedansi penghantar
(Sumber: <http://google.co.id>)

1. Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber di sisi bus 20 kV, maka harus dihitung dulu impedansi sumber di bus 150 kV. Impedansi sumber di bus 150 kV di peroleh dengan menggunakan rumus :

$$X_s = kV^2/MVA \quad (2.1)$$

Dimana :

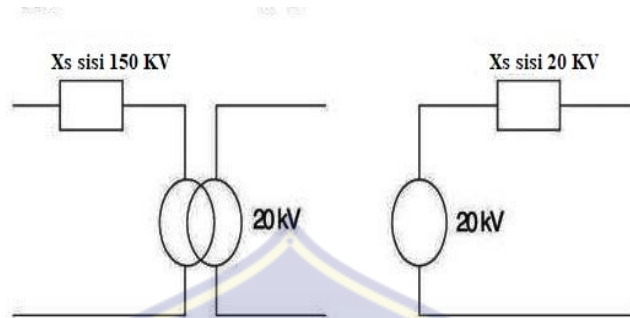
X_s = Impedansi sumber (ohm)

kV^2 = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

MVA = Data hubung singkat di bus 150 kV (MVA)

Arus gangguan hubung singkat di sisi 20 kV diperoleh dengan cara terlebih dahulu mengkonversikan impedansi sumber di bus 150 kV ke sisi 20 kV.

Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 150 kV ke sisi 20 kV, dapat dihitung dengan menggunakan rumus [6]:



Gambar 2.2 Konversi Xs dari 150 kV ke 20 kV
(Sumber: <http://geogle.co.id>)

$$X_s (\text{sisi } 20\text{kV}) = \frac{20^2}{150^2} \times X_s (\text{sisi } 150 \text{ kV}) \quad (2.2)$$

2. Impedansi Transformator

Pada perhitungan impedansi suatu transformator yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahanannya diabaikan karena harganya kecil. Untuk mencari nilai reaktansi transformator dalam ohm dihitung dengan cara sebagai berikut.

Langkah pertama, mencari nilai ohm pada 100% untuk transformator pada 20 kV, yaitu dengan menggunakan rumus :

$$X_t (\text{pada } 100\%) = \frac{kV^2}{MVA} \quad (2.3)$$

Dimana :

X_t = Impedansi sumber (ohm)

kV^2 = Tegangan sisi sekunder trafo tenaga (kV)

MVA = kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

Dari persamaan diatas dapat dicari nilai reaktansinya :

1. Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$) dihitung dengan menggunakan rumus :

$$X_t = \% \text{ yang diketahui } X_t \text{ (pada 100\%)}$$

2. Sebelum mencari nilai reaktansi urutan nol (X_{t0}) terlebih dahulu harus diketahui data trafo tenaga itu sendiri yaitu data dari kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo :

- Untuk trafo tenaga hubungan belitan ΔY dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{t0} = X_{t1}$
- Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan Y_{Δ} dimana kapasitas belitan delta (d) biasanya adalah sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada didalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka nilai $X_{t0} = 3 \times X_{t1}$.
- Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka untuk menghitung besarnya X_{t0} berkisar antara 9 sampai dengan $14 \times X_{t1}$ [6][8].

3. Impedansi Penyulang

Untuk perhitungan impedansi penyulang, perhitungannya tergantung dari besarnya impedansi per km dari penyulang yang akan dihitung.

$$Z = R + jX \text{ } \Omega/\text{Km} \quad (2.4)$$

Untuk menghitung impedansi penyulang pada titik gangguan yang terjadi pada lokasi gangguan % panjang penyulang digunakan rumus :

$$Z_n = n \times L \times Z/\text{km} \quad (2.5)$$

Dimana :

Z_n = Impedansi penyulang sejauh % panjang penyulang (ohm)

n = Lokasi gangguan dalam % panjang penyulang

L = Panjang penyulang (Km)

$Z1/\text{km}$ = Impedansi penyulang tiap km

Pada sistem tenaga, terdapat tiga elemen impedansi yang diketahui yaitu impedansi urutan positif, urutan negatif dan urutan nol [5][8].

4. Impedansi Ekuivalen

Perhitungan yang akan dilakukan di sini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekuivalen positif, negatif dan nol dari titik gangguan sampai kesumber. Karena dari sejak sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri maka perhitungan $Z1_{eki}$ dan $Z2_{eki}$ dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut, sedangkan untuk perhitungan $Z0_{eki}$ dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo tenaga yang netralnya ditanahkan. Akan tetapi untuk menghitung impedansi $Z0_{eki}$ ini, harus diketahui dulu hubungan belitan trafonya .

Untuk menghitung impedansi ekuivalen urutan positif dan urutan negatif menggunakan persamaan [5][8] :

$$Z_s + Z_T + Z_L$$

$$Z_{1\ eki} = Z_{2\ eki} = Z_{S1} + Z_{T1} + Z_{1\ penyulang} \quad (2.6)$$

Dimana :

$Z_{1\ eki}$ = impedansi ekuivalen jaringan urutan positif (ohm)

Z_{2eki} = impedansi ekivalen jaringan urutan negatif (ohm)

Z_{S1} = impedansi sumber sisi 20 kV (ohm)

Z_{t1} = impedansi trafo tenaga urutan positif dan negatif (ohm)

Z_1 = impedansi urutan positif dan negatif (ohm)

Sedangkan untuk menghitung impedansi ekivalen urutan nol digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Z_{0\text{penyulang}} = \% \text{ panjang} \times Z_0 \text{ total}$$

$$Z_{0\text{ eki}} = Z_{t0} + 3 R_N + Z_0 \text{ penyulang} \quad (2.7)$$

Dimana :

$Z_{0\text{ eki}}$ = impedansi ekivalen jaringan nol (ohm)

Z_{t0} = impedansi trafo tenaga urutan nol (ohm)

R_N = Tahanan tanah trafo tenaga (ohm)

Z_0 = impedansi urutan nol (ohm)

E. Perhitungan Gangguan Hubung Singkat.

Perhitungan gangguan hubung singkat adalah suatu analisa untuk menentukan titik lokasi gangguan pada sistem tenaga listrik, dimana dengan cara ini diperoleh nilai besaran-besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut. analisa gangguan hubung singkat diperlukan untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik waktu perencanaan maupun setelah system beroperasi. analisa hubung singkat digunakan untuk menentukan setting relai proteksi yang digunakan untuk melindungi sistem tersebut dari kemungkinan adanya gangguan tersebut. Tujuan dari perhitungan gangguan hubung singkat adalah untuk menghitung arus maksimum dan minimum gangguan, dan tegangan

pada lokasi yang berbeda dari sistem tenaga untuk jenis gangguan yang berbeda sehingga rancangan pengaman, relai dan pemutus yang tepat bisa dipilih untuk melindungi sistem dari kondisi yang tidak normal dalam waktu yang singkat. gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi antara sesama kawat fasa dengan tanah yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan [6].

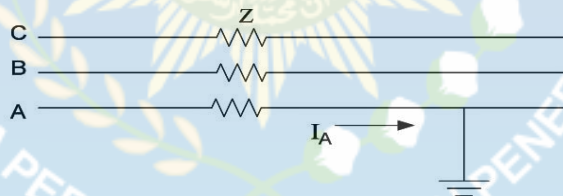
Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah digunakan persamaan [3]:

$$I = \frac{V}{Z} \quad (2.8)$$

Dimana :

$V = 3 \times$ tegangan fasa – netral

$Z =$ impedansi ($Z_1 + Z_2 + Z_0$) ekuivalen



Gambar 2.3. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah
(Sumber: <http://geogle.co.id>)

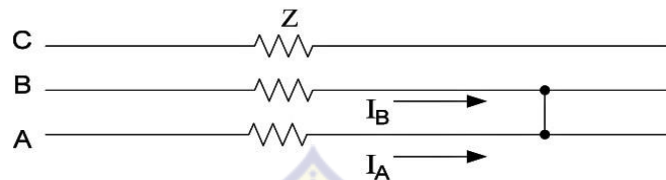
Untuk menghitung arus gangguan dua fasa menggunakan Persamaan [3]:

$$I = \frac{V}{Z} \quad (2.9)$$

Dimana :

V = tegangan fasa – fasa

Z = impedansi ($Z_1 + Z_2$) ekivalen



Gambar 2.4. Gangguan Hubung Singkat Fasa-Fasa
(Sumber: <http://geogle.co.id>)

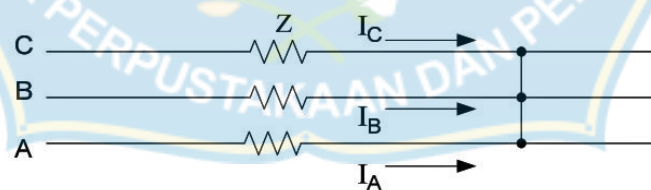
Sedangkan untuk menghitung arus gangguan tiga fasa digunakan persamaan [3]:

$$I = \frac{V}{Z} \quad (2.10)$$

Dimana :

V = tegangan fasa – netral

Z = impedansi Z_1 ekivalen



Gambar 2.5. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa
(Sumber: <http://geogle.co.id>)

F. Kedip Tegangan (Voltage Sag)

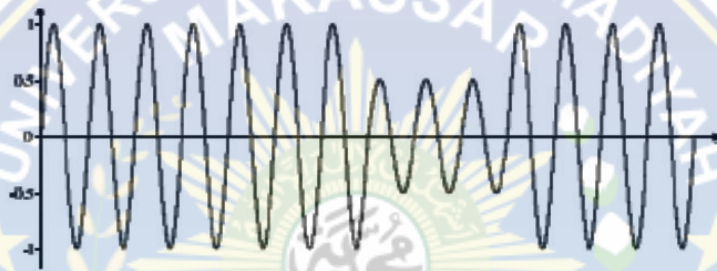
Kedip tegangan adalah penurunan besaran tegangan efektif (rms) atau arus pada frekuensi daya dengan durasi waktu antara 0,5 variasi tegangan, dan pada

akhirnya akan menjadi sumber masalah pada kelangsungan operasional peralatan. Karakteristik beban tak linier pada peralatan elektronik, variasi tegangan transient yang dihasilkan oleh petir, switching dari kapasitor dan tegangan kedip akibat kegagalan sistem seperti gangguan satu fasa ke tanah dan starting motor berkapasitas besar menjadi perhatian dalam hubungannya dengan persoalan kualitas daya listrik. penelitian kualitas daya umumnya meliputi empat bidang, yaitu : aspek dan konsep dasar, monitoring dan pengukuran tegangan kedip, pembuatan model dan analisis, aplikasi teknik dan penyelesaian masalah. Perbaikan kualitas daya sebagian besar dilakukan pada sistem distribusi. Akibat penurunan tegangan, peralatan yang sensitif terhadap perubahan tegangan dapat mengalami gagal operasi [7]

