

**PENGOPRASIAN KARAKTERISTIK SISTEM PROTEKSI DAN SALURAN
TRANSMISI MENENGAH DAN PANJANG**



TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
guna memperoleh Gelar Diploma Tiga (D-3)
pada Politeknik Negeri Ujung Pandang**

KHIYARUL ANWAR (342 10 038)

SUMARDIN (342 10 045)

**PROGRAM STUDI TEKNIK KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2014**

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan Judul Pengujian Karakteristik Sistem Proteksi dan Saluran Transmisi Menengah dan Panjang di Lab. Sistem Kelistrikan Terpadu oleh Khiyarul Anwar dan Sumardin , nomor induk mahasiswa 342 10 038 dan 342 10 045 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Diploma Tiga pada program studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Oktober 2014

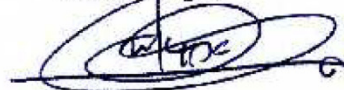
Mengesahkan,

Pembimbing I,



Ir. Herman Nauwir, M.T.
NIP. 19580606 198903 1 001

Pembimbing II,



Sukma Abadi, S.T., M.T.
NIP. 19751024 200312 1 001

Mengetahui,

a.n Direktur,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Muh. Tekad, S.T., M.T.
NIP 19650824 199003 1 003



PENERIMAAN PANITIA UJIAN

Pada hari ini, Rabu 29 Oktober 2014 Panitia Ujian Sidang Tugas Akhir telah menerima dengan baik hasil Tugas Akhir oleh mahasiswa:

Khiyarul Anwar 342 10 038

Sumardin 342 10 045

Dengan Judul “Pengoprasian Karakteristik Sistem Proteksi dan Saluran Transmisi Menengah dan Panjang” untuk memenuhi salah satu syarat guna menyelesaikan Studi pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Oktober 2014

Panitia Ujian Sidang Tugas Akhir:

- | | |
|---------------------------------------|---------------|
| 1. A. M. Shiddiq Yunus, Ph.D. | Ketua |
| 2. Sonong, S.T., M.T. | Sekretaris |
| 3. Ir. Remigius Tandioga, M. Eng. Sc. | Anggota |
| 4. Ir. Herman Nauwir, M. T. | Pembimbing I |
| 5. Sukma Abadi, S.T., M. T. | Pembimbing II |

(*[Signature]*)
(*[Signature]*)
(*[Signature]*)
(*[Signature]*)
(*[Signature]*)

UJUNG PANDANG

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas Berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir **“pengoperasian karakteristik sistem proteksi saluran transmisi menengah dan panjang”**.

Laporan Tugas Akhir ini kami laksanakan sebagai salah satu syarat dalam proses penyelesaian studi pada Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, banyak sekali pihak yang telah terlibat dan berperan serta untuk mewujudkan selesainya Laporan Tugas Akhir, karena itu penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada mereka yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.

Dalam kesempatan ini kami juga ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Tuhan yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang yang telah memberikan kesehatan, kekuatan serta inspirasi kepada kami untuk menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua kami tercinta, juga kepada saudara-saudara kami yang telah memberikan banyak bantuan berupa dorongan moril, bantuan materil, serta tak

henti-hentinya memberikan doa yang tulus kepada kami dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.

3. Dr. Ir. Hamzah Yusuf, M.S. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Muh. Tekad, ST. MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Sukma Abadi, S.T, M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
6. Ir. Herman Nauwir, M.T. selaku pembimbing I dan Sukma Abadi, S.T, M.T selaku Pembimbing II yang dengan ikhlas dan penuh kesabaran meluangkan waktunya dan memberikan bimbingan serta dukungan moril kepada kami dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
7. Segenap dosen Jurusan Teknik Mesin pada umumnya dan Program Studi Teknik Konversi Energi pada khususnya yang selama kurun waktu 3 tahun dengan ikhlas dan penuh kerelaan hati telah mendidik dan mengajar kami, serta para staf dan teknisi Program Studi Teknik Konversi Energi.
8. Kepada rekan-rekan mahasiswa Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya kelas III-B Energi yang telah 3 tahun lamanya bersama-sama dalam menimba ilmu di Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah bersedia bekerja sama dan banyak memberikan bantuan serta semangat baik secara langsung maupun tidak langsung.
9. Buat semua pihak yang tidak sempat kami sebutkan satu-persatu yang secara tidak langsung berjasa dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini.

Sebagai manusia biasa, penulis sangat menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekeliruan dan masih memerlukan perbaikan secara menyeluruh, hal ini tidak lain disebabkan karena keterbatasan ilmu yang kami miliki. Karenanya berbagai masukan dan saran yang sifatnya membangun sangatlah diharapkan demi sempurnanya Laporan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis memohon kepada Tuhan Yang Maha Esa semoga apa yang telah kami lakukan bernilai ibadah di sisi-Nya. Amin...

Makassar,

2014

Penulis



ABSTRAK

Khiyarul Anwar dan Sumardin. Pengujian Karakteristik Sistem Proteksi dan Saluran Transmisi Menengah dan Panjang. Dibimbing oleh Ir. Herman Nauwir, M.T. dan Sukma Abadi, S.T., M.T.

Sistem tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik yang kemudian disalurkan melalui saluran transmisi tegangan tinggi. Secara umum saluran transmisi telah dirancang untuk menyalurkan tegangan tinggi pada jarak tertentu misalnya saluran transmisi jarak pendek, menengah dan jarak panjang. Dengan perkembangan sistem tenaga listrik yang semakin besar dan kompleks dibutuhkan kinerja sistem proteksi yang handal, yang dapat menjamin bahwa setiap gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat diamankan dengan cepat. Adanya keterlambatan atau kegagalan dalam memisahkan bagian yang terganggu dapat menimbulkan kerugian. Pada tugas akhir ini akan membahas karakteristik saluran transmisi menengah dan panjang beserta sistem proteksi over current relay dan directional relay. Pengujian saluran transmisi menengah dan panjang dengan mengukur karakteristik pada saluran dengan kondisi tanpa beban, matching, hubungan singkat, saluran dengan jenis beban yang berbeda (resistif, induktif), dan kerugian pada transmisi. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa karakteristik saluran transmisi sudah sesuai dengan teori dan dari hasil pengujian Over Current Relay dan Directional Relay terlihat bahwa koordinasi antara rele telah berjalan dengan baik, yaitu dengan selisih 0-0,2 A. Dimana ini menunjukkan kesesuaian dengan standar british.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PENERIMAAN PANITIA UJIAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
GAMBAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	2
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah	3
F. Sistematika penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Parameter Saluran Transmisi	5
1. Resistans	5
2. Induktansi	5
3. Kapasitansi	6
B. Klasifikasi Saluran Transmisi	7
1. Saluran Transmisi Pendek	7

2. Saluran Transmisi Menengah.....	8
3. Saluran Transmisi Panjang	10
C. Sistem Proteksi Saluran Transmisi	14
1. Over Current Relay	15
2. Directional Relay	19
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat Penelitian	23
B. Alat dan Bahan Penelitian	23
C. Prosedur Penelitian	25
D. Metode Analisa Data	28
1. Teknik Pengambilan Data	28
2. Metode Analisa Data	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Data Percobaan	35
B. Analisa Data	51
BAB V KESIMPULAN	
Kesimpulan.....	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	72

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Rangkaian ekivalen suatu saluran transmisi pendek	7
Gambar 2.2 Rangkaian π nominal pada saluran transmisi jarak menengah	7
Gambar 2.3 Skema Prinsip Proteksi Arus Lebih	15
Gambar 2.4 Kurva karakteristik relai arus lebih	18
Gambar 2.5 Kurva (lengkung) karakteristik dari rele arus-lebih waktu jenis IFC-53	19
Gambar 2.6 Prinsip kerja suatu rele terarah	20
Gambar 3.1 Diagram alir pengambilan data.....	25
Gambar 3.2 Percobaan pengukuran tanpa beban, matching dan hubung singkat	27
Gambar 3.3 Percobaan rangkaian untuk pengukuran dengan beban kapasitif	27
Gambar 3.4 Percobaan rangkaian untuk pengukuran dengan beban induksi murni	28
Gambar 3.5 Percobaan rangkaian untuk pengukuran dengan Beban kapasitif	28

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Percobaan tanpa beban	33
Tabel 4.2 Percobaan matching	34
Tabel 4.3 Percobaan hubung singkat	34
Tabel 4.4 Beban kapasitif ($C= 2\mu F$)	35
Tabel 4.5 Beban kapasitif ($C= 4\mu F$)	35
Tabel 4.6 Beban kapasitif ($C= 6\mu F$)	36
Tabel 4.6 Beban induktif ($L= 3,2 H$)	36
Tabel 4.7 Beben induktif ($L= 2,8 H$)	36
Tabel 4.8 Beban induktif ($L= 2,8 H$)	37
Tabel 4.9 Beban induktif ($L= 2,4 H$)	37
Tabel 4.10 Beban campuran ($L= 3,2 H R= 300 W$)	38
Tabel 4.11 Beban campuran ($L= 2 H R= 400 W$)	38
Tabel 4.12 Beban campuran ($L= 1,2 H R= 500 W$)	38
Tabel 4.13 Beban campuran ($L= 1,2 H R= 300 W$)	39
Tabel 4.14 Gabungan beban kapasitif dan induktif dengan sebuah kapasitansi dari $3 \times 4 \mu F$	39
Tabel 4.15 Gabungan beban kapasitif dan induktif dengan sebuah kapasitansi dari $3 \times 8 \mu F$	40
Tabel 4.16 Percobaan tanpa beban	41
Tabel 4.17 Percobaan matching	42
Tabel 4.18 Matching dengan daya reaktif yang disuplai nilai minimum	42
Tabel 4.19 Percobaan Hubung Singkat	43
Tabel 4.20 Hubungan Seri Dari 2 Saluran (saluran 1=150; saluran 2=150)	43

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sistem tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi tegangan tinggi. Secara umum saluran transmisi telah dirancang untuk menyalurkan tegangan tinggi pada jarak tertentu misalnya saluran transmisi jarak pendek, menengah dan jarak panjang.

