

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK**



**ANALISIS DAMPAK TERPUTUSNYA KAWAT NETRAL TERHADAP
JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 kV YANG MENGGUNAKAN
SISTEM MULTY GROUNDED COMMON NEUTRAL**

SKRIPSI

Disusun Oleh :

RAHMAT HIDAYAT

02.12.004



MARET 2007

REPUBLIC OF INDONESIA
DEPARTMENT OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS
1-2 OCTOBER 1965
TELEPHONE AREA NUMBER 1000000

TELEPHONE AREA NUMBER 1000000
TELEPHONE AREA NUMBER 1000000
TELEPHONE AREA NUMBER 1000000

1000000

1000000

TELEPHONE AREA NUMBER

1000000

TELEPHONE AREA NUMBER



LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS DAMPAK TERPUTUSNYA KAWAT NETRAL
TERHADAP JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 kV YANG
MENGUNAKAN SISTEM MULTY GROUNDED COMMON
NEUTRAL**

SKRIPSI

*Disusun Untuk Melengkapi dan Memenuhi Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik Elektro Strata Satu (S-1)*

Disusun Oleh :

RAHMAT HIDAYAT

NIM : 02 12 004



**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**

Ir.F. Yudi Limpraptono, MT
NIP.Y. 103 9500 274

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing,**

Ir. Taufik Hidayat, MT
NIP.Y. 1018700151

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK S-1
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

ABTRAKSI

ANALISIS DAMPAK TERPUTUSNYA KAWAT NETRAL TERHADAP JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 kV YANG MENGGUNAKAN SISTEM MULTY GROUNDED COMMON NEUTRAL

(Rahmat Hidayat, Nim 02.12.004, Teknik Elektro/T.Energi Listrik S-1)

(Dosen Pembimbing : Ir. Taufik Hidayat, MT)

Kata Kunci : Dampak Terputusnya Kawat Netral, JTM 20 kV, Sistem *Multy Grounded Common Neutral*

Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik yang menggunakan sistem bintang 4 kawat *Multy Grounded Common Neutral*, jika kawat netral hilang maka tidak akan ada lagi sistem tersebut. Karena sistem ini terselenggara dengan baik hanya jika ada saluran netral. Sehingga hilangnya kawat netral di beberapa tempat pada saluran merupakan suatu kondisi tidak normal dan akan menyebabkan resiko yang tidak baik terhadap performance operasi sistem distribusi tenaga listrik dan kualitas pelayanan beban di sisi pelanggan.

Adapun dampak-dampak yang mungkin terjadi akibat putusnya kawat netral adalah seperti tidak bekerjanya relay proteksi, rusaknya peralatan pelanggan akibat sambaran petir, dan berpengaruh terhadap tegangan pelayanan.

Sedangkan solusi-solusi yang dapat dilakukan adalah seperti memperbaiki sambungan, *bushing* netral transformator N_1 dan N_2 masing-masing disambung langsung ke kawat netral, mengubah polaritas agar $V_1 + V_2 = 0$, memperkecil tahanan pengetanahan salah satunya dengan menggunakan metode *Multy Grounded Common Neutral*, memperkecil tahanan bersama atau tahanan total yaitu melalui sistem pengetanahan kawat netral jaringan dengan menggunakan metode *MGCN* atau dengan cara memasang kawat netral diatas dengan konfigurasi jaringan tujuannya agar kawat netral yang dipasang terhindar dari tangan – tangan yang tidak bertanggung jawab, sehingga putusnya kawat netral dan akibatnya dapat ditekan/dikurangi.

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan karunia-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Skripsi ini tepat pada waktunya. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar sarjana teknik elektro di Institut Teknologi Nasional Malang.

Penyusun menyadari bahwa penyusun Skripsi ini mungkin masih jauh dari kesempurnaan, sehingga sangat diharapkan adanya saran dan masukan yang bersifat membangun dari semua pihak untuk membantu penyelesaian penyusunan Skripsi ini. Dalam penyusunan laporan Skripsi ini, penulis tak lupa mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1.
3. Bapak Ir. Taufik Hidayat, MT, selaku Dosen Pembimbing.
4. Orang Tua-ku yang tercinta dan Kakak & Kakak Ipar ku yang telah memberikan bantuan, motivasi dan do'a.
5. Ibu Irrine yang telah banyak membantu juga anak-anak Lab. Transmisi dan Daya Elektrik.
6. Seseorang yang telah menjadi bagian dalam hidup ku.
7. Anak SS V 485 c yang telah banyak menolong ku.
8. Semua pihak yang telah membantu terselesainya Skripsi ini.

Akhirnya penulis mengharapkan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, khususnya pada jurusan Teknik Elektro konsentrasi Teknik Energi Listrik.

Malang, Maret 2007

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
ABSTRAKSI.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Pembahasan.....	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Kontribusi Penelitian	3
1.6. Metode Penelitian.....	3
1.7. Sistematika Pembahasan	4

BAB II TEORI GANGGUAN PADA SISTEM TENAGA LISTRIK UNTUK JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV

2.1. Umum	5
2.2. Menentukan Impedansi Sumber	12
2.3. Menentukan Impedansi Urutan Transformator	13
2.4. Impedansi Urutan Saluran	14

2.5. Impedansi Gangguan	14
2.6. Sistem Distribusi Tenaga Listrik	14
2.7. Struktur Jaringan Distribusi Primer	17
2.7.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial	17
2.7.2. Sistem Jaringan Distribusi Loop/Ring	20
2.7.3. Sistem Jaringan Distribusi Mesh	21

BAB III DAMPAK TERPUTUSNYA KAWAT NETRAL TERHADAP

JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 KV

3.1. Umum	22
3.2. Macam-Macam Sistem Pentanahan	27
3.3. Dampak Terputusnya Kawat Netral	30
3.3.1. Dampak Terputusnya Kawat Netral Terhadap Kerja GFR pada JTM 20 kV	31
3.3.2. Dampak Terputusnya Kawat Netral Terhadap Keamanan Peralatan Pelanggan Terhadap Sambaran Petir	36
3.3.3. Dampak Terputusnya Kawat Netral Terhadap Tegangan Pelayanan	37
3.4. Sistem Multy Grounded Common Neutral	40

BAB IV ANALISA DATA

4.1. Data GI Banyudono	45
4.1.1. Transformator Daya	45

4.1.2. Penyulang	46
4.1.3. Impedansi Urutan Penghantar AAAC	47
4.2. Algoritma Perhitungan.....	48
4.3. Flowchart Perhitungan.....	51
4.4. Analisa Perhitungan untuk Trafo II Penyulang Banyudono 11 ..	52

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	60
5.2. Saran	61

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Vektor Tegangan 3 Fasa tak Seimbang dan Komponen Simetrisnya.....	6
Gambar 2-2	Komponen Simetris.....	7
Gambar 2-3	Fasor tak Simetris dari Komponen Simetris	8
Gambar 2-4	Operator a.....	9
Gambar 2-5	Diagram Satu Garis Penyaluran Energi Listrik ke Pelanggan ..	15
Gambar 2-6	JTM, JTR dan Sambungan Rumah ke Pelanggan.....	16
Gambar 2-7	Bentuk Sederhana dari Sistem Distribusi Radial	18
Gambar 2-8	Bagan JTM sistem Distribusi Radial	19
Gambar 2-9	JTM Struktur Loop yang Dipasok dari Satu Sumber	20
Gambar 2-10	JTM Struktur Mesh	21
Gambar 3-1	Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Kestanah.....	24
Gambar 3-2	Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa	25
Gambar 3-3	Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa Kestanah	26
Gambar 3-4	Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa	26
Gambar 3-5	Gambar Rangkaian untuk Pentanahan Netral Langsung (Solid)	28
Gambar 3-6	Gambar Rangkaian untuk Pentanahan Netral Melalui Tahanan (Resistansi)	29
Gambar 3-7	Gambar Rangkaian untuk Pentanahan Netral Mengambang (Floating).....	30

Gambar 3-8	Gambar JTM 20 kV dengan Kawat Netral	30
Gambar 3-9	Gambar JTM 20 kV tanapa Kawat Netral	31
Gambar 3-10	Kawat Netral Sebagai Pengaman Peralatan Terhadap Sambaran Petir	36
Gambar 3-11	Rangkaian Ekivalen JTM 20 kV.....	37
Gambar 3-12	Rangkaian Ekivalen Putusnya Jamperan Netral Ke Grounding	38
Gambar 3-13	Rangkaian Ekivalen Saat Kawat Netral JTM pada Trafo Distribusi Sisi Primer Putus	39
Gambar 3-14	Rangkaian Ekivalen Saat Jumper Grounding Trafo Distribusi Sisi Tegangan Menengah Putus.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 4-1	Rating Transformator Daya Pada GI Banyudono	45
Tabel 4-2	Penyulang-penyulang yang Dicatu GI Banyudono	46
Tabel 4-3	Impedansi Urutan Penghantar AAAC.....	47
Tabel 4-4	Perhitungan Untuk Trafo II Penyulang Banyudono 11.....	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam operasi sistem tenaga listrik terjadinya gangguan tidak dapat dihindarkan. Gangguan terjadi dapat dikarenakan adanya kejadian secara acak dalam sistem yang dapat berupa berkurangnya kemampuan peralatan, meningkatnya beban dan lepasnya peralatan-peralatan yang tersambung ke sistem. Gangguan yang sering terjadi pada saluran distribusi adalah gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah yang sifatnya temporer, sehingga untuk mengatasinya digunakan *Ground Fault Relay (GFR)* sebagai pendeteksi gangguan yang dikoordinasikan dengan *Recloser*. Sehubungan dengan banyaknya kawat netral yang terputus dikhawatirkan akan berakibat pada mengecilnya arus gangguan sampai dibawah nilai arus setting GFR, sehingga peralatan proteksi tidak akan bekerja saat terjadi gangguan dan ini sangat berbahaya bagi keselamatan manusia dan lingkungan sekitar.

Akibat yang paling berbahaya dari putusnya kawat netral adalah meningkatnya tegangan sentuh, sedangkan upaya yang telah dilakukan yaitu dengan menggunakan sistem pengetanahan kawat netral jaringan dengan sistem *MGCN*. Sistem *Multy Grounded Common Neutral* identik dengan sistem tiga fasa empat kawat. Akan tetapi sistem ini tidak mampu mengatasi putusnya kawat netral akibat perbuatan tangan-tangan yang tidak bertanggung jawab, sehingga sistem pengetanahan ini menjadi tidak berarti sama sekali terutama jika peralatan

rele pengamannya mengalami kegagalan operasi dan kawat netral yang ada putus seluruhnya.

1.2. Rumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang diatas, maka permasalahan yang timbul adalah :

Sejauh mana penurunan arus gangguan hubung singkat dan dampaknya terhadap tegangan pelayanan yang diakibatkan putusnya kawat netral dan selanjutnya memberikan alternatif upaya tindakan yang mungkin bisa dilakukan guna mengatasi permasalahan yang sedang dihadapi. Sehubungan dengan hal itu, maka skripsi ini diberi judul :

**“ANALISIS DAMPAK TERPUTUSNYA KAWAT NETRAL TERHADAP
JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 kV YANG MENGGUNAKAN
SISTEM MULTY GROUNDED COMMON NEUTRAL”**

1.3. Tujuan

Tujuan dari skripsi ini adalah:

1. Menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat.
2. Untuk menganalisa dampak yang mungkin ditimbulkan akibat terputusnya kawat netral Jaringan Tegangan Menengah 20 kV.
3. Mencari solusi terbaik yang bisa dikerjakan sehubungan dengan adanya kendala yang dihadapi pada saat akan dilakukan kembali pemasangan kawat netral yang putus.

1.4. Batasan Masalah

Dalam pembahasan masalah ini tidak terlalu luas perlu ditetapkan batasan masalah, sebagai berikut :

1. Analisa hanya dilakukan pada kasus terputusnya kawat netral Jaringan Udara Tegangan Menengah 20 kV.
2. Sistem yang digunakan adalah Sistem Multy Grounded Common Neutral.
3. Analisis perhitungan dilakukan secara manual dan program MATLAB.
4. Sistem yang ditinjau adalah GI.Banyudono Surakarta Penyulang Banyudono 11.

1.5. Kontribusi Penelitian

Dengan adanya analisa ini diharapkan dapat memberikan alternatif pemecahan masalah akibat terputusnya kawat netral Jaringan Tegangan Menengah 20 kV dan mencari solusi terbaik yang mungkin bisa dikerjakan sehubungan dengan adanya kendala yang dihadapi pada saat akan dilakukan kembali pemasangan kawat netral yang putus.

1.6. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam pembahasan skripsi adalah :

1. Studi literatur, yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan.
2. Pengambilan data sebagai acuan dalam melengkapi parameter-parameter yang digunakan untuk menganalisis masalah.

1.7. Sistematika Pembahasan

Pembahasan dalam skripsi ini dibagi menjadi beberapa bab dan di susun sebagai berikut :

- BAB I : Merupakan pendahuluan yang meliputi : latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, kontribusi penelitian, metode penelitian.
- BAB II : Membahas tentang teori gangguan pada sistem tenaga listrik untuk jaringan distribusi 20 kV.
- BAB III : Membahas tentang dampak terputusnya kawat netral terhadap jaringan tegangan menengah 20 kV.
- BAB IV : Membahas tentang analisa data.
- BAB V : Merupakan penutup berisikan kesimpulan dan saran.

BAB II

**TEORI GANGGUAN PADA SISTEM TENAGA LISTRIK
UNTUK JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV**

2.1. Umum

Suatu sistem tenaga listrik dalam keadaan normal adalah berupa sistem tiga fasa yang seimbang. Keadaan seimbang ini akan terganggu atau terjadi ketidakseimbangan sistem bila terjadi gangguan atau hubung singkat pada komponen-komponen sistem tenaga listrik atau pembebanan yang tidak seimbang.

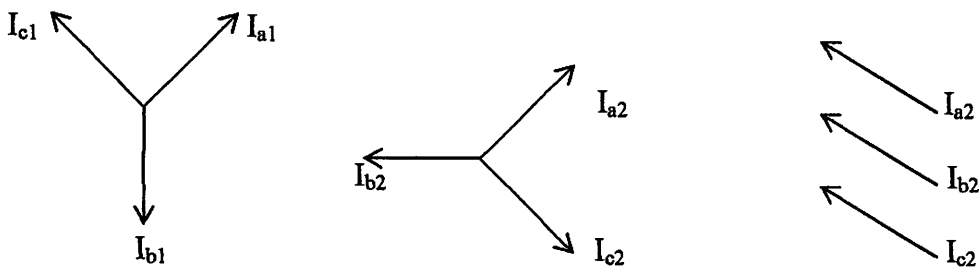
Isolasi yang tembus pada titik kerja tertentu atau terjadi kontak antara dua atau lebih konduktor yang bertegangan, merupakan sebab-sebab terjadinya gangguan atau hubung singkat pada generator-generator atau motor-motor. Gangguan timbul diakibatkan terjadi hubung singkat antara belitan dan alur yang sama atau antara belitan dengan rumah mesin karena isolasinya tembus.

Hal ini yang seperti pada generator atau motor dapat terjadi pada transformator-transformator. Pada saluran udara yang terdiri dari konduktor-konduktor telanjang, gangguan biasanya disebabkan oleh angin, pohon tumbang, layang-layang, burung atau kerusakan pada menara saluran transmisi kontaminasi pada isolator-isolator dan tegangan lebih akibat sambaran petir juga merupakan sebab-sebab terjadinya gangguan menurunnya kekuatan isolasi dari kabel tanah dan mengakibatkan terjadinya gangguan hubung singkat, terutama disebabkan waktu (umur kabel dan beban lebih).

Jika terjadi ketidakseimbangan pada sistem akibat adanya beban yang tidak seimbang atau terjadinya gangguan yang menyebabkan fasa tidak seimbang maka sulit kalau diselesaikan dengan metode penyelesaian biasa. Untuk permasalahan seperti ini dapat diselesaikan dengan suatu metode yaitu metode komponen simetris. Dengan menggunakan metode komponen simetris ini analisa sistem tenaga listrik yang mengalami gangguan dan menyebabkan sistem menjadi tak seimbang dapat ditentukan secara tepat.

Gambar 2-1 berikut ini memperlihatkan vektor tegangan tiga fasa tak seimbang dan komponen simetrisnya.

GAMBAR 2-1
VEKTOR TEGANGAN TIGA PHASA TAK SEIMBANG DAN
KOMPONEN SIMETRISNYA



Sumber : William D. Stevenson, Jr. Edisi Keempat : 261

2.1.1. Komponen Simetris

Komponen simetris digunakan untuk menganalisa gangguan yang tidak simetris, di dalam sistem tenaga listrik misalnya untuk hubung singkat satu fasa ketanah, gangguan hubung singkat dua fasa dan gangguan hubung singkat tiga fasa. Pada sistem tenaga listrik tiga fasa apabila sistem tiga fasa yang tidak

simetris, maka dapat diuraikan menjadi tiga buah sistem simetris yang masing-masing terdiri dari tiga vektor.

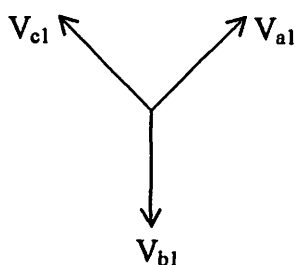
Himpunan simetris dari komponen-komponen itu adalah : (*William D. Stevenson, Jr. Edisi Keempat : 260*)

1. Komponen urutan positif yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya.
2. Komponen urutan positif yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya.
3. Komponen urutan nol yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan dengan penggeseran fasa nol antara fasor yang satu dengan yang lain.

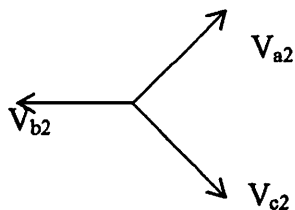
Gambar 2-2 dan 2-3 berikut ini memperlihatkan vektor komponen simetris dan fasor tak simetris dari komponen simetris.