Durasi tegangan kedip dapat dibagi menjadi 3 kategori, yaitu : instantaneous, momentary dan temporary dimana kategori ini sama dengan 3 kategori interruption (pemutusan) dan swells (kenaikan tegangan). pembagian durasi ini sesuai dengan waktu operasi peralatan proteksi sebagaimana pembagian durasi yang direkomendasikan oleh Organisasi Teknik Internasional. tegangan kedip secara umum disebabkan oleh kegagalan sistem daya yang terjadi pada lokasi yang jauh, kegagalan pada salah satu dari feeder paralel, dan starting motor dengan kapasitas besar. kegagalan sistem daya yang sering terjadi berupa gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. kedip tegangan pada sistem yang mengalami gangguan biasanya dengan waktu berkisar 5 sampai 6 cycle, dimana merupakan total waktu untuk mendeteksi gangguan dan CB akan bekerja untuk menghilangkan gangguan. Sedangkan waktu penghilangan gangguan berkisar

antara 3 sampai 30 cycle tergantung magnitude arus gangguan dan jenis peralatan proteksi arus lebih [5].

Z_s adalah impedansi sumber dan Z_F adalah impedansi diantara Point of common coupling (PCC) dengan lokasi terjadinya gangguan. PCC adalah titik dimana gangguan dan beban disupply. perbedaan magnitudo dan pergeseran fasa dapat terjadi saat tegangan kedip berlangsung. kedua besaran itu merupakan bagian dari tegangan kedip [8]. Bentuk gelombang saat terjadi tegangan kedip dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.7. Gelombang terjadinya tegangan kedip
(Sumber: <http://google.co.id>)

Kedip tegangan untuk gangguan 3 Fasa [7]:

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I \cdot Z_{\text{Penyulang}} \quad (2.11)$$

Dimana :

ΔV = Tegangan di Gardu Induk (Volt)

I = Arus Gangguan 3 Fasa (Ampere)

Kedip Tegangan untuk gangguan Fasa-Fasa [12]:

1. Tegangan urutan saat gangguan Fasa-Fasa.

a. Tegangan Urutan Positif.

$$\begin{aligned}
V_{1 \text{ riel}} &= V_{\text{bus}+} - I_{f2\phi} \times Z_{\text{Penyulang}} \cos(\alpha) \\
V_{1 \text{ imj}} &= 0 - I_{f2\phi} \times Z_{\text{Penyulang}} \sin(\alpha) \\
V_1 &= \sqrt{(V_{1\text{rirel}})^2 + (V_{1\text{imj}})^2} \angle \text{arc tan } (V_{1 \text{ imj}} / V_{1 \text{ riel}})
\end{aligned}
\tag{2.12}$$

Dimana :

V_1 = Tegangan urutan positif riel dan imajiner

$V_{\text{bus}+}$ = Tegangan di bus urutan positif = 20 Kv

$I_{f2\phi}$ = Arus Hubung singkat 2 Fasa

$Z_{\text{Penyulang}}$ = Impedansi Penyulang sesuai lokasi gangguan yang dipilih
(Ω)

α = Penjumlahan sudut arus dan impedansi

b. Tegangan Urutan Negatif

$$\begin{aligned}
V_{2 \text{ riel}} &= V_{\text{bus}-} - I_{f2\phi} \times Z_{\text{Penyulang}} \cos(\alpha) \\
V_{2 \text{ imj}} &= V_{\text{bus}-} - I_{f2\phi} \times Z_{\text{Penyulang}} \sin(\alpha) \\
V_2 &= \sqrt{(V_{2\text{rirel}})^2 + (V_{2\text{imj}})^2} \angle \text{arc tan } (V_{2 \text{ imj}} / V_{2 \text{ riel}})
\end{aligned}
\tag{2.13}$$

Dimana :

V_2 = Tegangan urutan positif riel dan imajiner

$V_{\text{bus}-}$ = Tegangan di bus urutan negatif = 0

$I_{f2\phi}$ = Arus Hubung singkat 2 Fasa

$Z_{\text{Penyulang}}$ = Impedansi Penyulang sesuai lokasi gangguan yang dipilih
(Ω)

α = Penjumlahan sudut arus dan impedansi

2. Tegangan tiap fasa saat terjadi gangguan

a. Tegangan Fasa R

$$\begin{aligned} V_{R\ riel} &= V_{1\ riel} + V_{2\ riel} \\ V_{R\ imj} &= V_{1\ imj} + V_{2\ imj} \\ V_R &= \sqrt{(V_{R\ riel})^2 + (V_{R\ imj})^2} \angle \text{arc tan } (V_{R\ imj} / V_{R\ riel}) \end{aligned} \quad (2.14)$$

b. Tegangan Fasa S

$$\begin{aligned} V_{S\ riel} &= V_1 \cos (240 + \beta) + V_2 \cos (120 + \beta) \\ V_{S\ imj} &= V_1 \sin (240 + \beta) + V_2 \sin (120 + \beta) \\ V &= \sqrt{(V_{S\ riel})^2 + (V_{S\ imj})^2} \angle \text{arc tan } (V_{S\ imj} / V_{S\ riel}) \end{aligned} \quad (2.15)$$

c. Tegangan Fasa T

$$\begin{aligned} V_{T\ riel} &= V_1 \cos (120 + \beta) + V_2 \cos (240 + \beta) \\ V_{T\ imj} &= V_1 \sin (120 + \beta) + V_2 \sin (240 + \beta) \\ V &= \sqrt{(V_{T\ riel})^2 + (V_{T\ imj})^2} \angle \text{arc tan } (V_{T\ imj} / V_{T\ riel}) \end{aligned} \quad (2.16)$$

Maka kedip Tegangan akibat gangguan 2 Fasa, Fasa S dan Fasa T adalah :

$$\begin{aligned} V_{S-T} &= \sqrt{(V_{S\ riel})^2 + (V_{T\ riel})^2 + (V_{S\ imj})^2 + (V_{T\ imj})^2} \\ &\angle \text{arc tan } (V_{S\ imj} - V_{T\ imj}) / (V_{S\ riel} - V_{T\ riel}) \end{aligned} \quad (2.17)$$

Kedip Tegangan untuk gangguan 1 Fasa ke tanah [12]:

1. Tegangan Urutan Positif.

$$\begin{aligned} V_{+ \ riel} &= V_{bus+} - (I_{f1\phi} / 3) \times Z_{+ \text{penyulang}} \cos(\alpha) \\ V_{+ \ imj} &= 0 - (I_{f1\phi} / 3) \times Z_{+ \text{penyulang}} \sin(\alpha) \end{aligned} \quad (2.18)$$

Dimana :

V_+ = Tegangan urutan positif (Volt)

V_{bus+} = Tegangan urutan di bus positif = 20 Kv

$I_{f1\phi}$ = Arus Hubung Singkat 1 Fasa Ke tanah (Ampere)

$Z_{Penyulang}$ = Impedansi Penyulang sesuai lokasi gangguan yang dipilih (Ω)

α = Penjumlahan sudut arus dan impedansi.

2. Tegangan Urutan Negatif.

$$\begin{aligned} V_{-ri\ell} &= - (I_{f1\phi} / 3) \times Z_{-penyulang} \cos(\alpha) \\ V_{-imj} &= - (I_{f1\phi} / 3) \times Z_{-penyulang} \sin(\alpha) \end{aligned} \quad (2.19)$$

Dimana :

V_- = Tegangan urutan positif (Volt)

$I_{f1\phi}$ = Arus Hubung Singkat 1 Fasa Ke tanah (Ampere)

$Z_{Penyulang}$ = Impedansi Penyulang sesuai lokasi gangguan yang dipilih (Ω)

α = Penjumlahan sudut arus dan impedansi

3. Tegangan Urutan Nol

$$\begin{aligned} V_{0ri\ell} &= - (I_{f1\phi} / 3) \times Z_{0penyulang} \cos(\alpha) \\ V_{0imj} &= - (I_{f1\phi} / 3) \times Z_{0penyulang} \sin(\alpha) \end{aligned} \quad (2.20)$$

Dimana :

V_0 = Tegangan urutan Nol (Volt)

$I_{f1\phi}$ = Arus Hubung Singkat 1 Fasa Ke tanah (Ampere)

$Z_{0Penyulang}$ = Impedansi Penyulang sesuai lokasi gangguan yang dipilih (Ω)

α = Penjumlahan sudut arus dan impedansi

1. Penyebab Kedip Tegangan

Kedip Tegangan berbeda dengan tegangan jatuh (under voltage). Durasi under voltage lebih dari 1 menit dan dapat dikontrol dengan peralatan regulasi tegangan (voltage regulator). Tegangan kedip dapat disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut, diantaranya:

a. Starting motor berdaya besar

Pada saat melakukan start awal pada motor berdaya besar pada umumnya akan timbul voltage sag. Hal ini dikarenakan motor memiliki pengaruh yang sangat merugikan ketika melakukan start awal, yaitu timbulnya arus beban penuh yang sangat besar nilainya. Arus yang memiliki nilai sangat besar ini akan mengalir melalui impedansi sistem, sehingga menimbulkan dip tegangan yang dapat menyebabkan kedip pada lampu, tidak dapat berfungsinya kontaktor, dan mengganggu peralatan listrik yang sensitif terhadap variasi tegangan.

b. Pembebanan yang besar pada sistem

Ketika sistem diberikan beban yang sangat besar, maka akan mengalir arus yang melebihi arus yang mengalir pada saat sistem diberi beban normal. Karena suplai dan pemasangan kabel pada awalnya diperuntukkan untuk mengalirkan arus pada kondisi normal, maka dengan mengalirnya arus yang sangat besar akan mengakibatkan terjadinya tegangan jatuh antara titik sumber dengan titik pembebanan.

