

**STUDI EVALUASI SETING RELE PROTEKSI HUBUNG SINGKAT  
TRANSFORMATOR 21 kV/512,5 kV TERHADAP GANGGUAN  
HUBUNG SINGKAT 3 FASA DI PT. YTL**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :  
**LUTHEAN BAGUS SAPUTRA**  
**NIM. 105060305111001-63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2014**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**STUDI EVALUASI SETING RELE PROTEKSI HUBUNG SINGKAT  
TRANSFORMATOR 21 kV/512,5 kV TERHADAP GANGGUAN  
HUBUNG SINGKAT 3 FASA DI PT. YTL**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**LUTHFAN BAGUS SAPUTRA**

**NIM. 105060305111001-63**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. Hery Purnomo, M.T.**

**Ir. Teguh Utomo, M.T.**

**NIP. 19550708 198212 1**

**NIP. 19650913 199103 1 003**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**STUDI EVALUASI SETING RELE PROTEKSI HUBUNG SINGKAT  
TRANSFORMATOR 21 kV/512,5 kV TERHADAP GANGGUAN  
HUBUNG SINGKAT 3 FASA DI PT. YTL**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

**LUTHFAN BAGUS SAPUTRA**

**NIM. 105060305111001-63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 11 Agustus 2014

**Majelis Penguji :**

**Ir. Drs. Moch. Dhofir, M.T.**

**NIP. 19600701 199002 1 001**

**Ir. Soemarwanto, M.T.**

**NIP. 19500715 198003 1 002**

**Ir. Wijono, M.T., Ph.D.**

**NIP. 19580728 198701 1 001**

**Mengetahui :**

**Ketua Jurusan Teknik Elektro**

**M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D**

**NIP. 19741203 200012 1 001**

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrohmanirrohim.*

Alhamdulillah, segala puji hanya bagi Allâh Subhanahu Wa Taâla, Rabb alam semesta. Dialah Allâh, Tuhan Yang Maha Satu, Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Dialah Sebaik baik Penolong dan Sebaik baik Pelindung. Shalawat dan salâm kepada Nabi Muhammad Rasulullâh Shallallâhu Alaihi Wa Salâm, Sang pembawa kabar gembira dan sebaik baik suri tauladan bagi yang mengharap Rahmat dan Hidayah-Nya. Dengan seizin Allâh SWT, di kesempatan yang baik ini saya ingin menghaturkan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar besarnya atas bantuan sehingga terselesainya skripsi ini kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, Ayah Budi Suprihyanto, Ibu Sri Wulandari, kakak Ikhsan Arifin dan adik Rafid Adhi Pramana yang senantiasa mendoakan, memberikan nasihat, kasih sayang, perhatian, dan kesabaran selama ini.
2. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
3. Ibu Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc., Ph.D selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Energi Elektrik dan Bapak Mochammad Rif'an, S.T., M.T sebagai Kaprodi Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
4. Bapak Ir. Hery Purnomo, M.T dan Ir. Teguh Utomo, M.T sebagai dosen pembimbing atas segala pengarahan, serta motivasi yang telah diberikan.
5. Dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro yang telah membantu segala urusan penulis selama ini.
6. Para sahabat yaitu Hizba, Krisna, Fahad, Feby, Reno, Mega W., Restu, Brenda, Arif. Terimakasih atas doa, pelajaran hidup, canda, dan semua bantuannya.
7. Keluarga besar angkatan 2010 "MAGNET 10" serta teman-teman yang selalu memberi motivasi, bersedia mendengar curhatan saya mengenai skripsi yaitu Agam, Mega, Azis, Calvin, Zainal, Mas Irfan, Peki, Resi, Nana dan Zara.
8. Mas Hermawan, S.T atas bantuan dari pemberian judul, pemberian ilmu yang sangat bermanfaat buat skripsi saya.
9. Teman-teman Laboratorium Dasar Elektrik Dan Pengukuran Ari, Afnan, Nunik, Atika, Batman, Fery, dan aslab-aslab DEP lainnya atas doa, dan semangat.

Sekiranya Allâh SWT mencatat amalan ikhlas kami dan semua pihak yang turut membantu sehingga skripsi ini terselesaikan. Akhirnya, saya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna namun semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Allâhumma Amîn.

Malang, Agustus 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>

### BAB I PENDAHULUAN

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

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator .....	5
2.2 Sistem Proteksi pada Sistem Tenaga Listrik .....	6
2.3 Gangguan-Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik .....	6
2.4 Rele sebagai Peralatan Pengaman.....	9
2.4.1 Syarat Rele Pengaman .....	10
2.5 Rele Arus Lebih.....	11
2.5.1 Prinsip Kerja dan Karakteristik Pengamanannya.....	12
2.5.1.1 Rele Arus Lebih Seketika.....	12
2.5.1.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.....	14
2.5.1.3 Rele Arus Lebih Berbanding Terbalik.....	15
2.6 Impedansi Hubung Singkat pada Unit Pembangkit Listrik (S).....	17
2.7 Perhitungan Arus Hubung Singkat 3 Fasa Simetris Awal ( $\bar{I}''_K$ ).....	20

### BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Pengambilan Data .....	23
3.1.1 Data Sekunder .....	23

3.2	Prosedur Perhitungan .....	24
3.3	Analisis Seting Rele Proteksi Hubung Singkat .....	24
3.4	Kesimpulan dan Saran .....	24

**BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISIS**

4.1	Transformator pada Pembangkit Unit 5 dan 6 di PT.YTL .....	25
4.2	Lokasi Gangguan .....	28
4.3	Rele Proteksi Hubung Singkat .....	29
4.4	Perhitungan Impedansi Hubung Singkat pada Pembangkit Listrik (S) .....	30
4.5	Perhitungan Arus Hubung Singkat 3 Fasa Simetris Awal ( $\bar{I}''_K$ ) .....	32
4.6	Analisis Seting dari Rele Proteksi Hubung Singkat .....	33

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	35
5.2	Saran .....	35

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Gelombang Arus Hubung Singkat .....	9
<b>Gambar 2.2</b>	Rangkaian Rele Arus Lebih Seketika .....	12
<b>Gambar 2.3</b>	Karakteristik Rele Arus Lebih Seketika .....	13
<b>Gambar 2.4</b>	Rangkaian Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.....	14
<b>Gambar 2.5</b>	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu .....	15
<b>Gambar 2.6</b>	Rangkaian Rele Arus Lebih Berbanding Terbalik.....	16
<b>Gambar 2.7</b>	Karakteristik Rele Arus Lebih Berbanding Terbalik.....	17
<b>Gambar 2.8</b>	Hubung Singkat dari Satu Unit Pembangkit Listrik (S) .....	18
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Metode Penelitian.....	22
<b>Gambar 4.1</b>	Transformator 3 Fasa 21 kV/512,5 kV pada Pembangkit Unit 5 dan 6 di PT. YTL.....	25
<b>Gambar 4.2</b>	Diagram Satu Garis Pembangkit Unit 5 di PT. YTL.....	26
<b>Gambar 4.3</b>	Diagram Satu Garis Pembangkit Unit 6 di PT. YTL.....	27
<b>Gambar 4.4</b>	Lokasi Gangguan (F) pada Pembangkit Unit 5 dan 6 di PT.YTL.....	29
<b>Gambar 4.5</b>	Rele Proteksi Hubung Singkat pada Pembangkit Unit 5 dan 6 di PT. YTL.....	29
<b>Gambar 4.6</b>	Karakteristik Seting Rele Proteksi Hubung Singkat pada Pembangkit Unit 5 dan 6 di PT. YTL .....	30
<b>Gambar 4.7</b>	Diagram Rangkaian Ekuivalen ketika terjadi Gangguan di F.....	32
<b>Gambar 4.8</b>	Perbandingan Arus Hubung Singkat terhadap Batas Kemampuan Transformator serta Karakteristik Rele Proteksi Hubung Singkat.....	34
<b>Gambar 4.9</b>	Perbandingan Karakteristik Seting lama dan Baru dari Rele Proteksi Hubung Singkat di Pembangkit Unit 5 dan 6 di PT. YTL.....	34

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Faktor Tegangan (c) .....	20
<b>Tabel 4.1</b>	Spesifikasi Transformator Penaik Tegangan .....	28
<b>Tabel 4.2</b>	Spesifikasi Generator .....	28



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Karakteristik dan Seting Rele Proteksi Hubung Singkat di PT. YTL.. 37

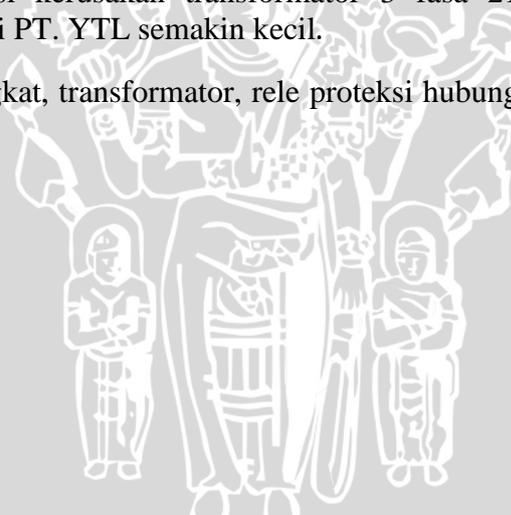


## ABSTRAK

**Luthfan Bagus Saputra**, Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2014. *Studi Evaluasi Seting Rele Proteksi Hubung Singkat Transformator 21 kV/512,5 kV terhadap Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di PT. YTL.* Dosen Pembimbing : Ir. Hery Purnomo, M.T. dan Ir. Teguh Utomo, M.T.

Gangguan yang paling berbahaya adalah gangguan hubung singkat 3 fasa (IEC 60076-5). Rele pengaman terhadap gangguan hubung singkat yaitu rele proteksi hubung singkat. Rele proteksi dikatakan baik jika rele tersebut bisa mengamankan peralatan listrik terhadap gangguan tersebut, sehingga diperlukan seting rele yang tepat. Pada penelitian ini dihitung seberapa besar arus hubung singkat 3 fasa simetris awal ( $\bar{I}''_K$ ) yang gangguannya terjadi di sisi tegangan tinggi pada transformator. Dari hasil perhitungan dan analisis seting rele menunjukkan bahwa, rele tersebut tidak bekerja karena syarat rele untuk bekerja tidak terpenuhi. Sehingga transformator tersebut akan menerima arus hubung singkat 3 fasa simetris awal ( $\bar{I}''_K$ ) sebesar 2,23 kA selama 3 detik. Padahal batas kemampuan transformator untuk menahan lamanya waktu gangguan hubung singkat maksimal selama 2 detik (IEC 60076-5). Maka arus tersebut berpotensi merusak transformator. Jadi seting dari rele tersebut yaitu kurang tepat. Sehingga seting yang tepat untuk rele tersebut yaitu dengan mengubah seting waktu dari 3 detik menjadi 2 detik, hal ini juga sesuai dengan batas kemampuan transformator untuk menahan lamanya waktu gangguan. Jadi dengan mengubah seting, diharapkan dapat mengurangi potensi kerusakan transformator 3 fasa 21 kV/512,5 kV pada pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL semakin kecil.

**Kata kunci** : hubung singkat, transformator, rele proteksi hubung singkat, arus hubung singkat.



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton yang berbahan bakar batubara yang merupakan pembangkit listrik terbesar di Asia Tenggara. Dalam perkembangannya, proses produksi energi listrik tidak hanya dimonopoli oleh pemerintah, tetapi juga terdapat perusahaan swasta salah satunya yaitu PT. Yang Tiong Lai (YTL) Jawa Timur (di bawah naungan PT. Jawa Power) yang terletak di Jalan Raya Surabaya-Situbondo KM 141, tepatnya di Desa Binor, Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur. PT. YTL berperan dalam pengelolaan jasa penerangan, khususnya untuk wilayah Jawa-Bali melalui jaringan 500 kV Tegangan Ekstra Tinggi (TET).