Dengan perkembangan sistem tenaga listrik yang semakin besar dan kompleks dibutuhkan kinerja sistem proteksi yang handal, yang dapat menjamin bahwa setiap gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat diamankan dengan cepat. Adanya keterlambatan atau kegagalan dalam memisahkan bagian yang terganggu dapat menimbulkan kerugian.

Alat proteksi yang lazim digunakan adalah relai. Fungsi dari relai yaitu memutuskan rangkaian apabila terjadi gangguan, baik disebabkan akibat besarnya tegangan atau arus listrik serta beberapa faktor lainnya. Ada beberapa macam relai yang dikenal dan digunakan dalam sistem proteksi transmisi daya. Beberapa diantaranya *over current relay* dan *Directional Relay*. Tiap-tiap relai memiliki karakteristik yang berbeda.

Dengan adanya Laboratorium Simulasi Sistem Kelistrikan Terpadu Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, pengujian karakteristik saluran transmisi dapat dilakukan. Dengan pengujian ini, diharapkan agar

karakteristik saluran transmisi menengah dan panjang dapat diketahui. Selain pengujian karakteristik saluran transmisi, kami juga melakukan pengujian karakteristik dari masing-masing relai agar dapat mengetahui sistem kerja *Over current relay* dan *Directional relay*. Pengujian-pengujian tersebut di atas kami tuangkan dalam bentuk pembuatan tugas akhir mengenai pengujian karakteristik saluran transmisi menengah dan panjang sistem proteksinya.

B. Rumusan Masalah

- a. Bagaimana memahami karakteristik saluran transmisi menengah dan panjang pada modul praktikum di Laboratorium Simulasi Sistem Kelistrikan Terpadu di Jurusan Teknik Mesin ?
- b. Bagaimana memahami karakteristik sistem proteksi dengan menggunakan *Over Current Relay* dan *Directional Relay* pada sistem proteksi saluran transmisi ?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

- a. Untuk memahami karakteristik saluran transmisi menengah dan panjang pada modul praktikum di Laboratorium Simulasi Sistem Kelistrikan Terpadu Jurusan Teknik Mesin.

- b. Untuk memahami karakteristik sistem proteksi dengan menggunakan *over current relay* dan *directional relay* pada sistem proteksi saluran transmisi.

D. Manfaat Penelitian

Untuk membuat job sheet Sistem Saluran Transmisi dan Sistem Proteksi.

E. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka batasan masalahnya adalah saluran transmisi menengah dan panjang beserta sistem proteksi dengan *over current relay* dan *directional relay*.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan proyek akhir ini adalah:

- Pada bagian pendahuluan, mengemukakan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.
- Bagian tinjauan pustaka mengangkat parameter saluran transmisi beserta klasifikasinya. Pada bagian ini juga dijelaskan sistem proteksi yang digunakan dalam saluran transmisi.
- Bagian metode penelitian menjelaskan waktu dan tempat. Selain itu dijelaskan pula alat dan bahan yang digunakan serta prosedur penelitian. Pada bagian ini juga terdapat rumus – rumus atau persamaan – persamaan yang digunakan pada bagian analisa data.

- Bagian analisa dan pembahasan menguraikan dan menjelaskan hasil – hasil perhitungan sesuai analisisnya.
- Bagian penutup menyimpulkan semua pokok – pokok masalah dan memberikan saran – saran yang dibutuhkan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Parameter Saluran Transmisi

1. Resistansi

Resistansi penghantar saluran transmisi adalah penyebab terpenting dari rugi daya (*power loss*) pada saluran transmisi. Jika tidak ada keterangan lain maka resistansi yang dimaksud adalah resistansi efektif. Resistansi efektif dari suatu penghantar adalah :

$$R = \frac{\text{rugi daya pada penghantar}}{I^2} \Omega \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

Daya = Watt (W)
Arus rms = Amper (A)

Sedangkan resistansi dc diberikan rumus

$$R_0 = \frac{\rho l}{A} \Omega \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

ρ = resistivitas penghantar (Ωm)
 l = panjang (m)
 A = luas penampang (m^2)

Persamaan diatas digunakan untuk menghitung besarnya tahanan dari konduktor saluran transmisi.

2. Induktansi

Persamaan yang pertama menghubungkan tegangan imbas dengan kecepatan perubahan fluks yang meliputi suatu rangkaian

Tegangan imbas dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$e = \frac{d\tau}{dt} \dots\dots\dots(2.3)$$

Persamaan kedua dapat dinyatakan dimana jika arus pada rangkaian berubah-ubah maka medan magnet yang ditimbulkan juga akan berubah-ubah dan apabila medan magnet yang ditimbulkan memiliki permeabilitas yang konstan maka banyaknya fluks gandeng berbanding lurus dengan arus sehingga tegangan imbasnya sebanding dengan kecepatan perubahan arus. Hal ini dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$e = L \frac{di}{dt} \dots\dots\dots(2.4)$$

3. Kapasitansi

Kapasitansi saluran transmisi adalah akibat bedapotensial antara penghantar (konduktor), kapasitansi menyebabkan penghantar tersebut bermuatan seperti yang terjadi pada plat kapaistor bila terjadi beda potensial diantaranya. Kapasitansi antara penghantar adalah muatan per unit beda potensial. Kapasitansi antara penghantar sejajar adalah suatu konstanta yang tergantung pada ukuran dan jarak pemisah dan penghantar. Untuk saluran daya yang panjangnya kurang dari 80 km (50 mil), pengaruh kapasitansinya kecil dan biasanya dapat diabaikan. Untuk saluran saluran yang lebih panjang dengan tegangan yang lebih tinggi, kapasi stansinya menjadi bertambah kering

B. Klasifikasi Saluran Transmisi

1. Saluran Transmisi Pendek

Saluran transmisi pendek adalah rangkaian dimana I_s dan I_R merupakan arus pada ujung pengirim dan ujung penerima, sedangkan V_s dan V_R adalah tegangan saluran terhadap netral pada ujung pengirim dan ujung penerima.

Rangkaian pada transmisi ini diselesaikan seperti halnya dengan rangkaian ac seri yang sederhana. Karena tidak terdapat cabang parallel (shunt), arus pada ujung pengirim dan penerima akan sama besarnya,

$$I_s = I_R \dots \dots \dots (2.5)$$

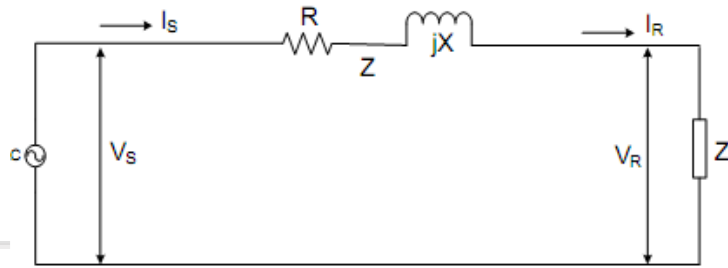
Tegangan pada ujung pengirim adalah

$$V_s = V_R + I_R Z \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana Z adalah Z_l yaitu impedansi seri keseluruhan saluran.

Regulasi tegangan pada saluran transmisi adalah kenaikan tegangan pada ujung penerima, dinyatakan dalam presentase tegangan beban penuh jika beban penuh dengan factor daya tertentu dilepaskan sedangkan tegangan pada ujung pengirim di buat tetap. Dalam bentuk persamaan,

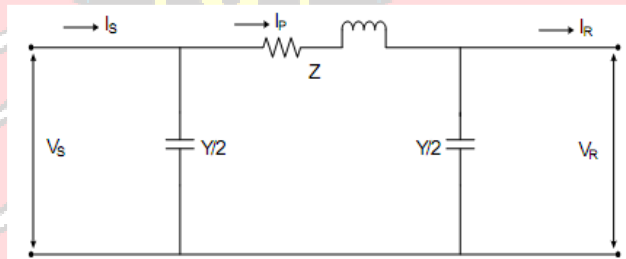
$$\text{Persen regulasi} = \frac{|V_{R, NL}| - |V_{R, FL}|}{|V_{R, FL}|} \times 100 \dots \dots \dots (2.7)$$



Gambar 2.1. Rangkaian ekivalen suatu saluran transmisi pendek

2. Saluran Transmisi Menengah

Admittansi shunt yang biasanya merupakan kapasistansi murni, di masukkan dalam perhitungan untuk jarak menengah. Jika keseluruhan admittansi shunt saluran dibagi dua sama besar dan ditempatkan masing masing pada ujung pengirim dan ujung penerima, rangkaian yang terbentuk dinamakan suatu π nominal.