Besarnya nilai dari tegangan jatuh yang diakibatkan oleh voltage sag bergantung kepada besarnya nilai impedansi dari titik pakai bersama (PCC = Point Common Coupling) dan nilai dari impedansi saluran. Voltage sag yang

disebabkan oleh arus starting memiliki karakteristik lebih dalam dan lebih lama durasi waktunya dibandingkan dengan voltage sag yang disebabkan oleh gangguan pada sistem.

c. Gangguan hubung singkat pada sistem distribusi

Pada umumnya lebih dari 70 % kedip tegangan terjadi karena gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah yang terjadi disuatu titik pada sistem. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah ini dapat menyebabkan terjadinya kedip tegangan pada penyulang yang lain dari gardu induk yang sama. pada umumnya gangguan tersebut terjadi akibat sambaran petir, cabang pohon yang menyentuh saluran SUTM, dan kontak dari hewan seperti burung. dan untuk kedip tegangan yang terjadi karena gangguan hubung singkat dua fasa dapat disebabkan oleh cabang pohon yang menyentuh saluran SUTM, cuaca yang kurang baik, dan bentuk hewan pada saluran SUTM.

Sedangkan untuk kedip tegangan yang terjadi karena gangguan hubung singkat tiga fasa terjadi dikarenakan adanya peristiwa switching atau tripping dari circuit breaker (PMT) tiga fasa, peristiwa tersebut akan menyebabkan terjadinya kedip tegangan pada penyulang yang lain dari gardu induk yang sama.

Perubahan beban besar secara mendadak atau pengasutan motor (motor starting) juga dapat menyebabkan kedip tegangan [6][5].

2. Akibat Gangguan kedip Tegangan

Kedip Tegangan berpengaruh besar pada konsumen dengan beban listrik terutama pada peralatan elektronik yang sensitif terhadap perubahan tegangan. jika terjadi pada saluran transmisi atau distribusi primer akan berpengaruh pada

konsumen yang meliputi sektor : residential (perumahan), komersial dan industrial. Tegangan kedip ini dapat mempengaruhi operasi beban listrik sebelum CB bekerja untuk memadamkan gangguan. dalam hal saluran yang dilengkapi dengan recloser, maka dapat terjadi beberapa kali kedip tegangan sesuai waktu setting. Sedangkan durasi waktu kedip tegangan yang disebabkan oleh pengasutan motor kapasitas besar biasanya lebih lama, tetapi amplitudo tegangan kedip tidak terlalu besar. kedip tegangan yang disebabkan oleh pengasutan motor kapasitas besar tidak cukup berpengaruh untuk menyebabkan peralatan listrik gagal operasi. Akibat dari kedip tegangan oleh karena gangguan hubung singkat adalah sebagai berikut:

- a. Komputer dan jenis lain dari kontrol elektronik dapat kehilangan memori dan proses yang dikontrol menjadi kacau, untuk restart membutuhkan waktu yang lama. Jika tegangan kedip mencapai kurang dari 50 %.
- b. Pada industri, proses akan berhenti untuk kedip tegangan sampai dengan 65 % dan penerangan seperti lampu akan berkedip [2].

Karakteristik operasi beberapa peralatan listrik terhadap variasi tegangan adalah sebagai berikut:

- a. Rangkaian relai dan kontaktor akan trip pada tegangan dibawah 70 % tegangan nominal untuk waktu yang cepat.
- b. Lampu flourescent dan lampu discharge intensitas tinggi (HID) akan padam pada tegangan dibawah 80 % dalam waktu beberapa cycle, sedangkan waktu penyalaan kembali memerlukan waktu yang cukup lama terutama lampu HID.

- c. PLC akan trip pada tegangan kurang dari 90 % untuk waktu kurang dari 50 detik.
- d. Pada pemrosesan data atau komputer, data akan langsung hilang bila tegangan dibawah 50 % untuk waktu beberapa cycle [1].



BAB III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu : April 2019 hingga Juni 2019

Tempat : PT PLN (Persero) Wilayah SULSEL, SULTRA, & SULBAR
Jln. SERUI No. 5A

B. Data (Parameter) dan Variabel Penelitian

1. Data (Parameter)

Nilai dari kedip tegangan (voltage sags) harus diperhatikan agar tidak mempengaruhi kerja dari peralatan-peralatan elektronik ataupun peralatan-peralatan kontrol lainnya.

Tabel 3.1 Tipikal rentang kualitas daya input dan parameter beban

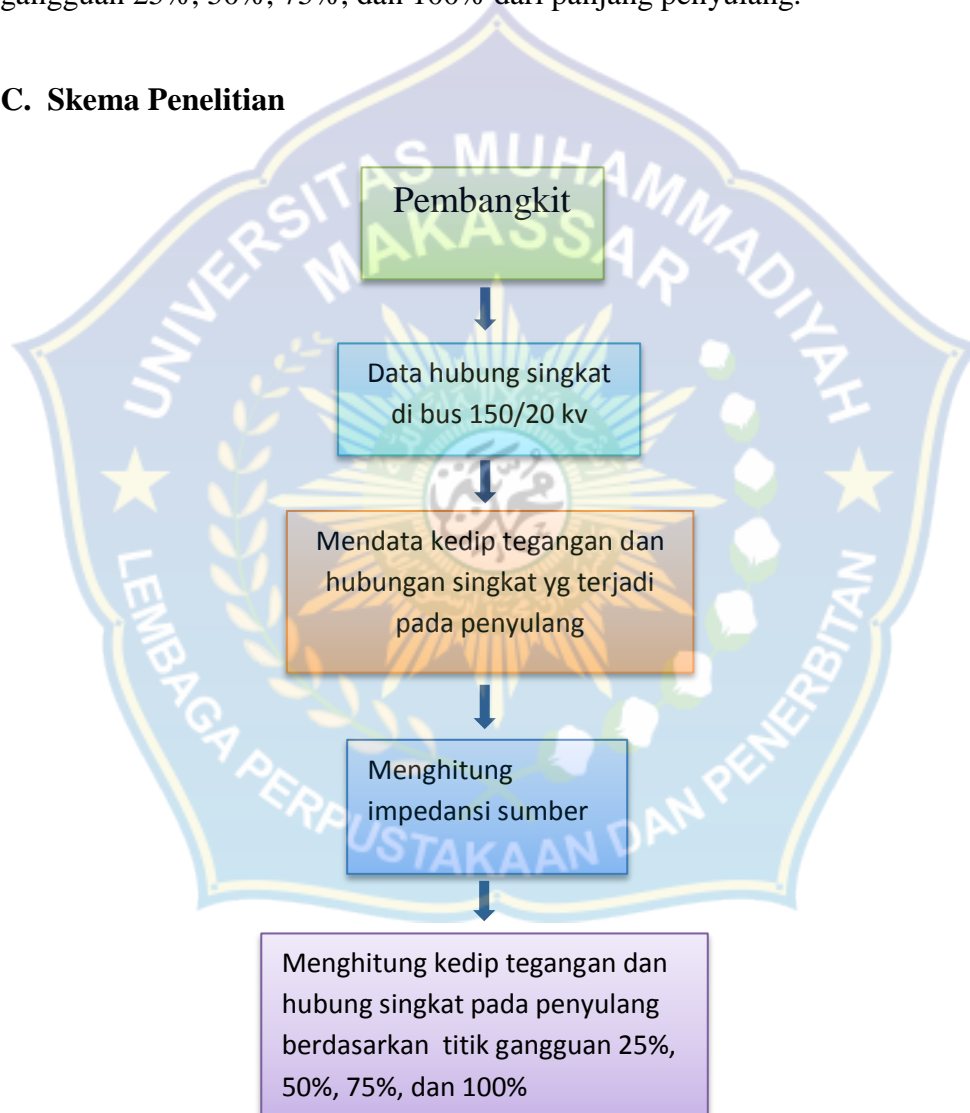
Parameter	Rentang
Batasan tegangan (<i>steady state</i>)	+6 %, -13 %
Gangguan tegangan	Surge +15 % - maks 0,5 s
	Sag -18 % - maks 0,5 detik
	Transient overvoltage 150-200 % - 0,2 s
Harmonik	Maks 5% (peralatan beroperasi)
Kompatibilitas elektromagnetik	Maks 1 V/m
Batasan frekuensi	60 Hz + 0,5
Perubahan frekuensi	1 Hz/s
Tegangan tiga-fasa takimbang	2,5 %
Beban tiga-fasa takimbang	5 – 20 %
Faktor daya	0,8 – 0,9
<i>Load demand</i>	0,75 – 0,85 (dari beban tersambung)

Sumber : IEEE std 446-1995, *IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power System for Industrial and Commercial Application*.

2. Variabel Penelitian

Variabel yang diteliti pada penelitian ini adalah Hubung singkat yang sering terjadi pada penyulang hubung singkat 1 fasa ke tanah, 2 fasa, dan 3 fasa serta Kedip tegangan yang terjadi pada penyulang dihitung berdasarkan titik gangguan 25%, 50%, 75%, dan 100% dari panjang penyulang.