GAMBAR 2-2

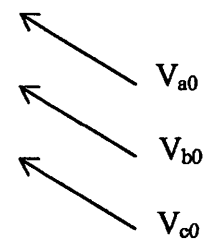
KOMPONEN SIMETRIS



Komponen Urutan Positif



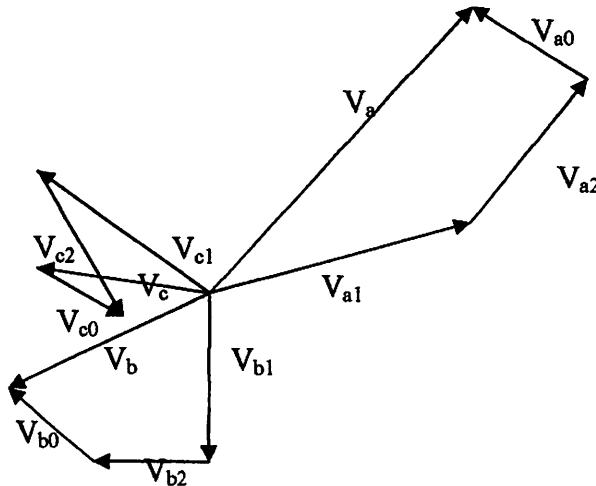
Komponen Urutan Negatif



Komponen Urutan Nol

Sumber : William D. Stevenson, Jr. Edisi Keempat : 261

GAMBAR 2-3
PHASOR TAK SIMETRIS DARI KOMPONEN SIMETRIS



2.1.2. Komponen Urutan Positif, Negatif dan Nol

Suatu besaran tiga fasa yang tidak seimbang dinyatakan oleh jumlah tiga komponen yang seimbang yang terdiri atas urutan positif, negatif dan nol. Karena setiap fasor tak seimbang yang asli adalah jumlah dari komponen-komponennya. Fasor asli dinyatakan dalam suku komponennya adalah sebagai berikut :

(William D. Stevenson, Jr. Edisi Keempat : 261)

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \quad (2.1)$$

$$V_b = V_{b0} + V_{b1} + V_{b2} \quad (2.2)$$

$$V_c = V_{c0} + V_{c1} + V_{c2} \quad (2.3)$$

2.1.3. Operator “a”

Huruf a dipakai untuk menunjukkan operator yang menunjukkan suatu perputaran sebesar 120° dalam arah berlawanan arah jarum jam. Untuk operator a ini dapat didefinisikan sebagai : (William D. Stevenson, Jr. Edisi Keempat : 262)

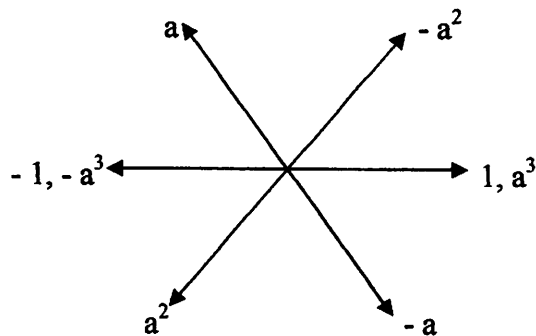
$$a = \angle 120^\circ = e^{j120} = -0,5 + j0,866$$

nilai skalar dari $|a| = 1$

Pada gambar 2-4 dapat diketahui penggunaan operator a

GAMBAR 2-4

OPERATOR a



Sumber : William D. Stevenson, Jr. Edisi Keempat : 262

Sehingga untuk berbagai kombinasi operator a diberikan pada tabel 2-1 :

(William D. Stevenson, Jr. Edisi Keempat : 262)

TABEL 2-1

KOMBINASI OPERATOR a

$$a = 1 \angle 120^\circ = -0,5 + j0,866$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ = -0,5 - j0,866$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ = 1 \angle 0^\circ = 1$$

2.1.4. Komponen Simetris Fasor Tak Simetris

Banyaknya kuantitas yang diketahui dapat dikurangi dengan menyatakan masing-masing komponen V_b dan V_c sebagai hasil kali fungsi operator a dengan komponen V_a . Dengan berpedoman pada gambar 2-2, maka kebenarannya dapat diperiksa dalam hubungan sebagai berikut :

(William D. Stevenson, Jr. Edisi Keempat : 263)

$$\begin{aligned} V_{b1} &= a^2 V_{a1} & V_{c1} &= a V_{a1} \\ V_{b2} &= a V_{a2} & V_{c2} &= a^2 V_{a2} \\ V_{b0} &= V_{a0} & V_{c0} &= V_{a0} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Dengan mengulangi persamaan (2.1) dan memasukkan persamaan (2.4) ke dalam persamaan (2.2) dan (2.3) sehingga menghasilkan :

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \quad (2.5)$$

$$V_b = a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0} \quad (2.6)$$

$$V_c = a V_{a1} + a^2 V_{a2} + V_{a0} \quad (2.7)$$

atau dalam bentuk matriks :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Untuk memudahkan kita misalkan :

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Maka, seperti dapat dibuktikan dengan mudah :

$$\mathbf{A}^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

dengan mengalikan kedua sisi persamaan (2.8) dan (2.10) diperoleh :

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Dari persamaan (2.11) diatas dapat ditulis dalam bentuk yang sederhana :

$$V_{a0} = \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) \quad (2.12)$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3} (V_a + aV_b + a^2V_c) \quad (2.13)$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3} (V_a + a^2V_b + aV_c) \quad (2.14)$$

Persamaan-persamaan untuk arus-arusnya adalah :

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \quad (2.15)$$

$$I_b = a^2I_{a1} + aI_{a2} + I_{a0} \quad (2.16)$$

$$I_c = aI_{a1} + a^2I_{a2} + I_{a0} \quad (2.17)$$

$$I_{a0} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) \quad (2.18)$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3} (I_a + aI_b + a^2I_c) \quad (2.19)$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3} (I_a + a^2I_b + aI_c) \quad (2.20)$$

Dalam sistem tiga fasa, jumlah arus saluran sama dengan arus I_n dalam jalur kembali lewat netral. Jadi,

$$I_a + I_b + I_c = I_n \quad (2.21)$$

Dengan membandingkan persamaan (2.18) dengan (2.21) kita peroleh :

$$I_n = 3 I_{a0} \quad (2.22)$$

Jika tidak ada jalur yang melalui netral dari sistem tiga fasa, I_n adalah nol, dan arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol. Suatu beban dengan hubungan Δ tidak menyediakan jalur ke netral, dan karena itu arus saluran yang mengalir ke beban yang dihubungkan Δ tidak dapat mengandung komponen urutan nol.

2.2. Menentukan Impedansi Sumber

Impedansi urutan sumber dapat ditentukan besarnya dengan beberapa cara, yaitu :

1. Jika sistem distribusi tersebut memperoleh daya melalui jaringan transmisi berpola radial yaitu generator pada pangkalnya, maka besar impedansi sumber tersebut diperoleh dengan menjumlahkan seluruh impedansi urutan komponenyang ada mulai dapat ditentukan besar impedansi urutan negatif dan urutan positifnya dan untuk urutan nol ditentukan dengan cara lain.
2. Dengan data yang diperoleh dari PLN (MVA hubung singkat) maka impedansi sumber dapat di cari dengan cara sebagai berikut :

$$X_1 = X_2 = \left[\frac{kV_2}{kV_1} \right]^2 \times \frac{(kV_1)^2}{MVA_{hs}} \quad (2.22)$$

2.3. Menentukan Impedansi Urutan Transformator

Impedansi urutan positif transformator sama dengan impedansi yang terdapat pada papan nama (dalam satuan pu). Karena dalam perhitungan hubung singkat transformator dipresentasikan sebagai induktor (elemen positif), maka impedansi urutan positif sama dengan impedansi urutan negatif.

$$Z_{1T} = Z_{2T} = Z_t \times \frac{(V_d)^2}{S_d^2} \quad (2.23)$$

Dimana :

Z_{1T} = impedansi urutan positif transformator

Z_{2T} = impedansi urutan negatif transformator

Z_t = impedansi transformator yang tertulis pada papan nama (pu)

V_d = tegangan dasar transformator

S_d = daya dasar dari transformator

Besarnya impedansi urutan transformator tergantung pada hubung transformator serta impedansi pengetanahan titik netralnya. Besarnya impedansi urutan nol pada berbagai hubung dan cara pengetanahan titik netral trafo. Untuk gardu di Indonesia biasanya digunakan hubungan Y – Y dengan titik netral yang diketanahkan pada sisi tegangan menengahnya. Dalam hal ini harga impedansi urutan nol adalah $Z_{0T} = 10 Z_T$.

2.4. Impedansi Urutan Saluran

Impedansi urutan saluran terdiri dari komponen tanahan dan komponen reaktansi, biasanya ada dua jenis saluran yang digunakan pada suatu sistem distribusi, yaitu saluran udara dan saluran bawah tanah. Pada sistem distribusi 20 kV di Jawa Timur menggunakan sistem tiga fasa dengan saluran netralnya diketanahkan.

2.5. Impedansi Gangguan

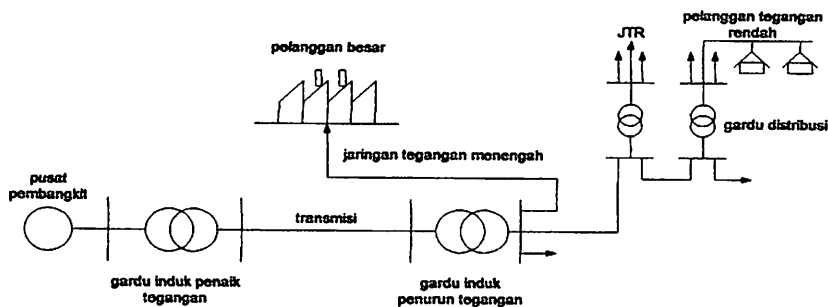
Impedansi gangguan adalah impedansi yang ada pada titik gangguan ketika gangguan tersebut terjadi. Besar impedansi gangguan tergantung pada penyebab gangguan, macam gangguan dan kondisi daerah dimana gangguan tersebut terjadi. Dengan demikian impedansi gangguan tidak dapat ditentukan secara pasti. Untuk tegangan 20 kV sampai 200 kV besarnya impedansi gangguan itu berkisar antara 0 – 35 Ω dan dianggap tahanan murni. Agar diperoleh perhitungan yang baik maka pemilihan besar impedansi gangguan untuk suatu hubung singkat dilakukan untuk berbagai harga impedansi biasanya untuk sistem yang menggunakan kabel tanah pada perhitungan digunakan besar impedansi gangguan (Z_f) 0 Ω .

2.6. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Di Indonesia tenaga listrik dibangkitkan di pusat-pusat pembangkit tenaga listrik, seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP dan PLTD yang kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan

tegangannya oleh transformator penaik tegangan (*step up transformer*) yang ada dipusat listrik. Saluran transmisi tegangan tinggi di PLN mempunyai tegangan 150 kV dan 500 kV, selanjutnya tegangan tersebut diturunkan menjadi tegangan menengah sebesar 20 kV di Gardu Induk, dengan menggunakan transformator penurun tegangan (*step down transformer*), setelah melalui jaringan distribusi, tegangan diturunkan lagi pada gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah sebesar 380/220 V untuk selanjutnya disalurkan ke pelanggan PLN. (Djiteng Marsudji, 1990 : 1)

Sebagai gambaran, diagram satu garis sistem tenaga listrik dapat diperjelas seperti gambar 2-5 berikut ini :

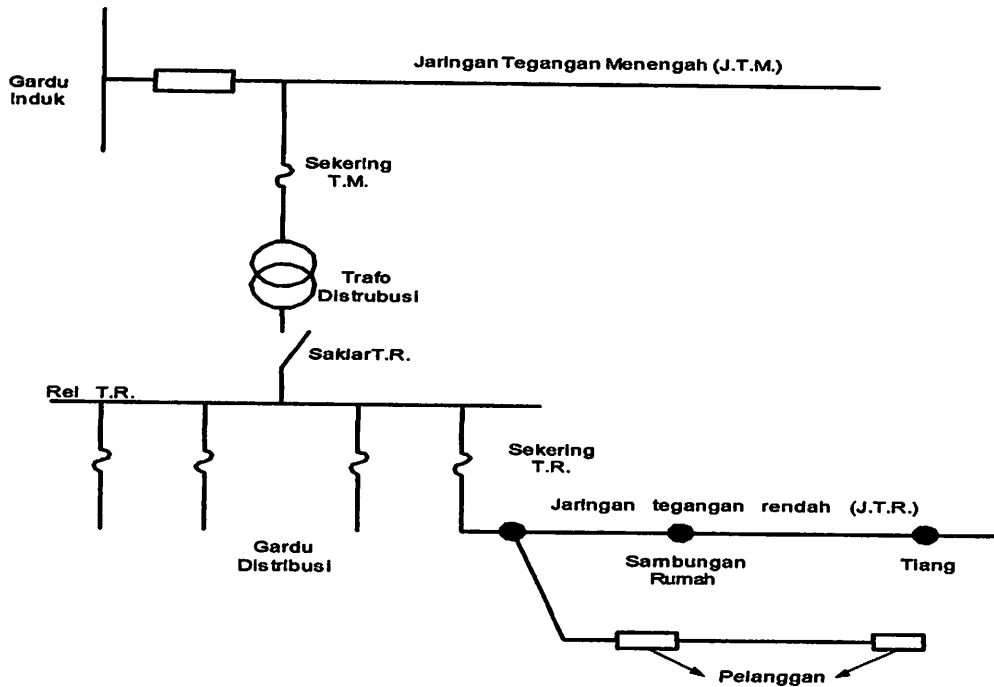


Gambar 2-5. Diagram Satu Garis Penyaluran Energi Listrik ke Pelanggan.

Sumber : Ir Hasan Basri, 1996 : 1

Jaringan distribusi berada pada akhir sistem tenaga listrik, peranannya mendistribusikan tenaga listrik dari Gardu Induk (GI) ke-konsumen melalui Gardu Distribusi. Jaringan yang keluar dari GI biasanya disebut jaringan distribusi.

Sebagai gambaran, jaringan distribusi tegangan menengah (JTM), jaringan tegangan rendah (JTR) dan sambungan rumah ke pelanggan dapat diperjelas seperti gambar 2-6 berikut ini :



Gambar 2-6. Jaringan distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan

Sumber : Djiteng Marsudji, 1990 : 3

Dalam pendistribusian tenaga listrik ke-pelanggan, tegangan yang disalurkan berbeda – beda tergantung dari besar tegangan yang dibutuhkan. Untuk konsumen industri biasanya digunakan tegangan menengah 20 kV sedangkan untuk konsumen perumahan digunakan tegangan 220/380 volt.

Dengan demikian maka sistem distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu : (*Ir Hasan Basri, 1996 : 3*)

a. Sistem Distribusi Primer

Suatu bagian dari suatu system distribusi yang terletak antara sisi sekunder trafo gardu induk sampai sisi prime trafo distribusi dengan tingkat tegangan yang digunakan adalah tegangan menengah yaitu 20 kV. Dan biasa disebut dengan sistem distribusi tegangan menengah (SUTM).

b. Sistem Distribusi Sekunder

Sistem distribusi sekunder merupakan bagian yang mendistribusikan tenaga listrik secara langsung kekonsumen dengan tegangan rendah 220/380 volt. Sistem jaringan yang biasanya digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik adalah sistem satu phasa dengan menggunakan dua kawat dan sistem tiga fasa dengan menggunakan empat kawat.

2.7. Struktur Jaringan Distribusi Primer

Pendistribusian tenaga listrik ke-konsumen dilakukan dengan menggunakan sistem jaringan distribusi atau penyulang distribusi. Bentuk sistem jaringan distribusi primer yang umum digunakan adalah sebagai berikut :

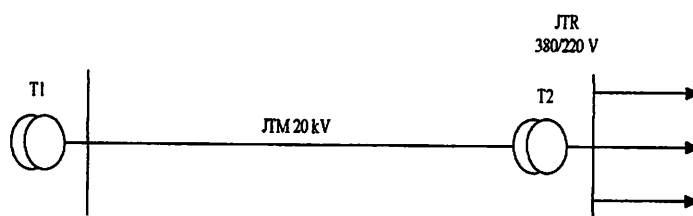
1. Sistem Jaringan Distribusi Radial
2. Sistem Jaringan Distribusi Loop / Ring
3. Sistem Jaringan Distribusi Mesh

2.7.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Sistem ini dikatakan radial karena kenyataannya bahwa

jaringan ini ditarik secara radial dari GI ke pusat-pusat beban konsumen yang dilayaninya. Pada struktur jaringan ini tidak ada alternatif pasokan tenaga listrik, karena itu tingkat keandalannya relatif rendah.