Gambar 2.2. Rangkaian π nominal pada saluran transmisi jarak menengah

Kita berpedoman Pada gambar di atas untuk menurunkan persamaan persamaan. Untuk mendapatkan suatu rumus untuk V_S kita lihat bahwa arus pada kapasitansi pada ujung penerima adalah $V_R Y/2$ dan arus dalam cabang seri adalah $I_R + V_R Y/2$. Jadi

$$V_S = \left(V_R \frac{Y}{2} + I_R \right) Z + V_R \dots \dots \dots (2.8)$$

$$V_S = \left(\frac{ZY}{2} + 1 \right) V_R + Z I_R \dots \dots \dots (2.9)$$

Untuk menurunkan I_s kita perhatikan bahwa arus dalam kapasitansi shunt pada ujung pengirim adalah $V_s Y/2$, yang dengan ditambahkan pada arus dalam cabang seri memberikan

$$I_s = V_s \frac{Y}{2} + V_R \frac{Y}{2} + I_R \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan memasukan V_s , seperti diberikan pada persamaan (2.9), kedalam persamaan (2.10)

$$I_s = V_R Y \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) + \left(\frac{ZY}{2} + 1\right) I_R \dots\dots\dots (2.11)$$

Persamaan persamaan yang disesuaikan dapat diturunkan untuk rangkaian T nominal dimana seluruh admitansi shunt saluran berpusat pada cabang shunt T dan impedansi diserinya terbagi dua sama besar pada kedua cabang serinya.

Persamaan persamaan (2.9) dan (2.11) dapat dinyatakan dalam umum,

$$V_s = AV_R + BI_R \dots\dots\dots (2.12)$$

$$I_s = CV_R + DI_R \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana:

$$A = D = \frac{ZY}{2} + 1 \dots\dots\dots (2.14)$$

$$B = Z \quad C = Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) \dots\dots\dots (2.15)$$

Konstanta $ABCD$ ini kadang kadang dinamakan konstanta rangkaian umum saluran tranmisi tersebut. Pada umumnya konstanta berupa bilangan kompleks.

A dan D adalah tanpa dimensi dan keduanya akan sama bila seluruhnya dilihat dari kedua ujungnya sama. Dimensi untuk B dan C berturut turut adalah ohm dan mho. Konstanta tersebut berlaku untuk jaringan empat terminal linear, pasif dan bilateral yang mempunyai dua pasang terminal.

Arti fisik dari konstanta tersebut dapat diberikan dengan mudah. Dengan membuat I_R sama dengan nol dengan persamaan (2.12) terlihat bahwa A adalah perbandingan V_S/V_R dalam keadaan tanpa beban. Demikian juga B adalah perbandingan V_S/V_R bila ujung penerima dihubungkan singkat. Konstanta A dalam perubahan regulasi. Jika $V_{R,FL}$ adalah tegangan ujung penerima pada beban penuh untuk suatu tegangan ujung pengirim V_S .

$$\text{Persen regulasi} = \frac{|V_S|/|A| - |V_{R, FL}|}{|V_{R, FL}|} \times 100 \dots \dots \dots (2.16)$$

3. Saluran Transmisi Panjang

Gelombang datang dan gelombang pantul suatu tegangan yang di dapat dalam perhitungan tegangan saluran daya. Alasan untuk membicarakan tegangan dan arus saluran dalam komponen datang dan komponen pantulnya ialah karena analisis semacam itu sangat membantu dalam mendapatkan pengertian yang lebih mendalam mengenai beberapa gejala yang timbul pada saluran transmisi. Bentuk persamaan yang lebih mudah untuk menghitung arus dan tegangan suatu saluran tenaga diperoleh dengan memperkenalkan fungsi hiperbolis. Fungsi hiperbolis didefinisikan dalam bentuk eksponensial sebagai berikut:

$$\sinh \theta = \frac{\varepsilon^\theta - \varepsilon^{-\theta}}{2} \dots \dots \dots (2.17)$$

$$\cosh \theta = \frac{\varepsilon^\theta + \varepsilon^{-\theta}}{2} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dengan mengatur kembali persamaan (2.17) dan (2.18) dan memasukan fungsi hiperbolis untuk suku eksponensialnya, didapatkan suatu persamaan baru. Persamaan-persamaan baru yang memberikan tegangan dan arus diman saja di sepanjang saluran adalah

$$V = V_R \cosh \gamma x + I_R Z_C \sinh \gamma x \dots\dots\dots(2.19)$$

dan

$$I = I_R \cosh \gamma x + \frac{V_R}{Z_C} \sinh \gamma x \dots\dots\dots(2.20)$$

Dengan memisalkan $x = l$ untuk mendapatkan tegangan dan arus pada ujung pengirim, kita mendapatkan

$$V_S = V_R \cosh \gamma l + I_R Z_C \sinh \gamma l \dots\dots\dots(2.21)$$

Dan

$$I_S = I_R \cosh \gamma l + \frac{V_R}{Z_C} \sinh \gamma l \dots\dots\dots(2.22)$$

Dengan meneliti persamaan-persamaan ini kita lihat bahwa konstanta rangkaian umum untuk saluran yang panjang adalah pada persamaan di bawah ini (2.23).

$$\begin{matrix} A = \cosh \gamma l & C = \frac{\sinh \gamma l}{Z_C} \\ B = Z_C \sinh \gamma l & D = \cosh \gamma l \end{matrix}$$

Persamaan (2.21) dan (2.22) dapat diselesaikan untuk V_R dan I_R dengan V_S

dan I_S sebagai suku-sukunya, dan kita dapatkan

$$V_R = V_S \cosh \gamma l - I_S Z_C \sinh \gamma l \dots\dots\dots(2.24)$$

$$I_R = I_S \cosh \gamma l - \frac{V_S}{Z_C} \sinh \gamma l \dots\dots\dots(2.25)$$

Untuk saluran tiga-fasa seimbang, arus dalam persamaan-persamaan di atas adalah arus saluran, dan tegangan adalah tegangan darisaluran ke netral, yaitu tegangan saluran di bagi dengan $\sqrt{3}$. Untuk menyelesaikan persamaan-persamaan itu, fungsi hiperbolis harus kita hitung dulu. Karena γl biasanya kompleks, fungsi hiperbolis itu juga rumit dantidak dapat ditemukan langsung dari tabel biasa atau dengan kalkulator elektronik. Sebelumnya pemakaian komputer digital meluas, bermacam-macam grafik, beberapa di antaranya dirancang untuk nilai-nilai yang biasa dijumpai dalam perhitungan saluran transmisi, sering digunakan untuk menghitung fungsi hiperbolis dengan argumen kompleks. Pada masa kini komputer digital menyediakan cara-cara yang biasa untuk memasukkan fungsi-fungsi semacam itu ke dalam perhitungan kita.

Untuk memecahkan persoalan itu tanpa bantuan komputer atau grafik, ada beberapa pilihan yang dapat diambil. Persamaan-persamaan berikut memberikan uraian sinus dan cosinus hiperbolis dari argumen kompleks dalam bentuk fungsi lingkaran dan hiperbolis dari argumen nyata:

$$\cosh (\alpha l + j\beta l) = \cosh \alpha l \cos \beta l + j \sinh \alpha l \sin \beta l \dots\dots\dots(2.26)$$

$$\sinh (\alpha l + j\beta l) = \sinh \alpha l \cos \beta l + j \cosh \alpha l \sin \beta l \dots\dots\dots(2.27)$$

Persamaan (2.26) dan (2.27) memungkinkan perhitungan fungsi hiperbolis dengan argumen kompleks. Satuan matematika yang benar untuk βl dengan

menhitung komponen khayal dari γl . persamaan (2.26) dan (2.27) dapat diperiksa kebenarannya dengan memasukkan ke fungsi lingkaran.

Metode yang lain yang mudah untuk menghitung fungsi hiperbolis ialah dengan menguraikan ke dalam suatu deret pangkat. Uraian menurut deret

Maclaurin menghasilkan

$$\cosh \theta = 1 + \frac{\theta^2}{2!} + \frac{\theta^4}{4!} + \frac{\theta^6}{6!} + \text{dst} \dots\dots\dots(2.28)$$

dan

$$\sinh \theta = \theta + \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} + \frac{\theta^7}{7!} + \text{dst} \dots\dots\dots(2.29)$$

Deret ini menjadi konvergen dengan cepat untuk nilai γl yang biasa di jumpai dalam saluran tenaga, dan ketelitian yang cukup dapat memperoleh dengan menghitung beberapa suku-suku pertama saja.

