

**SKRIPSI**

**PERHITUNGAN KEDIP TEGANGAN AKIBAT  
GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA PENYULANG  
UNIB SISTEM DISTRIBUSI PLN BENGKULU**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan  
Pendidikan Tingkat Sarjana (S1)**



**Oleh :**

**RONIKA EDINTA SITEPU**

**NPM : G1D006053**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS BENGKULU  
2014**

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

### **PERHITUNGAN KEDIP TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA PENYULANG UNIB SISTEM DISTRIBUSI PLN BENGKULU**

Sejauh yang saya ketahui bukan merupakan hasil duplikasi dari skripsi dan/atau karya ilmiah lainnya yang pernah dipublikasikan dan/atau pernah dipergunakan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Bengkulu, Juli 2014

Ronika Edinta Sitepu  
NPM. G1D006053

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### *Motto :*

✚ “Ujilah Segala Sesuatu dan Peganglah yang Baik.” (1 Tesalonika 5:21)

✚ “Diberkatilah orang yang mengandalkan Tuhan, yang menaruh harapannya pada Tuhan!, Ia akan seperti pohon yang ditanam di tepi air, yang merambatkan akar-akarnya ke tepi batang air, dan yang tidak mengalami datangnya panas terik, yang daunnya tetap hijau, yang tidak kuatir dalam tahun kering, dan yang tidak berhenti menghasilkan buah.”

(Yeremia 17:7-8)

### *Persembahan :*

*Skripsi ini kupersembahkan untuk Papa, Mama, abang, kakak, adik dan orang yang spesial dihatiku yang telah menunggu lama untuk semua ini, serta semua pihak yang telah membantu terselesainya karya ini.*

## UCAPAN TERIMAKASIH

*Terimakasih kepada :*

- ❖ *Papa dan Mamaku yang sangat ku sayangi dan ku kasih atas cinta kasih, didikan, kesabaran dan ketulusan dalam mengasuh, menjaga dan mengajariku didalam kehidupan ini. Maaf telah membuat menunggu lama.*
- ❖ *Bang Hendrawan Perdana Asih Sitepu, kak Nelsy dan sicantik Jennifer, bang Jefryanta Sitepu dan kak Sri, dan adikku Rio Sitepu yang telah memberikan semangat dan motivasi kepadaku.*
- ❖ *Wanita terspesial dalam hidupku, Herke Amelia Bangun, atas dorongan, dan kasih sayangmu dalam proses penulis menyelesaikan perkuliahan. kau "dinyatakan" pada waktu yang tepat dalam hidupku. Kita akan lewati semua ini untuk menggenapi janji Tuhan yang besar di depan.*
- ❖ *Bapak Alex Surapati, S.T., M.T sebagai pembimbing yang selalu memberikan masukan dan nasehat dalam menyelesaikan skripsi ini,*
- ❖ *Bapak Irnanda Priyadi, S.T., M.T sebagai pembimbing yang memberikan masukan dalam penulisan skripsi ini sehingga menjadi sebuah skripsi yang benar.*
- ❖ *Bapak M.Khairul Amri Rosa, S.T., M.T selaku ketua penguji yang telah memberikan masukan-masukannya untuk penyempurnaan skripsi ini.*
- ❖ *Ibu Ika Novia Anggraini, S.T., M.Eng sebagai penguji yang telah banyak memberikan sarannya dalam penyelesaian skripsi ini.*
- ❖ *Pak Sis dan Buk Sis, Teman-teman dan adik-adik di Ikatan Mahasiswa Karo Rudang-rudang Rafflesia Bengkulu (IMKA RRR) tempat saya berbagi baik suka maupun duka.*
- ❖ *Teman Seperjuangan Ricko Febrian, Fahrul Rozi, Doni Suhendra, Haris Febrianto Marbun yang telah banyak membantu dalam penyusunan Skripsi ini.*

## ABSTRAK

Kedip tegangan (*Voltage Sag*) merupakan salah satu jenis gangguan yang dapat menurunkan kualitas daya pada sistem distribusi, karena pada umumnya variasi tegangan yang timbul karena adanya kedip tegangan pada sistem distribusi akan mempengaruhi kinerja yang sangat sensitif terhadap adanya perubahan tegangan. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk menganalisa terjadinya kedip tegangan pada penyulang UNIB sistem distribusi kota Bengkulu yang ditimbulkan karena adanya gangguan hubung singkat, jenis gangguan hubung singkat yang sering terjadi adalah gangguan satu fasa ke tanah, fasa-fasa dan tiga fasa. besar arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah titik gangguan 100% 64.01  $\angle$  62.98 A, gangguan hubung singkat fasa-fasa titik gangguan 100% 87.66  $\angle$  58.64 A, gangguan hubung singkat 3 fasa titik gangguan 100% 101.23 A. Gangguan kedip tegangan yang paling besar terjadi pada gangguan kedip tegangan fasa-fasa yaitu 20558.15  $\angle$  -22 volt, untuk kedip tegangan 1 fasa ke tanah 12983.27  $\angle$  -30 volt, dan untuk kedip tegangan 3 fasa 19998.76 volt.