Sebagai gambaran, bentuk sederhana dari sistem distribusi radial dapat diperjelas seperti gambar 2-7 berikut ini :



Gambar 2-7. Bentuk Sederhana Dari Sistem Distribusi Radial

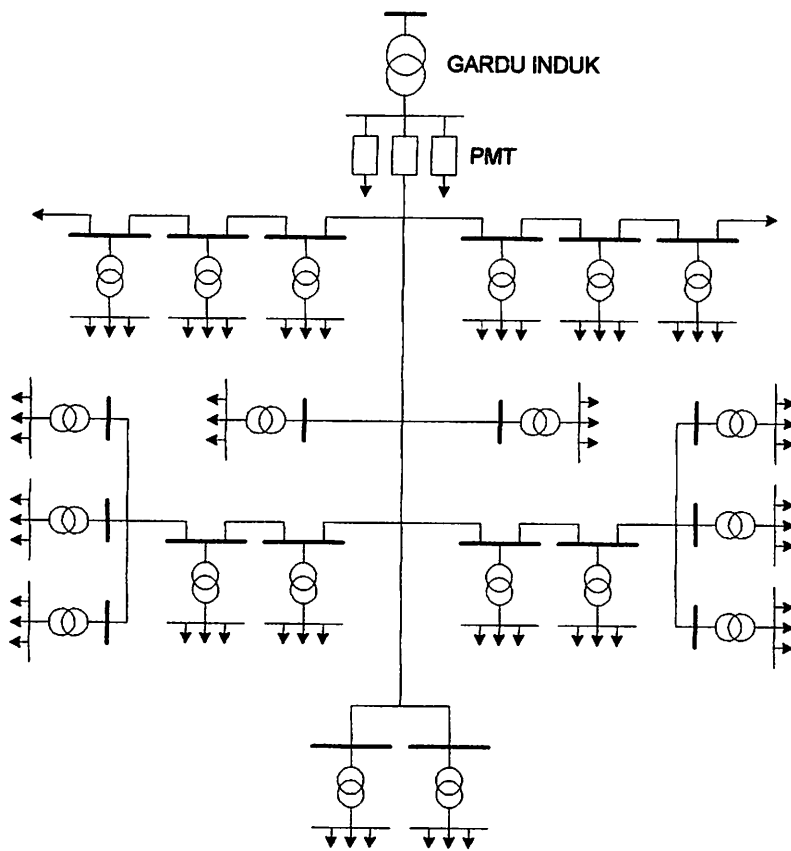
Sumber : Ir Hasan Basri, 1996 : 64

Pengaturan tegangan listrik dapat dilakukan untuk kelangsungan suplai tegangan listrik ke pelanggan. Sistem jaringan radial ganda sebagai langkah dalam usaha meningkatkan keandalan jaringan, hal ini terutama bila rute dari sirkuitnya berlainan satu sama lain. Langkah lain untuk mempertinggi tingkat keandalannya dari struktur radial adalah mengupayakan pasokan daya tidak hanya dari satu arah, walaupun pada pengoperasiannya dilaksanakan secara radial.

Bentuk yang paling umum digunakan pada sistem distribusi radial adalah seperti pada gambar dibawah ini. Dapat dilihat bahwa sebuah penyulang memasok sejumlah gardu distribusi. Jika terjadi gangguan pada jaringan tegangan menengahnya, maka pemutus beban yang ada di gardu induk akan terbuka, hal ini

menyebabkan semua gardu distribusinya akan mengalami pemadaman, maka pada penyulang dipasang peralatan pemisah seperti pelebur.

Sebagai gambaran, bagan jaringan tegangan menengah sistem distribusi radial dapat diperjelas seperti gambar 2-8 berikut ini :



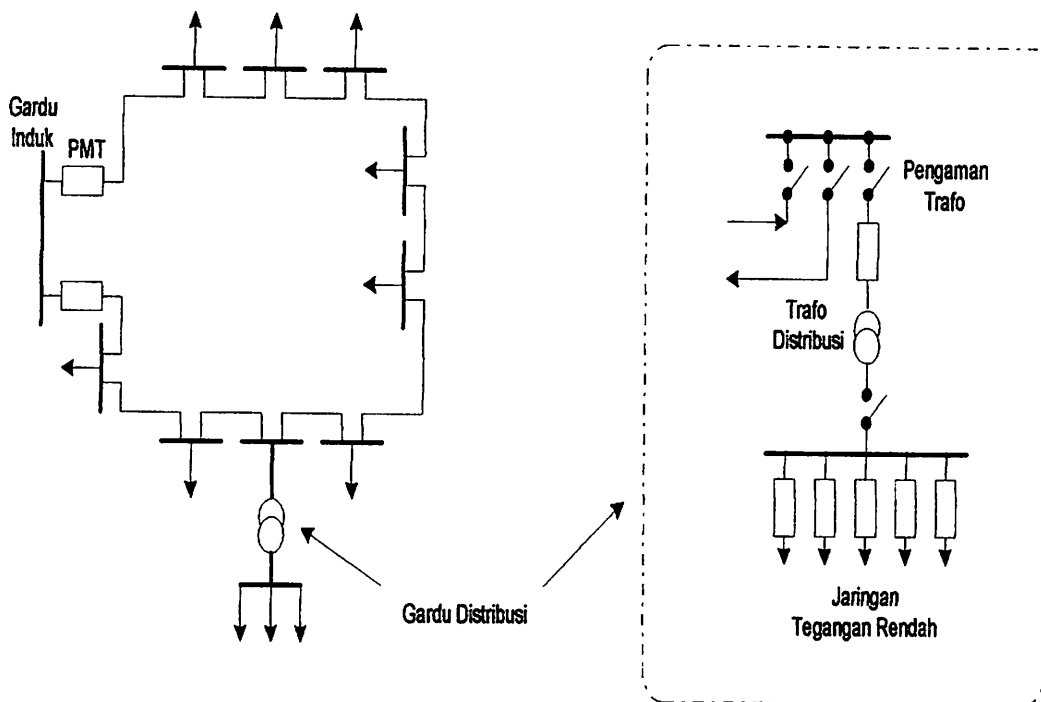
Gambar 2-8. Bagan jaringan Tegangan Menengah Sistem Distribusi Radial

Sumber : Ir. Hasan Basri, 1996 : 65

2.7.2. Sistem Jaringan Distribusi Loop / Ring

Sistem ini disebut jaringan distribusi loop karena saluran primer yang menyalurkan daya sepanjang daerah beban yang dilayani, membentuk suatu rangkaian loop / Ring.

Sebagai gambaran, jaringan tegangan menengah struktur loop yang dipasang dari satu sumber dapat diperjelas seperti gambar 2-9 berikut ini :



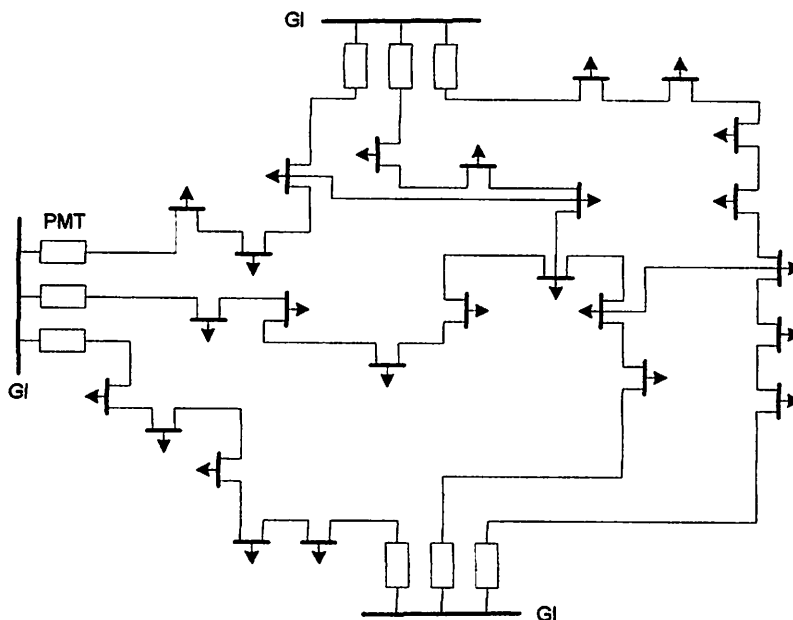
Gambar 2-9. Jaringan Tegangan Menengah Struktur Loop Yang Dipasok Dari Satu Sumber.

Sumber : Ir. Hasan Basri, 1996 : 68

2.7.3. Sistem Jaringan Distribusi Mesh

Jaringan Distribusi Mesh merupakan jaringan yang strukturnya kompleks, dimana kelangsungan penyaluran dan pelayanannya diutamakan. Struktur jaringan ini umumnya digunakan pada jaringan tegangan rendah yang kepadatan bebannya cukup tinggi.

Sebagai gambaran, jaringan tegangan menengah struktur mesh dapat diperjelas seperti gambar 2-10 berikut ini :



Gambar 2-10. Jaringan Tegangan Menengah Struktur Mesh

Sumber : Ir. Hasan Basri, 1996 : 70

BAB III

DAMPAK TERPUTUSNYA KAWAT NETRAL TERHADAP JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 KV

3.1. Umum

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, suatu gangguan dapat terjadi disebabkan antara lain kesalahan mekanis, termis dan tegangan lebih atau karena material yang cacat atau rusak, misalnya gangguan hubung singkat, gangguan ke tanah atau konduktor yang putus.

Gangguan hubung singkat tidak hanya merusak peralatan, akan tetapi juga dapat menyebabkan terganggunya tegangan fasa yang sehat dan frekuensi sistem, sehingga bisa mengganggu kerja paralel dari sumber-sumber penyuplai energi listrik.

Akibat-akibat yang menyebabkan gangguan antara lain :

1. Menginterupsi kontinuitas pelayanan daya kepada para konsumen apabila gangguan itu sampai menyebabkan terputusnya suatu rangkaian atau menyebabkan keluarnya suatu unit pembangkit.
2. Penurunan tegangan yang cukup besar menyebabkan rendahnya kualitas tenaga listrik dan merintanginya kerja normal pada peralatan konsumen.
3. Pengurangan stabilitas sistem.
4. Merusak peralatan pada daerah terjadinya gangguan itu.

Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik adalah :

1. Surja Petir atau Surja Hubung

Dari pengalaman diperoleh bahwa petir sering menyebabkan pada sistem tegangan tinggi sampai 150-220 kV. Sedangkan pada sistem diatas 380 kV, yang menjadi sebab utama ialah surja hubung.

2. Burung atau dedaunan

Jika burung atau dedaunan terbang dekat pada isolator gantung dari saluran, maka jarak *clearance* (jarak aman) menjadi berkurang sehingga ada kemungkinan terjadinya loncatan api.

3. Polusi atau debu

Debu-debu yang menempel pada isolator merupakan konduktor yang bisa menyebabkan terjadinya loncatan bunga api.

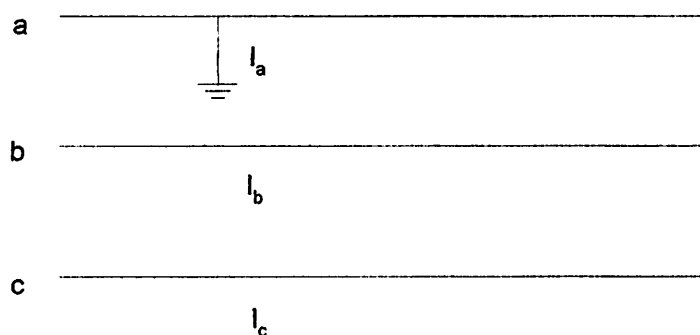
4. Pohon-pohon yang tumbuh di dekat saluran

5. Retak pada isolator

Dengan adanya retak-retak pada isolator maka secara mekanis apabila ada petir yang menyambar akan terjadi breakdown pada isolator.

Macam-macam gangguan pada sistem tenaga listrik adalah :

1. Hubung singkat satu fasa ke tanah



Gambar 3-1 Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

$$I_{af} = \frac{3V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f}$$

Dimana :

I_{af} = arus gangguan hubung singkat pada fasa a (Ampere)

V_f = tegangan gangguan hubung singkat (Volt)

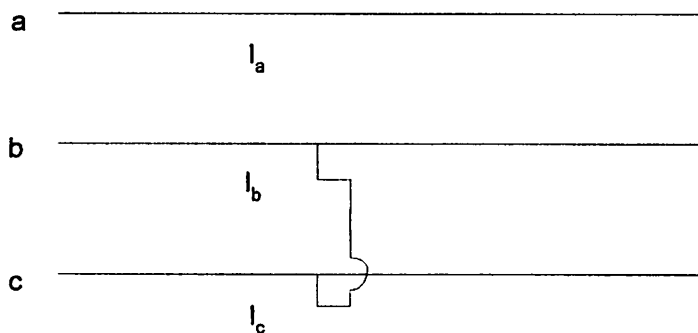
Z_0 = impedansi urutan nol (pu)

Z_1 = impedansi urutan positif (pu)

Z_2 = impedansi urutan negatif (pu)

Z_f = impedansi pada saat gangguan hubung singkat (pu)

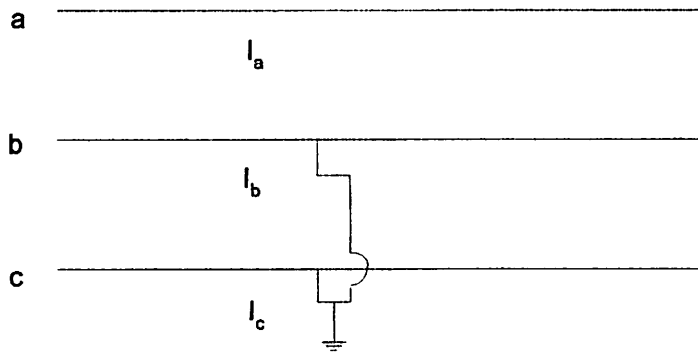
2. Hubung singkat dua fasa



Gambar 3-2 Gangguan hubung singkat dua fasa

$$I_{af} = -I_{bf} = \frac{\pm j\sqrt{3}V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f}$$

3. Hubung singkat dua fasa ke tanah



Gambar 3-3 Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah

$$I_{a1} = \frac{E \angle 0^\circ}{(Z_1 + Z_2) + \frac{(Z_2 + Z_f)(Z_0 + Z_f + 3Z_g)}{Z_0 + Z_2 + 2Z_f + 3Z_g}}$$

$$I_{a2} = - \left[\frac{Z_0 + Z_f + 3Z_g}{(Z_0 + Z_f + 3Z_g) + (Z_2 + Z_f)} \right] I_{a1}$$

$$I_{a0} = - \left[\frac{Z_2 + Z_f}{(Z_0 + Z_f + 3Z_g) + (Z_2 + Z_f)} \right] I_{a1}$$

$$I_{bf} = I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2}$$

$$I_{cf} = I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2}$$

Dimana :

E = tegangan dasar (Volt)

Z_g = impedansi fasa dari terminal kenetral pada keadaan tanpa beban (pu)

I_{a1} = arus pada urutan positif (Ampere)

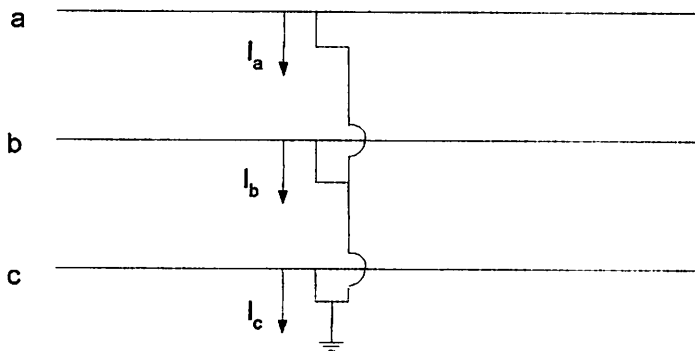
I_{a2} = arus pada urutan negatif (Ampere)

I_{a0} = arus pada urutan nol (Ampere)

$$a^2 = -0,5 + j0,866$$

$$a = -0,5 - j0,866$$

4. Hubung singkat tiga fasa



Gambar 3-4 Gangguan hubung singkat tiga fasa

$$I_{af} = I_{a1} = \frac{E \angle 0^\circ}{Z_1 + Z_f}$$

$$I_{bf} = a^2 I_{a1} = \frac{E \angle 240^\circ}{Z_1 + Z_f}$$

$$I_{cf} = a I_{a1} = \frac{E \angle 120^\circ}{Z_1 + Z_f}$$

Dimana :

$I_{af} = I_{bf} = I_{cf} =$ arus tiap fasa (Ampere)

Bila ditinjau dari segi lamanya waktu gangguan maka ada dua macam jenis gangguan, yaitu :

1. Gangguan sementara (temporer)

Apabila gangguan yang terjadi hanya pada waktu yang singkat saja, kemudian sistem kembali ke keadaan normal. Misalnya gangguan yang disebabkan oleh pohon, angin.

2. Gangguan permanen (stationer)

Gangguan ini baru dapat dihilangkan atau diperbaiki setelah bagian yang terganggu itu di isolir dengan bekerjanya pemutus daya.

3.2. Macam-macam Sistem Pentanahan

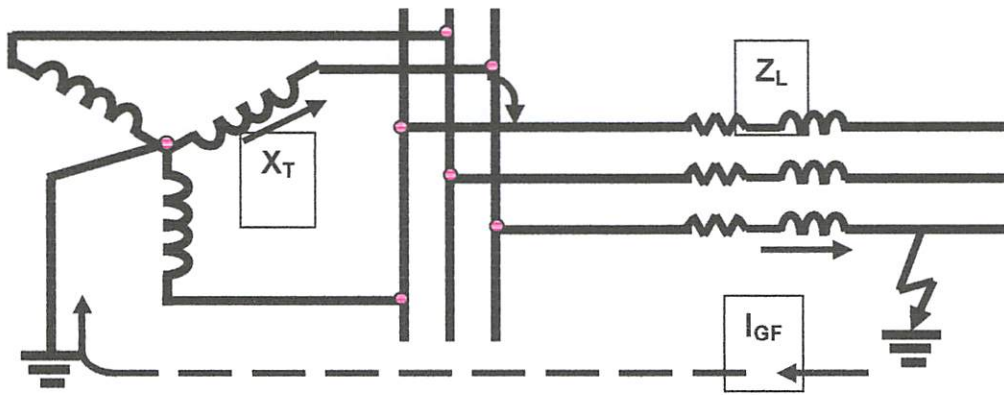
1) Pentanahan Netral Langsung (Solid)

Netral Sistem dibentuk oleh trafo 3 Fasa dengan hubungan Y yang memasok jaringan distribusi. Titik netral trafo di hubungkan langsung secara elektris ketanah. Tahanan tanah harus rendah 0,5 – 3 W. Tegangan tiap fasa- tanah harus kuat dipegang terhadap tanah, tidak geser dan kelas isolasi rendah. Arus gangguan fasa – tanah tergantung pada :

- a. Besarnya tergantung lokasi gangguan.
- b. Besarnya bisa lebih dari gangguan 3 Fasa.
- c. Relai gangguan tanah bekerja pasti dan cepat.

