

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



**ANALISA PENGARUH ARUS URUTAN NEGATIF UNTUK
MENINGKATKAN PERFORMANCE RELE PROTEKSI
SISTEM DISTRIBUSI 20 kV PADA
GARDU INDUK SUKOLILO**

SKRIPSI

Disusun Oleh :

NAMA : SUFIAN HADI

NIM : 95.12.048

SEPTEMBER 2005

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA PENGARUH ARUS URUTAN NEGATIF UNTUK
MENINGKATKAN PERFORMANCE RELE PROTEKSI
SISTEM DISTRIBUSI 20 kV PADA
GARDU INDUK SUKOLILO**

SKRIPSI

*Disusun dan Diajukan Untuk Melengkapi Syarat Guna Mencapai
Gelara Sarjana Teknik*

Disusun Oleh :
SUFIAN HADI
95.12.048



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)

NIP. Y: 103 950 0274

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

(Ir. H. Choiri)

NIP : 130 703 042

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

2005

ABSTRAKSI

Sufian Hadi, 95.12.048, "ANALISA PENGARUH ARUS URUTAN NEGATIF UNTUK MENINGKATKAN PERFORMANCE RELE PROTEKSI SISTEM DISTRIBUSI 20 kV PADA GARDU INDUK SUKOLILO", Teknik Elektro, Konsentrasi Teknik Energi Listrik (S-1), Fakultas Teknologi Industri, INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG,
Dosen Pembimbing : Ir. H. Choiri

"Besarnya tahanan dan lokasi gangguan yang mungkin timbul saat hubung singkat phasa tanah sangat berpengaruh terhadap besarnya arus yang dapat dideteksi oleh relai pengaman. Penyetelan relai yang cukup besar dapat menyebabkan relai tidak dapat bekerja bila terjadi gangguan dengan tahanan gangguan yang besar, sedangkan bila penyetelan relai tersebut terlalu sensitif juga akan menimbulkan beberapa masalah. Untuk melihat seberapa jauh pengaruh gangguan hubung singkat terhadap unjuk kerja relai pengaman, diperlukan kajian tingkat performance rele proteksi sistem distribusi. Pada Skripsi ini dilakukan simulasi dan analisa perhitungan guna menentukan besaran arus urutan negatif dan urutan nol sebagai akibat dari gangguan tersebut, pada sistem distribusi 20 kV".

Kata Kunci : *Relai Proteksi, Komponen Simetris, Sistem Distribusi 20 kV, Pentanahan Sistem.*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia yang telah dilimpahkan sehingga penulis mampu menyelesaikan Skripsi dengan judul :

“ANALISA PENGARUH ARUS URUTAN NEGATIF UNTUK MENINGKATKAN PERFORMANCE RELE PROTEKSI SISTEM DISTRIBUSI 20 kV PADA GARDU INDUK SUKOLILO”,

Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S-1 pada Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.

Banyak pihak yang membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini, yang rela meluangkan waktu dan tenaga, memberi bantuan, nasehat, bimbingan yang membuat penulis lebih bersemangat dalam menyelesaikan skripsi ini, karenanya penulis sangat berterima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri ITN Malang.
3. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITN Malang.
4. Bapak Ir. H. Choiri, selaku Dosen Pembimbing.
5. Ibu Ir. Mimien Mustikawati selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro ITN Malang.

6. Bapak – bapak Pegawai PLN yang bertugas di PT. PLN (persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali, Bertugas di GI Sukolilo, dan UPT Surabaya.
 7. Dosen – dosen Elektro ST. Institut Teknologi Nasional Malang.
 8. Rekan – rekan Elektro ST. Institut Teknologi Nasional Malang.
 9. Akhirnya yang terakhir namun yang terpenting adalah ucapan terima kasih kepada kedua orangtua yang telah memberi dorongan kepada penulis baik secara moril maupun materi
- Besar harapan penulis agar Skripsi ini dapat menambah ilmu dan wawasan bagi para pembaca mengenai rele proteksi sistem distribusi 20 kV.

Malang, September 2005

Penulis

LEMBAR PERSEMBAHAN

Kupersembahkan karya terbaikku untuk
Kedua orang tuaku, Kakak dan Adikku
Serta seluruh keluargaku

Atas segala rahmat yang telah engkau berikan kepadaku
Dan hanya ridhoMu yang kuharapkan dalam hidupku
Agar aku bisa menjalani dengan penuh keikhlasan
Dan ketabahan dalam keimanan dan ketaqwaan

Nabi Muhammad SAW junjungan besarku
Nabi yang diutus Allah SWT kemuka bumi untuk mengajak
Umat manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang
Penuh berkah dengan segenap keindahan Islam
Semoga dengan saji'at beliau kita diberi keselamatan
Dunia akhirat

Ibunda tercinta Alm. Syahrin Sanen
Ibunda tercinta Nurlaelawati
Terima kasih atas do'a dan pengorbanan
Yang tulus dan ikhlas
Anakmu kuji berhasil meraih gelar Sarjana Teknik
Hanya do'a yang bisa kupanjatkan semoga
Ibunda selalu diberi kesehatan jasmani dan rohani
Serta selalu dilindungi oleh Allah SWT

Kakakku Mulyadi, Siska serta Nortety, Terna
Adikku Aryati, Wirawan, Koko Indardi, serta angga Saputra
Kepenakanku yang lucu Ijon, Viona, Adelia, serta sijagoan Ama

TERIMA KASIHKU

Sujudku kepada Allah SWT yang telah memberi Anugerah serta Hidayah
Nabi Junjunganku Muhammad SAW

Untuk Ayahanda dan Ibunda tercinta
Ayahanda... engkau adalah pemimpinku yang selalu mengarahkan
Kejalan kebaikan mengajarku tentang tujuan hidup serta tanggung
Jawab yang harus aku pikul

Ibundaku... engkau menyimpan surga ditelapak kakimu namun itu tidak
Menjadikan kebanggaan dan kekhasaan atasMu melainkan dituangkan
Menjadi kasih sayang yang tidak pernah sirna

Kakokku Mas Mahyadi Mbak Sisky, Mbak Nortety, Mas Terna
Adikku Ariyati, Wirawan, Koko Indardi, Angga Saputra
Yang selalu memberi dorongan, semangat dan do'a

Juga Kepada :

.....Bapak Ir. H. Choiri (Dosen Pembimbing)
Terima kasih banyak atas bimbingan, saran, serta ilmu didalam
Dengerian Skripsi ini sehingga saya bisa mengerti tentang Sistem Proteksi
Dan mampu menyelesaikan Skripsi ini

.....Bapak Ir. E. Made Wartana, MT (Dosen Wali)u
Terima kasih telah memberikan petunjuk, saran, dan nasehat kepada saya
Maafkan jika saya telah membuat malu bapak atas masalah-masalah
Yang saya perbuat selama ini

.....Mas Jayeng
Makasih atas bantuannya selama ini. Maafin jika aku sering bikin
Jengkel walnya aku pengen cepet nyelaain Skripsi

.....Bu Puji
Terima kasih bu telah membantu saya, maaf jika saya sering telat
Ngurus DPA, nilai dan Konvensional

.....Sobatku Agung
Terima kasih atas pinjaman Komputer dan Motornu selama ini jasanya tak akan
Terbalaskan, akhirnya aku jadi Sarjana Reh

.....Teman-temanku
Rival, Anto, Lutffi, Zaky, Bhatier, Hadi, Anggoro, Situwanto, Hendra Yosa
Poliknya buat semuanya yang tak dapat kusebutkan. Makasih banyak
atas bantuan kalian semua, Sobatku didi, dan Paulus
Selamat berjuang semoga sukses jadi Sarjana

.....Keluarga Besariku di Kalimantan Tengah
Mamaya Nana, Mina Indu Nana, Kakak Sambung
Terima kasih are panduhup ketun akangkuk
Mudahkan aku ulih mambaleh jasa ketun akangkuk
Serta Keluarga kab dimelai petuk Barunai, Tangkiling, Takaras
Terima kasih dukungan dan do'a
Maukuk melai Tangkiling tau esum akhirnya jadi Sarjana

Dan terima kasih semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu
Terima kasih atas bantuannya dalam menyelesaikan Skripsi ini

DAFTAR ISI

	HAL
LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
ABSTRAKSI	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR GRAFIK.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Metodologi	3
1.6. Sistematika Pembahasan	4
BAB II SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK	
2.1. Sistem Jaringan Distribusi	5
2.2. Klasifikasi Sistem Distribusi	7
2.2.1. Sistem Distribusi Primer	7
2.2.2. Sistem Distribusi Sekunder	8

2.3. Tipe Sistem Jaringan	9
2.3.1. Tipe Sistem Radial	10
2.3.2. Tipe Sistem Loop/Ring	12
2.3.3. Tipe sistem Network (Jaring-jaring)	13
2.3.4. Tipe Sistem Spindel	14
2.4. Konstruksi Sistem Jaringan Distribusi	15
2.4.1. Saluran Udara	15
2.4.2. Saluran Bawah Tanah	16
2.5. Gangguan Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik	17
2.5.1. Komponen Simetri	20
2.5.2. Impedensi Urutan	25
2.5.3. Analisa Gangguan	33
2.5.4. Tempat-tempat Terjadinya Gangguan	38
2.6. Sistem Per-Unit	41
2.7. Relai Pengaman	42
2.7.1. Prinsip Kerja Relai Proteksi	43
2.7.1.1. Relai Hubung Tanah (Ground Foul Relay).....	43
2.7.1.2. Relai Urutan Negatif	44

BAB III JARINGAN SISTEM DISTRIBUSI 20 kV GARDU INDUK

SUKOLILO

3.1. Sistem Distribusi 20 kV Gardu Induk Sukolilo.....	45
3.2. Data-data Transformator Daya	47
3.2.1. Data Transformator Daya	47
3.2.2. Data Saluran	48

3.3. Pola Pengaman Eksisting	48
3.4. Perhitungan Arus Hubung Singkat	49
3.4.1. Menghitung Impedensi Sumber	50
3.4.2. Menghitung Impedensi Transformator	51
3.4.3. Menghitung Impedensi Urutan Saluran	51
3.4.3.1. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM).....	52
3.4.3.2. Menghitung Impedensi Urutan Saluran Pada SUTM.	53
3.4.3.3. Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM).....	56
3.4.4. Penentuan Impedensi Gangguan	57
BAB IV STUDI SIMULASI DAN ANALISA	
4.1. Simulasi dan Analisa Gangguan	58
4.2. Dasar Perhitungan Arus Hubung Singkat	58
4.2.1. Arus Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah	60
4.3. Simulasi Dengan Program Visual Basic	61
4.3.1. Hasil Perhitungan Gangguan Open Circuit dan Open Circuit diikuti Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah	62
4.3.1.1. Perhitungan Untuk Gangguan Open Circuit	62
4.3.1.2. Perhitungan Untuk Gangguan Open Circuit diikuti Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah (Gangguan Pada Pangkal Saluran).....	64
4.3.1.3. Perhitungan Untuk Gangguan Open Circuit diikuti Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah (Gangguan Pada Ujung Saluran)	66
4.3.2. Hasil Simulasi Program Visual Basic	69
4.4. Cara-cara Penentuan Setting Relai Proteksi	70

4.4.1. Setting Relai Urutan Negatif (NSR)	76
BAB V PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	78
5.2. Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	80
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	HAL
2.1. Sistem Tenaga Listrik	6
2.2. Jaringan Distribusi Primer	8
2.3. Sistem Radial Tipe Pohon	11
2.4. Sistem Radial Tipe Pusat Beban	12
2.5. Sistem Jaringan Distribusi Ring	13
2.6. Distribusi Primer Sistem Network	14
2.7. Uraian Fasor Tak Simetris	21
2.8. Konfigurasi Jaringan Distribusi	29
2.9. Penampang Melintang Kabel	32
2.10. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	33
2.11. Rangkaian Pengganti Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	34
2.12. Gangguan Satu Fasa Ketenah Pada Titik F	34
2.13. Rangkaian Pengganti Gangguan Satu Fasa Ketenah	35
2.14. Gangguan Antar Fasa	37
2.15. Hubungan Urutan Rangkaian	37
2.16. Tempat Terjadinya Gangguan Pada Sistem 20 kV	38
2.17. Rangkaian Relai Arus Lebih Gangguan Fasa dan Relai Hubung Tanah	43
2.18. Diagram Relai Urutan Negatif	44
3.1. Diagram Blok GI Rungkut 150 kV.....	45

3.2. Saluran Transmisi GI Rungkut	46
3.3. Gardu Induk Sukolilo Dengan Penyulang PAM	46
3.4. GI Sukolilo Dengan Trafo II PASTI	47
3.5. Sistem Proteksi Jaringan Distribusi GI Sukolilo	49
4.1. Skema Sederhana Sistem Distribusi PAM	59
4.2. Rangkaian Hubung Singkat Satu Phasa Ketanah	60

DAFTAR GRAFIK

GRAFIK	HAL.
4.1. Plot Arus Urutan Positif Terhadap Besarnya Rf Pada Gangguan Open Circuit	70
4.2. Plot Arus Urutan Nol Terhadap Besarnya Rf Pada Gangguan Open Circuit	70
4.3. Plot Arus Urutan Negatif Terhadap Besarnya Rf Pada Gangguan Open Circuit	71
4.4. Plot Arus Urutan Positif Terhadapnya Besarnya Rf (Gangguan yang Terjadi Pada Pangkal Saluran).....	72
4.5. Plot Arus Urutan Negatif Terhadap Besarnya Rf (Gangguan yang Terjadi Pada Pangkal Saluran).....	72
4.6. Plot Arus Urutan Nol Terhadap Besarnya Rf (Gangguan yang Terjadi Pada Pangkal Saluran).....	73
4.7. Plot Arus Urutan Positif Terhadap Besarnya Rf (Gangguan yang Terjadi Pada Ujung Saluran).....	74
4.8. Plot Arus Urutan Negatif Terhadap Besarnya Rf (Gangguan yang Terjadi Pada Ujung Saluran).....	75
4.9. Plot Arus Urutan Nol Terhadap Besarnya Rf (Gangguan yang Terjadi pada Ujung Saluran)	75

DAFTAR TABEL

TABEL	HAL
2.1. Perbedaan Konstruksi Jaringan Udara dan Bawah Tanah	15
2.2. Kemungkinan Dari Gangguan yang Timbul	18
2.3. Fungsi Operator a	22
2.4. Nilai GMR Tiap Jumlah Strand	30
2.5. Perlengkapan Industri yang Berpotensi Mempengaruhi Mutu Listrik	35
2.6. Besaran Listrik dan Dimensinya	41
3.1. Panjang Saluran Penyulang PAM	48
3.2. Nilai GMR Untuk Beberapa Ukuran Penampang SUTM A3C	52
3.3. Impedensi Urutan Untuk Tiap Jenis Penghantar Kawat Udara	55
3.4. Hasil Impedensi Total Saluran Kawat Udara	55
3.5. Hasil Perhitungan Impedensi Urutan Kabel Per-Km	56
3.6. Hasil Perhitungan Impedensi Total Urutan Kabel	57
4.1. Pengaruh Arus Urutan Positif, Negatif dan Nol Terhadap Besar Tahanan Gangguan pada Gangguan Open Circuit	71
4.2. Pengaruh Arus Urutan Positif, Negatif dan Nol Terhadap Besar Tahanan Gangguan pada Gangguan Open Circuit diikuti Hubung Singkat Satu Fasa Kewanah (Gangguan Pada Pangkal Saluran)	73
4.3. Pengaruh Arus Urutan Positif, Negatif dan Nol Terhadap Besar Tahanan Gangguan Pada Gangguan Open Circuit diikuti Hubung Singkat Satu Fasa Kewanah (Gangguan Pada Ujung Saluran)	76

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masalah utama dalam pengoperasian sistem distribusi tenaga listrik adalah bagaimana mengatasi gangguan sehingga mampu menjamin keamanan, keandalan serta keserasian penyaluran dan penyediaan tenaga listrik antara konsumen dan produsen. Salah satu usaha untuk mengurangi dampak akibat adanya gangguan adalah dengan menggunakan relai pengaman sebagai peralatan utamanya yang difungsikan untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu atau kondisi ab-normal lainnya yang dapat menyebabkan kerusakan. Disamping untuk menjamin keamanan peralatan yang dilindunginya, relai pengaman tersebut juga harus mempertimbangkan jaminan keamanan dan keselamatan lingkungan disekitarnya.

Penyetelan relai yang cukup besar dapat menyebabkan relai tidak dapat bekerja bila terjadi gangguan dengan tahanan gangguan yang besar, sedangkan jika penyetelan tersebut terlalu sensitif juga akan menimbulkan beberapa masalah misalnya dimungkinkan timbulnya trip yang bersamaan ataupun trip saat beban tidak seimbang.

Seringkali pula relai pengaman eksisting tidak dapat mendeteksi adanya gangguan akibat putusya kawat fasa (open circuit), sehingga kajian tingkat performance rele proteksi pola pengaman eksisting perlu mendapatkan perhatian, khususnya terhadap gangguan yang berupa putusya kawat fasa yang kemudian

menyebabkan terjadinya gangguan satu fasa ke tanah karena kawat tersebut mengenai pohon, hewan ataupun manusia.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan melihat latar belakang seperti tersebut diatas, maka terdapat suatu permasalahan, yaitu :

1. Bagaimana pengaruh tahanan gangguan pada gangguan hubung singkat satu fasa ketanah.
2. Apa fungsi relai NSR dan berapa settingnya untuk gangguan hubung singkat satu fasa ketanah.
3. Bagaimana relai urutan negatif untuk membackup relai GFR pada gangguan hubung singkat satu fasa ketanah.

1.3 Tujuan

Tujuan dari Skripsi ini adalah penggunaan relai urutan negatif untuk melengkapi kelemahan ground fault relay (GFR).

Dengan dibuatnya Skripsi ini diharapkan dapat menjadi bahan alternatif untuk meningkatkan performance relai proteksi sistem distribusi 20 kV.

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan masalah ini tidak melebar dari pokok permasalahan dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai dan asumsi untuk memudahkan analisa, maka diperlukan batasan masalah. Adapun batasan masalahnya adalah:

1. Tidak membahas masalah harmonisa dan inrush current yang terjadi akibat proses switching.
2. Pentanahan sistem sesuai dengan Standar Perusahaan Listrik Negara – SPLN No. 26 : 1980, tentang pentanahan sistem 20 kV telah ditetapkan besar tahanan dan besar arus gangguan yang diizinkan.
3. Analisa sistem relai proteksi dilakukan pada penyulang PAM Surabaya.

1.5 Metodologi

Metodologi yang dipergunakan dalam penyusunan Skripsi ini meliputi :

1. Studi literatur mengenai peralatan pengaman pada penyulang sistem distribusi 20 kV.
2. Pengumpulan data teknis di PT. PLN Distribusi 20 kV, Cabang Surabaya Selatan, Gardu Induk Sukolilo pada penyulang PAM.
3. Berdasarkan data yang telah dikumpulkan kemudian diolah untuk identifikasi awal permasalahan dan pemodelan sistem kelistrikan PT. PLN distribusi 20 kV, GI. Sukolilo dengan penyulang PAM, untuk tujuan simulasi dengan menggunakan program Visual Basic.6
4. Melakukan simulasi dan analisa gangguan open circuit dan hubung singkat pada kondisi eksisting, guna menentukan besaran arus urutan negatif dan urutan nol.

1.6 Sistematika Pembahasan

Untuk pembahasan lebih lanjut, Skripsi ini disusun dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

- Bab I Pendahuluan yang membahas latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi dan sistematika pembahasan.
- Bab II Sistem Distribusi 20 kV yang membahas sistem jaringan distribusi, klasifikasi dan tipe sistem distribusi, gangguan-gangguan pada sistem tersebut, dan relai pengaman pada jaringan sistem distribusi.
- Bab III Jaringan Sistem Distribusi 20 kV Cabang Surabaya Selatan, yang membahas data jaringan sistem distribusi 20 kV penyulang PAM pada GI. Sukolilo yang digunakan, meliputi beban-beban yang tersebar disepanjang jaringan, dan pentanahan netral sistem.
- Bab IV Studi simulasi dan Analisa, yang membahas analisa hasil simulasi besaran arus urutan negatif dan urutan nol terhadap gangguan open circuit dan hubung singkat pada kondisi eksisting.
- Bab V Penutup berisi kesimpulan dan saran.

BAB II

SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

2.1 Sistem Jaringan Distribusi

Secara sederhana “Sistem Distribusi Tenaga Listrik” diartikan sebagai sistem sarana penyampaian tenaga listrik dari (titik) sumber ke (titik) pusat beban (konsumen). Oleh karena supply tenaga untuk konsumen (beban) memiliki kondisi dan persyaratan-persyaratan tertentu.

Jaringan distribusi secara umum terdiri dari dua buah bagian yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Sistem ini berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari suatu sumber daya besar (Bulk Power Source) sampai kepada bebau/Pemakai Tenaga Listrik. Jaringan distribusi primer umumnya bertegangan tinggi (20 kV atau 6 kV) dan jaringan distribusi sekunder mempunyai tegangan rendah (380V atau 220V). Didalam penyalurannya digunakan transformator distribusi yang berfungsi menurunkan tegangan menengah ke tegangan rendah.

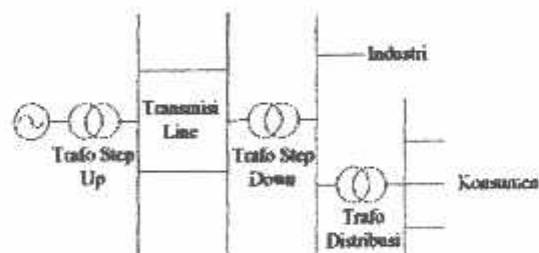
Gardu Induk (GI) mempunyai peranan yang sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik, yang meliputi pengukuran, pengawasan operasi serta pengaturan pengaman dari sistem tenaga listrik. Peralatan dan fasilitas penting yang menunjang untuk kepentingan pengaturan distribusi tenaga listrik yang ada di gardu induk adalah:

- a. Sisi Tegangan Tinggi.
 - Lighting Arrester
 - Pemutus Tenaga (CB)
 - Pengubah Trafo Berbeban

- Pemisah Line (DS)
 - Trafo Arus (CT)
 - Trafo Tegangan (PT)
- b. Sisi Tegangan Menengah
- Pemutus tenaga trafo (incoming circuit breaker)
 - Pemutus tenaga kabel (outgoing circuit breaker)
 - Pemutus tenaga atau pemisah kopel rem tegangan menengah
 - Trafo Arus (CT)
 - Trafo Tegangan (VT).
- c. Peralatan Kontrol
- Panel kontrol
 - Panel relay
 - Meter-meter pengukur

Gambaran secara umum tentang letak sistem distribusi pada sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini:

Gambar 2.1
Sistem Tenaga Listrik



Sumber : Hasan Basri : 1996 : Balai Penerbit & Humas ISTN : 17

Untuk menilai kualitas dan keandalan suatu sistem distribusi tenaga listrik perlu diperhatikan beberapa hal:

a. Voltage Regulation (Pengaturan Tegangan)

Voltage Regulation tidak boleh terlalu besar, atau dibatasi pada suatu harga tertentu.

b. Kontinuitas.

Gangguan terhadap konsumen tidak boleh terlalu sering terjadi.

c. Fleksibilitas terhadap beban.

Mudah menyesuaikan diri dengan penambahan beban atau dengan kata lain perubahan sistem karena penambahan beban dengan tidak memakan pengeluaran biaya yang terlalu tinggi.

d. Harga dari sistem.

Biaya investasi dan pemeliharaan yang serendah mungkin.

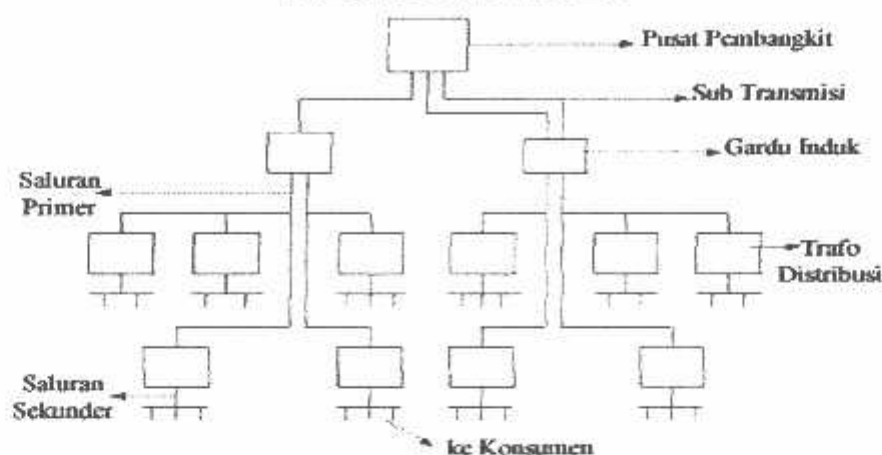
2.2 Klasifikasi Sistem Distribusi

2.2.1 Sistem Distribusi Primer

Untuk menyalurkan tenaga listrik dari suatu sumber daya listrik baik berupa pusat pembangkit atau GI sampai ke pusat-pusat beban, dipergunakan jaringan tegangan menengah 20 kV (Jaringan Distribusi Primer).

Dalam pengoperasiannya, jaringan distribusi primer ini akan dibebani sesuai dengan pertumbuhan beban sampai pada kapasitas daya maksimum yang dialirkan pada jaringan tersebut. Letak dari jaringan primer yaitu terletak diantara jaringan sub transmisi dan jaringan distribusi tegangan rendah atau jaringan distribusi sekunder, seperti terlihat pada gambar 2.2

Gambar 2.2
Jaringan Distribusi Primer



Sumber : Hasan Bastri : 1996 : Balai Penerbit & Humas ISTN : 17

2.2.2 Sistem Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder merupakan bagian dari jaringan distribusi primer, dimana jaringan ini berhubungan langsung dengan konsumen tenaga listrik, pada jaringan distribusi sekunder ini, sistem tegangan distribusi primer 20 kV diturunkan menjadi sistem tegangan rendah 380/220 Volt.

Dalam penggunaannya, jaringan distribusi sekunder ini pembebanan mengikuti perkembangan beban sampai pada kapasitas daya maksimum dari jaringan tersebut.

Pada pengoperasian jaringan distribusi sekunder harus diperhatikan beberapa hal, antara lain:

- Kapasitas maksimum trafo daya.
- Kapasitas maksimum hantaran arus dari saluran.
- Rugi-rugi tegangan maksimum yang diijinkan.
- Letak dari konsumen dilihat dari segi ekonomis.

2.3 Tipe Sistem Jaringan

Dalam tenaga listrik pada sistem distribusi tegangan menengah dikenal beberapa macam sistem jaringan, dimana masing-masing sistem mempunyai karakteristik yang berbeda-beda serta mempunyai keuntungan dan kerugian yang tergantung pada kebutuhan.

Pemilihan pemakaian salah satu dari beberapa macam sistem yang ada diperlukan pemilihan dan pertimbangan dari sistem yang akan digunakan tergantung pada tingkat kepentingan konsumen atau pusat beban itu sendiri. Sistem distribusi akan lebih efektif bila digunakan bentuk atau tipe sistem distribusi yang berbeda-beda, mengingat disesuaikan dengan keadaan beban maupun dengan hal-hal yang mempengaruhi sistem, dan didalam pemilihan tipe sistem distribusi tidak terlepas dari persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi sebagai berikut:

- Kontinuitas pelayanan yang baik, tidak sering terjadi pemutusan.
- Keandalan yang tinggi, antara lain meliputi:
 - Kapasitas daya yang memenuhi.
 - Tegangan yang selalu konstan dan nominal.
 - Frekuensi yang selalu konstan.
 - Penyebaran daerah beban yang seimbang.
 - Fleksibel dalam pengembangan dan perluasan, tidak hanya bertitik tolak pada kebutuhan beban sesaat tetapi kemungkinan pengembangan beban yang harus dilayani.
- Tegangan jatuh sekecil mungkin.

- Pertimbangan ekonomis, menyangkut perhitungan untung rugi baik secara komersial maupun dalam rangka penghematan anggaran yang tersedia.

Sedangkan mengenai susunan rangkaian jaringan distribusi dibedakan menjadi tiga macam tipe dasar sistem jaringan distribusi primer, yaitu:

1. Sistem Distribusi Radial.
2. Sistem Distribusi Loop/Ring.
3. Sistem Distribusi Network (jaring-jaring)/Mesh.

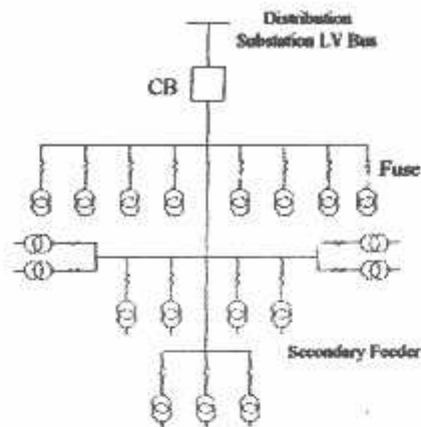
2.3.1 Tipe Sistem Radial

Tipe ini dikatakan radial karena sistem ini ditarik secara radial dari suatu titik sumber jaringan, dan dicabang-cabangkan ke titik-titik beban yang dilayani.

Sistem distribusi dengan tipe radial mempunyai bentuk dasar, paling sederhana dan banyak sekali (*most common*) digunakan serta leluasa pemakaiannya terutama untuk mensuplai daerah beban yang mempunyai kerapatan beban rendah. Pada sistem ini tenaga listrik dari gardu induk di salurkan kepada konsumen melalui feeder primer kemudian tegangannya diturunkan dengan transformator penurunan tegangan ke jaringan sekunder.

Sistem radial ini terdiri atas dua macam tipe, yaitu tipe pohon ditunjukkan gambar 2.3 dan tipe pusat beban ditunjukkan pada gambar 2.4.

