

## **TUGAS AKHIR**

### **ANALISIS KINERJA RELE GANGGUAN TANAH AKIBAT KETIDAK SEIMBANGAN BEBAN APLIKASI GI PT.INALUM (Persero)**

*Diajukan Untuk Melengkapi Tugas-Tugas dan Sebagai Persyaratan Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik (S.T) Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Oleh :

**WILDAN NUR SIREGAR**

**NPM : 1207220033**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2017**

## ABSTRAK

*Pada pengaruh ketidak seimbangan beban terhadap kerja rele gangguan tanah diketahui bahwa arus urutan nol terjadi pada keadaan beban tidak seimbang dengan kondisi sistem dan beban ditanahkan, serta metode arus urutan nol pada rele gangguan tanah akan mempengaruhi kerja rele gangguan tanah. Dari hasil perhitungan yang dilakukan diperoleh faktor ketidak seimbangan beban yang terjadi pada gardu induk distribusi PT. INALUM (Persero) adalah  $(S_T) = 47,4\%$ . Nilai ini membuat rele gangguan tanah akan trip sesaat, tapi tidak mengakibatkan sampai terjadinya pemadaman listrik di potline, hanya dapat menyebabkan berkurangnya supply daya listrik pada fasa-fasa tertentu. Setting-an Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) yang didapat dari hasil perhitungan adalah Setting arus OCR :  $I_{set}$  (Primer) = 3406 Ampere,  $I_{set}$  (Sekunder) = 8.52 Ampere,  $T_{ms} = 0,13$  dan Setting arus GFR :  $I_{set}$  (Primer) = 1022 Ampere,  $I_{set}$  (Sekunder) = 2.6 Ampere,  $T_{ms} = 0.25$ .*

**Kata Kunci** : Beban, rele, gardu induk, pemutus tenaga, gangguan.

## KATA PENGANTAR



*Assalamu 'alaikum wr.wb*

Puji syukur kehadirat ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi semesta alam. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad.SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua dan telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah "***Analisis Kinerja Rele Gangguan Tanah Akibat Ketidak Seimbangan Beban Aplikasi Gardu Induk PT.INALUM (Persero)***".

Selesainya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda, yang dengan cinta kasih dan sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.
2. Bapak Rahmatullah, S.T, M.Sc. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Ibu Rohana, S.T, M.T. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Sekaligus Sebagai Pembimbing I Dalam Penyelesaian Tugas Akhir Ini.
4. Bapak Zulfikar, S.T, M.T. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Sekaligus Sebagai Pembimbing II Dalam Penyelesaian Tugas Akhir Ini.
5. Bapak M. Syafril, S.T, M.T. Selaku Dosen Pembimbing II dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Bapak dan Ibu Dosen di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Ir Abdul Azis Hutasuhut, M.M Selaku Dosen Pembimbing I.
8. Karyawan Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Teman-teman Seperjuangan Fakultas Teknik, Khususnya TEKEL A-1 Pagi 2012 yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

*Wassalamu 'alakum wr.wb*

Medan, 22 April 2017  
Penulis

WILDAN NUR SIREGAR  
1207220033

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vii

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
Rumusan Masalah .....	2
1.2 Tujuan Penulisan .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Metodologi Penulisan.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan .....	6
2.2 Pemutus Tenaga .....	10
2.3 Rele.....	13
2.3.1 Jenis-Jenis Rele.....	14
2.3.2 Rele Gangguan Tanah.....	16
2.3.3 Prinsip Kerja Rele Gangguan Tanah .....	18
2.4 Rele Gangguan Tanah Terarah (Direktional Earth Fault Rele).....	21
2.5 Rele Gangguan Tanah Pada Sistem Daya Listrik .....	23

2.5.1 Rele Gangguan Tanah Pada Sistem Yang Netralnya Tidak Diketanahkan .....	24
2.5.2 Rele gangguan tanah pada sistem yang diketanahkan dengan kumparan Peterson.....	25
2.6 Sistem Yang Tak Seimbang .....	27
2.6.1 Pengertian Sistem Yang Tidak Seimbang .....	27
2.6.2 Sistem Komponen Simetris .....	27
2.6.3 Operator A .....	29
2.6.4 Hubungan Antara Operator A Dengan Komponen Simetris .....	30
2.6.5 Impedansi Urutan.....	33
2.7 Analisa Sistem Tak Seimbang Dengan Metode Komponen Simetris ..	34
2.8 Penentuan Impedansi Urutan Sendiri.....	38
2.9 Beban Tidak Seimbang .....	40
2.9.1 Pengertian Beban Tak Seimbang .....	40
2.10 Analisa Beban Tak Seimbang Pada Sistem Yang Memuat Bagian Yang Tak Seimbang .....	44
2.10.1 Kondisi Beban Ditanahkan.....	44
2.10.2 Kondisi beban yang tidak ditanahkan.....	46

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	48
3.2 Peralatan Penelitian .....	48
3.3 Data Penelitian .....	48
3.3.1 Data Trafo .....	49
3.3.2 Data <i>Over Current Relay</i> (OCR) .....	49
3.3.3 Data GFR Sisi <i>Incoming</i> 33 kV .....	50

3.3.4 Data Current Transformator.....	50
3.4 Jenis Penelitian.....	51
3.5 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	51

## **BAB IV ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN**

4.1 Faktor-Faktor Yang Menyebabkan Terjadinya Ketidak Seimbangan Beban.....	53
4.2 Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Kerja Rele Gangguan Tanah.....	53
4.3 <i>Setting</i> Arus Dan Waktu Rele Gangguan Tanah Di <i>Feeder</i> 33 kV – <i>Setting</i> arus rele gangguan tanah.....	54
4.4 Data Beban Pada Setiap Fasa .....	57
4.5 Faktor Ketidak seimbangan Beban .....	58

## **BAB V PENUTUP**

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

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	62
-----------------------------	----

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1 Rele Gangguan Tanah (OCR/GFR).....	18
Gambar 2.2.a Rele hubung tanah pada pentanahan netral .....	18
Gambar 2.2.b Rele hubung tanah pada <i>outgoing</i> transformator.....	19
Gambar 2.3 Transformator arus hubungan residu .....	20
Gambar 2.4 Transformator Arus netral pada sistem yang diketanahkan .....	21
Gambar 2.5 Beberapa metode untuk memperoleh tegangan residu atau tegangan netral ketanah .....	22
Gambar 2.6 Sistem yang tidak diketanahkan terhadap gangguan tanah .....	25
Gambar 2.7 Sistem yang diketanahkan dengan kumparan Petersen .....	26
Gambar 2.8 Tiga himpunan fasor seimbang yang merupakan komponen simetris dari fasor tak seimbang.....	28
Gambar 2.9 Penjumlahan secara grafis komponen-komponen pada gambar 2.1 untuk mendapatkan tiga fasor.....	29
Gambar 2.10 Diagram Arus Yang Seimbang.....	35
Gambar 2.11 Diagram Arus Yang Tidak Seimbang .....	35
Gambar 2.12 Diagram satu garis sistem yang tidak simetris .....	36
Gambar 2.13 Jala-jala tidak seimbang dengan kawat netral sebagai jalur kembali .....	38
Gambar 2.14 Diagram sistem beban tidak seimbang.....	44
Gambar 2.15 Diagram sistem beban tidak ditanahkan.....	46
Gambar 3.1 Diagram Alir Penyusunan Tugas Akhir .....	51
Gambar 3.2 Diagram Alir Analisa Data Perhitungan.....	52



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Penggunaan tenaga listrik saat ini semakin maju, tidak hanya penerangan dan keperluan industri, tetapi sudah sampai untuk kebutuhan rumah tangga yang sekecil-kecilnya. Dengan demikian suatu sistem tenaga listrik sangat diharapkan dapat menyalurkan daya secara terus – menerus kepada konsumen dan faktor yang harus diperhatikan adalah sistem distribusi, tegangan dan frekuensi yang konstan maupun keseimbangan sistem.

Sistem distribusi tiga fasa sangat mempengaruhi keseimbangan sistem, apabila terjadi ketidak seimbangan beban ataupun sistem maka akan berdampak negatif, baik beban maupun lingkungan disekitar sistem. Ketidak seimbangan sistem dapat disebabkan oleh impedansi fasa yang tidak seimbang. Hantaran udara formasi dari ketiga hantaran pada tiga fasa akan mempengaruhi impedansi masing-masing fasanya. Kondisi fasa yang tidak seimbang umumnya terjadi pada jaringan pedesaan, yang cenderung dihubungkan dengan transformator dan jaringan distribusi satu fasa dan beban rumah tangga satu fasa.

Dalam menganalisa ketidak seimbangan sistem, keadaan sistem dan beban diperlukan. Analisa sistem tidak seimbang dilakukan dengan metode komponen simetris, dari komponen simetris ini terdapat tegangan, arus dan impedansi. Dari komponen tersebut diuraikan menjadi urutan positif, negatif dan nol. Arus tegangan urutan nol yang terjadi pada sistem daya listrik merupakan indikator

untuk mendeteksi suatu gangguan tanah. Deteksi ini dapat dilakukan dengan menggunakan rele yaitu rele gangguan tanah.

Rele gangguan tanah akan bekerja bila terjadi aliran arus urutan nol (residu) pada rele gangguan tanah. Untuk mendapatkan arus yang meresidu ini ada beberapa metode yang harus di pergunakan dan salah satu ada yang ketidak seimbangan arus fasa yang terjadi akibat gangguan fasa ke tanah.

Ketidak seimbangan beban ditandai dengan tidak seimbangnya aliran arus pada masing-masing fasa dalam sistem tiga fasa. Dari keterkaitan ini tampak bahwa ketidak seimbangan beban dapat menyebabkan terjadinya aliran arus residu pada rele gangguan tanah. Demikianlah analisa ini dilakukan untuk menganalisis kinerja rele gangguan tanah akibat ketidak seimbangan beban pada gardu induk PT.INALUM (Persero).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan di atas, maka yang akan diamati adalah sabagai berikut :

1. Bagaimana faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya ketidak seimbangan beban dan pengaruhnya terhadap rele gangguan tanah pada gardu induk distribusi ?
2. Berapa besar faktor ketidak seimbangan beban yang terjadi pada sistem yang dipasang rele gangguan tanah pada gardu induk distribusi ?
3. Berapa besar nilai *Setting-an Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) ?

### **1.3 Tujuan Penulisan**

Adapun tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Menganalisa faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya ketidak seimbangan beban dan pengaruhnya terhadap rele gangguan tanah pada gardu induk distribusi.
2. Menganalisa besar ketidak seimbangan beban yang terjadi pada sistem yang dipasang rele gangguan tanah pada gardu induk distribusi.
3. Menganalisa besar nilai *Setting-an Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR)

### **1.4 Batasan Masalah**

Untuk lebih terarahnya pembahasan dalam penulisan ini maka dianggap perlu membuat batasan masalah. Maka penulis membatasi penulisan pada hal-hal sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan di Gardu Induk PT. INALUM (PERSERO)
2. Membahas ketidak seimbangan beban terhadap kinerja rele gangguan tanah
3. Membahas besar *setting* arus pada rele gangguan tanah.

### **1.5 Metodologi Penulisan**

Metodologi yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### 1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dasar teori yang menunjang dalam penulisan Tugas Akhir. Dasar teori ini dapat diambil dari buku-buku, jurnal, prosiding, dan artikel-artikel di internet.

### 2. Pengumpulan Data

Mengumpulkan data dari literature dan PT. INALUM (PERSERO) berupa data saluran distribusi, rele gangguan tanah dan lain sebagainya yang mendukung penyelesaian tugas akhir.

### 3. Studi Bimbingan/diskusi

Salah satunya adalah melakukan konsultasi dengan dosen pembimbing tugas akhir.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Untuk memberikan gambaran mengenai tulisan ini, secara singkat dapat diuraikan sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang permasalahan, tujuan, metode penelitian, dan sistematika penulisan dari tugas akhir ini.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Membahas tentang mengenai teori dasar yang berhubungan dengan penulisan seperti sistem komponen simetris, pengertian beban tak seimbang dan pemutus tenaga (PMT).

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Melakukan riset di Gardu Induk PT. INALUM (PERSERO) yang berkaitan dengan data mengenai rele gangguan tanah yang terpasang di jaringan distribusi 33 kV.

### BAB IV ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN

Pada bab ini akan di analisa dan di bahas data-data atau pun perhitungan yang berhubungan dengan penulisan ini.

### BAB V PENUTUP

Pada bab ini dijelaskan tentang kesimpulan dan saran dari hasil penulisan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka Relevan**

Badruzzaman, 2013. Politeknik Negeri Semarang. Dalam penelitiannya “Kinerja Ground Fault Relay (Rele Gangguan Tanah) pada Penyulang 4 dan Penyulang 6 Gardu Induk Sronдол” Salah satu indikator penting dalam operasi sistem tenaga listrik adalah menjaga keandalan dan kontinuitas penyaluran tenaga listrik. Keandalan berkaitan dengan kualitas tegangan dan frekuensi. Kontinuitas berkaitan dengan terjaminnya pasokan energi listrik ke konsumen. Untuk mengamankan operasi sistem tenaga listrik diperlukan suatu sistem proteksi tenaga listrik yang bertugas untuk mendeteksi dan mengisolir gangguan yang terjadi agar tidak meluas. Dalam penelitian ini penulis mengamati kinerja rele gangguan tanah pada penyulang 4 dan 6 gardu induk sronдол PLN area Semarang. Rele gangguan tanah sebagai pengamanan gangguan tanah disetting dibawah arus gangguan terkecil, namun penyetingan tetap mengacu pada arus residu yang disebabkan ketidakseimbangan beban terbesar agar pada kondisi operasi normal rele tidak bekerja. Penelitian ini dilakukan dengan metode studi komparatif, dimana data ketidakseimbangan beban dan data gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah di bandingkan dengan setting rele gangguan tanah (GFR). Hasil pengolahan data menunjukkan arus residu akibat ketidak seimbangan beban maksimal sebesar 92,601 A pada penyulang SRL 04 dan 125,654 A pada penyulang SRL 06. Sedangkan arus residu terkecil akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah sebesar 1110 A pada penyulang SRL 04 dan 450A pada

penyulang SRL 06. Dan penetapan *setting* rele gangguan tanah pada sisi primer sebesar 156 A untuk penyulang SRL 04 dan 162 A untuk penyulang SRL 06. Berdasarkan hasil perhitungan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa *setting* penyulang SRL 04 dan penyulang SRL 06 baik namun pada penyulang SRL 06 *setting* perlu ditingkatkan sebesar 188,481 A.

Samsul, 2016. Politeknik Negeri Ujung Pandang “Analisis Gangguan Tidak Seimbang pada Line Transmisi GI Sungguminasa-GI Tallasa” Tujuan dari penelitian adalah untuk menentukan besar arus hubung singkat ketika terjadi gangguan pada *line* transmisi antara gardu induk Sungguminasa dan gardu induk Tallasa. Besarnya nilai arus hubung singkat yang diperoleh dari hasil pengukuran yang dilakukan oleh PT. PLN (persero) sebesar 2,8 kA. Untuk menjustifikasi hasil pengukuran tersebut maka digunakan metode komponen simetris untuk menghitung besar arus hubung singkat dengan menggunakan MATLAB. Besarnya nilai yang diperoleh dari data pengukuran PLN sama dengan besarnya nilai yang didapatkan dari hasil perhitungan. Penelitian ini dilakukan saat terjadi gangguan pada tanggal 19 Januari 2016 pukul 14:13 WITA.

Saragih, 2008. FT USU “Studi Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Rele Gangguan Tanah (Aplikasi Gardu Induk Binjai) Dari hasil studi ini diperoleh bahwa rele gangguan tanah bekerja berdasarkan *setting* arus yang telah disesuaikan untuk melakukan proteksi transformator sistem dari arus gangguan tanah ke alat proteksi. Rele proteksi akan merasakan adanya gangguan, apabila arus yang dirasakan oleh rele melebihi dari arus *setting*nya. Rele akan bekerja memberi sinyal ke *Circuit Bracker* (CB) membuka. Apabila arus gangguan lebih kecil dari nilai rele *setting*nya maka rele tidak akan bekerja. Untuk arus gangguan

yang kecil, rele arus gangguan tanah yang cocok digunakan adalah rele arus lebih dengan waktu seketika *Instantaneous Relay*.