Kata Kunci : Kualitas Daya, Kedip tegangan (*Voltage Sag*), Gangguan Hubung Singkat.

## KATA PENGANTAR

Pujian, hormat, dan ucapan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas anugerah dan kasih karuniaNya yang besar, penulis masih diberikan kesehatan dan kehidupan sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Universitas Bengkulu. Dalam penulisan skripsi ini penulis menyadari tidak lepas dari ketidaksempurnaan sehingga masih ada dan banyak kesalahan yang belum bisa diperbaiki. Oleh karena penulis mengharapkan kritikan dan saran yang sifatnya membangun sehingga dapat menjadi bacaan yang sempurna dan dapat berguna bagi siapapun yang membaca.

Namun dengan bimbingan dan arahan yang selalu diberikan ibu/bapak dosen secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Ridwan Nurazi, S.E., M.Sc, selaku Rektor Universitas Bengkulu.
2. Bapak Khairul Amri, S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.
3. Bapak Irnanda Priyadi, S.T., M.T, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Bengkulu, sekaligus Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, motivasi serta koreksinya dalam penyusunan skripsi ini.
4. Segenap dosen Program Studi Teknik Elektro Universitas Bengkulu yang telah memberikan bekal ilmu, bimbingan dan pengarahan.
5. Teman-teman Teknik Elektro 2006.
6. Almamaterku (Universitas Bengkulu).

Akhir kata penulis mengharapkan skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semoga Tuhan Yang Maha Esa selalu melimpahkan rejeki dan ilmu pengetahuan kepada kita semua.

Bengkulu, Juli 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	iv
UCAPAN TERIMAKASIH .....	v
ABSTRAK .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	x
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Konsep Kualitas Daya Listrik .....	5
2.2 Transformator Tenaga .....	7
2.3 Teori Hubung Singkat Sistem Distribusi 20 kV .....	6
2.4 Perhitungan Impedansi .....	9
a. Impedansi Sumber.....	10
b. Impedansi Transformator .....	11
c. Impedansi Penyulang .....	12
d. Impedansi Ekuivalen jaringan .....	12
2.5 Perhitungan Gangguan Hubung Singkat .....	13
2.6 Kedip Tegangan ( <i>Voltage Sag</i> ) .....	15
2.6.1 Penyebab Kedip Tegangan .....	19
2.6.2 Akibat Gangguan kedip Tegangan .....	20
2.6.3 Toleransi Terhadap Kedip Tegangan pada Sistem Transmisi/ Distribusi .....	21

<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian .....	23
3.2	Metode Pengambilan Data .....	23
3.3	Metode Analisa Data .....	24
3.4	Tahapan Penelitian. ....	26
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1	Sistem Distribusi 20 KV Gardu Induk Sukamerindu .....	28
4.2	Perhitungan Impedansi Sumber.....	28
4.3	Perhitungan Reaktansi Transformator.....	28
4.4	Perhitungan Impedansi Penyulang .....	29
4.5	Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan .....	30
4.6	Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat. ....	31
2.6.1	Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke tanah.....	31
2.6.2	Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa- Fasa .....	34
2.6.3	Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa ....	36
2.7	Perhitungan Kedip Tegangan. ....	39
2.7.1	Perhitungan Kedip Tegangan Untuk Gangguan 3 Fasa	39
2.7.2	Perhitungan Kedip Tegangan Untuk Gangguan Fasa- Fasa .....	40
2.7.3	Perhitungan Kedip Tegangan Untuk Gangguan 1 Fasa ke tanah .....	43
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1	Kesimpulan .....	46
5.2	Saran .....	46
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	47
	<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Impedansi Penghantar.....	10
Gambar 2.2 Konversi $X_s$ dari 70kV ke 20kV .....	10
Gambar 2.3 Hubung Singkat 1 Fasa ke tanah .....	14
Gambar 2.4 Hubung Singkat Fasa-Fasa .....	14
Gambar 2.5 Hubung Singkat 3 Fasa.....	14
Gambar 2.6 Diagram Satu Garis simulasi kedip tegangan.....	16
Gambar 2.7 Gelombang terjadinya kedip tegangan .....	16
Gambar 3.1 Impedansi Penghantar.....	25
Gambar 3.2 Flowchart Penelitian .....	27
Gambar 4.1 Penyulang F5 UNIB .....	32
Gambar 4.2 Grafik Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke tanah.....	34
Gambar 4.3 Grafik Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa-Fasa.....	36
Gambar 4.4 Grafik Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa .....	38
Gambar 4.5 Grafik Arus Gangguan Hubung Singkat.....	39
Gambar 4.6 Grafik Kedip Tegangan Fasa-Fasa S dan T.....	42
Gambar 4.7 Grafik Kedip Tegangan 1 Fasa ke tanah.....	44
Gambar 4.8 Grafik Kedip Tegangan Pada saat terjadi gangguan.....	45