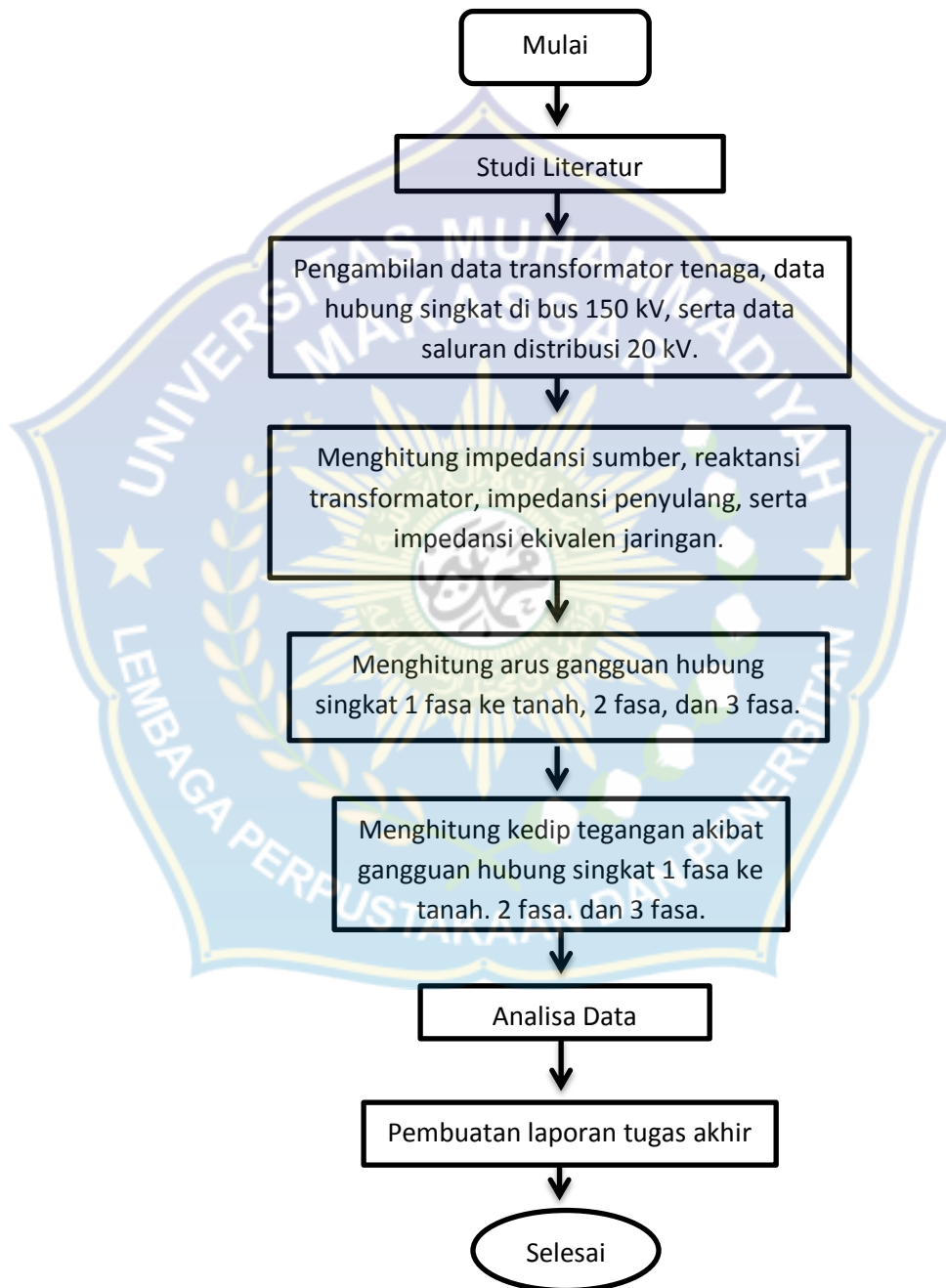
C. Skema Penelitian



Gambar: Skema penelitian
(Sumber: Penulis, 2019)

D. Langkah Penelitian

Secara garis besar tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Gambar berikut :



Gambar: Langkah penelitian
(Sumber: Penulis, 2019)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sistem Distribusi 20 KV Gardu Induk Panakkukang

Sistem distribusi yang akan dianalisis adalah gangguan hubung singkat pada saluran distribusi 20 KV Gardu Induk Panakkukang. pada sistem distribusi Gardu Induk Panakkukang ada 1 buah trafo distribusi, trafo tersebut berkapasitas 30 MVA. pada pembahasan ini trafo yang akan dibahas adalah trafo yang melayani penyulang jln. Sultan Alauddin.

B. Perhitungan Impedansi Sumber

Data hubung singkat di bus sisi primer 150 kV di gardu induk Panakkukang adalah sebesar 500 MVA, dari persamaan 2.1 maka impedansi sumber (X_s) adalah :

$$X_s = \frac{KV^2}{MVA}$$

$$X_s = \frac{150^2}{500}$$

$$X_s = 45 \text{ Ohm (sisi primer)}$$

Dari persamaan 2.2 untuk menghitung impedansi sumber di sisi sekunder yaitu di sisi 20 KV maka :

$$X_{S(sisi\ 20\ kV)} = \frac{kV (sisi\ sekunder\ trafo)^2}{kV (sisi\ sekunder\ trafo)^2} \times X_s (sisi\ primer)$$

$$X_{S(sisi\ 20\ kV)} = \frac{20^2}{150^2} \times 45 = 0,8 \text{ Ohm (sisi sekunder)}$$

C. Perhitungan Reaktansi Transformator

Besarnya reaktansi trafo tenaga di gardu induk Sukamerindu adalah 12,50 %, agar dapat mengetahui besarnya nilai reaktansi urutan positif, negatif dan reaktansi urutan nol dalam ohm, maka perlu dihitung dulu besar nilai ohm pada 100% nya yaitu :

$$X_t(\text{pada } 100\%) = \frac{20^2}{30} \times 13,33 \text{ Ohm}$$

Nilai reaktansi trafo tenaga :

- Reaktansi urutan positif, negatif ($X_{t1} = X_{t2}$)

$$X_t = 12,50 \% \times 13,33 \Omega$$

$$X_t = 1,66 \Omega \text{ (untuk urutan positif dan negatif)}$$

- Reaktansi urutan Nol (X_{t0})

$$X_{t0} = 3 \times X_t$$

$$X_{t0} = 3 \times 1,66 = 4,98 \text{ Ohm}$$

D. Perhitungan Impedansi Penyulang

Perhitungan impedansi pada saluran distribusi sesuai dengan panjang saluran distribusi. Impedansi saluran distribusi antara lain terdiri dari impedansi urutan positif, impedansi urutan negatif, dan impedansi urutan nol. Dengan menggunakan persamaan 2.4, 2.5, dapat dihitung untuk penyulang Jln. Sultan Alauddin sebagai berikut.

$$\text{Impedansi Penyulang} = \text{panjang penyulang} \times Z/\text{Km}$$

Simulasi lokasi gangguan terdiri dari :

25%, 50%, 75%, 100% \times panjang penyulang.

Impedansi urutan positif, Impedansi urutan negatif = $(0.00 + j1.67) \Omega/\text{Km}$

Impedansi urutan nol = $(120.00 + j4.5) \Omega/\text{Km}$

Panjang penyulang = 11,06 Km

jadi perhitungan impedansi pada saluran distribusi untuk urutan positif dan urutan negatif dapat dihitung :

$$25 \% = 0.25 \times 11.06 \text{ Km} \times (0.00 + j1.67) \Omega/\text{Km} = (2.76 + j4.61) \Omega$$

$$50 \% = 0.50 \times 11.06 \text{ Km} \times (0.00 + j1.67) \Omega/\text{Km} = (5,53 + j9.23) \Omega$$

$$75 \% = 0.75 \times 11.06 \text{ Km} \times (0.00 + j1.67) \Omega/\text{Km} = (8.23 + j13.85) \Omega$$

$$100 \% = 1.00 \times 11.06 \text{ Km} \times (0.00 + j1.67) \Omega/\text{Km} = (1.106 + j18.47) \Omega$$

Dengan demikian nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan dengan jarak 25%,50%,75%, dan 100% panjang penyulang sebagai berikut :

Tabel 4.1 Impedansi penyulang urutan positif & negatif

(% Panjang)	Impedansi penyulang (Z_1 & Z_2)
25	$(2.76 + j4.61) \Omega$
50	$(5,53 + j9.23) \Omega$
75	$(8.23 + j13.85) \Omega$
100	$(1.106 + j18.47) \Omega$

Sedangkan perhitungan untuk impedansi urutan nol adalah :

$$25 \% = 0.25 \times 11.06 \text{ Km} \times (120.00 + j4.5) \Omega/\text{Km} = (331.8 + j12.44) \Omega$$

$$50 \% = 0.50 \times 11.06 \text{ Km} \times (120.00 + j4.5) \Omega/\text{Km} = (663.6 + j24.88) \Omega$$

$$75 \% = 0.75 \times 11.06 \text{ Km} \times (120.00 + j4.5) \Omega/\text{Km} = (995.5 + j37.32) \Omega$$

$$100 \% = 1.00 \times 11.06 \text{ Km} \times (120.00 + j4.5) \Omega/\text{Km} = (1327.2 + j49.77) \Omega$$

Tabel 4.2 Impedansi penyulang urutan nol

(% Panjang)	Impedansi penyulang (Z_0)
25	$(331.8 + j12.44) \Omega$
50	$(663.6 + j24.88) \Omega$
75	$(995.5 + j37.32) \Omega$
100	$(1327.2 + j49.77) \Omega$

E. Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan

Dengan menggunakan persamaan 2.7 maka didapat impedansi ekuivalen, $Z_{1 \text{ eki}}$ dan $Z_{2 \text{ eki}}$ dan langsung dapat dihitung sesuai dengan titik lokasi gangguan dengan menjumlahkan $Z_S + Z_T + Z_L$

$$\begin{aligned} Z_{1 \text{ eki}} = Z_{2 \text{ eki}} &= Z_{s1} + Z_{t1} + Z_{1 \text{ penyulang}} \\ &= j0.8 + j1.66 + Z_{1 \text{ penyulang}} \\ &= j2.46 + Z_{1 \text{ penyulang}} \end{aligned}$$

$$25\% \quad j2.46 + (2.76 + j4.61) \Omega = (2.67 + j7.07) \Omega$$

$$50\% \quad j2.46 + (5.53 + j9.23) \Omega = (5.53 + j11.69) \Omega$$

$$75\% \quad j2.46 + (8.23 + j13.85) \Omega = (8.23 + j16.31) \Omega$$

$$100\% \quad j2.46 + (1.106 + j18.47) \Omega = (1.106 + j20.93) \Omega$$

Tabel 4.3 Impedansi $Z_{1\text{ eki}}$ & $Z_{2\text{ eki}}$

(% Panjang)	Impedansi $Z_{1\text{ eki}}$ & $Z_{2\text{ eki}}$
25	$(2.67 + j7.07) \Omega$
50	$(5.53 + j11.69) \Omega$
75	$(8.23 + j16.31) \Omega$
100	$(1.106 + j20.93) \Omega$

Sedangkan untuk perhitungan $Z_{0\text{ eki}}$ berdasarkan pada sistem pentanahan netral sistem pasokan dari Gardu Induk.

