

BAB II

LANDASAN TEORI

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 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 sags*). Gangguan ini merupakan gangguan transien pada sistem tenaga listrik, yaitu penurunan tegangan sesaat (selama beberapa detik) 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 penghasutan motor induksi). Koordinasi pengamanan sangat diperlukan untuk mengatasi gangguan tersebut, sehingga gangguan tersebut dapat dilokalisasi dari sistem yang sedang beroperasi.

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 naik dan buruknya mutu daya listrik akibat

beberapa jenis gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan salah satunya adalah terjadinya hubung singkat dan kedip tegangan

Terdapat empat alasan utama, mengapa pada ahli dan praktisi di bidang tenaga listrik memberi 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. Meningkatkan perhatian yang ditekankan pada efisiensi daya listrik secara menyeluruh, sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan peralatan yang mempunyai efisiensi tinggi, seperti pengaturan kecepatan motor listrik dan penggunaan kapasitor untuk perbaikan faktor daya. Penggunaan peralatan-peralatan tersebut dapat mengakibatkan peningkatan tingkat harmonik pada sistem daya listrik, dimana para ahli merasa khawatir dengan dampak harmonisa tersebut di masa mendatang yang dapat menurunkan kemampuan dari sistem daya listrik itu sendiri.
3. Meningkatnya kesadaran dari para pengguna energi terhadap masalah kualitas daya listrik. Para pengguna utilitas kelistrikan menjadi lebih pandai dan bijaksana mengenai persoalan *interupsi*, *sags* dan peralihan transien dan merasa berkepentingan untuk meningkatkan kualitas distribusi daya listriknya.
4. Pada sistem tenaga listrik yang saling berhubungan dalam suatu jaringan interkoneksi, dimana sistem tersebut memberikan suatu

konsekuensi 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 radio. Tiga kategori pertama 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 menjelaskan kualitas daya. Tabel 2.1 dapat dilihat beberapa jenis gangguan dalam sistem tenaga listrik.

Table 2.1 Devinisi Kualitas Daya Listrik Sesuai Standar *IEEE 115* Tabel 2. 19-1995

No	Kategori Gangguan	Tipe Gangguan	Rentang Waktu	Penyebab
1	Transient	Oscillator Impulsive	Less than 1 Cycle	Lightning, Switchhing loads
2	Short duration Variation	Sags,swells, Interruption	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 tab setting,overloaded feeder, utility equipment
4	voltage imbalance	•	steady state	unbalance loads, equipment failure
5	waveform distortion	harmonics notching noise	steady state	elektronic loads
6	voltage fluctuations	•	steady state	arcing load,loose connections
7	power frequency variations	•	steady state	poor generator control

2.2 Transformator Tenaga

Transformator adalah sebuah alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnetik. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalkan keperluan akan tegangan tinggi dalam pengiriman listrik jarak jauh. Penggunaan transformator yang sederhana dan memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap

keperluan serta merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik.

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 akan berubah-ubah. Akibatnya sisi primer akan terjadi induksi. Sisi sekunder akan menerima 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 elektromagnetik, menghendaki adanya gandengan antara rangkaian primer dan sekunder gandengan magnet ini berupa inti besi tempat melakukan fluks bersama.

2.3 Teori Hubung Singkat Sistem Distribusi 20 KV

Hubung singkat adalah keadaan dimana 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 yang 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 PT. PLN (PERSERO) adalah 20 kV. Tegangan pada distribusi primer, diturunkan oleh gardu distribusi menjadi tegangan rendah yang besarnya adalah 380/220 V, dan disalurkan oleh jaringan tegangan rendah kepada konsumen.

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen, gangguan tersebut merupakan salah satu penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi menyalurkan energi listrik. Suatu gangguan dalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan dalam jaringan listrik yang mengakibatkan 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 antara fasa-fasa dan fasa ke tanah.

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 hubung singkat digunakan untuk menjelaskan suatu hubung 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 hubung singkat yang mungkin akan berakibat pada setiap cabang di dalam sistem (di jaringan distribusi, transmisi, trafo tenaga atau pembangkit) sewaktu gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi dalam sistem tenaga listrik.