Gambar 2.3
Sistem Radial Tipe Pohon



Sumber : Hasan Basri : 1996 : Balai Penerbit & Humas ISTN : 19

Untuk melokalisir gangguan, pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman berupa fuse, sectionaliser, atau alat pemutus lainnya, tetapi fungsinya hanya membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

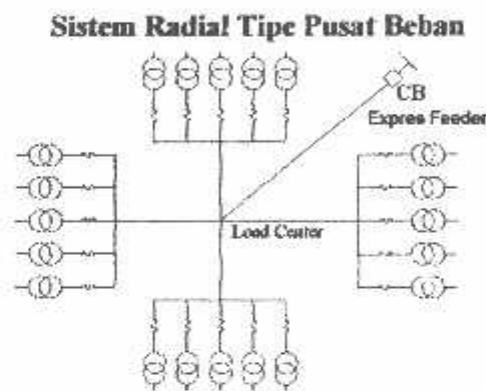
Bentuk ini merupakan bentuk paling dasar. Satu saluran utama (main feeder), dibentangkan menurut kebutuhan, selanjutnya dicabangkan dengan saluran cabang (Lateral feeder) kemudian dicabangkan lagi dengan sublateral feeder (anak cabang). Sesuai dengan kerapatan arus yang ditanggung masing-masing saluran, ukuran main feeder adalah yang terbesar, ukuran lateral feeder adalah lebih kecil dari main feeder, dan ukuran sublateral adalah yang terkecil.

Sistem ini mempunyai kontinuitas pelayanan kurang begitu baik, terutama untuk perluasan dan keandalan (reliabilitas) namun dalam pengadaannya tergolong murah. Jika terjadi gangguan maka beberapa gardu distribusi yang mendapat supply dari feeder primer yang mendapat gangguan tersebut akan

kehilangan tenaga listrik. Hal ini karena rimbukanya pemutus daya pada Substation sehingga terjadi pemadaman total.

Sedangkan untuk bentuk jaringan radial tipe pusat beban supply daya dengan menggunakan main feeder yang disebut "express feeder" langsung ke pusat beban, dan dari titik pusat beban di sebar dengan menggunakan "back feeder" secara radial.

Gambar 2.4

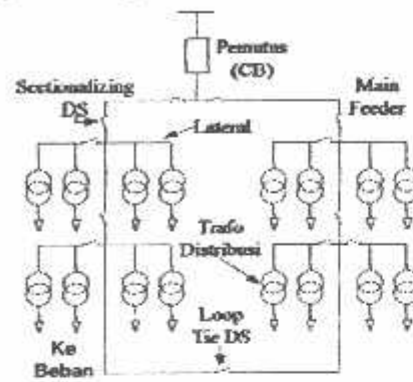


Sumber : Hasan Basri : 1996 : Balai Penerbit & Hurufas ISTN : 19 .

2.3.2 Tipe Sistem Loop/Ring

Sistem distribusi dengan tipe loop seringkali digunakan untuk mensupply beban dengan kerapatan beban yang cukup besar, dimana kontinuitas pelayanan sangat dipentingkan. Dimana susunan rangkaian feedernya berbentuk ring yang memungkinkan titik beban dilayani dari dua arah feeder, serta kualitas dayanya menjadi lebih baik karena drop tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil. Pada sistem ini apabila terjadi gangguan, maka salah satu feedernya akan mengalirkan aliran listrik yang tidak mendapat gangguan. Pada type ini, kualitas dan kontinuitas pelayanan daya lebih baik, tetapi biaya investasinya lebih mahal, karena memerlukan pemutus beban yang lebih banyak.

Gambar 2.5
Sistem Jaringan Distribusi Ring



Sumber : Hasan Basri : 1996 : Balai Penerbit & Humas ISTN : 20

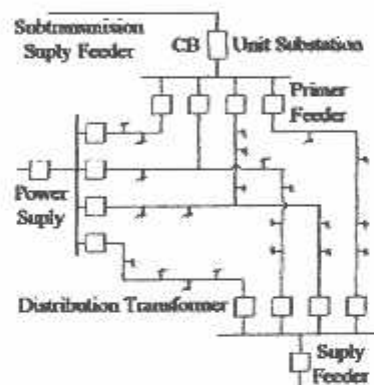
2.3.3 Tipe Sistem Network (Jaring-jaring)

Sistem ini merupakan kombinasi antara sistem radial dengan sistem loop, hanya saja sumber tenaganya didapat dari beberapa Gardu Induk, sehingga merupakan interkoneksi dari beberapa feeder primer, sehingga bila salah satu feeder terganggu maka dengan segera dapat digantikan oleh feeder yang lain. Dengan demikian kontinuitas penyaluran daya sangat terjamin. Spesifikasi jaringan network ini adalah:

- Kontinuitas penyaluran daya paling terjamin.
- Kualitas tegangannya baik, rugi daya pada saluran amat kecil.
- Bentuknya fleksibel (luwes) dalam mengikuti perkembangan beban.
- Sebelum pelaksanaannya, memerlukan koordinasi perencanaan yang teliti dan rumit.
- Memerlukan biaya investasi yang mahal.
- Memerlukan tenaga-tenaga terampil dalam pengoperasiannya.

Dengan spesifikasi tersebut, bentuk ini hanya untuk melayani beban yang benar-benar memerlukan tingkat keandalan dan kontinuitas yang tinggi, antara lain : Instalasi militer, pusat sarana komunikasi dan perhubungan, rumah sakit, dan instalasi-instalasi lainnya. Karena bentuk ini merupakan jaringan yang menghubungkan beberapa sumber, maka sistem network atau jaring-jaring disebut juga jaringan “interkoneksi”.

Gambar 2.6
Distribusi Primer Sistem Network



Sumber : Hasan Basri : 1996 : Balai Penerbit & Humas ISTN : 20

2.3.4 Tipe Sistem Spindel

Tipe ini bukanlah merupakan tipe tersendiri tetapi hasil modifikasi atau penggabungan dari tipe-tipe terdahulu yang bertujuan meningkatkan keandalan dan kualitas sistem. Tipe Spindel diperoleh dengan menambahkan lebih banyak saluran primer dan satu saluran yang bebas dari beban yang dinamakan *express feeder*. Fungsi dari *express feeder* dalam hal ini selain sebagai cadangan pada saat terjadinya gangguan pada salah satu saluran dengan melalui Gardu Hhubung (*switchgear*), juga berfungsi untuk memperkecil terjadinya drop tegangan pada sistem distribusi dalam keadaan operasi normal.

2.4 Konstruksi Sistem Jaringan Distribusi

Pada sistem distribusi, penyaluran tenaga listrik ke masing-masing konsumen dilakukan dengan menggunakan jaringan distribusi. Penyaluran tenaga listrik dengan jaring-jaring distribusi dapat dilakukan dengan menggunakan bentuk atau konstruksi saluran udara (over head) maupun konstruksi saluran bawah tanah (under ground).

Tabel 2.1

Perbedaan Konstruksi Jaringan Udara dan Bawah Tanah

No	Masalah	Saluran Udara	Saluran Bawah Tanah
1	Biaya Penyaluran	Murah	Lebih mahal
2	Perluasan	Cepat, Mudah	Lebih sulit
3	Pengoperasian	Mudah	Lebih sulit
4	pemeliharaan Perbaikan	Mudah tetapi harus lebih sering diinspeksi	Kabelnya sendiri praktis tidak perlu dipelihara
5	Kerusakan	Mudah	Lebih sulit
6	Gangguan	Lebih banyak	Sedikit
7	Pengaruh lingkungan	Besar	Kecil
8	Kemampuan	Rawan	Aman
9	terhadap lingkungan Estetika	Kurang	Baik

Sumber : Hasan Basri : 1996 : Balai Penerbit & Humas ISTN : 20

2.4.1 Saluran Udara

Sistem jaringan yang menggunakan konstruksi saluran udara, pada dasarnya penyaluran tenaga listriknya dilakukan diatas tanah (pada udara terbuka) dengan menggunakan hantaran udara yang dipasang atau ditempatkan diatas

tiang-tiang dan didukung oleh isolator-isolator sepanjang beban yang dilalui supply tenaga listrik, mulai gardu induk sampai ke pusat beban ujung akhir.

Jaringan udara direncanakan untuk kawasan dengan kepadatan beban rendah atau sangat rendah, misalnya pinggiran kota kampung / kota-kota kecil, dan tempat-tempat yang jauh serta luas dengan beban tersebar. Seringkali digunakan untuk melayani daerah yang sedang berkembang sebagai tahapan sementara. Kota-kota besar dengan mayoritas beban perumahan kebanyakan menggunakan jaringan udara.

Sedang kerugiannya adalah mudah mendapat gangguan dari luar (angin, petir, pohon, burung dan lain-lain), serta mengganggu keindahan lingkungan. Adapun jenis penghantar yang digunakan untuk saluran udara tegangan menengah adalah:

1. Konduktor jenis AAAC OC $3 \times 150 \text{ mm}^2$.
2. Konduktor jenis AAAC OC $3 \times 70 \text{ mm}^2$.

2.4.2 Saluran Bawah Tanah

Untuk saluran bawah tanah sistem penyaluran tenaga listriknya akan dilakukan dibawah tanah dan saluran yang digunakan adalah kabel tanah yang direntangkan sepanjang daerah beban yang dilaluinya. Jenis kabel tanah yang sering digunakan adalah jenis kabel Nekba dimana kabel ini jenis kabel minyak atau XLPE dan CVT yang termasuk jenis kabel kering, yang tahan sampai pada temperatur 90°C . Selain itu kabel ini mempunyai faktor daya yang rendah dan dielectrik strengthnya lebih tinggi.

Jaringan bawah tanah direncanakan untuk kawasan dengan padat beban tinggi atau sangat tinggi, misalnya kota metropolitan atau kota-kota besar. Untuk

kawasan dengan padat beban sedang atau tidak seragam biasanya menggunakan jaringan campuran. Bagian-bagian kabel untuk melayani daerah industri, perdagangan dan kantor-kantor.

Penanaman kabel tanah dapat dilakukan secara langsung atau memakai pipa pelindung. Pemakaian kabel tanah dengan pipa pelindung dilakukan untuk keperluan setempat, misalnya jaringan menyeberang sungai, instalasi didalam gedung dan lain-lain.

Selain itu penanaman dan perentangan kabel tanah didalam lubang yang telah digali perlu penanganan khusus, karena hal ini akan mempengaruhi umur maupun kemampuan kabel dalam penyaluran tenaga.

2.5 Gangguan Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Pada dasarnya gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat dibedakan mejadi 2 bagian, yaitu gangguan yang bersifat sementara dan yang bersifat permanen. Gangguan yang bersifat sementara atau temporary biasanya hanya terjadi dalam waktu yang sebentar, kemudian normal kembali. Sehingga apabila terjadi gangguan sementara maka diusahakan tidak sampai menjatuhkan sistem secara keseluruhan, karena menyangkut kontinuitas pelayanan ke beban.

Secara umum jenis gangguan yang dapat terjadi dapat digolongkan menjadi 3 macam yaitu:

- a. Gangguan shunt (hubung singkat)
 - Gangguan tiga phase (3ϕ)
 - Gangguan line to line (L - L)
 - Gangguan double line to ground (2LG)
 - Gangguan single line to ground (SLG)

- b. Gangguan seri (hubung seri)
 - Gangguan satu saluran terbuka (OLO)
 - Gangguan dua saluran terbuka (TLO)
 - Impedansi seri tak seimbang
- c. Gangguan simultan; merupakan dua jenis gangguan yang terjadi pada waktu yang bersamaan, berupa:
 - Gangguan shunt dengan gangguan shunt
 - Gangguan shunt dengan gangguan seri
 - Gangguan seri dengan gangguan seri

Probabilitas dari berbagai tipe gangguan shunt dapat dituliskan sebagai berikut:

Tabel 2.2

Kemungkinan dari Gangguan yang Timbul

Tipe	Kemungkinan
SLG	0.70
L - L	0.15
2 L G	0.10
3 ϕ	0.05
Total :	1.00

Sumber : William D. Stevensesen, Jr : 1982 : 448

Dari bermacam gangguan diatas tersebut, gangguan dapat dikelompokkan lagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Gangguan hubung singkat simetris.
2. Gangguan hubung singkat tak simetris.

(a). Gangguan Hubung Singkat Simetris

Gangguan hubung singkat tiga phasa merupakan jenis gangguan hubung singkat simetris, sedangkan gangguan yang lain merupakan gangguan tidak simetris. Gangguan arus hubung singkat ini menyebabkan timbulnya arus yang sangat besar yang melewati kapasitas arus yang diijinkan, adapun akibat-akibat yang ditimbulkan dengan adanya gangguan hubung singkat tersebut adalah:

- Rusaknya peralatan-peralatan listrik yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan arus-arus yang besar, arus tidak seimbang maupun tegangan-tegangan yang rendah.
- Terhentinya kontinuitas pelayanan listrik kepada konsumen apabila gangguan tersebut sampai mengakibatkan terputusnya *circuit* yang biasa disebut dengan pemadaman listrik.

Untuk menganalisa gangguan pada rangkaian tiga phasa seimbang, maka menganalisanya dapat diselesaikan secara langsung dengan menggunakan rangkaian setara phasa tunggal.

(b). Gangguan Hubung Singkat Tidak Simetris

Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah merupakan gangguan tidak simetri. Gangguan tidak simetri ini terjadi sebagai akibat dari gangguan satu fasa ke tanah, gangguan antar fasa atau gangguan dua fasa ke tanah.

Untuk menganalisa rangkaian tiga phasa tidak seimbang akan menjadi lebih rumit. Oleh karenanya dikembangkan suatu metode penyelesaian sistem poly phasa yang tidak seimbang, yaitu dengan metode komponen simetri.

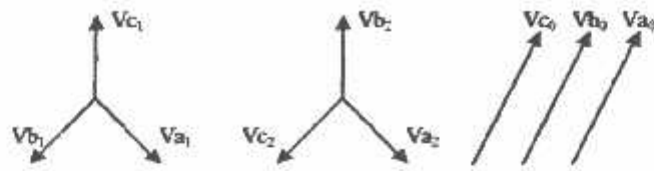
2.5.1 Komponen Simetri

Tiga fasor yang tidak seimbang dari sistem yaitu fasor arus I_a , I_b , dan I_c atau fasor tegangan V_a , V_b , dan V_c dapat diuraikan menjadi sistem fasor yang simetri dan seimbang. Fasor-fasor inilah yang disebut dengan komponen simetri dari sistem yang tidak seimbang. Prinsip dasar dari komponen simetri untuk rangkaian tiga fasa ialah bahwa pada setiap kelompok fasor yang tidak seimbang dalam sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga fasor yang seimbang yaitu:

1. Komponen-komponen urutan positif yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dengan beda fasa 120° dan mempunyai urutan yang sama seperti fasor aslinya.
2. Komponen-komponen urutan negatif yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dengan beda fasa 120° dan mempunyai urutan yang berlawanan arah dengan fasor aslinya.
3. Komponen-komponen urutan nol yang terdiri tiga fasor yang sama besar dan pergeseran sudut yang sama pula yaitu 0° .

Metode komponen simetri ini sangat berguna untuk menentukan secara tepat dan cepat kelakuan sistem tenaga listrik selama mengalami gangguan yang menyebabkan sistem tidak seimbang. Fasor tegangan tiga fasa yang tidak seimbang dapat diuraikan menjadi tiga fasor yang seimbang seperti gambar 2.7:

Gambar 2.7
Uraian Fasor Tak Simetris



Sumber : William D. Stevensen, Jr : 1982 : 449

- Dengan : V_{a0}, V_{b0}, V_{c0} , adalah komponen urutan nol.
- : V_{a1}, V_{b1}, V_{c1} , adalah komponen urutan positif.
- : V_{a2}, V_{b2}, V_{c2} , adalah komponen urutan negatif.

Karena setiap fasor yang tidak seimbang merupakan penjumlahan vektor dari komponen-komponennya, maka dapat diuliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_a &= V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \\
 V_b &= V_{b0} + V_{b1} + V_{b2} \\
 V_c &= V_{c0} + V_{c1} + V_{c2} \dots\dots\dots(2.1)
 \end{aligned}$$

Sumber : William D. Stevensen, Jr : 1982 : 449

Pergeseran fasa komponen simetri dari fasor-fasor tegangan maupun arus dalam sistem tiga fasa adalah 120° . Untuk menunjukkan perputaran suatu fasor sebesar 120° digunakan operator a . Operator a merupakan suatu bilangan kompleks yang mempunyai sudut sebesar 120° .

Operator a didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 a &= 1 \angle 120^\circ \\
 a^2 &= a \cdot a = 1 \angle 240^\circ \\
 a^3 &= a \cdot a \cdot a = 1 \angle 0^\circ
 \end{aligned}$$

Dimana a mempunyai arah positif jika fasor bergerak berlawanan dengan arah jarum jam dari fasor referensi.

Tabel 2.3

Fungsi Operator a

Fungsi	Bentuk polar	Bentuk rectangular
a	$1 < 120^0$	$-0.5 + j.0.866$
a^2	$1 < 240^0$	$-0.5 - j.0.866$
a^3	$< 0^0$	$-1.0 + j.0.0$
a^4	$1 < 120^0$	$-0.5 + j.0.866$
$1 + a = -a^2$	$1 < 60^0$	$0.5 + j.0.866$
$1 + a = -a$	$1 < -60^0$	$0.5 - j.0.866$
$a + a^2$	$1 < 180^0$	$-1.0 + j.0.0$
$1 + a + a^2$	$1,0^0$	$0.0 + j.0.0$

Sumber : William D. Stevensen, Jr : 1982 : 452

Dari gambar 2.7 diperoleh hubungan sebagai berikut:

$$\begin{array}{lll}
 V_{a_1} & V_{a_2} & V_{a_0} \\
 V_{b_1} = a^2 V_{a_1} & V_{b_2} = a^2 V_{a_2} & V_{b_0} = V_{a_0} \\
 V_{c_1} = a V_{a_1} & V_{c_2} = a V_{a_2} & V_{c_0} = V_{a_0}
 \end{array}$$

Dan dari persamaan (2.1) dapat dibentuk suatu matrik dengan menggunakan operator a yaitu:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_{a_0} \\ V_{b_1} \\ V_{c_2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.2)$$

Sumber : William D. Stevensen, Jr : 1982 : 452

Bentuk matrik diatas dapat ditulis dengan notasi :

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$A^{-1} = 1/3 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.4)$$

Maka persamaan (2.2) diperoleh persamaan matrik sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} Va_0 \\ Vb_1 \\ Vc_2 \end{bmatrix} = 1/3 \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.5)$$

Atau dapat didefinisikan sebagai :

$$\begin{aligned} Va_0 &= 1/3 (Va + Vb + Vc) \\ Va_1 &= 1/3 (Va + a Vb + a^2 Vc) \\ Va_2 &= 1/3 (Va + a^2 Vb + a Vc) \dots\dots\dots(2.6) \end{aligned}$$

Seperti persamaan (2.5), maka untuk menghitung arus pada suatu sistem tiga fasa tak scimbang adalah :

$$\begin{bmatrix} Ia \\ Ib_1 \\ Ic_2 \end{bmatrix} = 1/3 \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Ia \\ Ib \\ Ic \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.7)$$

Atau dapat didefinisikan sebagai:

$$\begin{aligned} Ia_0 &= 1/3 (Ia + Ib + Ic) \\ Ia_1 &= 1/3 (Ia + a Ib + a^2 Ic) \\ Ia_2 &= 1/3 (Ia + a^2 Ib + a Ic) \dots\dots\dots(2.8) \end{aligned}$$

Sumber : William D. Stevensen, Jr : 1982 : 452

Dalam sistem tiga fasa jumlah dalam saluran besarnya sama dengan arus yang mengalir melalui netral (I_n) sebagai jalan balik, yang dinyatakan dengan persamaan:

$$I_a + I_b + I_c = I_n \dots\dots\dots(2.9)$$

Dari persamaan (2.8) dan (2.9) diperoleh :

$$I_n = 3 I_o \dots\dots\dots(2.10)$$

Sumber : William D. Stevenses, Jr : 1982 : 453

Jika tidak ada jalan balik melalui saluran netralnya, I_n sama dengan nol dan salurannya tidak mengandung arus komponen urutan nol. Berdasarkan metode komponen simetris, dalam menganalisa suatu gangguan yang menyebabkan sistem tiga fasa menjadi tidak seimbang dapat diterapkan dalam hubungan rangkaian urutannya. Apabila akan melakukan suatu perhitungan tegangan atau arus gangguan, maka harus ditentukan dahulu impedansi urutan dari komponen-komponen sistem jaringan. Kemudian dibuat rangkaian pengganti masing-masing urutan kemudian dihubungkan menjadi suatu model rangkaian yang sesuai dengan jenis gangguan.

Secara umum rangkaian urutan dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Rangkaian urutan positif

Yaitu suatu rangkaian yang elemen-elemennya terdiri dari impedansi urutan positif dan pada sistem tenaga listrik rangkaian penggantinya tidak dipengaruhi oleh hubungan transformator baik itu hubungan delta maupun hubungan bintang serta pentahanan titik netralnya.

2. Rangkaian urutan negatif

Rangkaian urutan negatif semua elemennya diambil dari impedansi urutan positif dan model rangkaian pada umumnya sama seperti model pada rangkaian urutan positif, tetapi tidak memiliki sumber tegangan.

3. Rangkaian urutan nol

Besarnya impedansi suatu rangkaian urutan nol dipengaruhi oleh hubungan belitan transformator dan sistem pentanahan titik netral, baik titik netral transformator maupun generator.

2.5.2 Impedansi Urutan

1. Impedansi Urutan Sumber

Impedansi urutan sumber (Driving Point Impedansi) dapat ditentukan besarnya dengan beberapa cara, yaitu:

1. Jika sistem distribusi memperoleh daya melalui jaringan transmisi yang berpola radial, maka besar impedansi sistem diperoleh dengan menjumlahkankeseluruh Impedansi urutan komponen yang ada mulai dari generator sampai gardu induk. Dengan cara ini dapat ditentukan besar impedansi urutan negatif dan urutan positifnya. Impedansi urutan nol ditentukan dengan cara lain.
2. Dengan data-data yang diperoleh dari PLN (MVA hubung singkat), maka Impedansi sumber dapat dicari dengan cara sebagai berikut:

$$X_1 = X_2 = \left(\frac{KV_2}{KV_1} \right)^2 \times \frac{(KV_1)^2}{MVA_{sc}} \Omega \dots\dots\dots(2.11)$$

Jadi :

$$Z_{1S} = Z_{2S} = j_{X1} \Omega$$

Sumber : William D. Stevensen, Jr : 1982 : 455

2. Impedansi Urutan Transformator

Impedansi urutan positif transformator sama dengan impedansi bocor yang terdapat pada papan nama (dalam satuan P.U). Karena dalam perhitungan

hubung singkat, transformator direpresentasikan sebagai Induktor (Elemen Pasif), maka Impedansi urutan positif sama dengan Impedansi urutan negatif. Dalam satuan ohm, besarnya impedansi ini dihitung melalui persamaan (2.12) sebagai berikut:

$$Z_{1T} = Z_{2T} = X_1 \times \frac{(V_d)^2}{S_d} \Omega \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

Z_{1T} = Impedansi urutan positif transformator (Ω)

Z_{2T} = Impedansi urutan negatif transformator (Ω)

X_1 = Reaktansi bocor transformator yang tertulis pada papan nama
(P.u)

V_d = Tegangan dasar dari rating transformator (kV)

S_d = Daya dasar dari rating transformator (MVA)

Sumber : William D. Stevensen, Jr : 1982 : 455

Besar impedansi urutan nol transformator tergantung pada hubungan transformator serta impedansi pengetanahan titik netralnya. Besarnya impedansi urutan nol pada berbagai hubungan dan cara pengetanahan titik netral transformator dapat dilihat pada tabel. Di Indonesia biasanya pada gardu induk digunakan transformator daya dengan hubungan Y-Y dengan titik netral diketanahkan pada sisi tegangan menengahnya. Dalam hal ini besarnya harga impedansi urutan nolnya bisa ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Z_{0T} = 10 Z_T \dots\dots\dots(2.13)$$

Sumber : William D. Stevensen, Jr : 1982 : 455

3. Impedansi Urutan Saluran

Impedansi saluran merupakan impedansi seri yang dibentuk oleh reaktansi dan induktansi yang terbagi rata di sepanjang saluran. Sedangkan untuk saluran distribusi yang tidak terlalu panjang, maka pengaruh kapasitansi dapat diabaikan.

Impedansi saluran ini meliputi saluran udara dan saluran kabel. Pada sistem 20 kV sebagian besar memakai saluran udara (SUTM), Sedangkan saluran kabel hanya dipakai dari bus 20 kV menuju ke tiang listrik diluar gardu sesuai dengan konfigurasi dan tempat yang akan dituju.

(a). Impedansi Urutan Saluran Udara

Impedansi ini meliputi impedansi urutan positif, impedansi urutan negatif, dan urutan nol.

Besarnya tahanan sebuah penghantar tergantung pada konduktivitas σ dan luas penampang q_s . Harganya dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$R_{d0} = \frac{1000}{q_s \cdot \sigma_{20}} \Omega / km \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

R_{d0} = tahanan pada temperatur $20^{\circ}C$.

q_s = luas penampang penghantar (mm^2).

σ_{20} = hantaran jenis bahan ($m/\Omega mm^2$) pada temperatur $20^{\circ}C$, yaitu =
 $30,4878 (m/\Omega mm^2)$.

Sumber : T.S. Hutauruk : Badan Prokerma PLN-ITB :1983 :52

Nilai dari tahanan ini akan semakin besar dengan bertambahnya temperatur, sehingga besar tahanan pada temperatur t (dalam $^{\circ}C$) adalah:

$$R_{dc} = R_{dc0} [1 + \alpha_{20}(t-20)] \Omega/km \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana: α_{20} = konstanta yang tergantung pada jenis bahan penghantar yaitu:
 $0,00403/^{\circ}C$.

Harga dari tahanan ini dipengaruhi juga oleh frekuensi dari sistem yang besarnya tergantung pada faktor:

$$mr = 0.0118 \sqrt{fxq}, \dots\dots\dots(2.16)$$

sehingga besarnya nilai tahanan penghantar apabila dialiri arus AC adalah:

$$R_{ac} = \frac{1}{2} R_{dc} \left[\sqrt{\left(1 + \frac{(mr)^4}{48}\right)} + 1 \right] \Omega/km \dots\dots\dots(2.17)$$

Besarnya induktansi saluran 3 ϕ untuk setiap penghantar bila ke-3 penampang penghantar sama besarnya:

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{Dm}{Ds} \text{ (H/m)} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

Dm = jarak rata-rata geometris (GMD) bersama antara penghantar 3 ϕ (m).

Ds = jari-jari rata-rata geometris (GMR) penghantar (m).

Sumber : T.S. Hutauruk : Badan Prokerma PLN-ITB :1983 :52

Pada saluran udara jaringan distribusi primer (overhead line) biasanya dipakai jenis A3C dari 50-150 mm². Sedangkan nilai tahanan arus searah sudah tercantum dalam spesifikasi teknis, namun nilai ini akan berubah karena adanya arus AC dan pengaruh suhu.

Perbedaan harga tahanan yang disebabkan pengaruh suhu sangat variasi karena temperatur kerja berubah-ubah sesuai dengan suhu sekitar dan arus yang

melalui saluran. Namun untuk kondisi Indonesia, yang tidak banyak mengalami perubahan suhu, maka suhu kerja bisa dibuat 50°C .

Geometric Mean Distances (GMD) :

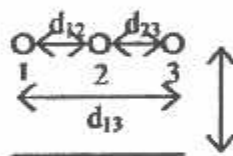
GMD dapat didefinisikan sebagai koefisien reaktansi induktif dari konduktor dengan konduktor lain (spacing factor). Dalam distribusi primer $3\phi - 3$ kawat ditransposisi, maka GMDnya dijabarkan sebagai berikut:

$$GMD = \sqrt[3]{d_{12}d_{23}d_{13}} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana : d = jarak antar konduktor dalam meter.

Sumber : T.S. Hutauruk : Badan Prokerma PLN-ITB :1983 :53

Gambar 2.8
Konfigurasi Jaringan Distribusi



Sumber : T.S. Hutauruk : Badan Prokerma PLN-ITB :1983 :53

Geometric Mean Radius (GMR):

GMR adalah persamaan matematis yang menyatakan batasan induktansi internal dan eksternal dari konduktor. Strand (banyak lilitan), GMR juga disebut GMD dari luas penampang konduktor itu sendiri.

Nilai GMR untuk tiap-tiap jumlah strand dapat dilihat pada tabel:

Tabel 2.4

Nilai GMR Tiap Jumlah Strand

Jumlah Strand	GMR
3	$0.4210 \sqrt{q_s} = 0.6780r$
7	$0.4114 \sqrt{q_s} = 0.7253r$
19	$0.4345 \sqrt{q_s} = 0.7570r$
37	$0.4418 \sqrt{q_s} = 0.7680r$
61	$0.4448 \sqrt{q_s} = 0.7720r$

Sumber : T.S. Hutauruk : Badan Prokerma PLN-ITB : 1983 :51

Nilai dari GMR tergantung dari luas penampang penghantar konduktor (q_s) atau bisa juga tergantung dari radius konduktor (r) dan jumlah strand dari konduktor tersebut.

Dengan demikian dapat dilakukan perhitungan terhadap Impedansi urutan positif, dimana impedansi urutan positif adalah penjumlahan dari tabaan arus bolak-balik dan reaktansi induktif dari konduktor.