Pentanahan tahanan 20 KV = 40 Ω

Z_0 dihitung mulai dari trafo yang diketanahkan, tahanan netral nilai 3 R_N dan impedansi penyulang, dari persamaan 2.8 dapat dihitung untuk $Z_{0\text{ eki}}$:

$$Z_{0\text{ penyulang}} = \% \text{ panjang} \times Z_{0\text{ total}}$$

$$Z_{0\text{ eki}} = Z_{t0} + 3 R_N + Z_{0\text{ penyulang}}$$

$$= j4,98 + 3 \times 40 + Z_{0\text{ penyulang}}$$

$$Z_{0\text{ eki}} = j4,98 + 120 + Z_{0\text{ penyulang}}$$

$$25\% \quad j4,98 + 120 + (331.8 + j12.44) \Omega = (451.8 + j17.42) \Omega$$

$$50\% \quad j4,98 + 120 + (663.6 + j24.88) \Omega = (783.6 + j29.86) \Omega$$

$$75\% \quad j4,98 + 120 + (995.5 + j37.32) \Omega = (1115.5 + j42.3) \Omega$$

$$100\% \quad j4,98 + 120 + (1327.2 + j49.77) \Omega = (1447.2 + j54.75) \Omega$$

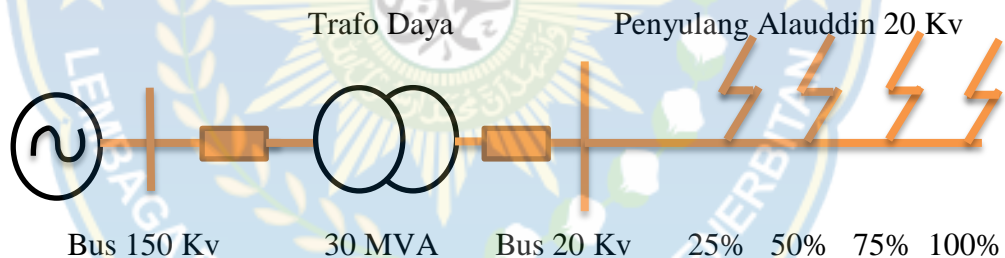
Tabel 4.4 Impedansi Ekiivalen $Z_{0\text{ eki}}$

(% Panjang)	Impedansi $Z_{0\text{ eki}}$
25	$(451.8 + j17.42) \Omega$
50	$(783.6 + j29.86) \Omega$
75	$(1115.5 + j42.3) \Omega$
100	$(1447.2 + j54.75) \Omega$

F. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

1. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke tanah.

Kemungkinan terjadinya gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah adalah karena adanya hubung singkat antar tiang kesalah satu kawat transmisi dan distribusi. Sesaat setelah tiang tersambar petir yang besar walaupun tahanan kaki tiangnya cukup rendah namun bisa juga karena gangguan fasa ke tanah ini terjadi sewaktu salah satu kawat fasa transmisi atau distribusi tersentuh pohon yang cukup tinggi, dll. Perhitungan gangguan hubung singkat ini dapat dihitung berdasarkan panjang penyulang, titik gangguan dihitung mulai dari 25%, 50%, 75%, 100% panjang penyulang, seperti terlihat pada gambar 4.1 dibawah ini :



Gambar 4.1 penyulang Alauddin
(Sumber: Penulis, 2019)

Berdasarkan persamaan 2.9 untuk gangguan 1 fasa ke tanah dapat dihitung :

$$I = \frac{V}{Z}$$

Dimana :

$$V = 3 \times \text{tegangan fasa - netral}$$

$$Z = \text{impedansi } (Z_1 + Z_2 + Z_0)_{\text{ekivalen}}$$

Jadi untuk perhitungan gangguan 1 fasa ke tanah untuk titik gangguan panjang penyulang 25% sebagai berikut :

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(2.67 + j7.07) + (2.67 + j7.07) + (451.8 + j17.42)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(5.34 + j14.14) + (451.8 + j17.42)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{457.14 + j131.56} = \frac{34641.01}{457.6 \angle 16.1} = 75.7 \angle 16.1 \text{ Ampere}$$

titik gangguan panjang penyulang 50% :

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(5.53 + j11.69) + (5.53 + j11.69) + (783.6 + j29.86)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(11.06 + j23.38) + (783.6 + j29.86)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{794.66 + j53.24} = \frac{34641.01}{751.5 \angle 3.8} = 46.09 \angle 3.8 \text{ Ampere}$$

titik gangguan panjang penyulang 75% :

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(8.23 + j16.31) + (8.23 + j16.31) + (1115.5 + j42.3)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(16.46 + j32.62) + (1115.5 + j42.3)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{1131.96 + j74.92} = \frac{34641.01}{1134.4 \angle 3.8} = 30.5 \angle 3.8 \text{ Ampere}$$

titik gangguan panjang penyulang 100% :

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(1.106 + j20.93) + (1.106 + j20.93) + (1447.2 + j54.75)}$$

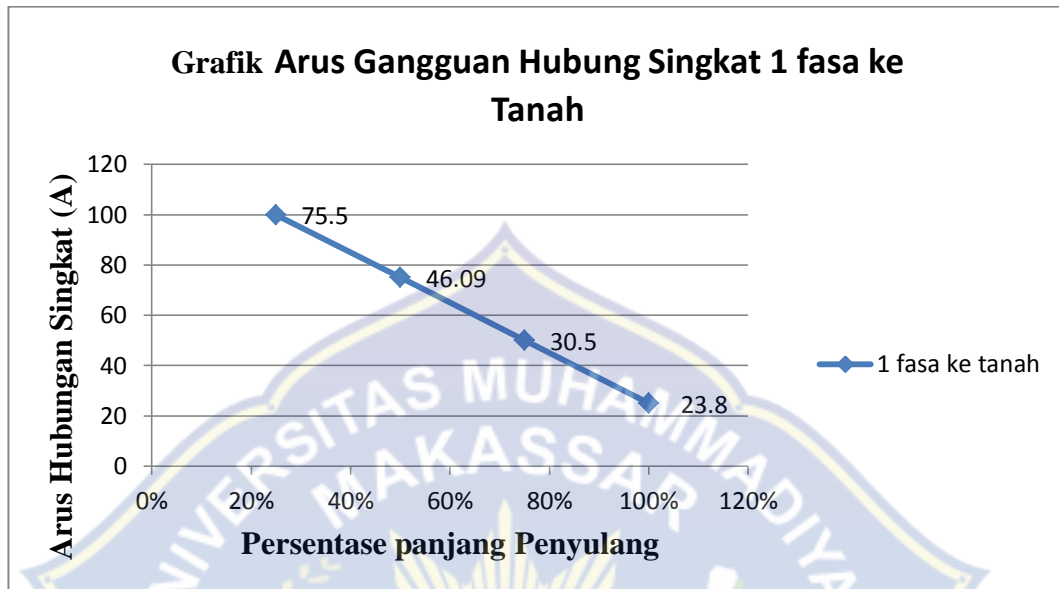
$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(2.166 + j41.86) + (1447.2 + j54.75)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(1449.3 + j96.61)} = \frac{34641.01}{1452.5 \angle 3.8} = 23.8 \angle 3.8 \text{ Ampere}$$

Tabel 4.5 Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke tanah

(% Panjang penyulang)	Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke tanah
25%	75.7 \angle 16.1 Ampere
50%	46.09 \angle 3.8 Ampere
75%	30.5 \angle 3.8 Ampere
100%	23.8 \angle 3.8 Ampere

Dari Tabel 4.5 dapat digambarkan grafik untuk gangguan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik Arus Gangguan Hubung Singkat 1 fasa ke tanah

Jadi kesimpulan dari grafik gambar 4.2 diatas tersebut ialah semakin panjang persentase penyulang maka semakin rendah angka arus hubung singkat yang terjadi seperti pada panjang penyulang 20% angka hubung singkatnya ialah 75.5 Ampere dan pada saat masuk pada panjang penyulang 100% angka arus hubung singkatnya ialah 23.8 Ampere, hubung singkat yang terjadi semakin rendah.

2. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa – Fasa

Kemungkinan terjadinya gangguan hubung singkat fasa-fasa disebabkan oleh putusnya kawat fasa tengah pada transmisi atau distribusi. Kemungkinan lainnya adalah dari rusaknya isolator di transmisi atau distribusi sekaligus fasafasa. Berdasarkan persamaan 2.10 untuk gangguan fasa-fasa dapat dihitung :

$$I = \frac{V}{Z}$$

Dimana :

V = tegangan fasa – fasa

Z = impedansi ($Z_1 + Z_2$)_{ekivalen}

Jadi untuk perhitungan gangguan fasa - fasa titik gangguan panjang penyulang 25% sebagai berikut :

$$I = \frac{20000}{(2.67 + j7.07) + (2.67 + j7.07)}$$

$$I = \frac{20000}{5.34 + j14.14} = \frac{20000}{15.11 \angle 69.3} = 1323.6 \angle 69.3 \text{ Ampere}$$

titik gangguan panjang penyulang 50% :

$$I = \frac{20000}{(5.53 + j11.69) + (5.53 + j11.69)}$$

$$I = \frac{20000}{11.06 + j23.38} = \frac{20000}{25.86 \angle 64.7} = 773.4 \angle 64.7 \text{ Ampere}$$

titik gangguan panjang penyulang 75% :

$$I = \frac{20000}{(8.23 + j16.31) + (8.23 + j16.31)}$$

$$I = \frac{20000}{16.46 + j32.62} = \frac{20000}{36.5 \angle 63.2} = 547.5 \angle 63.2 \text{ Ampere}$$

titik gangguan panjang penyulang 100% :

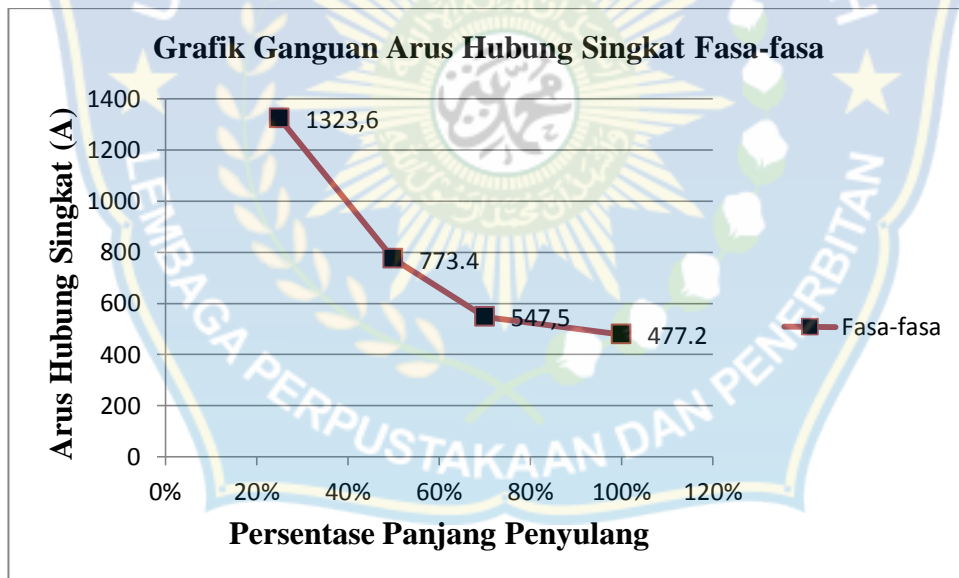
$$I = \frac{20000}{(1.106 + j20.93) + (1.106 + j20.93)}$$

$$I = \frac{20000}{2.212 + j41.86} = \frac{20000}{41.91 \angle 88.7} = 477.2 \angle 88.7 \text{ Ampere}$$