Metode ketiga untuk menghitung fungsi hiperbolis kompleks adalah seperti yang di berikan oleh persamaan (2.17) dan (2.18). dengan memasukkan $\alpha + j\beta$ sebai ganti θ kita dapatkan

$$\cosh(\alpha + j\beta) = \frac{\varepsilon^{\alpha} \varepsilon^{j\beta} + \varepsilon^{-\alpha} \varepsilon^{-j\beta}}{2} = \frac{1}{2}(\varepsilon^{\alpha} \cos \beta + \varepsilon^{-\alpha} \cos \beta) \dots\dots\dots(2.30)$$

dan

$$\sinh(\alpha + j\beta) = \frac{\varepsilon^{\alpha} \varepsilon^{j\beta} - \varepsilon^{-\alpha} \varepsilon^{-j\beta}}{2} = \frac{1}{2}(\varepsilon^{\alpha} \sin \beta - \varepsilon^{-\alpha} \sin \beta) \dots\dots\dots(2.31)$$

C. Sistem Proteksi Saluran Transmisi

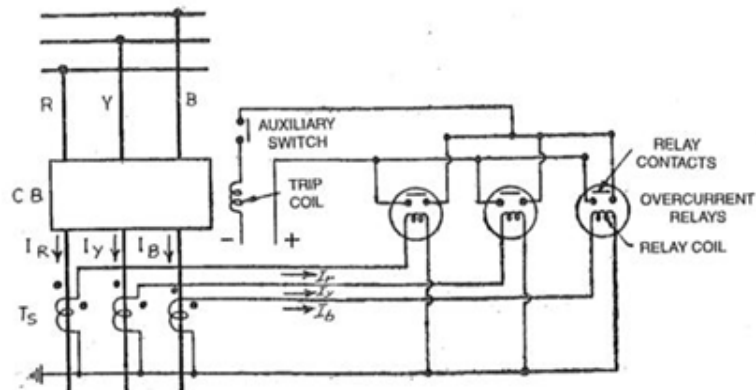
1. Sistem Proteksi Dengan Menggunakan Relay

Modal yang tertanam dalam suatu sistem penyediaan tenaga listrik berupa fasilitas-fasilitas pembangkitan, transmisi, dan distribusi demikian besarnya sehingga harus diatur agar seluruh sistem tidak hanya dioperasikan dengan efisiensi yang setinggi mungkin, tetapi seluruh peralatannya juga diamankan dan dilindungi terhadap kerusakan. Maksud dan guna sistem proteksi dan relai-relai pengaman adalah agar pemutus-pemutus daya yang tepat dioperasikan supaya hanya peralatan yang terganggu dipisahkan secepatnya dari sistem, sehingga kesulitan dan kerusakan yang disebabkan gangguan menjadi sekecil mungkin.

Gangguan listrik terberat yang terjadi dalam suatu sistem tenaga listrik adalah yang mengakibatkan terjadinya peningkatan arus listrik, dan penurunan tegangan, frekuensi serta faktor daya. Relai-relai pengaman tidak dapat menghilangkan kemungkinan adanya gangguan pada sistem, melainkan baru dapat bekerja setelah terjadinya gangguan. Adalah ideal bilamana suatu alat pengaman dapat mengantisipasi dan menghindari terjadinya gangguan. Namun hal ini pada umumnya tidaklah mungkin, dan hanya relai Buchholz merupakan satu-satunya pengecualian. Untuk melindungi atau mengisolasi peralatan listrik dari gangguan khususnya trafo maka dibuatlah alat proteksi yang bias disebut relai, ada beberapa relai yang dipakai antaranya adalah *over current relay* dan *derectional relay*.

1.1 Sistem Proteksi dengan Menggunakan *Over Current Relay*

Prinsip kerja relai arus lebih adalah berdasarkan pengukuran arus, yaitu relai akan bekerja apabila merasakan arus diatas nilai settingnya. *Over Current Relay* (OCR) dirancang sebagai pengaman cadangan Trafo jika terjadi gangguan hubung singkat baik dalam trafo (internal fault) maupun gangguan eksternal (external fault). Oleh karena itu, setting arus OCR harus lebih besar dari kemampuan arus nominal trafo yang diamankan (110 – 120% dari nominal), sehingga tidak bekerja pada saat trafo dibebani nominal, akan tetapi harus dipastikan bahwa setting arus relai masih tetap bekerja pada arus hubung singkat fasa-fasa minimum. Relay ini bekerja dengan membaca input berupa besaran arus kemudian membandingkan dengan nilai setting, apabila nilai arus yang terbaca oleh relay melebihi nilai setting, maka relay akan mengirim perintah trip (lepas) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau Circuit Breaker (CB) setelah tunda waktu yang diterapkan pada setting.



Gambar 2.3 . Skema Prinsip Proteksi Arus Lebih

Relai arus lebih memiliki karakteristik kerja yaitu:

- Relai sesaat (*Instantaneous relay*)

Relai ini bekerja secara langsung atau tanpa waktu tunda berdasarkan perbedaan tingkat arus gangguan pada lokasi yang berbeda. Relai arus lebih dengan karakteristik waktu kerja seketika adalah jika jangkauan waktu relai mulai saat arus Pick-up sampai selesainya relai bekerja saat singkat (tanpa waktu tunda). Relai tersebut sangat baik mengamankan seksi saluran dekat sumber. Pada umumnya relai ini dikombinasikan dengan relai arus lebih karakteristik waktu arus tertentu (*definite Time-current Relay*) dan hanya beberapa hal berdiri sendiri secara khusus.

- Relai dengan waktu arus tertentu (*definite time-current relay*)

Relai karakteristik waktu arus tertentu adalah jangka waktu rele mulai saat arus pick-up sampai selesai relai bekerja diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang menggerakkan. Relai ini lebih

baik dipakai pada saluran yang tidak saling interkoneksi dan tidak banyak seksi. Semakin dekat dengan sumber, arus gangguan semakin besar. Hal ini tidak dikehendakikarena sangat membahayakan jika tidak diamankan dengan cepat.

- Relai dengan waktu arus berbanding terbalik (*inverse time current relay*)

Relai arus lebih dengan waktu arus berbanding terbalik adalah jika jangka waktu mulai arus pick-up sampai selesainya bekerja, diperpanjang dengan nilai yang berbanding terbalik terhadap besar arus yang menggerakannya, makin cepat relai tersebut bekerja atau sebaliknya.

Penggunaan dari rele tersebut adalah pada daerah yang memberikan beda aru gangguan yang cukup besar dalam suatu seksi saluran, misalnya saluran panjang, bila Z_s (Impedansi antara relai dan sumber) sangat kecil dibandingkan dengan impedansi aluran Z_1 maka akan terdapat perbedaan nilai antar gangguan diujung saluran dengan dekat sumber.

Besar arus hubung singkat diujung saluran adalah:

$$I_{hs} = \frac{E}{Z_s + Z_1} \dots\dots\dots (2.32)$$

Besar arus hubung singkat di dekat sumber adalah:

$$I_{hs} = \frac{E}{Z_s} \dots\dots\dots (2.33)$$

Dimana E = tegangan sumber

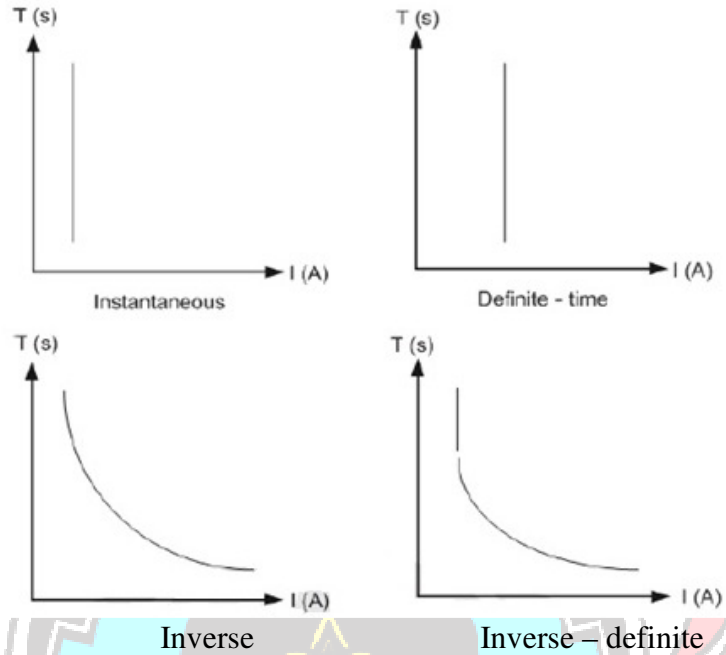
Jadi untuk waktu arus berbanding terbalik, gangguan dekat dengan sumber relai akan lebih cepat bekerja daripada gangguan yang jauh dari sumber.