Impedansi Urutan Positif dan Negatif

Nilai dari impedansi urutan positif atau negatif bisa dihitung dengan persamaan :

$$Z_{11} = Z_{22} = R_{ac} + j0,002894 f \cdot \log \dots \dots \dots (2.20)$$

Sumber : GEC Alsthom :1987 : 47

Impedansi Urutan Nol

Untuk sirkuit yang simetris, harga dari Z_0 bisa dihitung dengan persamaan

$$Z_{00} = R_{ac} + 0,002964 \cdot f + j0,00868 \cdot f \cdot \log \frac{660 \sqrt{\rho/f}}{\sqrt[3]{((GMD)^2 \cdot GMR)}} \Omega/m \dots \dots \dots (2.21)$$

Sumber : GEC Alsthom :1987 : 47

(b).Impedansi Urutan Saluran Kabel Tanah

Pada saluran kabel tanah selain pengaruh temperatur kerja dan frekuensi, pengaruh isolasi pada kabel akan menyebabkan tahanan kabel bertambah. Adapun besarnya penambahan tahanan karena selubung ini dapat diperoleh dengan memakai persamaan:

$$r = \frac{X_m^2 \cdot x r_s}{X_m^2 + r_s^2} \Omega / km / \text{konduktor} \dots\dots\dots(2.22)$$

sedangkan besar penambahan reaktansi induktif dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$X_l = \frac{X_m^3}{X_m^2 + r_s^2} \Omega / km / \text{konduktor} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana : X_m = reaktansi induktif bersama konduktor dan selubung

$$= 0.0002794 \cdot f \log \frac{2 \cdot S}{r_o + r_i}$$

$$r_s = \frac{2 \cdot S}{(r_o + r_i)(r_o - r_i)}$$

dengan :

- r_s = tahanan dari selubung
- S = jarak rata-rata antar penghantar
- r_i = jari-jari dalam selubung
- r_o = jari-jari luar selubung

Sumber : T.S. Hutauruk : Badan Prokerma PLN-ITB :1983 : 68

Sehingga harga dari impedansi urutan positif dan negatif untuk single conductor cable adalah:

$$Z_1 = Z_2 = 0.2794 \cdot \frac{f}{60} \cdot \log_{10} \frac{GMD}{GMR} - \frac{X_m^2}{X_m^2 + r_s^2} \Omega / \text{mile} \dots\dots\dots(2.24)$$

Sumber : Westinghouse Electric Corporation : 1954 : 72

Sedangkan untuk three conductor cable, harga dari impedansi urutan positif dan negatifnya adalah:

$$Z_1 = Z_2 = 0.2794 \cdot \frac{f}{60} \cdot \log_{10} \frac{GMD}{GMR} \Omega / \text{mile} \dots\dots\dots(2.25)$$

Sumber : T.S. Hutauruk : Badan Prokerma PLN-ITB :1983 : 72

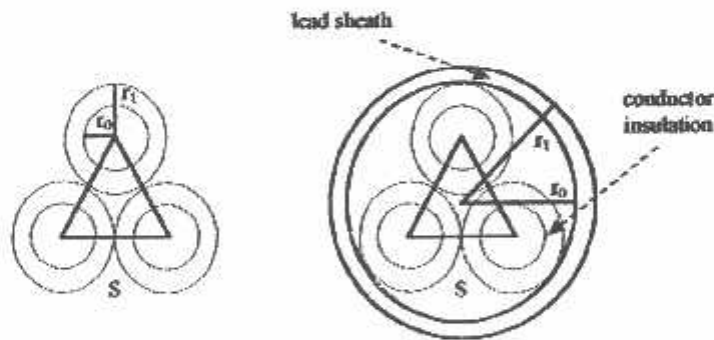
Impedansi urutan nolnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$Z_0 = R_{oc} + r_e + j0.8382 \cdot \frac{f}{60} \cdot \log_{10} \frac{D}{GMR_{3c}} \Omega / \text{mile} \dots\dots\dots(2.26)$$

Sumber : T.S. Hutauruk : Badan Prokerma PLN-ITB :1983 : 72

Dimana : r_e = reaktansi induktif dari tanah yang besarnya = $0.00296 \cdot f$

Gambar 2.9
Penampang Melintang Kabel



Sumber : T.S. Hutauruk : Badan Prokerma PLN-ITB :1983 : 67

Harga GMR_{3c} ini tergantung dari jarak S antara konduktor (single atau three)

2.5.3 Analisa Gangguan

Dalam menganalisa gangguan yang terjadi pada suatu sistem tenaga listrik dipergunakan rangkaian urutan positif, negatif dan nol dalam hubungannya dengan metode komponen simetri.

(a).Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Arus ini besarnya sama dan simetri sehingga yang mengalir hanya arus komponen positif saja.

Dari gambar diatas didapat persamaan:

$$\begin{aligned} I_a = I_b = I_c & \quad I_a = I_{a_0} + I_{a_1} + I_{a_2} \\ I_{a_2} = I_{a_0} = 0 & \dots\dots\dots(2.27) \end{aligned}$$

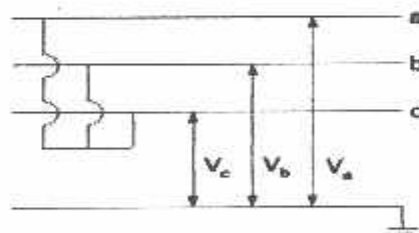
Sumber : Turan Gonen : 1988 : 284

Dari gambar diperoleh persamaan:

$$\begin{aligned} I_0 = I_2 = 0 & \quad V_{a_1} = V_{a_0} = V_{a_2} = 0 \\ I_{a_1} = V_a/Z_1 & \dots\dots\dots(2.28) \end{aligned}$$

Sumber : Turan Gonen : 1988 : 284

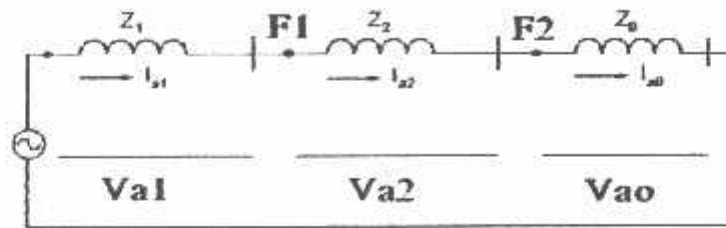
Gambar 2.10
Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa



Sumber : Turan Gonen : 1988 : 289

Gambar 2.11

Rangkaian Pengganti Gangguan Hubung Singkat Tiga Phasa



Sumber : Turan Gonen : 1988 : 289

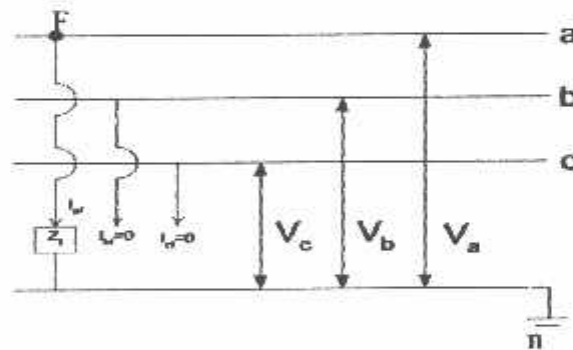
(b).Gangguan Hubung Singkat Satu Phasa Ke Tanah

Gambar 2.12 menunjukkan kesalahan umum satu phasa ke tanah dimana gangguan terjadi pada titik F dengan impedansi sebesar Z_f .

Biasanya Z_f diabaikan dalam analisa. Gangguan disini diasumsikan terjadi pada phasa a.

Gambar 2.12

Gangguan Satu Phasa ke Tanah pada Titik F



Sumber : Turan Gonen : 1988 : 268

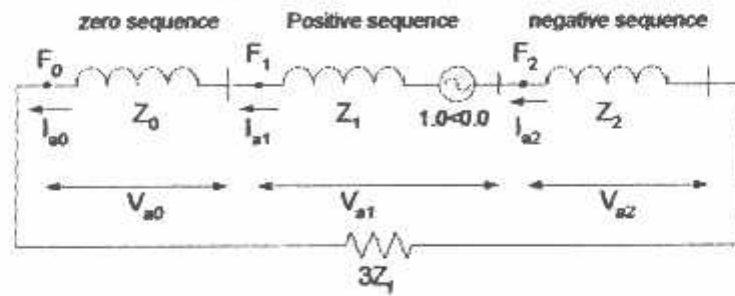
Berdasarkan rangkaian diatas didapatkan persamaan sebagai berikut

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = 1.0 \angle 0^\circ / (Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f) \dots \dots \dots (2.29)$$

$$\begin{bmatrix} I_{a_f} \\ I_{b_f} \\ I_{c_f} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a_0} \\ I_{a_1} \\ I_{a_2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.30)$$

Gambar 2.13

Rangkaian Pengganti Gangguan Satu Fasa ke Tanah



Sumber : Turan Gonen : 1988 : 268

Arus gangguan untuk phasa a ke tanah adalah:

$$I_{a_f} = I_{a_0} + I_{a_1} + I_{a_2}$$

Atau

$$I_{a_f} = 3I_{a_0} = 3I_{a_1} = 3I_{a_2} \dots\dots\dots (2.31)$$

Dari gambar 2.13 didapatkan:

$$V_a = Z_f I_{a_f} \dots\dots\dots (2.32)$$

$$V_a = 3 Z_f I_{a_1} \dots\dots\dots (2.33)$$

$$V_a = V_{a_0} + V_{a_1} + V_{a_2} \dots\dots\dots (2.34)$$

Maka: $V_{a_0} + V_{a_1} + V_{a_2} = 3 Z_f I_{a_1} \dots\dots\dots (2.35)$

$$\begin{bmatrix} V_{a_0} \\ V_{a_1} \\ V_{a_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1.0 \angle 0^\circ \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.36)$$

$$V_{a_0} = - Z_0 I_{a_0} \dots\dots\dots (2.37)$$

$$V_{a_1} = 1.0 - Z_1 I_{a_1} \dots\dots\dots (2.38)$$

$$V_{a_2} = - Z_2 I_{a_2} \dots\dots\dots (2.39)$$

Untuk mencari nilai gangguan tegangan di phasa b dan c adalah :

$$\begin{bmatrix} V_e \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.40)$$

maka:

$$V_b = V_{a_0} + a^2 V_{a_1} + a V_{a_2} \dots\dots\dots(2.41)$$

$$V_c = V_{a_0} + a V_{a_1} + a^2 V_{a_2} \dots\dots\dots(2.42)$$

Sumber : Turan Gonen : 1988 : 268

(c). Gangguan Antar Phasa

Pada umumnya gangguan antar phasa pada sistem transmisi terjadi karena hubung singkat antar konduktor. Gambar 2.14 menunjukkan gangguan yang terjadi antar phasa di titik F melalui sebuah impedansi Z_f .

$$i_{a_f} = 0 \dots\dots\dots(2.43)$$

$$I_{b_f} = - I_{c_f} \dots\dots\dots(2.44)$$

$$V_{bc} = V_b - V_c = Z_f I_{b_f} \dots\dots\dots(2.45)$$

$$I_{a_0} = 0 \dots\dots\dots(2.46)$$

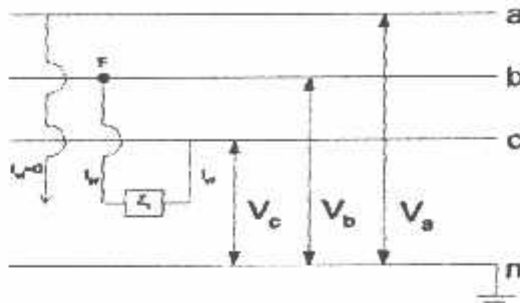
$$I_{a_1} = - I_{a_2} = 1.0 \angle 0^\circ / (Z_1 + Z_2 + Z_f) \dots\dots\dots(2.47)$$

Jika $Z_f = 0$,

$$I_{a_1} = - I_{a_2} = 1.0 \angle 0^\circ / (Z_1 + Z_2) \dots\dots\dots(2.48)$$

Sumber : Turan Gonen : 1988 : 268

Gambar 2.14
Gangguan Antar Fasa



Sumber : Turan Gonen : 1988 : 275

Dengan substitusi persamaan (2.46) dan (2.47) ke dalam persamaan (2.30), arus gangguan pada fasa a dan b dapat ditemukan sebagai:

$$I_{a_f} = -I_{b_f} = \sqrt{3} I_{a_1} < -90^\circ \dots\dots\dots (2.49)$$

Dengan substitusi persamaan (2.46) dan (2.47) ke dalam persamaan (2.37), tegangan urutan dapat ditemukan sebagai:

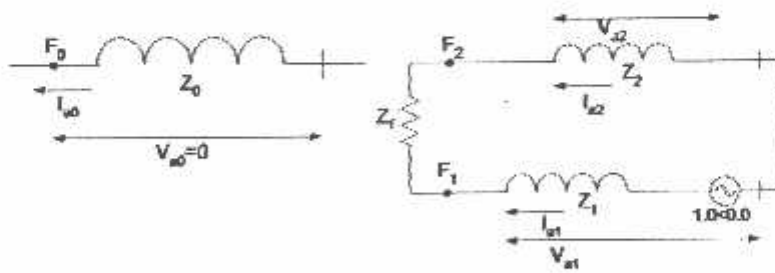
$$V_{a_0} = 0 \dots\dots\dots (2.50)$$

$$V_{a_1} = 1.0 - Z_1 I_{a_1} \dots\dots\dots (2.51)$$

$$V_{a_2} = -Z_2 I_{a_2} = Z_2 I_{a_1} \dots\dots\dots (2.52)$$

Sumber : Turan Gonen : 1988 : 275

Gambar 2.15
Hubungan Urutan Rangkaian



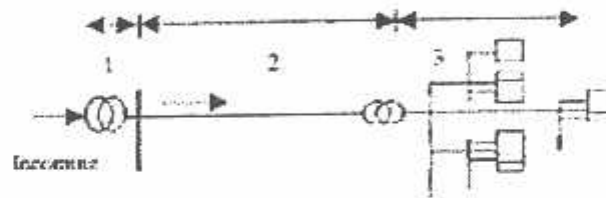
Sumber : Turan Gonen : 1988 : 275

2.5.4 Tempat-Tempat Terjadinya Gangguan

Berdasarkan tempat terjadinya, sumber gangguan sistem distribusi dapat terjadi di tiga titik lokasi seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.16 yaitu:

1. Gardu Induk
2. Saluran Distribusi Primer (Tegangan Menengah 20 kV)
3. Beban

Gambar 2.16
Tempat Terjadinya Gangguan pada Sistem 20 kV



Sumber : GI. Sukolilo Area Surabaya Selatan

1. Gangguan di Gardu Induk

Terjadinya gangguan di gardu induk sebagian besar terjadi pada peralatan transformator gardu induk yang disebabkan oleh beberapa hal seperti: timbulnya harmonisa, kesalahan dalam sistem pentanahan netral, sambaran petir (G.I tipe *outdoor*) serta kegagalan sistem isolasi/pendingin.

2. Gangguan di Saluran Distribusi Primer

Gangguan pada lokasi ini disebabkan oleh beberapa hal antara lain:

- *Surja Hubung meliputi*: pemutusan saluran yang tidak serempak pada pemutus tiga phasa (2,76 pu), penutupan kembali saluran dengan

- cepat (4,25 pu), pelepasan beban yang didahului oleh gangguan (1,1 – 1,2 pu), penutupan saluran (1,5 pu), switching transformator (2,75 pu), switching reaktor dan kapasitor (2,5 pu).
- *Symphatetic Trip*: gangguan berupa pemadaman/trip pada saluran yang normal akibat adanya efek kapasitansi dari saluran yang terganggu dan menyebabkan perubahan arus kerja relay pada saluran yang normal.
- *Sambaran Petir* yang lebih sering terjadi pada musim hujan.

3. Gangguan di Sisi Beban

Timbulnya gangguan di sisi beban sebagian besar disebabkan karena adanya beban tak seimbang, fluktuasi daya dan variasi tipe pembebanan seperti: *beban perumahan, beban komersial dan beban industri*, dimana beban industri merupakan tipe beban yang paling potensial sebagai sumber gangguan seperti: harmonisa, under/over voltage dan voltage unbalance.

Tabel 2.5

Perlengkapan Industri Yang Berpotensi Mempengaruhi Mutu Listrik

No	Jenis peralatan	Sifat Kerjanya	Potensi Negatif Pada Mutu Listrik
1	Motor Listrik Jenis Motor Induksi Contoh Pemakaian: - Pabrik Kertas - Pabrik Semen - Pabrik Baja	- Arus asut besar - Arus kerja tergantung sifat beban mekanis - Kecepatan tergantung dari tegangan dan frekuensi - Stabilitas kerja sensitif terhadap kedipan tegangan	- Tegangan - Frekuensi
2	Dapur Busur Listrik Contoh Pemakaian: - Pabrik baja	- Fluktuasi daya besar dan tidak seimbang	- Tegangan - Frekuensi - Ketidakseimbangan tegangan dan arus - Harmonisa
3	Las Listrik Contoh Pemakaian: - Bengkel mekanik	- Fluktuasi daya besar	- Tegangan - Frekuensi
4	Peralatan Elektronika daya dan mikroprosesor Contoh peralatan: - AC/DC converter - Kontrol Motor Contoh Pemakaian: - Pabrik baja - Pabrik semen	- Hubungan arus/tegangan dan magnetik tidak linier - Sensitif terhadap fluktuasi tegangan, frekuensi, harmonik dan tegangan transien	- Gangguan kerja peralatan listrik

Sumber : Majalah Energi & Listrik No. VI :2 juni 1996

Beberapa contoh jenis peralatan listrik yang berpotensi mempengaruhi kualitas daya listrik di Industri adalah seperti pada Tabel 2.5

2.6 Sistem Per-Unit

Dalam menganalisa suatu rangkaian sistem tenaga listrik biasanya digunakan besaran per-unit untuk menggantikan besaran-besaran yang ada. Hal ini dimaksudkan untuk memudahkan perhitungan. Besaran per-unit didefinisikan sebagai:

$$PU = \frac{\text{Besaran daya yang sebenarnya}}{\text{besaran dasar yang sama}} \dots\dots\dots(2.53)$$

Sumber : William D. Stevensen, Jr : 1994 : 32

Terdapat empat besaran yang biasanya diperhitungkan dalam menganalisa sistem tenaga listrik.

Tabel 2.6
Bcsaran listrik dan Dimensinya

Besaran	Simbol	Dimensi
Arus	I	(I)
Tegangan	V	(V)
Daya	$S = P + jQ$	(VI)
Impedansi	$Z = R + jX$	(V/I)

Sumber : William D. Stevensen, Jr : 1994 : 28

Dengan memilih dua besaran sembarang sebagai besaran dasar, secara langsung dapat diperoleh besaran-besaran dasar yang lain.

Rumus-rumus dibawah ini memberikan hubungan untuk berbagai besaran:

$$\text{Arus dasar, } I_b = \frac{\text{Daya dasar, } kVA_b, 1\phi}{\text{Tegangan dasar, } kV_b, LN} \dots\dots\dots(2.54)$$

$$\text{Impedansi dasar, } Z_b = \frac{\text{Tegangan dasar, } V_{MN}}{\text{Arus dasar, } I_b} \dots\dots\dots(2.55)$$

$$\text{Impedansi dasar, } Z_b = \frac{(\text{Tegangan dasar, } kV_b, LN)^2 \times 1000}{\text{Daya dasar, } kVA_b, 1\phi} \dots\dots\dots(2.56)$$

$$\text{Impedansi dasar, } Z_b = \frac{(\text{Tegangan dasar, } kV_{LN})^2}{\text{Daya dasar, } MVA_b \cdot 1\phi} \dots\dots\dots(2.56)$$

Sumber : William D. Stevenson, Jr : 1994 : 29

Dalam persamaan-persamaan diatas, subskrip 1ϕ dan LN berturut-turut menunjukkan “per fasa” dan “saluran ke netral”, untuk persamaan-persamaan yang berlaku bagi rangkaian tiga fasa. Jika persamaan-persamaan dipakai untuk rangkaian berfasa tunggal, kV_{LN} berarti tegangan pada saluran berfasa tunggal, atau tegangan saluran ke tanah jika salah satu salurannya diketanahkan.

$$Z_{baru} \text{ per-unit} = \frac{\text{impedansi sebenarnya, } Z(\Omega)}{\text{impedansi dasar}} \dots\dots\dots(2.58)$$

Untuk mengubah besaran per-unit ke dalam base yang lain, maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$Z_{baru} \text{ per unit} = Z_{diberikan} \text{ per-unit} \left[\frac{kV_{diberikan} \text{ dasar}}{kV_{baru} \text{ dasar}} \right]^2 \times \left[\frac{kV_{baru} \text{ dasar}}{kV_{diberikan} \text{ dasar}} \right]^2 \dots\dots\dots(2.59)$$

Sumber : William D. Stevenson, Jr : 1994 : 31

2.7 Relai Pengaman

Adanya relai dalam sistem tenaga listrik tidak sekedar untuk meniadakan gangguan tetapi juga untuk melokalisir agar gangguan yang terjadi tidak meluas dan tidak merusak peralatan serta kestabilan sistem. Sehingga apabila terjadi gangguan baik itu dari dalam maupun dari luar sistem maka relai dengan cepat dapat melokalisir dan lebih lanjut akibat dari gangguan tersebut tidak meluas.

Agar pemakaian relai-relai pada sistem jaringan tegangan menengah mampu menciptakan suatu sistem pengamanan yang dapat dipercaya maka pemilihan relai harus betul-betul teliti.

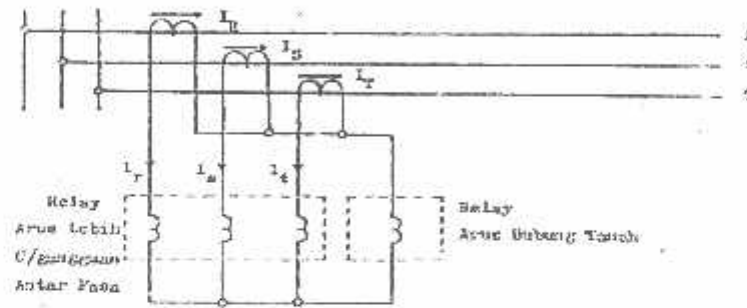
2.7.1 Prinsip Kerja Relai Proteksi

2.7.1.1 Relai Hubung Tanah (Ground Fault Relay)

Relai hubung tanah pada jaringan tegangan menengah pada dasarnya menggunakan relai arus lebih seperti yang digunakan pada gangguan hubung singkat antar fasa, tetapi berbeda rangkaianannya seperti terlihat pada gambar 2.17

Gambar 2.17

Rangkaian Relai Arus Lebih Gangguan Fasa dan Relai Hubung Tanah



Sumber : PT. PLN (PERSERO) : 1996 : 11

Pada kondisi normal dengan beban seimbang I_R , I_S , I_T adalah sama besar, sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan relai hubung tanah tidak dialiri arus. Bila terjadi ketidak seimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat ketanah, maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral, sehingga relai hubung tanah bekerja.

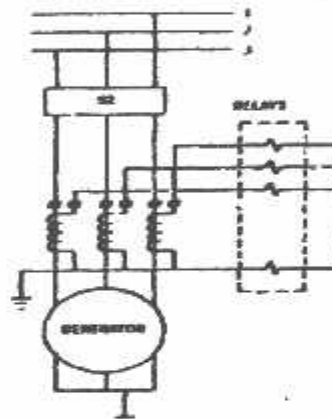
Penentuan setting relai hubung tanah harus memperhatikan :

- a. Besar arus hubung singkat 1 Fasa, arus ketidakseimbangan beban dan arus kapasitif jaringan. Faktor arus ketidakseimbangan beban dapat diabaikan, sedangkan faktor kapasitansi jaringan hanya diperhatikan pada SKTM .

2.7.1.2 Relai Urutan Negatif

Relai urutan negatif berfungsi untuk mengamankan adanya beban yang tidak seimbang pada gangguan satu fasa atau dua fasa di jaringan yang tidak segera diamankan oleh relai pengaman pada jaringan. Untuk setting NSR berkisar antara 2 sampai dengan 40 ampere terhadap besarnya gangguan arus urutan negatif yang terjadi baik pada gangguan satu fasa ataupun dua fasa ketanah yang terjadi pada sistem distribusi 20 kV.

Gambar 2.18
Diagram Relai Urutan Negatif



Sumber : GE Power Management . 7

BAB III

JARINGAN SISTEM DISTRIBUSI 20 kV

GARDU INDUK SUKOLILO

3.1 Sistem Distribusi 20 kV Gardu Induk Sukolilo.

Untuk pembahasan sistem distribusi pada Skripsi ini adalah pada sistem distribusi G.I. Sukolilo 150 kV, dimana gardu induk Sukolilo mendapat suplai dari G.I. Rungkut 150 kV.

Pada G.I. Sukolilo, terdapat 21 penyulang, dimana tegangan yang disalurkan kepenyulang adalah 20 kV, penyulang tersebut antara lain: Penyulang Pucang Anom, Penyulang Keputran, Penyulang Darmawangsa, Penyulang Kalidami, Penyulang Srikana, Penyulang ITS, Penyulang Keputih, Penyulang Jemolo, Penyulang PAM.

Gambar 3.1

Diagram Blok GI Rungkut 150 kV

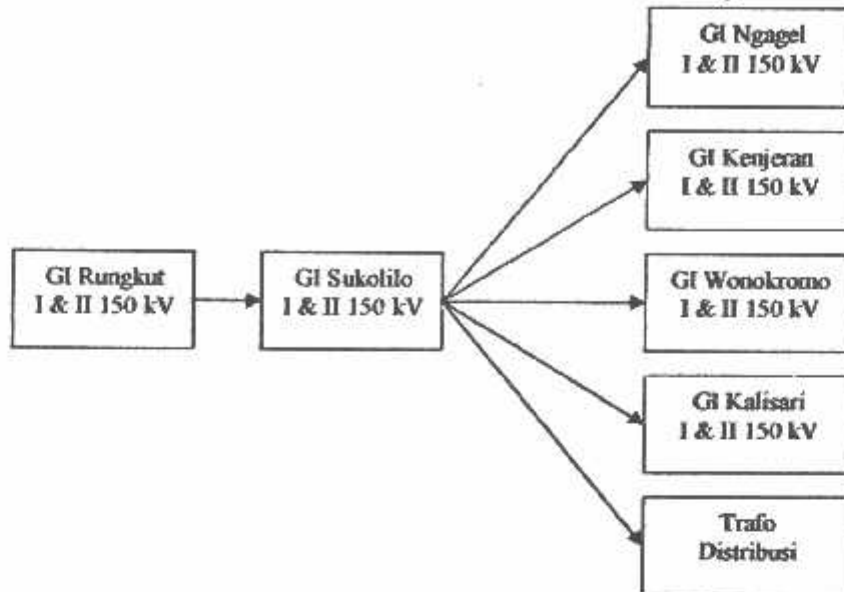


Sumber : GI. Sukolilo Area Surabaya Selatan

Keterangan :

1. Line Input : Input dari GI Rungkut I & II
2. DS : *Disconnect Switch*
3. CB : *Circuit Breaker*
4. Busbar
5. Line Output :
 - a. Transmisi 150 kV
 - b. Distribusi 20

Gambar 3.2 Saluran Transmisi GI. Rungkut

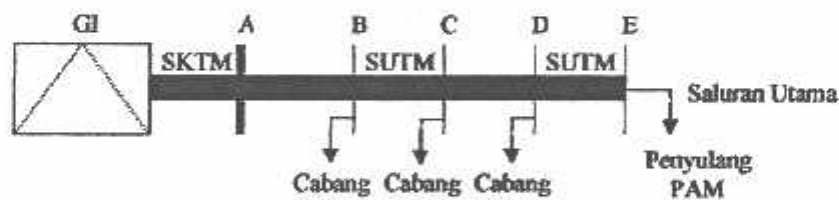


Sumber : GI. Sukolilo Area Surabaya Selatan

Sedangkan sistem distribusi 20 kV yang digunakan sebagai model dalam Skripsi ini adalah sistem distribusi penyulang PAM 20 kV pada Gardu Induk Sukolilo.

Gambar 3.3

Gardu Induk Sukolilo dengan Penyulang PAM



Sumber : GI. Sukolilo Area Surabaya Selatan

Model sistem distribusi yang dipergunakan adalah jaringan radial yang dipasok dari trafo gardu induk 150/20 kV yang disuplai dari sistem transmisi tiga fasa pada frekuensi 50 Hz. Panjang jaringan distribusi pada penyulang PAM tersebut adalah 9,8 km dengan beban-beban yang tersebar di sepanjang jaringan distribusi dan terdiri dari beban pada tegangan menengah dan rendah.

Guna melindungi peralatan dan menjamin keandalan pengoperasian sistem tersebut, sistem distribusi tersebut dilengkapi oleh relai pengaman dan pentanahan netral sistem.

3.2 Data – data Jaringan

3.2.1 Data Transformator Daya

Data – data Transformator II PASTI di Gardu Induk Sukolilo adalah sebagai berikut :

Daya nominal (P) : 60 MVA

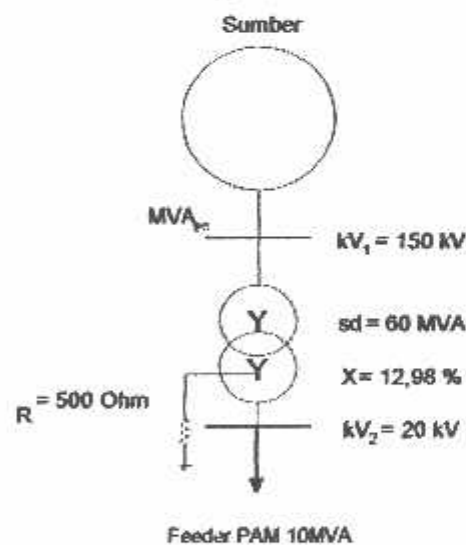
Tegangan (E) : 150/20 kV

Impedensi bocor (Zt) : 12,98 %

Hubungan belitan : Y-Y-n

Tahanan Pentanahan : 500 Ω

Gambar 3.4
GI Sukolilo dengan Trafo II PASTI



Sumber : GI Sukolilo Area Surabaya Selatan

3.2.2 Data Saluran

Data saluran pada penyulang PAM, terdiri dari 2 saluran, yaitu:

1. Saluran Kabel Tegangan Menengah.
2. Saluran Udara Tegangan Menengah.

Dari data penyulang yang akan dianalisa meliputi bahan yang akan dipergunakan, luas penampang dan panjang penyulang. Setelah itu dihitung impedansi urutannya. Untuk memudahkannya maka hasilnya akan ditabelkan pada tabel 3.1 sampai tabel 3.6.

Tabel 3.1 Panjang Saluran Penyulang PAM

Jenis Kabel	Luas Penampang	Panjang (m)
XLPE	150 mm ²	210
AAAC	150 mm ²	9800

Sumber : GI. Sukolilo Area Surabaya Selatan

3.3 Pola Pengaman Eksisting

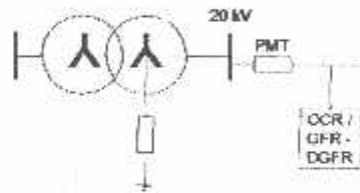
Ditinjau dari cara pentanahan titik netral trafo 150/20 kV atau 70/20 kV, pada jaringan tegangan menengah 20 kV sistem Jawa Bali dipergunakan 2 cara pentanahan, yaitu dengan tahanan dan pentanahan secara langsung. Sesuai dengan Standart Perusahaan Listrik Negara adalah sebagai berikut :

- tahanan rendah 12 ohm (Sistem DKI dan Jawa Barat) dan arus gangguan tanah maksimum diizinkan adalah 1000 A, dipakai pada jaringan kabel tanah.
- tahanan rendah 40 ohm (Sistem DKI dan Jawa Barat) dan arus gangguan tanah maksimum diizinkan adalah 300 A, dipakai pada saluran udara dan campuran saluran udara dan kabel tanah.