Gangguan hubung singkat menyebabkan terjadinya intrupsi kontinuitas pelayanan daya kepada konsumen apabila gangguan itu dapat mengakibatkan terputusnya suatu rangkaian (sircuit) atau menyebabkan keluarnya satu unit pembangkit dalam sistem tenaga, penurunan tegangan yang cukup besar menyebabkan rendahnya kualitas tenaga listrik dan merintang kerja normal pada peralatan konsumen, pengurangan stabilitas sistem dan menyebabkan kerusakan pada peralatan. Gangguan terdiri dari gangguan temporer (sementara) atau permanent. Kebanyakan gangguan temporer diamankan dengan circuit breaker (CB) atau pengaman yang lainnya. Gangguan permanen adalah gangguan yang menyebabkan kerusakan 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 mengakibatkan hubung singkat. Gangguan permanen semua menyebabkan pemutusan/gangguan pada konsumen.

Menurut *IEC 909* dan standar yang terkait mengklarifikasi hubung singkat dengan besarnya (maksimun dan minimum) dari titik lokasi. Arus

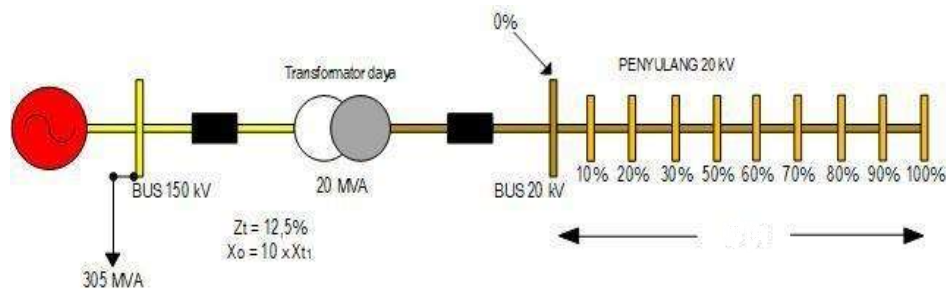
hubung singkat maksimum menentukan arus rating peralatan, sementara itu arus minimum menentukan pengaturan alat proteksi. Standar ini adalah kalkulasi dari hubung singkat dan rating peralatan dengan rating tegangan sistem sampai 240 kV dan frekuensi dari 50-60 Hz. Yang meliputi gangguan tiga fasa, fasa-fasa, dan satu fasa ke tanah.

2.4 Perhitungan Impedansi

Dalam menghitung impedansi dikenal tiga macam impedansi urutan yaitu:

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

Untuk menghitung nilai impedansi yang terdapat pada penghantar di jaringan. Terlebih dahulu dimiliki nilai impedansi ohm per kilometer dari jenis penghantar yang dipakai pada jaringan tersebut. Nilai nilai impedansi ohm per kilo meter 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.



Gambar 2. 1 Impedansi Penghantar

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 diperoleh dengan menggunakan rumus:

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

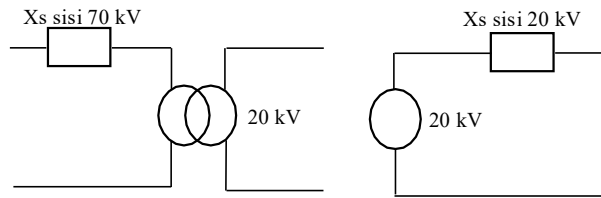
Dimana :

X_s = Impedansi sumber (ohm)

kV = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

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

Arus hubung singkat di sisi 20 kV diperoleh dengan cara terlebih dahulu mengkonversihkan 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:



Gambar 2. 2 Konversi X_s dari 70 kV ke 20 kV

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

Impedansi Transformator

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

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

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

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 menggunakan rumus :

$$X_t = \% \text{ yang diketahui} \times X_t \text{ (pada 100\%)} \dots\dots\dots (2.4)$$

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

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

Impedansi Penyulang

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

$$z = (R + jX)\Omega/\text{km} \dots\dots\dots(2.5)$$

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

$$Z_n = n \times L \times Z/\text{km} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

Z_n = Impedansi penyulang sejauh % panjang penyulang
(ohm)

N = Lokasi gangguan dalam % panjang penyulang

L = panjang penyulang (KM)

Z_1/km = Impedansi penyulang tiap km

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

Impedansi Ekvivalen Jaringan

Perhitungan yang dilakukan di sini adalah berhitungannya nilai impedansi ekivalen positif, negatif dan nol dari titik gangguan sampai ke sumber. Karena dari sejak sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri maka perhitungan $Z_{1\text{ekivalen}}$ dan $Z_{2\text{ekivalen}}$ dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut, sedangkan untuk perhitungan $Z_{0\text{ekivalen}}$ dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo

tenaga yang trafo tenaganya ditanahkan. Akan tetapi untuk menghitung impedansi ini, harus diketahui dulu belitan trafonya.