Keberadaan sebuah sistem proteksi dalam suatu sistem pembangkit sangat vital, ditinjau dari fungsi dipasangnya sistem proteksi adalah untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan beserta peralatannya. Sistem proteksi yang baik adalah sistem yang sensitif, selektif, andal, dan cepat jika terdapat suatu gangguan. Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik sangat beragam besar dan jenisnya. Menurut IEC 60076-5, gangguan hubung singkat 3 fasa sering dianggap sebagai gangguan yang paling berbahaya dibanding jenis gangguan hubung singkat yang lainnya. Transformator tersebut memiliki batas kemampuan untuk menahan gangguan arus hubung singkat (*ability to withstand short circuit*) dengan waktu gangguan maksimal selama 2 detik (IEC 60076-5). Berdasarkan IEEE Std.C57.109-1993, untuk transformator 3 fasa pada pembangkit unit 5 dan 6 di PT.YTL dengan daya 765 MVA dan tegangan hubung singkat dalam persen sebesar 18% memiliki batas kemampuan menahan arus hubung singkat dengan waktu gangguan maksimal 2 detik dengan arus hubung singkat ( $I_F$ ) maksimal 4 kali arus nominal pada transformator. Rele proteksi transformator terdiri dari dua bagian, yaitu rele utama dan rele *backup*. Rele utamanya yaitu rele proteksi hubung singkat (*short circuit protection relay*). Rele ini berfungsi mengamankan transformator bila terjadi gangguan hubung singkat, dimana saat terjadi gangguan hubung singkat selama lebih dari atau sama dengan 3 detik dan nilai arus hubung singkatnya antara 1,2 kali sampai 10 kali arus nominalnya maka rele tersebut

akan memerintahkan pemutus tenaga (*circuit breaker*) untuk membuka (Siemens AG, 1995).

Gangguan hubung singkat pernah terjadi di reaktor yang dipasang di busbar selama 0,1 detik dan arus hubung singkat mengalir dari pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL ke titik gangguan tersebut. Rele proteksi hubung singkat tidak memerintahkan *circuit breaker* untuk membuka padahal sudah mengidentifikasi adanya gangguan hubung singkat. Karena waktu gangguan hubung singkat yang tidak memenuhi syarat rele untuk bekerja yaitu minimal 3 detik. Pada gangguan tersebut arusnya lebih dari 4 kali arus nominal yang merupakan batas toleransi dari transformator untuk menerima arus gangguan hubung singkat. Pada kondisi tersebut transformator terkena gangguan akibat arus gangguannya melebihi kemampuan transformator untuk menahan arus hubung singkat, tetapi transformatornya tidak mengalami kerusakan yang sangat parah.

Jika ada gangguan hubung singkat lagi yang melebihi kemampuan transformator untuk menahan arus hubung singkat dengan letak gangguan di sisi tegangan tinggi transformator yang bisa membahayakan transformator di pembangkit unit 5 dan 6, maka PT. YTL lebih memilih transformator aman. Karena jika dibiarkan terus menerus maka transformator tersebut akan rusak. Atas dasar hal itu, maka rele proteksi hubung singkat sebagai rele utama beroperasi dan memerintahkan *circuit breaker* untuk bekerja, dan mengamankan transformator tersebut walaupun akibatnya akan terjadi pemadaman. Atas dasar itu, PT. YTL lebih memilih terjadi pemadaman di pembangkit unit 5 dan 6 daripada transformator pada pembangkit unit 5 dan 6 rusak. PLN sendiri harus mencari pengganti pembangkit yang lain sebagai penyuplai listrik ke konsumen jika terjadi pemadaman di pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL. Oleh karena itu, penelitian ini akan diarahkan ke evaluasi seting rele proteksi hubung singkat pada transformator 3 fasa dengan kapasitas 21 kV/512,5 kV di PT. YTL terhadap gangguan hubung singkat 3 fasa.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan masalah yang telah diuraikan pada latar belakang, dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

- 1) Bagaimana cara melakukan seting rele proteksi hubung singkat pada pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL Jawa Timur.

- 2) Bagaimana cara mengevaluasi seting rele proteksi hubung singkat pada pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL Jawa Timur.

### 1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini mencapai sasaran yang diharapkan, maka batasan masalah yang perlu diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Transformator 3 fasa merek SIEMENS dengan kapasitas 21 kV/512,5 kV dengan daya 765 MVA pada pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL Jawa Timur.
- 2) Gangguannya berupa hubung singkat 3 fasa pada sisi tegangan tinggi (HV) transformator 3 fasa (F).
- 3) Tidak membahas koordinasi rele, tetapi hanya membahas evaluasi seting rele proteksi hubung singkat.
- 4) Standar yang digunakan untuk contoh perhitungan impedansi hubung singkat pada unit pembangkit listrik (S) dan perhitungan arus hubung singkat adalah *International Electrotechnical Commission (IEC) standard 60909-4 "Examples for the calculation of short-circuit currents"*.
- 5) Standar yang digunakan untuk teori batas kemampuan transformator untuk menahan durasi gangguan hubung singkat adalah *International Electrotechnical Commission (IEC) standard 60076-5 "Ability to withstand short circuit"*.
- 6) Standar yang digunakan untuk teori batas kemampuan transformator untuk menahan durasi dan arus hubung singkat adalah IEEE C57.109-1993 "*IEEE standard definitions for power switchgear*".

### 1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dan mendapat seting yang tepat dari rele proteksi hubung singkat pada pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL Jawa Timur.

## 1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah mengetahui seberapa besar arus hubung singkat 3 fasa, sehingga dengan adanya penelitian ini, diharapkan bisa dijadikan acuan oleh PT. YTL bila ingin membuat pengaturan yang terbaru pada rele proteksi hubung singkat (*short circuit protection relay*) saat terjadi gangguan hubung singkat pada transformator 3 fasa di pembangkit unit 5 dan 6 PT. YTL Jawa Timur.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- BAB I** Berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.
- BAB II** Berisi tinjauan pustaka yang digunakan untuk dasar penelitian yang dilakukan dan untuk mendukung permasalahan yang diungkapkan.
- BAB III** Berisi metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yang terdiri dari pengambilan data, penentuan parameter untuk perhitungan impedansi hubung singkat pada unit pembangkit listrik (S) dan arus hubung singkat 3 fasa simetris awal ( $\bar{I}''_K$ ), dan analisis seting rele proteksi hubung singkat serta pengambilan kesimpulan.
- BAB IV** Berisi transformator pada pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL, lokasi gangguan, rele proteksi hubung singkat, perhitungan impedansi hubung singkat pada unit pembangkit listrik (S), perhitungan arus hubung singkat 3 fasa simetris awal ( $\bar{I}''_K$ ), dan analisis seting rele proteksi hubung singkat.
- BAB V** Berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis dan saran.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik statis yang mampu mengubah maupun untuk menyalurkan energi listrik arus bolak-balik (AC) dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik arus AC yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik yang dapat menaikkan atau menurunkan tegangan atau arus dengan frekuensi yang sama.

Penggunaan transformator yang sangat sederhana dan andal merupakan salah satu alasan penting dalam pemakaiannya dalam penyaluran tenaga listrik arus AC, karena arus AC sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. Pada penyaluran tenaga listrik terjadi kerugian daya sebesar  $I^2R$  watt. Kerugian ini akan banyak berkurang apabila tegangan dinaikkan. Dengan menaikkan tegangan mengakibatkan arus pada saluran kecil. Apabila arus pada saluran kecil, maka rugi daya akan menurun. Dengan demikian maka saluran-saluran transmisi tenaga listrik senantiasa mempergunakan tegangan tinggi. Tegangan transmisi yang tertinggi di Indonesia pada saat ini adalah 500 kV. Hal ini dilakukan terutama untuk mengurangi kerugian energi yang terjadi dan menaikkan tegangan listrik di pembangkit listrik dari tegangan generator yang biasanya berkisar 6 sampai 21 kV, kemudian menurunkannya lagi pada akhir saluran itu ke tegangan yang lebih rendah, yang dilakukan dengan transformator (Abdul Kadir, 1986:1). Transformator 3 fasa di PT. YTL memiliki batas kemampuan untuk menahan arus hubung singkat (*ability to withstand short circuit*) yaitu maksimal 2 detik (IEC 60076-5). Berdasarkan IEEE Std.C57.109-1993, untuk transformator 3 fasa pada pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL dengan daya 765 MVA dan tegangan hubung singkat dalam persen sebesar 18% memiliki batas kemampuan menahan arus hubung singkat dengan waktu gangguan maksimal 2 detik dengan arus hubung singkat ( $I_F$ ) maksimal 4 kali arus nominal pada transformator.

## 2.2 Sistem Proteksi pada Sistem Tenaga Listrik

Sistem proteksi adalah sistem pengaman peralatan listrik seperti generator, transformator, motor, dan lain-lain terhadap kondisi-kondisi abnormal. Kondisi abnormal tersebut bisa disebabkan oleh beberapa keadaan seperti adanya arus hubung singkat, kenaikan tegangan atau penurunan tegangan, keadaan beban berlebih, dan naik turun frekuensi.

Sedangkan sistem tenaga listrik adalah untuk menghasilkan dan menyalurkan energi listrik ke beban. Sistem tersebut harus dirancang dan dikendalikan untuk pengiriman energinya ke pengguna secara andal dan ekonomis. Keperluan akan sistem tenaga listrik yang andal dan ekonomis tidak dapat dielakkan. Banyak peralatan sistem tenaga listrik yang harganya sangat mahal dan sistem yang begitu rumit menggambarkan betapa banyaknya modal yang harus dikeluarkan. Biaya akan cepat kembali jika sistem tersebut dalam penggunaannya memungkinkan pengaman dan keandalan sistem yang terjamin. Adanya kerusakan akibat adanya gangguan tentu saja akan menambah biaya perawatan dan perbaikan.

Fungsi utama dari sistem proteksi adalah (Hutauruk, 1991):

1. Menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik. Semakin cepat sistem proteksi bekerja maka pengaruh gangguan akan semakin kecil.
2. Mempercepat melokalisir daerah yang terganggu, sehingga daerah yang terganggu menjadi sekecil mungkin.
3. Memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi.
4. Mengamankan manusia dari bahaya listrik.

## 2.3 Gangguan-Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik sangat beragam besar dan jenisnya. Gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah keadaan tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Berdasarkan IEEE Std.C37.100-1992, gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Gangguan hampir selalu ditimbulkan oleh hubung singkat antar fasa atau hubung singkat fasa ke tanah. Secara umum klasifikasi gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh dua faktor, yaitu :

1. Gangguan yang berasal dari sistem.
2. Gangguan yang berasal dari luar sistem.

Ditinjau dari segi kesimetrisannya, dapat dikelompokkan menjadi :

1. Gangguan asimetris merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang, gangguan ini terdiri dari :

- Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.
- Gangguan hubung singkat 2 fasa.
- Gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah.

2. Gangguan simetris merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini terdiri dari :

- Gangguan hubung singkat 3 fasa.
- Gangguan hubung singkat 3 fasa ke tanah.

Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain :

1. Tegangan dan arus abnormal.
2. Pemasangan yang kurang baik.
3. Kesalahan mekanis karena proses penuaan.
4. Beban lebih.
5. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasinya.

Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain :

1. Gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi terutama pada sistem kelistrikan bawah tanah.
2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin serta surja petir.
3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

Bila ditinjau dari segi lamanya waktu gangguan, maka dapat dikelompokkan menjadi (Hutauruk,1991) :

1. Gangguan yang bersifat temporer, yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.
2. Gangguan yang bersifat permanen, dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

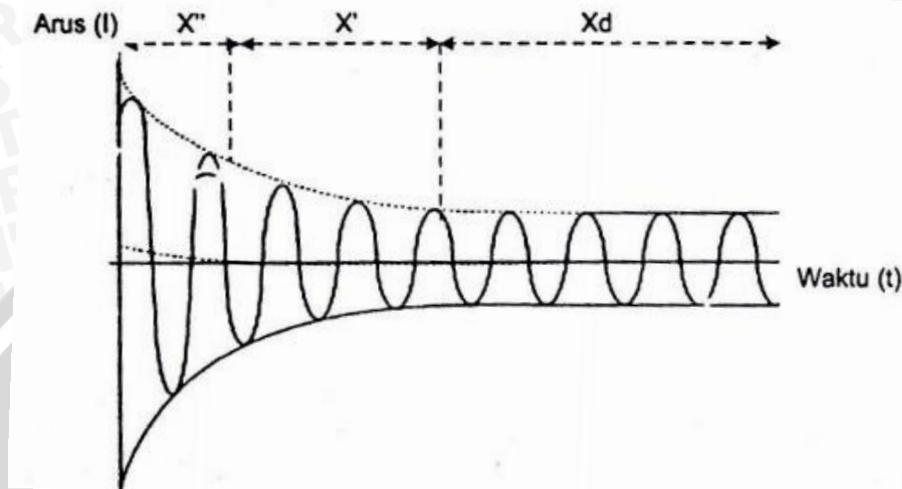
Untuk gangguan yang bersifat sementara setelah arus gangguannya terputus misalnya karena *circuit breaker* oleh rele pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Sedangkan pada gangguan permanen terjadi kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti.

Pada saat terjadi gangguan akan mengalir arus yang sangat besar pada fasa yang terganggu menuju titik gangguan, dimana arus gangguan tersebut mempunyai nilai yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga terjadi kenaikan temperatur yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik yang digunakan.

Menurut IEC 60909-0, gangguan hubung singkat adalah gangguan yang tidak disengaja antara dua atau lebih konduktor yang memaksa perbedaan tegangan antara bagian konduktor sehingga nilainya sama atau mendekati nol. Gangguan hubung singkat 3 fasa sering dianggap sebagai gangguan yang paling berbahaya dibanding jenis gangguan hubung singkat yang lainnya (IEC 60076-5).

Pada saat terjadi gangguan hubung singkat, akan mengalir arus yang sangat tinggi dengan tiba-tiba dari sumber ke titik gangguan. Besarnya arus yang mengalir ini dipengaruhi oleh nilai reaktansi sumber dan reaktansi pada rangkaian yang dialiri arus hubung singkat. Gambar 2.1 merupakan visualisasi dari bentuk gelombang arus hubung singkat. Reaktansi pada beberapa *cycle* pertama sangat kecil dan arus hubung singkatnya tinggi. Reaktansi pada saat ini disebut reaktansi subtransien atau *subtransien reactance* ( $X''_d$ ). Pada umumnya, reaktansi subtransien digunakan untuk menentukan arus awal atau arus rms simetris awal (*initial symmetrical rms current*) yang mengalir

pada saat gangguan hubung singkat terjadi. Beberapa *cylce* kemudian arus hubung singkat cenderung menurun dan reaktansi pada saat ini disebut reaktansi transien atau *transient reactance* ( $X'_d$ ), dan akhirnya kondisinya mencapai *steady state* dan pada saat ini reaktansinya disebut reaktansi sinkron atau *synchronous reactance* ( $X_d$ ).



Gambar 2.1 Gelombang Arus Hubung Singkat  
(Sumber: Lazar, 1980)

Akibat dari arus gangguan hubung singkat banyak pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan yang dapat terjadi (Stevenson, 1996) :

1. Berkurangnya batas-batas kestabilan untuk sistem daya.
2. Rusaknya perlengkapan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus tak seimbang.
3. Ledakan-ledakan yang mungkin terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sewaktu terjadinya suatu hubung singkat, dan yang mungkin menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan orang yang menanganinya dan merusak peralatan-peralatan yang lain.

#### 2.4 Rele sebagai Peralatan Pengaman

Rele merupakan bagian dari peralatan sistem tenaga listrik yang digunakan untuk memberikan sinyal kepada *circuit breaker* untuk memutuskan atau menghubungkan pada sistem tenaga listrik. Rele ini akan memberikan sinyal kepada *circuit breaker* untuk memutuskan sistem tenaga listrik jika terjadi gangguan. Di dalam penyetelan sebuah rele harus dilakukan dengan benar agar tidak terjadi kesalahan

operasi pada saat terjadi gangguan. Oleh karena itu, hal-hal yang mempengaruhi dalam penyetelan rele harus benar-benar diperhatikan.

#### 2.4.1 Syarat Rele Pengaman

Syarat-syarat agar rele pengaman dapat dikatakan bekerja dengan baik dan benar, yaitu (Setiyo Saksomo, tanpa tahun: 2) :

##### 1. Cepat bereaksi

Rele harus cepat bereaksi atau bekerja bila mengalami gangguan atau kerja abnormal. Kecepatan reaksi rele dihitung dari saat rele mulai merasakan adanya gangguan sampai dengan pelaksanaan pelepasan *circuit breaker* karena perintah dari rele tersebut. Waktu beroperasi ini harus diusahakan secepat mungkin sehingga dapat menghindari kerusakan pada alat serta membatasi atau melokalisir daerah yang mengalami gangguan atau kerja abnormal. Mengingat suatu sistem tenaga mempunyai batas-batas stabilitas serta kadang-kadang gangguan bersifat sementara, maka rele yang seharusnya bekerja dengan cepat perlu diperlambat (*time delay*), seperti yang ditunjukkan pada persamaan :

$$t_{op} = t_p + t_{cb} \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan :

$t_{op}$  : total waktu yang diperlukan untuk memutuskan hubungan.(detik)

$t_p$  : waktu bereaksinya unit rele. (detik)

$t_{cb}$  : waktu untuk pelepasan *circuit breaker*.(detik)

Pada umumnya untuk  $t_{op}$  sekitar 0,1 detik kerja peralatan pengaman sudah dianggap bekerja dengan baik.

##### 2. Selektif

Yang dimaksud dengan selektif adalah kecermatan pemilihan dalam mengadakan pengamanan, hal ini menyangkut koordinasi pengamanan dari sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, segala tindakan akan tepat dan akibatnya daerah gangguan dapat dieliminir sekecil mungkin.

### 3. Peka atau sensitif

Rele harus dapat bekerja dengan kepekaan yang tinggi, harus sensitif terhadap gangguan di daerahnya meskipun gangguan di daerah tersebut minimum. Selanjutnya rele harus dapat menerima jawaban terhadap adanya gangguan tersebut untuk membuka *circuit breaker*.

### 4. Andal

Dalam keadaan normal atau tidak ada gangguan, rele tidak bekerja, mungkin berbulan-bulan atau bahkan bertahun-tahun, tetapi bila suatu saat terjadi gangguan maka rele tersebut tidak boleh gagal dalam memberikan respon terhadap gangguan tersebut. Disamping itu rele tidak boleh salah kerja, yaitu kondisi rele yang seharusnya tidak boleh bekerja tetapi rele tersebut malah bekerja. Keandalan rele pengaman ditentukan mulai dari rancangan, pengerjaan, bahwa yang digunakan dan perawatannya. Rele dikatakan andal jika mempunyai nilai keberhasilan operasi 90-99%.

### 5. Sederhana

Makin sederhana sistem makin baik, mengingat setiap peralatan atau komponen rele mempunyai kemungkinan terjadinya kerusakan. Dengan sederhananya sistem rele maka perawatan atau bahkan penggantian rele akibat dari kerusakan menjadi ekonomis.

## 2.5 Rele Arus Lebih

Proteksi arus lebih adalah proteksi terhadap perubahan parameter arus yang sangat besar dan terjadi pada waktu yang cepat, yang disebabkan oleh hubung singkat. Pada proteksi arus lebih ini, rele akan *pick-up* jika besar arus melebihi nilai seting. Elemen dasar dari proteksi arus lebih adalah rele arus. Proteksi arus lebih meliputi proteksi terhadap gangguan hubung singkat yang dapat berupa gangguan hubung singkat fasa ke tanah serta hubung singkat antar fasa. Proteksi terhadap hubung singkat antar fasa dikenal sebagai proteksi arus lebih dan rele yang digunakan disebut rele arus lebih (*over current relay*). Jika arus gangguan mengalir melalui tanah, gangguan ini disebut gangguan hubung singkat ke tanah dan rele yang digunakan disebut proteksi hubung tanah (*ground fault relay*). Secara umum rele arus lebih ada dua macam yaitu rele thermal beban lebih dan rele proteksi hubung singkat.

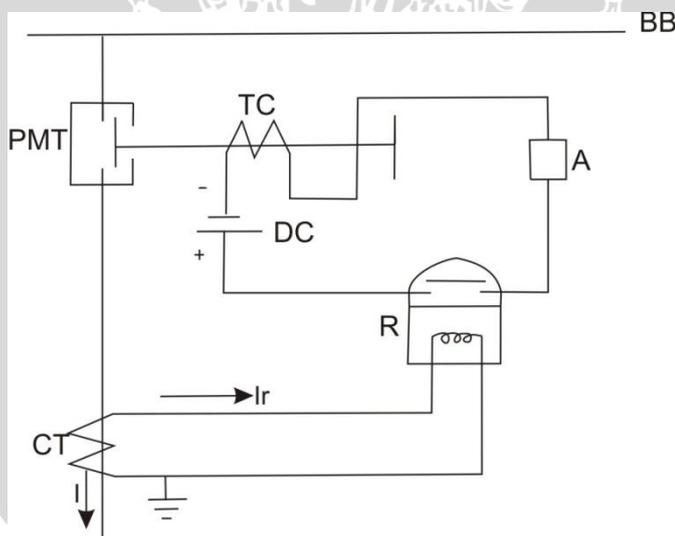
### 2.5.1 Prinsip Kerja dan Karakteristik Pengamanannya

Pada rele arus lebih terdapat tiga macam karakteristik pengamanannya, yaitu (Setiyo Saksomo, tanpa tahun: 26) :

1. Rele arus lebih seketika (*moment instantaneous*).
2. Rele arus lebih waktu tertentu (*definite time*).
3. Rele arus lebih berbanding terbalik (*inverse*).
  - Rele berbanding terbalik biasa (*standart inverse*).
  - Rele sangat berbanding terbalik (*very inverse*).
  - Rele sangat berbanding terbalik sekali (*extremely inverse*).

#### 2.5.1.1 Rele Arus Lebih Seketika

Rele arus lebih seketika adalah jenis rele arus lebih yang paling sederhana dimana jangka waktu kerja rele yaitu mulai saat rele mengalami *pick-up* sampai selesainya kerja rele sangat singkat yakni sekitar 20-100 milidetik tanpa adanya penundaan waktu. Rangkaian dan karakteristik rele arus lebih waktu seketika ditunjukkan pada Gambar 2.2 dan 2.3.



Gambar 2.2 Rangkaian Rele Arus Lebih Seketika

(Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun: 27)

Keterangan :

BB : Busbar.