- tahanan tinggi 500 ohm (Sistem Jawa Timur) dan arus gangguan tanah maksimum diizinkan adalah 25 A, dipakai pada saluran udara.

Pada sistem distribusi di Jawa Timur dengan pentanahan tahanan tinggi tersebut digunakan relai arus lebih (Over Current Relay) untuk pengamanan fasa dan dilengkapi relai arah gangguan tanah (Directional Ground Fault Relay) untuk pengamanan fasa-tanah. Relai ini berfungsi untuk merasakan adanya arus lebih dan akan memberikan perintah trip pada PMT (Pemutus Tenaga). DC 110 Volt dari batere digunakan sebagai sumber untuk kerja relai dan mengerjakan tripping coil PMT.

Gambar 3.5
Sistem Proteksi Jaringan Distribusi GI Sukolilo



Sumber : GI. Sukolilo Area Surabaya Selatan

3.4 Perhitungan Arus Hubung Singkat.

Perhitungan dilakukan dipangkal saluran (B) menghasilkan arus gangguan terbesar (maksimum) dan diujung saluran (F), menghasilkan arus gangguan paling kecil (minimum) Tahapan perhitungan yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menghitung impedansi sumber.
2. Menghitung impedansi transformator daya.
3. Menghitung impedansi urutan saluran.
4. Menghitung impedansi gangguan.

Perhitungan dilakukan dengan $MVA_{base} = 100 \text{ MVA}$ dan $E_{base} = 20 \text{ kV}$, sehingga:

$$I_{Base} = \frac{baseMVA(1000)}{\sqrt{3}(baseKV)} = \frac{100 \times 1000}{\sqrt{3} \times 20} = 2886,75 \text{ A}$$

$$Z_{Base} = \frac{(baseKV)^2}{baseMVA} = \frac{20^2}{100} = 4 \Omega$$

3.4.1 Menghitung Impedansi Sumber

Impedansi sumber dihitung berdasarkan analisa hubung singkat dari PLN, kemudian dengan menggunakan persamaan 2.11 Impedansi sumber dilihat dari sisi tegangan rendah. Bila diketahui data MVA hubung singkat dari PLN diperoleh sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_1 &= 150 \text{ kV} \\ I_{hs} \text{ (GI Sukolilo)} &= 31,92 \text{ KA} \\ X/R &= 10 \\ MVA_{hs} &= \sqrt{3} \times V_1 \times I_{hs} \\ &= \sqrt{3} \times 150 \times 31,92 \\ &= 8293,06 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.11) diperoleh :

$$X_1 = X_2 = \left(\frac{20}{150} \right)^2 \times \frac{(150)^2}{8293,06} = 0,04823 \Omega$$

Jadi :

$$Z_{1S} = Z_{2S} = j0,04823 \Omega$$

3.4.2 Menghitung Impedansi Transformator

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.12) dimana impedansi urutan positif transformator besarnya sama dengan impedansi bocor dari transformator yang biasanya nilainya tertera pada name plate. Sedangkan besarnya impedansi urutan nol transformator tergantung dari hubungan transformator serta impedansi pengatanganan titik netralnya.

Data impedansi bocor pada name plate $Z_c = 12,98\%$

$$\begin{aligned} X_{1T} = X_{2T} &= Z_T \frac{(Vd)^2}{Sd} \\ &= 0,1298 \times \frac{(20)^2}{60} \\ &= 0,8654 \Omega \end{aligned}$$

maka :

$$Z_{1T} = Z_{2T} = j0,8654 \Omega$$

Untuk trafo tipe core Y-Y-n, maka :

$$\begin{aligned} Z_{0T} &= 10 Z_{1T} \\ &= 10 (j0,8654) \\ &= j8,654 \Omega \end{aligned}$$

3.4.3 Menghitung Impedansi Urutan Saluran

Nilai GMR untuk beberapa ukuran penampang SUTM A3C bisa ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 3.2

Nilai GMR Untuk Beberapa Ukuran Penampang SUTM A3C

Jenis Penghantar	Luas Penampang (mm ²)	GMR (.mm)
AAAC 16	16,84	2,280803
AAAC 25	27,83	2,932063
AAAC 35	34,36	3,257941
AAAC 50	49,48	3,909592
AAAC 55	58,07	4,245382
AAAC 70	75,55	7,163035
AAAC 95	93,27	7,958859
AAAC 100	99,3	5,58489
AAAC 110	109,23	8,612928
AAAC 120	112,85	8,754485
AAAC 150	157,6	10,34565
AAAC 185	181,6	15,09885
AAAC 240	238,8	12,73494
AAAC 300	299,4	24,63911
AAAC 400	431,1	29,56569
AAAC 500	506	32,03128
AAAC 630	643,2	43,88583
AAAC 800	754,9	47,54403
AAAC 1000	1005,1	54,86001

Sumber : Supplement PLN : Vol. 4 mei 1999

3.4.3.1 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Diperoleh data – data sebagai berikut :

Jenis Penghantar	: AAAC
σ_{20}	: 30,4803 m/ohm.mm ²
α_{20}	: 0,00403 /°c
d_{12} (d_{RS})	: 0,9 m
d_{23} (d_{ST})	: 0,6 m
d_{13} (d_{RT})	: 1,5 m
f	: 50 Hz
ρ	: 750 Ω -m

Sumber : GI. Sukolilo Area Surabaya Selatan

Dengan menggunakan persamaan (2.14) sampai (2.21) dan dari hasil perhitungan maka harga impedansi urutan untuk tiap jenis penghantar akan dapat diperoleh.

3.4.3.2 Menghitung Impedansi Urutan Saluran Pada SUTM

a) Impedansi urutan positif (Z_1) dan urutan negatif (Z_2)

- Tahanan pada temperatur 20 °C:

$$R_{dc0} = \frac{1000}{q_s \cdot \sigma_{20}} \Omega / \text{km} / \text{kond} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$= \frac{1000}{150 \cdot 30,4878} = 0,2186 \Omega / \text{km} / \text{kond}$$

- Temperatur akhir diambil $t = 50$ °C, sehingga tahanan dc menjadi:

$$R_{dc} = R_{dc0} [1 + \alpha_{20}(t - 20)] \Omega / \text{km} / \text{kond} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$= 0,2186 [1 + 0,00403(50 - 20)]$$

$$= 0,2450 \Omega / \text{km} / \text{kond}$$

- Harga dari tahanan ini dipengaruhi juga oleh frekuensi dari system yang besarnya tergantung pada faktor:

$$m_r = 0,0118 \sqrt{f \cdot q_s} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$= 0,0118 \sqrt{50 \cdot 150}$$

$$= 1,0219$$

- Sehingga besarnya nilai tahanan penghantar apabila dialiri arus ac adalah:

$$R_{ac} = \frac{1}{2} R_{dc} \left[\sqrt{1 + \frac{(m_r)^4}{48}} + 1 \right] \Omega / \text{km} / \text{kond} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$= \frac{0,2450}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{(1,0219)^4}{48}} + 1 \right]$$

$$= 0,2463 \Omega / \text{km} / \text{kond}$$

- Sehingga besarnya nilai geometric mean radius (GMR) adalah:

$$D_g = 0,4345 \sqrt{q_1} \dots \dots \dots (2.18)$$

$$= 0,4345 \sqrt{150}$$

$$= 5,3215 \text{ mm}$$

$$= 5,3215 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

- Sedangkan untuk nilai geometris mean distance (GMD) menjadi:

$$D_m = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{31}} \dots \dots \dots (2.19)$$

$$= \sqrt[3]{0,9 \cdot 0,6 \cdot 1,5}$$

$$= 0,9321 \text{ m}$$

- Maka nilai impedansi urutan positif (Z_1) dan urutan negative (Z_2) adalah:

$$Z_{11} = Z_{22} = R_{ac} + j0,002894 \cdot f \cdot \log \frac{GMD}{GMR} \Omega / \text{km} / \text{kond} \dots \dots \dots (2.20)$$

$$= 0,2463 + j0,002894 \cdot 50 \cdot \log \frac{(0,9321)}{(0,0053215)}$$

$$= 0,2463 + j 0,3246$$

b) Impedansi urutan nol (Z_0) adalah:

- Sedangkan untuk impedansi urutan nol dicari sebagai berikut:

$$Z_{00} = R_{ac} + 0,00296 \cdot f + j0,00869 \cdot f \cdot \log \frac{\sqrt[6]{\rho/f}}{\sqrt[3]{((GMD)^2 \cdot GMR)}} \Omega / \text{km} / \text{kond} \dots (2.21)$$

$$= 0,2463 + 0,00296,50 + j 0,00869,50 \cdot \log \frac{\sqrt[4]{750/50}}{\sqrt{((0,9321)^2 \cdot 0,0053215)}}$$

$$= 0,3943 + j 1,8166$$

Untuk hasil lebih lengkap dapat pada tabel 3.3 – 3.6

Tabel 3.3

Impedansi Urutan Untuk Tiap Jenis Penghantar Kawat Udara

Strands (n)	Penampang Konduktor (mm ²)	Impedansi Urutan Z ₁ =Z ₂ (ohm/km/kond)	Impedansi Urutan Z ₀ (ohm/km/kond)
19	150	0,2463 + j0,3246	0,3943 + j1,8166
	110	0,3351 + j0,3343	0,4831 + j1,8263
	70	0,5257 + j0,3485	0,6737 + j1,8405
	55	0,6689 + j0,3561	0,8169 + j1,8481
37	150	0,2463 + j0,3235	0,3942 + j1,8155
	110	0,3351 + j0,3334	0,4831 + j1,8253
	70	0,5257 + j0,3475	0,6739 + j1,8395
	55	0,6689 + j0,3551	0,8169 + j1,8471

Sumber : Hasil Perhitungan

Impedansi total saluran udara adalah impedansi per-km dari jenis saluran dan luas penampang masing – masing dikalikan panjang saluran. Sehingga impedansi urutan total yang sesuai dengan panjang saluran pada tabel 3.1 dapat dihitung dan bisa ditabelkan seperti pada tabel 3.4 dibawah ini :

Tabel 3.4

Hasil Impedansi Total Saluran Kawat Udara

Penyulang	Penampang Konduktor (mm ²)	Panjang (m)	Imp. Urut Z ₁ = Z ₂	Imp. Urut Z ₀	Impedansi Total SUTM	
					Z ₁ - Z ₂	Z ₀
PAM	A3C 150	9800	0,2463 + j0,3246	0,3943 + j1,8166	2,41374 + j3,18108	3,86414 + j17,80268

Sumber : Hasil Perhitungan

3.4.3.3 Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)

Data-data saluran kabel yang dipakai :

Bahan konduktor	: Aluminium (Al)
Jenis kabel	: XLPE (150 mm ²)
Suhu temperatur tanah	: 20°C
Suhu temperatur konduktor	: 65°C
Tegangan nominal	: 20 kV
Tahanan isolasi	: 2000 mΩ/km
Ketebalan bungkus	: 3 mm

Dengan menggunakan persamaan (2.22) sampai (2.26) dan dari hasil perhitungan diperoleh hasil seperti tabel berikut :

Tabel 3.5
Hasil Perhitungan Impedansi Urutan Kabel Per-Km

Jenis Kabel	Penampang mm ²	Impedansi Urutan $Z_1 = Z_2$	Impedansi Urutan Z_0
XLPE	150	0,2438 + j 0.1108	0,3917 + j 2,2915

Sumber : Hasil Perhitungan

Impedansi total saluran kabel adalah impedansi per-km dari jenis kabel dan luas penampang masing-masing kabel dikalikan dengan panjang kabel. Pemakaian kabel pada saluran distribusi 20 kV umumnya pada saluran outgoing 20 kV dari busbar keluaran GI. Dari hasil perhitungan impedansi urutan kabel sesuai dengan panjang saluran, maka impedansi urutan kabel total dapat dilihat pada tabel 3.6:

Tabel 3.6**Hasil Perhitungan Impedansi Total Urutan Kabel**

Penyulang	Penampang Konduktor (mm ²)	Panjang (m)	Imp. Urut $Z_1 = Z_2$	Imp. Urut Z_0	Impedansi Total SKTM	
					$Z_1 - Z_2$	Z_0
PAM	XLPE	210	$0,2438 + j0,1108$	$0,3917 + j2,2915$	$0,05119 + j0,02326$	$0,08225 + j0,4812$

Sumber : Hasil Perhitungan

3.4.4 Penentuan Impedansi Gangguan

Impedansi gangguan adalah impedansi yang ada pada titik gangguan ketika gangguan terjadi. Besar dari impedansi gangguan hubung singkat tergantung pada penyebab terjadinya gangguan, macam dari gangguan serta kondisi dari daerah, dimana gangguan tersebut terjadi.

Gangguan hubung singkat fasa-fasa yang disebabkan ranting kering dapat merupakan gangguan dengan impedansi besar, sedangkan penghantar yang jatuh ketanah yang lembab dan basah akan menyebabkan gangguan dengan impedansi gangguan yang kecil.

BAB IV

STUDI SIMULASI DAN ANALISA

4.1 Simulasi dan Analisa Gangguan

Simulasi dilakukan dengan menggunakan Program Visual Basic.6, guna mendapatkan karakteristik arus dan tegangan dari jaringan distribusi ketika gangguan terjadi, kemudian dilakukan analisa besaran arus dan tegangan urutan positif, negatif dan nol, sehingga dapat diamati tingkat sensitifitas dan sekuritas jaringan terhadap pengaruh gangguan tersebut.

4.2 Dasar Perhitungan Arus Hubung Singkat

Perhitungan tegangan dan arus pada titik-titik hubung singkat dapat dilakukan bila sistemnya seimbang. Namun untuk sistem tiga fasa yang tidak seimbang, maka perhitungannya akan menjadi lebih rumit. Oleh karena itu untuk mempermudah sistem didalam perhitungan selanjutnya maka tegangan dan arus tiga fasa yang tidak seimbang itu perlu dirubah terlebih dahulu menjadi komponen-komponen simetris yang seimbang.

Dalam metode komponen simetris, dikenal besaran arus dan tegangan urutan positif (dinyatakan dengan subskrip 1), arus dan tegangan urutan negatif (dinyatakan dengan subskrip 2) serta arus dan tegangan urutan nol (dinyatakan dengan subskrip 0). Demikian juga dengan impedansi, yang dapat didefinisikan sebagai berikut :

- Impedansi urutan positif (Z_1), adalah impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan positif.

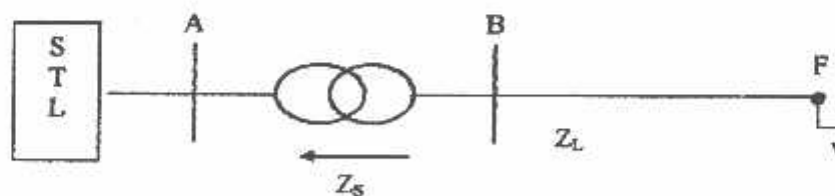
- Impedansi urutan negatif (Z_2), adalah impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan negatif.
- Impedansi urutan nol (Z_0), adalah impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan nol.

Perhitungan arus hubung singkat diperlukan untuk mempelajari sistem tenaga listrik, baik untuk perencanaan maupun setelah beroperasi. Kegunaannya antara lain adalah :

- Untuk menentukan seting dan koordinasi peralatan proteksi.
- Untuk menentukan rating (kapasitas) alat pemutus daya.
- Untuk menentukan rating hubung singkat peralatan yang digunakan.
- Menganalisa jika ada hal-hal yang kurang memuaskan pada waktu sistem sudah beroperasi.

Perhitungan gangguan hubung singkat pada sistem distribusi dimulai dari rel daya tegangan menengah di gardu induk, kemudian menuju ketitik lain yang letaknya semakin jauh dari gardu induk (GI) tersebut. Perhatikan gambar sederhana suatu sistem distribusi di bawah ini :

Gambar 4.1
Skema Sederhana Sistem Distribusi PAM



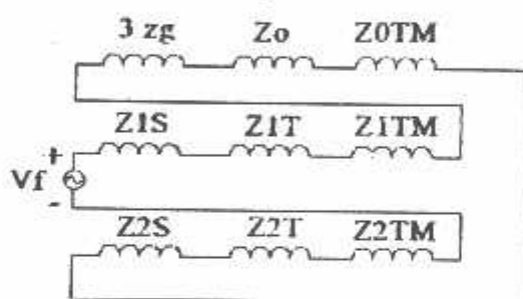
Sumber : GI. Sukufilo Area Surabaya Selatan

Perhitungan hanya dilakukan pada dua titik, yaitu pada pangkal saluran (B), yang menghasilkan arus gangguan terbesar (maksimum) dan pada ujung saluran (F), yang menghasilkan arus gangguan paling kecil (minimum) dengan tujuan untuk menentukan arus gangguan maksimum dan minimum pada sistem tersebut, adalah sebagai berikut :

4.2.1 Arus Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Gambar 4.2

Rangkaian Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah



Sumber : William D. Stevensen, Jr : 1994 : 289

$$I_{hs}(\text{maksimum}) = \left| \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 \cdot Z_f} \right| \text{ Ampere}$$

$$Z_{1TM} = (2,41374 + j3,18108) \Omega \text{ dan } Z_{0TM} = (3,86414 + j17,80268) \Omega$$

$$Z_1 = Z_2 = (2,41374 + j 11,8834) \Omega$$

$$Z_0 = Z_{0TM} + 3 Z_g + Z_T$$

$$= (3,86414 + j 17,80268) + 1500 + j8,654$$

$$= (1503,8641 + j 26,4566) \Omega$$

$Z_f = 0$ ohm, maka :

$$I_{hs} (\text{maksimum}) = \left| \frac{3 \cdot (20.000 / \sqrt{3})}{(1503,8641 + j26,4566) \times 2 \cdot (2,41374 + j11,8834)} \right|$$

$$= \frac{60.000/\sqrt{3}}{1508,691 + j50,2234}$$

$$= 22,9483 \text{ Ampere}$$

$$I_{hs}(\text{minimum}) = \left| \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 \cdot Z_f} \right| \text{ Ampere}$$

$$Z_{1TM} = (2,41374 + j3,18108) \Omega$$

$$Z_{0TM} = (3,86414 + j17,80268) \Omega$$

$$Z_1 = Z_2 = (2,41374 + j118834) \Omega$$

$$Z_0 = Z_{0TM} + 3Z_g + Z_T = (1503,8641 + j26,4566) \Omega$$

$Z_f = 50 \text{ ohm}$, maka :

$$I_{hs}(\text{minimum}) = \left| \frac{3 \cdot (20.000/\sqrt{3})}{1508,691 + j50,2234 + 150} \right|$$

$$= \frac{60.000/\sqrt{3}}{1658,691 + j200,223}$$

$$= 20.7340 \text{ Ampere}$$

4.3. Simulasi Dengan Program Visual Basic

Simulasi dilakukan dengan program Visual Basic, gangguan yang disimulasikan ada dua, yang pertama adalah gangguan open circuit, dan yang kedua adalah gangguan open circuit di ikuti hubung singkat satu phasa ke tanah.

Untuk melihat pengaruh arus urutan, dibuat tahanan gangguan (Fault Resistance = R_f) sebesar 0Ω sampai dengan 50Ω dan dengan pentanahan netral sistem (netral grounding resistance = NGR) sebesar 500Ω , sesuai dengan pentanahan netral (NGR) pada sistem.

4.3.1 Hasil Perhitungan Gangguan Open Circuit dan Open Circuit di Ikuti

Hubung Singkat Satu Phasa ke Tanah

4.3.1.1 Perhitungan Untuk Gangguan Open Circuit

➤ Menghitung Arus Urutan Untuk Tiap-tiap Phasa adalah :

$$\begin{aligned} \bullet \quad I_{a1} &= \frac{E_{ph}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R_f} \text{ Ampere} \\ &= \frac{1,0 \angle 0^\circ}{(2,4137 + j3,181) + (2,4137 + j3,181) + (3,8641 + j17,8026) + (3 \cdot 1)} \end{aligned}$$

$$= \frac{1,0 \angle 0^\circ}{(11,6915 + j24,1646)}$$

$$= 0,0372 \angle -64,18^\circ$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad I_{a0} &= a^2 \cdot I_{a1} \\ &= (1,0 \angle 240^\circ) \cdot (0,0372 \angle -64,18^\circ) \\ &= 0,0372 \angle 175,82^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad I_{a2} &= \frac{I_{a0}}{a} \\ &= \frac{0,0372 \angle 175,82^\circ}{1,0 \angle 120^\circ} \\ &= 0,0372 \angle 55,82^\circ \end{aligned}$$

➤ Menghitung Arus Untuk Tiap-tiap Phasa adalah

$$\begin{aligned} \bullet \quad I_a &= I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \\ &= (0,0372 \angle -64,18^\circ) + (0,0372 \angle 55,82^\circ) + (0,0372 \angle 175,82^\circ) \\ &= (0,0162 - j0,0334) + (0,0208 + j0,0307) + (-0,0371 + j0,0027) \\ &= 1 \cdot 10^{-4} \angle 0^\circ \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned}
 I_b &= a^2 I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \\
 &= (1,0 \angle 240^\circ \cdot 0,0372 \angle -64,18^\circ) + (1,0 \angle 120^\circ \cdot 0,0372 \angle 55,82^\circ) + \\
 &\quad (0,0372 \angle 175,18^\circ) \\
 &= (0,0372 \angle 175,82^\circ) + (0,0372 \angle 175,82^\circ) + (0,0372 \angle 175,82^\circ) \\
 &= (-0,0371 + j0,0027) + (-0,0371 + j0,0027) + (-0,0371 + j0,0027) \\
 &= 0,1115 \angle -4,16^\circ
 \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned}
 I_c &= a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0} \\
 &= (1,0 \angle 120^\circ \cdot 0,0372 \angle -64,18^\circ) + (1,0 \angle 240^\circ \cdot 0,0372 \angle 55,82^\circ) + \\
 &\quad (0,0372 \angle 175,18^\circ) \\
 &= (0,0372 \angle 55,82^\circ) + (0,0372 \angle 295,82^\circ) + (0,0372 \angle 175,82^\circ) \\
 &= (0,0208 + j0,0307) + (0,0162 - j0,0334) + (-0,0371 + j0,0027) \\
 &= 1 \cdot 10^{-4} \angle 0^\circ
 \end{aligned}$$

➤ Untuk Besar Arus Urutan Positif (I_1), Negatif (I_2) dan Nol (I_0) adalah:

- $$\begin{aligned}
 I_0 &= \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) \\
 &= \frac{1}{3}(1 \cdot 10^{-4} \angle 0^\circ) + (0,1115 \angle -4,16^\circ) + (1 \cdot 40^{-4} \angle 0^\circ) \\
 &= \frac{1}{3}(1 \cdot 10^{-4} + j0) + (0,112 - j0,0080) + (1 \cdot 40^{-4} + j0) \\
 &= 0,0371 \angle -4,00^\circ
 \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned}
 I_1 &= \frac{1}{3}(I_a + a I_b + a^2 I_c) \\
 &= \frac{1}{3}(1 \cdot 10^{-4} \angle 0^\circ) + (1,0 \angle 120^\circ \cdot 0,1115 \angle -4,16^\circ) + (1,0 \angle 240^\circ \cdot 1 \cdot 10^{-4} \angle 0^\circ)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{3} (1 \cdot 10^{-4} \angle 0^\circ) + (0,1115 \angle 115,84^\circ) + (1 \cdot 10^{-4} \angle 240^\circ) \\
&= \frac{1}{3} (1 \cdot 10^{-4} + j0) + (-0,0485 + j0,1003) + (-5 \cdot 10^{-5} - j8,6 \cdot 10^{-5}) \\
&= 0,0370 \angle -64,26^\circ
\end{aligned}$$

- $I_2 = \frac{1}{3}(I_a + a^2 I_b + a I_c)$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{3} (1 \cdot 10^{-4} \angle 0^\circ) + (1,0 \angle 240^\circ \cdot 0,1115 \angle -4,16^\circ) + (1,0 \angle 120^\circ \cdot 1 \cdot 10^{-4} \angle 0^\circ) \\
&= \frac{1}{3} (1 \cdot 10^{-4} \angle 0^\circ) + (0,1115 \angle 235,84^\circ) + (1 \cdot 10^{-4} \angle 120^\circ) \\
&= \frac{1}{3} (1 \cdot 10^{-4} \angle j0) + (-0,0626 + j0,0922) + (-5 \cdot 10^{-5} - j8,6 \cdot 10^{-5}) \\
&= 0,0370 \angle 55,88^\circ
\end{aligned}$$

4.3.1.2 Perhitungan Untuk Gangguan Open Circuit di Ikuti Hubung Singkat

Satu Fasa Ke Tanah (Gangguan Pada Pangkal Saluran).

➤ Menghitung Arus Urutan Untuk Tiap-tiap Fasa adalah :

- $I_{a1} = \frac{E_{ph}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R_f}$ Ampere
$$\begin{aligned}
&= \frac{3 * (20 \cdot 10^3 / \sqrt{3})}{(0,9136) + (0,9136) + (1508,65) + (3 \cdot 1)} \\
&= \frac{34641,02}{1513,47} \\
&= 22,8884 \angle 0^\circ
\end{aligned}$$

- $I_{a0} = a^2 \cdot I_{a1}$

$$= (1,0 \angle 240^\circ) \cdot (22,8884 \angle 0^\circ)$$

$$= 22,8884 < 240^{\circ}$$

$$\begin{aligned} \bullet I_{a2} &= \frac{I_{a0}}{a} \\ &= \frac{22,8884 < 240^{\circ}}{1,0 < 120^{\circ}} \\ &= 22,8884 < 120^{\circ} \end{aligned}$$

➤ Menghitung Arus untuk Tiap-tiap Phasa adalah

$$\begin{aligned} \bullet I_a &= I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \\ &= (22,8884 < 0^{\circ}) + (22,8884 < 120^{\circ}) + (22,8884 < 240^{\circ}) \\ &= (22,8884 + j0) + (-11,4442 + j19,8219) + (-11,4442 - j19,8219) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet I_b &= a^2 \cdot I_{a1} + a \cdot I_{a2} + I_{a0} \\ &= (1,0 < 240^{\circ} \cdot 22,8884 < 0^{\circ}) + (1,0 < 120^{\circ} \cdot 22,8884 < 120^{\circ}) + \\ &\quad (22,8884 < 240^{\circ}) \\ &= (22,8884 < 240^{\circ}) + (22,8884 < 240^{\circ}) + (22,8884 < 240^{\circ}) \\ &= (-11,4442 - j19,8219) + (-11,4442 - j19,8219) + (-11,4442 - j19,8219) \\ &= 68,6651 < 59,99^{\circ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet I_c &= a \cdot I_{a1} + a^2 \cdot I_{a2} + I_{a0} \\ &= (1,0 < 120^{\circ} \cdot 22,8884 < 0^{\circ}) + (1,0 < 240^{\circ} \cdot 22,8884 < 120^{\circ}) + \\ &\quad (22,8884 < 240^{\circ}) \\ &= (22,8884 < 120^{\circ}) + (22,8884 < 360^{\circ}) + (22,8884 < 240^{\circ}) \\ &= (-11,4442 + j19,8219) + (-22,8884 - j0) + (-11,4442 - j19,8219) \\ &= 0 \end{aligned}$$

➤ Untuk Besar Arus Urutan Positif (I_1), Negatif (I_2) dan Nol (I_0) adalah:

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad I_0 &= \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) \\
 &= \frac{1}{3}(0) + (68,6651 \angle 59,99^\circ) + (0) \\
 &= \frac{1}{3}(68,6651 \angle 59,99^\circ) \\
 &= 22,8883 \angle 59,99^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad I_1 &= \frac{1}{3}(I_a + a I_b + a^2 I_c) \\
 &= \frac{1}{3}(0) + (1.0 \angle 120^\circ \cdot 68,6651 \angle 59,99^\circ) + (0) \\
 &= \frac{1}{3}(68,6651 \angle 179,99^\circ) \\
 &= 22,8883 \angle -9,7.10^{-3}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad I_2 &= \frac{1}{3}(I_a + a^2 I_b + a \cdot I_c) \\
 &= \frac{1}{3}(0) + (1.0 \angle 240^\circ \cdot 68,6651 \angle 59,99^\circ) + (0) \\
 &= \frac{1}{3}(68,6651 \angle 299,99^\circ) \\
 &= 22,8883 \angle -60,01^\circ
 \end{aligned}$$

4.3.1.3 Perhitungan Untuk Gangguan Open Circuit di Ikuti Hubung Singkat

Satu Phasa ke Tanah (Gangguan Pada Ujung Saluran)

➤ Menghitung Arus Urutan Untuk Tiap-tiap Phasa adalah :

$$\bullet \quad I_{a1} = \frac{E_{ph}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 \cdot R_f} \text{ Ampere}$$

$$= \frac{3 \cdot (20 \cdot 10^3 / \sqrt{3})}{(3,3785 + j3,2043) + (3,3785 + j3,2043) + (1512,6 + j18,2838) + (3,1)}$$

$$= \frac{34641,02}{(1522,357 + j24,6924)}$$

$$= 22,7519 \angle 0,92^\circ$$

- $I_{a0} = a^2 \cdot I_{a1}$

$$= (1,0 \angle 240^\circ) \cdot (22,7519 \angle 0,92^\circ)$$

$$= 22,7519 \angle 240^\circ$$

- $I_{a2} = \frac{I_{a0}}{a}$

$$= \frac{22,7519 \angle 240^\circ}{1,0 \angle 120^\circ}$$

$$= 22,7519 \angle 120,92^\circ$$

➤ Menghitung Arus Untuk Tiap-tiap Fasa adalah:

- $I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0}$

$$= (22,7519 \angle 0,92^\circ) + (22,7519 \angle 120,92^\circ) + (22,7519 \angle 240,92^\circ)$$

$$= (22,7519 - j0,3653) + (-11,6908 + j19,5185) + (-11,0581 - j19,8838)$$

$$= 0$$

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

$$= (1,0 \angle 240^\circ \cdot 22,7519 \angle 0,92^\circ) + (1,0 \angle 120^\circ \cdot 22,7519 \angle 120,92^\circ)$$

$$+ (22,7519 \angle 240,92^\circ)$$

$$= (22,7519 \angle 240,92^\circ) + (22,7519 \angle 240,92^\circ) + (22,7519 \angle 240,92^\circ)$$

$$= (-11,0581 - j19,8838) + (-11,0581 - j19,8838) + (-11,0581 + j19,8838)$$

$$= 68,2557 \angle 60,91^\circ$$

- $$\begin{aligned}
 I_c &= a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0} \\
 &= (1,0 < 120^\circ \cdot 22,7519 < 0,92^\circ) + (1,0 < 240^\circ \cdot 22,7519 < 120,92^\circ) + \\
 &\quad (22,7519 < 240,92^\circ) \\
 &= (22,7519 < 240,92^\circ) + (22,7519 < 360,92^\circ) + (22,7519 < 240,92^\circ) \\
 &= (11,0581 + j19,8838) + (22,7489 + j0,3653) + (-11,0581 - j19,8838) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

➤ Untuk Besar Arus Urutan Positif (I_1), Negatif (I_2) dan Nol (I_0) adalah

- $$\begin{aligned}
 I_0 &= \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) \\
 &= \frac{1}{3} (0) + (68,2557 < 60,91^\circ) + (0) \\
 &= \frac{1}{3} (68,2557 < 60,91^\circ) \\
 &= \frac{1}{3} (33,1847 + j59,6457) \\
 &= 22,7518 < 60,91^\circ
 \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned}
 I_1 &= \frac{1}{3} (I_a + a I_b + a^2 I_c) \\
 &= \frac{1}{3} (0) + (1,0 < 120^\circ \cdot 68,2557 < 60,91^\circ) + (0) \\
 &= \frac{1}{3} (68,2557 < 180,91^\circ) \\
 &= \frac{1}{3} (-68,2470 - j1,0840) \\
 &= 22,7518 < 0,90^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad I_2 &= \frac{1}{3}(I_a + a^2 I_b + a I_c) \\
 &= \frac{1}{3}(0) + (1.0 \angle 240^\circ \cdot 68,2557 \angle 60,91^\circ) + (0) \\
 &= \frac{1}{3}(68,2557 \angle 300,91^\circ) \\
 &= \frac{1}{3}(35,0623 - j58,5617) \\
 &= 22,7518 \angle -78,71^\circ
 \end{aligned}$$

4.3.2 Hasil Simulasi Program Visual Basic

Gangguan pertama berupa gangguan open circuit yang terjadi pada phasa a terhadap besarnya tahanan gangguan.