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Defenisi Kualitas Daya Listrik Sesuai Standar IEEE 1159-1995 ...	6
Tabel 2.2 Tipikal Rentang Kualitas Daya Input dan Parameter Beban .....	21
Tabel 4.1 Impedansi penyulang urutan positif & negatif.....	30
Tabel 4.2 Impedansi penyulang urutan nol.....	30
Tabel 4.3 Impedansi $Z_{1\text{ eki}}$ & $Z_{2\text{ eki}}$ .....	31
Tabel 4.4 Impedansi Ekiivalen $Z_{0\text{ eki}}$ .....	31
Tabel 4.5 Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke tanah.....	34
Tabel 4.6 Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa-Fasa .....	36
Tabel 4.7 Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa .....	37
Tabel 4.8 Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat .....	38
Tabel 4.9 Kedip Tegangan untuk Gangguan Fasa-fasa .....	42
Tabel 4.10 Kedip Tegangan untuk Gangguan 1 Fasa ke tanah.....	44
Tabel 4.11 Kedip Tegangan untuk Semua Gangguan.....	45

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

PT. PLN adalah sebuah perusahaan milik negara yang bergerak dalam bidang kelistrikan, yang digunakan untuk membantu pemerintah dalam memajukan daerahnya, begitu juga dengan daerah-daerah yang ada di seluruh Indonesia, Bengkulu khususnya.

Dalam penyuplaian listrik menuju beban-beban yang diinginkan maka PT. PLN memerlukan sebuah kualitas tegangan yang baik, ekonomis, dan aman. Sistem distribusi adalah hal yang paling banyak mengalami gangguan, sehingga masalah utama dalam operasi sistem distribusi adalah mengatasi gangguan. Jumlah gangguan dalam sistem distribusi relative lebih banyak dibandingkan dengan jumlah gangguan pada bagian sistem yang lain, seperti pada saluran transmisi, unit pembangkit dan transformator pada gardu induk.

Dalam penyaluran energi listrik pada sistem distribusi baik jaringan tegangan menengah maupun jaringan tegangan rendah perlu dijaga nilai kualitas dari daya yang akan disalurkan. Hal tersebut dilakukan untuk menjaga nilai dari mutu listrik yang akan dihasilkan agar tetap memiliki kualitas tegangan yang baik. Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan-gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. gangguan adalah penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal. 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.

Gangguan 1 fasa ke tanah, fasa-fasa dan 3 fasa (yang bersifat sementara) adalah gangguan hubung singkat yang sering terjadi dalam sistem distribusi tenaga listrik yang menyebabkan penurunan tegangan dalam waktu yang relatif singkat dan bisa disebut kedip tegangan. Peristiwa ini meskipun berlangsung dalam waktu yang relatif singkat, dapat memberikan dampak tidak berfungsinya peralatan elektronika yang sensitif dan peka terhadap variasi tegangan.

Dalam menentukan dan menghitung besar kedip tegangan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik, terutama pada sistem distribusi PLN Bengkulu khususnya pada penyulang UNIB yang sering mengalami gangguan kedip tegangan, terlebih dahulu dapat dihitung nilai gangguan arus hubung singkat yang terjadi pada saat gangguan 1 fasa ke tanah, fasa-fasa dan 3 fasa dengan memperhitungkan nilai batas maksimum dan minimum dari gangguan yang terjadi.

Hal inilah yang melatarbelakangi penulis untuk mengangkat judul **“Perhitungan Kedip Tegangan Akibat Gangguan Hubung Singkat Pada Penyulang UNIB Sistem Distribusi PLN Bengkulu”**, sehingga diharapkan dapat memberikan manfaat dalam meningkatkan penguasaan di bidang peningkatan kualitas daya.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang akan diangkat pada skripsi ini adalah:

1. Berapakah besarnya arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah, fasa ke fasa, dan tiga fasa pada sistem distribusi PLN Bengkulu di penyulang UNIB?
2. Berapakah besarnya kedip tegangan akibat adanya gangguan pada sistem distribusi PLN Bengkulu di penyulang F5 UNIB?