Arus gangguan tanah dihitung dengan memasukkan reaktansi X_T dan impedansi Z_L . Arus gangguan tanah dipakai untuk penyetelan relai arus lebih gangguan tanah. Untuk pembebanannya :

- a. Bisa single phase (Trafo 1 fasa).
- b. Bisa three phase (Trafo 3 fasa).
- c. Beban tidak seimbang, kawat netral dialiri arus beban.
- d. Pengukuran beban menggunakan meter 3 fasa 4 kawat.



Gambar 3.5. Gambar rangkaian untuk pentanahan netral langsung (Solid)

2) Pentanahan Netral Melalui Tahanan (Resistansi)

Titik netral trafo di hubungkan secara elektrik melalui tahanan ketanah.

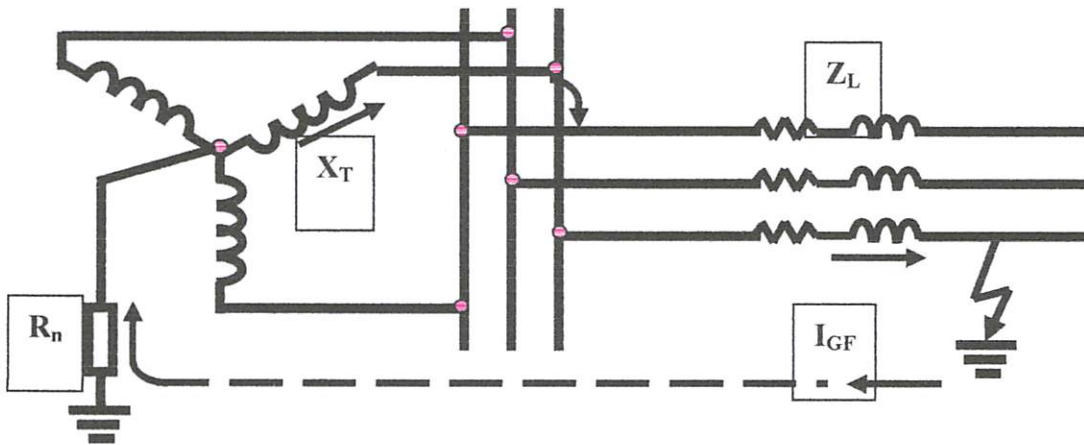
Arus gangguan fasa – tanah yang terjadi :

- a. Besar hampir sama sepanjang jaringan.
- b. Relai gangguan tanah masih pasti dan cepat.

Arus gangguan tanah dihitung dengan memasukkan tahanan $3R_N$, reaktansi X_T dan impedansi Z_L . Arus gangguan tanah dipakai untuk penyetelan

relai arus lebih gangguan tanah. Untuk pembebanannya :

- a. Tidak bisa single phase.
- b. Harus three phase (Trafo 3 fasa).
- c. Beban tidak seimbang di TR dan di TM dialiri arus urutan negatif.
- d. Pengukuran beban bisa menggunakan meter 3 fasa 3 kawat atau 3 fasa 4 kawat.



Gambar 3.6. Gambar rangkaian untuk pentanahan netral melalui tahanan (resistansi)

3) Pentanahan Netral Mengambang (Floating)

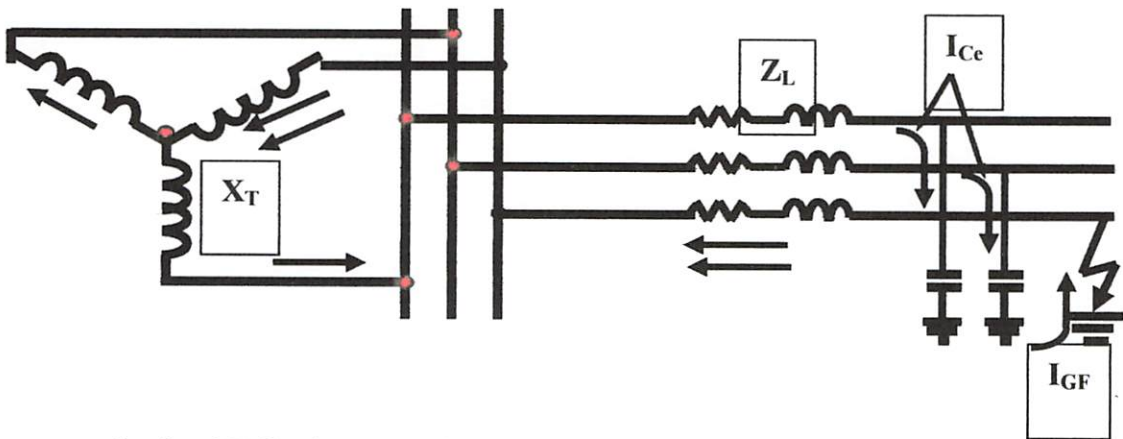
Titik netral trafo tidak dihubungkan ketanah. Arus gangguan fasa – tanah yang terjadi :

- Sebesar I_3C_e untuk gangguan di jaringan.
- Komponen kapasitif.
- Relai gangguan tanah tidak selektif.

Arus gangguan tanah tidak tergantung lokasi gangguan, besarnya tetap.

Untuk pembebanannya :

- Tidak bisa single phase.
- Harus three phase (trafo 3 fasa).
- Beban tidak seimbang di TR dan di TM dialiri arus urutan negatif .
- Pengukuran beban bisa menggunakan meter 3 fasa 3 kawat atau 3 fasa 4 kawat.



Gambar 3.7. Gambar rangkaian untuk pentanahan netral mengambang (floating)

3.3. Dampak Terputusnya Kawat Netral

Kawat netral adalah suatu kawat yang dipakai dalam sistem jaringan transmisi 20 kV yang dipasang bersama kawat fasa yang berfungsi sebagai pengetanahan dan menetralsir ketidak-seimbangan kawat fasa yang teraliri tegangan tersebut.

Dibawah ini adalah gambar Jaringan Tegangan Menengah 20 kV yang memakai kawat netral:



Gambar 3.8. Gambar JTM 20 kV Dengan Kawat Netral



Gambar 3.9. Gambar JTM 20 kV Tanpa Kawat Netral

3.3.1. Dampak Terputusnya Kawat Netral Terhadap Kerja GFR pada JTM 20 kV

Berhasilnya suatu pengaman dengan rele gangguan ke tanah sangat tergantung pada besarnya arus gangguan ke tanah. Putusnya kawat netral pada jaringan bisa menyebabkan arus gangguan ke tanah menjadi lebih kecil dari arus setting peralatan proteksi yang terpasang. Karena impedansi urutan nol saluran akan menjadi lebih besar dari pada jaringan saat kondisi normal. Hal ini akan sangat membahayakan keselamatan manusia dan juga bisa menyebabkan kerusakan pada peralatan yang tersambung ke sistem akibat tidak bekerjanya rele proteksi.

Proteksi tenaga listrik ialah pengamanan yang dilakukan pada peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada sistem tenaga listrik tersebut, misalnya pada generator, transformator, jaringan transmisi atau distribusi dan peralatan lain terhadap kondisi abnormal dari sistem itu sendiri, termasuk gangguan yang

disebabkan oleh gangguan hubung singkat. Pengamanan dilakukan dengan jalan mengisolasi bagian yang terkena gangguan.

Adapun fungsi dari sistem proteksi adalah :

- a. Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat gangguan, semakin cepat reaksi peralatan proteksi yang digunakan maka akan semakin sedikit pengaruh gangguan terhadap kemungkinan kerusakan alat.
- b. Mempercepat melokalisir daerah yang terganggu sehingga daerah yang terganggu menjadi sekecil mungkin.
- c. Untuk mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

Sistem distribusi tenaga listrik direncanakan untuk dapat melayani beban secara aman dan handal. Salah satu yang perlu diperhatikan adalah pengendalian yang baik terhadap gangguan hubung singkat yang dapat mengakibatkan terhentinya pelayanan dan kerusakan peralatan.

Pola pengaman sistem distribusi 20 kV sistem proteksi bagi saluran diselenggarakan sebagai berikut :

- a. Proteksi utama

Merupakan pemutus daya pada saluran utama di gardu induk yang dilengkapi dengan rele pengaman seperti : rele arus lebih untuk membebaskan gangguan antar phasa.

b. Saklar-saklar seksi otomatis

Berfungsi sebagai alat pemutus rangkaian untuk memisahkan saluran utama dalam beberapa seksi, demikian pula saluran cabang yang dianggap perlu guna memperkecil daerah pemadaman karena gangguan.

c. Pengaman lebur (fuse)

Dipasang pada saluran cabang yang tidak di pasang saklar-saklar otomatis dan bila dianggap perlu di pasang pula pada sisi primer trafo distribusi.

Rele merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk mengontrol rangkaian listrik secara tidak langsung dengan memakai perubahan yang terjadi pada rangkaian tersebut ataupun rangkaian lainnya.

Fungsi utama rele proteksi adalah mendeteksi keadaan yang tidak normal pada jaringan, dan mengisolir gangguan tersebut dengan memerintahkan pemutus daya bekerja.

Agar suatu rele proteksi dapat bekerja dengan baik, maka perlu beberapa persyaratan utama yang harus dipenuhi, yaitu :

a. Sensitivitas (kepekaan)

Sensitivitas merupakan kemampuan dari rele proteksi untuk bereaksi dan bekerja terhadap ketidak normalan atau gangguan yang terjadi pada sistem.

b. Selektivitas (kemampuan memilih)

Selektivitas merupakan kemampuan rele proteksi untuk bekerja bila ada gangguan yang terjadi pada daerah proteksinya. Atau dengan perkataan

lain, kemampuan rele proteksi untuk bekerja hanya memisahkan bagian yang terganggu saja.

c. Kecepatan kerja

Kecepatan kerja dari rele proteksi adalah kemampuan rele untuk bekerja sesuai dengan lama aktu yang dibutuhkan. Kemampuan sistem proteksi memisahkan gangguan secepat mungkin dari sistem akan mengurangi akibat yang ditimbulkan oleh gangguan tersebut. Selang waktu sejak dideteksinya gangguan sampai dilakukan pemisahan gangguan merupakan penjumlahan dari waktu kerja rele dan waktu kerja pemutus daya.

d. Keandalan (reliability)

Keandalan merupakan rele untuk dapat bekerja dengan baik dan benar pada segala macam kondisi. Keandalan suatu sistem proteksi dapat dibagi atas dua unsur, yaitu kemampuan rele untuk tidak bekerja bila tidak dibutuhkan dan kemampuan rele untuk bekerja dengan benar bila dibutuhkan.

Berdasarkan besaran ukur dan prinsip kerjanya rele proteksi dapat dibedakan sebagai berikut :

1. Rele arus lebih (over current relay)

Rele ini bekerja dengan menggunakan arus sebagai besaran ukur, relay ini bekerja bila ada arus mengalir melampaui batas tertentu yang telah ditetapkan.

2. Rele tegangan (voltage relay)

Rele ini bekerja dengan menggunakan tegangan sebagai besaran ukur. Rele ini akan bekerja jika rele mendeteksi penurunan tegangan atau kenaikan tegangan yang melampaui batas yang telah ditentukan.

3. Rele jarak (distance relay)

Rele ini bekerja dengan menggunakan tegangan, arus dan untuk jenis tertentu juga sudut phasa sebagai besaran ukur. Dengan membandingkan tegangan dan arus akan diperoleh impedansi. Adanya hubungan linier antara impedansi saluran dengan jarak saluran, maka rele ini akan bekerja berdasarkan lokasi gangguan.

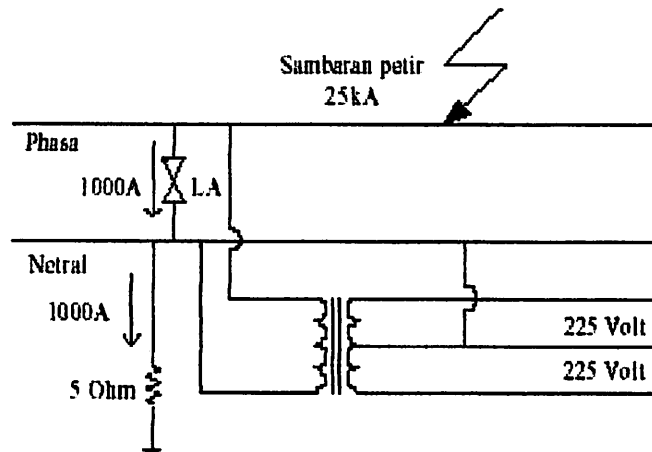
4. Rele diferensial (differential relay)

Prinsi kerja rele ini adalah membandingkan gejala listrik yang ada di kedua sisi peralatan yang diproteksi. Bila ada perbedaan antara kedua besaran tersebut melebihi harga tertentu yang telah ditetapkan, maka rele akan bekerja.

5. Rele arah (directional relay)

Rele ini bekerja dengan menggunakan arus dan tegangan sebagai besaran ukur. Rele arah mempunyai kemampuan untuk membedakan arah aliran arus. Bekerjanya rele ini hanya untuk satu arah arus yang telah ditentukan terlebih dahulu. Pemakaian pada proteksi saluran selalu bersama-sama dengan rele lain, seperti rele arus lebih atau rele jarak. Fungsinya disini untuk memperoleh selektivitas proteksi, karena arah daya pada keadaan gangguan datang dari kedua sisi saluran, seperti pada jaringan loop.

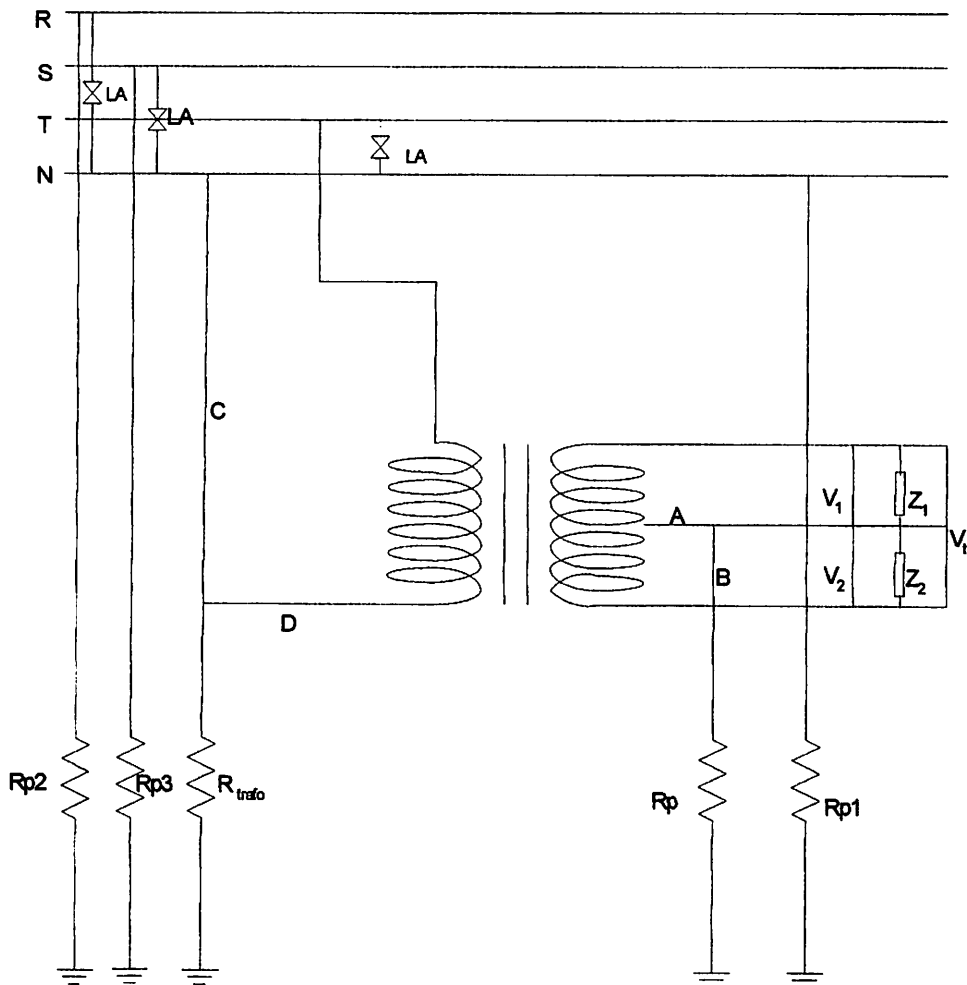
3.3.2. Dampak Terputusnya Kawat Netral Terhadap Keamanan Peralatan Pelanggan dari Pengaruh Sambaran Petir



Gambar 3.10. Kawat netral sebagai pengaman peralatan terhadap sambaran petir

Seperti ditunjukkan pada gambar diatas, sambaran petir terhadap JTM bisa menimbulkan arus gangguan yang sangat besar, untuk mengatasinya digunakan *lighting arrester (LA)* sebagai alat pengaman yang berfungsi untuk mengeliminir gangguan hubung singkat tersebut. Akan tetapi arus gangguan tersebut tidak dapat sepenuhnya dieliminir LA, sehingga perlu adanya penambahan berupa sistem pengetanahan netral yang baik yaitu, sistem pengetanahan dengan tahanan yang kecil mendekati nol atau pengetanahan langsung. Tujuannya agar arus gangguan akibat sambaran petir bisa diamankan ketanah secara sempurna.

3.3.3. Dampak Terputusnya Kawat Netral Terhadap Tegangan Pelayanan



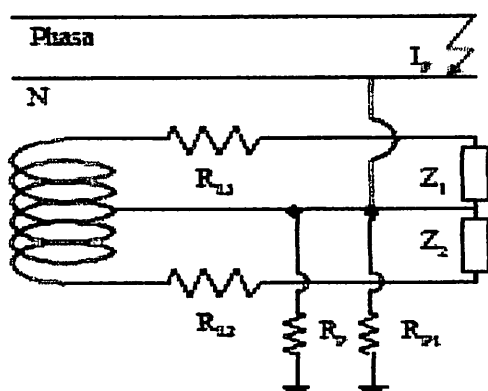
Gambar 3.11. Rangkaian ekuivalen JTM 20 kV

Dari gambar diatas, jika titik A putus maka kualitas tegangan akan terganggu. Bila $Z_1 \neq Z_2$ maka $V \neq V_2$, sehingga semakin besar perbedaan nilai impedansi antara Z_1 dan Z_2 maka semakin besar pula beda tegangan pada Z_1 dan Z_2 .