Untuk menghitung impedansi ekivalen urutan positif dan urutan negatif menggunakan persamaan :

$$Z_s + Z_T + Z_L$$

$$Z_{1 \text{ ekivalen}} = Z_{2 \text{ ekivalen}} = Z_{S1} + Z_{tl} + Z_{1 \text{ penyalang}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

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

$Z_{2 \text{ ekivalen}}$ = impedansi ekivalen urutan jaringan negatif (ohm)

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

Z_{tl} = impedansi travo tenaga urutan positif dan negatif (ohm)

Z_1 = impedansi urutan positif dan negatif (ohm)

Sedangkan untuk menghitung impedansi urutan nol digunakan persamaan berikut :

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

$$Z_{0 \text{ ekivalen}} = Z_{t0} + 3 R_N + Z_{0 \text{ penyalang}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

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

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

R_N = impedansi tanah travo 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 di peroleh nilai besaran-besaran listrik yang dihasilkan akibat yang gangguan hubung singkat tersebut. Analisa gangguan hubung singkat diperlukan untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik waktu perencanaan maupun setelah sistem beroperasi. Tujuan dari perhitungan gangguan hubung singkat adalah untuk menghitung nilai kedip tegangan yang terjadi akibat gangguan 3 fasa (L-L-L), fasa ke fasa (L-L) dan 1 fasa ke tanah (L-G).

Arus Gangguan Hubung Singkat 3 fasa dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I = \frac{V_{phasa}}{Z_{1eq}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

I = Arus gangguan 3 fasa

V_{phasa} = Tegangan fasa – netral sistem 20 kV = $\frac{20000}{\sqrt{3}}$ V

Z_{1eq} = Impedansi urutan positif

Arus gangguan hubung singkat 2 fasa di atas dapat disederhanakan sebagai berikut:

$$I_{2fasa} = \frac{v_{ph-ph}}{2 \times Z_{1eq} Z_{2eq}} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

I_{2fasa} = Arus gangguan 2 fasa

$$\begin{aligned}
 V_{ph-ph} &= \text{Tegangan sistem 20 kV} \\
 Z_{1eq} &= \text{Impedansi urutan positif} \\
 Z_{2eq} &= \text{Impedansi urutan negatif}
 \end{aligned}$$

Arus gangguan hubung singkat satu fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$I_{Fasa} = \frac{3 \times v_{ph}}{2 \times Z_{1eq} + Z_{0eq}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

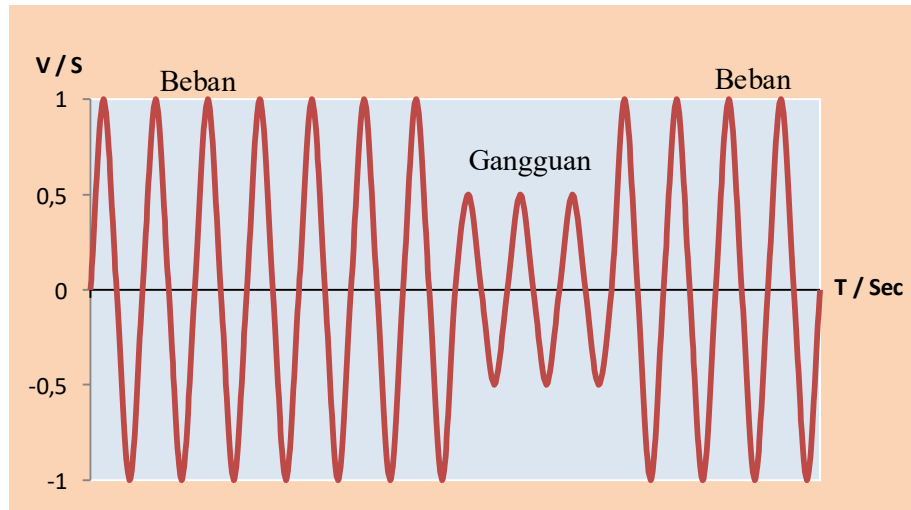
$$\begin{aligned}
 I_{fasa} &= \text{Arus gangguan 1 fasa} \\
 V_{ph} &= \text{Tegangan fasa – netral sistem 20 kV} = \frac{20000}{\sqrt{3}} \text{ V} \\
 Z_{1eq} &= \text{Impedansi urutan positif} \\
 Z_{0eq} &= \text{Impedansi urutan nol}
 \end{aligned}$$