## **1.3 Batasan Masalah**

Untuk lebih mengarahkan pokok pembahasan dalam penelitian ini, maka penulis membuat batasan masalah agar tidak terlalu luas pembahasan, yaitu :

1. Sistem yang dianalisa yaitu sistem satu bus dari Gardu induk Sukamerindu.
2. Gangguan yang dibahas yaitu gangguan satu fasa ke tanah, fasa ke fasa dan perhitungan manual yang dilakukan adalah perhitungan besarnya reaktansi penyulang, panjang penyulang dan juga impedansi penyulang yang terhubung satu bus.
3. Perhitungan manual untuk mendapatkan besar kedip tegangan pada penyulang UNIB.

#### **1.4 Tujuan Penulisan**

Adapun tujuan penulis mengadakan penelitian ini adalah:

1. Untuk menghitung besarnya arus maksimum dan minimum gangguan hubung singkat pada titik lokasi yang berbeda pada sistem distribusi PLN Bengkulu di penyulang UNIB.
2. Untuk mengetahui besarnya kedip tegangan akibat adanya gangguan pada sistem distribusi PLN Bengkulu di penyulang UNIB.

## BAB 2

### 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 kontinyu. 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 UNIB yang ditimbulkan karena adanya gangguan hubung singkat pada sistem distribusi PLN Bengkulu, jenis gangguan hubung singkat yang biasanya terjadi adalah gangguan satu fasa ketanah dan fasa ke fasa serta gangguan tiga fasa.

## **2.1. 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 loadds
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]



## **2.2. 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 gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. 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 berubah-ubah. 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 gandengan magnet antara rangkaian primer dan sekunder. gandengan magnet ini berupa inti besi tempat melakukan fluks bersama [7].

## **2.3. Teori Hubung Singkat Sistem Distribusi 20 kV.**

Hubung singkat adalah terjadinya hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tidak melalui media (resistor/beban) yang semestinya sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar). tenaga listrik yang disalurkan kepada 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 (*circuit*) 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.

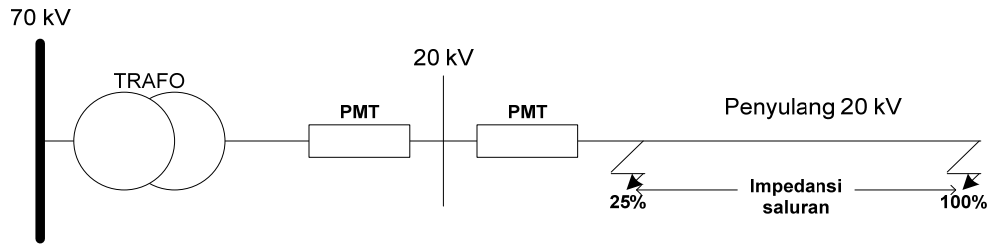
Menurut standart *IEC 909* dan standar yang terkait mengklasifikasikan arus hubung singkat dengan besarnya (maksimum dan minimum) dari jarak titik lokasi. arus hubung singkat maksimum menentukan rating peralatan, sementara itu arus hubung singkat minimum menentukan pengaturan alat proteksi. standar ini 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].

#### **2.4. 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

### a. Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber di sisi bus 20 kV, maka harus dihitung dulu impedansi sumber di bus 70 kV. Impedansi sumber di bus 70 kV di peroleh dengan menggunakan rumus :

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \quad (2.1)$$

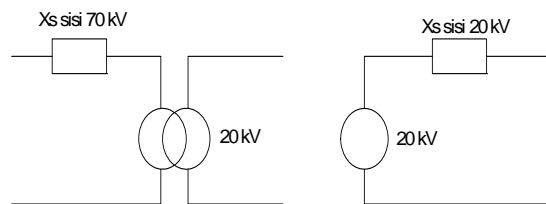
Dimana :

$X_s$  = Impedansi sumber (ohm)

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

MVA = Data hubung singkat di bus 70 kV (MVA)

Arus gangguan hubung singkat di sisi 20 kV diperoleh dengan cara terlebih dahulu mengkonversikan impedansi sumber di bus 70 kV ke sisi 20 kV. Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 70 kV ke sisi 20 kV, dapat dihitung dengan menggunakan rumus [6]:



Gambar 2.2 Konversi  $X_s$  dari 70 kV ke 20 kV

$$X_s \text{ (sisi 20kV)} = \frac{20^2}{70^2} \times X_s \text{ (sisi 70 kV)} \quad (2.2)$$

## b. Impedansi Transformator

Pada perhitungan impedansi suatu transformator yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahananannya 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 :

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

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  $\Delta Y$  dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka  $X_{t0} = X_{t1}$
  - Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan  $Y_{yd}$  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].