Nova, 2013. Institut Teknologi Nasional Bandung “Perhitungan Setting Rele OCR dan GFR pada Sistem Interkoneksi Diesel Generator di Perusahaan” Terdapat suatu permasalahan utama dari sistem daya yaitu adanya gangguan arus hubung singkat. Sehingga diperlukan alat pengaman yang dapat merespon dengan cepat, fleksibel dan handal. Jenis pengaman yang digunakan untuk mengatasi arus lebih diantaranya *Over Current Relay (OCR)* dan *Ground Fault Relay (GFR)*. Rele tersebut bekerja dengan membaca masukan berupa besaran arus kemudian membandingkannya dengan nilai *setting*. Pada *setting* rele juga diterapkan waktu tunda agar terjadi koordinasi terhadap rele yang lainnya. Hasil yang didapat membuktikan bahwa dengan menggunakan sistem koordinasi OCR dan GFR yang diterapkan, mampu mengatasi arus hubung singkat pada sistem daya listrik. Hal tersebut juga dapat dilihat dari kurva karakteristik OCR dan GFR yang digunakan.

Iqbal, 2015. Teknik Elektro FTI ITP Padang “Perhitungan Koordinasi Relay Proteksi Ocr / Gfr Dengan Menggunakan Software Mathcad Pada Trafo Daya Unit Ii 20 Mva Gi Salak” Untuk menjamin kualitas pelayanan listrik, dalam meningkatkan taraf kehidupan masyarakat maka diperlukan listrik yang andal. Maka salah satu usaha yang dapat dilakukan adalah dengan meminimalisir gangguan yang terjadi dalam sistem tenaga listrik. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan dengan cara mengkoordinasi *setting relay* proteksi sisi 20 kV dan 150 kV di trafo daya unit 2 GI Salak yang mana sebelumnya GI Salak hanya menyuplai dengan 1 trafo daya berkapasitas 20 MVA. Disini adanya



penambahan trafo daya unit 2 dikarenakan transformator daya unit 1 arus beban sudah mencapai hingga 552 Ampere atau sekitar 95.61% dari arus maksimum. Dengan demikian dibutuhkan suatu perencanaan perhitungan serta analisa dari perhitungan arus hubung singkat agar terciptanya koordinasi proteksi *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) yang baik di sisi penyulang, *incoming* 20 kV dan sisi 150 kV. Dari tabel maupun grafik koordinasi *setting relay* OCR-GFR sisi 150 kV, *incoming* 20 kV dan penyulang untuk gangguan fasa – fasa dan fasa – tanah diatas dapat dilihat bahwa waktu kerja relai di sisi penyulang lebih cepat dibanding waktu kerja di sisi *incoming* dan sisi 150 kV. Begitu juga semakin besar arus gangguan maka waktu kerja relai semakin cepat dan begitu pula sebaliknya. Ditinjau dari jarak lokasi gangguan mempengaruhi besar kecilnya selisih waktu (*grading time*). Semakin jauh jarak lokasi gangguan maka semakin lama waktu kerja relai di penyulang dan waktu kerja relai di *incoming* sisi 150 kV.

Yolanda,2014. Politeknik Negeri Sriwijaya “Analisa Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator i. 974 Penyulang Pandu PT. PLN (persero) Rayon Sukarami Palembang” Ketidakseimbangan beban pada setiap fase dari jalur distribusi gardu di I. 974 di PT. PLN (Persero) Rayon Sukaranmi untuk mengurangi arus netral dilakukan beban - beban *balancing*. Dan hasil pengukuran dan perhitungan menunjukkan bahwa persentase ketidak seimbangan beban setiap baris setelah menyeimbangkan beban berkurang. Di jurusan B dari 72% menjadi 6,67%, jurusan C dari 77,67% menjadi 6,33%, jurusan D dari 72% menjadi 6,67%,. Mengurangi persentase ketidak seimbangan beban dengan arus yang mengalir dalam konduktor netral juga berkurang. Dalam I. 974 gardu pengukuran

kami cam melihat mana fase yang memiliki beban tidak seimbang. Kerugian akibat arus dalam konduktor netral dari transformator dalam LWBP adalah 6.285 kW dan kemudian seimbang untuk LWBP adalah 0.079 kW. Dan WBP setelah saldo adalah 26.091 kW dan kemudian seimbang untuk LWBP adalah 0.221 kW. Jadi, beban tidak seimbang lebih besar terjadi, kerugian disebabkan oleh konduktor netral akan lebih besar.

## **2.2 Pemutus Tenaga (PMT)**

Pemutus tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* merupakan suatu piranti saklar mekanik yang secara otomatis akan membuka atau memutuskan rangkaian listrik apabila terjadi ketidak normalan pada suatu sistem tanpa ada kerusakan.

Pemutus tenaga merupakan salah satu piranti pengaman yang terpenting. Karena hampir semua sinyal keluaran dari rele-rele pengaman ditujukan pada pemutus tenaga. Pemutus tenaga terdiri atas kontak-kontak yang dialiri arus listrik atau lebih dikenal dengan elektroda. Pada kondisi abnormal maka elektroda - elektroda akan terpisah dan memutuskan hubungan listrik dari satu sisi ke sisi lainnya. Pada saat pemutusan, pada pemutusan tenaga akan terjadi busur api yang mengakibatkan kerusakan, baik pada pemutus tenaga sendiri maupun pada sistem secara keseluruhan. Masalah terpenting dalam pemutus tenaga adalah bagaimana menghilangkan busur api dengan segera sebelum busur api mencapai suatu harga yang membahayakan

### **A. Syarat - Syarat Pemutus Tenaga**

Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi oleh pemutus tenaga agar bisa bekerja dengan baik, antara lain sebagai berikut:

a. Kemampuan Menutup dan Dialiri

Mampu menutup dan mampu dialiri arus beban penuh dalam waktu lama

b. Bekerja Secara Otomatis

Membuka secara otomatis untuk memutuskan beban atau beban lebih

c. Bekerja Cepat

Harus dapat memutuskan rangkaian dengan cepat, jika terjadi hubung singkat

d. Tahan pada Tegangan Rangkaian

Celah yang ada harus tahan terhadap tegangan rangkaian, bila kontak membuka

e. Dapat dialiri Arus Hubung Singkat

Mampu dialiri arus hubung singkat sampai gangguan hilang

f. Mampu Memutus Arus Magnetisasi Transformator

Mampu memutuskan arus magnetisasi transformator atau jaringan dan arus pemuatan

g. Tahan terhadap Situasi dan Kondisi

Mampu menahan efek busur kontak, gaya electromagnet, atau kondisi panas yang tinggi akibat hubung singkat.

### **B. Jenis - jenis Pemutus Tenaga**

Dilihat dari media pemadamannya, pemutus tenaga dapat digolongkan menjadi tiga yaitu pemutus tenaga dengan media pemadaman minyak (oil CB),

dengan media pemadaman udara (air CB), dengan media pemadaman gas (SF6CB).

1. PMT dengan Media Minyak (oil circuit breaker)

Ada dua jenis PMT dengan Minyak, yaitu :

a. PMT dengan minyak banyak menggunakan minyak (Bulk Oil Circuit Breaker)

PMT dengan banyak menggunakan minyak secara umum digunakan pada sistem tegangan sampai dengan 245 kV. Minyak berfungsi sebagai peredam loncatan bunga api listrik selama pemutusan kontak-kontak dan sebagai bahan isolasi antara bagian - bagian yang bertegangan dengan badan.

b. PMT dengan sedikit menggunakan minyak (Low oil Content Circuit Breaker)

Pada tipe ini minyak hanya dipergunakan sebagai peredam loncatan bunga api listrik, sedangkan sebagai bahan isolator dari bagian-bagian yang bertegangan digunakan porselen atau material isolasi dari jenis organik.

2. PMT dengan Media udara (Air Circuit Breaker)

a. PMT udara hembus (Air Blast Circuit Breaker)

Pada PMT udara hembus (compressed air circuit breaker). Udara bertekanan tinggi dihembuskan ke busur api melalui *nozzle* pada kontak pemisah ionisasi media di antara kontak dipadamkan oleh hembusan udara. Setelah pemadam busur api dengan udara tinggi, udara ini juga berfungsi mencegah *restriking voltage* (tegangan pukul) Kontak PMT ditempatkan didalam isolator dan juga katup hembusan udara. Pada PMT kapasitaskecil isolator ini merupakan satu kesatuan dengan PMT-nya, tetapi untuk kapasitas besar tidak demikian halnya.

b. PMT dengan hampa udara (Vacuum Circuit Breaker)

Kontak - kontak pemutus dari PMT ini terdiri atas kontak tetap dan kontak bergerak yang ditempatkan dalam ruang hampa udara. Ruang hampa udara ini mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi sehingga merupakan media pemadam busur api yang baik.

### 3. PMT dengan Media Gas

Media gas yang digunakan pada tipe PMT ini adalah gas SF<sub>6</sub> (sulfur heksafluorid). Sifat - sifat gas SF<sub>6</sub> murni ialah tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun, dan tidak mudah terbakar. Pada temperatur di atas 150° gas SF<sub>6</sub> mempunyai sifat tidak merusak metal, plastik dan bermacam-macam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi. Sebagai isolasi listrik, gas SF<sub>6</sub> mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi (2,35 kali udara) dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan penambahan tekanan. Sifat lainnya ialah mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat, setelah arus bunga Isitrik melalui titik nol.

## 2.3 Rele

Rele proteksi adalah sebuah peralatan listrik yang dirancang untuk mendeteksi bila terjadi gangguan atau sistem tenaga listrik tidak normal. Rele pengaman merupakan kunci kelangsungan kerja dari suatu sistem tenaga listrik, dimana gangguan segera dapat dilokalisir dan dihilangkan sebelum menimbulkan akibat yang lebih luas.

### 2.3.1 Jenis-Jenis Rele

Sistem proteksi memiliki komponen utama yaitu Rele, jenis-jenis rele ini dapat di gunakan pada sistem pembangkitan, transmisi tenaga listrik, sistem distribusi dan lain-lain.

Adapun jenis-jenisnya adalah sebagai berikut :

1. Rele jarak (distance relay)

Fungsinya untuk mendeteksi gangguan 2 fasa atau 3 fasa di muka generator sampai batas jangkauannya.

2. Rele periksa Sinkron

Fungsinya pengaman bantu generator untuk mendeteksi persaratan sinkronisasi (paralel).

3. Rele tegangan kurang (under voltage relay)

Fungsinya mendeteksi turunnya tegangan sampai dibawah harga yang di izinkan (rele ini bekerja apabila sebelum *rele loss of field* bekerja).

4. Rele daya balik (reverse power relay)

Fungsinya untuk mendeteksi daya balik, sehingga mencegah generator bekerja sebagai motor.

5. Rele kehilangan medan penguat

Fungsinya untuk mendeteksi kehilangan medan penguat generator.

6. Rele fasa urutan negatif

Fungsinya untuk mendeteksi arus urutan negatif yang disebabkan oleh beban tidak seimbang pada batas-batas yang tidak diizinkan.

7. Rele arus lebih seketika (over current relay instanteneous)

Fungsinya untuk mendeteksi besaran arus yang melebihi batas yang ditentukan dalam waktu seketika.

8. Rele arus lebih dengan waktu tunda (time over current relay)

Fungsinya untuk mendeteksi besaran arus yang melebihi batas dalam waktu yang diizinkan.

9. Rele penguat lebih (over excitation relay)

Fungsinya untuk mendeteksi penguat lebih pada generator.

10. Rele tegangan lebih

1. Bila terpasang di titik netral generator atau trafo tegangan yang di hubungkan segitiga terbuka untuk mendeteksi gangguan stator hubungan tanah.

2. Bila terpasang pada terminal generator untuk mendeteksi tegangan lebih.

11. Rele keseimbangan tegangan (voltage balanced relay)

Fungsinya untuk mendeteksi hilangnya tegangan dari trafo tegangan pengatur tegangan otomatis (AVR dan relay).

12. Rele waktu (time delay)

Fungsinya untuk memperlambat waktu.

13. Rele stator gangguan tanah (stator ground fault relay)

Fungsinya untuk mendeteksi kondisi asinkron pada generator yang sudah paralel dengan sistem.

14. Rele kehilangan sinkronisasi (out of step relay)

Fungsinya untuk mendeteksi kondisi asinkron pada generator yang sudah paralel dengan sistem.

15. Rele pengunci (lock out relay)

Fungsinya untuk menerima *signal* trip dari rele-rele proteksi dan kemudian meneruskan *signal* trip ke PMT, *alarm* dan peralatan lain serta mengunci.

16. Rele frekuensi (frekuensi relay)

Fungsinya mendeteksi besaran frekuensi rendah/lebih di luar harga yang diizinkan.

17. Rele diferensial (diferensial relay)

Fungsinya untuk mendeteksi gangguan hubungan singkat pada daerah yang diamankan.

### **2.3.2 Rele Gangguan Tanah**

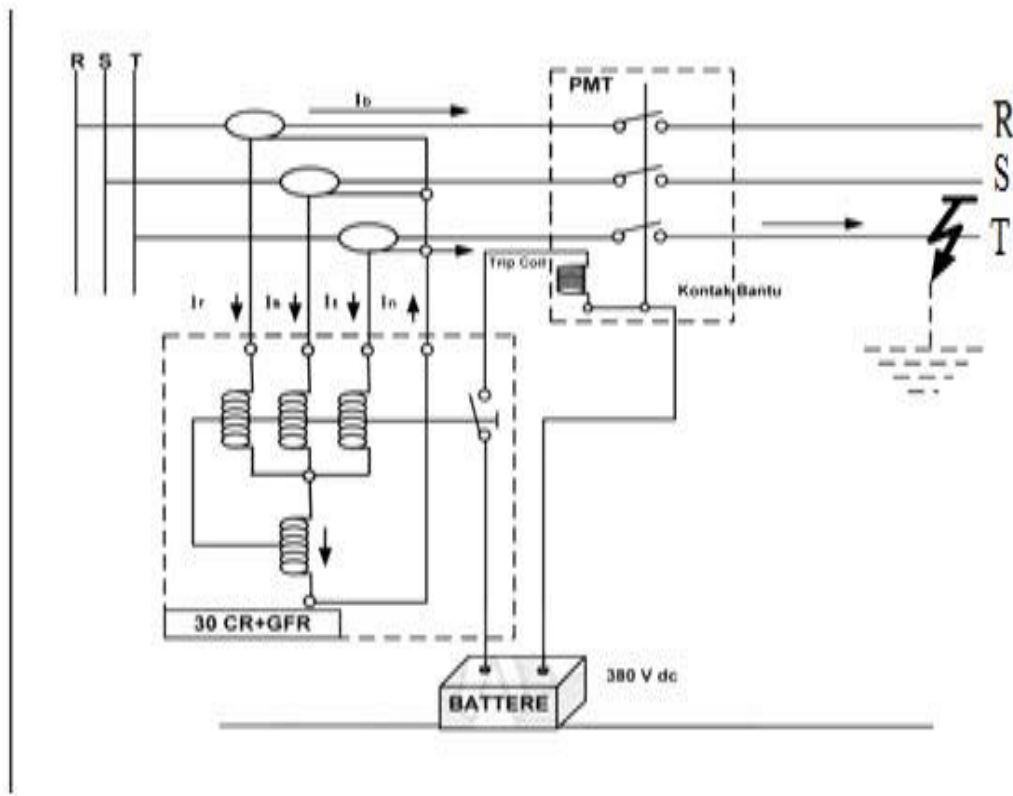
Suatu gangguan yang terjadi pada sistem daya listrik dapat mengakibatkan efek kerusakan pada peralatan, sistem dan keselamatan umum di daerah penyaluran daya, oleh karena itu gangguan perlu diamankan secepat mungkin. Koordinasi kerja sistem pengaman (proteksi) tidak akan lepas dari ketiga efek yang diatas. Pemutusan arus hanya terjadi pada daerah gangguan saja, karena itu kerja sistem pengaman harus mampu untuk merasakan gangguan yang sensitif, ketepatan kerja harus tepat dan dapat dipercaya keandalannya.