Perbandingan waktu kerja dari relai yaitu antara dekat sumber tegangan diujung saluran (jauh dari sumber) adalah : $Z_s / (Z_s + Z_l)$

- *Inverse Definite Time Relay*

Relai ini mempunyai karakteristik kerja berdasarkan kombinasi antara relai *invers* dan relai *definite*. Relai ini akan bekerja secara definite bila arus gangguannya besar dan bekerja secara inverse jika arus gangguannya kecil. Relai ini adalah relai yang jangka waktu mulai arus pick-up sampai selesainya bekerja mempunyai sifat waktu yang berbanding terbalik untuk nilai arus yang kecil setelah pick-up dan menjadi tertentu untuk nilai arus yang besar. Relai ini baik dipakai pada saluran dekat sumber, karena pada kapasitas penyalur daya yang cukup konstan dapat disetel pada bagian inversenya, sehingga waktu kerja mulai relai dapat memuaskan. Sedangkan bila kapasitas penyaluran berubah banyak, relai ini dapat disetel pada bagian definite dari karakteristiknya. Relai arus lebih waktu tertentu, berbanding terbalik dan relai Inverse Definite Minimum Time dapat dikombinasikan dengan rele arus lebih karakteristik waktu arus seketika.

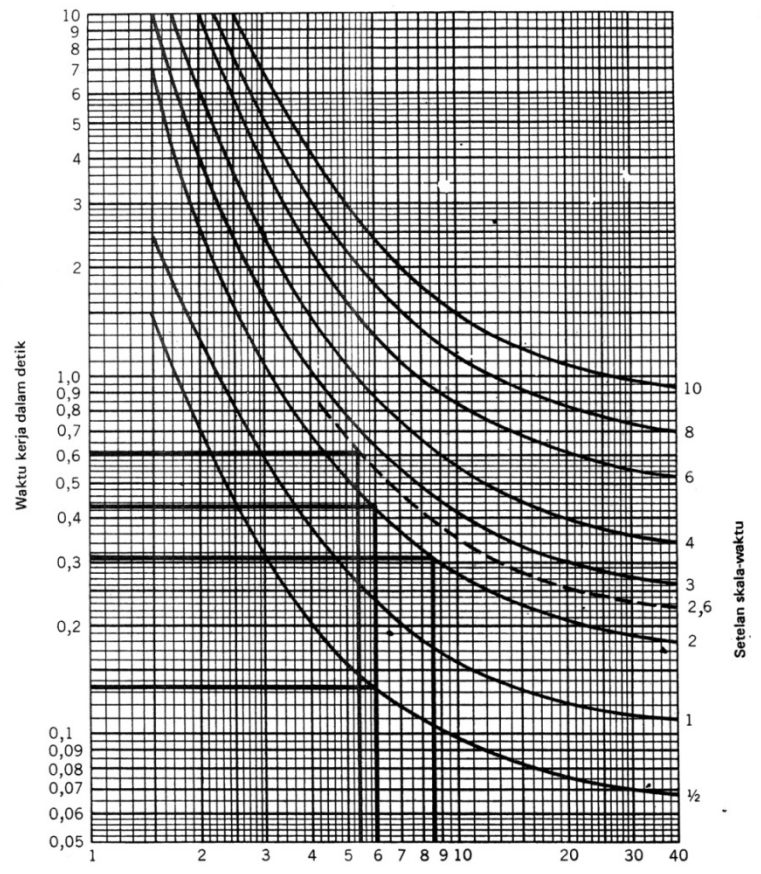
Berikut adalah gambaran kurva karakteristik relai arus lebih:



Gambar 2.4. Kurva karakteristik relai arus lebih

1.2 Directional Relay

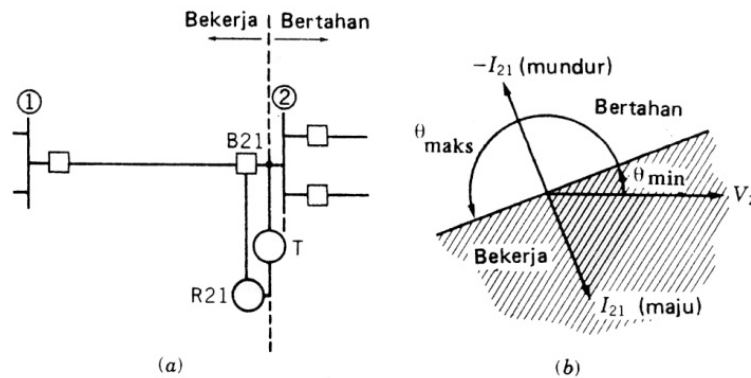
Rele terarah Pada beberapa penggunaan, daerah suatu rele meliputi seluruh sistem daya yang terletak hanya pada satu arah saja dari lokasi rele tersebut. Misalnya, tinjaulah rele R21 yang ditunjukkan dalam Gambar II.7a. rele ini dituntut bekerja untuk gangguan di sebelah kiri lokasinya, dan bertahan (block) untuk semua keadaan yang lain.



Gambar 2.5 Kurva (lengkung) karakteristik dari rele arus-lebih waktu jenis IFC-53
(.Dengan seizin General Electric Company).

Karena impedansi saluran-transmisi sebagian besar adalah reaktif, gangguan di sebelah kiri R21 mempunyai arus yang mengalir dari rel 2 menuju rel 1 yang tertinggal terhadap tegangan pada rel 2 dengan sudut sebesar kira-kira 90 derajat. Sebaliknya, untuk gangguan di sebelah kanan rel 2, arus dari rel 2 ke rel 1 akan mendahului tegangan pada rel 2 dengan sudut sebesar kira-kira 90 derajat. Kerja rele tersebut dilukiskan dengan membagi bidang kompleks diagram fasor dari Gambar II.7a sedemikian rupa sehingga untuk semua

gangguan yang menimbulkan fasor arus yang terletak pada daerah yang diarsir (bila tegangan rel 2 dipakai sebagai pedoman), rele itu akan bekerja, dan untuk semua gangguan lainnya, rele ini akan "block." Rele inilah yang disebut terarah, karena kerjanya tergantung pada arah arus terhadap tegangannya. Kuantitas yang memberikan fasor pedoman dinamakan kuantitas polarisasi.



Gambar 2.6 Prinsip kerja suatu rele terarah: (a) diagram segaris untuk menunjukkan lokasi dan (b) karakteristik perilaku rele dalam bidang kompleks.

Jadi, rele terarah seperti yang telah diuraikan di atas menggunakan tegangan polarisasi. Kadang-kadang, sinval arus tertentu dapat juga dipakai sebagai sinyal polarisasi. Rele dapat dibuat lebih selektif dengan menetapkan daerah yang lebih sempit di sekitar fasor arus-ganggu-an. Pada umumnya, prinsip kerja rele terarah dapat dilukiskan dengan:

$$\theta_{min} > \theta_{op} > \theta_{maks} \quad \text{bekerja}$$

$$\theta_{min} < \theta_{op} < \theta_{maks} \quad \text{bertahan}$$

di mana θ_{op} adalah sudut fasa kuantitas kerja yang diukur dengan fasor polarisasi sebagai pedoman, dan θ_{min} dan θ_{maks} adalah kedua sudut yang menetapkan batas karakteristik kerja.



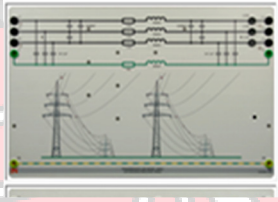


BAB III METODE PENELITIAN


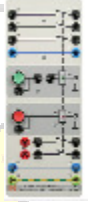

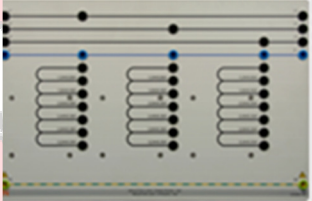
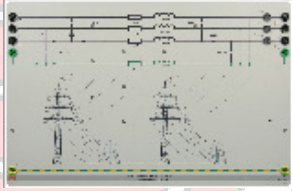

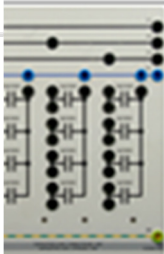
A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian atau pengerjaan tugas akhir ini dilaksanakan mulai bulan September tahun 2013 sampai bulan September tahun 2014 yang dilaksanakan di Lab. Simulasi Sistem Kelistrikan Terpadu/Terintegrasi Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang.

B. Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

Komponen	Keterangan
	Model Saluran transmisi
	Beban resistif
	Over current Relay

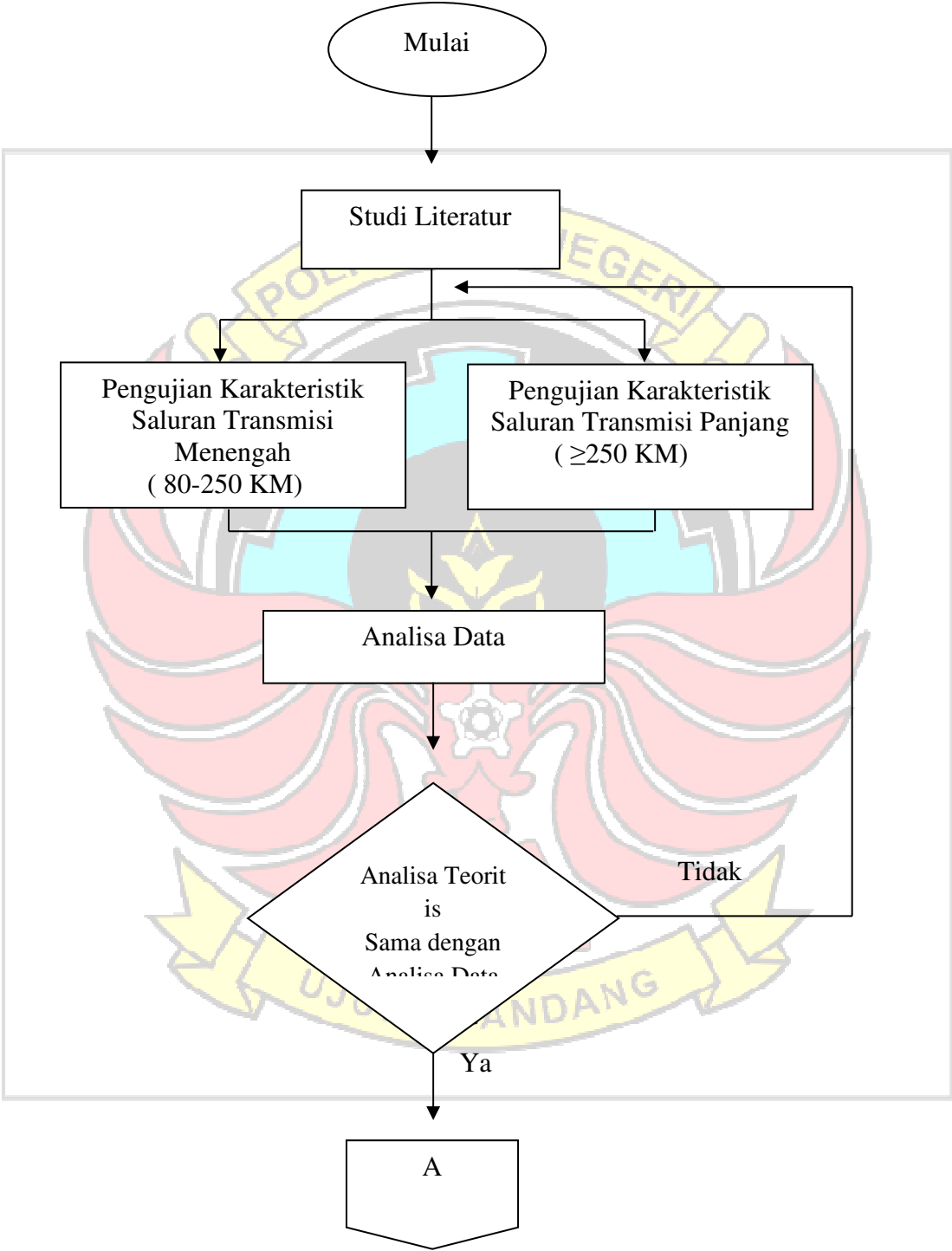
	<p>Three Phase Meter</p>
	<p>Saklar daya</p>
	<p>Power Suplay 3-phas</p>
	<p>Trafo Arus</p>
	<p>Model jaringan transmisi</p>
	<p>Multimeter analog/digital</p>
	<p>Beban Kapasitif</p>

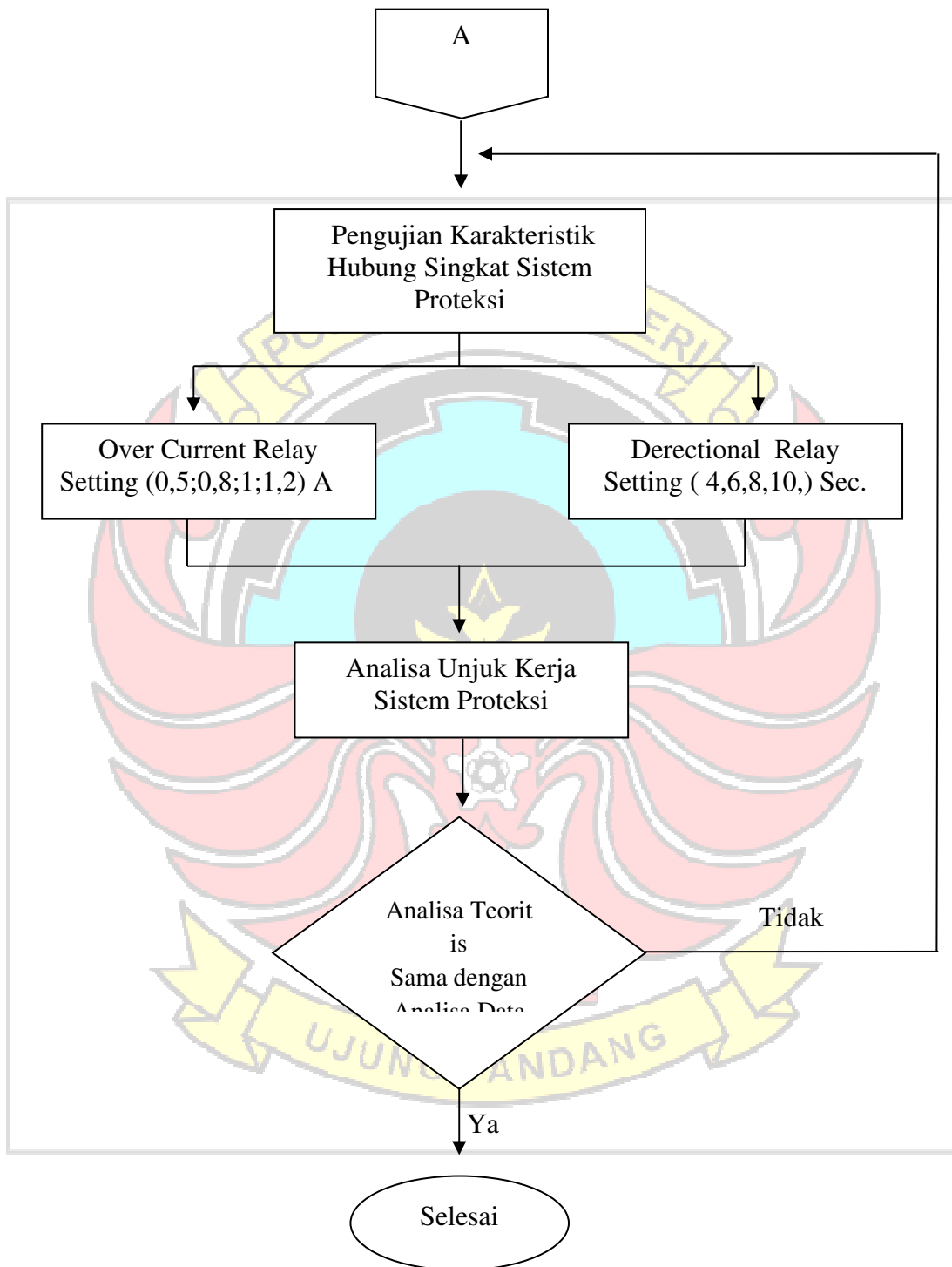
	<p>Personal Computer</p>
	<p>Plugger</p>
	<p>SEG HTL-Soft</p>

C. Prosedur Penelitian

Penelitian ini mempunyai prosedur yang digambarkan dalam bentuk diagram alir yang dapat kita lihat pada **Gambar 3.1**. Pengujian saluran transmisi menengah dan panjang dengan mengukur karakteristik pada saluran dengan kondisi tanpa beban, matching, hubung singkat, saluran dengan jenis beban yang berbeda (resistif, induktif), dan kerugian pada transmisi yang kemudian akan menjadi validasi hasil analisa dengan percobaan.