2.6. Kedip Tegangan (Voltage Sag)

Kedip tegangan adalah penurunan besaran tegangan efektif (V_{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 *transien* yang dihasilkan oleh petir, *switching* dari kapasitor dan 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 komponen dasar, monitoring dan tegangan kedip, pembuatan modul dan analisis, aplikasi dan

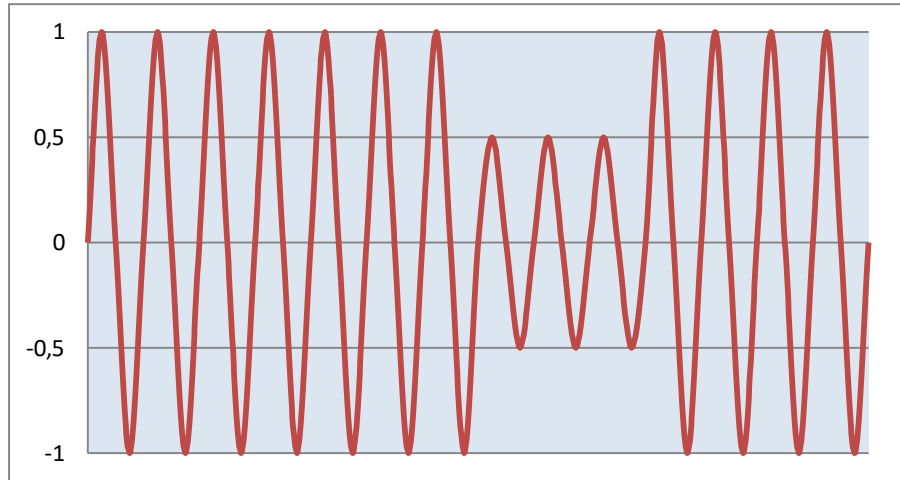
penyelesaian masalah. Perbaikan kualitas daya sebagian besar dilakukan pada sistem distribusi. Akibat penurunan tegangan, peralatan yang sensitive terhadap perubahan tegangan dapat mengalami gagal operasi

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 pembagian durasi yang direkomendasi oleh organisasi teknik internasional. Tegangan kedip pada umumnya disebabkan oleh kegagalan sistem daya yang terjadi pada lokasi yang jauh, kegagalan 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 mengalami gangguan biasanya dengan waktu berkisar 5 sampai 6 *cyle*, dimana merupakan total waktu penghilangan gangguan berkisar antara 3 sampai 30 *cyle* tergantung magnitudo arus gangguan dan jenis peralatan proteksi arus lebih



Gambar 2. 3 Diagram satu garis simulasi tegangan kedip

Seperti yang terlihat pada gambar 2.6 diatas, adalah impedansi sumber dan Z_F adalah impedansi di antara *point of common coupling* (PCC) dengan lokasi terjadinya titik gangguan dan beban disuplai. Perbedaan magnitudo dan pergeseran fasa dapat terjadi saat tegangan kedip berlangsung. Kedua besaran itu merupakan besaran dari tegangan kedip. Bentuk gelombang saat terjadi tegangan kedip dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. 4 Gelombang terjadinya tegangan kedip

A. Kedip Tegangan Untuk Gangguan 3 Fasa

$$V_{dip3fasa} = \sqrt{(n \cdot Z_I)^2 \times I_{3fasa}^2 \times \sqrt{3}}$$

Keterangan:

n = Lokasi gangguan (%)

Z_I = Impedansi penyulang Sakura urutan positif (Ohm)

I_{3fasa} = Arus hubung singkat tiga fasa (A)..... (2.12)

B. Kedip tegangan untuk gangguan fasa-fasa

1. Tegangan Urutan Saat Gangguan Fasa-Fasa.

a. Tegangan Urutan Positif.