Tabel 4.6 Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa-Fasa

(% Panjang penyulang)	Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa-Fasa
25%	1323.6 \angle 69.3 Ampere
50%	773.4 \angle 64.7 Ampere
75%	547.5 \angle 63.2 Ampere
100%	477.2 \angle 88.7 Ampere

Dari Tabel 4.6 dapat digambarkan grafik untuk gangguan arus hubung singkat fasa-fasa, seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Grafik Gangguan Hubung Singkat Fasa-Fasa

Jadi kesimpulan dari grafik gambar 4.3 diatas tersebut ialah semakin panjang persentase penyulang maka semakin rendah angka arus hubung singkat yang terjadi seperti pada panjang penyulang 20% angka arus hubung singkatnya ialah 1323.6 Ampere dan pada saat masuk pada panjang penyulang 100% angka

hubung singkatnya ialah 477.2 Ampere, hubung singkat yang terjadi semakin rendah.

3. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Berdasarkan persamaan 2.11 untuk gangguan 3 fasa dapat dihitung :

$$I = \frac{V}{Z}$$

Dimana :

V = tegangan fasa – netral

Z = impedansi $Z_{1ekivalen}$

Jadi untuk perhitungan gangguan 3 fasa titik gangguan panjang penyulang 25% sebagai berikut :

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{2.67 + j7.07} = \frac{11547}{7.56 \angle 69.3} = 1527.3 \angle 69.3 \text{ Ampere}$$

titik gangguan panjang penyulang 50% :

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{5.53 + j11.69} = \frac{11547}{12.93 \angle 64.7} = 893.04 \angle 64.7 \text{ Ampere}$$

titik gangguan panjang penyulang 75% :

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{8.23 + j16.31} = \frac{11547}{18.2 \angle 63.2} = 632.4 \angle 63.2 \text{ Ampere}$$

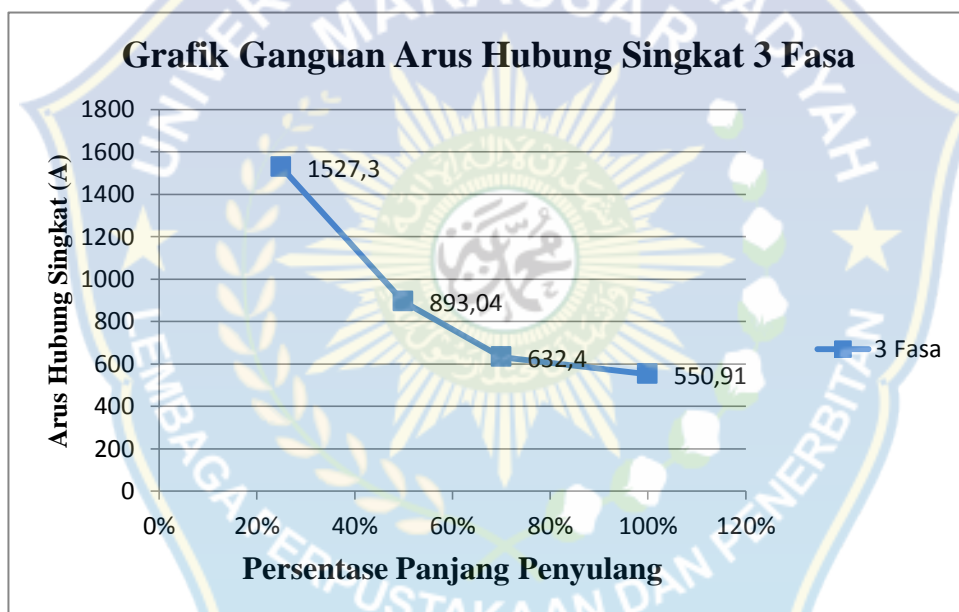
titik gangguan panjang penyulang 100% :

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{1.106 + j20.93} = \frac{11547}{20.96 \angle 87} = 550.91 \angle 87 \text{ Ampere}$$

Tabel 4.7 Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

(% Panjang penyulang)	Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa
25%	1527.3 \angle 69.3 Ampere
50%	893.04 \angle 64.7 Ampere
75%	632.4 \angle 63.2 Ampere
100%	550.91 \angle 87 Ampere

Dari Tabel 4.7 dapat digambarkan grafik untuk gangguan arus hubung singkat 3 fasa, seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Gangguan Arus Hubung Singkat 3 Fasa

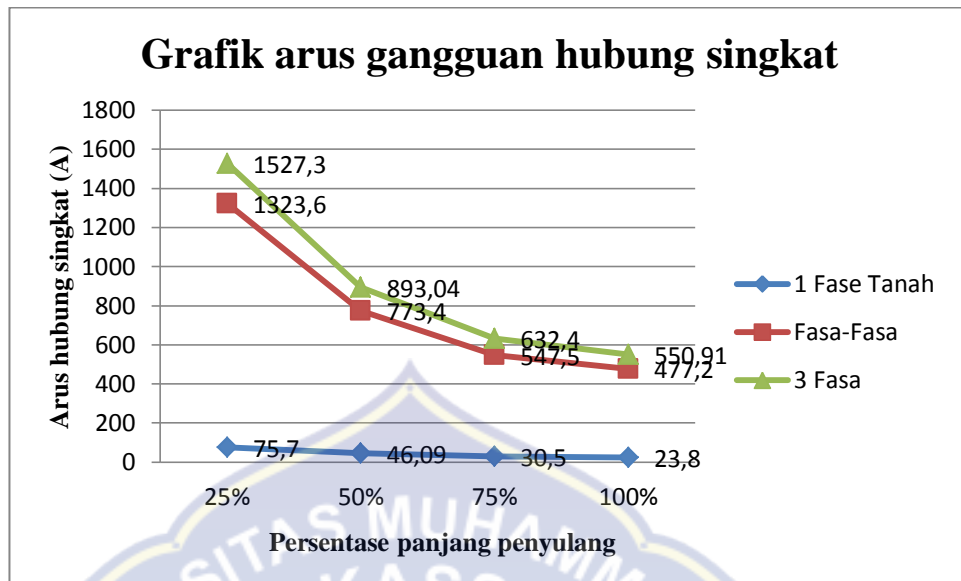
Jadi kesimpulan dari grafik gambar 4.4 diatas tersebut ialah semakin panjang persentase penyulang maka semakin rendah angka hubung singkat yang terjadi seperti pada panjang penyulang 20% angka arus hubung singkatnya ialah 1527.3 Ampere dan pada saat masuk pada panjang penyulang 100% angka arus hubung singkatnya ialah 550.91 Ampere, hubung singkat yang terjadi semakin rendah.

Dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat ini (1 fasa ke tanah, fasa-fasa dan 3 fasa) maka dapat dibuat suatu perbandingan besarnya arus gangguan terhadap titik gangguan (lokasi gangguan pada penyulang yang dinyatakan dalam %) seperti pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat

Panjang Penyulang (%)	Jarak (Km)	Arus Hubung Singkat (A)		
		1 Fasa ke tanah	Fasa-fasa	3 Fasa
25	2.67	75.7 \angle 16.1	1323.6 \angle 69.3	1527.3 \angle 69.3
50	5.53	46.09 \angle 3.8	773.4 \angle 64.7	893.04 \angle 64.7
75	8.23	30.5 \angle 3.8	547.5 \angle 63.2	632.4 \angle 63.2
100	1.106	23.8 \angle 3.8	477.2 \angle 88.7	550.91 \angle 87

Dari Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak titik gangguannya, semakin jauh jarak titik gangguan maka akan semakin kecil gangguan arus hubung singkatnya begitu juga sebaliknya, semakin dekat jarak titik gangguan maka arus gangguan hubung singkat semakin besar. ini disebabkan karena semakin besar nilai impedansi ekuivalen (tahanan gangguan) maka nilai arus gangguan hubung singkat akan semakin kecil, dan semakin dekat jarak titik lokasi gangguan maka arus gangguan hubung singkat akan semakin besar, ini disebabkan karena adanya konfigurasi belitan transformator tenaga yang mempengaruhi nilai tahanan gangguan. Dari Tabel 4.8 dapat digambarkan grafik perbandingan antara arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, arus gangguan hubung singkat fasa-fasa, dan arus gangguan hubung singkat 3 fasa seperti pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan antara arus gangguan hubung singkat

Jadi kesimpulan dari grafik gambar 4.5 diatas tersebut ialah semakin panjang persentase penyulang maka semakin rendah angka hubung singkat yang terjadi dan dilihat dari gambar diatas tersebut 1 fasa ke tanah arus hubung singkat yang terjadi lebih rendah dibanding dengan fasa-fasa dan 3 fasa seperti pada panjang penyulang 20% yang 1 fasa ke tanah angka hubung singkatnya ialah 75.5 Ampere sedangkan pada panjang penyulang 100% yang 3 fasa angka arus hubung singkatnya ialah 1527,3 Ampere.

G. Perhitungan Kedip Tegangan

1. Perhitungan Kedip Tegangan Untuk Gangguan 3 Fasa

Setelah didapatkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang terjadi di penyulang dengan titik gangguan 25%, 50%, 75% dan 100% maka kedip tegangan untuk gangguan 3 fasa dapat dihitung.