Kemudian gangguan kedua berupa gangguan open circuit yang terjadi pada phasa a dan di ikuti oleh hubung singkat satu phasa ke tanah terhadap besarnya tahanan gangguan. Gangguan dibuat pada dua titik, yaitu pada pangkal saluran distribusi dan pada ujung saluran distribusi.

Dari kedua gangguan tersebut, selanjutnya dilakukan pengukuran arus urutan positif, negatif dan nol pada keluaran trafo distribusi.

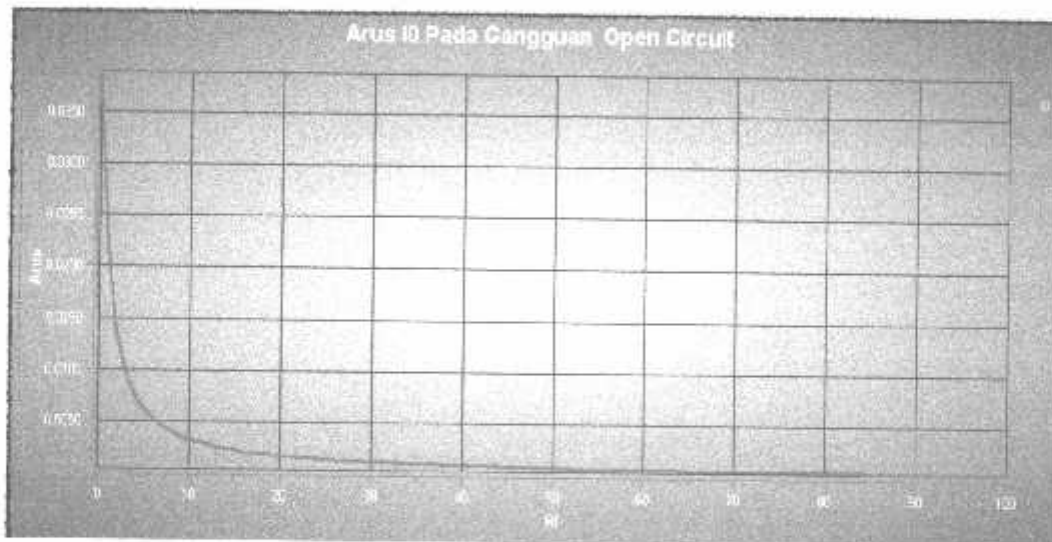
Hasil simulasi dapat dilihat pada grafik di bawah ini:

1. Gangguan Pertama (Open Circuit)



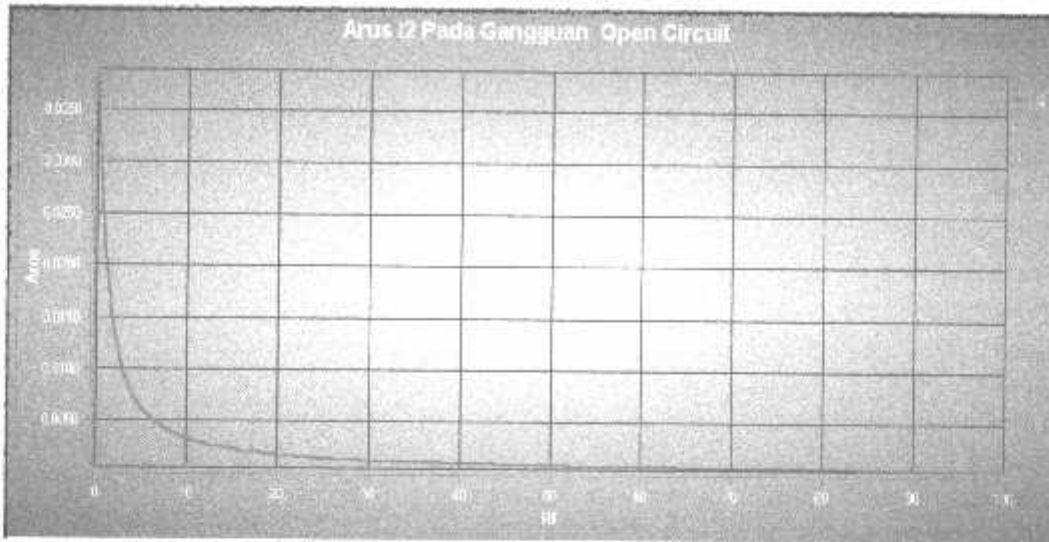
Grafik 4.1.

Plot Arus Urutan Positif terhadap besarnya tahanan gangguan



Grafik 4.2.

Plot Arus Urutan negatif terhadap besarnya tahanan gangguan



Grafik 4.3.

Plot Arus Urutan nol terhadap besarnya tahanan gangguan

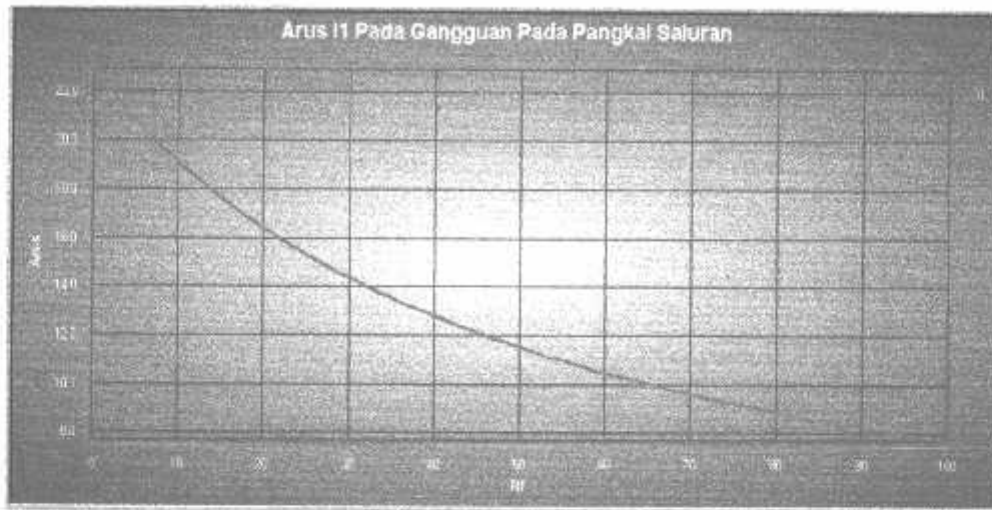
Tabel 4.1

Pengaruh Arus Urutan Positif, Negatif dan Nol Terhadap Besar Tahanan Gangguan Pada Gangguan Open Circuit

$R_r (\Omega)$	Arus Urutan Nol (I_0)	Arus Urutan Positif (I_1)	Arus Urutan Negatif (I_2)
1	0,0389397269	0,0389388703	0,0389388703
10	0,0035747056	0,0035746270	0,0035746270
20	0,0017264939	0,0017264559	0,0017264559
30	0,0011376007	0,0011375757	0,0011375757
40	0,0008482015	0,0008481829	0,0008481829
50	0,0006761684	0,0006761535	0,0006761535

2. Gangguan kedua (Open Circuit di Ikuti Hubung Singkat Satu Phasa ke Tanah)

**a. Gangguan Open Circuit di Ikuti Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah
(Gangguan Yang Terjadi pada Pangkal Saluran)**



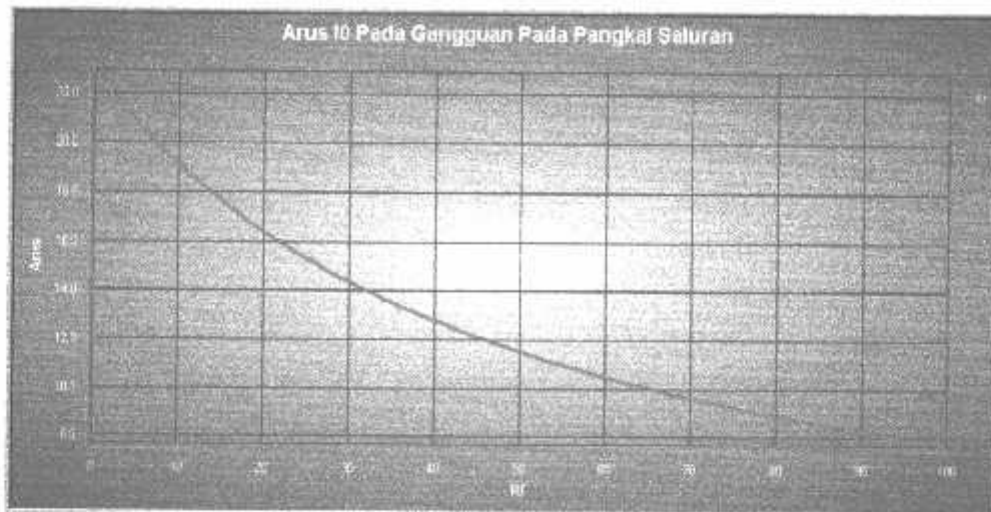
Grafik 4.4.

Plot Arus Urutan Positif Terhadap Besarnya Tahanan Gangguan (Gangguan Yang Terjadi Pada Pangkal Saluran)



Grafik 4.5

**Plot Arus Urutan Negatif Terhadap Besarnya Tahanan Gangguan
(Gangguan Yang Terjadi pada Pangkal Saluran)**



Grafik 4.6

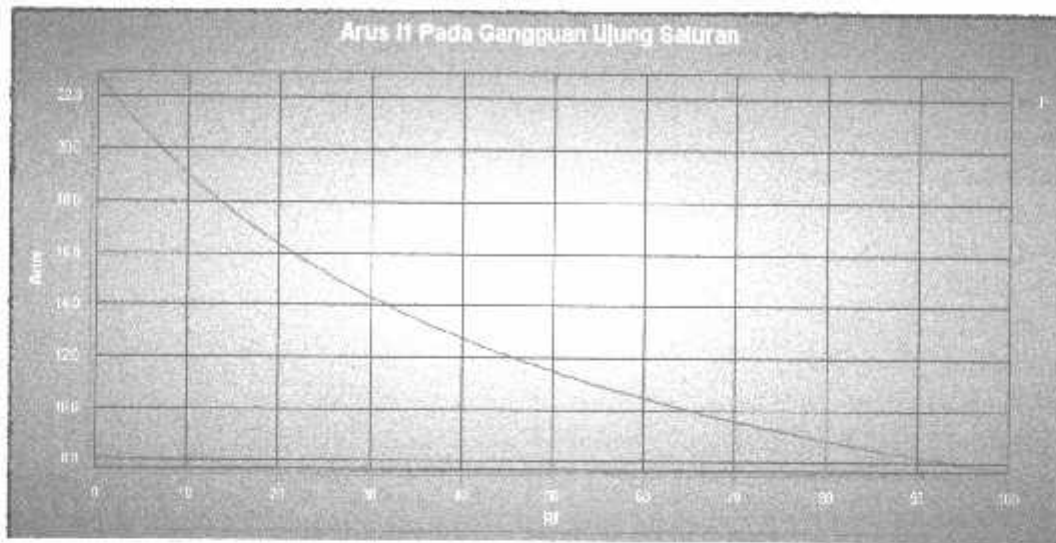
**Plot Arus Urutan Nol Terhadap Besarnya Tahanan Gangguan
(Gangguan Yang Terjadi Pada Pangkal Saluran)**

Tabel 4.2

**Pengaruh Arus Urutan Positif, Negatif dan Nol Terhadap Besar Tahanan
Gangguan Pada Gangguan Open Circuit di Ikuti Hubung Singkat Satu
Phasa ke Tanah (Gangguan Pada Pangkal Saluran)**

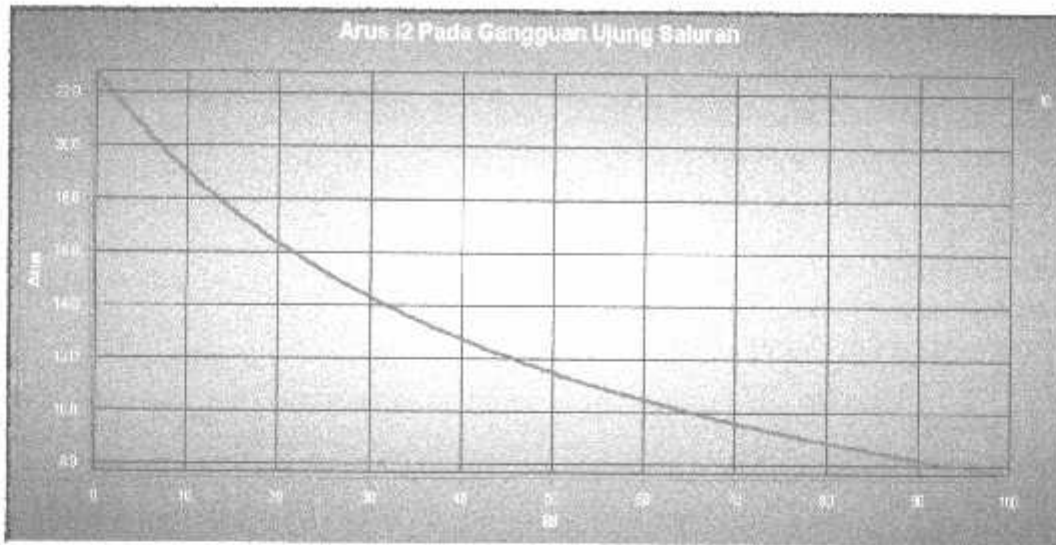
$R_f (\Omega)$	Arus Urutan Nol (I_0)	Arus Urutan Positif (I_1)	Arus Urutan Negatif (I_2)
1	22,9333180538	22,9328135375	22,9328135375
10	19,4556010269	19,4551730178	19,4551730178
20	16,6501483605	16,6497820693	16,6497820693
30	14,5518108893	14,5514907600	14,5514907600
40	12,9231668304	12,9228825301	12,9228825301
50	11,6223851807	11,6221294966	11,6221294966

b. Gangguan Open Circuit di Ikuti Hubung Singkat Satu Phasa ke Tanah (Gangguan Yang Terjadi pada Ujung Saluran)



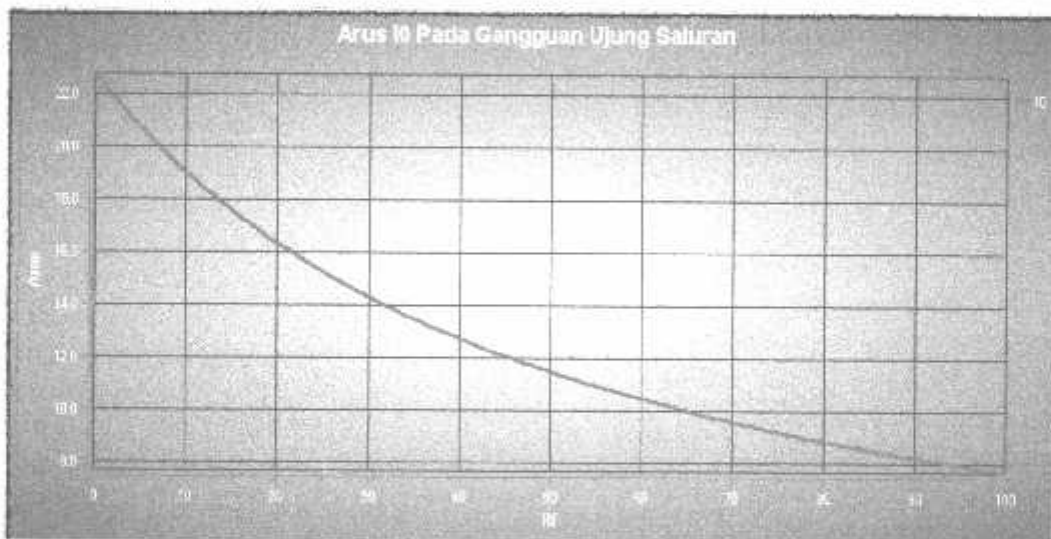
Grafik 4.7

**Plot Arus Urutan Positif Terhadap Besarnya Tahanan Gangguan
(Gangguan yang terjadi pada ujung saluran)**



Grafik 4.8

**Plot Arus Urutan Negatif Terhadap Besarnya Tahanan Gangguan
(Gangguan yang Terjadi pada Ujung Saluran)**



Grafik 4.9

**Plot Arus Urutan Nol Terhadap Besarnya Tahanan Gangguan
(Gangguan yang Terjadi pada Ujung Saluran)**

Tabel 4.3

Pengaruh Arus Urutan Positif, Negatif dan Nol Terhadap Besar Tahanan Gangguan Open Circuit di Ikuti Hubung Singkat Satu Phasa ke Tanah (Gangguan Pada Ujung Saluran)

$R_f (\Omega)$	Arus Urutan Nol (I_0)	Arus Urutan Positif (I_1)	Arus Urutan Negatif (I_2)
1	22,7962751974	22,7957736959	22,7957736959
10	19,3572083496	19,3567825050	19,3567825050
20	16,5782272738	16,5778625648	16,5778625648
30	14,4969564732	14,4966375507	14,4966375507
40	12,8799538474	12,8796704977	12,8796704977
50	11,5874659201	11,5872110043	11,5872110043

Sumber : Hasil Perhitungan Program Visual Basic. 6

Untuk hasil program lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran

4.4 Cara-cara Penentuan Setting Relai Proteksi

4.4.1 Setting Relai Urutan Negatif

Setting relai arus urutan negatif berdasarkan pada besarnya arus urutan negatif.

Maka :

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0}$$

Atau :

$$\begin{aligned} I_{hs} &= I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \\ &= 3I_{a1} = 3I_{a2} = 3I_{a0} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya arus urutan negatif yang melewati relai adalah :

$$\begin{aligned} \text{In trafo arus} &= \frac{I_{a2}}{3} \\ &= \frac{22,9328135375}{3} \\ &= 7,64 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus yang lewat relai} &= \frac{7,64}{300/5} \\ &= 0,127 \end{aligned}$$

Jadi setting arus untuk relai NSR adalah :

$$\begin{aligned} I_{set \text{ NSR}} &= 0,2 \times I_n \\ &= 0,2 \times 0,127 \\ &= 0,0254 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Untuk gangguan hubung singkat satu fasa ketanah :

$$I_{hs} \text{ lewat relai} = \frac{22,9483}{300/5} = 0,382 \text{ Ampere}$$

Pada gangguan yang diakibatkan hubung singkat satu fasa ketanah relai NSR akan dapat bekerja/merespon adanya gangguan ini. Sedangkan pada gangguan hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat dua fasa relai ini tidak akan bekerja/merespon adanya gangguan ini karena pada kedua gangguan ini tidak mengandung adanya besaran arus urutan negatif.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa perhitungan dan simulasi dengan menggunakan program Visual Basic. 6 dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada gangguan open circuit diikuti hubung singkat satu fasa ketanah terlihat besar arus urutan positif, urutan negatif dan urutan nol besarnya arus gangguan akan sangat bergantung pada besarnya tahanan gangguan, semakin besar tahanan gangguan yang diberikan semakin kecil arus gangguan yang dihasilkan.
2. Relai NSR adalah relai yang bekerja berdasarkan besaran arus urutan negatif akibat adanya gangguan hubung singkat satu fasa atau dua fasa ketanah di jaringan yang tidak segera diamankan oleh relai pengaman pada jaringan. Untuk setting relai ini dari hasil perhitungan arus settingnya adalah sekitar 0,0254 ampere dan terlihat pada gangguan hubung singkat satu fasa ketanah I_{ns} lewat relai = 0,382 ampere sehingga untuk relai ini akan dapat merespon adanya gangguan ini.
3. Pada relai urutan negatif gangguan hubung singkat satu fasa ketanah relai ini dapat merespon/bekerja terhadap gangguan ini, sedangkan sebaliknya pada gangguan hubung singkat tiga fasa dan dua fasa relai ini tidak akan bekerja karena pada kedua gangguan ini tidak muncul adanya besaran arus urutan negatif.

5.2 Saran

Dengan mempertimbangkan bahwa arus urutan negatif yang muncul akibat gangguan open circuit ternyata relatif besar, sehingga diperlukan penggunaan relai urutan negatif. Dulu relai urutan negatif (NSR) ini sangat sulit untuk didesain dan diimplementasikan, tetapi sekarang banyak pabrikan menjadikan NSR ini sebagai minimal featurenya. Penyetelan pickup arus harus lebih besar dari maksimum ketidakseimbangan beban yang diizinkan jaringan distribusi 20 kV tersebut. Koordinasi waktu dapat diberikan antara relai urutan negatif dengan relai GFR, sehingga sensitifitas dan performance relai dapat lebih ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cliff Trickey, C. Eng, "Protective Relay: Application Guide", Gec Alsthom Measurement Limited. England. 1987.
- [2] Hasan Basri, 1996, "Diktat Sistem Distribusi Tenaga Listrik", Balai Penerbit & Humas ISTN.
- [3] Stevenson. W.D. Jr, "Element of Power System Analysis", Electrical Engineering North Carolina State University North Carolina, 1982.
- [4] T.S. Hutauruk, "Jaringan Tegangan Menengah", Badan Prokerma PLN-ITB, 1983.
- [5] Electrical Corporation, "Electrical Transmission Reference", East Pittsburg. 1954.
- [6] Gonen Turan, "Modern Power System Analysis", John Willey & Sons, New York, 1988
- [7] Buku Petunjuk Operasi dan Memelihara Peralatan, "Rele Proteksi Jaringan Tegangan Menengah", PLN. 1986.
- [8] GE Power Management, "Generator Protection With a New Static Negatif-Sequence Relay", 215 Anderson Avenue Markham, Ontario Canada.
- [9] Lukas Subiyanto, "Relay Proteksi Jaringan Tegangan", PLN. 1990.
- [10] SPLN no. 26 : 1980, "Tentang Pentanahan Sistem 20 kV telah ditetapkan Besar Tahanan dan Besar Arus Gangguan yang diizinkan untuk Tiap Macam Tahanan Pentanahan".

- [11] Supplement PLN : Vol. 4, Mei 1999, "*Studi Pentanahan Netral dengan Tahanan Tinggi 500 Ω pada Sistem Campuran SUTM dan SKTM dikota Surabaya dan Sekitarnya*".
- [12] William D. Stevenson, Jr, alih bahasa : Kamal Idris, Ir, "*Analisa Sistem Tenaga Listrik*", Erlangga, Jakarta, 1993.

LAMPIRAN

- *Lembar Berita Acara Ujian Skripsi*
 - *Lembar Bimbingan Skripsi*
 - *Lembar Persetujuan Perbaikan Skripsi*
 - *Lembar Asistensi Bimbingan Skripsi*
 - *Surat Survey*
 - *Data – Data Lapangan*
 - *Listing Program Visual Basic. 6*
 - *Tabel Hasil Perhitungan*
-



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

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

1. Nama Mahasiswa : SUFIAN HADI
2. NIM : 95 12 048
3. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO
4. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK (S-1)
5. Judul Skripsi : ANALISA PENGARUH ARUS URUTAN NEGATIF
UNTUK MENINGKATKAN PERFORMANCE RELE
PROTEKSI SISTEM DISTRIBUSI 20 kV PADA
GARDU INDUK SUKOLILO

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi jenjang strata satu (S-1)

Pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 6 Oktober 2005

Dengan Nilai : 69,3 (Enam Puluh Sembilan Koma Tiga) *Sm*



Ir. Mochtar Asroni, MSME
Ketua

Panitia Ujian Skripsi

Ir. F. Yudi Lumraptano, MT
Sekretaris

Ir. H. Soemarwanto
Penguji I

Anggota Penguji

Ir. M. Abdul Hamid, MT
Penguji II




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

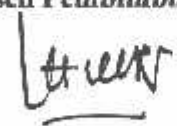
LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

1. Nama Mahasiswa : SUFIAN HADI
2. NIM : 95 12 048
3. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO
4. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK (S-1)
5. Judul Skripsi : ANALISA PENGARUH ARUS URUTAN
NEGATIF UNTUK MENINGKATKAN
PERFORMANCE RELE PROTEKSI
SISTEM DISTRIBUSI 20 kV PADA
GARDU INDUK SUKOLILO
6. Tanggal Mengajukan Skripsi : 24 Mei 2004
7. Tanggal Menyelesaikan Skripsi : 11 Agustus 2005
8. Dosen Pembimbing : Ir. H. Choiri
9. Telah Dievaluasi Dengan Nilai : 75 (Tujuh Puluh Lima) *Sm*

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro


Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP. Y.103 950 0274

Diperiksa dan Disetujui
Dosen Pembimbing


Ir. H. Choiri
NIP. 130 703 042



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi jurusan teknik elektro jenjang strata satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari : Kamis
Tanggal : 6 Oktober 2005

Telah dilakukan perbaikan Skripsi oleh :

1. Nama Mahasiswa : SUFIAN HADI
2. NIM : 95.12.048
3. NIRM : 95.7.061.32021.7942
4. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO
5. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK (S-1)
6. Judul Skripsi :

ANALISA PENGARUH ARUS URUTAN NEGATIF UNTUK
MENINGKATKAN PERFORMANCE RELE PROTEKSI
SISTEM DISTRIBUSI 20 kV PADA
GARDU INDUK SUKOLILO

7. Perbaikan Meliputi:

No	Materi Perbaikan	Paraf Penguji
1.	Sesuaikan analisis dengan judul	
2.	Gambar, tabel, persamaan supaya diberi sumber	

Ir. H. Soemarwanto
Penguji I

Anggota Penguji

Ir. M. Abdul Hamid, MT
Penguji II

Dosen Pembimbing

(Ir. H. Choiri)



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : SUFIAN HADI
Nim : 95.12.048
Masa Bimbingan : 24 Mei 2004 s/d 24 November 2004
Judul Skripsi : Analisa Pengaruh Arus Urutan Negatif Untuk Meningkatkan Performance Rele Proteksi Sistem Distribusi 20 Kv Pada Gardu Induk Sukolilo

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	25/04/04	Konsultasi BAB I (revisi bagian 1)	JH
2.	4/6	Konsultasi BAB I, II	JH
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

Malang, 2004
Dosen Pembimbing,

[Handwritten Signature]

Form.S-4b



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : SUFIAN HADI
NIM : 95.12.048
Masa Bimbingan : 24 November 2004 s/d 24 Mei 2005
Judul Skripsi : "ANALISA PENGARUH ARUS URUTAN NEGATIF UNTUK MENINGKATKAN PERFORMANCE RELE PROTEKSI SISTEM DISTRIBUSI 20 kV PADA GARDU INDUK SUKOLILO"

No	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	6/05/4	Konsultasi BAB. III (tambah ch. rele GFR & NSR)	JH
2.	2/05/7	Konsultasi BAB IV	JH
3.	2/05/8	Konsultasi BAB IV (tambah Perhitungan program)	JH
4.	10/05/8	Konsultasi BAB V (revisi)	JH
5.	11/05/05	Konsultasi BAB. V	JH
6.		Aae	
7.			
8.			
9.			
10.			

Malang, 20-9-2005
Dosen Pembimbing,


Ir. H. Choiri



PT PLN (PERSERO) UNIT BISNIS STRATEGIS
PENYALURAN DAN PUSAT PENGATUR BEBAN JAWA BALI
REGION JAWA TIMUR & BALI

Jl. Suningrat No. 45 Taman Sidoarjo 61257

Telepon : (031) 7882113, 7882114
Facsimile : (031) 7882578, 7881024

Kotak Pos : 199 SBS
Bank : Bank Mandiri

Nomor : 1256 / 334/ RJTB/ 2004.
Surat Sdr. No. : ITN-~~444~~ 496/III.TA/2/2004.
Lampiran : 1 (satu) lampiran.
Perihal : Ijin Survey/ Pengambilan Data.