PMT : Pemutus (*circuit breaker*).

TC : Kumpanan pemutus (*tripping coil*).

DC : Sumber arus searah.

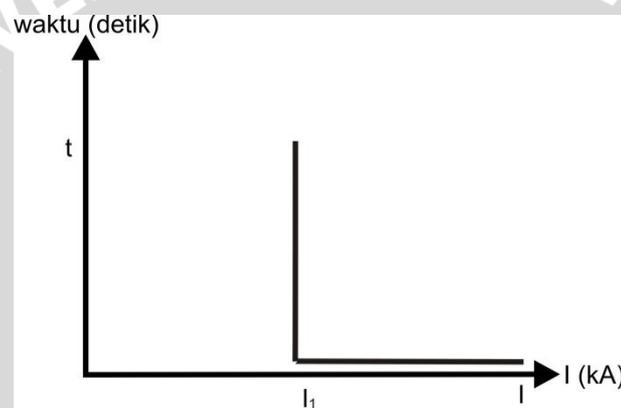
R : Rele arus lebih seketika.

CT : Transformator arus.

I : Arus beban.

$I_r$  : Arus yang melewati kumparan rele.

A : Tanda bahaya (*alarm*).



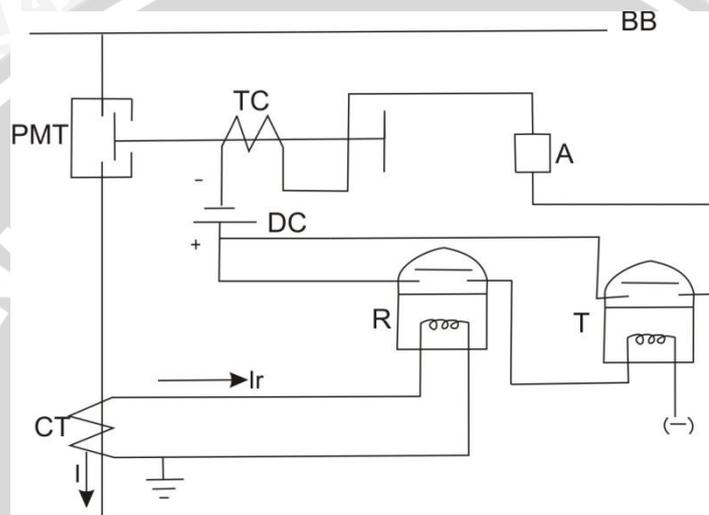
Gambar 2.3 Karakteristik Rele Arus Lebih Seketika  
(Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun: 28)

Bila karena suatu hal sehingga harga arus beban ( $I$ ) naik melebihi harga yang diijinkan, maka harga  $I_r$  juga akan naik. Bila naiknya harga arus ini melebihi harga operasi dari rele, maka rele arus lebih seketika akan bekerja. Kerja dari rele ini ditandai dengan bergeraknya kontaktor gerak rele untuk menutup kontak. Dengan demikian, rangkaian pemutus akan tertutup.

Mengingat pada rangkaian ini terdapat sumber arus searah, maka pada kumparan pemutus akan dialiri arus searah yang selanjutnya akan mengerjakan kontak pemutus sehingga bagian sistem yang harus diamankan terbuka. Untuk mengetahui bahwa rele harus bekerja, maka perlu dipasang suatu *alarm*.

### 2.5.1.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele arus lebih waktu tertentu adalah jenis rele arus lebih dimana jangka waktu rele mulai *pick-up* sampai selesainya kerja rele dapat diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang mengerjakannya (tergantung dari besarnya arus seting, melebihi arus seting maka waktu kerja rele ditentukan oleh waktu setingnya). Rangkaian dari rele arus lebih waktu tertentu ditunjukkan pada Gambar 2.4 dan karakteristiknya di Gambar 2.5 :



Gambar 2.4 Rangkaian Rele Arus Lebih Waktu Tertentu  
(Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun: 29)

Keterangan :

BB : Busbar.

PMT : Pemutus (*circuit breaker*).

TC : Kumpan pemutus (*tripping coil*).

DC : Sumber arus searah.

R : Rele arus lebih seketika.

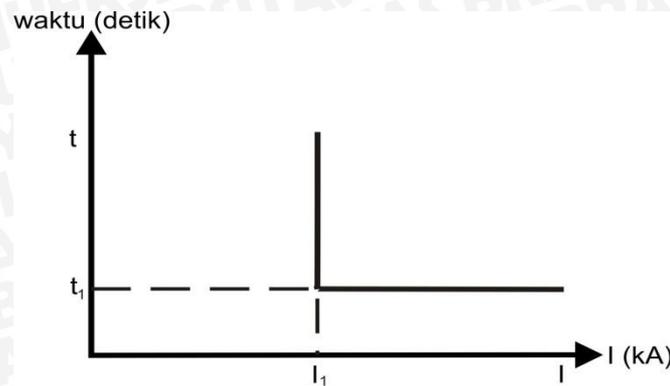
CT : Transformator arus.

I : Arus beban.

$I_r$  : Arus yang melewati kumpan rele.

A : Tanda bahaya (*alarm*).

T : Rele *definite time*.



Gambar 2.5 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu  
(Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun: 29)

Dengan memasang rele kelambatan waktu T (*time lag relay*) ditunjukkan seperti Gambar 2.4, maka beroperasinya rangkaian rele akan tergantung pada seting waktu pada rele kelambatan waktunya. Sedangkan karakteristik kerjanya ditunjukkan pada Gambar 2.5. Dengan pemasangan rele kelambatan waktu, maka pengaman akan bekerja bila dipenuhi kondisi sebagai berikut :

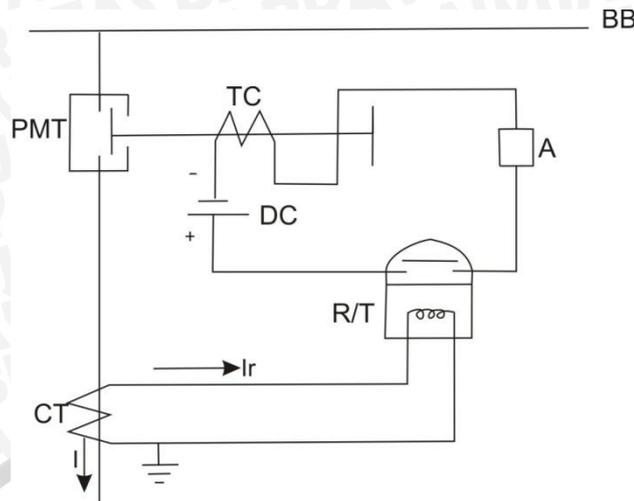
$$t_{tr} = t_{mg} + t_{pr} + t_{pp} \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan :

- $t_{tr}$  : waktu total rele mulai terjadinya gangguan sampai dengan pemutus bekerja. (detik)
- $t_{mg}$  : waktu mulai terjadinya gangguan sampai dengan rele *pick-up*. (detik)
- $t_{pr}$  : waktu penundaan kerja rele. (detik)
- $t_{pp}$  : waktu yang dibutuhkan pemutus bekerja.(detik)

**2.5.1.3 Rele Arus Lebih Berbanding Terbalik**

Rele arus lebih dengan karakteristik waktu arus berbanding terbalik adalah jenis rele arus lebih dimana jangka waktu rele mulai *pick-up* sampai dengan selesainya kerja rele tergantung dari besarnya arus yang melewati kumparan relenya, maksudnya rele tersebut mempunyai sifat terbalik untuk nilai arus dan waktu bekerjanya. Adapun rangkaian dan karakteristiknya ditunjukkan pada Gambar 2.6 dan 2.7 :



Gambar 2.6 Rangkaian Rele Arus Lebih Berbanding Terbalik  
(Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun: 30)

Keterangan :

BB : Busbar.

PMT : Pemutus (*circuit breaker*).

TC : Kumpanan pemutus (*tripping coil*).

DC : Sumber arus searah.

R : Rele arus lebih seketika.

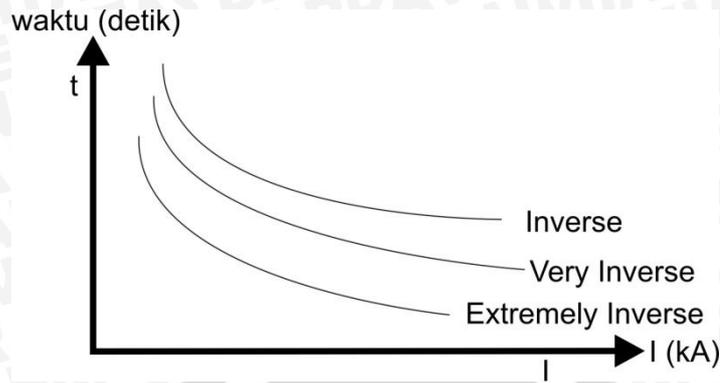
CT : Transformator arus.

I : Arus beban.

$I_r$  : Arus yang melewati kumparan rele.

A : Tanda bahaya (*alarm*).

T : Rele *definite time*.



Gambar 2.7 Karakteristik Rele Arus Lebih Berbanding Terbalik  
(Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun: 31)

Bentuk sifat keterbalikan antara arus dan waktu kerja ini bermacam-macam, akan tetapi kesemuanya itu dapat digolongkan menjadi tiga golongan sebagai berikut :

1. Berbanding terbalik biasa (*inverse*).
2. Sangat berbanding terbalik (*very inverse*).
3. Sangat berbanding terbalik sekali (*extremely inverse*).

## 2.6 Impedansi Hubung Singkat pada Unit Pembangkit Listrik (S)

Impedansi hubung singkat pada transformator  $Z_T = R_T + jX_T$  dengan dan tanpa *on-load tap changer* harus dihitung data transformator :

$$Z_{THV} = \frac{U_{kr}}{100\%} \times \frac{U_{rTHV}^2}{S_{rTHV}} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$R_{THV} = P_{krT} \times \frac{U_{rTHV}^2}{S_{rTHV}^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

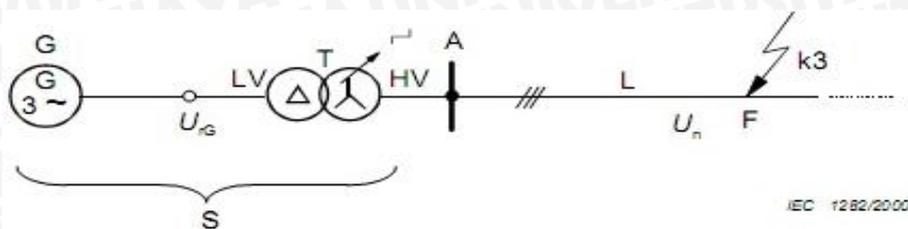
$$X_{THV} = \sqrt{Z_{THV}^2 - R_{THV}^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan :

- $U_{rTHV}$  : Tegangan transformator pada sisi tegangan tinggi (HV). (kV)
- $S_{rTHV}$  : Daya semu transformator pada sisi tegangan tinggi (HV). (MVA).
- $P_{krT}$  : Total rugi transformator pada belitan. (MW)
- $U_{kr}$  : Tegangan hubung singkat dalam persen. (%)



Untuk perhitungan arus hubung singkat di unit pembangkit listrik (S) dengan dan tanpa *on-load tap changer*, persamaan berikut untuk impedansi dari seluruh unit pembangkit listrik (S) digunakan untuk hubung singkat pada sisi tegangan tinggi (HV) di unit transformator. (lihat Gambar 2.8)