### c. Impedansi Penyulang

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

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

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)

$Z_1/\text{km}$  = Impedansi penyulang tiap km

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

### d. Impedansi Ekuivalen jaringan

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  $Z_{1\text{eki}}$  dan  $Z_{2\text{eki}}$  dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut, sedangkan untuk perhitungan  $Z_{0\text{eki}}$  dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo tenaga yang netralnya ditanahkan. Akan tetapi untuk menghitung impedansi  $Z_{0\text{eki}}$  ini, harus diketahui dulu hubungan belitan trafonya .

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

$$\begin{aligned} Z_s + Z_T + Z_L \\ Z_{1\text{eki}} = Z_{2\text{eki}} = Z_{S1} + Z_{t1} + Z_{1\text{penyulang}} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Dimana :

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

$Z_{2\text{eki}}$  = impedansi ekuivalen 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 :

$$\begin{aligned} Z_{0\text{penyulang}} &= \% \text{ panjang} \times Z_{0\text{ total}} \\ Z_{0\text{ eki}} &= Z_{t0} + 3 R_N + Z_{0\text{ penyulang}} \end{aligned} \quad (2.7)$$

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)

## 2.5. 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 [9].

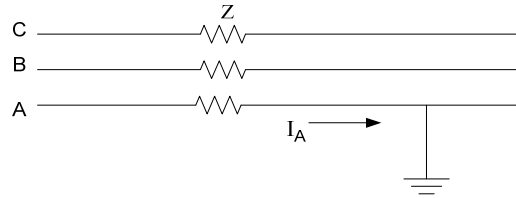
Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah digunakan persamaan [10]:

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

Dimana :

$V = 3 \times$  tegangan fasa – netral

$Z =$  impedansi ( $Z_1 + Z_2 + Z_0$ )<sub>ekivalen</sub>



Gambar 2.3. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

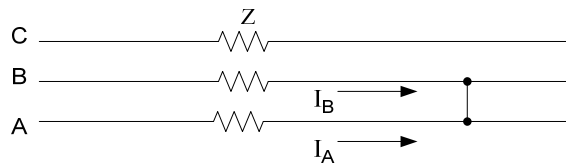
Untuk menghitung arus gangguan dua fasa menggunakan Persamaan [10] :

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

Dimana :

$V =$  tegangan fasa – fasa

$Z =$  impedansi ( $Z_1 + Z_2$ )<sub>ekivalen</sub>



Gambar 2.4. Gangguan Hubung Singkat Fasa-Fasa.

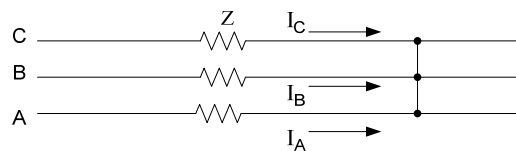
Sedangkan untuk menghitung arus gangguan tiga fasa digunakan persamaan [10]:

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

Dimana :

$V =$  tegangan fasa – netral

$Z =$  impedansi  $Z_{1ekivalen}$



Gambar 2.5. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa.



## 2.6. 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 [11]

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 [13].

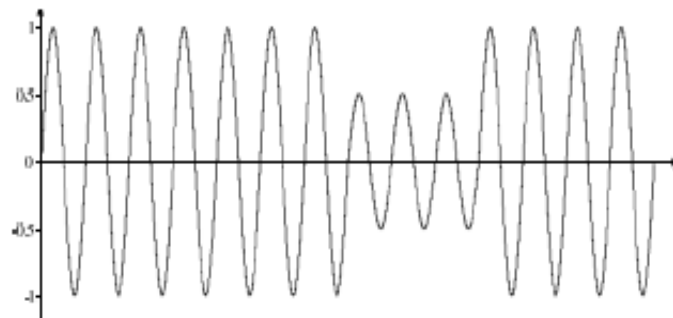
$V_s$

gangguan

beban

Gambar 2.6. Diagram satu garis simulasi tegangan kedip

Seperti yang terlihat pada gambar 2.6. diatas,  $Z_s$  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 disuply. perbedaan magnitudo dan pergeseran fasa dapat terjadi saat tegangan kedip berlangsung. kedua besaran itu merupakan bagian dari tegangan kedip [11]. Bentuk gelombang saat terjadi tegangan kedip dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.7. Gelombang terjadinya tegangan kedip

Kedip tegangan untuk gangguan 3 Fasa [12]:

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

Dimana :

$\Delta V$  = 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.

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

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 ( $\Omega$ )

$\alpha$  = Penjumlahan sudut arus dan impedansi

b. Tegangan Urutan Negatif

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

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 ( $\Omega$ )

$\alpha$  = Penjumlahan sudut arus dan impedansi

2. Tegangan tiap fasa saat terjadi gangguan

a. Tegangan Fasa R

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

b. Tegangan Fasa S

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

c. Tegangan Fasa T

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

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

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

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

1. Tegangan Urutan Positif.

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

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 ( $\Omega$ )
- $\alpha$  = Penjumlahan sudut arus dan impedansi.