- Jika diperoleh $I_{f3\phi}$ titik gangguan 25% = $1527.3 \times \sqrt{3}$

$$Z = R + jX = (2.67 + j7.07) \Omega$$

Maka perhitungan kedip tegangan dititik gangguan 25% adalah :

$$V = \sqrt{(25\% \times 2.67)^2 + (25\% \times 7.07)^2} \times 1527.3 \times \sqrt{3} = 4997.9 \text{ Volt}$$

- Jika diperoleh $I_{f3\phi}$ titik gangguan 50% = $893.04 \times \sqrt{3}$

$$Z = R + jX = (5.53 + j11.69) \Omega$$

Maka perhitungan kedip tegangan dititik gangguan 50% adalah :

$$V = \sqrt{(50\% \times 5.53)^2 + (50\% \times 11.69)^2} \times 893.04 \times \sqrt{3} = 10000.001 \text{ Volt}$$

- Jika diperoleh $I_{f3\phi}$ titik gangguan 75% = $632.4 \times \sqrt{3}$

$$Z = R + jX = (8.23 + j16.31) \Omega$$

Maka perhitungan kedip tegangan dititik gangguan 75% adalah :

$$V = \sqrt{(75\% \times 8.23)^2 + (75\% \times 16.31)^2} \times 632.4 \times \sqrt{3} = 15007.7 \text{ Volt}$$

- Jika diperoleh $I_{f3\phi}$ titik gangguan 100% = $550.91 \times \sqrt{3}$

$$Z = R + jX = (1.106 + j20.93) \Omega$$

Maka perhitungan kedip tegangan dititik gangguan 100% adalah :

$$V = \sqrt{(100\% \times 1.106)^2 + (100\% \times 20.93)^2} \times 550.91 \times \sqrt{3} = 20000.03 \text{ Volt}$$

2. Perhitungan Kedip Tegangan Untuk Gangguan Fasa-Fasa

Jika diperoleh $I_{f2\phi}$ titik gangguan 25% = $1323.6 \angle 69.3$ Ampere

$$Z = R + jX = (2.67 + j7.07) \Omega$$

$$= 57.11 \angle 69.3$$

1. Tegangan urutan positif pada saat terjadi gangguan 2 fasa

$$V_{1\text{riel}} = \left(\frac{20000}{\sqrt{3}} \right) - [(1323.6 \times 25\% \times 57.11 \times \cos(69.3 + 69.3))$$

$$= 174569459.8 \text{ Volt}$$

$$V_{1\text{imj}} = 0 - (1323.6 \times 57.11 \times 25\% \times \sin(69.3 + 69.3))$$

$$= -13228.3 \text{ Volt}$$

$$V_1 = \sqrt{(174569459.8)^2 + (-13228.3)^2} \angle \arctan(-13228.3 / 174569459.8)$$

$$= 3.0474 \angle -4.3^\circ \text{ Volt}$$

2. Tegangan urutan negatif pada saat terjadi gangguan 2 fasa

$$V_{2\text{riel}} = \left(\frac{20000}{\sqrt{3}} \right) - [(1323.6 \times 25\% \times 57.11 \times \cos(69.3 - 69.3))$$

$$= 174569459.8 \text{ Volt}$$

$$V_{2\text{imj}} = \left(\frac{20000}{\sqrt{3}} \right) - [(1323.6 \times 25\% \times 57.11 \times \sin(69.3 - 69.3))$$

$$= 9297.37 \text{ Volt}$$

$$V_2 = \sqrt{(174569459.8)^2 + (9297.37)^2} \angle \arctan(9297.37 / 174569459.8)$$

$$= 1.745 \angle 3^\circ \text{ Volt}$$

Jadi tegangan tiap-tiap fasa pada saat terjadi gangguan :

1. Fasa R

$$V_R = (V_{1\text{riel}} + V_{2\text{riel}}) + j(V_{1\text{imj}} + V_{2\text{imj}})$$

$$= (174569459.8 + 9297.37) + j(-13228.3 + 9297.37)$$

$$= 174578757.17 + j-3930.93$$

$$= 1.745 \angle 1.3 \text{ Volt}$$

2. Fasa S

$$V_S = [(V_1 \cos(240^\circ + -4.3^\circ) + V_2 \cos(120^\circ + 3^\circ)] +$$

$$j[(V_1 \sin(240^\circ + -4.3^\circ) + V_2 \sin(120^\circ + 3^\circ)]$$

$$= [(3.0474 \cos(240^\circ + -4.3^\circ) + 1.745 \cos(120^\circ + 3^\circ)] +$$

$$\begin{aligned}
& j[(3.0474 \sin(240^\circ + -4.3^\circ) + 1.745 \sin(120^\circ + 3^\circ)] \\
& = -56247.8 + j44998.2 \\
& = -33789.3 \angle 38.7^\circ \text{ Volt}
\end{aligned}$$

2. Fasa T

$$\begin{aligned}
V_T &= [(V_1 \cos(120^\circ + -4.3^\circ) + V_2 \cos(240^\circ + 3^\circ)] + \\
& j[(V_1 \sin(120^\circ + -4.3^\circ) + V_2 \sin(240^\circ + 3^\circ)] \\
& = [(3.0474 \cos(120^\circ + -4.3^\circ) + 1.745 \cos(240^\circ + 3^\circ)] + \\
& j[(3.0474 \sin(120^\circ + -4.3^\circ) + 1.745 \sin(240^\circ + 3^\circ)] \\
& = -15237 + j174.5 \\
& = -15236 \angle -0.7 \text{ Volt}
\end{aligned}$$

Jadi kedip tegangan untuk gangguan 2 fasa S dan T adalah :

$$\begin{aligned}
V_{2\text{Fasa}} &= \sqrt{(V_{S\text{riel}} - V_{T\text{riel}})^2 + (V_{S\text{imj}} - V_{T\text{imj}})^2} \\
& \angle \arctan (V_{S\text{imj}} - V_{T\text{imj}}) / (V_{S\text{riel}} - V_{T\text{riel}}) \\
& = \sqrt{(-56247.8 - -15237)^2 + (44998.2 - 174.5)^2} \\
& \angle \arctan (44998.2 - 174.5) / (-56247.8 - -15237) \\
& = \angle \arctan 43235.2 / -41010.8 \\
& = -10.779 \angle -46.5 \text{ Volt}
\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapat kedip tegangan untuk gangguan 2 fasa S dan T pada masing-masing lokasi titik gangguan 25%, 50%, 75%, dan 100% sebagai berikut :

Tabel 4.9 kedip tegangan untuk gangguan 2 fasa S dan T

Lokasi Gangguan (%)	Kedip Tegangan(V)	Sudut
25%	-10.779	$\angle -46.5$
50%	893.3	$\angle 77.2$
75%	9355.5	$\angle 0.01$
100%	-3.125	$\angle 90$

3. Perhitungan Kedip Tegangan Untuk Gangguan 1 Fasa ke tanah

Jika diperoleh $I_{f1\phi}$ titik gangguan 25% = $75.7 \angle 16.1$ Ampere

$$Z = R + jX = (2.67 + j7.07) \Omega$$

$$= 7.56 \angle 69.3$$

$$Z_0 = R + jX = (451.8 + j54.75) \Omega$$

$$= 455.1 \angle 6.9$$

1. Tegangan urutan positif pada saat terjadi gangguan 1 fasa

$$\begin{aligned} V_{1\text{riel}} &= (20000/3) - (75.7 / 3 \times 25\% \times 7.56 \times \cos(16.1 + 69.3)) \\ &= 6662.7 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{1\text{imj}} &= 0 - (75.7 / 3 \times 25\% \times 7.56 \times \sin(16.1 + 69.3)) \\ &= -47.628 \text{ Volt} \end{aligned}$$

2. Tegangan urutan negatif pada saat terjadi gangguan 1 fasa

$$\begin{aligned} V_{2\text{riel}} &= 0 - (75.7 / 3 \times 25\% \times 7.56 \times \cos(16.1 + 69.3)) \\ &= -4.7628 \text{ Volts (Hasilnya minus karena lebih besar titik} \\ &\quad \text{gangguannya dibanding kedip tegangannya)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{2\text{imj}} &= 0 - (75.7 / 3 \times 25\% \times 7.56 \times \sin(16.1 + 69.3)) \\ &= -47.628 \text{ Volt} \end{aligned}$$

3. Tegangan urutan nol pada saat terjadi gangguan 1 fasa

$$V_{0ri\ell} = 0 - (75.7 / 3 \times 25\% \times 455.1 \times \text{Cos}(16.1 + 6.9))$$

$$= -2580.04 \text{ Volt}$$

$$V_{0imj} = 0 - (75.7 / 3 \times 25\% \times 455.1 \times \text{Sin}(16.1 + 6.9))$$

$$= -1146.8 \text{ Volt}$$

$$V_{0ri\ell} = V_{1ri\ell} + V_{2ri\ell} + V_{0ri\ell}$$

$$= 6662.7 + -4.7628 + -2580.04$$

$$= 4077.89 \text{ Volt}$$

$$V_{0imj} = V_{1imj} + V_{2imj} + V_{0imj}$$

$$= -47.628 + -47.628 + -1146.8$$

$$= -1242.05 \text{ Volt}$$

$$V_0 = \sqrt{(V_{0ri\ell})^2 + (V_{0imj})^2} \angle \text{arc tan } (V_{0imj} / V_{0ri\ell})$$

$$V_0 = \sqrt{(4077.89)^2 + (-1242.05)^2} \angle \text{arc tan } (-1242.05 / 4077.89)$$

$$V_0 = 3884.1 \angle -16.9 \text{ Volt}$$

Dari hasil perhitungan didapat kedip tegangan untuk gangguan 1 fasa ke tanah pada masing-masing lokasi titik gangguan 25%, 50%, 75%, dan 100% sebagai berikut :

Tabel 4.10 kedip tegangan untuk gangguan 1 Fasa ke tanah

Lokasi Gangguan (%)	Kedip Tegangan(V)	Sudut
25%	3884.1	$\angle -16.9$
50%	1049.7	$\angle -22.3$
75%	1840.04	$\angle -0.0005$
100%	-4754.9	$\angle 18.1$

Dari hasil perhitungan gangguan kedip tegangan ini (1 fasa ke tanah, fasa-fasa dan 3 fasa) maka dapat dibuat suatu perbandingan besarnya kedip tegangan terhadap titik gangguan (lokasi gangguan pada penyulang yang dinyatakan dalam %) seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 4.11 kedip tegangan untuk semua gangguan

Lokasi Gangguan (%)	Kedip Tegangan 3 Fasa	Kedip Tegangan Fasa- Fasa		Kedip Tengahan 1 Fasa Ke Tanah	
	V	V	$\angle\theta$	V	$\angle\theta$
25%	4997.9	-10.779	$\angle-46.5$	3884.1	$\angle-16.9$
50%	10000.001	893.3	$\angle77.2$	1049.7	$\angle-22.3$
75%	15007.7	9355.5	$\angle0.01$	1840.04	$\angle-0.0005$
100%	20000.03	-3.125	$\angle90$	-4754.9	$\angle18.1$

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan perhitungan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari perhitungan diperoleh arus gangguan hubung singkat untuk gangguan 1 fasa ke tanah titik gangguan 100% adalah $23.8 \angle 3.8$ A, untuk gangguan hubung singkat fasa-fasa titik gangguan 100% adalah $477.2 \angle 88.7$ A, dan untuk gangguan hubung singkat 3 fasa titik gangguan 100% adalah $550.91 \angle 87$ A.
2. Gangguan kedip tegangan yang paling besar terjadi pada gangguan kedip Tegangan 3 fasa yaitu 14996.99 volt, gangguan ini disebabkan karena adanya gangguan hubung singkat Tiga Fasa.