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi tegangan lebih akibat jamper netral transformator putus (titik A putus) dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Memperbaiki sambungan.
2. *Bushing* netral transformator N_1 dan N_2 masing-masing disambung langsung ke kawat netral.
3. Mengubah polaritas agar $V_1 + V_2 = 0$.

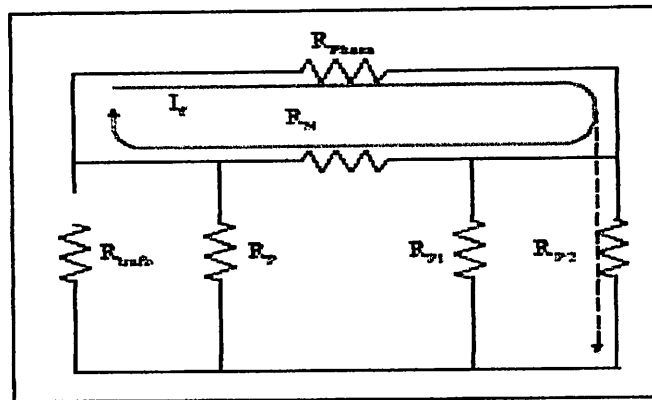
Jika titik B putus, maka akibatnya besarnya nilai tahanan pengetanahan bersama akan bertambah yang mengakibatkan tegangan sentuh menjadi lebih besar, sedangkan untuk tegangan pelayanan pada beban Z_1 dan Z_2 tidak terpengaruh oleh putusnya jumper hantaran netral ke grounding.



Gambar 3.12. Rangkaian ekivalen putusnya jamperan netral ke grounding

Solusi yang dapat dilakukan jika titik B putus adalah dengan cara memperkecil tahanan pengetanahan salah satunya dengan menggunakan metode *Multy Grounded Common Neutral*.

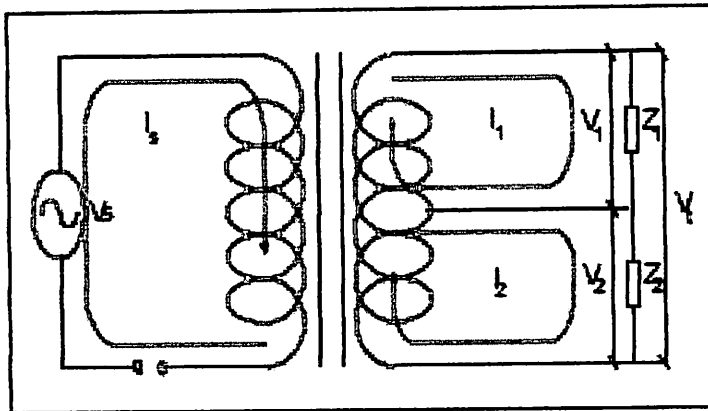
Jika kawat netral JTM pada trafo distribusi sisi primer putus (titik C pada gambar diatas putus), tidak akan berpengaruh terhadap tegangan pelayanan di sisi tegangan rendah tetapi berpengaruh terhadap nilai pengetanahan secara paralel yang berakibat tegangan sentuh menjadi lebih besar.



Gambar 3.13. Rangkaian ekivalen saat kawat netral JTM pada trafo distribusi sisi primer putus

Solusi yang dapat dilakukan jika titik C putus adalah dengan cara memperkecil tahanan bersama atau tahanan total yaitu melalui sistem pengetanahan kawat netral jaringan dengan menggunakan metode *MGCN* atau dengan cara memasang kawat netral diatas dengan konfigurasi jaringan tujuannya agar kawat netral yang dipasang terhindar dari tangan – tangan yang tidak bertanggung jawab, sehingga putusnya kawat netral dan akibatnya dapat ditekan/dikurangi.

Jika titik D putus, maka akan berakibat terhadap tegangan pelayanan sisi tegangan rendah, dimana tegangan pada sisi beban akan menjadi nol karena pada trafo sisi primer tidak ada tegangan induksi akibat terputusnya saluran suplai transformator.



Gambar 3.14. Rangkaian ekivalen saat jumper grounding trafo distribusi sisi tegangan menengah putus

Solusi yang dapat dilakukan apabila kawat D putus adalah dengan menggunakan sistem pengetanahan *Multy Grounded Common Neutral*.

3.4. Sistem Multy Grounded Common Neutral

Sistem ini menggunakan sistem bintang 4 kawat, jika kawat netral hilang maka tidak akan ada lagi sistem tersebut, karena metode ini terselenggara dengan baik hanya jika ada saluran netral, sehingga hilangnya kawat netral di beberapa tempat pada saluran merupakan suatu kondisi tidak normal dan akan menyebabkan resiko yang tidak baik terhadap performance operasi sistem distribusi tenaga listrik dan kualitas pelayanan beban di sisi pelanggan.

Sistem distribusi 20 kV tiga fasa ini dipasang dengan beberapa macam pengetanahan, yaitu :

1. Sistem distribusi 20 kV tiga fasa, 3 kawat dengan pengetanahan netral melalui tahanan tinggi.

Untuk sistem jaringannya :

- a. Tegangan nominal 20 kV.

- b. Sistem pengetanahan netral kumparan yang dihubungkan secara bintang dari trafo utama ditanahkan melalui tahanan dengan nilai tahanan sebesar 500 ohm.
- c. Konstruksi jaringan pada dasarnya adalah saluran udara yang terdiri dari :
 - Saluran utama : kawat AAAC 150 mm² 3 fasa, 3 kawat.
 - Saluran cabang : kawat AAAC 70 mm².
- d. Sistem pelayanan radial, dengan kemungkinan saluran utama antara jaringan yang bertetangga dapat saling dihubungkan dalam keadaan darurat.
- e. Pelayanan beban tiga fasa, tiga kawat dengan tegangan 20/11,6 kV dan satu fasa, 2 kawat fasa tegangan 20 kV.
- f. Sistem ini banyak dipakai di daerah Jawa Timur.

Keunikan dari sistem dengan pengetanahan netral melalui tahanan tinggi adalah :

- a. Pendekatan dari perencanaan sistem ini adalah pada distribusi dengan saluran udara, dengan jaminan keselamatan yang lebih baik. Sistem ini juga lebih kebal terhadap gangguan yang bersifat temporer.
- b. Mengingat kecilnya arus gangguan tanah, pengamanan dengan relai arus lebih normal tidak dapat dipergunakan lagi, dan harus dipakai relai arus tanah terarah yang lebih rumit dan mahal.

- c. Alat pengaman fasa tunggal tidak dapat dipergunakan untuk mengamankan gangguan satu fasa ketanah karena arus gangguannya yang kecil.
2. Sistem distribusi 20 kV tiga fasa, 4 kawat dengan pengetanahan netral secara langsung.

Untuk sistem jaringan :

- a. Tegangan nominal 20 kV.
- b. Sistem pengetanahan netral ditanahkan secara langsung sepanjang jaringan. Kawat netral dipakai bersama untuk saluran tegangan menengah dan saluran tegangan rendah dibawahnya.
- c. Konstruksi jaringannya terdiri dari :
 - Saluran utama : kawat AAC 240 mm² dan 150 mm², 3 fasa, 4 kawat.
 - Saluran cabang : kawat AAC 100 mm² & 55 mm² tiga fasa, 4 kawat dan 55 mm² & 35 mm², satu fasa, 2 kawat.
- d. Sistem pelayanan radial, dengan kemungkinan saluran utama antara jaringan yang bertetangga dapat saling dihubungkan dalam keadaan darurat.
- e. Pelayanan beban tiga fasa, 4 kawat dengan tegangan 20/11,6 kV dan fasa tunggal, 2 kawat fasa tegangan $\frac{20}{\sqrt{3}}$ kV.
- f. Sistem ini banyak dipakai di daerah Jawa Tengah.

Keistimewaan dari sistem tiga fasa, 4 kawat adalah :

- a. Sistem ini pendekatannya dimulai didasari dari daerah luar kota dimana jarak antara beban relatif jauh dari kepadatan beban rendah. Sistem ini juga lebih sesuai untuk daerah yang tahanan spesifik tanahnya relatif tinggi.
 - b. Pada sistem ini kawat netral diusahakan sebanyak mungkin dan merata ditanahkan.
 - c. Sistem pelayanan JTM terutama mempergunakan jaringan 1 fasa yang terdiri dari kawat fasa dan netral.
 - d. Dengan tiadanya tahanan netral maka arus hubung tanah menjadi relatif sangat besar.
3. Sistem distribusi 20 kV tiga fasa, 3 kawat dengan pengetanahan netral melalui tahanan rendah.

Untuk sistem jaringan :

- a. Tegangan nominal 20 kV.
- b. Sistem pengetanahannya netral kumparan TM yang dhubungkan secara bintang dari trafo utama di GI ditanahkan lewat tahanan sebesar 12 ohm.
- c. Konstruksi jaringan :
 - Saluran kabel tanah bagi daerah padat beban dan saluran udara bagi daerah luar kota.
 - Sistem saluran udara menggunakan kawat AAAC 240 mm² dan 150 mm² tiga fasa, 3 kawat bagi saluran utamanya.

- Bagi saluran cabangnya memakai kawat AAAC 70 mm² dan 35 mm² 3 fasa, 3 kawat.

d. Sistem pelayanan

Untuk daerah perkotaan digunakan sistem spindel. Sedangkan untuk daerah pedesaan menggunakan sistem radial. Pelayanan beban 3 fasa, 3 kawat.

- e. Sistem ini banyak dipakai di daerah DKI Jakarta dan Jawa Barat.

Keistimewaan sistem ini adalah :

- a. Pendekatan sistem ini adalah pada beban yang mengelompok atau dengan kepadatan beban besar.
- b. Arus gangguan fasa-tanah tidak terlalu besar.
- c. Mengingat adanya tahanan netral, maka arus gangguan tanah variasinya kecil sehingga tidak efektif bagi penggunaan relai arus lebih.
- d. Dasar pelayanan dari sistem ini adalah 3 fasa, tapi dapat juga digunakan pada sistem 1 fasa bagi beban yang ringan.
- e. Mengingat arus gangguan fasa-tanah yang kecil, maka untuk penyetelan relai arus lebih tanah, arus kapasitif perlu diperhitungkan.

BAB IV

ANALISA DATA

4.1. Data Gardu Induk Banyudono

Gardu induk Banyudono mempunyai 2 buah trafo daya untuk mencatu 11 penyulang. Transformer digunakan untuk menurunkan tegangan gardu induk 150 kV menjadi tegangan distribusi pada setiap penyulang 20 kV. Dari penyulang-penyulang dengan jaringan distribusi 20 kV ini dihubungkan ke setiap konsumen.

4.1.1. Transformator Daya

Tabel 4.1. Rating Transformator Daya pada GI Banyudono

Transformator Daya	Merk	Tegangan (kV)	Daya (MVA)	Reaktansi Trafo (%)
I	Xian	150/20	20	12,5
II	Xian	150/20	60	12,5

Sumber : PLN Distribusi Jawa Tengah, APJ Surakarta.

4.1.2. Penyulang

Tabel 4.2. Penyulang-penyulang yang dicatu dari GI Banyudono

Trafo Daya	Nama Penyulang
Trafo I	Banyudono 1
	Banyudono 2
	Banyudono 3
	Banyudono 4
	Banyudono 5
Trafo II	Banyudono 6
	Banyudono 7
	Banyudono 8
	Banyudono 9
	Banyudono 10
	Banyudono 11

Sumber : PLN Distribusi Jawa Tengah, APJ Surakarta

4.1.3. Impedansi Urutan Penghantar AAAC

Impedansi saluran terdiri dari komponen tahanan dan komponen reaktansi, biasanya ada 2 jenis saluran yang digunakan pada suatu sistem distribusi, yaitu saluran udara dan saluran bawah tanah. Pada sistem distribusi 20 kV di Jawa Tengah khususnya Surakarta menggunakan sistem 3 fasa dengan 4 kawat. Pada saluran kawat udara menggunakan jenis aluminium campuran AAAC (All Aluminium Alloy Conductor) dengan ukuran penampang 150 mm.

Tabel 4.3. Impedansi Urutan Penghantar AAAC

Penampang Nominal (mm ²)	Urat	Impedansi Urutan Positif (Ω/km)	Impedansi Urutan Nol (Ω/km)
16	7	2,0161 + j 0,4036	2,1641 + j 1,6911
25	7	1,2903 + j 0,3895	1,4384 + j 1,6770
35	7	0,9217 + j 0,3790	1,0697 + j 1,6665
50	7	0,6452 + j 0,3678	0,7932 + j 1,6553
70	7	0,4608 + j 0,3572	0,6088 + j 1,6447
95	19	0,3396 + j 0,3449	0,4876 + j 1,6324
120	19	0,2688 + j 0,3376	0,4168 + j 1,6251
150	19	0,2162 + j 0,3305	0,3631 + j 1,6180
185	19	0,1744 + j 0,3239	0,3224 + j 1,6114
240	19	0,1344 + j 0,3158	0,2824 + j 1,6033

Sumber : SPLN, 1991 :5

4.2. Algoritma Perhitungan

1. Mulai
2. Memasukkan data-data seperti tegangan dasar (V_{dasar}), daya dasar (P_{dasar}), daya gangguan (P_f), reaktansi trafo (X_t), impedansi urutan saluran.

3. Menghitung impedansi dasar.

$$Z_{dasar} = \frac{(V_{dasar})^2}{P_{dasar}} \dots\dots(\Omega)$$

4. Menghitung arus dasar.

$$I_{dasar} = \frac{V_{dasar}}{\sqrt{3} \times Z_{dasar}} \dots\dots(A)$$

5. Menghitung impedansi sumber baik pada sisi tegangan tinggi maupun sisi tegangan rendah.

- Sisi tegangan tinggi (X_{tt})

$$X_{tt} = \frac{(V_{dasar})^2}{P_f \times Z_{dasar}} \dots\dots(pu)$$

- Sisi tegangan rendah (X_{tr})

$$X_{tr} = X_t \times \frac{(V_{dasar})^2}{P_{dasar} \times Z_{dasar}} \dots\dots(pu)$$

6. Menghitung impedansi gangguan baik gangguan maksimum maupun gangguan minimum.

- Gangguan maksimum

$$Z_f = 0 \text{ pu}$$

- Gangguan minimum

$$Z_f = 35 \Omega$$

$$Z_f = \frac{Z_f}{Z_{dasar}} \dots \dots \dots (\text{pu})$$

7. Menghitung arus gangguan hubung singkat maksimum yang meliputi gangguan tiga fasa, gangguan dua fasa, gangguan satu fasa ke tanah.

- Hubung singkat satu fasa ke tanah

$$I_{af} = \frac{3V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \dots \dots \dots (\text{A})$$

- Hubung singkat dua fasa

$$I_{af} = -I_{bf} = \frac{\pm j\sqrt{3}V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \dots \dots \dots (\text{A})$$

- Hubung singkat dua fasa ke tanah

$$I_{a1} = \frac{E \angle 0^\circ}{(Z_1 + Z_2) + \frac{(Z_2 + Z_f)(Z_0 + Z_f + 3Z_g)}{Z_0 + Z_2 + 2Z_f + 3Z_g}}$$

$$I_{a2} = - \left[\frac{Z_0 + Z_f + 3Z_g}{(Z_0 + Z_f + 3Z_g) + (Z_2 + Z_f)} \right] I_{a1}$$

$$I_{a0} = - \left[\frac{Z_2 + Z_f}{(Z_0 + Z_f + 3Z_g) + (Z_2 + Z_f)} \right] I_{a1}$$

$$I_{bf} = I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2} \dots \dots \dots (\text{A})$$

$$I_{cf} = I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2} \dots \dots \dots (\text{A})$$

- Hubung singkat tiga fasa

$$I_{af} = I_{a1} = \frac{E \angle 0^\circ}{Z_1 + Z_f} \dots\dots\dots(A)$$

$$I_{bf} = a^2 I_{a1} = \frac{E \angle 240^\circ}{Z_1 + Z_f} \dots\dots\dots(A)$$

$$I_{cf} = a I_{a1} = \frac{E \angle 120^\circ}{Z_1 + Z_f} \dots\dots\dots(A)$$

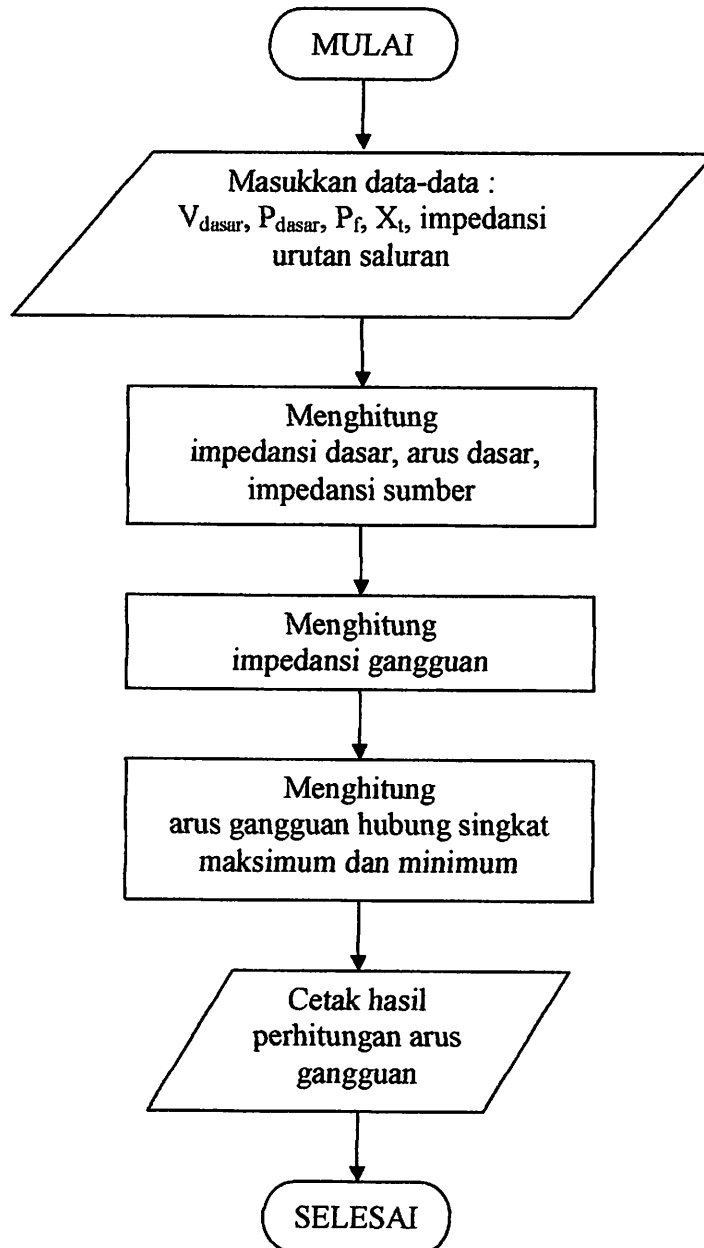
8. Menghitung arus gangguan hubung singkat minimum yang meliputi gangguan tiga fasa, gangguan dua fasa, gangguan satu fasa ke tanah.