Gambar 2.8 Hubung Singkat dari Satu Unit Pembangkit Listrik (S)  
(Sumber: IEC 60909-0)

Menurut IEC 60909-0, rumus untuk menghitung impedansi dari unit pembangkit listrik (S) dengan *on-load tap changer*, yaitu sebagai berikut :

$$Z_S = K_S (t_r^2 \times Z_G + Z_{THV}) \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan:

$$Z_G = R_G + j X''_d \dots\dots\dots(2.7)$$

dan 
$$X''_d = \frac{x_d''}{100\%} \times \frac{U_{rG}^2}{S_{rG}} \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan faktor koreksi :

$$K_S = \frac{U_{nQ}^2}{U_{rG}^2} \times \frac{U_{rTLV}^2}{U_{rTHV}^2} \times \frac{C_{max}}{1 + |x_d'' - x_T| \sin \phi_{rG}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Menurut IEC 60909-0, rumus untuk menghitung impedansi dari unit pembangkit listrik (S) tanpa *on-load tap changer*, yaitu sebagai berikut :

$$Z_{SO} = K_{SO} (t_r^2 \times Z_G + Z_{THV}) \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan:

$$Z_G = R_G + j X''_d \dots\dots\dots(2.11)$$

dan 
$$X''_d = \frac{x_d''}{100\%} \times \frac{U_{rG}^2}{S_{rG}} \dots\dots\dots(2.12)$$



dengan faktor koreksi :

$$K_{SO} = \frac{U_{nQ}}{U_{rG} (1+\rho_G)} \times \frac{U_{rTLV}}{U_{rTHV}} \times (1 \pm \rho_T) \times \frac{C_{\max}}{1+x_d'' \sin \phi_{rG}} \dots\dots\dots(2.13)$$

dengan :

$Z_S$  : Impedansi koreksi dari unit pembangkit listrik (S) dengan *on-load tap changer* mengacu pada sisi tegangan tinggi (HV). ( $\Omega$ )

$Z_{SO}$  : Impedansi koreksi dari unit pembangkit listrik (S) tanpa *on-load tap changer* mengacu pada sisi tegangan tinggi (HV). ( $\Omega$ )

$Z_G$  : Impedansi subtransien generator. ( $\Omega$ )

$Z_{THV}$  : Impedansi unit transformator yang berhubungan dengan sisi tegangan tinggi (HV). ( $\Omega$ )

$U_{rTHV}$  : Tegangan transformator pada sisi tegangan tinggi (HV). (kV)

$U_{rTLV}$  : Tegangan transformator pada sisi tegangan rendah (LV). (kV)

$U_{nQ}$  :Tegangan nominal sistem di titik koneksi *feeder* (Q) pada unit pembangkit listrik (S). (kV)

$U_{rG}$  : Tegangan generator. (kV)

$S_{rG}$  : Daya semu generator. (MVA)

$\Phi_{rG}$  : Sudut fasa antara  $I_{rG}$  dan  $U_{rG}/\sqrt{3}$ .

$R_G$  : Resistansi dari generator. ( $\Omega$ )

$\rho_G$  : Range pengaturan tegangan generator,  $\rho_G = 0,05$  sampai 0,1.

$\rho_T$  : Range penyesuaian tegangan generator.

$X_d''$  : Reaktansi subtransien pada mesin sinkron. ( $\Omega$ )

$x_d''$  : Reaktansi relatif subtransien dari generator yang berhubungan dengan impedansi,  $x_d'' = X_d'' / Z_{rG}$  dimana  $Z_{rG} = U_{rG}^2 / S_{rG}$ . ( $\Omega$ )

$x_T$  : Reaktansi relatif unit transformator di posisi utama pada *on-load tap changer*,  $x_T = X_T / (U_{rT}^2 / S_{rT})$ . ( $\Omega$ )

$t_r$  : Ratio transformasi pada unit transformator,  $t_r = U_{rTHV} / U_{rTLV}$ .

$c_{max}$  : Faktor tegangan sesuai Tabel 2.1

Tabel 2.1 Faktor Tegangan (c)

Tegangan nominal ( $U_n$ )	Faktor Tegangan (c) untuk perhitungan dari	
	Arus hubung singkat maksimum ( $c_{max}$ )	Arus hubung singkat minimum ( $c_{min}$ )
Tegangan rendah 100 V sampai 1000 V	1,05	0,95
	1,1	
Tegangan menengah >1 kV sampai 35 kV	1,10	1,00
Tegangan tinggi >35 kV		

(Sumber: IEC 60909-0)

## 2.7 Perhitungan Arus Hubung Singkat 3 Fasa Simetris Awal ( $\bar{I}''_K$ )

Arus hubung singkat 3 fasa simetris awal atau *initial symmetrical short-circuit current* ( $\bar{I}''_K$ ) adalah nilai efektif pada komponen simetris arus bolak-balik (AC) dari calon arus hubung singkat 3 fasa yang berlaku pada saat gangguan hubung singkat (IEC 60909-0).

Secara umum,  $\bar{I}''_K$  harus dihitung dengan persamaan (2.16) pada gangguan di F. Arus  $\bar{I}''_{KS}$  dihitung menurut impedansi hubung singkat pada unit pembangkit listrik (S) dengan *on-load tap changer* berdasarkan persamaan (2.14). Jika Arus  $\bar{I}''_{KS}$  dihitung menurut impedansi hubung singkat pada unit pembangkit listrik (S) tanpa *on-load tap changer* berdasarkan persamaan (2.15), yaitu sebagai berikut :

$$\bar{I}''_{KS} = \frac{cU_{nQ}}{\sqrt{3} Z_S} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\bar{I}''_{KS} = \frac{cU_{nQ}}{\sqrt{3} Z_{S0}} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$\text{sehingga } \bar{I}_K'' = \bar{I}_{KS}'' \dots \dots \dots (2.16)$$

dengan :

$U_{nQ}$  : Tegangan nominal sistem di *feeder* (Q). (kV)

$Z_S$  : Impedansi dari unit pembangkit listrik (S) dengan *on-load tap changer*.  
( $\Omega$ )

$Z_{SO}$  : Impedansi dari unit pembangkit listrik (S) tanpa *on-load tap changer*.  
( $\Omega$ )

$\bar{I}_{KS}''$  : Arus hubung singkat 3 fasa simetris awal di unit pembangkit listrik (S)  
dengan *on-load tap changer*. (kA)

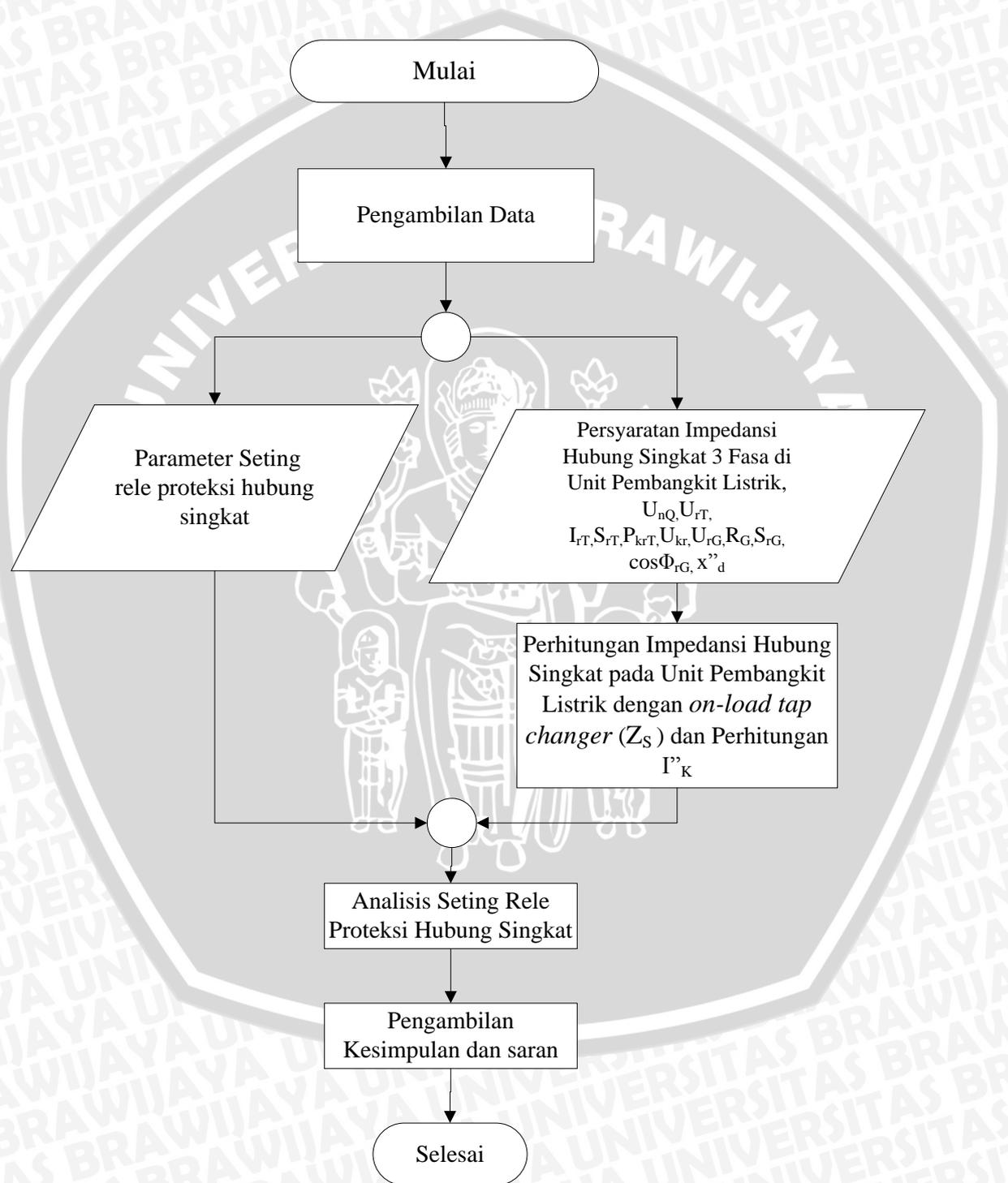
$\bar{I}_K''$  : Arus hubung singkat 3 fasa simetris awal. (kA)



### BAB III

#### METODE PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian, maka diperlukan untuk menyelesaikan masalah tersebut sesuai dengan Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian  
(Sumber: Penulis)

### 3.1 Pengambilan Data

Pengambilan data yang dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan penelitian. Data-data yang dikumpulkan berupa data sekunder. Adapun langkah-langkah pengambilan data penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.

#### 3.1.1 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang bersumber dari IEC 60909-0, IEC 60909-4, IEC 60076-5, IEEE Std.C57.109-1993, IEEE Std.C37.100-1992, dan buku manual peralatan listrik dari pabrikan SIEMENS. Data yang dibutuhkan antara lain :

1. Diagram satu garis pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL untuk mengetahui sistem secara detail dan mengetahui pemasangan letak rele proteksi hubung singkat dan *circuit breakernya*.
2. Spesifikasi transformator 3 fasa merek SIEMENS dengan kapasitas 21 kV/512,5 kV dengan daya 765 MVA pada pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL Jawa Timur.
3. Data untuk perhitungan impedansi hubung singkat pada unit pembangkit listrik (S) dengan *on-load tap changer* yang dibutuhkan antara lain :
  - 1) Pada *feeder* (Q), yaitu :
    - $U_{nQ}$  : Tegangan nominal sistem di koneksi *feeder* (Q). (kV)
  - 2) Pada transformator 3 fasa dengan kapasitas 21 kV/512,5 kV, yaitu :
    - $U_{rTHV}$  : Tegangan transformator di sisi tegangan tinggi. (kV)
    - $S_{rTHV}$  : Daya semu transformator di sisi tegangan tinggi. (MVA)
    - $P_{krT}$  : Total rugi transformator pada belitan. (MW)
    - $U_{kr}$  : Tegangan hubung singkat dalam persen. (%)
  - 3) Pada generator , yaitu :
    - $U_{rG}$  : Tegangan generator. (kV)
    - $R_G$  : Resistansi dari generator. ( $\Omega$ )
    - $S_{rG}$  : Daya semu generator. (MVA)
    - $\cos\Phi_{rG}$  : Sudut fasa antara  $I_{rG}$  dan  $U_{rG}$ .
    - $x''_d$  :Reaktansi relatif subtransien dari generator yang berhubungan dengan impedansi.
4. Parameter seting rele proteksi hubung singkat.