2. Tegangan Urutan Negatif.

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

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 ( $\Omega$ )
- $\alpha$  = Penjumlahan sudut arus dan impedansi

### 3. Tegangan Urutan Nol.

$$\begin{aligned} V_{0\text{ riel}} &= -(I_{f1\phi} / 3) \times Z_{0\text{penyulang}} \text{Cos}(\alpha) \\ V_{0\text{ imj}} &= -(I_{f1\phi} / 3) \times Z_{0\text{penyulang}} \text{Sin}(\alpha) \end{aligned} \quad (2.20)$$

Dimana :

- $V_0$  = Tegangan urutan Nol (Volt)
- $I_{f1\phi}$  = Arus Hubung Singkat 1 Fasa Ke tanah (Ampere)
- $Z_{0\text{Penyulang}}$  = Impedansi Penyulang sesuai lokasi gangguan yang dipilih ( $\Omega$ )
- $\alpha$  = Penjumlahan sudut arus dan impedansi

#### 2.6.1. 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:

##### 1. 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.

##### 2. 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.

### 3. 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* [11][13].

#### **2.6.2. 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 :

1. 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 %.
2. Pada industri, proses akan berhenti untuk kedip tegangan sampai dengan 65 % dan penerangan seperti lampu akan berkedip [11].

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

1. Rangkaian relai dan kontaktor akan trip pada tegangan dibawah 70 % tegangan nominal untuk waktu yang cepat.
2. 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.
3. PLC akan trip pada tegangan kurang dari 90 % untuk waktu kurang dari 50 detik.
4. Pada pemrosesan data atau komputer, data akan langsung hilang bila tegangan dibawah 50 % untuk waktu beberapa *cycle* [11].

### 2.6.3 Toleransi Terhadap Kedip Tegangan pada Sistem Transmisi/Distribusi.

Nilai dari kedip tegangan (*voltage sags*) harus diperhatikan agar tidak mempengaruhi kerja dari peralatan-peralatan elektronik ataupun peralatan-peralatan kontrol lainnya [11].

Tabel 2.2 Tipikal rentang kualitas daya input dan parameter beban

<b>Parameter</b>	<b>Rentang</b>
Batasan tegangan ( <i>steady state</i> )	+6 %, -13 %
Gangguan tegangan	<i>Surge</i> +15 % - maks 0,5 s
	<i>Sag</i> -18 % - maks 0,5 detik
	<i>Transient overvoltage</i> 150-200 % - 0,2 s
Harmonik	Maks 5% (peralatan beroperasi)
Kompatibilitas elektromagnetik	Maks 1 V/m
Batasan frekuensi	60 Hz $\pm$ 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*.



## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

Penelitian yang akan dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar gangguan kedip tegangan (*voltage sag*) yang terjadi akibat adanya gangguan, salah satunya adalah gangguan hubung singkat pada sistem distribusi kelistrikan PLN. Metode penelitian ini merupakan suatu cara yang digunakan oleh penulis didalam melaksanakan kegiatan penelitiannya untuk mengambil data sesuai kenyataannya yang terdapat di lapangan. Waktu dan tempat penelitian, metode pengumpulan data, metode analisa, serta jalannya penelitian akan diuraikan berikut ini :

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Pada penelitian ini, penulis melakukan penelitian dimulai dari pertengahan minggu pertama bulan Juni 2013 sampai dengan selesai. Dimana tempat untuk pengambilan data-data yang diperlukan adalah di Gardu Induk Sukamerindu Bengkulu dan kantor cabang PLN WS2JB.

#### **3.2 Metode Pengambilan Data**

Metode pengambilan data dilakukan dengan observasi langsung ke lapangan PT. PLN (Persero) Gardu Induk Sukamerindu kantor cabang PLN WS2JB, data yang diperoleh terdiri dari data Transformator Tenaga (panjang saluran, single line diagram, impedansi urutan nol, positif dan negatif).

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam pengambilan data yang diperlukan dalam melakukan penelitian sebagai berikut :

1. Data Transformator Tenaga

Data impedansi trafo pada penyulang dibutuhkan untuk perhitungan impedansi urutan positif, negatif dan urutan nol pada penyulang. Perhitungan ini dilakukan untuk mendapatkan besarnya arus gangguan 1 fasa ketanah dan gangguan fasa ke fasa. Data impedansi yang akan diambil antara lain adalah penyulang Unib.