Rumusnya sama dengan arus gangguan hubung singkat maksimum.

9. Cetak hasil perhitungan arus gangguan.

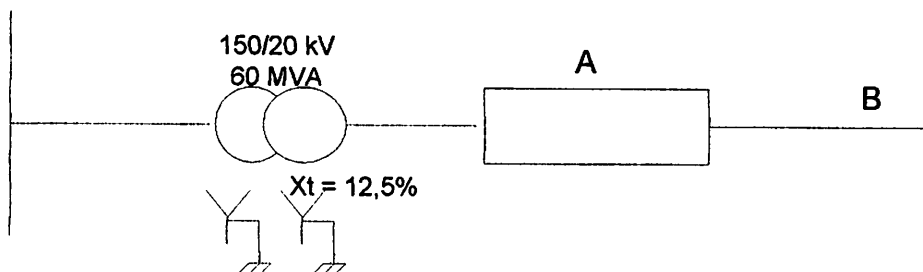
10. Selesai

4.3. Flowchart Perhitungan



4.4. Analisa Perhitungan untuk Trafo II Penyulang Banyudono 11

$P_f = 2500 \text{ MVA}$



$P_f = 2500 \text{ MVA}$

$V_{\text{dasar}} = 150/20 \text{ kV}$

$P_{\text{dasar}} = 60 \text{ MVA}$

$X_t = 12,5 \%$

- Menghitung impedansi dasar :

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{(V_{\text{dasar}})^2}{P_{\text{dasar}}} = \frac{20^2}{60} = 6,67 \Omega$$

- Menghitung arus dasar :

$$I_{\text{dasar}} = \frac{V_{\text{dasar}}}{\sqrt{3} \times Z_{\text{dasar}}} = \frac{20000}{\sqrt{3} \times 6,67} = 1733,2 \text{ A}$$

- Menghitung impedansi sumber :

- Sisi tegangan tinggi (X_{tt})

$$X_{tt} = \frac{(V_{\text{dasar}})^2}{P_f \times Z_{\text{dasar}}} = \frac{20^2}{2500 \times 6,67} = j 0,023 \text{ pu}$$

- Sisi tegangan rendah (X_{tr})

$$X_{tr} = X_t \times \frac{(V_{\text{dasar}})^2}{P_{\text{dasar}} \times Z_{\text{dasar}}} = 0,125 \times \frac{20^2}{60 \times 6,67} = j 0,12 \text{ pu}$$

- Menghitung impedansi gangguan :

Impedansi gangguan adalah impedansi yang ada pada titik gangguan ketika gangguan tersebut terjadi, besar impedansi gangguan tergantung pada penyebab gangguan, macam gangguan dan kondisi daerah dimana gangguan tersebut terjadi. Dengan demikian impedansi gangguan tidak dapat ditentukan secara pasti. Untuk tegangan 20 kV sampai 200 kV besarnya impedansi gangguan itu berkisar antara 0 sampai 35 Ω dan dianggap tahanan murni.

Agar diperoleh perhitungan yang baik maka pemilihan besar impedansi gangguan untuk suatu hubung singkat dilakukan untuk berbagai harga impedansi biasanya untuk sistem yang menggunakan kabel tanah pada perhitungan digunakan besar impedansi gangguan 0 Ω .

- Gangguan maksimum

$$Z_f = 0 \text{ pu}$$

- Gangguan minimum

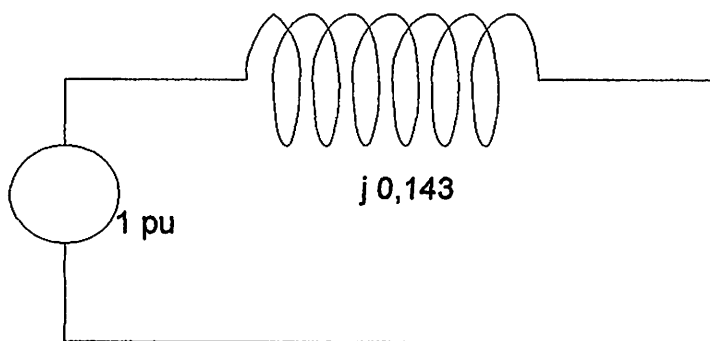
$$Z_f = 35 \Omega$$

$$Z_f = \frac{Z_f}{Z_{\text{dasar}}} = \frac{35}{6,67} = 5,24 \text{ pu}$$

- Menghitung arus gangguan hubung singkat maksimum dan minimum :

Arus hubung singkat maksimum :

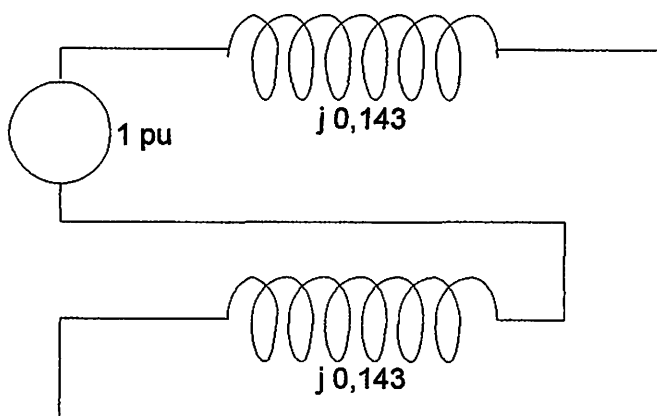
- Gangguan 3 fasa



$$I_{3\phi} = \frac{E \angle 0^\circ}{j0,143} = \frac{1 \angle 0^\circ}{0,143 \angle 90^\circ} = 6,993 \angle -90^\circ \text{ pu}$$

$$= 6,993 \times 1733,2 = 12120,26 \text{ A}$$

- Gangguan 2 fasa

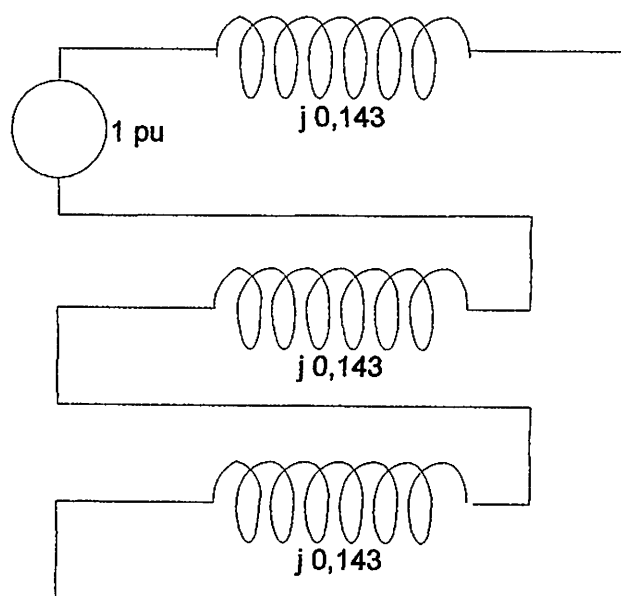


$$I_{2\phi} = \sqrt{3} \times \frac{E \angle 0^\circ}{2 \times j0,143} = \sqrt{3} \times \frac{1 \angle 0^\circ}{0,286 \angle 90^\circ} = \sqrt{3} \times 3,49 \angle -90^\circ$$

$$= 6,0377 \angle -90^\circ \text{ pu}$$

$$= 6,0377 \times 1733,2 = 10464,54 \text{ A}$$

➤ Gangguan 1 fasa ke tanah



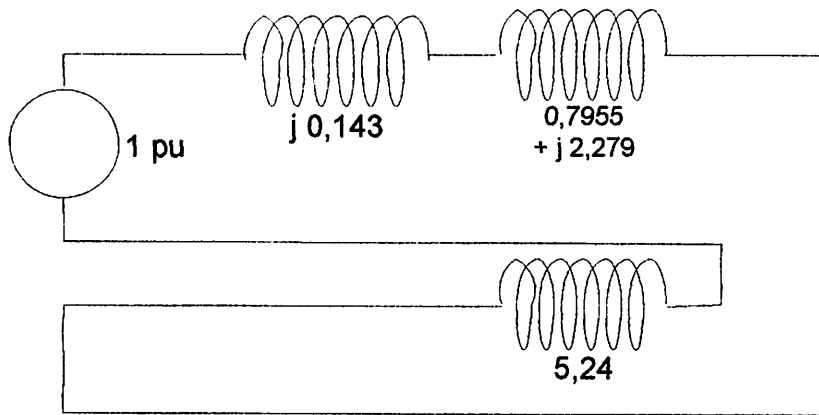
$$I_{1\phi} = 3 \times \frac{E \angle 0^\circ}{3 \times j0,143} = 3 \times \frac{1 \angle 0^\circ}{0,429 \angle 90^\circ} = 3 \times 2,33 \angle -90^\circ$$

$$= 6,99 \angle -90^\circ \text{ pu}$$

$$= 6,99 \times 1733,2 = 12115,068 \text{ A}$$

Arus hubung singkat minimum :

➤ Gangguan 3 fasa

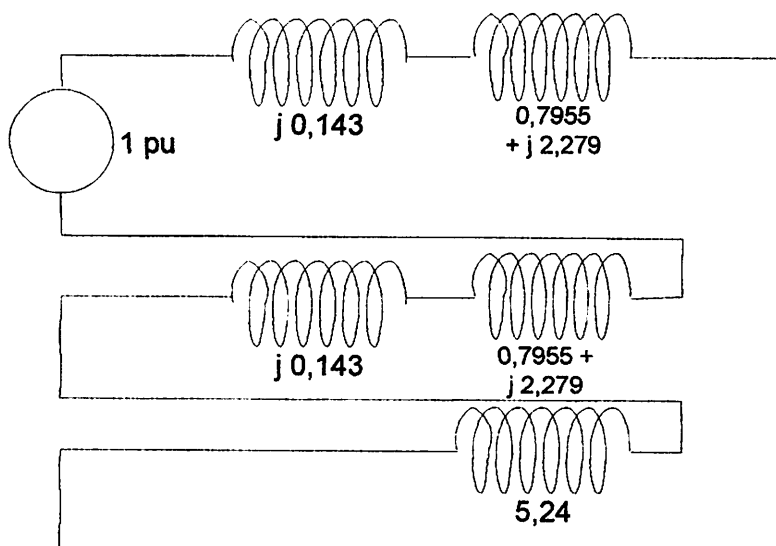


$$I_{3\phi} = \frac{E \angle 0^\circ}{j0,143 + 0,7955 + j2,279 + 5,24} = \frac{1 \angle 0^\circ}{j0,143 + 0,7955 + j2,279 + 5,24}$$

$$= \frac{1 \angle 0^\circ}{6,0355 + j2,422} = \frac{1 \angle 0^\circ}{6,5 \angle 21,86^\circ} = 0,153 \angle -21,86^\circ \text{ pu}$$

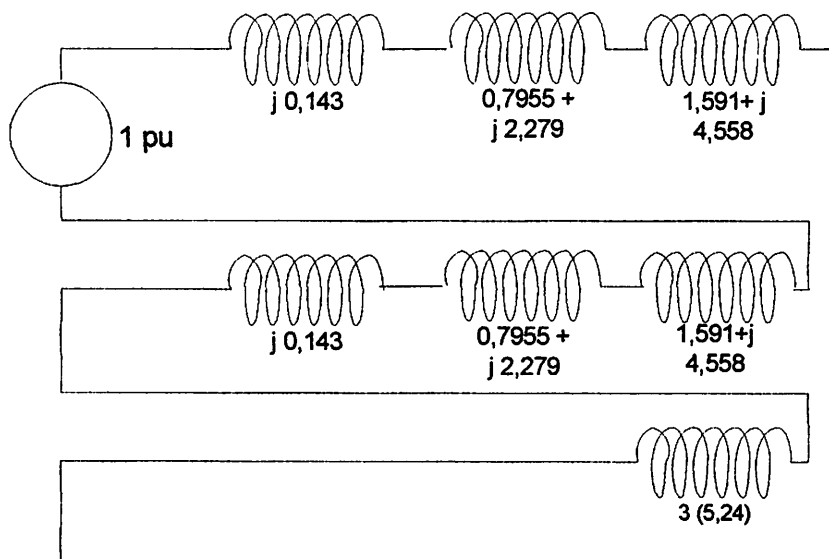
$$= 0,153 \times 1733,2 = 265,17 \text{ A}$$

➤ Gangguan 2 fasa



$$\begin{aligned}
 I_{2\phi} &= \sqrt{3} \times \frac{E \angle 0^\circ}{(2 \times j0,143) + 2(0,7955 + j2,279) + 5,24} \\
 &= \sqrt{3} \times \frac{1 \angle 0^\circ}{j0,286 + 1,591 + j4,558 + 5,24} = \sqrt{3} \times \frac{1 \angle 0^\circ}{6,831 + j4,844} \\
 &= \sqrt{3} \times \frac{1 \angle 0^\circ}{8,21 \angle 36,14^\circ} \\
 &= \sqrt{3} \times 0,12 \angle -36,14^\circ = 0,2076 \angle -36,14^\circ \text{ pu} \\
 &= 0,2076 \times 1733,2 = 359,81 \text{ A}
 \end{aligned}$$

➤ Gangguan 1 fasa ke tanah



$$\begin{aligned}
 I_{1\phi} &= 3 \times \frac{E \angle 0^\circ}{(2 \times j0,143) + 2(0,7955 + j2,279) + 2(1,591 + j4,558) + 3(5,24)} \\
 &= 3 \times \frac{1 \angle 0^\circ}{j0,286 + 1,591 + j4,558 + 3,182 + j9,116 + 15,72} \\
 &= 3 \times \frac{1 \angle 0^\circ}{20,493 + j13,96} = 3 \times \frac{1 \angle 0^\circ}{24,79 \angle 34,26^\circ} = 3 \times 0,04 \angle -34,26^\circ \\
 &= 0,12 \angle -34,26^\circ \text{ pu} \\
 &= 0,12 \times 1733,2 = 207,984 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.4. Hasil Perhitungan untuk Trafo II Penyulang Banyudono 11

Trafo	Jenis Gangguan	Arus Gangguan Hubung Singkat	
		Maksimum	Minimum
II	1 fasa ketanah	12115,068 A	207,9844 A
	2 fasa	10464,54 A	359,81 A
	3 fasa	12120,26 A	265,17 A

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis dampak putusnya kawat netral terhadap jaringan tegangan menengah 20 kV yang menggunakan sistem *Multy Grounded Common Neutral* adalah sebagai berikut :

- 1) Arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada trafo II penyulang 11 adalah sebagai berikut :
 - Untuk arus hubung singkat maksimum :
 $I_{1\phi} = 12115,068 \text{ A}$; $I_{2\phi} = 10464,54 \text{ A}$; $I_{3\phi} = 12120,26 \text{ A}$
 - Untuk arus hubung singkat minimum :
 $I_{1\phi} = 207,9844 \text{ A}$; $I_{2\phi} = 359,81 \text{ A}$; $I_{3\phi} = 265,17 \text{ A}$
- 2) Adapun dampak dari terputusnya kawat netral berpengaruh terhadap :
 - a. Kerja GFR pada JTM 20 kV.
 - b. Keamanan peralatan pelanggan dari pengaruh sambaran petir.
 - c. Tegangan pelayanan jika terjadi sambaran petir.
- 3) Solusi yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak terputusnya kawat netral adalah sebagai berikut :
 - a. Memperbaiki sambungan.
 - b. *Bushing* netral transformator N_1 dan N_2 masing-masing disambung langsung ke kawat netral.
 - c. Mengubah polaritas agar $V_1 + V_2 = 0$.
 - d. Memperkecil tahanan pengetanahan salah satunya dengan menggunakan metode *Multy Grounded Common Neutral*.

- e. Memperkecil tahanan bersama atau tahanan total yaitu melalui sistem penyetaraan kawat netral jaringan dengan menggunakan metode *MGCN* atau dengan cara memasang kawat netral diatas dengan konfigurasi jaringan tujuannya agar kawat netral yang dipasang terhindar dari tangan – tangan yang tidak bertanggung jawab, sehingga putusnya kawat netral dan akibatnya dapat ditekan/dikurangi.