Gangguan tanah adalah terhubungnya konduktor fasa dengan beban atau tempat yang terhubung dengan tanah sehingga beban atau tempat tersebut bertegangan dan mengalirkan arus ketanah. Gangguan ini merupakan gangguan terbesar dari semua jenis gangguan sistem daya listrik. Karena itu pengaman terhadap gangguan tanah ini merupakan suatu hal yang terpenting.



Rele gangguan tanah (Ground Fault Relay) adalah pengaman terhadap gangguan tanah. Rele ini berfungsi untuk memproteksi SUTM terhadap gangguan antara fasa atau 3 fasa dan hanya bekerja pada satu arah saja. Karena rele ini dapat membedakan arah arus gangguan. Arus atau tegangan urutan nol (residu) merupakan penggerak rele ini. Sistem daya listrik pada umumnya titik netralnya ditanahkan, baik pentanahan langsung (Solid Grounded) maupun melalui impedansi, karena itu arus residu merupakan penggerak utama rele gangguan tanah. Tegangan residu dipergunakan biasanya pada sistem yang tidak ditanahkan. Rele gangguan tanah terarah (Directional Ground Fault Rele) mempergunakan arus dan tegangan residu.

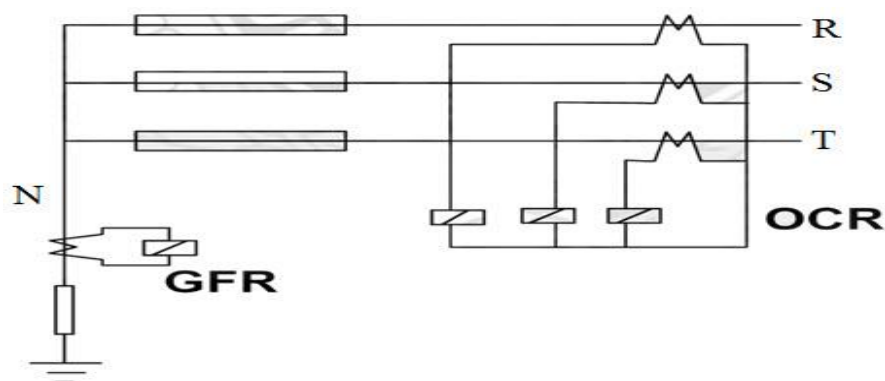
Rele arus lebih untuk gangguan fasa ke tanah dapat digambarkan seperti gambar 2.1 dan disebut *Ground Fault Relay* (GFR). Rele arus lebih hanya efektif dipakai untuk pentanahan netral langsung (solid) atau dengan tahanan rendah.



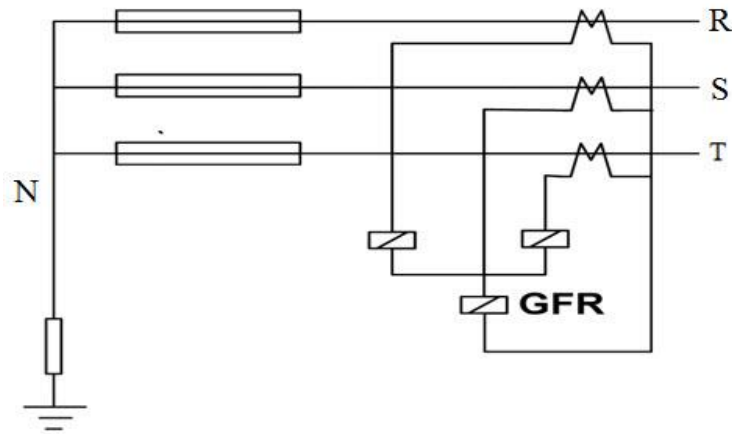
Gambar 2.1. Rele Gangguan Tanah (OCR/GFR)

### 2.3.3 Prinsip Kerja Rele Gangguan Tanah

Rele hubung tanah pada transformator pada dasarnya menggunakan rele arus lebih seperti yang digunakan pada gangguan hubung singkat antara fasa, tetapi berbeda rangkaiannya seperti gambar 2.2.



Gambar 2.2.a Rele hubung tanah pada pentanahan netral



Gambar 2.2.b Rele hubung tanah pada *outgoing* transformator

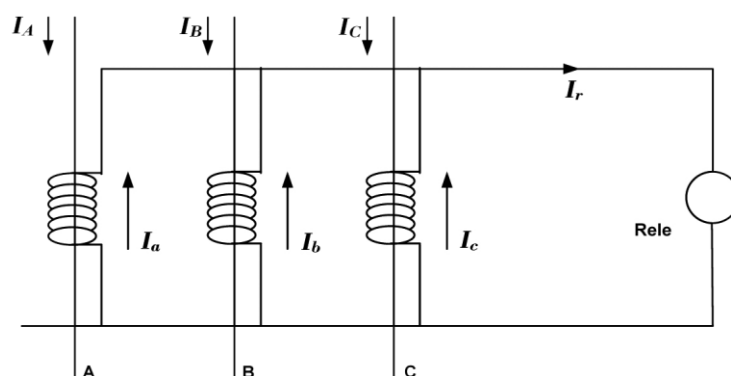
Bila terjadi ketidak seimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, maka akan timbul arus urutan nol pada titik pentanahan transformator, sehingga rele di netral transformator akan bekerja. Hal ini yang sama juga dirasakan oleh rele hubung tanah pada *outgoing* transformator.

Rangkaian pada gambar 2.2.a mempunyai keuntungan terhadap gambar 2.2.b karena dapat melihat gangguan F pada *outgoing* transformator, sedangkan gambar 2.2.b tidak dapat. Untuk transformator dengan sistem pentanahan dengan tahanan tinggi, dilengkapi dengan rele gangguan tanah dengan rele tegangan lebih dengan penundaan waktu.

Suatu sistem tenaga listrik tiga fasa mengalami gangguan tanah. Gangguan tanah ini akan mengakibatkan terjadinya aliran arus ke tanah. Besarnya arus gangguan tanah ini bervariasi, mulai dari kecil sampai besar. Arus urutan nol (residu) yang merupakan sumber penggerak rele gangguan tanah, ada beberapa metode untuk mendapatkannya yaitu:

### 1. Hubungan Residu (Residual Connection)

Metode hubungan residu seperti pada gambar 2.2 dibawah ini. Tiga transformator arus yang identik karakteristiknya, polaritas yang sama dihubungkan dan hubungan polaritas ini dihubungkan dengan rele gangguan tanah. Arus yang diterima oleh rele (arus residu) merupakan jumlah vektor dari arus pada sekunder transformator arus pada masing-masing fasa.

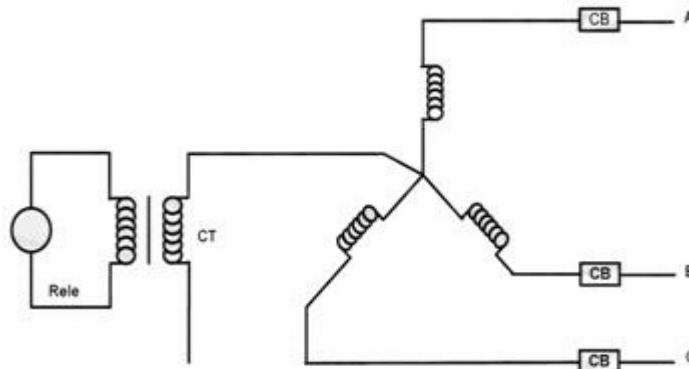


Gambar 2.3 Transformator arus hubungan residu

Selama kondisi operasi normal rele tidak bekerja, begitu juga gangguan tiga fasa dan gangguan tiga fasa ketanah tanpa tanah, sejauh pengaturan *setting* rele tanah masih diatas arus residu yang terjadi pada ketidak seimbangan maksimum. Hanya pada gangguan satu fasa atau dua fasa ke tanah rele akan bekerja.

### 2. Transformator arus dipasang pada netral sistem yang diketanahkan

Arus gangguan tanah yang kembali netral ditransformasikan melalui transformator arus. Besarnya arus gangguan tanah tergantung dari tipe pentanahan dan lokasi dimana terjadinya gangguan.



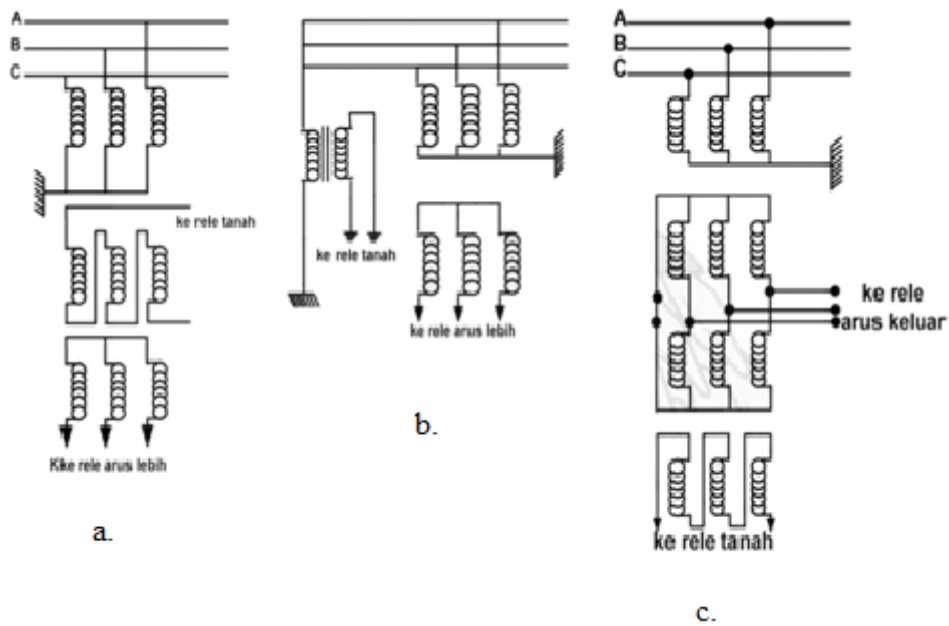
Gambar 2.4 Transformator Arus netral pada sistem yang diketanahkan

Untuk dapat bekerjanya rele gangguan tanah membutuhkan arus residu yang cukup besar. Kerja rele biasanya dihubungkan dengan keterlambatan waktu.

#### 2.4 Rele Gangguan Tanah Terarah (Direksional Earth Fault Rele)

Rele gangguan tanah terarah berfungsi untuk memproteksi SUTT terhadap gangguan tanah. Rele arah (Direction Rele) digunakan apabila arus gangguan mengalir dari banyak jurusan ke titik gangguan melalui lokasi dari rele. Rele yang digunakan untuk rele arah gangguan tanah mempunyai jenis yang sama seperti yang digunakan untuk rele proteksi arus lebih. Kumparan arusnya adalah dari elemen arah dihubungkan guna mendeteksi pada arus residu dari transformator arus, dan kumparan tegangan dihubungkan pada tegangan yang sesuai guna memberikan kopel yang sesuai pula.

Arus residu untuk proteksi saluran didapat dari penjumlahan arus-arus fasa yang menggunakan transformator arus tiga fasa atau sebuah transformator arus jenis "Keseimbangan inti".



Gambar 2.5. Beberapa metode untuk memperoleh tegangan residu atau tegangan netral ketanah

- Dengan tiga buah transformator tunggal, belitan tersier dihubung Delta terbuka.
- Dengan transformator fasa tunggal dihubungkan pada netral transformator daya.
- Dengan tiga buah transformator tunggal terhubung Bintang, dan transformator bantu terhubung Delta terbuka.

Bila arus-arus dari fasanya dinyatakan dengan  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_c$  jumlah vektornya adalah:

$$V_A + V_B + V_c = 0; \text{ dalam keadaan normal}$$

$$V_A + V_B + V_c = V_r; \text{ dalam keadaan gangguan satu fasa ketanah}$$

Besar  $V_r$  pada saat gangguan terjadi tergantung dari metode pentanahan netral dari sistem dan tahanan gangguan. Pada sistem yang normal tegangan ketiga fasa ketanah sama besar dan berbeda  $120^\circ$ . Tetapi bila mana terjadi

gangguan tanah, tegangan ke tanah pada fasa yang terganggu akan berkurang tergantung pada metode pentanahan netral sistem, tegangan ke tanah pada fasa yang sehat mungkin bertambah besar.

Pada sistem yang terisolir atau yang ditanahkan melalui kumparan peterson, tegangan residu  $V_r$  naik  $\sqrt{3}$  kali tegangan fasa ke netral dari keadaan normal. Sedangkan pada sistem yang ditanahkan langsung  $V_r$  mempunyai harga maksimum yang sama besar dengan tegangan fasa netral. Bila netral diketanahkan dengan suatu tahanan tegangan residu besarnya berada diantara kedua harga diatas.

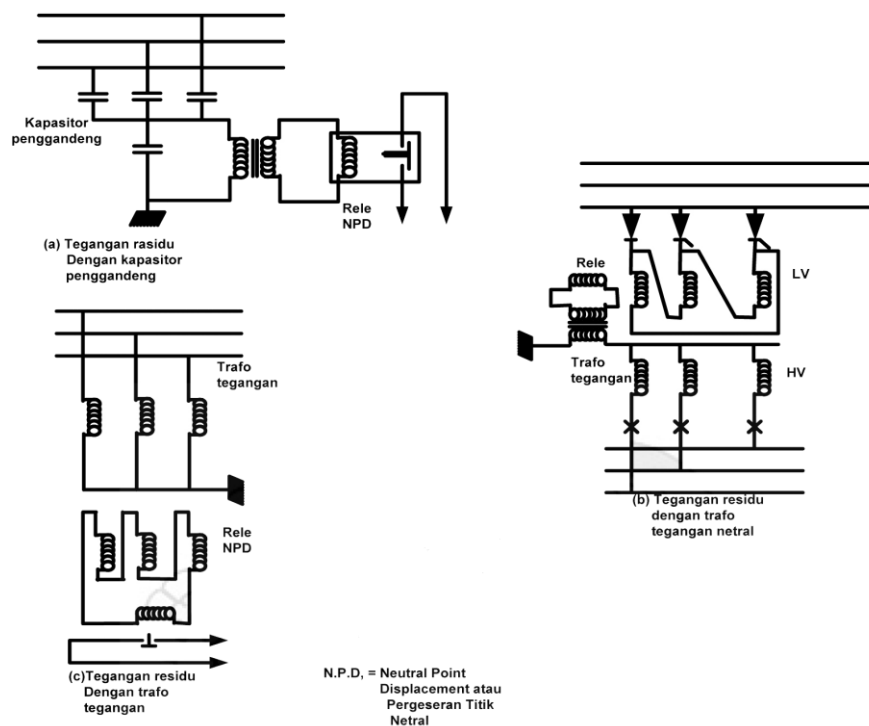
## **2.5 Rele Gangguan Tanah Pada Sistem Daya Listrik**

Rele gangguan tanah (Ground Fault Relay) adalah pengaman terhadap gangguan tanah. Rele ini berfungsi untuk memproteksi SUTM terhadap gangguan antara fasa atau 3 fasa dan hanya bekerja pada satu arah saja. Karena rele ini dapat membedakan arah arus gangguan. Arus atau tegangan urutan nol (residu) merupakan penggerak rele ini. Sistem daya listrik pada umumnya titik netralnya ditanahkan, baik pentanahan langsung (Solid Grounded) maupun melalui impedansi, karena itu arus residu merupakan penggerak utama rele gangguan tanah. Tegangan residu dipergunakan biasanya pada sistem yang tidak ditanahkan. Rele gangguan tanah terarah (Directional Ground Fault Rele) mempergunakan arus dan tegangan residu.