$$V_{1\text{ riel}} = V_{\text{bus+}} - I_{F2\phi} \times Z_{\text{penyulang}} \cos(\alpha)$$

$$V_{1\text{ imj}} = 0 - I_{F2\phi} \times Z_{\text{penyulang}} \sin(\alpha)$$

$$V_1 = \sqrt{(V_{1\text{ riel}})^2 + (V_{1\text{ imj}})^2} \arctan (V_{1\text{ riel}}/V_{1\text{ imj}}) \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

V_1 = Tegangan Positif Riel Dan Imaginer

$V_{\text{bus+}}$ = 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

α = Penjumlahan Sudut Arus Dan Impedansi

b. Tegangan Urutan Negatif

$$V_{2\text{ riel}} = V_{\text{bus-}} - I_{f2\phi} \times Z_{\text{penyulang}} \cos (\alpha)$$

$$V_{2\text{ imj}} = V_{\text{bus-}} - I_{f2\phi} \times Z_{\text{penyulang}} \sin (\alpha)$$

$$V_2 = \sqrt{(V_{2\text{ riel}})^2 + (V_{2\text{ imj}})^2} \arctan (V_{2\text{ imj}} / V_{2\text{ riel}}) \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

V_2 = Tegangan Urutan Positif Riel Dan Imaginer

$V_{\text{bus-}}$ = 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)

2. Tegangan Tiap Fasa Ketika Tejadi Gangguan

a. Tegangan Fasa R

$$V_{R\text{ riel}} = V_{1\text{ riel}} + V_{2\text{ riel}}$$

$$V_{R\text{ imj}} = V_{1\text{ imj}} + V_{2\text{ imj}}$$

$$V_R = \sqrt{(V_{R\text{ riel}})^2 + (V_{R\text{ imj}})^2} \text{ arc tan } (V_{R\text{ imj}} / V_{R\text{ riel}}) \dots \dots \dots (2.15)$$

b. Tegangan Fasa S

$$V_{S\text{ riel}} = V_1 \text{ Cos } (240 + \beta) + V_2 \text{ Cos } (120 + \beta)$$

$$V_{S\text{ imj}} = V_1 \text{ Sin } (240 + \beta) + V_2 \text{ Sin } (120 + \beta)$$

$$V = \sqrt{(V_{S\text{ riel}})^2 + (V_{S\text{ imj}})^2} \text{ arc tan } (V_{S\text{ imj}} / V_{S\text{ riel}}) \dots \dots \dots (2.16)$$

c. Tegangan T

$$V_{T\text{ riel}} = V_1 \text{ Cos } (240 + \beta) + V_2 \text{ Cos } (120 + \beta)$$

$$V_{T\text{ imj}} = V_1 \text{ Sin } (240 + \beta) + V_2 \text{ Sin } (120 + \beta)$$

$$V = \sqrt{(V_{T\text{ riel}})^2 + (V_{T\text{ imj}})^2} \text{ arc tan } (V_{T\text{ imj}} / V_{T\text{ riel}}) \dots \dots \dots (2.17)$$

Maka kedip tegangan akibat gangguan 2 fasa, fasa S dan fasa T adalah :

$$V_{S-T} = \sqrt{(V_{S\text{ riel}})^2 + (V_{T\text{ riel}})^2 + (V_{S\text{ imj}})^2 + (V_{T\text{ imj}})^2} \text{ arc tan } (V_{S\text{ imj}} - V_{T\text{ imj}}) / (V_{S\text{ riel}} - V_{T\text{ riel}}) \dots \dots \dots (2.18)$$

C. Kedip Tegangan Untuk Gangguan 1 Fasa Ke Tanah

a. Tegangan Urutan Positif

$$V_{+ \text{ riel}} = V_{\text{bus}} - (I_{f1\phi} / 3) \times Z_{+ \text{ penyulang}} \text{ Cos } (\alpha)$$

$$V_{+ \text{ imj}} = 0 - (I_{f1\phi} / 3) \times Z_{+ \text{ penyulang}} \text{ Sin } (\alpha) \dots \dots \dots (2.19)$$

Dimana :

V_{+} = tegangan urutan positif (Volt)

$V_{\text{bus}+}$ = tegangan urutan di bus positif = 20 kV

$I_{f1\phi}$ = arus hubung singkat satu fasa ke tanah (Ampere)

$Z_{\text{penyulang}}$ = impedansi penyulang sesuai lokasi gangguan yang dipilih (Ω)