5. Persyaratan untuk perhitungan impedansi hubung singkat di unit pembangkit listrik (S) dengan *on-load tap changer* dan perhitungan arus hubung singkat 3 fasa simetris awal ( $\bar{I}''_K$ ).

### 3.2 Prosedur Perhitungan

Langkah-langkah perhitungan di lokasi gangguan F pada pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL dilakukan sebagai berikut :

1. Menghitung impedansi hubung singkat pada unit pembangkit listrik (S) dengan *on-load tap changer*. Tahap-tahapnya, yaitu :
  - Menghitung impedansi di unit pembangkit listrik (S) dengan menggunakan persamaan (2.6). Tetapi sebelumnya harus menghitung dengan persamaan (2.3), (2.4), (2.5), (2.7), (2.8), dan (2.9) terlebih dahulu.
2. Menghitung arus hubung singkat 3 fasa simetris awal ( $\bar{I}''_K$ ). Pada tahap ini menghitung arus gangguan 3 fasa di lokasi gangguan F dengan menggunakan persamaan (2.14), dan (2.16).

Perhitungan diatas dilakukan perhitungan sesuai persamaan yang telah dicantumkan pada BAB II.

### 3.3 Analisis Seting Rele Proteksi Hubung Singkat

Setelah perhitungan diatas sudah dilakukan, langkah selanjutnya adalah dilakukan mengenai analisis seting yang tepat dari rele tersebut saat terjadi gangguan hubung singkat di pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL.

### 3.4 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan teori, hasil perhitungan serta analisis. Tidak hanya itu, akan dicantumkan juga saran untuk PT. YTL, misalnya seting rele yang tepat untuk rele proteksi hubung singkat pada pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL.

## BAB IV

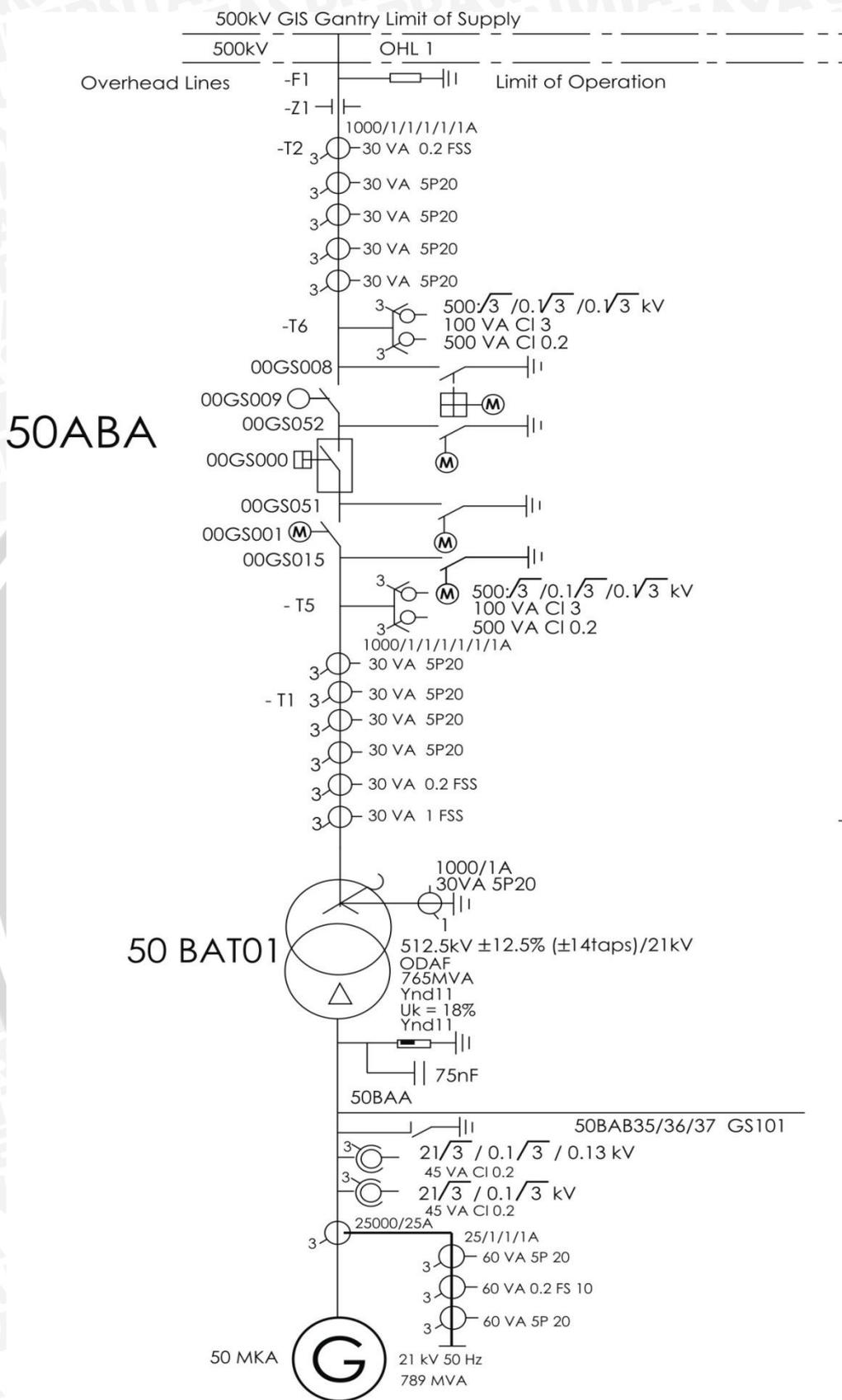
### PERHITUNGAN DAN ANALISIS

#### 4.1 Transformator pada Pembangkit Unit 5 dan 6 di PT. YTL

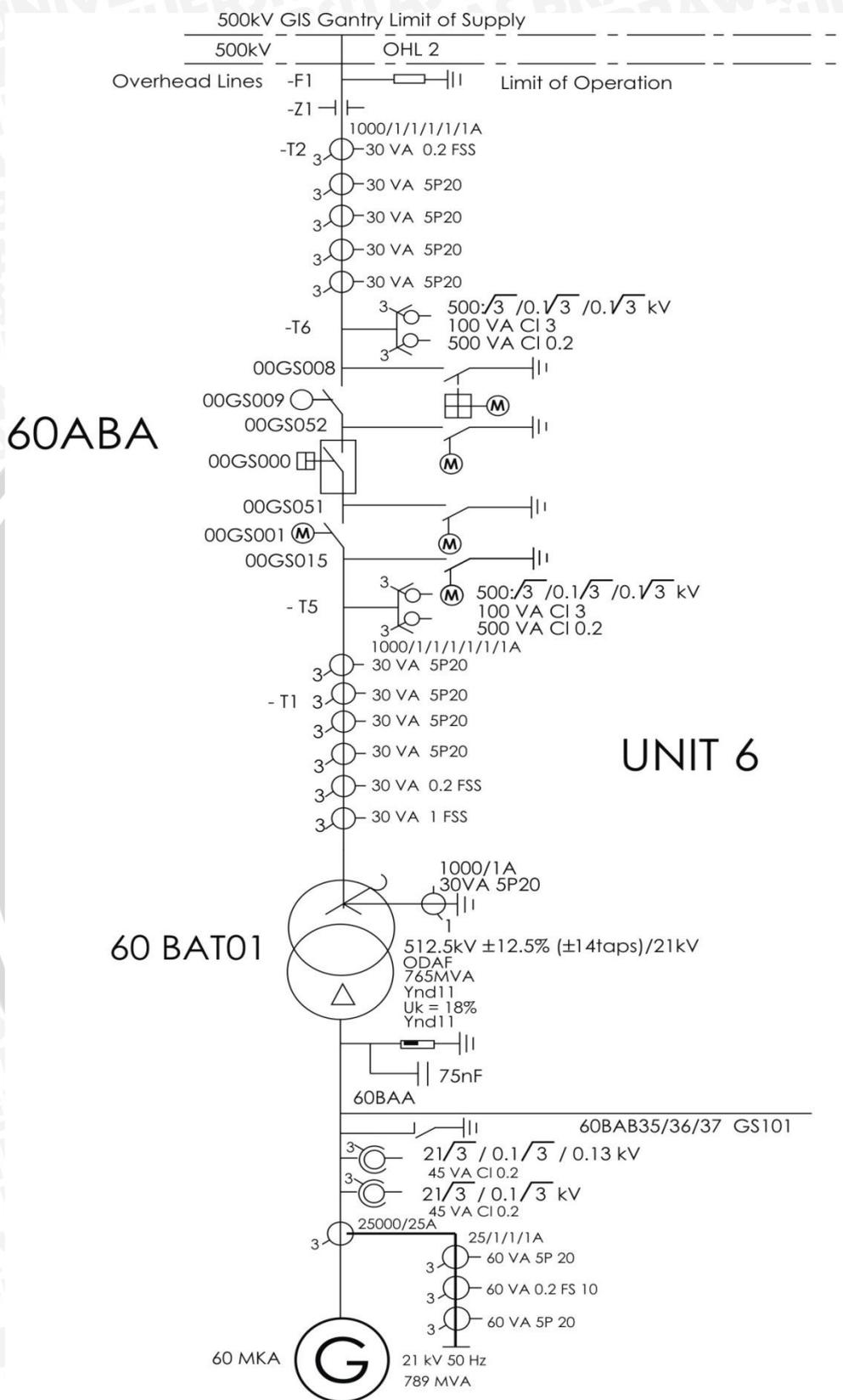
PT. Yang Tiong Lai (YTL) di pembangkit unit 5 dan 6 mempunyai 3 transformator yang ketiganya merupakan satu tipe. Merek dari transformator tersebut adalah SIEMENS buatan tahun 1998. Dari ketiga transformator yang dimiliki, dua diantaranya dioperasikan dan satu buah sebagai cadangan apabila terjadi kerusakan pada transformator yang lainnya. Transformator 21 kV/512,5 kV pada pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL adalah tipikal, maksudnya adalah spesifikasi, karakteristik, dan sistem proteksi dari transformatornya adalah sama. Pembangkit unit 5 dan 6 interkoneksi dengan *feeder* (Q) 500 kV yang terhubung dengan PLN. Hal yang membedakan hanya penulisan *tag number*nya saja. Bentuk fisik transformatornya ditunjukkan pada Gambar 4.1. Transformatornya merupakan jenis transformator penaik tegangan, yang menaikkan tegangan keluaran dari transformator yaitu 21 kV menjadi 512,5 kV dengan frekuensi 50 Hz. Diagram satu garis dari pembangkit unit 5 dan 6 ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.1 Transformator 3 Fasa 21 kV/512,5 kV pada Pembangkit Unit 5 dan 6 di PT. YTL (Sumber: PT. YTL)



Gambar 4.2 Diagram Satu Garis Pembangkit Unit 5 di PT. YTL  
(Sumber: Siemens AG, 2000)



Gambar 4.3 Diagram Satu Garis Pembangkit Unit 6 di PT. YTL  
(Sumber: Siemens AG, 2000)

Dari Gambar 4.2 dan 4.3 ditunjukkan bahwa sebelum mensuplai ke PLN melalui *feeder* (Q) 500 kV, tegangan keluaran generator 21 kV dinaikkan melalui transformator penaik tegangan menjadi 512,5 kV. Tegangan 512,5 kV merupakan tegangan yang akan disuplai ke PLN.