### 2.5.1 Rele Gangguan Tanah Pada Sistem Yang Netralnya Tidak Diketanahkan

Dalam hal ini gangguan satu fasa ke tanah pada sistem delta yang masih kecil tidak membahayakan, dan biasanya gangguan itu bisa hilang sendiri (self clearing), jadi sebenarnya tak memerlukan pengamanan terhadap gangguan tanah. Atau bisa juga pada sistem interkoneksi yang diketanahkan, karena sesuatu hal sebagian dari sistem itu terlepas (sengaja atau tak sengaja), dan mungkin bagian yang terlepas itu menjadi sistem dengan netral terapung. Proteksi dalam hal ini diperlukan untuk gangguan tanah yang menetap, yang mana dapat membahayakan terhadap fasa - fasa seltat dengan naiknya tegangan dari fasa-fasa itu menjadi tegangan fasa-fasa, dan juga untuk menghindarkan terjadinya busur tanah.

Gangguan tanah dapat dideteksi dan dibuka dengan bekerjanya pemutus daya dengan menggunakan rele pergeseran titik netral yang didesain untuk menangkap tegangan residu ke tanah pada trafo dengan menggunakan trafo tegangan atau kapasitor penggandeng (coupling capacitor).





Gambar 2.6. Sistem yang tidak diketanahkan terhadap gangguan tanah.

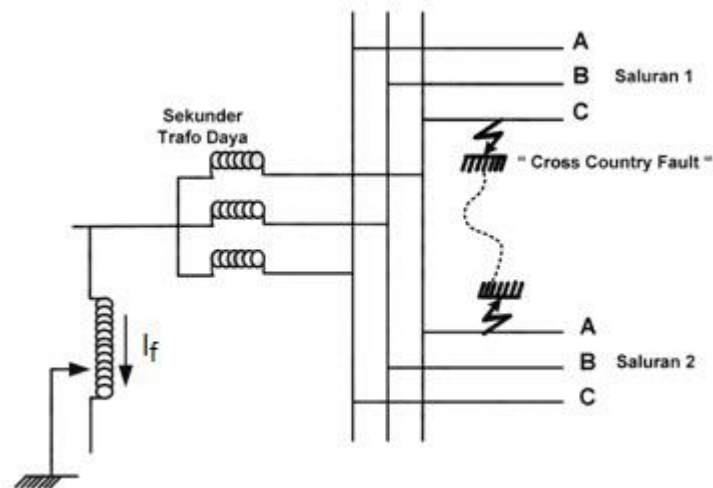
### **2.5.2 Rele gangguan tanah pada sistem yang diketanahkan dengan kumparan Peterson**

Dengan kumparan Petersen sebenarnya sistem itu telah dilindungi terhadap gangguan tanah, walaupun gangguan tanah masih belum hilang karena arus gangguan telah menjadi kecil. Tetapi walaupun demikian gangguan itu harus dilenyapkan dan diperbaiki dengan peralatan proteksi yang dapat menunjukkan lokasi dari titik gangguan tersebut. Bila pengenal waktu dari kumparan Petersen kontinu, gangguan tanah diperbolehkan bertahan terus sampai diperoleh waktu yang baik untuk mengisolir bagian yang terganggu sebelum gangguan itu berkembang menjadi gangguan dua fasa ke tanah pada lokasi yang berlainan. Gangguan ini timbul disebabkan terjadinya kerusakan tembus (break down) pada isolator (yang telah buruk keadaannya) karena adanya kenaikan tegangan dari fasa-fasa yang tak terganggu menjadi  $V_3$  kali tegangan fasa sebelum gangguan. Karena kumparan Petersen tak dapat berfungsi terhadap gangguan dua fasa ke tanah, maka diperlukan juga tindakan pencegahan ke arah itu dengan bantuan alat proteksi.

Gangguan yang menetap tidak boleh terlalu lama dibiarkan dari waktu yang telah ditetapkan, dan titik gangguan harus segera dilokalisasi dan diperbaiki. Proteksi untuk menunjukkan adanya gangguan dan letaknya gangguan tersebut memerlukan rele khusus dan harus sensitif sekali karena arus gangguannya kecil.

Kumparan Petersen yang mempunyai pengenal waktu singkat harus dilengkapi dengan suatu peralatan untuk menghubungkan-singkat kumparan Petersen ke tanah. Dengan pengaturan ini, bila gangguan itu lebih lama dari waktu

yang telah ditentukan, maka titik netral sistem dihubungkan ke tanah, baik secara langsung maupun melalui tahanan yang paralel dengan kumparan Petersen itu, agar gangguan dapat dideteksi oleh rele yang akan memberi instruksi pada pemutus daya untuk mentripnya.



Gambar 2.7. Sistem yang diketanahkan dengan kumparan Petersen

## 2.6 Sistem Yang Tak Seimbang

### 2.6.1 Pengertian Sistem Yang Tidak Seimbang

Sistem daya listrik menyalurkan daya dari generator 3 fasa ke beban tiga fasa yang umumnya seimbang dengan impedansi sama pada setiap fasanya. Akan tetapi sistem akan berubah tak seimbang apabila tegangan, arus dan impedansi fasanya tak sama (tak seimbang). Penyebab tak seimbangnya tegangan, arus dan impedansi ini dapat seimbang oleh adanya beban yang tak seimbang penyebab beban singkat dan penyambungan-penyambungan yang tak merata pada beban setiap fasanya. Jadi suatu sistem dikatakan tidak seimbang apabila tegangan, arus dan impedansi tidak seimbang pada kondisi kerja normal.

### 2.6.2 Sistem Komponen Simetris

Menurut Fortescue suatu sistem tidak seimbang terdiri dari  $n$  fasa dapat diuraikan menjadi fasor-fasor seimbang yang disebut dengan komponen simetris. Sistem tiga fasa yang tidak seimbang dapat diuraikan menjadi 3 komponen simetris yaitu:

1. Komponen-komponen urutan positif terdiri dari 3 fasor-fasor yang besarnya, terpisah satu dengan yang lainnya dalam fasa sebesar  $120^\circ$  dan mempunyai urutan fasa yang sama dengan fasor-fasor aslinya.
2. Komponen-komponen urutan negatif terdiri dari 3 fasor-fasor yang sama besarnya, terpisah antara satu dengan yang lainnya dalam fasa sebesar  $120^\circ$  dan mempunyai fasa yang berlawanan dengan fasor-fasor lainnya.
3. Komponen-komponen urutan nol terdiri dari 3 fasor-fasor yang sama besar dan pergeseran fasa satu dengan yang lainnya nol.

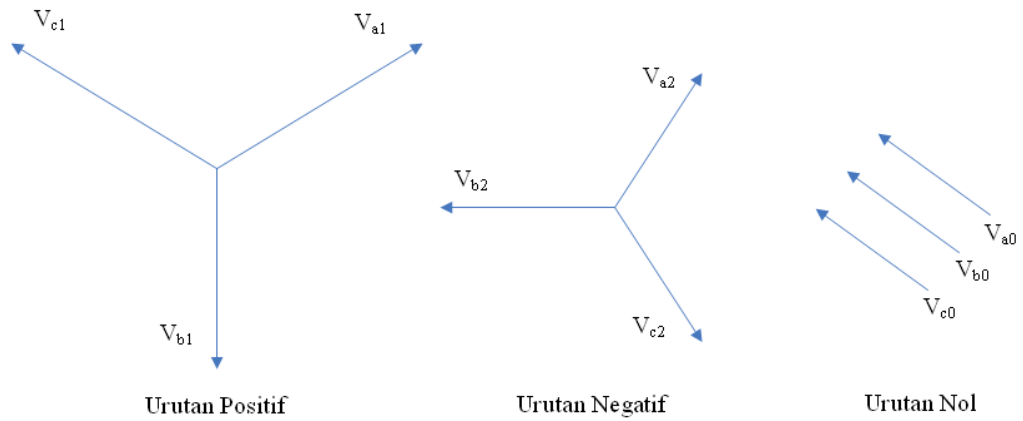
Suatu sistem tiga fasa tegangan masing-masing fasornya adalah  $V_a, V_b$  dan  $V_c$ . Dalam keadaan tidak seimbang uraian komponen fasor-fasor seimbang yaitu komponen urutan positif ditandai dengan  $V_{a1}, V_{b1}$  dan  $V_{c1}$ , komponen urutan negatif ditandai dengan  $V_{a2}, V_{b2}$ , dan  $V_{c2}$  dan komponen urutan nol  $V_{a0}, V_{b0}$  dan  $V_{c0}$  komponen ini dapat diperlihatkan pada gambar (2.8).

Fasor-fasor tidak seimbang adalah jumlah dari komponen fasor-fasor uraian nya maka :

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

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

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

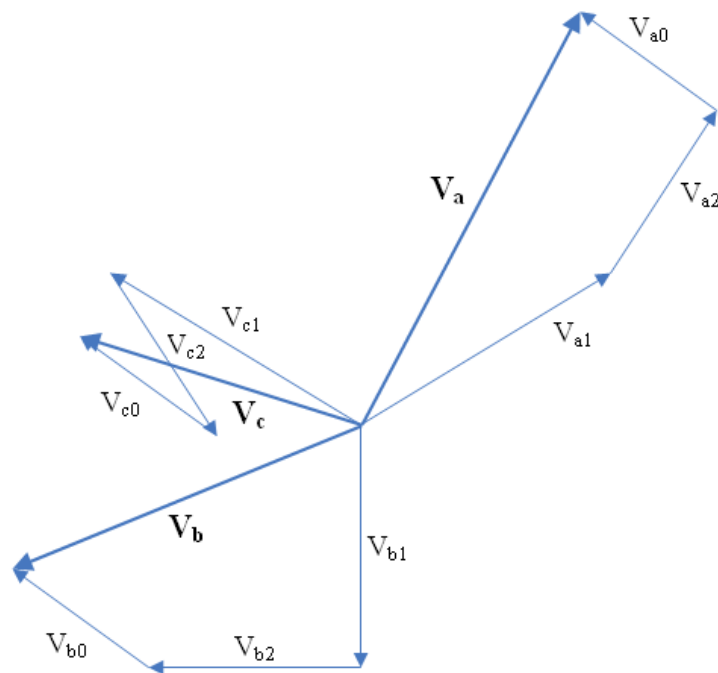


Komponen Urutan positif

Komponen urutan negatif

Komponen urutan 0

Gambar 2.8 : Tiga himpunan fasor seimbang yang merupakan komponen simetris dari fasor tak seimbang.



Sintesis himpunan tiga fasor tak seimbang dari ketiga himpunan simetris.

Gambar 2.9 : Penjumlahan secara grafis komponen-komponen pada gambar 2.1 untuk mendapatkan tiga fasor.

### 2.6.3 Operator A

Operator  $a$  biasanya digunakan untuk menunjukkan operator yang menyebabkan perputaran sebesar  $120^\circ$  dalam arah yang berlawanan dengan arah jarum jam. Operator semacam ini adalah bilangan kompleks yang besarnya satu dan sudutnya  $120^\circ$  dan di definisikan sebagai jarum jam.

$$a = \frac{1}{120^\circ} = 1 \varepsilon^{j2\pi/3} = -0,5 + j0,866 \dots\dots\dots (2.4)$$

Jika operator  $a$  dikenakan pada fasor dua kali berturut-turut, maka fasor itu akan diputar dengan sudut sebesar  $240^\circ$ . Untuk pengenaaan tiga kali berturut-turut fasor akan diputar dengan  $360^\circ$ .

Jadi,

$$a^2 = \frac{1}{240^\circ} = -0,5 - j0,866 \dots\dots\dots (2.5)$$

Dan

$$a^3 = \frac{1}{360^\circ} = \frac{1}{0^\circ} = 1 \dots\dots\dots (2.6)$$

#### 2.6.4 Hubungan Antara Operator A Dengan Komponen Simetris

Telah kita lihat pada gambar (2.9) sintesis tiga fasor tak simetris dari tiga himpunan fasor simetris. Sintesis itu telah dilakukan sesuai dengan persamaan (2.13) sampai dengan (2.15). sekarang marilah kita periksa persamaan tersebut untuk menentukan bagaimana menguraikan ketiga fasor tak simetris itu menjadi komponen simetrisnya.

Mula-mula, kita perhatikan bahwa banyaknya kuantitas yang dik etahui dapat dikurangi dengan menyatakan masing-masing komponen  $V_b$  dan  $V_c$  sebagai

hasil kali fungsi operator  $a$  dan komponen  $V_a$ . Dengan berpedoman pada Gambar (2.11). diperoleh hubungan berikut :

$$V_{b1} = a^2 V_{a1} \qquad V_{c1} = a V_{a1} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$V_{b2} = a V_{a2} \qquad V_{c2} = a^2 V_{a2} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$V_{b0} = V_{a0} \qquad V_{c0} = V_{a0} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan mengulangi persamaan (2.1) dan memasukan persamaan (2.7) kedalam persamaan (2.2) dan (2.3) dihasilkan

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$V_b = V_{a0} + a^2 V_{a1} + a V_{a2} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$V_c = V_{a0} + a V_{a1} + a^2 V_{a2} \dots\dots\dots (2.12)$$

Atau dalam bentuk matriks :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.13)$$

Untuk memudahkan misalkan

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.14)$$

Maka, seperti dapat dibuktikan dengan mudah

$$A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dan dengan mengalihkan kedua sisi persamaan (2.8) dengan  $A^{-1}$  diperoleh

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.16)$$

Yang menunjukkan pada mengalihkan pada kita komponen-komponen simetris dinyatakan terhadap fasor aslinya. Hubungan ini demikian pentingnya sehingga kita dapat menulis masing-masing persamaan itu dalam bentuk yang biasa.

Dari persamaan (2.16), kita peroleh :

$$V_{a0} = \frac{1}{3} (V_{a+} + V_{b+} + V_{c+}) \dots\dots\dots (2.17)$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3} (V_{a+} + aV_{b+} + a^2V_{c+}) \dots\dots\dots (2.18)$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3} (V_{a+} + a^2V_{b+} + aV_{c+}) \dots\dots\dots (2.19)$$

Jika diperlukan, komponen  $V_{b0}, V_{b1}, V_{c0}, V_{c1}$  dan  $V_{c2}$  dapat diperoleh dari persamaan (2.7), (2.8) dan (2.9).

Persamaan (2.17) menunjukan bahwa tidak akan ada komponen urutan nol jika jumlah fasor tak seimbang itu sama dengan nol. Karena jumlah fasor tegangan antar saluran pada sistem tiga fasa selalu nol, maka komponen urutan nol tidak pernah terdapat dalam tegangan saluran itu, tanpa memandang besarnya ketidak seimbangannya. Jumlah ketiga fasor tegangan saluran ke netral tidak selalu harus sama dengan nol, dan tegangan ke netral dapat mengandung komponen urutan nol.

Persamaan yang terdahulu sebenarnya dapat pula ditulis untuk setiap himpunan fasor yang berhubungan, dan kita dapat pula menuliskannya untuk arus sebagai ganti tegangan. Persamaan tersebut dapat diselesaikan baik secara analitis

maupun secara grafis. Karena beberapa persamaan yang terdahulu sangat mendasar. Marilah kita tuliskan ringkasannya untuk arus-arus :

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$I_c = a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0} \dots\dots\dots (2.22)$$

$$I_{a0} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) \dots\dots\dots (2.23)$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3} (I_a + a I_b + a^2 I_c) \dots\dots\dots (2.24)$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c) \dots\dots\dots (2.25)$$

Dalam sistem tiga fasa, jumlah arus saluran dengan arus  $I_a$  dalam jalur kembali lewat netral. Jadi :

$$I_a + I_b + I_c = I_n \dots\dots\dots (2.26)$$

Dengan membandingkan Persamaan (2.23) dan (2.26) kita peroleh :

$$I_n = 3 I_{a0} \dots\dots\dots (2.27)$$

### 2.6.5 Impedansi Urutan

Dalam setiap bagian rangkaian, jatuh tegangan yang disebabkan oleh arus dengan urutan tertentu tergantung pada impedansi bagian rangkaian itu terhadap arus dengan urutan tersebut. Impedansi setiap bagian suatu jaringan yang seimbang terhadap arus salah satu urutan dapat berbeda dengan impedansi terhadap arus dari urutan yang lain.