26 MAY 2004

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Teknik.
Institut Teknologi Nasional Malang
Di
MALANG

Menunjuk surat Saudara nomor : ITN-484/III.TA/2/2004 tanggal 18 Mei 2004 dan ITN-496/III.TA/2/2004 tanggal 19 Mei 2004 perihal : Survey, dengan ini diberitahukan bahwa kami tidak keberatan untuk memberikan ijin kepada Mahasiswa Saudara, bernama :

- SUFIAN HADI NIM : 95.12.048.
- PAULUS HARRY D.L NIM : 95.12.008.

Untuk melakukan survey/ pengambilan data pada PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali Bidang UPT Surabaya Gardu Induk Sukolilo, dengan persyaratan sebagai berikut :

1. Mahasiswa tersebut diatas supaya mengisi dan menanda tangani Surat Pernyataan 1 (satu) lembar bernominal Rp. 6.000,-
2. Mahasiswa yang bersangkutan agar mematuhi peraturan/ketentuan yang berlaku di PT. PLN (PERSERO) sehingga faktor-faktor kerahasiaan harus benar-benar diutamakan.
3. Semua biaya perjalanan, penginapan, makan dan lain sebagainya tidak menjadi tanggungan PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali.
4. Buku Laporan Kerja Praktek Mahasiswa tersebut agar dikirimkan kepada PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali 1 (satu) buah.
5. Untuk informasi lebih lanjut dapat menghubungi PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali Cq. Bidang Enjiniring.

Demikian harap maklum dan terima kasih atas perhatian saudara.

a.n. MANAGER
PH MANAGER BIDANG ENJINIRING,



Tembusan Yth. :

1. M.SDM PLN P3B.
2. MUPT Surabaya.
3. Sdr. Sufian Hadi
4. Sdr. Paulus Harry D.L.

PT PLN (PERSERO) UNIT BISNIS STRATEGIS
PENYALURAN DAN PUSAT PENGATUR BEBAN JAWA BALI
REGION JAWA TIMUR & BALI

alamat No. 45 Taman Sidoarjo 61257

Kotak Pos : 199 SBS
Bank : Bank Mandiri

telepon : (031) 7882113, 7882114
telepon : (031) 7882578, 7881024

26 MAY 2004

nomor : 1256/334/RJT/2004.
alamat Sdr. No. : ITN-484, 496/III.TA/2/2004.
lampiran : 1 (satu) lampiran.
hal : Ijin Survey/ Pengambilan Data.

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Teknik,
Institut Teknologi Nasional Malang
Di
MALANG

Menunjuk surat Saudara nomor : ITN-484/III.TA/2/2004 tanggal 18 Mei 2004 dan ITN-496/III.TA/2/2004 tanggal 19 Mei 2004 perihal : Survey, dengan ini diberitahukan bahwa kami tidak keberatan untuk memberikan ijin kepada Mahasiswa Saudara, bernama :

- SUFIAN HADI NIM : 95.12.048.
- PAULUS HARRY D.L. NIM : 95.12.008.

Untuk melakukan survey/ pengambilan data pada PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali Bidang UPT Surabaya Gardu Induk Sukolilo, dengan persyaratan sebagai berikut :

1. Mahasiswa tersebut diatas supaya mengisi dan menanda tangani Surat Pernyataan 1 (satu) lembar bermeterai Rp. 6.000,-
2. Mahasiswa yang bersangkutan agar mematuhi peraturan/ketentuan yang berlaku di PT. PLN (PERSERO) sehingga faktor-faktor kerahasiaan harus benar-benar diutamakan.
3. Semua biaya perjalanan, penginapan, makan dan lain sebagainya tidak menjadi tanggungan PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali.
4. Buku Laporan Kerja Praktek Mahasiswa tersebut agar dikirimkan kepada PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali 1 (satu) buah.
5. Untuk informasi lebih lanjut dapat menghubungi PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali Cq. Bidang Enjiniring.

Demikian harap maklum dan terima kasih atas perhatian saudara.

a.n. MANAGER
PH MANAGER BIDANG ENJINIRING,



1 cc Bpk Futuerno

Tembusan Yth. :

1. M.SDM PLN P3B.
2. M.UPT Surabaya
3. Sdr. Sufian Hadi
4. Sdr. Paulus Harry D.L.

* Pengambilan data
y TA.

Kepada Yth
Ka. aw. Sukolilo / Operasi EBT Sukolilo
mohon di. p. l. m. a. m. n. y. k. a. j. i.
p. r. o. b. l. e. m. d. i. l. a. s. a. k. a. n. y. a. n. g.
s. e. m. u. d. i. k. a. n. a. t. a. s. k. e. j. a. n. g.

[Handwritten signature]

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya :

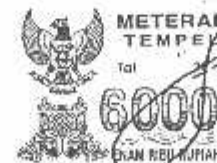
Nama : SUFIAN HADI
Pria/Wanita : PIA
Tempat / Tanggal lahir : PALANGKARAYA / 13 JANUARI 1977
Alamat / no telepon : JL. WLIRANG I / 22 A MALANG
No telp. (0341) 340536
Pekerjaan : MAHASISWA

Dengan ini saya menerangkan bahwa :

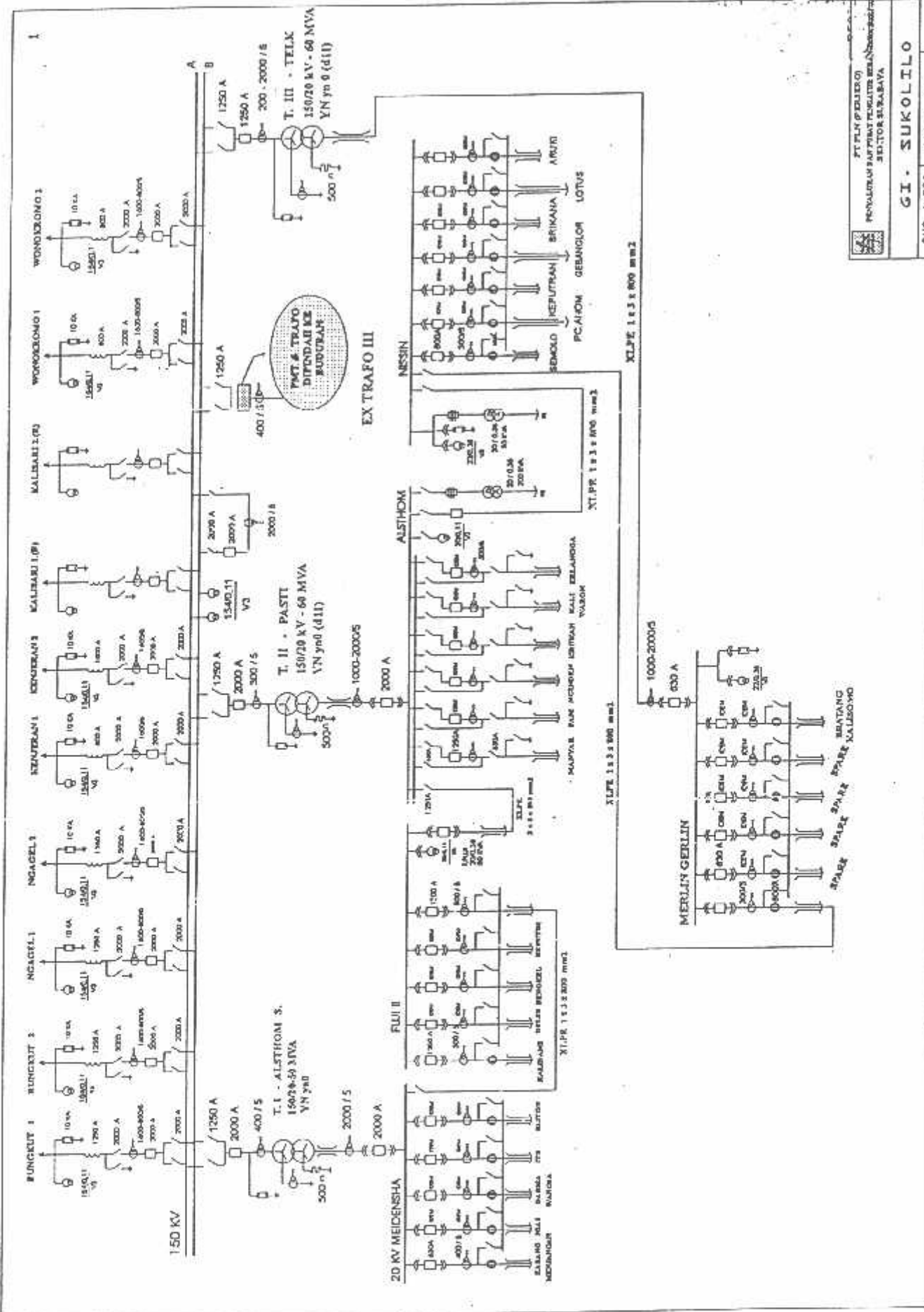
1. Saya bersedia dan setuju menanggung semua akibat yang ditimbulkan karena kesalahan maupun kelalaian saya dan semua akibat lainnya yang terjadi pada instalasi peralatan milik PLN selama melakukan Training/ Praktek Kerja/ Riset pada PT PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali, yang telah mendapat ijin dari PT PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali ;
2. Saya atas peringatan pertama akan membayar sepenuhnya , semua biaya yang langsung menimbulkan kerugian atau kecelakaan , karena kelalaian saya ;
3. Saya akan segera mematuhi semua petunjuk –petunjuk yang diberikan oleh Petugas PT PT PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali ;
4. Saya sanggup tidak membocorkan hal – hal yang bersifat rahasia perusahaan PT PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali dan bahan yang saya peroleh dalam Training/ Praktek Kerja/ Riset, dan tidak saya pergunakan untuk hal – hal yang dapat merugikan PT PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali
5. Saya sanggup menanggung sendiri segala sesuatu untuk keperluan Training/ Praktek Kerja/ Riset termasuk biaya perjalanan , penginapan makan dan sebagainya ;
6. Saya sanggup menyerahkan 1 (satu) buah buku laporan Training/ Praktek Kerja/ Riset kepada PT PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali, setelah saya presentasikan kepada Manager Bidang Enjiniring PT PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali mengenai tugas Training/ Praktek Kerja/ Riset.
7. Saya tunduk dan akan mentaati semua peraturan yang berlaku di PT PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali, dan saya sanggup tidak meninggalkan tugas kedinasan selama Training/ Praktek Kerja/ Riset.



Surabaya, 21 MEI 2009
Yang membuat pernyataan



SUFIAN HADI



Option Explicit

Dim KataJudul As String
Dim bag_imaginer As Double
Dim bag_Real As Double
Dim Vf As Variant

Private Sub cmdI2Open_Click()

Dim k As Long

)))))))))))))))))))

For k = 0 To 100

ReDim Preserve Ia(k)
ReDim Preserve Ib(k)
ReDim Preserve Ic(k)

ReDim Preserve I0(k)
ReDim Preserve I1(k)
ReDim Preserve I2(k)

' gangguan open sirkuit
Rf = 100 * (k + 1)

bag_Real = 2.4137
bag_imaginer = 3.181
Z1 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
'Z1.Show

bag_Real = 2.4137
bag_imaginer = 3.181
Z2 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

bag_Real = 3.8641
bag_imaginer = 17.8026
Z0 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

Vf = 1
'Vf = times(3, 20000)
'Vf = rdivide(Vf, Sqr(3))
'Vf.Show

Ia1 = plus(Z1, Z2)
Ia1 = plus(Ia1, Z0)
Ia1 = plus(Ia1, 3 * k * 10) 'ada perubahan
'Ia1 = plus(Ia1, 3 * 10) 'ada perubahan
'Ia1.Show

Ia1 = rdivide(Vf, Ia1)

'Ia1.Show

```
bag_Real = -0.5  
bag_imaginer = -0.866  
aKuadrat = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer) ' a^2
```

```
bag_Real = -0.5  
bag_imaginer = 0.866  
a = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
Ia0 = times(aKuadrat, Ia1)
```

'Ia0.Show

```
Ia2 = rdivide(Ia0, a)
```

'Ia2.Show

```
Ia(k) = plus(Ia1, Ia2)
```

```
Ia(k) = plus(Ia(k), Ia0)
```

'Ia(k).Show

```
Ib(k) = times(aKuadrat, Ia1)  
Ib(k) = plus(Ib(k), times(a, Ia2))  
Ib(k) = plus(Ib(k), Ia0)
```

'Ib(k).Show

```
Ic(k) = times(a, Ia1)  
Ic(k) = plus(Ic(k), times(aKuadrat, Ia2))  
Ic(k) = plus(Ic(k), Ia0)
```

```
'Ia(k) = mabs(Ia(k)) ' Simple
```

```
'Ib(k) = mabs(Ib(k)) ' Simple
```

```
'Ic(k) = mabs(Ic(k)) ' Simple
```

'Ic(k).Show

```
I0(k) = plus(Ia(k), Ib(k))  
I0(k) = plus(I0(k), Ic(k))  
I0(k) = rdivide(I0(k), 3)  
'I0(k).Show
```

```
I1(k) = plus(Ia(k), times(a, Ib(k)))  
I1(k) = plus(I1(k), times(aKuadrat, Ic(k)))
```

```

I1(k) = rdivide(I1(k), 3)
'I1(k).Show

I2(k) = plus(Ia(k), times(aKuadrat, Ib(k)))
I2(k) = plus(I2(k), times(a, Ic(k)))
I2(k) = rdivide(I2(k), 3)
'I2(k).Show
I0(k) = mabs(I0(k)) '.Simple
I1(k) = mabs(I1(k)) '.Simple
I2(k) = mabs(I2(k)) '.Simple

```

Next

' Menggambar grafik

```

iPlotX1.RemoveAllChannels

' cannel 0 sebagai Ia
iPlotX1.AddChannel
iPlotX1.Channel(0).TitleText = "I0"
iPlotX1.Channel(0).Color = vbRed
'iPlotX1.Channel(0).MarkersStyle = ipmsCircle
iPlotX1.legend(0).CaptionColumnYValue = "Data"

```

Dim i As Long

```

For i = 0 To UBound(Ia)
    iPlotX1.Channel(0).AddXY i, I1(i).Simple
Next

```

```

iPlotX1.Channel(0).TraceLineWidth = 2

```

```

iPlotX1.XAxis(0).Min = 0
iPlotX1.XAxis(0).Span = UBound(Ia)
iPlotX1.TitleText = "Arus I1 Pada Gangguan Open Circuit"
iPlotX1.TitleMargin = 1
'iPlotX1.YAxis(0).Span = 1
iPlotX1.XAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.YAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.XAxis(0).Title = "Rf"
iPlotX1.YAxis(0).Title = "Arus"

```

End Sub

```

Private Sub cmdI3Open_Click()
    Dim k As Long

```

```

'))))))))))))))))))))))

```

```

For k = 0 To 100

```

'Ia0.Show

Ia2 = rdivide(Ia0, a)

'Ia2.Show

Ia(k) = plus(Ia1, Ia2)

Ia(k) = plus(Ia(k), Ia0)

'Ia(k).Show

Ib(k) = times(aKuadrat, Ia1)

Ib(k) = plus(Ib(k), times(a, Ia2))

Ib(k) = plus(Ib(k), Ia0)

'Ib(k).Show

Ic(k) = times(a, Ia1)

Ic(k) = plus(Ic(k), times(aKuadrat, Ia2))

Ic(k) = plus(Ic(k), Ia0)

'Ia(k) = mabs(Ia(k)) '.Simple

'Ib(k) = mabs(Ia(k)) '.Simple

'Ic(k) = mabs(Ia(k)) '.Simple

'Ic(k).Show

I0(k) = plus(Ia(k), Ib(k))

I0(k) = plus(I0(k), Ic(k))

I0(k) = rdivide(I0(k), 3)

'I0(k).Show

I1(k) = plus(Ia(k), times(a, Ib(k)))

I1(k) = plus(I1(k), times(aKuadrat, Ic(k)))

I1(k) = rdivide(I1(k), 3)

'I1(k).Show

I2(k) = plus(Ia(k), times(aKuadrat, Ib(k)))

I2(k) = plus(I2(k), times(a, Ic(k)))

I2(k) = rdivide(I2(k), 3)

'I2(k).Show

I0(k) = mabs(I0(k)) '.Simple

I1(k) = mabs(I1(k)) '.Simple

I2(k) = mabs(I2(k)) '.Simple

Next

' Menggambar grafik

```

iPlotX1.RemoveAllChannels

' cannel 0 sebagai Ia
iPlotX1.AddChannel
iPlotX1.Channel(0).TitleText = "I2"
iPlotX1.Channel(0).Color = vbBlue
iPlotX1.Channel(0).MarkersStyle = ipmsCircle
iPlotX1.legend(0).CaptionColumnYVvalue = "Data"

Dim i As Long

For i = 0 To UBound(Ia)
    iPlotX1.Channel(0).AddXY i, I2(i).Simple
Next

iPlotX1.Channel(0).TraceLineWidth = 2

iPlotX1.XAxis(0).Min = 0
iPlotX1.XAxis(0).Span = UBound(Ia)
iPlotX1.TitleText = "Arus I2 Pada Gangguan Open Circuit"
iPlotX1.TitleMargin = 1
iPlotX1.YAxis(0).Span = 1
iPlotX1.XAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.YAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.XAxis(0).Title = "Rf"
iPlotX1.YAxis(0).Title = "Arus"
End Sub

Private Sub cmdIAopen_Click()
    Dim k As Long

    '))))))))))))))))))

    For k = 0 To 100

        ReDim Preserve Ia(k)
        ReDim Preserve Ib(k)
        ReDim Preserve Ic(k)

        ReDim Preserve I0(k)
        ReDim Preserve I1(k)
        ReDim Preserve I2(k)

        ' gangguan open sirkuit
        Rf = 100 * (k + 1)

        bag_Real = 2.4137
        bag_imaginer = 3.181
    
```

```

Z1 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
'Z1.Show

bag_Real = 2.4137
bag_imaginer = 3.181
Z2 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

bag_Real = 3.8641
bag_imaginer = 17.8026
Z0 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

Vf = 1
'Vf = times(3, 20000)
'Vf = rdivide(Vf, Sqr(3))
'Vf.Show

Ia1 = plus(Z1, Z2)
Ia1 = plus(Ia1, Z0)
Ia1 = plus(Ia1, 3 * k * 10) ' ada perubahan
'Ia1 = plus(Ia1, 3 * 10) ' ada perubahan
'Ia1.Show

Ia1 = rdivide(Vf, Ia1)

'Ia1.Show

bag_Real = -0.5
bag_imaginer = -0.866
aKuadrat = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer) ' a^2

bag_Real = -0.5
bag_imaginer = 0.866
a = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

Ia0 = times(aKuadrat, Ia1)

'Ia0.Show

Ia2 = rdivide(Ia0, a)

'Ia2.Show

Ia(k) = plus(Ia1, Ia2)

Ia(k) = plus(Ia(k), Ia0)

'Ia(k).Show

```

```
iPlotX1.Channel(0).MarkersStyle = ipmsCircle  
iPlotX1.legend(0).CaptionColumnYValue = "Data"
```

```
Dim i As Long
```

```
For i = 0 To UBound(Ia)  
    iPlotX1.Channel(0).AddXY i, I0(i).Simple  
Next
```

```
iPlotX1.Channel(0).TraceLineWidth = 2
```

```
iPlotX1.XAxis(0).Min = 0  
iPlotX1.XAxis(0).Span = UBound(Ia)
```

```
iPlotX1.YAxis(0).Min = 0  
iPlotX1.YAxis(0).Span = 0.1
```

```
iPlotX1.TitleText = "Arus I0 Pada Gangguan Open Circuit"  
iPlotX1.TitleMargin = 1  
iPlotX1.YAxis(0).Span = 1  
iPlotX1.XAxis(0).TitleShow = True  
iPlotX1.YAxis(0).TitleShow = True  
iPlotX1.XAxis(0).Title = "Rf"  
iPlotX1.YAxis(0).Title = "Arus"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdPangkalSaluran_Click()
```

```
    Dim k As Long
```

```
    For k = 0 To 100
```

```
        ReDim Preserve Ia(k)  
        ReDim Preserve Ib(k)  
        ReDim Preserve Ic(k)
```

```
        ReDim Preserve I0(k)  
        ReDim Preserve I1(k)  
        ReDim Preserve I2(k)
```

```
        ' gangguan open sirkuit  
        Rf = 100 * (k + 1)
```

```
        bag_Real = 0.9136  
        bag_imaginer = 0  
        Z1 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
'Z1.Show
```

```
bag_Real = 0.9136  
bag_imaginer = 0  
Z2 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
bag_Real = 1508.65  
bag_imaginer = 0  
Z0 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
Vf = times(3, 20000)  
Vf = rdivide(Vf, Sqr(3))  
'Vf.Show  
Ia1 = plus(Z1, Z2)  
Ia1 = plus(Ia1, Z0)  
Ia1 = plus(Ia1, 3 * k * 10) ' ada perubahan  
'Ia1 = plus(Ia1, 3 * 10) ' ada perubahan  
'Ia1.Show
```

```
Ia1 = rdivide(Vf, Ia1)
```

```
'Ia1 = mabs(Ia1)  
'Ia1.Show
```

```
bag_Real = -0.5  
bag_imaginer = -0.866  
aKuadrat = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer) ' a^2
```

```
bag_Real = -0.5  
bag_imaginer = 0.866  
a = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
Ia0 = times(aKuadrat, Ia1)
```

```
'Ia0.Show
```

```
Ia2 = rdivide(Ia0, a)
```

```
'Ia2.Show
```

```
Ia(k) = plus(Ia1, Ia2)
```

```
Ia(k) = plus(Ia(k), Ia0)
```

```
'Ia(k).Show
```

```
Ib(k) = times(aKuadrat, Ia1)
```

```

Ib(k) = plus(Ib(k), times(a, Ia2))
Ib(k) = plus(Ib(k), Ia0)

'Ib(k).Show

Ic(k) = times(a, Ia1)
Ic(k) = plus(Ic(k), times(aKuadrat, Ia2))
Ic(k) = plus(Ic(k), Ia0)

```

```

'Ia(k) = mabs(Ia(k))'.Simple
'Ib(k) = mabs(Ia(k))'.Simple
'Ic(k) = mabs(Ia(k))'.Simple

```

```

'Ic(k).Show

```

```

I0(k) = plus(Ia(k), Ib(k))
I0(k) = plus(I0(k), Ic(k))
I0(k) = rdivide(I0(k), 3)
'I0.Show

```

```

I1(k) = plus(Ia(k), times(a, Ib(k)))
I1(k) = plus(I1(k), times(aKuadrat, Ic(k)))
I1(k) = rdivide(I1(k), 3)
'I1(k).Show

```

```

I2(k) = plus(Ia(k), times(aKuadrat, Ib(k)))
I2(k) = plus(I2(k), times(a, Ic(k)))
I2(k) = rdivide(I2(k), 3)
'I2(k).Show
I0(k) = mabs(I0(k))'.Simple
I1(k) = mabs(I1(k))'.Simple
I2(k) = mabs(I2(k))'.Simple

```

Next

' Menggambar grafik

```

iPlotX1.RemoveAllChannels

```

```

' channel 0 sebagai Ia
iPlotX1.AddChannel
iPlotX1.Channel(0).TitleText = "I0"
iPlotX1.Channel(0).Color = vbRed
'iPlotX1.Channel(0).MarkersStyle = ipmsCircle
iPlotX1.legend(0).CaptionColumnYValue = "Data"

```

```

' channel 1 sebagai Ib
iPlotX1.AddChannel
iPlotX1.Channel(1).TitleText = "I1"
iPlotX1.Channel(1).Color = vbBlue
'iPlotX1.Channel(1).MarkersStyle = ipmsDiamond

```

```
'cannel 2 sebagai Ic
iPlotX1.AddChannel
iPlotX1.Channel(2).TitleText = "I2"
iPlotX1.Channel(2).Color = vbBlack
```

```
Dim i As Long
```

```
For i = 0 To UBound(Ia)
    iPlotX1.Channel(0).AddXY i, I0(i).Simple
    iPlotX1.Channel(1).AddXY i, I1(i).Simple
    iPlotX1.Channel(2).AddXY i, I2(i).Simple
Next
```

```
iPlotX1.Channel(0).TraceLineWidth = 2
iPlotX1.Channel(1).TraceLineWidth = 2
iPlotX1.Channel(2).TraceLineWidth = 2
```

```
iPlotX1.XAxis(0).Min = 0
iPlotX1.XAxis(0).Span = UBound(Ia)
iPlotX1.TitleText = "Arus Pada Gangguan Pada Pangkal Saluran"
iPlotX1.TitleMargin = 1
'iPlotX1.YAxis(0).Span = 1
iPlotX1.XAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.YAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.XAxis(0).Title = "Rf"
iPlotX1.YAxis(0).Title = "Arus"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdProses_Click()
```

```
Dim k As Long
```

```
))))))))))))))))))
```

```
For k = 0 To 100
```

```
ReDim Preserve Ia(k)
ReDim Preserve Ib(k)
ReDim Preserve Ic(k)
```

```
ReDim Preserve I0(k)
ReDim Preserve I1(k)
ReDim Preserve I2(k)
```

```
' gangguan open sirkuit
Rf = 100 * (k + 1)
```

```
bag_Real = 2.4137
```

```

bag_imaginer = 3.181
Z1 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
'Z1.Show

bag_Real = 2.4137
bag_imaginer = 3.181
Z2 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

bag_Real = 3.8641
bag_imaginer = 17.8026
Z0 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

Vf = 1
'Vf = times(3, 20000)
'Vf = rdivide(Vf, Sqr(3))
'Vf.Show

Ia1 = plus(Z1, Z2)
Ia1 = plus(Ia1, Z0)
'Ia1 = plus(Ia1, 3 * k * 10) ' ada perubahan
Ia1 = plus(Ia1, 3 * 10) ' ada perubahan
'Ia1.Show

Ia1 = rdivide(Vf, Ia1)

'Ia1.Show

bag_Real = -0.5
bag_imaginer = -0.866
aKuadrat = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer) ' a^2

bag_Real = -0.5
bag_imaginer = 0.866
a = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

Ia0 = times(aKuadrat, Ia1)

'Ia0.Show

Ia2 = rdivide(Ia0, a)

'Ia2.Show

Ia(k) = plus(Ia1, Ia2)

Ia(k) = plus(Ia(k), Ia0)

```

```
'Ia(k).Show
```

```
Ib(k) = times(aKuadrat, Ia1)  
Ib(k) = plus(Ib(k), times(a, Ia2))  
Ib(k) = plus(Ib(k), Ia0)
```

```
'Ib(k).Show
```

```
Ic(k) = times(a, Ia1)  
Ic(k) = plus(Ic(k), times(aKuadrat, Ia2))  
Ic(k) = plus(Ic(k), Ia0)
```

```
'Ia(k) = mabs(Ia(k))'.Simple  
'Ib(k) = mabs(Ia(k))'.Simple  
'Ic(k) = mabs(Ia(k))'.Simple
```

```
'Ic(k).Show
```

```
I0(k) = plus(Ia(k), Ib(k))  
I0(k) = plus(I0(k), Ic(k))  
I0(k) = rdivide(I0(k), 3)  
'I0(k).Show
```

```
I1(k) = plus(Ia(k), times(a, Ib(k)))  
I1(k) = plus(I1(k), times(aKuadrat, Ic(k)))  
I1(k) = rdivide(I1(k), 3)  
'I1(k).Show
```

```
I2(k) = plus(Ia(k), times(aKuadrat, Ib(k)))  
I2(k) = plus(I2(k), times(a, Ic(k)))  
I2(k) = rdivide(I2(k), 3)  
'I2(k).Show  
I0(k) = mabs(I0(k))'.Simple  
I1(k) = mabs(I1(k))'.Simple  
I2(k) = mabs(I2(k))'.Simple
```

Next

```
' Menggambar grafik
```

```
iPlotX1.RemoveAllChannels
```

```
' cannel 0 sebagai Ia  
iPlotX1.AddChannel  
iPlotX1.Channel(0).TitleText = "I0"  
iPlotX1.Channel(0).Color = vbRed  
'iPlotX1.Channel(0).MarkersStyle = ipmsCircle  
iPlotX1.legend(0).CaptionColumnYVvalue = "Data"
```

```
' cannel 1 sebagai Ib  
iPlotX1.AddChannel  
iPlotX1.Channel(1).TitleText = "I1"
```

```

iPlotX1.Channel(1).Color = vbBlue
iPlotX1.Channel(1).MarkersStyle = ipmsDiamond

' channel 2 sebagai Ic
iPlotX1.AddChannel
iPlotX1.Channel(2).TitleText = "I2"
iPlotX1.Channel(2).Color = vbBlack

Dim i As Long

For i = 0 To UBound(Ia)
    iPlotX1.Channel(0).AddXY i, I0(i).Simple
    iPlotX1.Channel(1).AddXY i, I1(i).Simple
    iPlotX1.Channel(2).AddXY i, I2(i).Simple
Next

iPlotX1.Channel(0).TraceLineWidth = 2
iPlotX1.Channel(1).TraceLineWidth = 2
iPlotX1.Channel(2).TraceLineWidth = 2

iPlotX1.XAxis(0).Min = 0
iPlotX1.XAxis(0).Span = UBound(Ia)
iPlotX1.TitleText = "Arus Pada Gangguan Pada Pangkai Saluran"
iPlotX1.TitleMargin = 1
iPlotX1.YAxis(0).Span = 1
iPlotX1.XAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.YAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.XAxis(0).Title = "Rf"
iPlotX1.YAxis(0).Title = "Arus"

```

End Sub

```
Private Sub cmdTeganganPangkai_Click()
```

```
    Dim k As Long
```

```
    For k = 0 To 100
```

```
        Rf = 10 * (k + 1)
```

```
        ReDim Preserve V0(k)
```

```
        ReDim Preserve V1(k)
```

```
        ReDim Preserve V2(k)
```

```
        ReDim Preserve Va1(k)
```

```
        ReDim Preserve Va2(k)
```

```
        ReDim Preserve Va0(k)
```

```
        ReDim Preserve Va(k)
```

```
        ReDim Preserve Vbc(k)
```