Spesifikasi transformator dan generator pada pembangkit unit 5 dan 6 tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4.1 Spesifikasi Transformator Penaik Tegangan

Daya semu transformator ( $S_{rT}$ )	765 MVA
Tegangan transformator pada sisi HV atau LV ( $U_{rT}$ )	512,5 kV / 21 kV
Arus transformator pada sisi HV atau LV ( $I_{rT}$ )	0,862 kA / 21 kA
Frekuensi	50 Hz
Tegangan hubung singkat dalam persen ( $U_{kr}$ )	18 %
Total rugi transformator pada belitan. ( $P_{krT}$ )	1,44 MW
Jumlah fasa	3

(Sumber: Siemens AG, 1998)

Tabel 4.2 Spesifikasi Generator

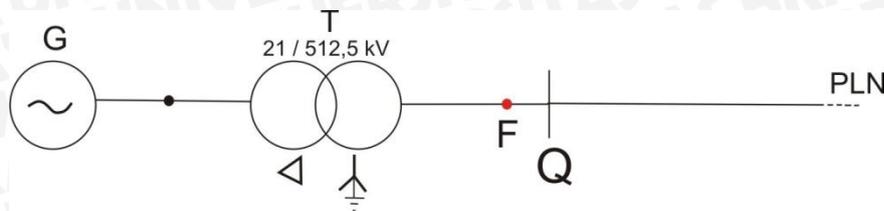
Daya semu generator ( $S_{rG}$ )	789 MVA
Tegangan generator ( $U_{rG}$ )	21 kV
Resistansi dari generator ( $R_G$ )	0,0009347 $\Omega$
Reaktansi relatif subtransien ( $x''_d$ )	23,5 %
Sudut fasa antara $I_{rG}$ dan $U_{rG}$ ( $\cos \Phi_{rG}$ )	0,85
Frekuensi	50 Hz
Jumlah fasa	3

(Sumber: Siemens AG, 1998)

#### 4.2 Lokasi Gangguan

Lokasi gangguan hubung singkat 3 fasa di F yang dianalisis pada pembangkit unit 5 dan 6 adalah sama pada sisi tegangan tinggi (HV) transformator yaitu 512,5 kV. Karena data pembangkit unit 5 dan 6, dan lokasi gangguan adalah sama. Maka untuk

bisa menghitung besarnya arus hubung singkat 3 fasa simetris awal ( $\bar{I}''_K$ ) pada masing-masing unit, bisa direpresentasikan dengan diagram satu garis pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Lokasi Gangguan (F) pada Pembangkit Unit 5 dan 6 di PT. YTL  
(Sumber: Penulis)

### 4.3 Rele Proteksi Hubung Singkat

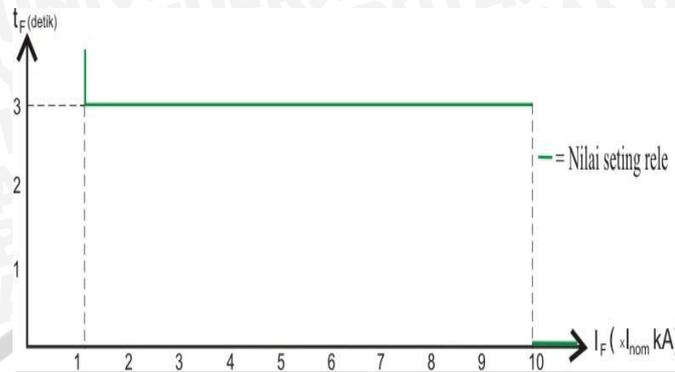
Tipe rele proteksi hubung singkat (*short circuit protection relay*) merupakan jenis dari rele arus lebih dan termasuk buatan dari SIEMENS. Rele tersebut memiliki karakteristik yaitu karakteristik rele arus lebih waktu tertentu (*definite time*). Rele ini berfungsi mengamankan transformator 3 fasa 21 kV/512,5 kV bila terjadi gangguan hubung singkat. Bentuk fisiknya ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Rele Proteksi Hubung Singkat pada Pembangkit Unit 5 dan 6 di PT. YTL  
(Sumber: PT. YTL)

Rele proteksi hubung singkat akan bekerja jika waktu gangguan hubung singkat ( $t_F$ ) lebih dari atau sama dengan 3 detik dan nilai arus hubung singkatnya ( $I_F$ ) antara 1,2 kali sampai 10 kali arus nominalnya ( $I_{nom}$ ) maka rele tersebut akan memerintahkan pemutus tenaga untuk membuka (Siemens AG,1995). Karakteristik seting rele proteksi

hubung singkat ditunjukkan di Gambar 4.6. Untuk data yang lebih lengkap mengenai seting dari rele proteksi hubung singkat ditunjukkan pada Lampiran 1.



Gambar 4.6 Karakteristik Seting Rele Proteksi Hubung Singkat pada Pembangkit Unit 5 dan 6 di PT. YTL  
(Sumber: Penulis)

#### 4.4 Perhitungan Impedansi Hubung Singkat pada Pembangkit Listrik (S)

Perhitungan impedansi dari seluruh unit pembangkit listrik (S) dengan *on-load tap changer* digunakan untuk perhitungan arus hubung singkat 3 fasa simetris awal ( $\bar{I}''_K$ ) pada sisi tegangan tinggi (HV) di transformator 3 fasa. Spesifikasi transformator dan generator pada pembangkit unit 5 dan 6 ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan 4.2. Untuk menghitung impedansi hubung singkat pada unit pembangkit listrik (S) dengan *on-load tap changer* pada persamaan (2.6). Maka terlebih dahulu menghitung impedansi hubung singkat pada transformator 3 fasa di sisi tegangan tinggi ( $Z_{THV}$ ), impedansi subtransien generator ( $Z_G$ ), rasio transformasi pada transformator ( $t_r$ ), dan faktor koreksi untuk impedansi unit pembangkit listrik dengan *on-load tap changer* ( $K_S$ ).

Untuk menghitung impedansi hubung singkat pada transformator 3 fasa di sisi tegangan tinggi ( $Z_{THV}$ ) yaitu sebagai berikut :

$$Z_{THV} = \frac{U_{kr}}{100\%} \times \frac{U_{rTHV}^2}{S_{rTHV}} = \frac{18\%}{100\%} \times \frac{512,5^2 \text{ kV}}{765 \text{ MVA}} = 61,8015 \Omega$$

$$R_{THV} = P_{krT} \times \frac{U_{rTHV}^2}{S_{rTHV}^2} = 1,44 \text{ MW} \times \frac{512,5^2 \text{ kV}}{765^2 \text{ MVA}} = 0,6463 \Omega$$

$$X_{THV} = \sqrt{Z_{THV}^2 - R_{THV}^2} = \sqrt{(61,8015)^2 - (0,6463)^2} = 61,7981 \Omega$$

Jadi impedansi hubung singkat transformator 3 fasa di sisi tegangan tinggi yaitu :

$$Z_{THV} = R_{THV} + j X_{THV} = (0,6463 + j 61,7981) \Omega$$

Untuk menghitung impedansi hubung singkat impedansi subtransien generator ( $Z_G$ ) yaitu sebagai berikut :

$$X''_d = \frac{x''_d}{100\%} \times \frac{U_{rG}^2}{S_{rG}} = \frac{23,5\%}{100\%} \times \frac{21^2 \text{ kV}}{789 \text{ MVA}} = 0,1314 \Omega$$

Jadi impedansi hubung singkat impedansi subtransien generator yaitu :

$$Z_G = R_G + j X''_d = (0,0009347 + j 0,1314) \Omega$$

Sedangkan untuk rasio transformasi pada transformator, yaitu sebagai berikut :

$$t_r = \frac{U_{rTHV}}{U_{rTLV}} = \frac{512,5 \text{ kV}}{21 \text{ kV}} = 24,4048$$

Untuk menghitung faktor koreksi untuk impedansi unit pembangkit listrik (S) dengan *on-load tap changer*, maka terlebih dahulu menghitung  $x_T$  dan  $x''_d$  yaitu sebagai berikut :

$$x_T = \frac{X_{rTHV}}{\frac{U_{rTHV}^2}{S_{rT}}} = \frac{61,7981}{\frac{512,5^2 \text{ kV}}{765 \text{ MVA}}} = 61,7981 \times \frac{765 \text{ MVA}}{512,5^2 \text{ kV}} = 0,1799 \Omega$$

dan

$$x''_d = \frac{X''_d}{Z_{rG}} = \frac{X''_d}{\frac{U_{rG}^2}{S_{rG}}} = \frac{0,1314}{\frac{21^2 \text{ kV}}{789 \text{ MVA}}} = 0,1314 \times \frac{789 \text{ MVA}}{21^2 \text{ kV}} = 0,2349 \Omega$$

Jadi faktor koreksi untuk impedansi unit pembangkit listrik dengan *on-load tap changer* ( $K_S$ ) yaitu :

$$\begin{aligned} K_S &= \frac{U_{nQ}^2}{U_{rG}^2} \times \frac{U_{rTLV}^2}{U_{rTHV}^2} \times \frac{C_{\max}}{1 + |x''_d - x_T| \sin \varphi_{rG}} \\ &= \frac{(500 \text{ kV})^2}{(21 \text{ kV})^2} \times \frac{(21 \text{ kV})^2}{(512,5 \text{ kV})^2} \times \frac{1,1}{1 + |0,2349 - 0,1799| \sin 31,788^\circ} = 1,0175 \end{aligned}$$

Jadi impedansi hubung singkat unit pembangkit listrik dengan *on-load tap changer* :

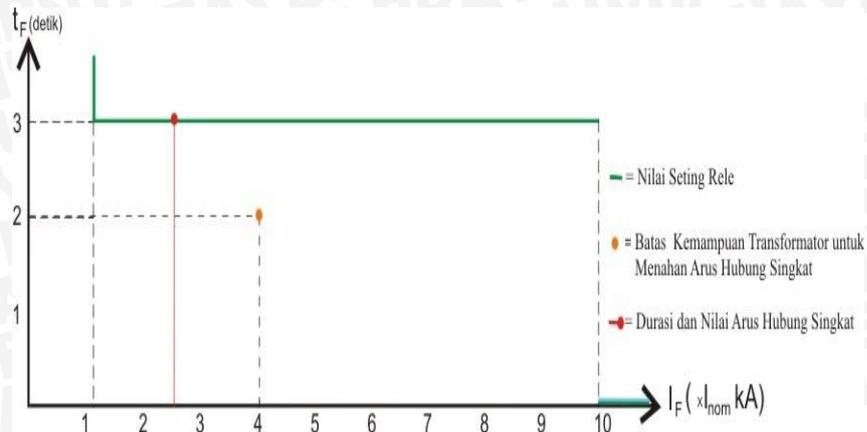
$$\begin{aligned} Z_S &= K_S (t_r^2 \times Z_G + Z_{rTHV}) \\ &= 1,0175 [ ((24,4048)^2) \times (0,0009347 + j 0,1314) + (0,6463 + j 61,7981) ] \\ &= (1,2241 + j 142,4811) \Omega \end{aligned}$$