5.2. Saran

- 1) Untuk mengatasi hilangnya kawat netral sebaiknya memasang kawat netral diatas dengan konfigurasi jaringan.
- 2) Perlu adanya pengecekan besarnya arus gangguan hubung singkat secara berkala untuk memastikan sistem benar – benar dalam keadaan yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Marsudi, Djiteng. Ir, **Operasi Sistem Tenaga Listrik**, ISTN, Jakarta, 1990.
2. Stevenson, William D., Jr. **Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi Keempat**, Erlangga, Jakarta, 1983.
3. Hidayat, Taufik, Ir, MT, **Diktat Kuliah Sistem Distribusi Daya Elektrik**.
4. Juningtyastuti, Karnoto, Riyanto. **Analisis Dampak Terputusnya Kawat Netral Terhadap JTM 20 kV**.
5. **Buku Pedoman Standar Perusahaan Umum Listrik Negara Bagian Ketiga**, Jakarta, 1983.
6. Sulasno, Ir, **Analisis Sistem Tenaga Listrik**, Satya Wacana, Semarang, 1993.

LAMPIRAN



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

1. Nama : RAHMAT HIDAYAT
2. NIM : 02.12.004
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : ANALISIS DAMPAK TERPUTUSNYA KAWAT NETRAL PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 kV YANG MENGGUNAKAN SISTEM MULTY GROUNDED COMMON NEUTRAL

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :

Hari : Kamis
Tanggal : 22 Maret 2007
Dengan Nilai : 75,25 (B+) *84*

Panitia Ujian Skripsi



Ir. Mochtar Asroni, MSME
Ketua



Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Sekretaris

Anggota Penguji



Ir. Choirul Saleh, MT
Penguji Pertama



Ir. Djojo Priatmono, MT
Penguji Kedua



PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang betanda tangan dibawah ini :

Nama : RAHMAT HIDAYAT
 N I M : 02.12.004
 Semester : 8 C DELAPAN
 Fakultas : Teknologi Industri
 Jurusan : Teknik Elektro S-1
 Konsentrasi : Teknik Elektronika / Teknik Energi Listrik
 Alamat : JL. SUMBERSARI GG.V NO.485 C


Dengan ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk membuat **SKRIPSI Tingkat Sarjana**. Untuk melengkapi permohonan tersebut, bersama kami lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi.

Adapun persyaratan-persyaratan pengambilan **SKRIPSI** adalah sebagai berikut :

1. Telah melaksanakan semua praktikum sesuai dengan konsentrasinya (.....)
2. Telah lulus dan menyerahkan Laporan Praktek Kerja (.....)
3. Telah lulus seluruh mata kuliah keahlian (MKB) sesuai konsentrasinya (.....)
4. Telah menempuh mata kuliah ≥ 134 sks dengan IPK ≥ 2 dan tidak ada nilai E (.....)
5. Telah mengikuti secara aktif kegiatan seminar skripsi yang diadakan Jurusan (.....)
6. Memenuhi persyaratan administrasi (.....)

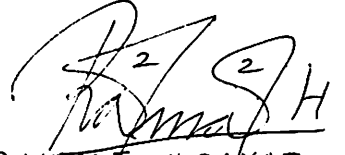
Demikian permohonan ini untuk mendapatkan penyelesaian lebih lanjut dan atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Telah diteliti kebenaran data tersebut diatas
 Recording Teknik Elektro

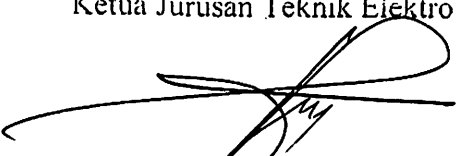

 (..... puji h)

Malang, 31 JUI 2006

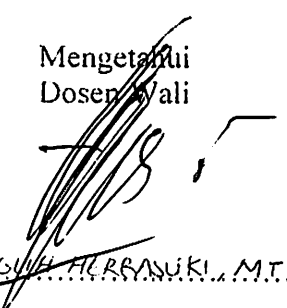
Pemohon


 (RAHMAT HIDAYAT.....)

Disetujui
 Ketua Jurusan Teknik Elektro


 Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
 NIP. P. 1039500274

Mengetahui
 Dosen Wali


 (IR. TEGUH HERRYASUKI, MT.....)

Catatan :

Bagi mahasiswa yang telah memenuhi persyaratan mengambil SKRIPSI agar membuat proposal dan mendapat persetujuan dari Ketua Jurusan/Sekretaris Jurusan T. Elektro S-1

1. PR 426.5 / 138 3.09
2.
3. sedikit kum lery luy



**LEMBAR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1**

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik / ~~Teknik Elektronika~~ *)

1	Nama Mahasiswa : RAHMAT HIDAYAT	Nim : 02.12.004
2	Waktu pengajuan	Tanggal : 9 Bulan : 9 Tahun : 2006
Spesifikasi judul (berilah tanda silang)		
3	<input checked="" type="checkbox"/> a. Sistem Tenaga Elektrik <input type="checkbox"/> b. Energi & Konversi Energi <input type="checkbox"/> c. Tegangan Tinggi & Pengukuran <input type="checkbox"/> d. Sistem Kendali Industri	<input type="checkbox"/> e. Elektronika & Komponen <input type="checkbox"/> f. Elektronika Digital & Komputer <input type="checkbox"/> g. Elektronika Komunikasi <input type="checkbox"/> h. lainnya
4	Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen *) : <i>T. Taufiq Hidayat, MT</i>	Mengetahui, Ketua Jurusan. Ir. F. Yudi Limpraptono, MT Nip. Y. 1039500274
5	Judul yang diajukan mahasiswa :	ANALISIS DAMPAK TERPUTUSNYA KAWAT NETRAL TERHADAP JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 kV MENGGUNAKAN METODE MULTY GROUNDED COMMON NEUTRAL
6	Perubahan Judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu
Catatan :		
7	Persetujuan Judul Skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu	Disetujui, 9 September, 2006... Dosen Ir. Taufiq Hidayat, MT...

Perhatian :

1. Formulir Pengajuan ini harap dikembalikan kepada jurusan paling lambat satu minggu setelah disetujui kelompok dosen keahlian dengan dilampirkan proposal skripsi beserta persyaratan skripsi sesuai form S-1
2. Keterangan : *) coret yang tidak perlu
 **) dilingkari a, b, c, atau g. sesuai bidang keahlian

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2
MALANG

Lampiran : 1 (satu) berkas
Pembimbing Skripsi

Kepada : Yth. Bapak Ir. H. Taufik Hidayat, MT
Dosen Institut Teknologi Nasional
MALANG

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rahmat Hidayat
Nim : 02.12.004
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama, untuk penyusunan skripsi dengan judul (proposal terlampir) :


Analisis Dampak Terputusnya Kawat Netral Terhadap Jaringan Tegangan Menengah 20 Kv Menggunakan Metode Multy Grounded Common Neutral

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.

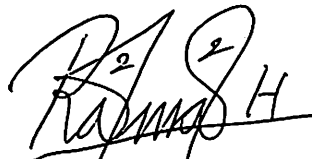
Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Malang, September 2006

Ketua
Jurusan Teknik elektro S-1


Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Nip. 1039500274

Hormat kami,


Rahmat Hidayat
02.12.004

Form S-3a

PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai dengan permohonan dari mahasiswa/i :

Nama : Rahmat Hidayat

Nim : 02.12.004

Semester : VIII (Delapan)

Jurusan : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini Menyatakan bersedia / tidak bersedia *) Mombimbing Skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul :

Analisis Dampak Terputusnya Kawat Netral Terhadap Jaringan Tegangan Menengah 20 Kv Menggunakan Metode Multy Grounded Common Neutral

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Malang, September 2006

Kami yang membuat pernyataan,



Ir. H. Taufik Hidayat, MT

Catatan :

Setelah disetujui agar formulir ini
Diserahkan mahasiswa/i yang bersangkutan
Kepada Jurusan untuk diproses lebih lanjut.

*) Coret yang tidak perlu



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Rahmat Hidayat
Nim : 02.12.004
Masa Bimbingan : 6 Desember 2006 s/d 6 Juni 2007
Judul Skripsi : Analisis Dampak Terputusnya Kawat Netral Terhadap Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Yang Menggunakan Sistem Multy Grounded Common Neutral

No	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	2/01 07	- Lanjutkan ke bab III, bab IV	
2	9/01 07	- kawat netral yg mau yg pabri, lengkapi dg gambar	
3			
4	20/2 07	- Apa yg dimaksud dg kawat netral itu fungsi nya, rangkai dan dalam ngr spt.	Ah
5	21/2 07	lanjutkan bab IV	Ah
6	23/2 07	keren bab IV,	Ah
7	25/02 07	Tambahkan rumus-gambar yg terdapat pd. bus. Distribusi	Ah
8	26/02 07	- lanjutkan ke bab V	Ah
9	28/02 07	lanjutkan bab I	Ah
10	05/03 07	Ace Summa	Ah

Malang,
Dosen Pembimbing,

(Ir. H. Taufik Hidayat, MT)

Form. S- 4B



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN- 595 /III.TA-2/2/07
Lampiran : -
Perihal : Survey

Malang, 10 Januari 2007

Kepada : Yth. Pimpinan
PT. PLN (Persero) APJ Solo
Jl. Brigjen Slamet Riyadi
Di - Solo - Jateng

Bersama ini dengan hormat kami mohon kebijaksanaan Saudara agar Mahasiswa kami dari Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro S-1 Konsentrasi Teknik Energi Listrik dapat diijinkan untuk melaksanakan survey pada perusahaan yang saudara pimpin untuk mendapatkan data - data guna penyusunan Skripsi dengan Judul : Analisis Dampak Terputusnya Kawat Netral Terhadap Jaringan Tegangan Menengah 20 KV Yang Menggunakan Sistem Multy Grounded Common Neutral

Mahasiswa tersebut Adalah :

Rahmat Hidayat Nim. 02.12.004

Adapun lamanya Survey adalah : 30 Hari

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami ucapkan terima kasih.



Ir. Mochtar Asroni, MSME *By*
Nip. Y.1018100036

```
PROGRAM SKRIPSI
copyrights @2007
clear;
num2str(aa,1);
num2str(aa,13);
' ')
'PROGRAM SKRIPSI '
'copyrights @2007 '
['Tgl / Jam = ' num2str(b) ' / ' num2str(c)]
' ')
'PILIH 1 -> Perhitungan Arus Gangguan Maksimum dan Minimum '
'      2 -> Bersihkan Layar'
'      3 -> KELUAR DARI PROGRAM'
' ')

input('MASUKKAN PILIHAN ANDA =');

while(PIL>3)
disp('Anda salah dalam memasukkan input, Ulangi sekali lagi ')
disp(' ')
PIL=input('MASUKKAN PILIHAN ANDA =');
disp(' ')
if (PIL<1)
disp('Anda salah dalam memasukkan input, Ulangi sekali lagi ')
disp(' ')
PIL=input('MASUKKAN PILIHAN ANDA =');
disp(' ')

PILAN=PIL;
' ')
while PILIHAN <=3

disp(' ')
disp(' ')
tic;
disp(' ')

vd=input(' V dasar (kV) =');
pd=input(' Daya Dasar (MVA) =');
pf=input(' Daya Gangguan (MVA) =');
xt=input(' X Trafo (%) =');

z0=input(' Z0      (OHM) =');
z1=input(' Z1      (OHM) =');
z2=z1;

disp(' ');
disp(' ');
'-----';
vf=1 ;
disp(' ')
vfj=1+1j;
disp(' ')

zd=(vd^2)/pd;

id= (vd*1000)/(sqrt(3)*zd);

xtt= (vd^2)/(pf*zd);
```

```
xtr= (xt/100)*((vd^2)/(pd*zd));

zf= 35/zd;
disp(' ');
disp(' ');

'-----';
disp('-----ARUS GANGGUAN MAKSIMUM-----') ;
disp(' ');
disp(' ');
disp(' Hubungan singkat satu fasa ke tanah')

iaf_max1= (3*vf)/(3*(xtt+xtr));

Nilai_Arus_gangguan_A = abs(iaf_max1) * id

disp(' ');
disp(' ');

disp(' Hubungan singkat dua fasa ')

iaf_max2= (sqrt(3)*(vf)) / (2*(xtt+xtr));

Nilai_Arus_gangguan_A = abs(iaf_max2) *id

disp(' ');
disp(' ');

disp(' Hubungan singkat tiga fasa ')

iaf_max3=( vf /(xtt+xtr));

Nilai_Arus_gangguan_A=(abs(iaf_max3))*id

'-----';
disp('-----ARUS GANGGUAN MINIMUM-----');

disp(' Hubungan singkat satu fasa ke tanah')

min1= (3*vf)/((2*(xtt+xtr))+(2*(z0+z1+z2))+((2*(2*(z0+z1+z2)))+(xtt+xtr))+(3*zf));

Nilai_Arus_gangguan_A = (abs(iaf_min1))*id

disp(' ');
disp(' ');

disp(' Hubungan singkat dua fasa ')

in2= (sqrt(3)*vf) / ((2*(xtt+xtr))+(2*(z0+z1+z2))+(zf));

Nilai_Arus_gangguan_A= (abs(iaf_min2))*id

disp(' ');
disp(' ');

disp(' Hubungan singkat tiga fasa ')

iaf_min3= vf /((xtt+xtr)+(z0+z1+z2)+(zf));

Nilai_Arus_gangguan_A = (abs(iaf_min3))*id
```

```
disp(' ');
disp(' ');
'-----';

waktu=toc;
disp(['Total Waktu Yang Dibutuhkan = ' num2str(waktu) ' detik'])
disp(' ')

PILIHAN=input('MASUKKAN PILIHAN ANDA =');
disp(' ')
if PILIHAN==3
disp(' ')
disp('KELUAR DARI PROGRAM')
break
end

:ase 2
clc
disp(' ')
disp('PROGRAM SKRIPSI ')
disp('copyrights @2007 ')
disp(['Tgl / Jam = ' num2str(b) ' / ' num2str(c)])
disp(' ')
disp('PILIH 1 -> Perhitungan Arus Gangguan Maksimum dan Minimum ')
disp('      2 -> Bersihkan Layar')
disp('      3 -> KELUAR DARI PROGRAM')
disp(' ')

PILIHAN=input('MASUKKAN PILIHAN ANDA =');
disp(' ')

:ase 3
disp('KELUAR OK ')
break
end
```

```
RAM SKRIPSI
rights @2007
/ Jam = 21-Mar-2007 / 05:59:20

1 -> Perhitungan Arus Gangguan Maksimum dan Minimum
2 -> Bersihkan Layar
3 -> KELUAR DARI PROGRAM
```

```
TEKNIK PILIHAN ANDA =1
```

```

dasar (kV) =20
a Dasar (MVA) =60
a Gangguan (MVA) =2500
trafo (%) =12.5
(OHM) =0.3631+1.618j
(OHM) =0.2162+0.3305j
```

```
---ARUS GANGGUAN MAKSIMUM-----
```

```
ngan singkat satu fasa ke tanah
```

```
_Arus_gangguan_A =
```

```
625e+004
```

```
ngan singkat dua fasa
```

```
_Arus_gangguan_A =
```

```
067e+004
```

```
ngan singkat tiga fasa
```

```
_Arus_gangguan_A =
```

```
625e+004
```

```
---ARUS GANGGUAN MINIMUM-----
```

```
ngan singkat satu fasa ke tanah
```

```
_Arus_gangguan_A =
```

```
.5608
```

```
ngan singkat dua fasa
```

```
_Arus_gangguan_A =
```