### 3.3 Metode Analisa Data

Metode analisa data adalah dengan menggunakan data-data yang ada, data yang didapat kemudian dihitung dengan materi kajian pustaka, yaitu :

1. Menghitung impedansi sumber dan reaktansi transformator.

Perhitungan yang akan dilakukan pada transformator yaitu transformator II yang berkapasitas 30 MVA dengan ratio tegangan 70/20 kV. Untuk menghitung impedansi sumber maka data yang diperlukan adalah data hubung singkat pada bus primer transformator. Impedansi sumber ini adalah nilai ohm pada sisi 70 kV, karena arus gangguan hubung singkat yang akan dihitung adalah gangguan hubung singkat di sisi 20 kV, maka impedansi sumber tersebut harus dikonversikan dulu ke sisi 20 kV, sehingga pada perhitungan arus gangguan nanti sudah menggunakan sumber 20 kV. Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 70 KV, dilakukan dengan cara sebagai berikut :

$$\text{MVA sisi 70 kV} = \text{MVA sisi 20 kV}$$

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

Reaktansi Transformator :

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

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

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

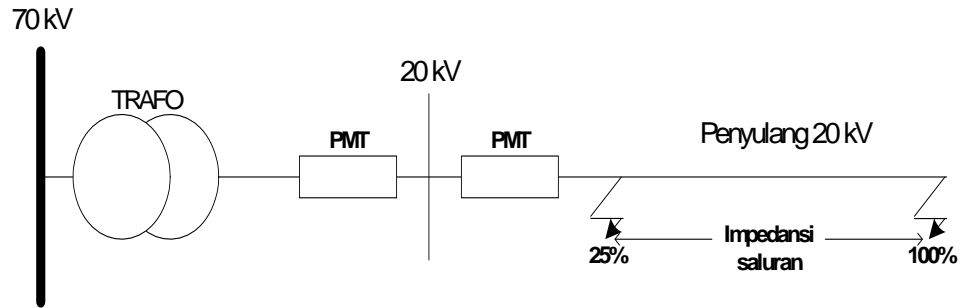
- Reaktansi urutan Nol ( $X_{t0}$ )

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

2. Mengitung impedansi penyulang.

Impedansi penyulang yang akan dihitung disini adalah impedansi penyulang UNIB, tergantung dari besarnya nilai impedansi per km dari penyulang tersebut. Dimana besar nilainya ditentukan dari konfigurasi tiang yang dipergunakan untuk jaringan tegangan menengah atau dari jenis kabel untuk jaringan.  $Z = (R+jX)$  ohm/km dan  $Z_1=Z_2$ , dengan demikian nilai impedansi pada penyulang tersebut untuk lokasi gangguan yang diperkirakan terjadi pada 25%, 50%, 75% sampai

dengan 100% panjang penyulang. Untuk menghitung reaktansi ekivalen dihitung besarnya nilai impedansi ekivalen urutan positif ( $Z_{1eq}$ ), dan untuk impedansi ekivalen urutan negatif ( $Z_{2eq}$ ), dan impedansi ekivalen urutan nol ( $Z_{0eq}$ ) dari titik gangguan sampai kesumber. Seperti yang terlihat pada gambar 3.2 dibawah ini :



Gambar 3.1 Impedansi Penghantar

Perhitungan  $Z_{1eq}$  dan  $Z_{2eq}$  dapat langsung menjumlahkan impedansi-impedansi seperti gambar, sedangkan  $Z_{0eq}$  dimulai dari titik gangguan sampai dengan ke transformator tenaga yang netralnya ditanahkan.

3. Menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah dan fasa ke fasa.

Untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat pada sistem dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut :

- a. Impedansi urutan positif ( $Z_1$ ), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan positif.
- b. Impedansi urutan negatif ( $Z_2$ ), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan negatif.
- c. Impedansi urutan nol ( $Z_0$ ), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan nol.

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat, maka harus dilakukan perhitungan pada saluran tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik-titik lainnya yang letaknya semakin jauh dari gardu induk tersebut. Dari perhitungan tersebut akan didapat besar arus masing-masing fas dan arus residu pada saat terjadi gangguan dengan titik gangguan pada 25%, 50%, 75% dan 100% panjang saluran.

#### 4. Menghitung Kedip Tegangan pada Sistem Distribusi.

Untuk melakukan perhitungan kedip tegangan pada sistem distribusi dapat dilakukan dengan terlebih dahulu memperhitungkan arus gangguan hubung singkat yang terjadi di penyulang, arus gangguan dihitung mulai dari titik gangguan 25%, 50%, 75% dan 100%. setelah memperoleh besarnya arus gangguan hubung singkat yang terjadi di jaringan dengan titik lokasi gangguan yang dipilih, maka dapat dihitung besar kedip tegangan yang terjadi di penyulang.