α = penjumlahan sudut arus dan impedansi

b. Tegangan Urutan Negatif

$$V_{-riel} = - (I_{fl\phi} / 3) \times Z_{-penyulang} \cos (\alpha)$$

$$V_{-imj} = - (I_{fl\phi} / 3) \times Z_{-penyulang} \sin (\alpha) \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

V_{-} = tegangan urutan positif (Volt)

$I_{fl\phi}$ = arus hubung singkat 1 fasa ketanah (ampere)

$Z_{penyulang}$ = impedansi penyulang sesuai lokasi gangguan lokasi yang dipilih (Ω)

α = penjumlahan sudut arus dan impedansi

c. Tegangan Urutan Nol

$$V_{0riel} = - (I_{fl\phi} / 3) \times Z_{0penyulang} \cos (\alpha)$$

$$V_{0imj} = - (I_{fl\phi} / 3) \times Z_{0penyulang} \sin (\alpha) \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana :

V_0 = tegangan urutan nol (Volt)

$I_{fl\phi}$ = arus hubung singkat satu fasa ke tanah (Ampere)

$Z_{0penyulang}$ = impedansi penyulang sesuai lokasi gangguan yang akan dipilih (Ω)

α = penjumlahan sudut arus dan impedansi

$$\Delta V_{riel} = V1_{riel} + V2_{riel} + V0_{riel}$$

$$\Delta V_{imj} = V1_{imj} + V2_{imj} + V0_{imj} \dots\dots\dots (2.22)$$

2.6.1 Penyebab Kedip Tegangan

Kedip tegangan berbeda dengan tegangan jatuh (*under voltage*). Durasi *under voltage* lebih dari 1 menit dapat dikontrol dengan peralatan regulasi tegangan (*voltage regulasi*). 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 regulator*). Hal ini dikarenakan motor memiliki pengaruh yang sangat merugikan ketika melakukan star 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 sistem diberi beban 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 saluran. *Voltage sags* yang disebabkan oleh arus starting memiliki karakteristik lebih dalam dan lebih lama durasi waktunya dibandingkan dengan *voltage sag* yang sebabkan oleh gangguan pada sistem

c. Gangguan Hubung Sistem 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 terjadi akibat sambaran petir, cabang pohon yang menyentuh saluran SUTM, kontak dari hewan seperti burung. Dan untuk kedip tegangan yang terjadi 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 terjadinya kedip tegangan pada penyulang yang lain dari gardu induk yang sama.

Perubahan beban secara mendadak atau penghasutan motor (*motor starting*) juga dapat menyebabkan kedip tegangan.

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 akan berpengaruh pada konsumen yang meliputi sektor : *residencia* (perumahan), komersal dan industrial. Tegangan kedip ini dapat mempengaruhi operasi beban listrik sebelum CB bekerja untuk memadam 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 penghasutan motor kapasitas besar biasanya lebih lama, tetapi amplitudo kedip tegangan tidak terlalu besar. kedip tegangan yang disebabkan oleh penghasutan motor kapasitas besar tidak cukup berpengaruh untuk menyebabkan peralatan listrik gagal beroperasi. 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.

Karakteristik operasi beberapa peralatan listrik terhadap variasi tegangan sebagai berikut:

1. Rangkaian relai dan kontaktor akan trip pada tegangan dibawah 70% tegangan nominal untuk waktu yang cepat.
2. Lampi *fluorescent* dan lampu *discharge* intensitas tinggi (HDI) akan padam pada tegangan dibawah 80% dalam 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*.

2.6.3 Toleransi Terhadap Kedip Tegangan Pada Sistem Transmisi/Disribusi

Nilai dari keip tegangan (*voltage sags*) harus diperhatikan agar tidak mempengaruhi kerja dari peralatan-peralatan elektronik ataupun peralatan-peralatan yang lainnya.

Tabel 2. 2 tipikal rentan kualitas daya 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
	<i>transsient overvoltage</i> 150-200 % - 0,2 S
Harmonik	Maks 5%(peralatan beroperasi)
kompatibilitas elektromanetik	Maks 1 V/m
batasan frekuensi	60 Hz $\pm$ 0,5
Perubahan frekuensi	1 Hz/s
tegangan tiga-fasa tak imbang	2,5%
baban tiga-fasa tak imbang	5-20%
Faktor daya	0,8-0,9
<i>Load demand</i>	0,75-0,85 (dari beban tersambung)