4.1918

ungan singkat tiga fasa

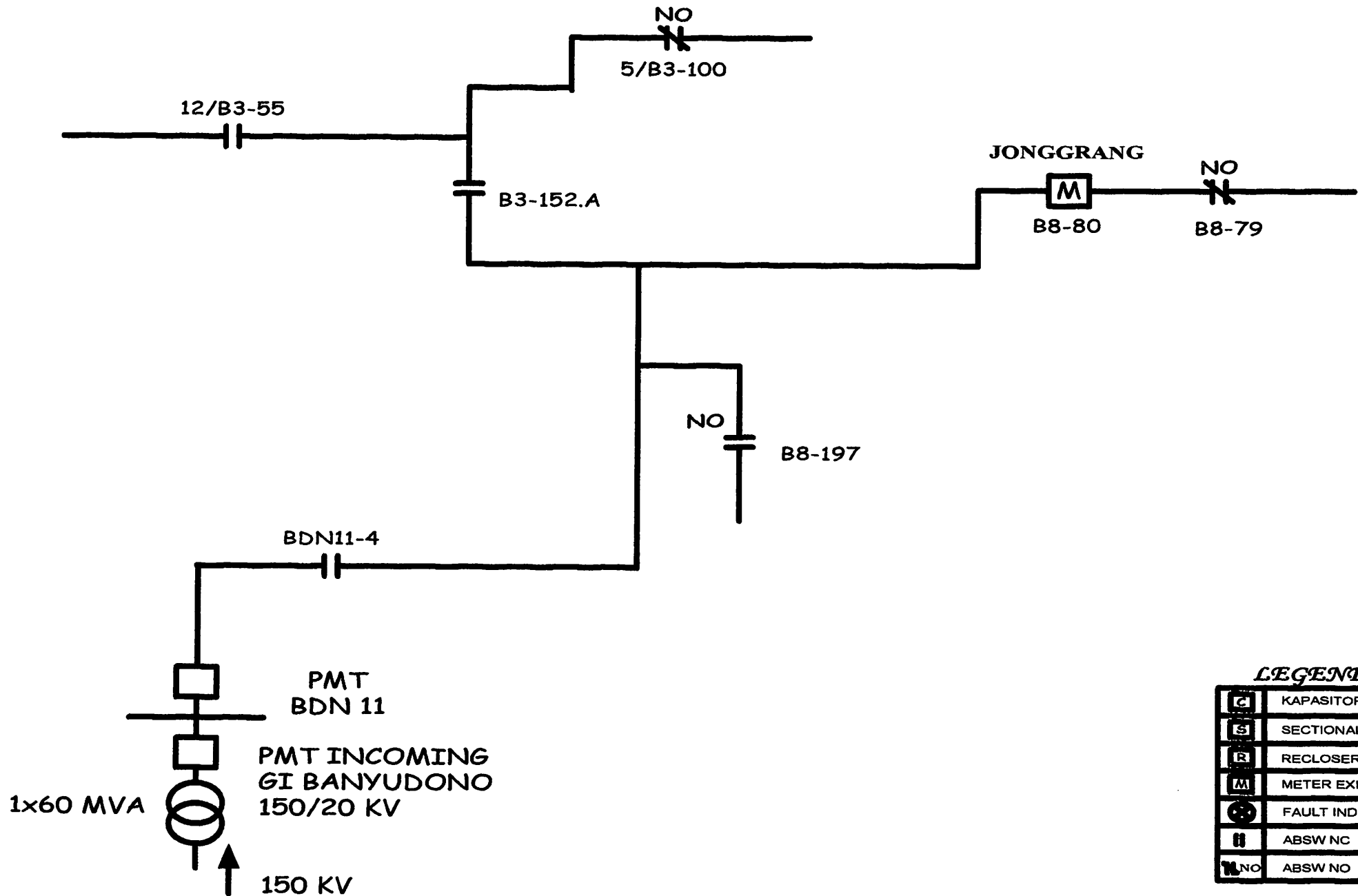
i_Arus_gangguan_A =

2.4149

l Waktu Yang Dibutuhkan = 68.309 detik

KKAN PILIHAN ANDA =3

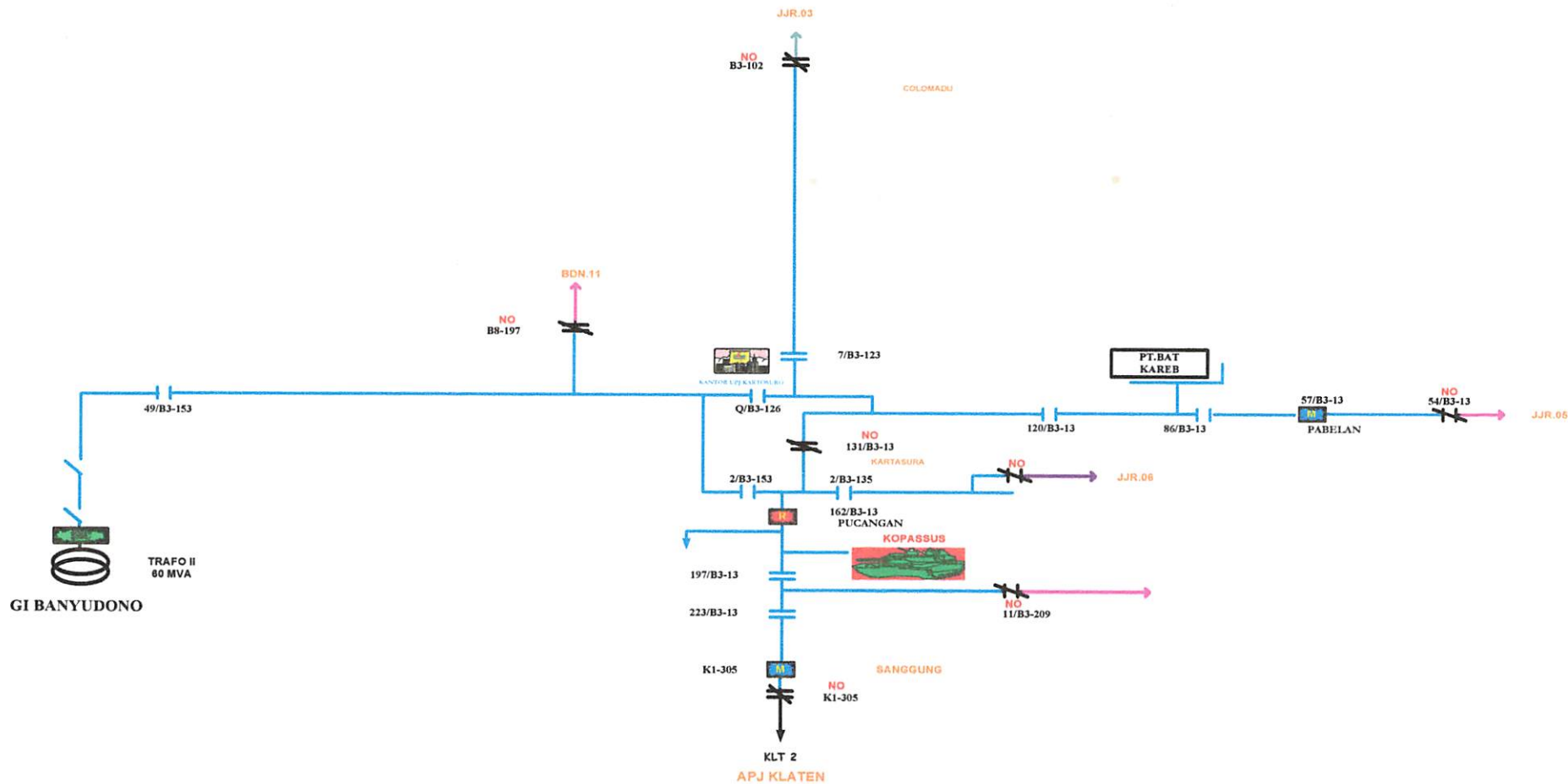
AR DARI PROGRAM



LEGENDA

C	KAPASITOR
S	SECTIONALIZER
R	RECLOSER
M	METER EXIM
FI	FAULT INDICATOR
NO	ABSW NC
NO	ABSW NO

SINGLE LINE DIAGRAM PENYULANG BDN.10

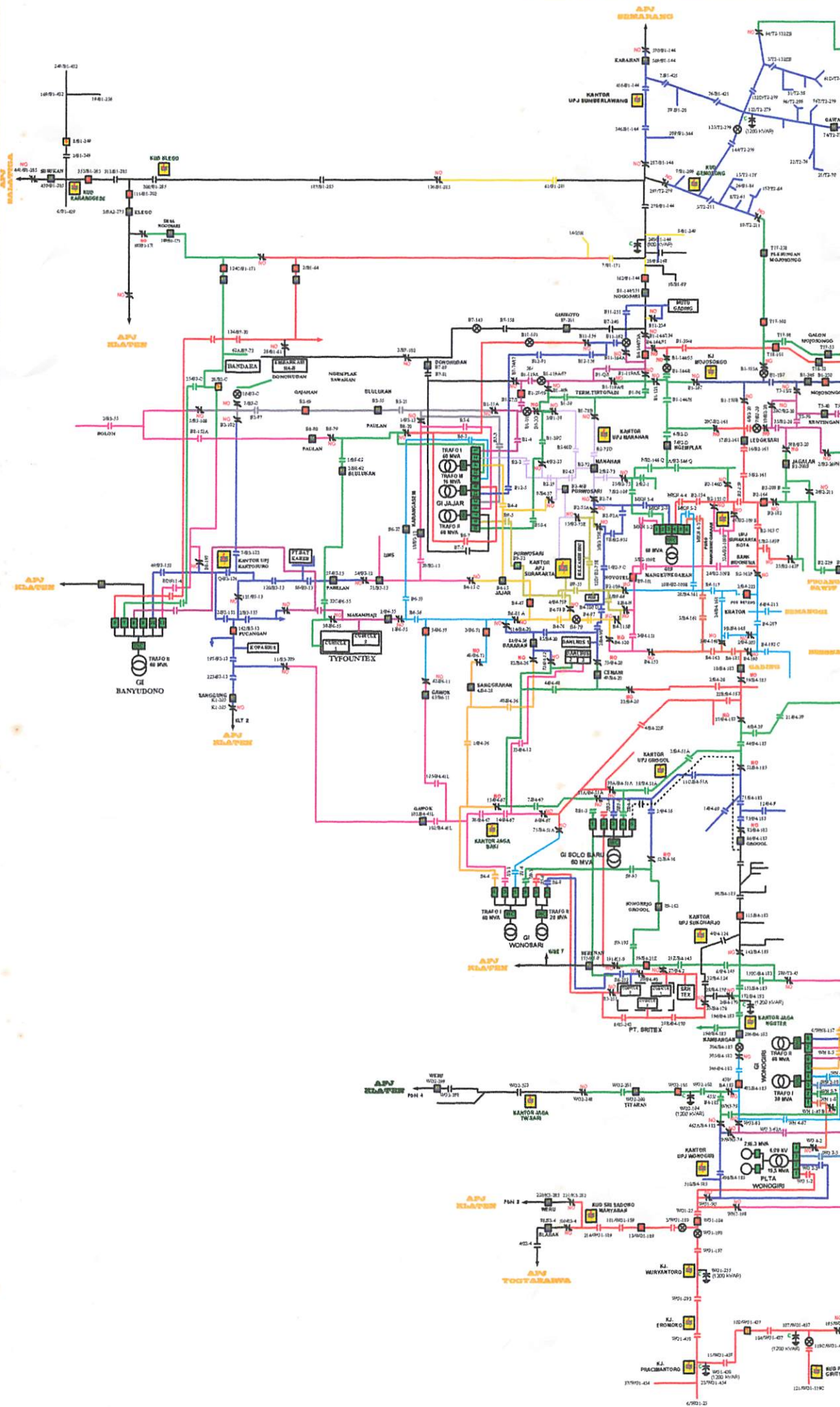


LEGENDA

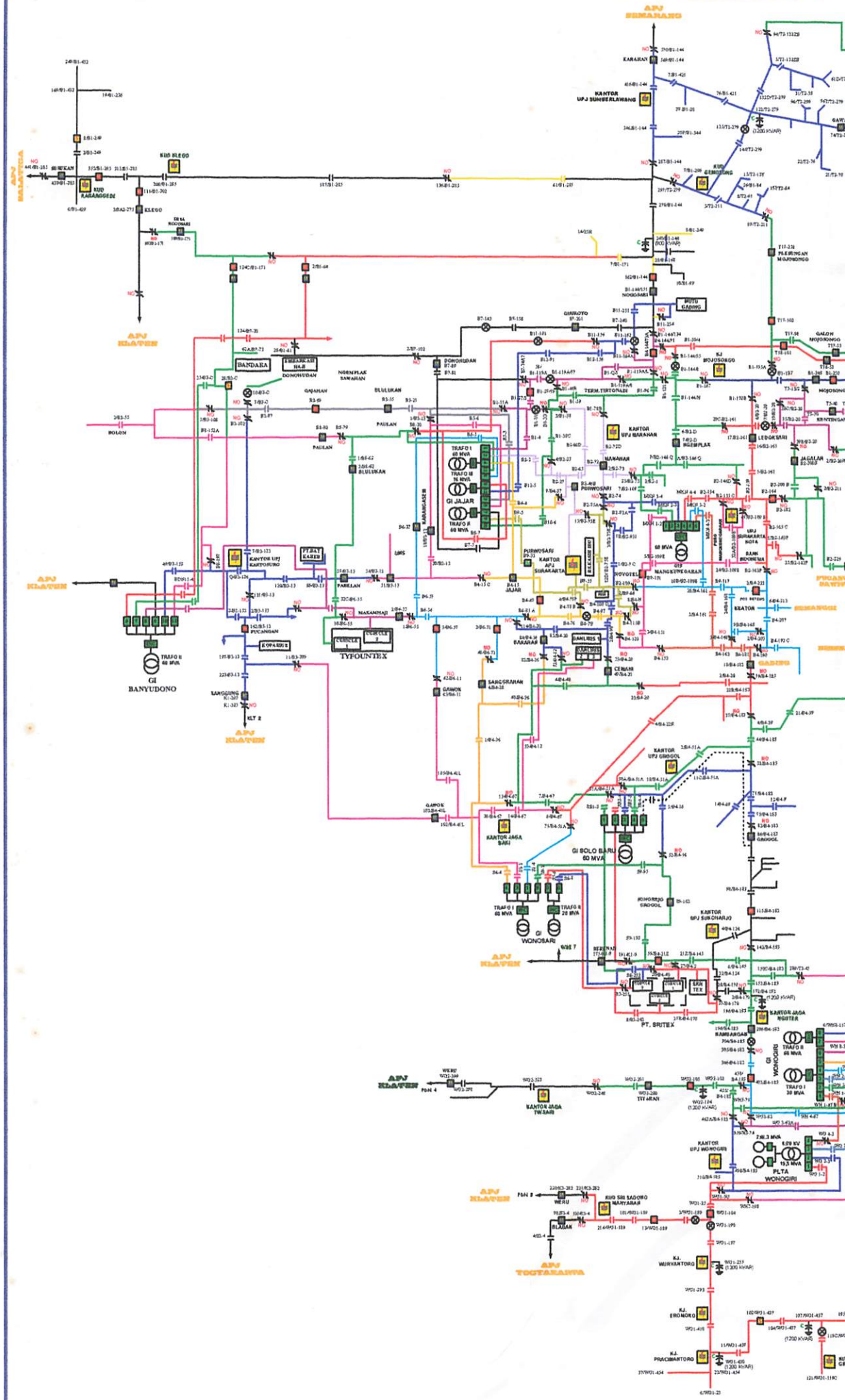
	KAPASITOR
	SECTIONALIZER
	RECLOSER
	METER EXIM
	FAULT INDICATOR
	ABSW NC
	ABSW NO

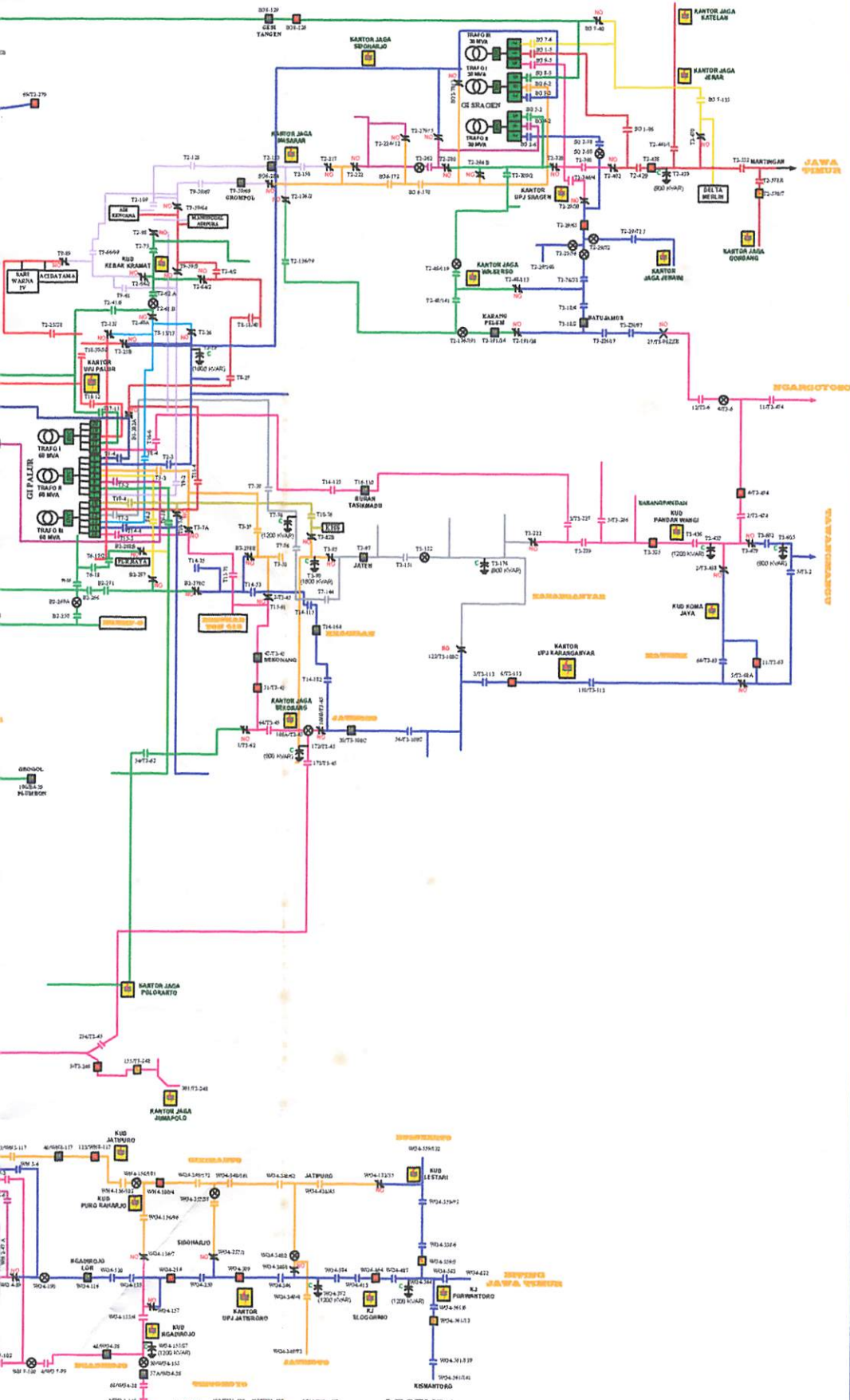
	PT PLN (PERSERO) AREA PELAYANAN DAN JARINGAN SURAKARTA		
	SINGLE LINE DIAGRAM PENYULANG 20 kV		
DIGAMBAR	Co-Op 2005	24 - 10 - 2005	
DIPERIKSA	HADI SAKSONO	14 - 11 - 2005	
DISETUJUI	SUGENG RIYADI		
DIKETAHUI	Ir. J. WAHJONO		

SINGLE LINE DIAGRAM PERTUJUAN APJ SURABAYA



SINGLE LINE DIAGRAM PENYULU APJ SURABAYA





LEGENDA

	KAPASITOR
	SECTIONALIZER
	RECLOSER
	METER EXIM
	FAULT INDICATOR
	ABSW NC
	ABSW NO

PT PLN (PERSERO)
AREA PELAYANAN DAN JARINGAN SURAKARTA

SINGLE LINE DIAGRAM PENYULANG 20 kV

DIGAMBAR	Co-Op 2005	24 - 10 - 2005	
DIPERIKSA	HADI SAKSONO	14 - 11 - 2005	
DISETUJUI	SUGENG RIYADI		
DIKETAHUI	Ir. J. WAHJONO		