Impedansi suatu rangkaian yang hanya mengalir arus urutan-positif disebut impedansi terhadap arus urutan-positif. Demikian pula, bila hanya ada arus urutan-negatif, impedansinya dinamakan impedansi terhadap arus urutan-negatif. Jika hanya ada arus urutan nol, impedansinya dinamakan impedansi terhadap arus urutan nol. Dalam sistem tiga fasa masing-masing fasa ditandai dengan (2.29), (2.31), dan (2.33) impedansi urutan dapat didefinisikan sebagai berikut:

Impedansi urutan positif : adalah impedansi yang ditemui oleh arus urutan positif

Bila :

$$I_{a2}=I_{a0}=0; I_{a1} \neq 0 \dots\dots\dots (2.28)$$

Maka :

$$Z_{a1}=\frac{V_a}{I_{a1}}; Z_{b1}=\frac{V_b}{I_{b1}}; Z_{c1}=\frac{V_c}{I_{c1}}; \dots\dots\dots (2.29)$$

Impedansi urutan-negatif : adalah impedansi yang ditemui oleh arus urutan negatif

Bila :

$$I_{a1}=I_{a0}=0; I_{a2} \neq 0 \dots\dots\dots (2.30)$$

Maka :

$$Z_{a2}=\frac{V_a}{I_{a2}}; Z_{b2}=\frac{V_b}{I_{b2}}; Z_{c2}=\frac{V_c}{I_{c2}}; \dots\dots\dots (2.31)$$

Impedansi urutan nol : adalah impedansi yang ditemui oleh arus urutan nol

Bila :

$$I_{a1}=I_{a2}=0; I_{a0} \neq 0 \dots\dots\dots (2.32)$$

Maka :

$$Z_{a0} = \frac{V_a}{I_{a0}}; Z_{b0} = \frac{V_b}{I_{b0}}; Z_{c0} = \frac{V_c}{I_{c0}}; \dots \quad (2.33)$$

Analisis gangguan tak simetris pada sistem yang simetris terdiri dari penentuan komponen simetris dari arus tak seimbang yang mengalir. Rangkaian ekuivalen fasa-tunggal yang hanya terdiri dari impedansi terhadap arus salah satu urutan saja dinamakan jaringan urutan. Jaringan urutan ini meliputi setiap emf yang dibangkitkan pada urutan yang sama. Jaringan urutan yang mengalirkan arus  $I_{a1}$ ,  $I_{a2}$ , dan  $I_{a0}$  diantar hubungkan untuk melukiskan berbagai keadaan gangguan tak seimbang. Oleh karena itu, untuk menghitung pengaruh gangguan dengan metode komponen simetris.

## 2.7 Analisa Sistem Tak Seimbang Dengan Metode Komponen Simetris

Pada sistem yang simetris, bila ada gangguan komponen-komponen simetris arus yang mengalir akan menimbulkan tegangan jatuh dalam urutan yang sama.

$I_{a1}$  akan menimbulkan  $I_{a1} Z_{a1}$  saja

$I_{a2}$  akan menimbulkan  $I_{a2} Z_{a2}$  saja

$I_{a0}$  akan menimbulkan  $I_{a0} Z_{a0}$  saja

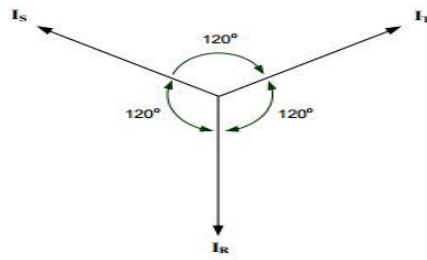
Pada sistem-sistem yang tidak simetris, suatu komponen arus urutan akan menimbulkan tegangan jatuh untuk semua urutan bersama-sama

$I_{a1}$  akan menimbulkan  $I_{a1} Z_1; I_{a1} Z_2; I_{a1} Z_0;$

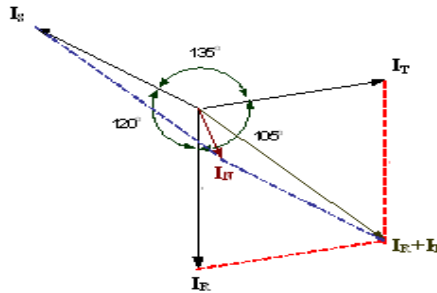
$I_{a2}$  akan menimbulkan  $I_{a2} Z_1; I_{a2} Z_2; I_{a2} Z_0;$

$I_{a0}$  akan menimbulkan  $I_{a0} Z_1; I_{a0} Z_0; I_{a0} Z_0;$

Perhatikan pada sistem dibawah ini

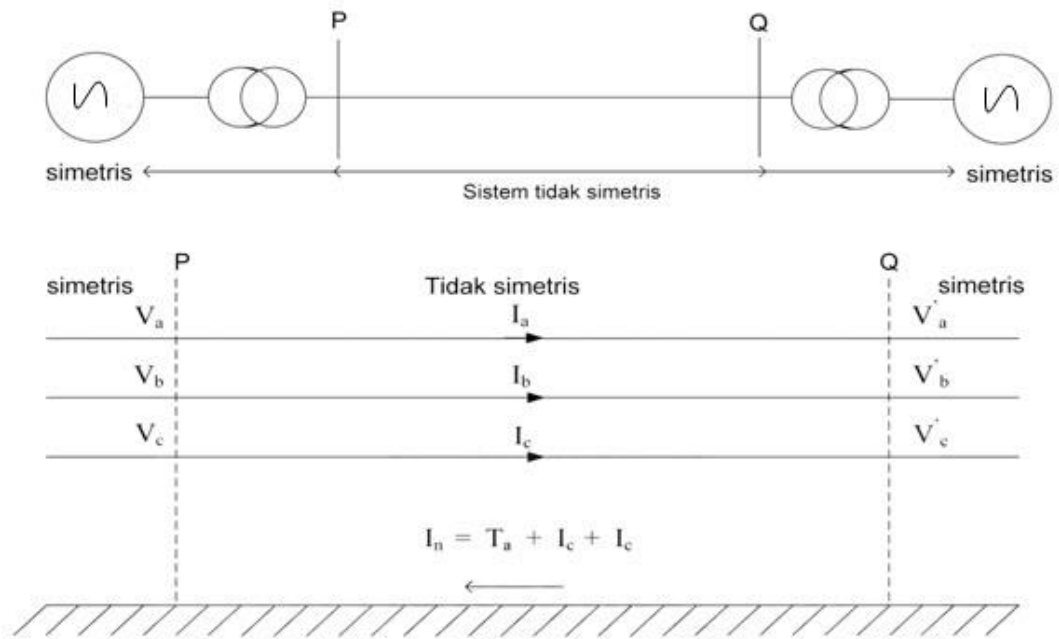


Gambar 2.10 Diagram Arus Yang Seimbang



Gambar 2.11 Diagram Arus Yang Tidak Seimbang

Dari gambar di atas menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya ( $I_R$ ,  $I_S$ ,  $I_T$ ) adalah tidak sama dengan nol sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral ( $I_N$ ) yang besarnya bergantung pada seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.



Gambar 2.12 Diagram satu garis sistem yang tidak simetris

Tegangan jatuh P-Q masing-masing fasanya adalah  $V_a, V_b$  dan  $V_c$  dimana :

$$V_a = V_{ap} + V_{aq} \dots \dots \dots (2.34)$$

$$V_b = V_{bp} + V_{bq} \dots \dots \dots (2.35)$$

$$V_c = V_{cp} + V_{cq} \dots \dots \dots (2.36)$$

Pada umumnya :

$$V_a = I_{a1}Z_1 + I_{a2}Z_2 + I_{a0}Z_0 \dots \dots \dots (2.37)$$

$$V_b = a^2 I_{a1}Z_{b1} + a I_{a2}Z_{b2} + I_{a0}Z_{b0} \dots \dots \dots (2.38)$$

$$V_c = a I_{a1}Z_{c1} + a^2 I_{a2}Z_{c2} + I_{a0}Z_{c0} \dots \dots \dots (2.39)$$

Jadi :

$$V_0 = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) = I_{a1} \frac{Z_{a1} + a^2 Z_{b1} + a Z_{c1}}{3} + I_{a2} \frac{Z_{a2} + a Z_{b2} + a^2 Z_{c2}}{3} + I_{a0} \frac{Z_{a0} + Z_{b0} + Z_{c0}}{3} \dots \dots \dots (2.40)$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c) = I_{a1} \frac{Z_{a1} + V_{b1} + Z_{c1}}{3} + I_{a2} \frac{Z_{a2} + a^2Z_{b2} + aZ_{c2}}{3} + I_{a0} \frac{Z_{a0} + aZ_{b0} + a^2Z_{c0}}{3}$$

..... (2.41)

$$V_{a2} = \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c) = I_{a1} \frac{Z_{a1} + aV_{b1} + a^2Z_{c1}}{3} + I_{a2} \frac{Z_{a2} + Z_{b2} + Z_{c2}}{3} + I_{a0} \frac{Z_{a0} + a^2Z_{b0} + aZ_{c0}}{3}$$

..... (2.42)

Bila hanya ada  $I_{a1}$  jadi  $I_{a2} = I_{a0} = 0$  maka persamaan (2.40), (2.41) dan (2.42) akan menjadi sebagai berikut :

$$V_0 = I_{a1} \frac{Z_{a1} + a^2Z_{b1} + aZ_{c1}}{3} \dots\dots\dots (2.43)$$

$$V_{a1} = I_{a1} \frac{Z_{a0} + Z_{b1} + Z_{c1}}{3} \dots\dots\dots (2.44)$$

$$V_{a2} = I_{a1} \frac{Z_{a1} + aZ_{b1} + a^2Z_{c1}}{3} \dots\dots\dots (2.45)$$

Jadi terlihat bahwa hanya dengan arus  $I_{a1}$  akan menimbulkan jatuh tegangan  $V_{a0}$ ,  $V_{a1}$  dan  $V_{a2}$  bersama-sama tetapi bila sistem simetris.

$$Z_{a1} = Z_{b1} = Z_{c1} \dots\dots\dots (2.46)$$

$$V_{a1} = I_{b1} \cdot Z_{c1} \dots\dots\dots (2.47)$$

$$V_{a2} = Z_{a0} = 0 \dots\dots\dots (2.48)$$

Persamaan (2.38), (2.39), dan (2.40) dapat secara umum ditulis sebagai berikut :

$$V_{a1} = I_{a1}Z_{11} + I_{a2}Z_{12} + I_{a0}Z_{00} \dots\dots\dots (2.49)$$

$$V_{a2} = I_{a1}Z_{21} + I_{a2}Z_{22} + I_{a0}Z_{20} \dots\dots\dots (2.50)$$

$$V_{a0} = I_{a1}Z_{01} + I_{a2}Z_{012} + I_{a0}Z_{00} \dots\dots\dots (2.51)$$

Dimana :

$$Z_{11} = \frac{1}{3}(Z_{a1} + Z_{b1} + Z_{c1}) = \text{Impedansi sendiri terhadap arus urutan positif}$$

$Z_{22} = \frac{1}{3} (Z_{a2} + Z_{b2} + Z_{c2})$  = Impedansi sendiri terhadap arus urutan negative

$Z_{11} = \frac{1}{3} (Z_{a0} + Z_{b0} + Z_{c0})$  = Impedansi sendiri terhadap arus nol

$Z_{12} = \frac{1}{3} (Z_{a2} + a^2 Z_{b2} + a Z_{c2})$  = Hasil bagi tegangan jatuh urutan positif yang dihasilkan  $I_{a2}$  dengan  $I_{a2}$

$Z_{10} = \frac{1}{3} (Z_{a0} + a Z_{b0} + a^2 Z_{c0})$  = Hasil bagi tegangan jatuh urutan positif yang dihasilkan  $I_{a0}$  dengan  $I_{a0}$

$Z_{21} = \frac{1}{3} (Z_{a1} + a Z_{b1} + a^2 Z_{c1})$  = Hasil bagi tegangan jatuh urutan negatif dihasilkan  $I_{a1}$  dengan  $I_{a1}$

$Z_{20} = \frac{1}{3} (Z_{a0} + a^2 Z_{b0} + a Z_{c0})$  = Hasil bagi tegangan jatuh urutan negatif dihasilkan  $I_{a0}$  dengan  $I_{a0}$

$Z_{01} = \frac{1}{3} (Z_{a1} + a^2 Z_{b1} + a Z_{c1})$  = Hasil bagi tegangan jatuh urutan nol yang dihasilkan  $I_{a1}$  dengan  $I_{a1}$

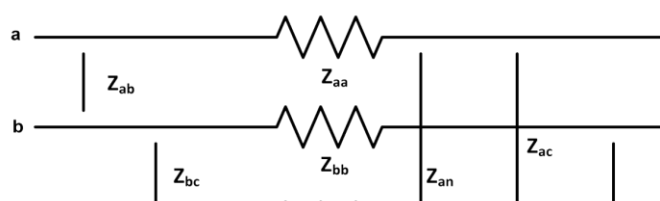
$Z_{02} = \frac{1}{3} (Z_{a2} + a Z_{b1} + a^2 Z_{c1})$  = Hasil bagi tegangan jatuh urutan nol yang dihasilkan  $I_{a1}$  dengan  $I_{a2}$  dengan  $I_{a2}$

Perlu diketahui bahwasanya :

$$Z_{12} \neq Z_{21} ; Z_{01} \neq Z_{10} ; Z_{02} \neq Z_{20} \dots\dots\dots (2.52)$$

### 2.8 Penentuan Impedansi Urutan Sendiri

Suatu jala-jala fasa yang tidak seimbang dapat dilihat pada gambar 2.11 dengan kembali melalui kawat netral.



Gambar 2.13 jala-jala tidak seimbang dengan kawat netral sebagai jalur kembali Impedansi sendiri masing-masing fasanya  $Z_{aa}$ ,  $Z_{bb}$ , dan  $Z_{cc}$  impedansi netral  $Z_{nn}$ . Mutual impedansi antara fasa dan netral  $Z_{ab}$ ,  $Z_{bc}$ ,  $Z_{ac}$ ,  $Z_{an}$ ,  $Z_{bn}$ , dan  $Z_{on}$ . Pada rangkaian statis dianggap reciprocal.