ReDim Preserve Vc(k)

```
bag_Real = 22.4873
bag_imaginer = 0
Ia1 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
'Ia1.Show
```

```
bag_Real = 1508.65
bag_imaginer = 0
Z0 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
bag_Real = 0.9136
bag_imaginer = 0
Z2 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
Va1(k) = plus(Z0, Z2)
Va1(k) = plus(Va1(k), 3 * Rf)
Va1(k) = times(Ia1, Va1(k))
Va1(k) = mabs(Va1(k))
'Va1(k).Show
```

```
Va2(k) = times(Ia1, Z2)
Va2(k) = times(-1, Va2(k))
Va2(k) = mabs(Va2(k))
'Va2(k).Show
```

```
Va0(k) = times(Ia1, Z0)
Va0(k) = times(-1, Va0(k))
Va0(k) = mabs(Va0(k))
'Va0(k).Show
```

```
Va(k) = plus(Va1(k), Va2(k))
Va(k) = plus(Va(k), Va0(k))
'Va(k).Show
```

```
bag_Real = -0.5
bag_imaginer = -0.866
aKudrat = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer) ' a^2
```

```
bag_Real = -0.5
bag_imaginer = 0.866
a = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
Vbc(k) = times(aKudrat, Va1(k))
Vbc(k) = plus(Vbc(k), times(a, Va2(k)))
Vbc(k) = plus(Vbc(k), Va0(k))
```

```
'Vbc(k).Show
```

```
Vc(k) = times(a, Va1(k))  
Vc(k) = plus(Vc(k), times(aKuadrat, Va2(k)))  
Vc(k) = plus(Vc(k), Va0(k))  
'Vc(k).Show
```

```
V0(k) = plus(Va(k), Vbc(k))  
V0(k) = plus(V0(k), Vc(k))  
V0(k) = rdivide(V0(k), 3)  
'V0(k).Show
```

```
V1(k) = plus(Va(k), times(a, Vbc(k)))  
V1(k) = plus(V1(k), times(aKuadrat, Vc(k)))  
V1(k) = rdivide(V1(k), 3)  
'V1(k).Show
```

```
V2(k) = plus(Va(k), times(aKuadrat, Vbc(k)))  
V2(k) = plus(V2(k), times(a, Vc(k)))  
V2(k) = rdivide(V2(k), 3)  
'V2(k).Show
```

```
V0(k) = mabs(V0(k))  
V1(k) = mabs(V1(k))  
V2(k) = mabs(V2(k))
```

Next

```
' Menggambar grafik
```

```
iPlotX1.RemoveAllChannels
```

```
' channel 0 sebagai Va  
iPlotX1.AddChannel  
iPlotX1.Channel(0).TitleText = "V0"  
iPlotX1.Channel(0).Color = vbRed  
'iPlotX1.Channel(0).MarkersStyle = ipmsCircle  
iPlotX1.legend(0).CaptionColumnYVvalue = "Data"
```

```
' channel 1 sebagai Vb  
iPlotX1.AddChannel  
iPlotX1.Channel(1).TitleText = "V1"  
iPlotX1.Channel(1).Color = vbBlue  
'iPlotX1.Channel(1).MarkersStyle = ipmsDiamond
```

```
' channel 2 sebagai Vc  
iPlotX1.AddChannel  
iPlotX1.Channel(2).TitleText = "Vc"
```

```
iPlotX1.Channel(2).Color = vbBlack
```

```
Dim i As Long
```

```
For i = 0 To UBound(V0)  
    iPlotX1.Channel(0).AddXY i, V0(i).Simple  
    iPlotX1.Channel(1).AddXY i, V1(i).Simple  
    iPlotX1.Channel(2).AddXY i, V2(i).Simple  
Next
```

```
iPlotX1.Channel(0).TraceLineWidth = 2  
iPlotX1.Channel(1).TraceLineWidth = 2  
iPlotX1.Channel(2).TraceLineWidth = 2
```

```
iPlotX1.XAxis(0).Min = 0  
iPlotX1.XAxis(0).Span = UBound(V0)  
iPlotX1.TitleText = "Arus Pada Gangguan Open Circuit"  
iPlotX1.TitleMargin = 1  
iPlotX1.YAxis(0).Span = 1  
iPlotX1.XAxis(0).TitleShow = True  
iPlotX1.YAxis(0).TitleShow = True  
iPlotX1.XAxis(0).Title = "Rf"  
iPlotX1.YAxis(0).Title = "Arus"  
Ngeprint2
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdTeganganUjung_Click()
```

```
    Dim k As Long
```

```
    For k = 0 To 100
```

```
        Rf = 10 * (k + 1)  
        ReDim Preserve V0(k)  
        ReDim Preserve V1(k)  
        ReDim Preserve V2(k)
```

```
        ReDim Preserve Va1(k)  
        ReDim Preserve Va2(k)  
        ReDim Preserve Va0(k)
```

```
        ReDim Preserve Va(k)
```

```
        ReDim Preserve Vbc(k)  
        ReDim Preserve Vc(k)
```

```
        bag_Real = 22.3527  
        bag_imaginer = 0.3562
```

```
Ia1 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
'Ia1.Show
```

```
bag_Real = 1512.6
bag_imaginer = 18.2838
Z0 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
bag_Real = 3.3785
bag_imaginer = 3.2043
Z2 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
Va1(k) = plus(Z0, Z2)
Va1(k) = plus(Va1(k), 3 * Rf)
Va1(k) = times(Ia1, Va1(k))
Va1(k) = Va1(k)
'Va1(k).Show
```

```
Va2(k) = times(Ia1, Z2)
Va2(k) = times(-1, Va2(k))
Va2(k) = Va2(k)
'Va2(k).Show
```

```
Va0(k) = times(Ia1, Z0)
Va0(k) = times(-1, Va0(k))
Va0(k) = Va0(k)
'Va0(k).Show
```

```
Va(k) = plus(Va1(k), Va2(k))
Va(k) = plus(Va(k), Va0(k))
'Va(k).Show
```

```
bag_Real = -0.5
bag_imaginer = -0.866
aKuatrat = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer) ' a^2
```

```
bag_Real = -0.5
bag_imaginer = 0.866
a = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
Vbc(k) = times(aKuatrat, Va1(k))
Vbc(k) = plus(Vbc(k), times(a, Va2(k)))
Vbc(k) = plus(Vbc(k), Va0(k))
```

```
'Vbc(k).Show
```

```
Vc(k) = times(a, Va1(k))
Vc(k) = plus(Vc(k), times(aKuatrat, Va2(k)))
Vc(k) = plus(Vc(k), Va0(k))
'Vc(k).Show
```

```

V0(k) = plus(Va(k), Vbc(k))
V0(k) = plus(V0(k), Vc(k))
V0(k) = rdivide(V0(k), 3)
'V0(k).Show

V1(k) = plus(Va(k), times(a, Vbc(k)))
V1(k) = plus(V1(k), times(aKuadrat, Vc(k)))
V1(k) = rdivide(V1(k), 3)
'V1(k).Show

V2(k) = plus(Va(k), times(aKuadrat, Vbc(k)))
V2(k) = plus(V2(k), times(a, Vc(k)))
V2(k) = rdivide(V2(k), 3)
'V2(k).Show

V0(k) = mabs(V0(k))
V1(k) = mabs(V1(k))
V2(k) = mabs(V2(k))

```

Next

'Menggambar grafik

iPlotX1.RemoveAllChannels

```

'cannel 0 sebagai Va
iPlotX1.AddChannel
iPlotX1.Channel(0).TitleText = "V0"
iPlotX1.Channel(0).Color = vbRed
'iPlotX1.Channel(0).MarkersStyle = ipmsCircle
iPlotX1.legend(0).CaptionColumnYVvalue = "Data"

```

```

'cannel 1 sebagai Vb
iPlotX1.AddChannel
iPlotX1.Channel(1).TitleText = "V1"
iPlotX1.Channel(1).Color = vbBlue
'iPlotX1.Channel(1).MarkersStyle = ipmsDiamond

```

```

'cannel 2 sebagai Vc
iPlotX1.AddChannel
iPlotX1.Channel(2).TitleText = "Vc"
iPlotX1.Channel(2).Color = vbBlack

```

Dim i As Long

For i = 0 To UBound(V0)

```

iPlotX1.Channel(0).AddXY i, V0(i).Simple
iPlotX1.Channel(1).AddXY i, V1(i).Simple
iPlotX1.Channel(2).AddXY i, V2(i).Simple
Next

iPlotX1.Channel(0).TraceLineWidth = 2
iPlotX1.Channel(1).TraceLineWidth = 2
iPlotX1.Channel(2).TraceLineWidth = 2

iPlotX1.XAxis(0).Min = 0
iPlotX1.XAxis(0).Span = UBound(V0)
iPlotX1.TitleText = "Arus Pada Gangguan Open Circuit"
iPlotX1.TitleMargin = 1
iPlotX1.YAxis(0).Span = 1
iPlotX1.XAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.YAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.XAxis(0).Title = "Rf"
iPlotX1.YAxis(0).Title = "Arus"
Ngeprint2

End Sub

```

```
Private Sub cmdUjungSaluran_Click()
```

```
Dim k As Long
```

```
For k = 0 To 100
```

```
ReDim Preserve Ia(k)
```

```
ReDim Preserve Ib(k)
```

```
ReDim Preserve Ic(k)
```

```
ReDim Preserve I0(k)
```

```
ReDim Preserve I1(k)
```

```
ReDim Preserve I2(k)
```

```
' gangguan open sirkuit
```

```
Rf = 100 * (k + 1)
```

```
bag_Real = 3.3785
```

```
bag_imaginer = 3.2043
```

```
Z1 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
'Z1.Show
```

```
bag_Real = 3.3785
```

```
bag_imaginer = 3.2043
```

```
Z2 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
bag_Real = 1512.6
```

```
bag_imaginer = 18.2838
```

```
Z0 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```

Vf = times(3, 20000)
Vf = rdivide(Vf, Sqr(3))
'Vf.Show
Ia1 = plus(Z1, Z2)
Ia1 = plus(Ia1, Z0)
Ia1 = plus(Ia1, 3 * k * 10) ' ada perubahan
'Ia1 = plus(Ia1, 3 * 10) ' ada perubahan
'Ia1.Show

Ia1 = rdivide(Vf, Ia1)

'Ia1 = mabs(Ia1)
'Ia1.Show

bag_Real = -0.5
bag_imaginer = -0.866
aKuadrat = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer) ' a^2

bag_Real = -0.5
bag_imaginer = 0.866
a = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

Ia0 = times(aKuadrat, Ia1)

'Ia0.Show

Ia2 = rdivide(Ia0, a)

'Ia2.Show

Ia(k) = plus(Ia1, Ia2)

Ia(k) = plus(Ia(k), Ia0)

'Ia(k).Show

Ib(k) = times(aKuadrat, Ia1)
Ib(k) = plus(Ib(k), times(a, Ia2))
Ib(k) = plus(Ib(k), Ia0)

'Ib(k).Show

Ic(k) = times(a, Ia1)
Ic(k) = plus(Ic(k), times(aKuadrat, Ia2))
Ic(k) = plus(Ic(k), Ia0)

'Ia(k) = mabs(Ia(k)) ' Simple
'Ib(k) = mabs(Ia(k)) ' Simple

```

```
'Ic(k) = mabs(Ia(k)) '.Simple
```

```
'Ic(k).Show
```

```
I0(k) = plus(Ia(k), Ib(k))
```

```
I0(k) = plus(I0(k), Ic(k))
```

```
I0(k) = rdivide(I0(k), 3)
```

```
'I0.Show
```

```
I1(k) = plus(Ia(k), times(a, Ib(k)))
```

```
I1(k) = plus(I1(k), times(aKuadrat, Ic(k)))
```

```
I1(k) = rdivide(I1(k), 3)
```

```
'I1(k).Show
```

```
I2(k) = plus(Ia(k), times(aKuadrat, Ib(k)))
```

```
I2(k) = plus(I2(k), times(a, Ic(k)))
```

```
I2(k) = rdivide(I2(k), 3)
```

```
'I2(k).Show
```

```
I0(k) = mabs(I0(k)) '.Simple
```

```
I1(k) = mabs(I1(k)) '.Simple
```

```
I2(k) = mabs(I2(k)) '.Simple
```

Next

' Menggambar grafik

```
iPlotX1.RemoveAllChannels
```

' channel 0 sebagai Ia

```
iPlotX1.AddChannel
```

```
iPlotX1.Channel(0).TitleText = "I0"
```

```
iPlotX1.Channel(0).Color = vbRed
```

```
'iPlotX1.Channel(0).MarkersStyle = ipmsCircle
```

```
iPlotX1.legend(0).CaptionColumnYValue = "Data"
```

' channel 1 sebagai Ib

```
iPlotX1.AddChannel
```

```
iPlotX1.Channel(1).TitleText = "I1"
```

```
iPlotX1.Channel(1).Color = vbBlue
```

```
'iPlotX1.Channel(1).MarkersStyle = ipmsDiamond
```

' channel 2 sebagai Ic

```
iPlotX1.AddChannel
```

```
iPlotX1.Channel(2).TitleText = "I2"
```

```
iPlotX1.Channel(2).Color = vbBlack
```

Dim i As Long

```
For i = 0 To UBound(Ia)
```

```
    iPlotX1.Channel(0).AddXY i, I0(i).Simple
```



```
iPlotX1.Channel(1).AddXY i, I1(i).Simple  
iPlotX1.Channel(2).AddXY i, I2(i).Simple  
Next
```

```
iPlotX1.Channel(0).TraceLineWidth = 2  
iPlotX1.Channel(1).TraceLineWidth = 2  
iPlotX1.Channel(2).TraceLineWidth = 2
```

```
iPlotX1.XAxis(0).Min = 0  
iPlotX1.XAxis(0).Span = UBound(Ia)  
iPlotX1.TitleText = "Arus Pada Gangguan Open Circuit"  
iPlotX1.TitleMargin = 1  
iPlotX1.YAxis(0).Span = 1  
iPlotX1.XAxis(0).TitleShow = True  
iPlotX1.YAxis(0).TitleShow = True  
iPlotX1.XAxis(0).Title = "Rf"  
iPlotX1.YAxis(0).Title = "Arus"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()  
cmdI2Open_Click  
KataJudul = "Tabel Arus Thd RF Pada Gangguan Open Circuit"  
Ngeprint  
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()  
Command6_Click  
KataJudul = "Tabel Arus Thd RF Pada Gangguan Pangkal Saluran"  
Ngeprint  
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()  
Command9_Click  
KataJudul = "Tabel Arus Thd RF Pada Gangguan Ujung Saluran"  
Ngeprint  
End Sub
```

```
Private Sub Command4_Click()  
Dim k As Long
```

```
For k = 0 To 100
```

```
ReDim Preserve Ia(k)  
ReDim Preserve Ib(k)  
ReDim Preserve Ic(k)
```

```
ReDim Preserve I0(k)  
ReDim Preserve I1(k)  
ReDim Preserve I2(k)
```

```

' gangguan open sirkuit
Rf = 100 * (k + 1)

bag_Real = 0.9136
bag_imaginer = 0
Z1 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
'Z1.Show

bag_Real = 0.9136
bag_imaginer = 0
Z2 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

bag_Real = 1508.65
bag_imaginer = 0
Z0 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

Vf = times(3, 20000)
Vf = rdivide(Vf, Sqr(3))
'Vf.Show
Ia1 = plus(Z1, Z2)
Ia1 = plus(Ia1, Z0)
Ia1 = plus(Ia1, 3 * k * 10) ' ada perubahan
'Ia1 = plus(Ia1, 3 * 10) ' ada perubahan
'Ia1.Show

Ia1 = rdivide(Vf, Ia1)

'Ia1 = mabs(Ia1)
'Ia1.Show

bag_Real = -0.5
bag_imaginer = -0.866
aKuadrat = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer) ' a^2

bag_Real = -0.5
bag_imaginer = 0.866
a = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

Ia0 = times(aKuadrat, Ia1)

'Ia0.Show

Ia2 = rdivide(Ia0, a)

'Ia2.Show

Ia(k) = plus(Ia1, Ia2)

```

```

Ia(k) = plus(Ia(k), Ia0)

'Ia(k).Show

Ib(k) = times(aKuadrat, Ia1)
Ib(k) = plus(Ib(k), times(a, Ia2))
Ib(k) = plus(Ib(k), Ia0)

'Ib(k).Show

Ic(k) = times(a, Ia1)
Ic(k) = plus(Ic(k), times(aKuadrat, Ia2))
Ic(k) = plus(Ic(k), Ia0)

'Ia(k) = mabs(Ia(k)) '.Simple
'Ib(k) = mabs(Ia(k)) '.Simple
'Ic(k) = mabs(Ia(k)) '.Simple

'Ic(k).Show

I0(k) = plus(Ia(k), Ib(k))
I0(k) = plus(I0(k), Ic(k))
I0(k) = rdivide(I0(k), 3)
'I0.Show

I1(k) = plus(Ia(k), times(a, Ib(k)))
I1(k) = plus(I1(k), times(aKuadrat, Ic(k)))
I1(k) = rdivide(I1(k), 3)
'I1(k).Show

I2(k) = plus(Ia(k), times(aKuadrat, Ib(k)))
I2(k) = plus(I2(k), times(a, Ic(k)))
I2(k) = rdivide(I2(k), 3)
'I2(k).Show
I0(k) = mabs(I0(k)) '.Simple
I1(k) = mabs(I1(k)) '.Simple
I2(k) = mabs(I2(k)) '.Simple

Next

' Menggambar grafik

iPlotX1.RemoveAllChannels

' cannel 0 sebagai Ia
iPlotX1.AddChannel
iPlotX1.Channel(0).TitleText = "I2"
iPlotX1.Channel(0).Color = vbBlue
iPlotX1.Channel(0).MarkersStyle = ipmsCircle
iPlotX1.legend(0).CaptionColumnY Value = "Data"

```

```
Dim i As Long
```

```
For i = 0 To UBound(Ia)  
    iPlotX1.Channel(0).AddXY i, I2(i).Simple  
Next
```

```
iPlotX1.Channel(0).TraceLineWidth = 2
```

```
iPlotX1.XAxis(0).Min = 0  
iPlotX1.XAxis(0).Span = UBound(Ia)  
iPlotX1.TitleText = "Arus I2 Pada Gangguan Pada Pangkal Saluran"  
iPlotX1.TitleMargin = 1  
iPlotX1.YAxis(0).Span = 1  
iPlotX1.XAxis(0).TitleShow = True  
iPlotX1.YAxis(0).TitleShow = True  
iPlotX1.XAxis(0).Title = "Rf"  
iPlotX1.YAxis(0).Title = "Arus"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command5_Click()
```

```
    Dim k As Long
```

```
    For k = 0 To 100
```

```
        ReDim Preserve Ia(k)  
        ReDim Preserve Ib(k)  
        ReDim Preserve Ic(k)
```

```
        ReDim Preserve I0(k)  
        ReDim Preserve I1(k)  
        ReDim Preserve I2(k)
```

```
        ' gangguan open sirkuit  
        Rf = 100 * (k + 1)
```

```
        bag_Real = 0.9136  
        bag_imaginer = 0  
        Z1 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)  
        'Z1.Show
```

```
        bag_Real = 0.9136  
        bag_imaginer = 0  
        Z2 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
        bag_Real = 1508.65  
        bag_imaginer = 0  
        Z0 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```

Vf = times(3, 20000)
Vf = rdivide(Vf, Sqr(3))
'Vf.Show
Ia1 = plus(Z1, Z2)
Ia1 = plus(Ia1, Z0)
Ia1 = plus(Ia1, 3 * k * 10) ' ada perubahan
'Ia1 = plus(Ia1, 3 * 10) ' ada perubahan
'Ia1.Show

Ia1 = rdivide(Vf, Ia1)

'Ia1 = mabs(Ia1)
'Ia1.Show

bag_Real = -0.5
bag_imaginer = -0.866
aKuadrat = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer) ' a^2

bag_Real = -0.5
bag_imaginer = 0.866
a = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

Ia0 = times(aKuadrat, Ia1)

'Ia0.Show

Ia2 = rdivide(Ia0, a)

'Ia2.Show

Ia(k) = plus(Ia1, Ia2)

Ia(k) = plus(Ia(k), Ia0)

'Ia(k).Show

Ib(k) = times(aKuadrat, Ia1)
Ib(k) = plus(Ib(k), times(a, Ia2))
Ib(k) = plus(Ib(k), Ia0)

'Ib(k).Show

Ic(k) = times(a, Ia1)
Ic(k) = plus(Ic(k), times(aKuadrat, Ia2))
Ic(k) = plus(Ic(k), Ia0)

'Ia(k) = mabs(Ia(k)) ' .Simple

```

```
'Ib(k) = mabs(Ia(k)) '.Simple
```

```
'Ic(k) = mabs(Ia(k)) '.Simple
```

```
'Ic(k).Show
```

```
I0(k) = plus(Ia(k), Ib(k))
```

```
I0(k) = plus(I0(k), Ic(k))
```

```
I0(k) = rdivide(I0(k), 3)
```

```
'I0.Show
```

```
I1(k) = plus(Ia(k), times(a, Ib(k)))
```

```
I1(k) = plus(I1(k), times(aKuadrat, Ic(k)))
```

```
I1(k) = rdivide(I1(k), 3)
```

```
'I1(k).Show
```

```
I2(k) = plus(Ia(k), times(aKuadrat, Ib(k)))
```

```
I2(k) = plus(I2(k), times(a, Ic(k)))
```

```
I2(k) = rdivide(I2(k), 3)
```

```
'I2(k).Show
```

```
I0(k) = mabs(I0(k)) '.Simple
```

```
I1(k) = mabs(I1(k)) '.Simple
```

```
I2(k) = mabs(I2(k)) '.Simple
```

Next

```
' Menggambar grafik
```

```
iPlotX1.RemoveAllChannels
```

```
' channel 0 sebagai Ia
```

```
iPlotX1.AddChannel
```

```
iPlotX1.Channel(0).TitleText = "I1"
```

```
iPlotX1.Channel(0).Color = RGB(90, 255, 60)
```

```
'iPlotX1.Channel(0).MarkersStyle = ipmsCircle
```

```
iPlotX1.legend(0).CaptionColumnYVvalue = "Data"
```

Dim i As Long

```
For i = 0 To UBound(I1)
```

```
    iPlotX1.Channel(0).AddXY i, I1(i).Simple
```

Next

```
iPlotX1.Channel(0).TraceLineWidth = 2
```

```
iPlotX1.XAxis(0).Min = 0
```

```
iPlotX1.XAxis(0).Span = UBound(Ia)
```

```
iPlotX1.TitleText = "Arus I1 Pada Gangguan Pada Pangkal Saluran"
```

```
iPlotX1.TitleMargin = 1
```

```
iPlotX1.YAxis(0).Span = 1
iPlotX1.XAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.YAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.XAxis(0).Title = "Rf"
iPlotX1.YAxis(0).Title = "Arus"
```

End Sub

```
'For complex Z, the magnitude R and phase angle theta are given by R = abs(Z)
'theta = angle(Z)
'and the statement Z = R.*exp(i*theta)
'converts back to the original complex
```

```
Private Sub Command6_Click()
```

```
Dim k As Long
```

```
For k = 0 To 100
```

```
ReDim Preserve Ia(k)
ReDim Preserve Ib(k)
ReDim Preserve Ic(k)
```

```
ReDim Preserve I0(k)
ReDim Preserve I1(k)
ReDim Preserve I2(k)
```

```
' gangguan open sirkuit
Rf = 100 * (k + 1)
```

```
bag_Real = 0.9136
bag_imaginer = 0
Z1 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
'Z1.Show
```

```
bag_Real = 0.9136
bag_imaginer = 0
Z2 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
bag_Real = 1508.65
bag_imaginer = 0
Z0 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
Vf = times(3, 20000)
Vf = rdivide(Vf, Sqr(3))
'Vf.Show
Ia1 = plus(Z1, Z2)
Ia1 = plus(Ia1, Z0)
Ia1 = plus(Ia1, 3 * k * 10) ' ada perubahan
'Ia1 = plus(Ia1, 3 * 10) ' ada perubahan
'Ia1.Show
```

```
Ia1 = rdivide(Vf, Ia1)
```

```
'Ia1 = mabs(Ia1)
```

```
'Ia1.Show
```

```
bag_Real = -0.5
```

```
bag_imaginer = -0.866
```

```
aKudrat = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer) ' a^2
```

```
bag_Real = -0.5
```

```
bag_imaginer = 0.866
```

```
a = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
Ia0 = times(aKudrat, Ia1)
```

```
'Ia0.Show
```

```
Ia2 = rdivide(Ia0, a)
```

```
'Ia2.Show
```

```
Ia(k) = plus(Ia1, Ia2)
```

```
Ia(k) = plus(Ia(k), Ia0)
```

```
'Ia(k).Show
```

```
Ib(k) = times(aKudrat, Ia1)
```

```
Ib(k) = plus(Ib(k), times(a, Ia2))
```

```
Ib(k) = plus(Ib(k), Ia0)
```

```
'Ib(k).Show
```

```
Ic(k) = times(a, Ia1)
```

```
Ic(k) = plus(Ic(k), times(aKudrat, Ia2))
```

```
Ic(k) = plus(Ic(k), Ia0)
```

```
'Ia(k) = mabs(Ia(k)) '.Simple
```

```
'Ib(k) = mabs(Ia(k)) '.Simple
```

```
'Ic(k) = mabs(Ia(k)) '.Simple
```

```
'Ic(k).Show
```

```
I0(k) = plus(Ia(k), Ib(k))
```

```
I0(k) = plus(I0(k), Ic(k))
```

```
I0(k) = rdivide(I0(k), 3)
```

```
'I0.Show
```

```
I1(k) = plus(Ia(k), times(a, Ib(k)))
I1(k) = plus(I1(k), times(aKuadrat, Ic(k)))
I1(k) = rdivide(I1(k), 3)
'I1(k).Show
```

```
I2(k) = plus(Ia(k), times(aKuadrat, Ib(k)))
I2(k) = plus(I2(k), times(a, Ic(k)))
I2(k) = rdivide(I2(k), 3)
'I2(k).Show
I0(k) = mabs(I0(k)) '.Simple
I1(k) = mabs(I1(k)) '.Simple
I2(k) = mabs(I2(k)) '.Simple
```

Next

' Menggambar grafik

iPlotX1.RemoveAllChannels

```
' channel 0 sebagai Ia
iPlotX1.AddChannel
iPlotX1.Channel(0).TitleText = "I0"
iPlotX1.Channel(0).Color = vbRed
'iPlotX1.Channel(0).MarkersStyle = ipmsCircle
iPlotX1.legend(0).CaptionColumnYValue = "Data"
```

Dim i As Long

```
For i = 0 To UBound(Ia)
    iPlotX1.Channel(0).AddXY i, I0(i).Simple
Next
```

iPlotX1.Channel(0).TraceLineWidth = 2

```
iPlotX1.XAxis(0).Min = 0
iPlotX1.XAxis(0).Span = UBound(Ia)
iPlotX1.TitleText = "Arus I0 Pada Gangguan Pada Pangkal Saluran"
iPlotX1.TitleMargin = 1
'iPlotX1.YAxis(0).Span = 1
iPlotX1.XAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.YAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.XAxis(0).Title = "Rf"
iPlotX1.YAxis(0).Title = "Arus"
```

End Sub

```
Private Sub Command7_Click()
    Dim k As Long
```

For k = 0 To 100

```
ReDim Preserve Ia(k)
ReDim Preserve Ib(k)
ReDim Preserve Ic(k)
```

```
ReDim Preserve I0(k)
ReDim Preserve I1(k)
ReDim Preserve I2(k)
```

```
' gangguan open sirkuit
Rf = 100 * (k + 1)
```

```
bag_Real = 3.3785
bag_imaginer = 3.2043
Z1 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
'Z1.Show
```

```
bag_Real = 3.3785
bag_imaginer = 3.2043
Z2 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
bag_Real = 1512.6
bag_imaginer = 18.2838
Z0 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
Vf = times(3, 20000)
Vf = rdivide(Vf, Sqr(3))
'Vf.Show
Ia1 = plus(Z1, Z2)
Ia1 = plus(Ia1, Z0)
Ia1 = plus(Ia1, 3 * k * 10) ' ada perubahan
'Ia1 = plus(Ia1, 3 * 10) ' ada perubahan
'Ia1.Show
```

```
Ia1 = rdivide(Vf, Ia1)
```

```
'Ia1 = mabs(Ia1)
'Ia1.Show
```

```
bag_Real = -0.5
bag_imaginer = -0.866
aKuadrat = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer) ' a^2
```

```
bag_Real = -0.5
bag_imaginer = 0.866
a = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
```

```
Ia0 = times(aKuadrat, Ia1)
```

'Ia0.Show

Ia2 = rdivide(Ia0, a)

'Ia2.Show

Ia(k) = plus(Ia1, Ia2)

Ia(k) = plus(Ia(k), Ia0)

'Ia(k).Show

Ib(k) = times(aKuadrat, Ia1)

Ib(k) = plus(Ib(k), times(a, Ia2))

Ib(k) = plus(Ib(k), Ia0)

'Ib(k).Show

Ic(k) = times(a, Ia1)

Ic(k) = plus(Ic(k), times(aKuadrat, Ia2))

Ic(k) = plus(Ic(k), Ia0)

'Ia(k) = mabs(Ia(k))'.Simple

'Ib(k) = mabs(Ia(k))'.Simple

'Ic(k) = mabs(Ia(k))'.Simple

'Ic(k).Show

I0(k) = plus(Ia(k), Ib(k))

I0(k) = plus(I0(k), Ic(k))

I0(k) = rdivide(I0(k), 3)

'I0.Show

I1(k) = plus(Ia(k), times(a, Ib(k)))

I1(k) = plus(I1(k), times(aKuadrat, Ic(k)))

I1(k) = rdivide(I1(k), 3)

'I1(k).Show

I2(k) = plus(Ia(k), times(aKuadrat, Ib(k)))

I2(k) = plus(I2(k), times(a, Ic(k)))

I2(k) = rdivide(I2(k), 3)