III.3 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir Pengambilan Data

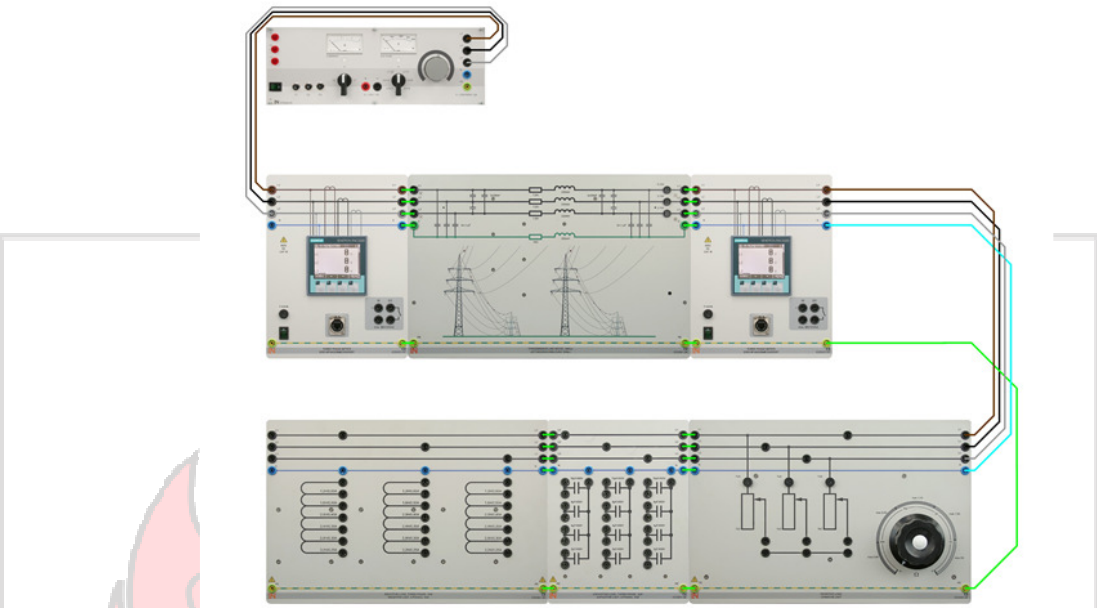
D. Metode Analisa Data

1. Teknik Pengambilan Data

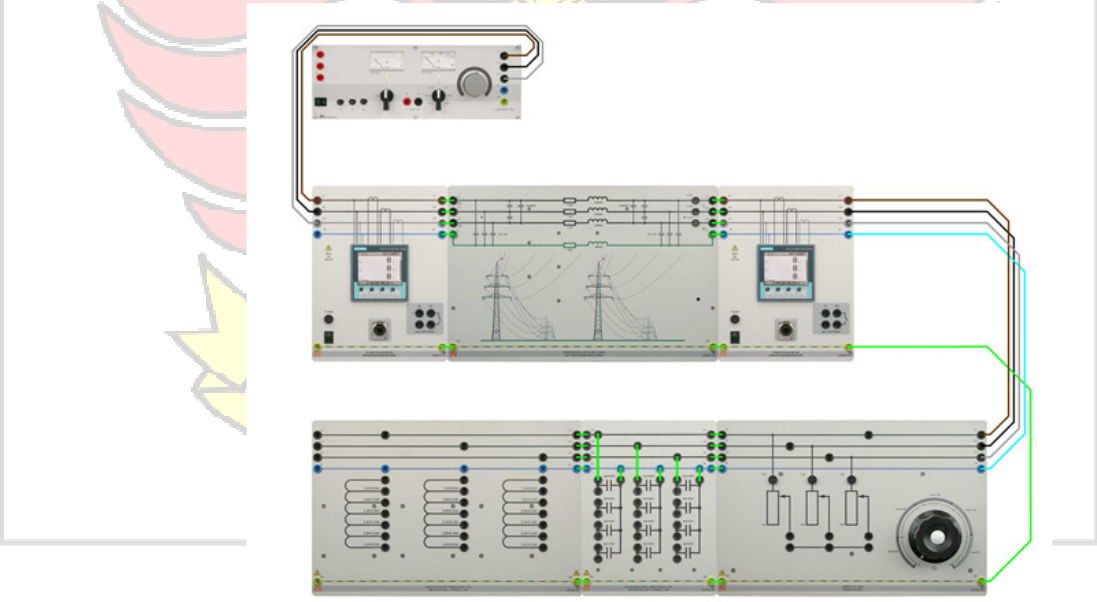
a. Persiapan Alat dan Bahan

Langkah-langkah persiapan alat dan bahan :

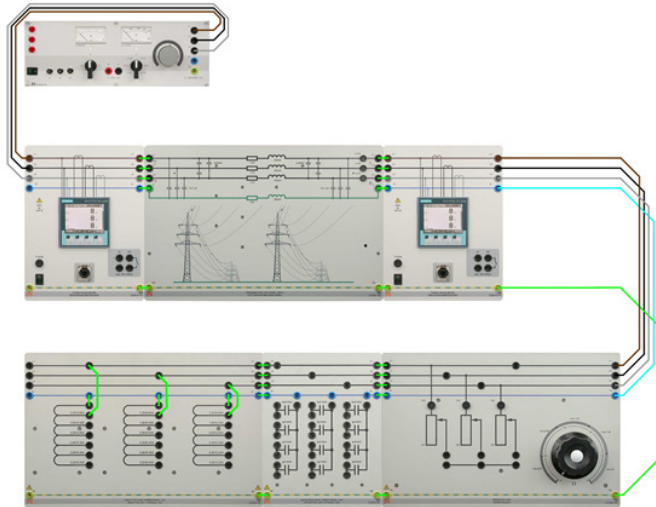
- 1) Menyiapkan seluruh perangkat yang akan digunakan seperti yang diterangkan diatas, dan juga silahkan membuka program LUCAS-NÜLLE.
- 2) Menghubungkan semua perangkat yang memiliki kabel listrik ketegangan suplai. Relai diferensial awalnya hanya menunjukkan angka nol.
- 3) Memastikan bahwa saklar daya pada awalnya terbuka.
- 4) Membiarkan daya 3-fasa pada kondisi off sebelum memulai.
- 5) Melakukan pengaturan sesuai petunjuk pada Labshoft
- 6) Menghubungkan semua perangkat yang memiliki kabel listrik ketegangan suplai seperti Gambar 3.2.



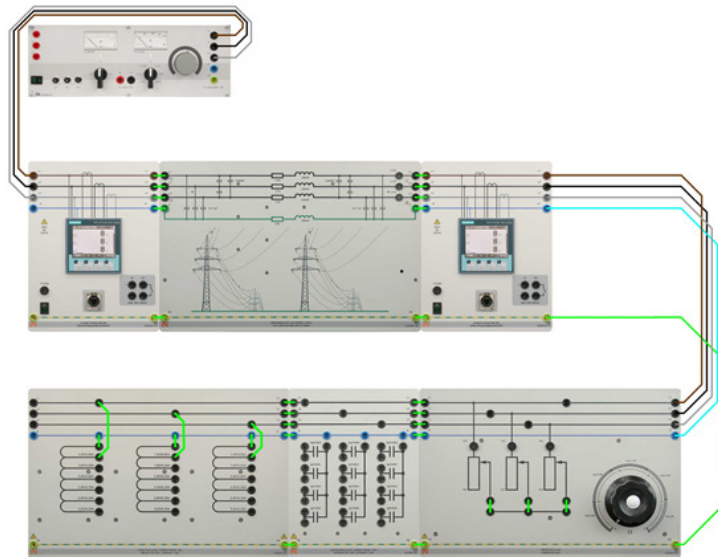
Gambar 3.2 Percobaan pengukuran tanpa beban, matching dan hubung singkat.



Gambar 3.3 percobaan rangkaian untuk pengukuran dengan beban kapasitif



Gambar 3.4 percobaan rangkaian untuk pengukuran dengan beban induksi murni



Gambar 3.5 percobaan rangkaian untuk pengukuran dengan beban kapasitif

b. Pengambilan Data

1. Tanpa beban

Langkah-langkah pengambilan data :

- 1) Memastikan bahwa saklar daya 3 terbuka.
- 2) Menutup saklar daya 1 dan 2
- 3) Mengatur tegangan ke nilai nominal 380 V pada saluran awal
- 4) Mengukur variabel yang ditunjukkan dalam konduktor luar L_1 L_2 dan L_3 konduktor netral N yang terdapat pada tabel.
- 5) Lihat dan catat data yang tertampil pada alat ukur.

2. Matching

Langkah-langkah pengambilan data :

- 1) Memastikan bahwa saklar daya 3 terbuka.
- 2) Menutup saklar daya 1 dan 2
- 3) Tetapkan tegangan nominal pada saluran awal 380 V
- 4) Mengatur beban resistif 300-700 W
- 5) Lihat dan catat data yang tertampil pada alat ukur.

3. Hubung singkat

Langkah-langkah pengambilan data :

1. Memastikan bahwa saklar daya 3 terbuka
2. Menutup saklar daya 1 dan 2
3. Tetapkan tegangan pada 110V
4. Lakukan dengan cepat pada suplai tegangan yang berkurang.

5. Lakukan pengambilan data

4. Beban campuran

1. Beban Kapasitif murni

Langkah-langkah pengambilan data :

1. Memastikan bahwa saklar daya 3 terbuka
2. Menutup saklar daya 1 dan 2
3. Mengatur beban kapasitif $2\mu F - 12\mu F$
4. Mengatur tegangan pada saluran awal dengan konstan 340 V
5. Lakukan pengambilan data sesuai yang di inginkan.

2. Beban Induktif murni

Langkah-langkah pengambilan data :

1. Memastikan bahwa saklar daya 3 terbuka
2. Menutup saklar daya 1 dan 2
3. Mengatur beban Induktif dari 3,2 H- 1,2 H
4. Mengatur tegangan pada saluran awal sampai 380 V
5. Lakukan pengambilan data sesuai data yang di inginkan.

3. Beban Resistif -Induktif

Langkah-langkah pengambilan data :

1. Memastikan bahwa saklar daya 3 terbuka
2. Menutup saklar daya 1 dan 2

3. Pastikan induktor dan beban resistor terhubung secara paralel dan konfigurasi bintang.
4. Variasikan nilai L dari 3,2 H-1,2 H dengan daya aktif dari 300-500 W
5. Mengatur tegangan pada saluran awal sampai 380 V
6. Lakukan pengambilan data sesuai dengan yang di inginkan.

2. Metode Analisa Data

Data yang telah didapatkan akan dianalisa dengan metode analisa kualitatif yaitu dengan membandingkan antara teori yang ada dengan hasil yang didapatkan melalui pengambilan data, yakni dengan menggunakan persamaan:

1. Saluran Menengah

Rumus-rumus yang digunakan untuk perhitungan V_S (Tegangan pengirim) dan I_S (Arus pada ujung pengirim) dapat dilihat pada persamaan 2.9 dan 2.11 pada halaman 8.