B. Saran

Perhitungan gangguan arus hubung singkat dapat dianalisa lebih baik lagi dengan menggunakan program atau software.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Wildan Nasution, Teguh Yuwono, dan Ontoseno Penangsang. 2012 Pengaruh Kedip Tegangan dan Koordinasi Rele Arus Lebih pada Pabrik Semen: Jurnal teknik ITS Teknik Elektro. Surabaya.
- [3] Jemjem Kurnaer Nur Pamudji, Gunawan Sidabaloh Kedip Tegangan di Sistem Tenaga Listrik Jawa Bali, makalah workshop kedip tegangan.
- [4] Power Quality Monitoring, Standar IEEE 1159-1995
- [5] Affandi, Irfan. 2009. Analisa Setting Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah Pada Penyulang Alauddin. Makassar
- [6] Suwanto, Daman. 2009. Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Padang
- [7] Ir. Yanuar Hakim, MSc. 2002. Feeder Protection of Industrial Power Systems.
- [8] Kadarisman Pribadi, Ir. Kedip tegangan. PT. PLN (PERSERO).

LAMPIRAN

Adapun data-data yang kami dapat ialah sebagai berikut :

No.	Hasil data dari PLN
1.	GI Panakkukang 150/20 kv, Transformator berkapasitas 30 MVA
2.	Panjang penyulang yaitu 11,06 Km
3.	Beban yaitu 107 Ampere
4.	Besar Reakstansi GI Panakkukang ialah 12,50 %

Tabel. Jaringan Gardu Induk Panakkukang

SPREADSHEET_Buku Data Jaringan UP2D Makassar

File Edit View Insert Format Data Tools Add-ons Help All changes saved in Drive

100% \$ % .0 .00 123 Calibri 9 B I S A

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2		GARDU INDUK	TRAFO GI	PENYULANG	BEBAN (A)	SETTING OCR (A)	PANJANG KESELURUHAN (KMS)
147	140	GI_PANAKKUKANG	TR #1_60_MVA	P_TODDOPULI	0	400	12.09
148	141	GI_PANAKKUKANG	TR #1_60_MVA	P_KAKATUA	0	0	11
149	142	GI_PANAKKUKANG	TR #1_60_MVA	P_WILAYAH	2	150	0.46
150	143	GI_PANAKKUKANG	TR #1_60_MVA	P_BOULEVARD	15	400	1.5
151	144	GI_PANAKKUKANG	TR #1_60_MVA	P_ADYAKSA	97	402	12.84
152	145	GI_PANAKKUKANG	TR #1_60_MVA	P_RAPPOCINI	132	402	13.9
153	146	GI_PANAKKUKANG	TR #1_60_MVA	P_VETERAN	108	402	20.16
154	147	GI_PANAKKUKANG	TR #1_60_MVA	P_LATANETE	108	402	18.29
155	148	GI_PANAKKUKANG	TR #1_60_MVA	P_IKIP	76	402	9.89
156	149	GI_PANAKKUKANG	TR #1_60_MVA	P_UNM	154	402	13.12
157	150	GI_PANAKKUKANG	TR #1_60_MVA	P_PERUMNAS	88	402	9.56
158	151	GI_PANAKKUKANG	TR #2_60_MVA	P_DENPASAR	170	402	14.26
159	152	GI_PANAKKUKANG	TR #2_60_MVA	P_PENGAYOMAN 2	227	402	14.82
160	153	GI_PANAKKUKANG	TR #2_60_MVA	P_MONGINSIDI	177	402	7.25
161	154	GI_PANAKKUKANG	TR #2_60_MVA	P_DIAMOND	161	402	1.05
162	155	GI_PANAKKUKANG	TR #2_60_MVA	P_CLARION	62	402	6
163	156	GI_PANAKKUKANG	TR #1_30_MVA	P_SHERATON	37	400	11
164	157	GI_PANAKKUKANG	TR #1_30_MVA	P_ALAUDDIN	107	360	11.06
165	158	GI_PANAKKUKANG	TR #1_30_MVA	P_HERTASNING BARU	98	400	39.53
166	159	GI_PANAKKUKANG	TR #1_30_MVA	P_PBB	243	400	19.26

Tabel. Unit Gardu Induk Panakkukang dan Tello

U ni t	Trafo	Tegangan Kerja	Daya (MVA)	Reaktansi (MVA _{room}) U _r = X (%)	DATA INPUT		Pabrikan	Data 2013		Keterangan	
					BASE 100 MVA			Vektor Group	R _{zero} (ohm) V _φ / V _Δ		
					REAKTANSI X _{series} (p.u)	REAKTANSI X _{parallel} (ohm)					
A. TRAGI PANAKKUKANG											
1.	Gl. Panakkukang	Distribusi 1	150/20	30	12.50	0.4167	93.75	UNINDO	YNyn0d5	solid / 40	
		Distribusi 3	150/20	60	13.28	0.2214	49.81	PAUWELS	YNyn0d1	solid / 40	
2.	Gl. Borongloe	Distribusi 1	69/20	10	9.13	0.9130	44.74	UNINDO	YnYn0	solid / 40	Tidak beroperasi
		Distribusi 2	69/20	20	11.90	0.5950	29.16	TAKAOKA	Y-Y6	Float/40	
3.	Gl. Barawaja	Distribusi 1	30/20	10	10.00	1.0000	9.00	TRAFINDO	YNyn0	Float/solid	
4.	Gl. Sungguminasa	Distribusi 1	150/20	30	12.50	0.4167	93.75	GEC ALSTHOM	YNyn0d1	solid / 40	
		Distribusi 2	150/20	60	13.20	0.2200	49.50	UNINDO	YnYno/d1	solid / 40	Relokasi dari HIS Bontoala (Op. Nov 2013)
5.	Gl. Tallo Lama	IBT 1	150/69	31.5	13.10	0.4159	93.57	ELIN	YNyn0d11	solid / 200	
		IBT 2	150/69	31.5	13.10	0.4159	93.57	ELIN	YNyn0d11	Solid/float	
		Distribusi 1	150/20	30	12.73	0.4243	95.48	PASTI	YNyn0	solid / 40	
		Distribusi 2	150/20	30	12.73	0.4243	95.48	PASTI	YNyn0d1	solid / 40	
6.	Gl. Bontoala	Distribusi 1	69/20/7	20	12.00	0.6000	29.40	TAKAOKA	YNyn0d1	Float/solid	
		Distribusi 2	69/20/7	20	12.00	0.6000	29.40	TAKAOKA	YNyn0d1	Float/40	
		Distribusi 3	70/20	30	12.44	0.4147	20.32	XIAN	YnYno/d	solid / 40	
7.	Gl. Tanjung Bunga	Distribusi 1	150/20	60	13.28	0.2214	49.81	UNINDO	YNyn0d5	solid / 40	Op. 15 April 2014
		Distribusi 2	150/20	60	13.28	0.2214	49.81	PAUWELS	YNyn0d5	solid / 40	
B. UNIT TRAGI TELLO											
1.	Gl. Tello	IBT 1	150/30	20	11.07	0.5535	124.54	Meidensha	Yd5	solid/float	
		IBT 3	150/70	31.5	13.10	0.4159	93.57	AICHI	YNyn0(d1)	solid/200	
		IBT 5	150/70	31.5	13.10	0.4159	93.57	Takaoka	YNyn0(d1)	solid/200	
		Distribusi 1	150/20	60	12.50	0.2083	46.88	Unindo	YNyn0+d	solid / 40	
		Distribusi 2	150/20	60	13.25	0.2208	49.69	Alsthom	YNyn0+d	solid / 40	Op. 26 Nov 2013
2.	Gl. Daya	Distribusi 1	34,5/20	20				Takaokak	Yy6d5		Tidak beroperasi
		Distribusi 2	70/20	20	11.62	0.5810	28.47	Hyundai	YNyn6d5	Float/40	
3.	Gl. Mandai	Distribusi 1	70/20	20	11.90	0.5950	29.16	Takaoka	Yy6	Float/40	
		Distribusi 2	70/20	20	11.62	0.5810	28.47	Unindo	YNyn0d1	Float/40	
		Distribusi 3	70/20	20	11.74	0.5870	28.76	PASTI	YNyn0	solid / 40	
4.	Gl. Pangkep	Distribusi 4	70/20	2,5				Unindo	Yyn0		Tidak beroperasi
		Distribusi 5	70/20	5				MEIDEN	YNyn0		Tidak beroperasi
4.	Gl. Pangkep	IBT 1	150/70	31.5	12.44	0.3949	88.86	Hyundai	YNyn0d	solid / 200	
		IBT 2	150/70	31.5	12.44	0.3949	88.86	Hyundai	YNyn0d	solid/float	
		IBT 3	150/70	31.5	12.44	0.3949	88.86	Hyundai	YNyn0d	solid / 200	
		Distribusi 5	150/20	30	12.50	0.4167	93.75	GEC. Alsthom	YNyn0(d1)	Solid/40	
5.	Gl. Maros	Distribusi 2	150/20	30	12.74	0.4247	95.55	Unindo	YNyn0(d)	Solid/40	
6.	Gl. Kima	Distribusi 1	150/20	30	12.50	0.4167	93.75	Unindo	YNyn0d1	solid / 40	Relokasi Dari GI PNK