'I2(k).Show

I0(k) = mabs(I0(k))'.Simple

I1(k) = mabs(I1(k))'.Simple

I2(k) = mabs(I2(k))'.Simple

Next

' Menggambar grafik

```

iPlotX1.RemoveAllChannels

' cannel 0 sebagai Ia
iPlotX1.AddChannel
iPlotX1.Channel(0).TitleText = "I0"
iPlotX1.Channel(0).Color = vbRed
iPlotX1.Channel(0).MarkersStyle = ipmsCircle
iPlotX1.legend(0).CaptionColumnYValue = "Data"

Dim i As Long

For i = 0 To UBound(Ia)
    iPlotX1.Channel(0).AddXY i, I2(i).Simple
Next

iPlotX1.Channel(0).TraceLineWidth = 2

iPlotX1.XAxis(0).Min = 0
iPlotX1.XAxis(0).Span = UBound(Ia)
iPlotX1.TitleText = "Arus I2 Pada Gangguan Ujung Saluran"
iPlotX1.TitleMargin = 1
iPlotX1.YAxis(0).Span = 1
iPlotX1.XAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.YAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.XAxis(0).Title = "Rf"
iPlotX1.YAxis(0).Title = "Arus"

End Sub

Private Sub Command8_Click()
    Dim k As Long

    For k = 0 To 100

        ReDim Preserve Ia(k)
        ReDim Preserve Ib(k)
        ReDim Preserve Ic(k)

        ReDim Preserve I0(k)
        ReDim Preserve I1(k)
        ReDim Preserve I2(k)

        ' gangguan open sirkuit
        Rf = 100 * (k + 1)

        bag_Real = 3.3785
        bag_imaginer = 3.2043
        Z1 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)
    
```

```

'Z1.Show

bag_Real = 3.3785
bag_imaginer = 3.2043
Z2 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

bag_Real = 1512.6
bag_imaginer = 18.2838
Z0 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

Vf = times(3, 20000)
Vf = rdivide(Vf, Sqr(3))
'Vf.Show
Ia1 = plus(Z1, Z2)
Ia1 = plus(Ia1, Z0)
Ia1 = plus(Ia1, 3 * k * 10) ' ada perubahan
'Ia1 = plus(Ia1, 3 * 10) ' ada perubahan
'Ia1.Show

Ia1 = rdivide(Vf, Ia1)

'Ia1 = mabs(Ia1)
'Ia1.Show

bag_Real = -0.5
bag_imaginer = -0.866
aKuadrat = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer) ' a^2

bag_Real = -0.5
bag_imaginer = 0.866
a = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

Ia0 = times(aKuadrat, Ia1)

'Ia0.Show

Ia2 = rdivide(Ia0, a)

'Ia2.Show

Ia(k) = plus(Ia1, Ia2)

Ia(k) = plus(Ia(k), Ia0)

'Ia(k).Show

Ib(k) = times(aKuadrat, Ia1)

```

```
Ib(k) = plus(Ib(k), times(a, Ia2))  
Ib(k) = plus(Ib(k), Ia0)
```

```
'Ib(k).Show
```

```
Ic(k) = times(a, Ia1)  
Ic(k) = plus(Ic(k), times(aKuadrat, Ia2))  
Ic(k) = plus(Ic(k), Ia0)
```

```
'Ic(k).Show
```

```
I0(k) = plus(Ia(k), Ib(k))  
I0(k) = plus(I0(k), Ic(k))  
I0(k) = rdivide(i0(k), 3)  
'I0.Show
```

```
I1(k) = plus(Ia(k), times(a, Ib(k)))  
I1(k) = plus(I1(k), times(aKuadrat, Ic(k)))  
I1(k) = rdivide(I1(k), 3)  
'I1(k).Show
```

```
I2(k) = plus(Ia(k), times(aKuadrat, Ib(k)))  
I2(k) = plus(I2(k), times(a, Ic(k)))  
I2(k) = rdivide(I2(k), 3)  
'I2(k).Show  
I0(k) = mabs(I0(k)) '.Simple  
I1(k) = mabs(I1(k)) '.Simple  
I2(k) = mabs(I2(k)) '.Simple
```

```
Next
```

```
' Menggambar grafik
```

```
iPlotX1.RemoveAllChannels
```

```
' cannel 0 sebagai Ia  
iPlotX1.AddChannel  
iPlotX1.Channel(0).TitleText = "I1"  
iPlotX1.Channel(0).Color = vbRed  
'iPlotX1.Channel(0).MarkersStyle = ipmsCircle  
iPlotX1.legend(0).CaptionColumnYValue = "Data"
```

```
Dim i As Long
```

```
For i = 0 To UBound(Ia)  
    iPlotX1.Channel(0).AddXY i, I1(i).Simple
```

```
Next
```

```

iPlotX1.XAxis(0).Min = 0
iPlotX1.XAxis(0).Span = UBound(Ia)
iPlotX1.TitleText = "Arus I1 Pada Gangguan Ujung Saluran"
iPlotX1.TitleMargin = 1
'iPlotX1.YAxis(0).Span = 1
iPlotX1.XAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.YAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.XAxis(0).Title = "Rf"
iPlotX1.YAxis(0).Title = "Arus"

```

End Sub

Private Sub Command9_Click()

Dim k As Long

For k = 0 To 100

ReDim Preserve Ia(k)

ReDim Preserve Ib(k)

ReDim Preserve Ic(k)

ReDim Preserve I0(k)

ReDim Preserve I1(k)

ReDim Preserve I2(k)

' gangguan open sirkuit

Rf = 100 * (k + 1)

bag_Real = 3.3785

bag_imaginer = 3.2043

Z1 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

'Z1.Show

bag_Real = 3.3785

bag_imaginer = 3.2043

Z2 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

bag_Real = 1512.6

bag_imaginer = 18.2838

Z0 = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

Vf = times(3, 20000)

Vf = rdivide(Vf, Sqr(3))

'Vf.Show

Ia1 = plus(Z1, Z2)

Ia1 = plus(Ia1, Z0)

Ia1 = plus(Ia1, 3 * k * 10) ' ada perubahan

'Ia1 = plus(Ia1, 3 * 10) ' ada perubahan

'Ia1.Show

```

Ia1 = rdivide(Vf, Ia1)

'Ia1 = mabs(Ia1)
'Ia1.Show

bag_Real = -0.5
bag_imaginer = -0.866
aKuadrat = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer) 'a^2

bag_Real = -0.5
bag_imaginer = 0.866
a = mcomplex(bag_Real, bag_imaginer)

Ia0 = times(aKuadrat, Ia1)

'Ia0.Show

Ia2 = rdivide(Ia0, a)

'Ia2.Show

Ia(k) = plus(Ia1, Ia2)

Ia(k) = plus(Ia(k), Ia0)

'Ia(k).Show

Ib(k) = times(aKuadrat, Ia1)
Ib(k) = plus(Ib(k), times(a, Ia2))
Ib(k) = plus(Ib(k), Ia0)

'Ib(k).Show

Ic(k) = times(a, Ia1)
Ic(k) = plus(Ic(k), times(aKuadrat, Ia2))
Ic(k) = plus(Ic(k), Ia0)

'Ia(k) = mabs(Ia(k)) 'Simple
'Ib(k) = mabs(Ia(k)) 'Simple
'Ic(k) = mabs(Ia(k)) 'Simple

'Ic(k).Show

I0(k) = plus(Ia(k), Ib(k))
I0(k) = plus(I0(k), Ic(k))
I0(k) = rdivide(I0(k), 3)
'I0.Show

```

```

I1(k) = plus(Ia(k), times(a, Ib(k)))
I1(k) = plus(I1(k), times(aKuadrat, Ic(k)))
I1(k) = rdivide(I1(k), 3)
'I1(k).Show

I2(k) = plus(Ia(k), times(aKuadrat, Ib(k)))
I2(k) = plus(I2(k), times(a, Ic(k)))
I2(k) = rdivide(I2(k), 3)
'I2(k).Show
I0(k) = mabs(I0(k)) '.Simple
I1(k) = mabs(I1(k)) '.Simple
I2(k) = mabs(I2(k)) '.Simple

Next

' Menggambar grafik

iPlotX1.RemoveAllChannels

' cannel 0 sebagai Ia
iPlotX1.AddChannel
iPlotX1.Channel(0).TitleText = "I0"
iPlotX1.Channel(0).Color = vbRed
'iPlotX1.Channel(0).MarkersStyle = ipmsCircle
iPlotX1.Legend(0).CaptionColumnYValue = "Data"

Dim i As Long

For i = 0 To UBound(Ia)
    iPlotX1.Channel(0).AddXY i, I0(i).Simple
Next

iPlotX1.Channel(0).TraceLineWidth = 2

iPlotX1.XAxis(0).Min = 0
iPlotX1.XAxis(0).Span = UBound(Ia)
iPlotX1.TitleText = "Arus I0 Pada Gangguan Ujung Saluran"
iPlotX1.TitleMargin = 1
'iPlotX1.YAxis(0).Span = 1
iPlotX1.XAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.YAxis(0).TitleShow = True
iPlotX1.XAxis(0).Title = "Rf"
iPlotX1.YAxis(0).Title = "Arus"

End Sub

Sub Ngeprint()
    frmVsPrinter.VS.StartDoc

```

```
frmVsPrinter.VS.StartTable
BuatHeader
```

```
Dim i As Long, k As Long, h As Long, nomer As Long, baris As Long
Dim kombinasi As String
Dim totalFuzzy As Double
Dim totalPJB As Double
Dim totalSelisih As Double
```

```
For i = 0 To UBound(I1)
```

```
    baris = baris + 1
    frmVsPrinter.VS.TableCell(tcRows) = baris
```

```
    frmVsPrinter.VS.TableCell(tcText, baris, 1) = (i + 1) * 10
    frmVsPrinter.VS.TableCell(tcText, baris, 2) =
Format(Round(I0(i).Simple, 10), "#0.#####0")
    frmVsPrinter.VS.TableCell(tcText, baris, 3) =
Format(Round(I1(i).Simple, 10), "#0.#####0")
    frmVsPrinter.VS.TableCell(tcText, baris, 4) =
Format(Round(I2(i).Simple, 10), "#0.#####0")
```

```
    seling baris
```

```
Next
```

```
frmVsPrinter.VS.EndTable
frmVsPrinter.VS.EndDoc
```

```
frmVsPrinter.Show 1
```

```
End Sub
```

```
Sub BuatHeader()
```

```
    frmVsPrinter.VS.TextAlign = taCenterMiddle
    frmVsPrinter.VS.FontSize = 13
    frmVsPrinter.VS.Paragraph = KataJudul
    frmVsPrinter.VS.Paragraph = ""
    frmVsPrinter.VS.FontSize = 12
    frmVsPrinter.VS.AddTable "1000|>1000|>100|>100", "Rf|I0|I1|i2", ""
```

```
    frmVsPrinter.VS.TableCell(tcCols) = 4
    frmVsPrinter.VS.TableCell(tcColWidth, , 1) = "700" 'Kombinasi
    frmVsPrinter.VS.TableCell(tcColWidth, , 2) = "2500" 'Beban
    frmVsPrinter.VS.TableCell(tcColWidth, , 3) = "2500" 'Beban
    frmVsPrinter.VS.TableCell(tcColWidth, , 4) = "2500" 'Beban
```

```
    frmVsPrinter.VS.FontSize = 12
```

End Sub

Sub Ngeprint2()

```
frmVsPrinter.VS.StartDoc  
frmVsPrinter.VS.StartTable  
BuatHeader2
```

```
Dim i As Long, k As Long, h As Long, nomer As Long, baris As Long  
Dim kombinasi As String  
Dim totalFuzzy As Double  
Dim totalPJB As Double  
Dim totalSelisih As Double
```

```
For i = 0 To UBound(V1)
```

```
    baris = baris + 1  
    frmVsPrinter.VS.TableCell(tcRows) = baris
```

```
    frmVsPrinter.VS.TableCell(tcText, baris, 1) = (i + 1) * 10  
    frmVsPrinter.VS.TableCell(tcText, baris, 2) =  
Format(Round(V0(i).Simple, 10), "#0.#####0")  
    frmVsPrinter.VS.TableCell(tcText, baris, 3) =  
Format(Round(V1(i).Simple, 10), "#0.#####0")  
    frmVsPrinter.VS.TableCell(tcText, baris, 4) =  
Format(Round(V2(i).Simple, 10), "#0.#####0")
```

```
    seling baris
```

```
Next
```

```
frmVsPrinter.VS.EndTable  
frmVsPrinter.VS.EndDoc
```

```
frmVsPrinter.Show 1
```

End Sub

Sub BuatHeader2()

```
frmVsPrinter.VS.TextAlign = taCenterMiddle  
frmVsPrinter.VS.FontSize = 13  
frmVsPrinter.VS.Paragraph = KataJudul  
frmVsPrinter.VS.Paragraph = ""  
frmVsPrinter.VS.FontSize = 12  
frmVsPrinter.VS.AddTable "1000|>1000|>100|>100", "Rf|V0|V1|V2", ""
```

```
frmVsPrinter.VS.TableCell(tcCols) = 4  
frmVsPrinter.VS.TableCeil(tcColWidth, , 1) = "700" 'Kombinasi
```

```
frmVsPrinter.VS.TableCell(tcColWidth, , 2) = "2500" 'Beban  
frmVsPrinter.VS.TableCell(tcColWidth, , 3) = "2500" 'Beban  
frmVsPrinter.VS.TableCell(tcColWidth, , 4) = "2500" 'Beban
```

```
frmVsPrinter.VS.FontSize = 12
```

```
End Sub
```

Tabel Arus Thd RF Pada Gangguan Open Circuit

Rf	I0	I1	i2
10	0,0389397269	0,0389388703	0,0389388703
20	0,0219209097	0,0219204274	0,0219204274
30	0,0137325804	0,0137322783	0,0137322783
40	0,0098416453	0,0098414288	0,0098414288
50	0,0076368851	0,0076367170	0,0076367170
60	0,0062295861	0,0062294490	0,0062294490
70	0,0052566092	0,0052564936	0,0052564936
80	0,0045448897	0,0045447898	0,0045447898
90	0,0040021093	0,0040020212	0,0040020212
100	0,0035747056	0,0035746270	0,0035746270
110	0,0032295290	0,0032294579	0,0032294579
120	0,0029449884	0,0029449236	0,0029449236
130	0,0027064283	0,0027063687	0,0027063687
140	0,0025035555	0,0025035005	0,0025035005
150	0,0023289315	0,0023288802	0,0023288802
160	0,0021770476	0,0021769997	0,0021769997
170	0,0020437387	0,0020436937	0,0020436937
180	0,0019257971	0,0019257547	0,0019257547
190	0,0018207128	0,0018206728	0,0018206728
200	0,0017264939	0,0017264559	0,0017264559
210	0,0016415392	0,0016415030	0,0016415030
220	0,0015645473	0,0015645129	0,0015645129
230	0,0014944495	0,0014944167	0,0014944167
240	0,0014303601	0,0014303287	0,0014303287
250	0,0013715387	0,0013715086	0,0013715086
260	0,0013173618	0,0013173328	0,0013173328
270	0,0012673003	0,0012672724	0,0012672724
280	0,0012209027	0,0012208759	0,0012208759
290	0,0011777812	0,0011777553	0,0011777553
300	0,0011376007	0,0011375757	0,0011375757
310	0,0011000704	0,0011000462	0,0011000462
320	0,0010649365	0,0010649131	0,0010649131
330	0,0010319787	0,0010319539	0,0010319539
340	0,0010009952	0,0010009732	0,0010009732
350	0,0009718193	0,0009717979	0,0009717979
360	0,0009442955	0,0009442747	0,0009442747
370	0,0009182875	0,0009182673	0,0009182673
380	0,0008936734	0,0008936537	0,0008936537
390	0,0008703440	0,0008703249	0,0008703249
400	0,0008482015	0,0008481829	0,0008481829
410	0,0008271575	0,0008271393	0,0008271393
420	0,0008071322	0,0008071144	0,0008071144
430	0,0007880534	0,0007880361	0,0007880361

Rf	i0	i1	i2
440	0,0007698556	0,0007698387	0,0007698387
450	0,0007524792	0,0007524626	0,0007524626
460	0,0007358697	0,0007358535	0,0007358535
470	0,0007199775	0,0007199617	0,0007199617
480	0,0007047571	0,0007047416	0,0007047416
490	0,0006901669	0,0006901517	0,0006901517
500	0,0006761684	0,0006761535	0,0006761535
510	0,0006627264	0,0006627119	0,0006627119
520	0,0006498084	0,0006497941	0,0006497941
530	0,0006373843	0,0006373703	0,0006373703
540	0,0006254263	0,0006254126	0,0006254126
550	0,0006139087	0,0006138952	0,0006138952
560	0,0006028076	0,0006027944	0,0006027944
570	0,0005921008	0,0005920878	0,0005920878
580	0,0005817677	0,0005817549	0,0005817549
590	0,0005717890	0,0005717764	0,0005717764
600	0,0005621468	0,0005621344	0,0005621344
610	0,0005528244	0,0005528122	0,0005528122
620	0,0005438061	0,0005437941	0,0005437941
630	0,0005350773	0,0005350655	0,0005350655
640	0,0005266243	0,0005266127	0,0005266127
650	0,0005184341	0,0005184227	0,0005184227
660	0,0005104948	0,0005104836	0,0005104836
670	0,0005027950	0,0005027840	0,0005027840
680	0,0004953240	0,0004953131	0,0004953131
690	0,0004880718	0,0004880610	0,0004880610
700	0,0004810288	0,0004810182	0,0004810182
710	0,0004741862	0,0004741757	0,0004741757
720	0,0004675355	0,0004675252	0,0004675252
730	0,0004610688	0,0004610586	0,0004610586
740	0,0004547785	0,0004547685	0,0004547685
750	0,0004486575	0,0004486477	0,0004486477
760	0,0004426991	0,0004426894	0,0004426894
770	0,0004368969	0,0004368873	0,0004368873
780	0,0004312448	0,0004312353	0,0004312353
790	0,0004257371	0,0004257277	0,0004257277
800	0,0004203683	0,0004203590	0,0004203590
810	0,0004151331	0,0004151240	0,0004151240
820	0,0004100268	0,0004100178	0,0004100178
830	0,0004050446	0,0004050357	0,0004050357
840	0,0004001820	0,0004001731	0,0004001731
850	0,0003954347	0,0003954260	0,0003954260
860	0,0003907987	0,0003907901	0,0003907901
870	0,0003862702	0,0003862617	0,0003862617
880	0,0003818454	0,0003818370	0,0003818370

Rf	i0	i1	i2
890	0,0003775209	0,0003775126	0,0003775126
900	0,0003732932	0,0003732850	0,0003732850
910	0,0003691591	0,0003691510	0,0003691510
920	0,0003651156	0,0003651076	0,0003651076
930	0,0003611597	0,0003611518	0,0003611518
940	0,0003572887	0,0003572808	0,0003572808
950	0,0003534997	0,0003534919	0,0003534919
960	0,0003497902	0,0003497825	0,0003497825
970	0,0003461578	0,0003461502	0,0003461502
980	0,0003426000	0,0003425925	0,0003425925
990	0,0003391146	0,0003391072	0,0003391072
1000	0,0003356994	0,0003356921	0,0003356921
1010	0,0003323524	0,0003323451	0,0003323451

Tabel Arus Thd RF Pada Gangguan Pangkal Saluran

Rf	i0	i1	i2
10	22,9333180538	22,9328135375	22,9328135375
20	22,4867034972	22,4862088061	22,4862088061
30	22,0571518266	22,0566665853	22,0566665853
40	21,6437035408	21,6432273951	21,6432273951
50	21,2454697561	21,2450023712	21,2450023712
60	20,8616258270	20,8611668864	20,8611668864
70	20,4914056461	20,4909548500	20,4909548500
80	20,1340965406	20,1336536051	20,1336536051
90	19,7890346933	19,7885993489	19,7885993489
100	19,4556010269	19,4551730178	19,4551730178
110	19,1332174968	19,1327965799	19,1327965799
120	18,8213437475	18,8209296916	18,8209296916
130	18,5194740896	18,5190666746	18,5190666746
140	18,2271347642	18,2267337804	18,2267337804
150	17,9438814614	17,9434867090	17,9434867090
160	17,6692970674	17,6689083557	17,6689083557
170	17,4029896151	17,4026067619	17,4026067619
180	17,1445904169	17,1442132483	17,1442132483
190	16,8937523620	16,8933807117	16,8933807117
200	16,6501483605	16,6497820693	16,6497820693
210	16,4134699208	16,4131088363	16,4131088363
220	16,1834258457	16,1830698221	16,1830698221
230	15,9597410379	15,9593899352	15,9593899352
240	15,7421554019	15,7418090859	15,7418090859
250	15,5304228354	15,5300811773	15,5300811773
260	15,3243103008	15,3239731771	15,3239731771
270	15,1235969695	15,1232642614	15,1232642614
280	14,9280734328	14,9277450260	14,9277450260
290	14,7375409728	14,7372167576	14,7372167576
300	14,5518108893	14,5514907600	14,5514907600
310	14,3707038758	14,3703877308	14,3703877308
320	14,1940494427	14,1937371839	14,1937371839
330	14,0216853815	14,0213769146	14,0213769146
340	13,8534572683	13,8531525023	13,8531525023
350	13,6892180023	13,6889168494	13,6889168494
360	13,5288273766	13,5285297523	13,5285297523
370	13,3721516795	13,3718575019	13,3718575019
380	13,2190633220	13,2187725122	13,2187725122
390	13,0694404919	13,0691529737	13,0691529737
400	12,9231668304	12,9228825301	12,9228825301
410	12,7801311299	12,7798499763	12,7798499763
420	12,6402270527	12,6399489768	12,6399489768
430	12,5033528667	12,5030778020	12,5030778020

Rf	i0	i1	i2
440	12,3694111991	12,3691390811	12,3691390811
450	12,2383088055	12,2380395716	12,2380395716
460	12,1099563530	12,1096899427	12,1096899427
470	11,9842682172	11,9840045720	11,9840045720
480	11,8611622925	11,8609013555	11,8609013555
490	11,7405598120	11,7403015282	11,7403015282
500	11,6223851807	11,6221294966	11,6221294966
510	11,5065658164	11,5063126803	11,5063126803
520	11,3930320019	11,3927813635	11,3927813635
530	11,2817167444	11,2814685549	11,2814685549
540	11,1725556442	11,1723098561	11,1723098561
550	11,0654867701	11,0652433374	11,0652433374
560	10,9604505423	10,9602094203	10,9602094203
570	10,8573896220	10,8571507674	10,8571507674
580	10,7562488071	10,7560121774	10,7560121774
590	10,6569749330	10,6567404873	10,6567404873
600	10,5595167803	10,5592844786	10,5592844786
610	10,4638249859	10,4635947894	10,4635947894
620	10,3698519603	10,3696238311	10,3696238311
630	10,2775518030	10,2773257093	10,2773257093
640	10,1868802533	10,1866561494	10,1866561494
650	10,0977945694	10,0975724253	10,0975724253
660	10,0102535109	10,0100332926	10,0100332926
670	9,9242172505	9,9239989249	9,9239989249
680	9,8396473184	9,8394308534	9,8394308534
690	9,7565065453	9,7562919092	9,7562919092
700	9,6747590072	9,6745461695	9,6745461695
710	9,5943699743	9,5941589051	9,5941589051
720	9,5153058617	9,5150965319	9,5150965319
730	9,4375341824	9,4373265635	9,4373265635
740	9,3610235028	9,3608175670	9,3608175670
750	9,2857434005	9,2855391209	9,2855391209
760	9,2116644240	9,2114617741	9,2114617741
770	9,1387580542	9,1385570081	9,1385570081
780	9,0669966675	9,0667972002	9,0667972002
790	8,9963535015	8,9961555882	8,9961555882
800	8,9268026212	8,9266062381	8,9266062381
810	8,8583188877	8,8581240111	8,8581240111
820	8,7908779273	8,7906845344	8,7906845344
830	8,7244561033	8,7242641716	8,7242641716
840	8,6590304878	8,6588399954	8,6588399954
850	8,5945788356	8,5943897611	8,5943897611
860	8,5310795590	8,5308918814	8,5308918814
870	8,4685117034	8,4683254023	8,4683254023
880	8,4068549246	8,4066699799	8,4066699799

Rf	i0	i1	i2
890	8,3460894667	8,3459058588	8,3459058588
900	8,2861961406	8,2860138503	8,2860138503
910	8,2271563044	8,2269753130	8,2269753130
920	8,1689518436	8,1687721326	8,1687721326
930	8,1115651526	8,1113867041	8,1113867041
940	8,0549791173	8,0548019137	8,0548019137
950	7,9991770978	7,9990011217	7,9990011217
960	7,9441429118	7,9439681465	7,9439681465
970	7,8898608198	7,8896872486	7,8896872486
980	7,8363155092	7,8361431160	7,8361431160
990	7,7834920805	7,7833208493	7,7833208493
1000	7,7313760330	7,7312059484	7,7312059484
1010	7,6799532521	7,6797842987	7,6797842987

Tabel Arus Thd RF Pada Gangguan Ujung Saluran

Rf	i0	i1	i2
10	22,7962751974	22,7957736959	22,7957736959
20	22,3549870486	22,3544952551	22,3544952551
30	21,9304572342	21,9299747801	21,9299747801
40	21,5217490328	21,5212755700	21,5212755700
50	21,1279942500	21,1275294495	21,1275294495
60	20,7483870650	20,7479306156	20,7479306156
70	20,3821785292	20,3817301360	20,3817301360
80	20,0286716357	20,0282310195	20,0282310195
90	19,6872168941	19,6867837897	19,6867837897
100	19,3572083496	19,3567825050	19,3567825050
110	19,0380799951	19,0376611712	19,0376611712
120	18,7293025337	18,7288905026	18,7288905026
130	18,4303804497	18,4299749947	18,4299749947
140	18,1408493565	18,1404502709	18,1404502709
150	17,8602735896	17,8598806766	17,8598806766
160	17,5882440207	17,5878570921	17,5878570921
170	17,3243760673	17,3239949436	17,3239949436
180	17,0683078793	17,0679323889	17,0679323889
190	16,8196986840	16,8193286628	16,8193286628
200	16,5782272738	16,5778625648	16,5778625648
210	16,3435906216	16,3432310744	16,3432310744
220	16,1155026128	16,1151480834	16,1151480834
230	15,8936928817	15,8933432320	15,8933432320
240	15,6779057428	15,6775608402	15,6775608402
250	15,4678992074	15,4675589248	15,4675589248
260	15,2634440790	15,2631082943	15,2631082943
270	15,0643231191	15,0639917149	15,0639917149
280	14,8703302772	14,8700031407	14,8700031407
290	14,6812699799	14,6809470026	14,6809470026
300	14,4969564732	14,4966375507	14,4966375507
310	14,3172132142	14,3168982459	14,3168982459
320	14,1418723070	14,1415611961	14,1415611961
330	13,9707739796	13,9704666327	13,9704666327
340	13,8037660988	13,8034624259	13,8034624259
350	13,6407037185	13,6404036330	13,6404036330
360	13,4814486611	13,4811520790	13,4811520790
370	13,3258691260	13,3255759666	13,3255759666
380	13,1738393269	13,1735495120	13,1735495120
390	13,0252391518	13,0249526060	13,0249526060
400	12,8799538474	12,8796704977	12,8796704977
410	12,7378737227	12,7375934987	12,7375934987
420	12,5988938737	12,5986167072	12,5986167072
430	12,4629139247	12,4626397497	12,4626397497

Rf	i0	i1	i2
440	12,3298377865	12,3295665390	12,3295665390
450	12,1995734303	12,1993050485	12,1993050485
460	12,0720326752	12,0717670993	12,0717670993
470	11,9471309894	11,9468681612	11,9468681612
480	11,8247873033	11,8245271666	11,8245271666
490	11,7049238339	11,7046663341	11,7046663341
500	11,5874659201	11,5872110043	11,5872110043
510	11,4723418678	11,4720894846	11,4720894846
520	11,3594828034	11,3592329030	11,3592329030
530	11,2488225372	11,2485750712	11,2485750712
540	11,1402974332	11,1400523547	11,1400523547
550	11,0338462877	11,0336035511	11,0336035511
560	10,9294102140	10,9291697749	10,9291697749
570	10,8269325335	10,8266943488	10,8266943488
580	10,7263586736	10,7261227015	10,7261227015
590	10,6276360707	10,6274022705	10,6274022705
600	10,5307140784	10,5304824103	10,5304824103
610	10,4355438809	10,4353143065	10,4353143065
620	10,3420784112	10,3418508930	10,3418508930
630	10,2502722735	10,2500467749	10,2500467749
640	10,1600816694	10,1598581550	10,1598581550
650	10,0714643286	10,0712427637	10,0712427637
660	9,9843794427	9,9841597936	9,9841597936
670	9,8987876024	9,8985698362	9,8985698362
680	9,8146507382	9,8144348230	9,8144348230
690	9,7319320639	9,7317179684	9,7317179684
700	9,6505960231	9,6503837170	9,6503837170
710	9,5706082381	9,5703976916	9,5703976916
720	9,4919354613	9,4917266456	9,4917266456
730	9,4145455297	9,4143384165	9,4143384165
740	9,3384073203	9,3382018822	9,3382018822
750	9,2634907091	9,2632869190	9,2632869190
760	9,1897665306	9,1895643624	9,1895643624
770	9,1172065408	9,1170059689	9,1170059689
780	9,0457833804	9,0455843797	9,0455843797
790	8,9754705408	8,9752730870	8,9752730870
800	8,9062423312	8,9060464004	8,9060464004
810	8,8380738474	8,8378794161	8,8378794161
820	8,7709409415	8,7707479872	8,7707479872
830	8,7048201942	8,7046286945	8,7046286945
840	8,6396888867	8,6394988198	8,6394988198
850	8,5755249751	8,5753363198	8,5753363198
860	8,5123070657	8,5121198011	8,5121198011
870	8,4500143909	8,4498284967	8,4498284967
880	8,3886267863	8,3884422426	8,3884422426

Rf	i0	i1	i2
890	8,3281246697	8,3279414570	8,3279414570
900	8,2684890193	8,2683071185	8,2683071185
910	8,2097013544	8,2095207470	8,2095207470
920	8,1517437164	8,1515643839	8,1515643839
930	8,0945986497	8,0944205744	8,0944205744
940	8,0382491853	8,0380723497	8,0380723497
950	7,9826788231	7,9825032100	7,9825032100
960	7,9278715162	7,9276971088	7,9276971088
970	7,8738116553	7,8736384371	7,8736384371
980	7,8204840540	7,8203120090	7,8203120090
990	7,7678739346	7,7677030471	7,7677030471
1000	7,7159669144	7,7157971687	7,7157971687
1010	7,6647489924	7,6645803735	7,6645803735