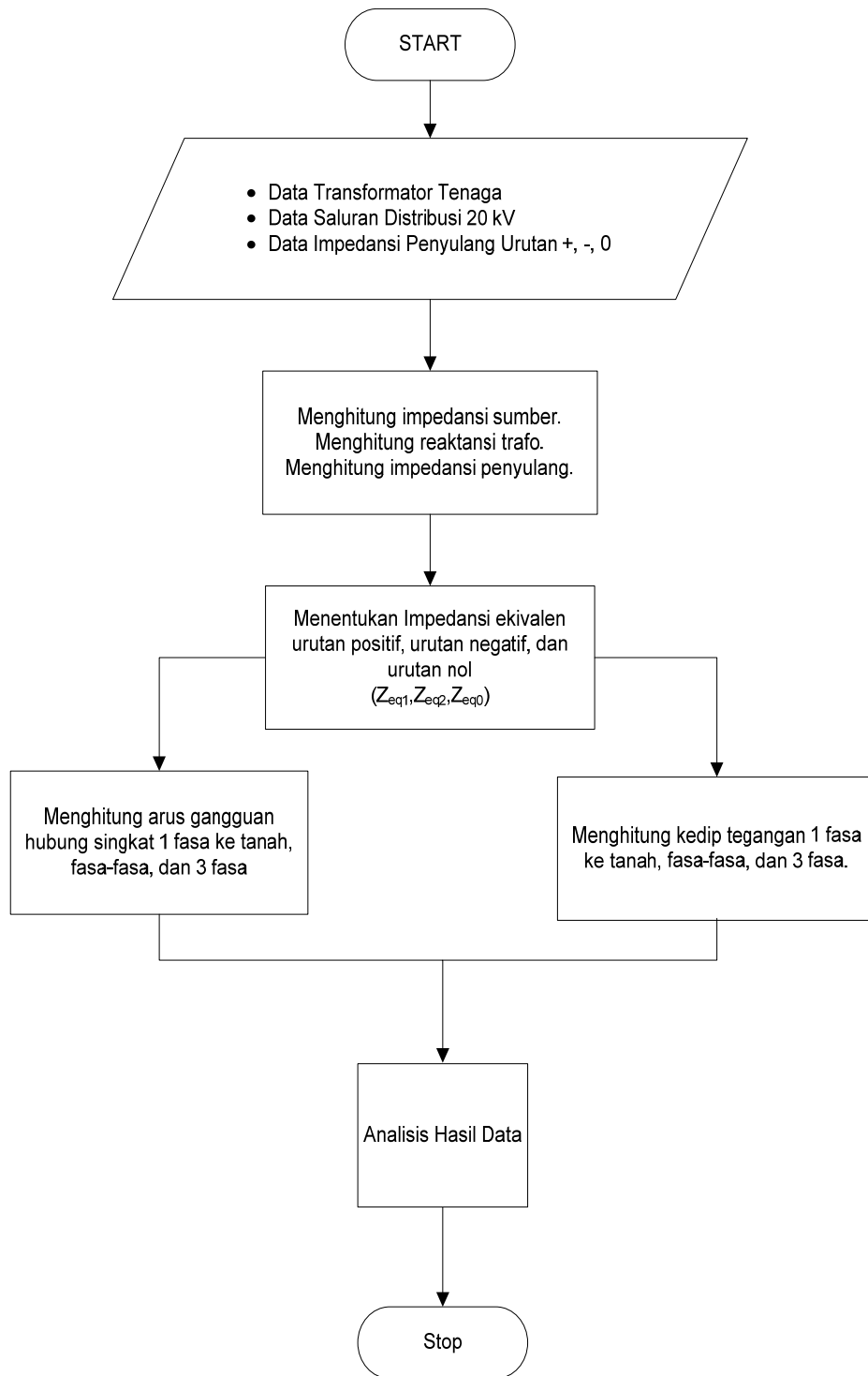
### **3.4. Tahapan Penelitian.**

Penelitian ini dimulai dengan tahapan studi literatur. studi literatur dilakukan untuk mendapatkan teori dasar dan rumusan atau formula-formula yang nantinya akan digunakan dalam perhitungan dan analisa data.

Tahapan selanjutnya yaitu tahapan pengumpulan data dari lokasi-lokasi penelitian. pada tahapan ini tempat pengambilan data yaitu Gardu Induk Sukamerindu Bengkulu dan kantor cabang PLN WS2JB.

Tahapan selanjutnya adalah pengolahan data. pada tahapan ini dilakukan perhitungan data yaitu perhitungan impedansi sumber, impedansi penyulang, reaktansi trafo, dan perhitungan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dan fasa-fasa.

Tahapan yang terakhir adalah menyimpulkan hasil tahapan-tahapan sebelumnya. Hasil akhir dari penelitian ini adalah menganalisa kedip tegangan yang terjadi akibat dari gangguan hubung singkat. selengkapnya digambarkan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Flowchart Penelitian