Jadi :

$$Z_{ab} = Z_{ba} \text{ atau } Z_{ac} = Z_{ca} \text{ dan } Z_{bc} = Z_{cb} = Z_m \dots\dots\dots (2.53)$$

Jatuh tegangan seri

$$V_a = (I_a Z_{a0} + I_b Z_{ab} + I_c Z_{ac} - I_n Z_{an}) + (I_n Z_{an} + I_a Z_{bn} + I_c Z_{cn} + I_c Z_{cn}) \dots\dots\dots (2.54)$$

$$V_b = (I_a Z_{b0} + I_b Z_{bb} + I_c Z_{bc} - I_n Z_{bn}) + (I_n Z_{nn} - I_a Z_{an} - I_c Z_{bn} - I_c Z_{cn}) \dots\dots\dots (2.55)$$

$$V_c = (I_a Z_{c0} + I_b Z_{cb} + I_c Z_{cc} - I_n Z_{cn}) + (I_n Z_{nn} - I_a Z_{an} - I_c Z_{bn} - I_c Z_{cn}) \dots\dots\dots (2.56)$$

Menurut Impedansi urutan pada persamaan (2-20), (2-21), (2-22) yaitu :

$$Z_{a1} = \frac{V_a}{I_{a1}}; Z_{b1} = \frac{V_b}{a^2 I_{a1}}; Z_{c1} = \frac{V_c}{a I_{a1}} \dots\dots\dots (2.57)$$

Maka impedansi urutan positif masing-masing fasa adalah :

$$Z_{a1} = (Z_{a0} + a^2 Z_{ab} + a Z_{ac}) - (Z_{an} + a^2 Z_{bn} + a Z_{cn}) \dots\dots\dots (2.58)$$

$$Z_{b1} = a (Z_{ba} + a^2 Z_{bb} + aZ_{bb}) - a (Z_{an} + a^2 Z_{bn} + aZ_{cn}) \dots\dots\dots (2.59)$$

$$Z_{c1} = a^2 (Z_{cn} + a^2 Z_{cb} + aZ_{ac}) - a^2 (Z_{an} + a^2 Z_{bn} + aZ_{cn}) \dots\dots\dots (2.60)$$

Dengan jalan yang sama dapat ditentukan urutan negatif dan nol, maka :

$$Z_{a2} = (Z_{aa} + aZ_{ab} + a^2 Z_{ac}) - (Z_{an} + a^2 Z_{an} + aZ_{cn}) \dots\dots\dots (2.61)$$

$$Z_{b2} = a^2 (Z_{bb} + aZ_{bc} + a^2 Z_{ab}) - a (Z_{an} + aZ_{bn} + a^2 Z_{cn}) \dots\dots\dots (2.62)$$

$$Z_{c2} = a (Z_{cc} + a^2 Z_{ac} + a^2 Z_{bc}) - a (Z_{an} + aZ_{bn} + a^2 Z_{cn}) \dots\dots\dots (2.63)$$

$$Z_{a0} = (Z_{aa} + Z_{ab} + Z_{ac}) - 3Z_{an} + 3Z_{nm} - (Z_{an} + Z_{bn} + Z_{cn}) \dots\dots\dots (2.64)$$

$$Z_{c0} = (Z_{ca} + Z_{cb} + Z_{cc}) - 3Z_{an} + 3Z_{nm} - (Z_{an} + Z_{bn} + Z_{cn}) \dots\dots\dots (2.65)$$

Maka persamaan (2.60) dalam persamaan (2.20) didapatkan persamaan :

$$Z_{11} = Z_{22} = \frac{1}{3} (Z_{ab} + Z_{ab} + Z_{cc}) - \frac{1}{4} (Z_{ab} + Z_{ac} + Z_{bc}) \dots\dots\dots (2.66)$$

$$Z_{00} = \frac{1}{3} (Z_{aa} + Z_{bb} + Z_{cc}) + \frac{2}{3} (Z_{ab} + Z_{ac} + Z_{bc}) - 2(Z_{an} + Z_{bn} + Z_{cn})$$

\dots\dots\dots(2.67)

$$Z_{12} = \frac{1}{3} (Z_{aa} + a^2 Z_{bb} + aZ_{cc}) + \frac{2}{3} (aZ_{ab} + a^2 Z_{ac} + Z_{bc}) \dots\dots\dots (2.68)$$

$$Z_{10} = Z_{02} = \frac{1}{3} (Z_{aa} + aZ_{bb} + a^2 Z_{cc}) - \frac{1}{3} (a^2 Z_{ab} + aZ_{ac} + Z_{bc}) - (Z_{an} + aZ_{bn} + a^2 Z_{cn}) \dots\dots\dots (2.69)$$

$$Z_{20} = Z_{01} = \frac{1}{3} (Z_{aa} + a^2 Z_{bb} + aZ_{cc}) - \frac{1}{3} (aZ_{ab} + a^2 Z_{ac} + Z_{bc}) - (Z_{an} + a^2 Z_{bn} + aZ_{cn}) \dots\dots\dots (2.70)$$

Untuk peralatan statis :

$$Z_{aa} = Z_{bb} = Z_{cc} ; Z_{ab} = Z_{ab} = Z_{ac} = Z_{bc} ; Z_{an} = Z_{bn} = Z_{cn} \dots\dots\dots (2.71)$$

Persamaan (2.70) menjadi :



$$Z_{11} = Z_{22} = (Z_{aa} - Z_{ab}) = Z_1 = Z_2 \dots\dots\dots (2.72)$$

$$Z_{00} = (Z_{aa} + 2Z_{ab} + 3Z_{nn} + 6Z_{an}) = Z_0 \dots\dots\dots (2.73)$$

$$Z_{12} = Z_{22} = Z_{10} = Z_{02} = Z_{01} = 0 \dots\dots\dots (2.74)$$

Dari persamaan (2.74) dapat dilihat bahwa *coupling* antara jala - jala urutan dari rangkaian statis yang simetris tidak ada, maka arus dari suatu urutan hanya menimbulkan jatuh tegangan pada urutan yang sama.

## 2.9 Beban Tidak Seimbang

### 2.9.1 Pengertian Beban Tak Seimbang

Suatu beban tiga fasa apabila arus yang dihasilkan seimbang, bila mana beban tersebut dihubungkan dengan tegangan sistem yang seimbang, beban yang tak seimbang dapat ditandai dengan tidak sebangnya arus yang mengalir pada sistem, kondisi ini dipengaruhi oleh tegangan yang dibangkitkan sistem tidak seimbang, impedansi fasanya tidak sama dan impedansi beban yang tidak sama.

Dalam perencanaan sistem daya listrik, sistem direncanakan seimbang. Keseimbangan dimaksud di sini adalah tegangan yang dibangkitkan seimbang dan impedansi perfasanya sama (impedansi penyaluran). Munculnya ketidak seimbangan arus umumnya disebabkan oleh impedansi beban yang tidak sama perfasanya.

Dalam pemasangan beban, beban yang dihubungkan ke sistem dipasang seimbang. Beberapa karakteristik peralatan menyebabkan gelombang arus dalam beban menjadi tidak seimbang. Sebagai contoh di daerah tiap-tiap rumah biasanya dipasang dengan satu fasa dari sistem tiga fasa yang mengakibatkan beban tidak seimbang. Seperti diketahui di rumah-rumah bermacam-macam alat rumah tangga

yang dihidup matikan secara tidak teratur oleh konsumen. Kemudian di daerah industri banyak peralatan yang bersifat tidak seimbang, misalnya pemanasan dengan thermostat, mesin bubut, tungku listrik, motor-motor pemutar dan sebagainya. Penyebab lain dengan pemasangan tranformator distribusi satu fasa serta pemasangan beban yang tidak terkontrol, seperti pencurian energi listrik.

Sistem tiga fasa hubungan beban dapat terjadi dalam dua keadaan, yaitu :

1. Hubungan bintang dengan jalur kembali melalui penghantar netral atau tanah.
2. Hubungan delta.

Pada sistem tiga fasa yang masing-masing fasanya ditandai dengan fasa a,b dan c seperti pada gambar 2.8 suatu beban dikatakan tidak seimbang bila mana:

$$Z_a \neq Z_b \neq Z_c \text{ atau } Z_{ab} \neq Z_{ac} \neq Z_{bc}$$

Dalam menganalisa pada tulisan ini, beban dianggap suatu beban statis dengan tidak mempunyai impedansi bersama.

Tegangan urutan fasa terhadap netral terminal beban didapatkan dengan persamaan :

$Z_{bc1} = Z_{ca1} = a^2 V_{bc1}$ ,  $V_{ab1} = a V_{bc1}$  adalah tegangan urutan positif fasa-fasa pada Delta.

$Z_{bc2} = Z_{co2} = a^2 V_{bc1}$ ,  $V_{ab2} = a^2 V_{bc2}$  adalah tegangan urutan negative fasa-fasa pada Delta.

Tegangan urutan nol fasa-fasa pada terminal beban Delta ( $\Delta$ ) adalah nol, arus urutan nol yang berputar pada Delta ditandai dengan  $I_{bc0}$ .

Tegangan fasa-fasa pada terminal beban Delta yang disebabkan oleh arus urutan yang mengalir adalah :

$$V_{a1} = I_{bc1}Z_{bc1} + I_{bc2}Z_{bc2} + I_{bc0}Z_{bc0} \dots\dots\dots (2.75)$$

$$V_{ca} = aI_{ca1}Z_{ab1} + I_{ca2}Z_{ca2} + I_{ca0}Z_{ca0} \dots\dots\dots (2.76)$$

$$V_{ab} = aI_{ab1}Z_{ab1} + a^2I_{ab2}Z_{ab2} + I_{ab0}Z_{ab0} \dots\dots\dots (2.77)$$

Untuk tegangan urutan fasa-fasa persamaan dapat dituliskan

$$V_{bc1} = \frac{1}{3} (V_{bc} + aV_{ca} + a^2V_{ab}) = I_{bc1}Z_{\Delta11} + I_{bc2}Z_{\Delta22} + I_{bc0}Z_{\Delta10} \dots (2.78)$$

$$V_{bc2} = \frac{1}{3} (V_{bc} + a^2V_{ca} + aV_{ab}) = I_{bc1}Z_{\Delta21} + I_{bc2}Z_{\Delta22} + I_{bc0}Z_{\Delta20} \dots (2.79)$$

$$V_{bc0} = \frac{1}{3} (V_{bc} + V_{ca} + V_{ab}) = I_{bc1}Z_{\Delta10} + I_{bc2}Z_{\Delta02} + I_{bc0}Z_{\Delta00} \dots\dots\dots (2.80)$$

Dimana :

$$V_{\Delta11} = \frac{1}{3} (V_{bc} + V_{ca1} + V_{ab1}) \dots\dots\dots (2.81)$$

$$V_{\Delta22} = \frac{1}{3} (V_{bc2} + V_{ca2} + V_{ab2}) \dots\dots\dots (2.82)$$

$$V_{\Delta00} = \frac{1}{3} (V_{bc} + V_{ca0} + V_{ab0}) \dots\dots\dots (2.83)$$

$$V_{\Delta12} = \frac{1}{3} (V_{bc2} + a^2V_{ca2} + aV_{ab2}) \dots\dots\dots (2.84)$$

$$V_{\Delta10} = \frac{1}{3} (V_{bc0} + aV_{ca0} + a^2V_{ab0}) \dots\dots\dots (2.85)$$

$$V_{\Delta21} = \frac{1}{3} (V_{bc1} + aV_{ca1} + a^2V_{ab1}) \dots\dots\dots (2.86)$$

$$V_{\Delta20} = \frac{1}{3} (V_{bc0} + a^2V_{ca1} + aV_{ab1}) \dots\dots\dots (2.87)$$

$$V_{\Delta01} = \frac{1}{3} (V_{bc1} + aV_{ca1} + a^2V_{ab1}) \dots\dots\dots (2.88)$$

$$V_{\Delta02} = \frac{1}{3} (V_{bc2} + aV_{ca2} + a^2V_{ab2}) \dots\dots\dots (2.89)$$

Persamaan (2.89) merupakan persamaan dengan memakai impedansi bersama. Untuk impedansi hubungan Delta tatap impedansi bersama maka :

$$Z_{bc1} = Z_{bc2} = Z_{bc0} ; Z_{ca1} = Z_{ca2} = Z_{ca0} ; Z_{ab1} = Z_{ab2} = Z_{ab0} \dots\dots\dots (2.90)$$

Maka persamaan (2.80) akan menjadi sebagai berikut :

$$V_{\Delta11} = V_{\Delta22} = V_{\Delta00} = \frac{1}{3} (Z_{bc} + Z_{ca} + Z_{ab}) \dots\dots\dots (2.91)$$

$$V_{\Delta12} = V_{\Delta20} = V_{\Delta01} = \frac{1}{3} (Z_{bc} + a^2 Z_{ca} + a Z_{ab}) \dots\dots\dots (2.92)$$

$$V_{\Delta11} = V_{\Delta22} = V_{\Delta00} = \frac{1}{3} (Z_{bc} + a Z_{ca} + a^2 Z_{ab}) \dots\dots\dots (2.93)$$

Perhatikan persamaan (2.81)

$$I_{bc1} Z_{\Delta01} + I_{bc2} Z_{\Delta02} = 0 \dots\dots\dots (2.94)$$

Diubah menjadi :

$$I_{bc0} = - (1/Z_{\Delta00}) (I_{bc1} Z_{\Delta01} + I_{bc2} Z_{\Delta02}) \dots\dots\dots (2.95)$$

Masukan persamaan (2.93) kepersamaan (2.81) maka didapatkan sebagai berikut :

$$V_{bc1} = I_{bc1} \left[ Z_{\Delta11} - \left( \frac{Z_{\Delta10} Z_{\Delta01}}{Z_{\Delta00}} \right) \right] - I_{bc2} \left[ Z_{\Delta22} - \left( \frac{Z_{\Delta10} Z_{\Delta02}}{Z_{\Delta00}} \right) \right] \dots\dots\dots (2.96)$$

$$V_{bc2} = I_{bc1} \left[ Z_{\Delta21} - \left( \frac{Z_{\Delta20} Z_{\Delta01}}{Z_{\Delta00}} \right) \right] - I_{bc2} \left[ Z_{\Delta22} - \left( \frac{Z_{\Delta20} Z_{\Delta02}}{Z_{\Delta00}} \right) \right] \dots\dots\dots (2.97)$$

Jika  $V_{bc1} = j \sqrt{3} V_{a1} = V_{bc2} = j \sqrt{3} V_{a2}$

Dan  $I_{bc1} = j I_{a1} \sqrt{3} ; I_{bc2} = - j I_{a2} / \sqrt{3}$

Maka persamaan (2.89) dan (2.93) akan menjadi sebagai berikut :

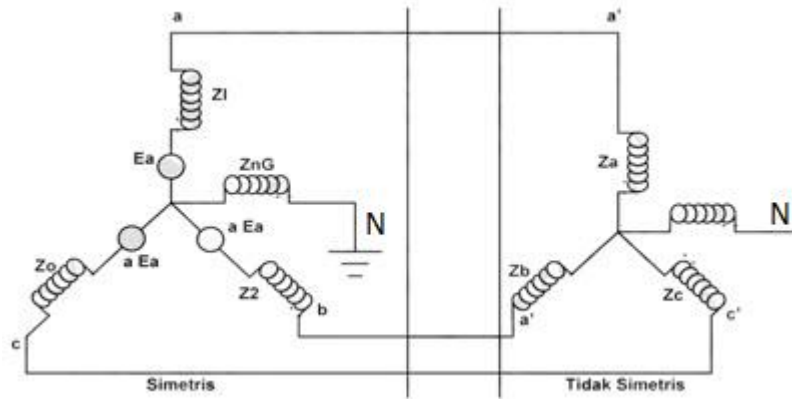
$$V_{a1} = I_{a1} \left[ (Z_{\Delta11}/3) - \left( \frac{Z_{\Delta10} Z_{\Delta01}}{Z_{\Delta00}} \right) \right] - I_{a2} \left[ (Z_{\Delta12}/3) - \left( \frac{Z_{\Delta10} Z_{\Delta02}}{Z_{\Delta00}} \right) \right] \dots\dots\dots (2.98)$$

$$V_{a2} = I_{a1} \left[ (Z_{\Delta21}/3) - \left( \frac{Z_{\Delta20} Z_{\Delta01}}{Z_{\Delta00}} \right) \right] - I_{a2} \left[ (Z_{\Delta22}/3) - \left( \frac{Z_{\Delta20} Z_{\Delta02}}{Z_{\Delta00}} \right) \right] \dots\dots\dots (2.99)$$

$$I_{bc0} = (j/\sqrt{3}) I_{a1} \left[ (Z_{\Delta01}/Z_{\Delta00}) - I_{a2} (Z_{\Delta02}/Z_{\Delta00}) \right] \dots\dots\dots (2.100)$$

## 2.10 Analisa Beban Tak Seimbang Pada Sistem Yang Memuat Bagian Yang Tak Seimbang

### 2.10.1 Kondisi Beban Ditanahkan



Gambar 2.14 Diagram sistem beban tidak seimbang

Keterangan gambar :

$E_a$  = Tegangan yang dibangkitkan

$Z_1, Z_2, Z_0$  = Impedansi urutan generator

$Z_a, Z_b, Z_c$  = Impedansi beban perfasa

ZNI = Impedansi pertanahan beban

ZNG = Impedansi pertanahan generator

Tegangan urutan fasa pada titik P untuk

a. Bagian simetris

$$V_{a1} = E_a - I_{a1}Z_1; V_{a2} = - I_{a2}Z_2; V_{a0} = - I_{a0} (Z_0 + 3 Z_{nG}) \dots \dots \dots (2.101)$$

b. .... Bagian

n tidak simetris

$$V_{a1} = I_{a1}Z_{11} + I_{a2}Z_{12} + I_{a0}Z_{10} \dots \dots \dots (2.102)$$

$$V_{a2} = I_{a1}Z_{21} + I_{a2}Z_{22} + I_{a0}Z_{20} \dots \dots \dots (2.103)$$

$$V_{a0} = I_{a1}Z_{01} + I_{a2}Z_{02} + I_{a0} \dots \dots \dots (2.104)$$

Masukkan persamaan (2.101) kepersamaan (2.104) maka didapatkan

$$E_a = I_{a1}(Z_{11} + Z_{11}) + I_{a2}Z_{12} + I_{a0}Z_{10} \dots \dots \dots (2.105)$$

$$0 = I_{a1}Z_{21} + I_{a2}(Z_{22} + Z_2) + I_{00}Z_{20} \dots\dots\dots (2.106)$$

$$0 = I_{a1}Z_{01} + I_{a2}Z_{02} + I_{a0}(Z_{01} + Z_0 + 2Z_{ng}) \dots\dots\dots (2.107)$$