#### 4.6 Analisis Seting dari Rele Proteksi Hubung Singkat

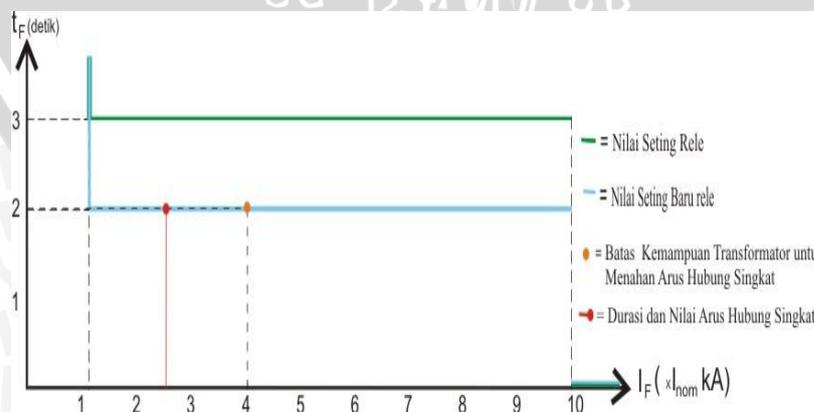
Setelah melakukan perhitungan arus hubung singkat 3 fasa simetris awal ( $\bar{I}''_K$ ) yaitu sebesar 2,23 kA sama dengan arus hubung singkat 3 fasa simetris awal yang disuplai dari unit pembangkit listrik ( $\bar{I}''_{KS}$ ). Serta arus hubung singkat ( $I_F$ ) adalah 2,59 kalinya dari arus nominal ( $I_{nom}$ ) pada transformator. Saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa, rele proteksi hubung singkat sebenarnya sudah mendeteksi adanya gangguan tersebut karena arus hubung singkat ( $I_F$ ) yaitu 2,59 kalinya dari arus nominal ( $I_{nom}$ ) pada transformator sudah memenuhi syarat rele tersebut untuk bekerja, tetapi waktu gangguan hubung singkat ( $t_F$ ) belum memenuhi syarat rele untuk bekerja yaitu lebih dari atau sama dengan 3 detik. Sehingga rele proteksi hubung singkat tidak bekerja.

Karena syarat rele tersebut bekerja yaitu jika waktu gangguan hubung singkat ( $t_F$ ) selama lebih dari atau sama dengan 3 detik dan nilai arus hubung singkat ( $I_F$ ) antara 1,2 kali sampai 10 kali arus nominalnya ( $I_{nom}$ ) maka rele tersebut akan memerintahkan pemutus tenaga untuk membuka (Siemens AG, 1995). Untuk lebih jelas mengenai karakteristik seting rele tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.8. Karena rele baru bekerja saat 3 detik, maka transformator tersebut akan menerima arus hubung singkat 3 fasa simetri awal ( $\bar{I}''_K$ ) sebesar 2,23 kA selama 3 detik. Padahal menurut IEC 60076-5, batas kemampuan transformator untuk menahan lamanya waktu gangguan hubung singkat ( $t_F$ ) maksimal selama 2 detik, ini ditunjukkan pada Gambar 4.8. Sehingga arus sebesar 2,23 kA dengan waktu gangguan hubung singkat ( $t_F$ ) 3 detik ini akan sangat berbahaya bagi transformator dan berpotensi merusak transformator tersebut. Jadi seting dari rele proteksi hubung singkat pada pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL yaitu kurang tepat.



Gambar 4.8 Perbandingan Arus Hubung Singkat terhadap Batas Kemampuan Transformator serta Karakteristik Rele Proteksi Hubung Singkat (Sumber: Penulis)

Sehingga seting yang tepat untuk rele proteksi hubung singkat pada pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL yaitu dengan mengubah seting waktu dari 3 detik menjadi 2 detik. Seting baru rele proteksi hubung singkat ditunjukkan pada Gambar 4.9. Dengan mengubah waktu rele proteksi hubung singkat untuk bekerja yaitu lebih dari atau sama dengan 2 detik maka jika terjadi gangguan lagi dengan nilai arus hubung singkat ( $I_F$ ) yang sama dan terjadi pada sisi tegangan tinggi transformator 3 fasa maka rele akan langsung memerintahkan *circuit breaker* untuk bekerja pada waktu 2 detik. Hal ini juga sesuai dengan batas kemampuan transformator untuk menahan lamanya waktu gangguan hubung singkat ( $t_F$ ) maksimal selama 2 detik (IEC 60076-5). Jadi dengan mengubah seting tersebut, diharapkan dapat mengurangi potensi kerusakan transformator 3 fasa 21 kV/512,5 kV pada pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL semakin kecil.



Gambar 4.9 Perbandingan Karakteristik Seting lama dan Baru dari Rele Proteksi Hubung Singkat di Pembangkit Unit 5 dan 6 di PT. YTL (Sumber: Penulis)

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis tentang seting yang tepat untuk rele proteksi hubung singkat sebagai pengaman utama transformator 3 fasa dengan kapasitas 21 kV/512,5 kV pada pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL, didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Tahap-tahap untuk melakukan seting rele proteksi hubung singkat pada pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL, yaitu :
  - Menghitung impedansi hubung singkat pada unit pembangkit listrik (S) dengan *on-load tap changer*. Setelah dilakukan perhitungan, maka  $Z_S = (1,2241 + j 142,4811) \Omega$
  - Menghitung arus hubung singkat 3 fasa simetris awal ( $\bar{I}''_K$ ). Setelah dilakukan perhitungan, maka  $\bar{I}''_K = 2,23 \text{ kA}$ .
  - Melakukan analisis seting dari rele proteksi hubung singkat. Ternyata Seting waktu rele proteksi hubung singkat pada unit 5 dan 6 di PT. YTL kurang tepat.
2. Seting waktu rele proteksi hubung singkat pada unit 5 dan 6 di PT. YTL kurang tepat. Karena rele ini akan menyuruh *circuit breaker* untuk membuka jika waktu gangguan hubung singkat ( $t_F$ ) sama dengan 3 detik dan ini tidak sesuai dengan batas kemampuan transformator untuk menahan lamanya waktu gangguan hubung singkat ( $t_F$ ) yaitu maksimal selama 2 detik (IEC 60076-5). Agar sesuai dengan batas kemampuan transformator menahan gangguan hubung singkat, maka seting waktu rele tersebut yang tepat adalah 2 detik.

#### 5.2 Saran

Sehingga dengan adanya penelitian ini, diharapkan bisa dijadikan acuan oleh PT. YTL bila ingin membuat seting yang tepat pada rele proteksi hubung singkat (*short circuit protection relay*) saat terjadi gangguan hubung singkat di sisi tegangan tinggi pada transformator 3 fasa di pembangkit unit 5 dan 6 PT. YTL yaitu dengan mengubah seting waktu rele proteksi hubung singkat dari 3 detik menjadi 2 detik. Jadi dengan mengubah seting tersebut, diharapkan dapat mengurangi potensi kerusakan transformator 3 fasa 21 kV/512,5 kV pada pembangkit unit 5 dan 6 di PT. YTL semakin kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hutauruk, Tumpak S. 1991. *Pentanahan Titik Netral Sistem Tenaga dan Pentanahan Peralatan*. Jakarta: Erlangga.
- IEC. 1976. *IEC 60076-5: Ability to withstand Short Circuit*. Switzerland: International Electrotechnical Commission.
- IEC. 2000. *IEC 60909-4: Examples for The Calculation of Short-Circuit Currents*. Switzerland: International Electrotechnical Commission.
- IEC. 2001. *IEC 60909-0: Calculation of Currents*. Switzerland: International Electrotechnical Commission.
- IEEE Std. C37.100. 1992. *IEEE Guide for Liquid-Immersed Transformer Through-Fault-Current Duration*. USA: IEEE Inc.
- IEEE Std. C57.109. 1993. *IEEE Standard Definitions for Power Switchgear*. USA: IEEE Inc.
- Lazar, Irwin. 1980. *Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant*. USA: McGraw-Hill.
- Saksomo, Setiyo. Tanpa tahun. *Diktat Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Siemens AG. 1995. *Numerical Overcurrent Time Protection and Overload Protection*. Germany: Siemens AG.
- Siemens AG. 1998. *Generator Transformer*. Germany: Siemens AG.
- Siemens AG. 2001. *Calculation/Relay Settings*. Germany: Siemens AG.
- Siemens AG. 2000. *Unit Protection, Synchronizing/Aux.Cubicle for Protection*. Germany: Siemens AG.
- SPLN 8-5. 1991. *Transformator Tenaga Bagian 5: Kemampuan Menahan Hubung Singkat*. Jakarta: PLN.
- Stevenson, William D. 1996. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

# LAMPIRAN I

**Karakteristik dan Seting Rele Proteksi Hubung  
Singkat di PT. YTL**



DIGSI V3.30

19.01.00 11:02

User: KWU S15/Franz Toifl

Substation: 001 Paiton\_OCHA  
 Feeder: 025\_OCHA12 -F25  
 Protection device: 025\_7SJ511 V3.2x 7SJ511\*\*\*\*0\*0A\*\*

## Configuration

7100 INTEGRATED OPERATION

7101 Language English  
 7102 Date format dd.mm.yyyy  
 7105 Operational message for 1st display line 0652 Current in phase IL2 =  
 7106 Operational message for 2nd display line 0654 Operational measurement: IEa  
 7107 Fault message for 1st display line 0541 Type of flt.det. (ass. phase  
 7108 Fault message for 2nd display line 0546 Time from fault detection to  
 7110 Fault indication: LED and LCD With fault detection

7200 PC AND SYSTEM INTERFACES

7211 Data format for PC-interface DIGSI V3  
 7215 Transmission baud rate for PC-interface 9600 Baud  
 7216 Parity and stop-bits for PC-interface DIGSI V3

7400 FAULT RECORDINGS

7402 Initiation of data storage Storage by fault det  
 7403 Scope of stored data Fault event  
 7410 Maximum time period of a fault recording 1.00 s  
 7411 Pre-trigger time for fault recording 0.10 s  
 7412 Post-fault time for fault recording 0.10 s  
 7431 Storage time by initiation via binary input 0.50 s  
 7432 Storage time by initiation via keyboard 0.50 s

7800 SCOPE OF FUNCTIONS

7812 Characteristic O/C protection phases Definite time  
 7815 Characteristic O/C protection earth Definite time  
 7827 Thermal overload protection Non-existent  
 7885 Parameter change-over Non-existent  
 7899 Rated system frequency fN 50 Hz

7900 DEVICE CONFIGURATION

7910 CB test via binary input program Three-pole trip

## Device control

## Marshalling

6100 MARSHALLING BINARY INPUTS

6101 Binary input 1  
 6102 Binary input 2

6200 MARSHALLING SIGNAL RELAYS

6201 Signal relay 1  
 001 1815 O/C protection I> phase trip  
 002 1805 O/C protection I>> phase trip  
 6202 Signal relay 2  
 001 1836 O/C protection IE> earth trip  
 002 1833 O/C protection IE>> earth trip  
 6203 Signal relay 3  
 6204 Signal relay 4

6300 MARSHALLING LED INDICATORS

6301 LED 1  
 001 1815 O/C protection I> phase trip memorized  
 6302 LED 2  
 001 1805 O/C protection I>> phase trip memorized  
 6303 LED 3  
 001 1836 O/C protection IE> earth trip memorized