Dalam bentuk matrik sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} Z_{11} + Z_1 & Z_{12} & Z_{10} \\ Z_{12} & Z_{22} + Z_2 & Z_{20} \\ Z_{01} & Z_{02} & Z_{00} + Z_0 + 3Z_{ng} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a1} \\ I_{a2} \\ I_{a0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.108)$$

Dengan metode matrik maka didapatkan sebagai berikut :

$$I_{a1} = (\Delta_{11}/\Delta) E_0 + (\Delta_{12}/\Delta) 0 + (\Delta_{13}/\Delta) 0 = (\Delta_{11}/\Delta) E_a \dots\dots\dots (2.109)$$

$$I_{a2} = (\Delta_{21}/\Delta) 0 + (\Delta_{22}/\Delta) E_a + (\Delta_{23}/\Delta) 0 = (\Delta_{22}/\Delta) E_a \dots\dots\dots (2.110)$$

$$I_{a0} = (\Delta_{31}/\Delta) 0 + (\Delta_{32}/\Delta) 0 + (\Delta_{33}/\Delta) E_a \dots\dots\dots (2.111)$$

Dimana:

$$\Delta_{11} = (Z_{22} + Z_2)(Z_{00} + Z_0 + 3Z_{ng}) - (Z_{02} + Z_{20}) \dots\dots\dots (2.112)$$

$$\Delta_{22} = (Z_{11} + Z_1)(Z_{00} + Z_0 + 3Z_{ng}) - (Z_{01} + Z_{10}) \dots\dots\dots (2.113)$$

$$\Delta_{33} = (Z_{11} + Z_1)(Z_{02} Z_{20})$$

$$\begin{aligned} \Delta = & (Z_{11} + Z_1)(Z_{22} + Z_2)(Z_{00} + Z_0 + 3Z_{ng}) + Z_{12}Z_{20}Z_{01} + Z_{10}Z_{21}Z_{02} \\ & - Z_{01}(Z_{22} + Z_2)Z_{10} - Z_{02}Z_{20}(Z_{11} + Z_1) - (Z_{00} + Z_0 + 3Z_{ng})Z_{21}Z_{12} \\ & \dots\dots\dots(2.114) \end{aligned}$$

Jika beban merupakan beban statis dan tanpa bersama dimana :

$$Z_{11} = Z_{22} / 3 (Z_a + Z_b + Z_c) \dots\dots\dots (2.115)$$

$$Z_{00} = Z_{11} + Z_{nl} \dots\dots\dots (2.116)$$

$$Z_{12} = Z_{20} = Z_{01} = 1/3 (Z_a + a^2 Z_b + aZ_c) \dots\dots\dots (2.117)$$

$$Z_{21} = Z_{10} = Z_{02} = 1/3 (Z_a + a Z_b + a^2 aZ_c) \dots\dots\dots (2.118)$$

Maka :

$$\Delta_{11} = (Z_{11} + Z_2)(Z_{11} + 3Z_{nL} + Z_0 + 3Z_{nG}) - (Z_{12}Z_{10}) \dots\dots\dots (2.119)$$

$$\Delta_{22} = (Z_{11} + Z_1)(Z_{11} + 3Z_{nL} + Z_0 + 3Z_{nG}) - (Z_{12}Z_{10}) \dots\dots\dots (2.120)$$

$$\Delta_{33} = (Z_{11} + Z_1)(Z_{11} + Z_2) - (Z_{12}Z_{10}) \dots\dots\dots (2.121)$$

$$\Delta = (Z_{11} + Z_1) [(Z_{11} + Z_2)(Z_{11} + 3Z_{nL} + 3Z_{nG}) - Z_{10}Z_{12}] + Z_{10} [(Z_{10})^2 - Z_1(Z_{11} + Z_2)] + Z_{12} [(Z_{10})^2 - (Z_{11} + 3Z_{nL} + Z_0 + 3Z_{nG})Z_{10}] \dots\dots\dots (2.122)$$

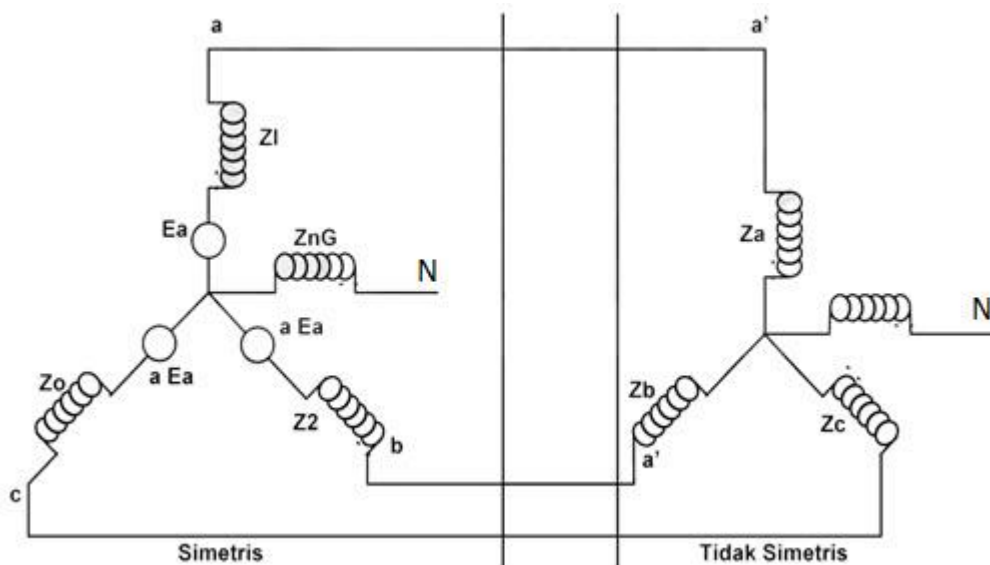
Persamaan (2.20) ini merupakan masukan dari persamaan (2.77) ke (2.111) arus urutan nol adalah :

$$I_{a1} = [(Z_{11} + Z_2)(Z_{11} + 3Z_{nL} + Z_0 + 3Z_{nG}) - (Z_{12}Z_{10})/\Delta] E_a \quad (2.123)$$

$$I_{a2} = [(Z_{11} + Z_1)(Z_{11} + 3Z_{nL} + Z_0 + 3Z_{nG}) - (Z_{12}Z_{10})/\Delta] E_a \quad (2.124)$$

$$I_{a0} = [(Z_{11} + Z_1)(Z_{11} + Z_1) - (Z_{12}Z_{10})/\Delta] E_a \dots\dots\dots (2.125)$$

**2.10.2 Kondisi beban yang tidak ditanahkan**



Gambar 2.15 Diagram sistem beban tidak ditanahkan

Perhatikan gambar (2.8) suatu beban yang tidak ditanahkan maka nilai

$Z_{nL} = \infty$  maka didapatkan nilai adalah :

$$\begin{aligned} \Delta = & (Z_{11} + Z_1)[(Z_{11} + Z_2)(Z_{11} + \infty + Z_0 + 3 Z_{nG}) - Z_{10} Z_{12}] + \\ & Z_{10} [(Z_{10})^2 - Z_{12}(Z_{11} + Z_2)] + \\ & Z_{12} [(Z_{12})^2 - (Z_{11} + \infty + Z_0 + 3 Z_{nG})Z_{10}] = \infty \dots\dots\dots (2.126) \end{aligned}$$

Maka didapatkan nilai  $I_{a0}$  adalah :

$$I_{a0} = [(Z_{11} + Z_1)(Z_{11} + Z_2) - (Z_{12} Z_{10})/\infty] E_a = 0 \dots\dots\dots (2.127)$$

Bila mana  $I_{a0} = 0$  maka didapatkan persamaan

$$E_a = I_{a1}(Z_{11} + Z_1) - I_{a2}Z_{12} \dots\dots\dots (2.128)$$

$$0 = I_{a1}Z_{21} + I_{a2}(Z_{22} + Z_2) \dots\dots\dots (2.129)$$

$$0 = I_{a1}Z_{01} + I_{a2}Z_{02} + V_n \dots\dots\dots (2.130)$$

$$I_{a1} = \{(Z_{22} + Z_2)/[(Z_{11} + Z_1)(Z_{22} + Z_2) - (Z_{21} Z_{12})]\} E_a \dots\dots\dots (2.131)$$

$$\begin{aligned} I_{a2} = & \{(-Z_{11})/(Z_{11} + Z_1) / (Z_{22} + Z_2) - (Z_{21} Z_{12}) - Z_{21} Z_{12}\} E_a \\ & \dots\dots\dots (2.132) \end{aligned}$$

$$I_{a2} = -I_{a1}Z_{01} - I_{a2}Z_{02} \dots\dots\dots (2.133)$$

$$= \{(-Z_{11})(Z_{22} + Z_2) - (Z_{22} + Z_2) - (Z_{21} Z_{12}) - Z_{21} Z_{12}\} E_a \dots\dots\dots (2.134)$$



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

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

Adapun lokasi yang digunakan sebagai objek penelitian adalah PT. INDONESIA ASAHAN ALUMINIUM (PERSERO) Kuala Tanjung – 21257 Kec. Sei Suka, Kab. Batu Bara, Sumatera Utara dan dilaksanakan pada 19 Juli 2016.

#### **3.2 Peralatan Penelitian**

Adapun peralatan yang digunakan oleh penulis dalam melaksanakan penelitian di PT. INDONESIA ASAHAN ALUMINIUM (PERSERO) Kuala Tanjung adalah sebagai berikut:

1. Satu unit Notebook

Merk : HP 14-af118AU

Prosesor : AMD Quard-core A8-7410

Installed Memory (RAM) : 4 GB DDR3

2. Satu unit Flashdisk

Merk : TOSHIBA

Kapasitas : 8 GB

Fungsi : Untuk memindahkan data-data yang dibutuhkan peneliti

#### **3.3 Data Penelitian**

Penelitian ini menggunakan data-data yang berasal dari PT. Indonesia Asahan Aluminium (PERSERO) antara lain sebagai berikut :

### 3.3.1 Data Trafo

- Merk = TOSHIBA
- Phase = 3
- Impedancy = 3.3 %
- Insulation = A
- Line Capacity = 182000 kVA
- Frequency = 50 Hz
- Serial No = 81900006
- Manufactured in = 1981
- Standard = JEC-204 (1978)
- Type Of Colling = OFAF
- Temp. Rise = 60°
- Rasio CT Trafo = 2000/5 A

### 3.3.2 Data Over Current Relay (OCR)

- Merk = Fuji Electric CO,LTD
- Type = D Q A J A 1 H H
- Serial No = K O M O 2 0 3 T
- Rating = A( 0.5 VA) 50 Hz
- Setting = 0.5 – 4 A
- JEC 174A = MFD. 1980
- Rasio CT = 300/5 A

### 3.3.3 Data GFR Sisi *Incoming* 33 kV

- Merk = MC 30
- Tipe = MCCG82
- No Seri = 801948 H
- I nominal = 5 A
- Tms = 0,26
- Rasio CT = 2000/5 A

### 3.3.4 Data Current Transformator

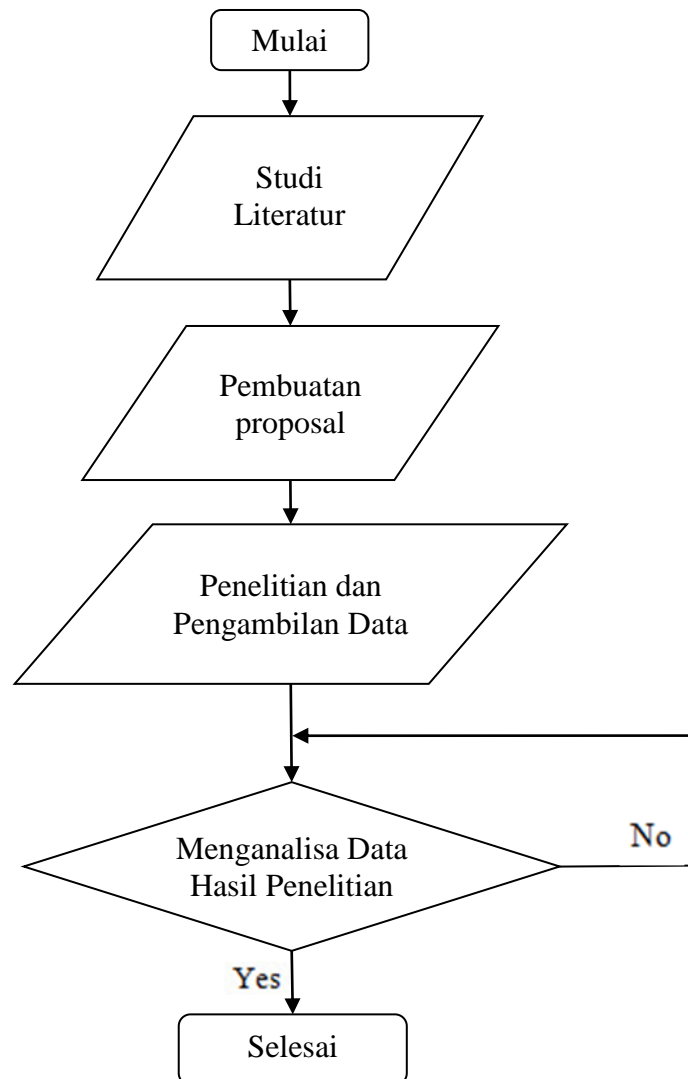
- Merk = Nissin Electric CO.,LTD.
- Type = FGC=200 M
- Prim.Current = 150-75 A
- Sec.Current = 1/1 A
- Rated Burden = 100/25 VA
- Class = 1.0/0.5 W
- Overcurr.Figure = > 20 / -
- Overcurr.Rating = 20 kA 2 Sec.
- Serial No. = 903009
- Oil Filled Type, = Outdoor US
- Insulation Level = 2 0 0 S
- Highest Voltage = 287.5 kV
- Frequency = 50 Hz
- Weight = 2000 kg
- O I I = 660 l

### 3.4 Jenis Penelitian

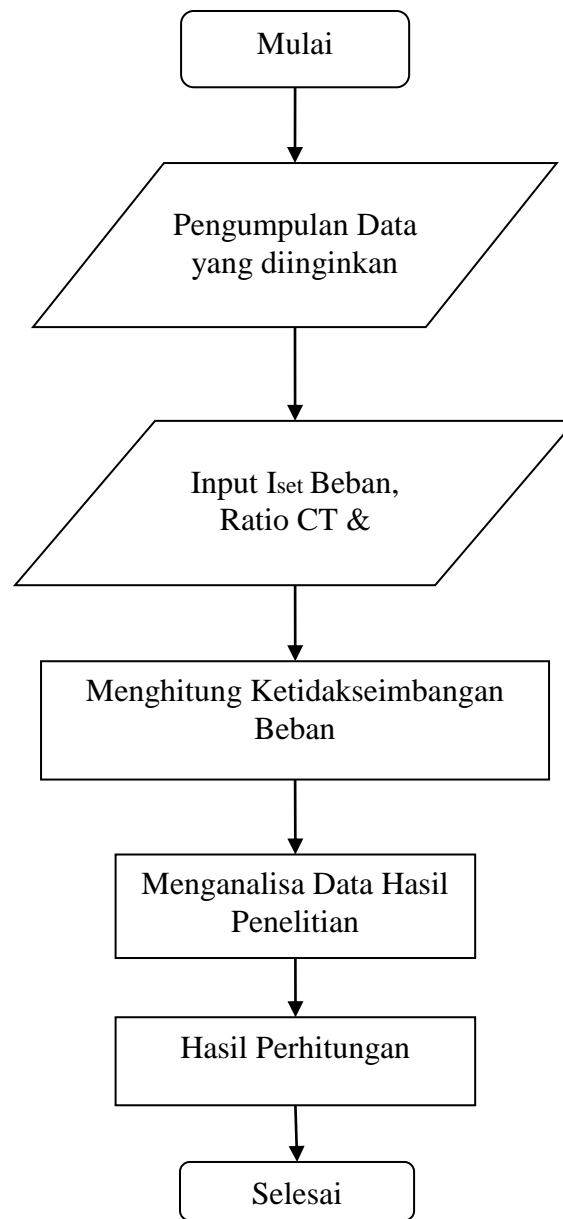
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis penelitian ini adalah jenis penelitian langsung yang dilakukan untuk mengumpulkan data atau informasi yang dibutuhkan dengan cara meneliti langsung di PT. Indonesia Asahan Aluminium (Persero).

### 3.5 Flowchart Penelitian

Prosedur penyusunan tugas akhir adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penyusunan Tugas Akhir



Gambar 3.2 Diagram Alir Analisa Data Perhitungan

## **BAB IV**

### **ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN**

#### **4.1 Faktor-Faktor Yang Menyebabkan Terjadinya Ketidak Seimbangan Beban**

1. Terjadinya ketidak seimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, fasa T). Inilah menyebabkan arus netral di trafo.
2. Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik, terjadi pembagian beban-beban yang pada awalnya merata, tetapi karena ketidakserempakkan waktu penyalan beban-beban tersebut menimbulkan ketidak seimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik.
3. Faktor lain bisa terjadi karena gangguan alam seperti sambaran petir dan pohon tumbang yang menimpa jaringan distribusi.

#### **4.2 Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Kerja Rele Gangguan Tanah**

Rele gangguan tanah merupakan peralatan proteksi gangguan tanah yang arus urutan nol (residu) merupakan sumber penggerakannya. Arus urutan nol muncul bukan saja saat terjadinya suatu gangguan, namun terjadi juga pada faktor seperti beban yang tidak seimbang.

Seperti ketidak seimbangan beban pada sistem daya listrik, belum tentu akan menghasilkan arus urutan nol pada rele gangguan tanah. Tetapi hal ini perlu diperhatikan kondisi sistem dan beban maupun metode deteksi arus urutan nol untuk rele gangguan tanah.

Arus urutan nol dengan transformator hubungan residu. Terjadinya arus urutan nol pada rele gangguan tanah akan mempengaruhi kerja rele gangguan

tanah. Pada uraian berikut akan diterangkan bagaimana pengaruh terjadi dan seberapa jauh ketidakseimbangan beban dapat mempengaruhi kerja rele gangguan tanah.

#### 4.3 *Setting* Arus Dan Waktu Rele Gangguan Tanah Di Feeder 33 kV – *Setting* arus rele gangguan tanah

Untuk menentukan  $I_{set}$  Rele Gangguan Tanah biasanya dipilih 10 % - 20 % dari  $I_{set}$  OCR nya dimana untuk *setting* arus OCR dihitung berdasarkan arus beban mengalir dipenyulang atau di *incoming* transformator.

1. Untuk rele arus lebih yang terpasang dipenyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum yang mengalir di penyulang tersebut.
2. Untuk rele arus lebih yang terpasang di *incoming* trafo di hitung berdasarkan arus nominal trafo tersebut.

Rele *invers* biasanya di *setting* sebesar  $(1,05 \text{ s/d } 1,1) \times I_{beban}$ , sedangkan

Rele Defeniti di *setting* sebesar  $(1,2 \text{ s/d } 1,3) \times I_{beban}$

- *Setting* arus OCR

$$I_{beban} = 1904 \text{ Ampere, CT} = 300/5 \text{ A}$$

$$I_{set} \text{ (Primer)} = 1,05 \times 1904 \text{ Ampere}$$

$$= 1999 \text{ Ampere}$$

$$I_{set} \text{ (Sekunder)} = I_{set} \text{ (primer)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \text{ Ampere}$$

$$= 1999 \times \frac{5}{300} \text{ Ampere}$$

$$= 33.3 \text{ Ampere}$$

- *Setting* TMS

$$0,3 = \frac{0,14.Tms}{\left[\frac{I\ fault}{I\ set}\right]^{0,02} - 1}$$

$$0,3 = \frac{0,14.Tms}{\left[\frac{12257}{1999}\right]^{0,02} - 1}$$

$$Tms = 0,08 \text{ detik}$$

Untuk setting arus GFR biasanya dipilih 10% s/d 30% dari Iset OCR, maka :

- *Setting* arus GFR

$$\text{Iset (Primer)} = 10\% \times 1999 \text{ Ampere}$$

$$= 199,9 \text{ Ampere}$$

$$\text{Iset (Sekunder)} = \text{Iset (primer)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \text{ Ampere}$$

$$= 199,9 \times \frac{5}{300} \text{ Ampere} = 3,33 \text{ Ampere}$$

- *Setting* TMS

$$0,3 = \frac{0,14.Tms}{\left[\frac{I\ fault}{I\ set}\right]^{0,02} - 1}$$

$$0,3 = \frac{0,14.Tms}{\left[\frac{12257}{199,9}\right]^{0,02} - 1}$$

$$Tms = 0,18 \text{ detik}$$

- *Setting* Arus dan Waktu GFR di *incoming* Trafo

$$\text{Kapabilitas Trafo} : 182 \text{ MVA}$$

$$\text{Tegangan} : 275/33 \text{ KV}$$

$$\text{Impedansi} : 3,3 \%$$

$$\text{Rasio CT} : 2000/5$$



- *Setting* arus OCR

$$\begin{aligned}
 I_n &= \frac{kVA \text{ Trafo}}{\sqrt{3} kV \text{ Trafo}} \\
 &= \frac{182000}{33\sqrt{3}} = 3244 \text{ Ampere} \\
 I_{set} \text{ (Primer)} &= 1,05 \times 3244 \text{ Ampere} \\
 &= 3406 \text{ Ampere} \\
 I_{set} \text{ (Sekunder)} &= I_{set}(\text{primer}) \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \text{ Ampere} \\
 &= 3406 \times \frac{5}{2000} \text{ Ampere} = 8.52 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

- *Setting* TMS

$$t \text{ incoming} = (0,3+0,4) = 0,7 \text{ detik}$$

Jadi didapat :

$$\begin{aligned}
 0,7 &= \frac{0,14.Tms}{\left[\frac{I \text{ fault}}{I \text{ set}}\right]^{0,02} - 1} \\
 0,7 &= \frac{0,14.Tms}{\left[\frac{12257}{3406}\right]^{0,02} - 1}
 \end{aligned}$$

$$Tms = 0.13 \text{ detik}$$

Untuk *setting* arus GFR biasanya dipilih 10% s/d 30% dari Iset OCR, maka :

- *Setting* Arus GFR

$$\begin{aligned}
 I_{set} \text{ (Primer)} &= 30\% \times 3406 \text{ Ampere} \\
 &= 1022 \text{ Ampere} \\
 I_{set} \text{ (Sekunder)} &= I_{set} \text{ primer} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\
 &= 1022 \times \frac{5}{2000} \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

$$= 2.6 \text{ Ampere}$$

- *Setting TMS*

$$t \text{ incoming} = (0,3+0,4) = 0,7 \text{ detik}$$

Jadi didapat :

$$0,7 = \frac{0,14.Tms}{\left[ \frac{I \text{ fault}}{I \text{ set}} \right]^{0,02} - 1}$$

$$0,7 = \frac{0,14.Tms}{\left[ \frac{12257}{1022} \right]^{0,02} - 1}$$

$$Tms = 0.25 \text{ detik}$$

#### 4.4 Data Beban Pada Setiap Fasa

Contoh perhitungan dan data yang di dapatkan adalah sebagai berikut :

$$\cos\mu_a = 0,861 = 30,68^\circ$$

$$\cos\mu_b = 0,81 = 35,9^\circ$$

$$\cos\mu_c = 0,84 = 32,85^\circ$$

$$I_a = 40 \angle -30,68^\circ = 34,4 - j 20,4 \text{ Amp}$$

$$I_b = 30 \angle 66,58^\circ = 11,9 + j 27,5 \text{ Amp}$$

$$I_c = 50 \angle -260,57^\circ = -8,2 + j 49,3 \text{ Amp}$$

Arus Residu

$$I_n = 3 I_{ao} = I_a + I_b + I_c$$

$$= (40 \angle -30,68^\circ + 30 \angle 66,58^\circ + 50 \angle -260,57^\circ) \text{ Amp}$$

$$= (34,4 - j 20,4 \text{ Amp} + 11,9 + j 27,5 \text{ Amp} - 8,2 + j 49,3) \text{ Amp}$$

$$= (38,1 + j 56,4) \text{ Amp}$$

$$= 68 \angle 56^\circ \text{ Amp}$$

### Arus Urutan Positif

$$\begin{aligned}
 I_{a1} &= 1/3 ( I_a + aI_b + a^2I_c ) \\
 &= 1/3 ( 40 \angle -30,68^\circ + 1 \angle -120^\circ \times 30 \angle 66,58^\circ + 1 \angle -120^\circ \times 50 \angle -260,57^\circ ) \text{ Amp} \\
 &= 1/3 ( 34,4 - j 20,4 - 29,8 - j 3,43 + 46,8 - j 17,5 ) \text{ Amp} \\
 &= 1/3 ( 51,4 - j 41,33 ) \text{ Amp} \\
 &= 1/3 ( 65,95 \angle -38,8^\circ ) \\
 &= 21,98 \angle -38,8^\circ \text{ Amp}
 \end{aligned}$$

### Arus Urutan Negatif

$$\begin{aligned}
 I_{a2} &= 1/3 ( I_a + a^2I_b + aI_c ) \\
 &= 1/3 ( 40 \angle -30,68^\circ + 1 \angle -120^\circ \times 30 \angle 66,58^\circ + 1 \angle 120^\circ \times 50 \angle -260,57^\circ ) \text{ Amp} \\
 &= 1/3 ( 40 \angle -30,68^\circ + 30 \angle -53,42^\circ + 50 \angle -140,57^\circ ) \text{ Amp} \\
 &= 1/3 ( 34,4 - j 20,4 + 17,8 + j 24 - 38,6 - j 31,8 ) \text{ Amp} \\
 &= 1/3 ( 13,6 + j 28,2 ) \\
 &= 1/3 ( 31,30 \angle -64,2^\circ ) \text{ Amp} \\
 &= 10,43 \angle -64,2^\circ \text{ Amp}
 \end{aligned}$$

## 4.5 Faktor Ketidak seimbangan Beban

$$S_T = I_{a2}/I_{a1} \times 100 \%$$

$$= \frac{10,43 \angle -64,2^\circ}{21,98 \angle -38,8^\circ} \times 100 \%$$

$$= 47,4 \%$$

Besar daya yang dihasilkan beban, dalam perhitungan ini dianggap tegangan sumber sama, maka yang dihasilkan adalah :

$$S_A = V_{an} I_a; S_B = V_{b0} I_b; S_C = V_{cn} I_c$$

$$S_T = S_A + S_B + S_C = V_{an} (|I_a|) + |I_b| + |I_c|$$

$$\begin{aligned} S_R &= \frac{33}{\sqrt{3}} KB |I_a| + |I_b| + |I_c| \\ &= \frac{33}{\sqrt{3}} kV \times (40 + 30 + 50) \\ &= 19,41 kV \times 120 A \\ &= 2329.2 kVA \end{aligned}$$

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari teori, hasil pembahasan dan contoh perhitungan di atas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Terjadinya ketidak seimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, fasa T). Inilah menyebabkan arus netral di trafo. Jika terjadi gangguan pada *feeder – feeder* dari gardu induk akibat gangguan alam dan dari peralatan itu sendiri, maka rele akan mendeteksi, sehingga akan terjadi pemutusan terhadap beban.
2. Dari hasil perhitungan yang dilakukan diperoleh faktor ketidak seimbangan bebannya ( $S_T$ ) = 47,4 %. Nilai ini membuat rele gangguan tanah akan trip sesaat, tapi tidak mengakibatkan sampai terjadinya pemadaman listrik di *potline*, hanya dapat menyebabkan berkurangnya *supply* daya listrik pada fasa-fasa tertentu.
3. *Setting-an Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) yang didapat dari hasil perhitungan

- *Setting* arus OCR

$$I_{set} \text{ (Primer)} = 3406 \text{ Ampere}$$

$$I_{set} \text{ (Sekunder)} = 8.52 \text{ Ampere}$$

$$Tms = 0,13 \text{ detik}$$

- *Setting* arus GFR

$$Iset \text{ (Primer)} = 1022 \text{ Ampere}$$

$$Iset \text{ (Sekunder)} = 2.6 \text{ Ampere}$$

$$T_{ms} = 0.25 \text{ detik}$$

## 5.2 Saran

Dari hasil penelitian ini, penulis menyarankan beberapa saran atau pun masukan yaitu :

1. Pada penelitian selanjutnya, penulis menyarankan untuk melakukan pengolahan data menggunakan simulasi.
2. Berdasarkan hasil studi yang dilakukan di GI PT. INALUM (PERSERO), disadari masih banyak hal-hal yang perlu dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.
3. Untuk mencegah agar terjadinya ketidak seimbangan sistem maupun pada masing-masing fasa harus tetap diadakan pengecekan pada *Ground Fault Relay* (GFR) sebagai peralatan proteksi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, Irfan. Juni (2009). “*Analisis Setting Relai Arus Lebih dan Gangguan Tanah pada Penyulang Sadewa di GI Cawang*”. Skripsi Strata Satu pada FT UI: tidak diterbitkan, <http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20249162-R230921.pdf>, 25 Februari 2017.
- Badruzzaman, Yusnan. Desember (2013). “*Kinerja Ground Fault Relay (Rele Gangguan Tanah) pada Penyulang 4 dan Penyulang 6 Gardu Induk Sronдол*”. JTET (Jurnal Teknik Elektro Terapan) ISSN : 2252-4908 Vol. 2 No. 3 Desember 2013 : 215-224, <http://portalgaruda.ilkom.unsri.ac.id/index.php?ref=browse&mod=viewarticle&article=443204>, 20 Februari 2017.
- Nova, Tirza. Januari (2013). “*Perhitungan Setting Rele OCR dan GFR pada Sistem Interkoneksi Diesel Generator di Perusahaan X*”. Jurnal Reka Elkomika. 2013, Vol.1 No. 1, <http://download.portalgaruda.org/article.php?article=57360&val=4287>, 15 Februari 2017.
- Samsul, Nur Malasari. Januari (2016). “*Analisis Gangguan Tidak Seimbang pada Line Transmisi GI Sungguminasa-GI Tallasa*”. Journal INTEK. 2016, Volume 3 (2): 102-108, <http://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/Intek/article/download/60/56>, 25 Februari 2017.
- Saragi, Wira Tua. Maret (2008). “*Studi Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap rele Gangguan Tanah (Aplikasi Gardu Induk Binjai)*”. Skripsi Strata Satu pada FT USU: Diterbitkan Oleh USU Repository, <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/11845/1/09E00027.pdf>, 23 Februari 2017.
- Hutauruk, T.S, (1986) *Pengetanahan Netral Sistem dan Tenaga Pengetanahan Peralatan*, Erlangga : Jakarta.
- Gonen, T, (2008) *Electrical Power Distribution Sistem Engineering*, University of Missouri at Colombia, me Graw Hill Book Company.
- Stevenson, W D Jr, (2000) *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Keempat, Erlangga : Bandung.
- Yolanda, Rizki Intan. Juli (2014). “*Analisa ketidakseimbangan beban pada transformator I. 974 penyulang pandu PT. PLN (PERSERO) rayon sukarami Palembang*”. Skripsi Strata Satu pada Program Studi Teknik Listrik: Diterbitkan Oleh Departemen Politeknik Negeri Sriwijaya, [http://eprints.polsri.ac.id/361/1/COVER\(2\).pdf](http://eprints.polsri.ac.id/361/1/COVER(2).pdf), 20 Februari 2017.