2. Saluran Panjang

Rumus-rumus yang digunakan untuk perhitungan V_S (Tegangan pengirim) dan I_S (Arus pada ujung pengirim) dapat dilihat pada persamaan 2.24 dan 2.25 pada halaman 10.

Sementara pada sisi sekunder transformator hubungan wye $P = 3 \cdot V_p$.

I_p dibuktikan pada kondisi pembebanan normal. Untuk mengetahui karakteristik kerja pada relai over current dilakukan dengan menggunakan

Software SEG HTL-Shoft yang akan menampilkan grafik hubungan arus dan waktu. Sementara untuk mengetahui karakteristikdirectionalrelay dapat menganalisa data yang muncul pada display directional relay tipe persentase dan membandingkannya dengan teori.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Percobaan

Dari hasil pengujian dihasilkan beberapa data sebagai berikut:

1. Saluran menengah

a. Percobaan Tanpa beban

Tabel 4.1 Percobaan Tanpa Beban

N	V_S (V)	V_S				V_R				I_S			P (W)	Q (Var)
		L1 -N (V)	L2 -N (V)	L3 -N (V)	L1 - L2 (V)	L1 -N (V)	L2 -N (V)	L3 -N (V)	L1 - L2 (V)	L1 (A)	L2 (A)	L3 (A)		
1	380	219	221	206	382	223	225	228	237	0,14	0,14	0,14	-0	-92
2	300	137	134	162	301	176	176	179	305	0,11	0,11	0,11	-0	-57

b. Percobaan Macthing

Tabel 4.2 Percobaan Macthing

No	P_S (W)	V_R (V)	I_R (A)	I_S (A)	P (W)	Q (W)
1	300	380	0,44	0,46	298	-67
2	400	370	0,60	0,61	401	-48
3	500	373	0,76	0,76	502	-25

4	600	371	0,91	0,91	601	2
5	700	369	1,05	1,04	699	34

NO.	V_S (V)	I_S (A)	P (W)	Q (Var)	I_R (A)
1	110	1,98	58	385	2,03

c. Percobaan Hubung Singkat

Tabel 4.3 *Percobaan Hubung Singkat*

d. Percobaan Berbeban

Beban Kapasitif ($C= 2\mu F$)

Tabel 4.4 *Beban Kapasitif ($C= 2\mu F$)*

No	V_S (V)	V_{RL1-L2} (V)	I_R (A)	Q_R (Var)	I_S (A)	P (W)	Q_S (Var)
1	380	397	0,15	-101	0,30	-1	-185
2	300	313	0,12	-63	0,23	-1	-115

Beban Kapasitif ($C= 4\mu F$)

Tabel 4.5 *Beban Kapasitif ($C= 4\mu F$)*

No	V_S (V)	V_{RL1-L2} (V)	I_R (A)	Q_R (Var)	I_S (A)	P (W)	Q_S (Var)
1	380	406	0,29	-214	0,44	-0	-286
2	300	232	0,23	-134	0,35	-1	-180

Beban Kapasitif ($C= 6\mu F$)

Tabel 4.6 *Beban Kapasitif ($C= 6\mu F$)*

No	V_S (V)	V_{RL1-L2} (V)	I_R (A)	Q_R (Var)	I_S (A)	P (W)	Q_S (Var)
1	380	418	0,45	-336	0,60	1	-393
2	300	329	0,36	-207	0,47	1	-242

Beban induktif ($L= 3,2 H$)

Tabel 4.7 *Beban induktif ($L= 3,2 H$)*

No	V_S (V)	V_{RL1-L2} (V)	I_R (A)	Q_R (Var)	I_S (A)	P (W)	Q_S (Var)
1	380	369	0,22	140	0,08	11	51
2	300	290	0,17	86	0,06	7	31

Beban induktif ($L= 2,8 H$)

Tabel 4.8 *Beban induktif ($L= 2,8 H$)*

No	V_S (V)	V_{RL1-L2} (V)	I_R (A)	Q_R (Var)	I_S (A)	P (W)	Q_S (Var)
1	380	367	0,25	161	0,11	13	73
2	300	288	0,19	99	0,09	8	44

Beban induktif ($L= 2,4 H$)

Tabel 4.9 Beban induktif ($L= 2,4 H$)

No	V_S (V)	V_{RL1-L2} (V)	I_R (A)	Q_R (Var)	I_S (A)	P (W)	Q_S (Var)
1	380	364	0,28	182	0,15	19	96
2	300	206	0,22	112	0,12	10	58

Beban campuran ($L= 3,2 H R= 300 W$)

Tabel 4.10 Beban campuran ($L= 3,2 H R= 300 W$)

No	V_{RL1-L2} (V)	I_R (A)	Q_R (Var)	$\text{Cos } \theta$	P (W)	Q_S (Var)	I_R (A)
1	365	0,50	137	0,97	302	72	0,46

Beban campuran ($L= 2 H R= 400 W$)

Tabel 4.11 Beban campuran ($L= 2 H R= 400 W$)

No	V_{RL1-L2} (V)	I_R (A)	Q_R (Var)	$\text{Cos } \theta$	P (W)	Q_S (Var)	I_R (A)
1	352	0,73	207	0,92	404	170	0,67

Beban campuran ($L= 1,2 H R= 500 W$)

Tabel 4.12 Beban campuran ($L= 1,2 H R= 500 W$)

No	V_{RL1-L2} (V)	I_R (A)	Q_R (Var)	$\text{Cos } \theta$	P (W)	Q_S (Var)	I_R (A)
1	337	1	318	0,84	507	326	0,93

Beban campuran ($L= 1,2 H R= 300 W$)

Tabel 4.13 Beban campuran ($L= 1,2 H R= 300 W$)

No	V_{RL1-L2} (V)	I_R (A)	Q_R (Var)	$\text{Cos } \theta$	P (W)	Q_S (Var)	I_R (A)
1	343	0,72	328	0,72	302	287	0,63

Gabungan beban kapasitif dan induktif dengan sebuah kapasitansi dari $3 \times 4 \mu\text{F}$ sekarang untuk bintang-terhubung secara paralel dengan beban RL, dan pengukuran diulang. Beban resistif disesuaikan sehingga untuk mengkonsumsi 300 W

Tabel 4.14 Gabungan beban kapasitif dan induktif dengan sebuah kapasitansi dari $3 \times 4 \mu\text{F}$ sekarang untuk bintang-terhubung secara paralel dengan beban RL, dan pengukuran diulang. Beban resistif disesuaikan sehingga untuk mengkonsumsi 300 W

No	V_S (V)	V_{RL1-L2} (V)	I_R (A)	Q_R (Var)	$\text{Cos } \theta$	P (W)	Q_S (Var)	I_R (A)
1	380	398	0,51	-204	0,76	301	-259	0,60
2	300	307	0,60	-123	0,91	301	-135	0,64

Gabungan beban kapasitif dan induktif dengan sebuah kapasitansi dari $3 \times \mu\text{F}$ sekarang untuk bintang-terhubung secara paralel dengan beban RL, dan pengukuran diulang. Beban resistif disesuaikan sehingga untuk mengkonsumsi 300 W

Tabel 4.15 Gabungan beban kapasitif dan induktif dengan sebuah kapasitansi dari $3 \times 8 \mu\text{F}$ sekarang untuk bintang-terhubung secara paralel dengan beban RL, dan pengukuran diulang. Beban resistif disesuaikan sehingga untuk mengkonsumsi 300 W

No	V_{RL1-L2} (V)	I_R (A)	Q_R (Var)	$\text{Cos } \theta$	P (W)	Q_S (Var)	I_R (A)	V_S (V)
1	380	418	0,73	-441	0,55	303	-461	0,85

2	300	327	0,70	-269	0,75	299	-263	0,78
---	-----	-----	------	------	------	-----	------	------

NO	V_S (V)	V_S				V_R				I_S			P (W)	Q (Var)
		L1-N (V)	L2-N (V)	L3-N (V)	L1-L2 (V)	L1-LN (V)	L2-LN (V)	L3-LN (V)	L1-L2 (V)	L1 (A)	L2 (A)	L3 (A)		
1	380	219	221	206	382	237	239	242	412	0,29	0,29	0,29	-1	-187
2	300	173	174	162	300	187	187	191	323	0,23	0,23	0,23	-1	-116

2. Saluran panjang

a. Percobaan Tanpa beban

Tabel 4.16 Percobaan Tanpa Beban

b. Percobaan Macthing

Tabel 4.17 Percobaan Macthing

No	P_S (W)	V_R (V)	I_R (A)	I_S (A)	P (W)	Q (Var)
1	300	385	0,43	0,50	300	-130
2	400	378	0,59	0,62	400	-90
3	500	366	0,75	0,76	504	-34
4	600	354	0,90	0,89	599	29
5	700	343	1,08	1,05	697	108

Matching dengan daya reaktif yang disuplai nilai minimum

Tabel 4.18 Matching dengan daya reaktif yang disuplai nilai minimum

No	l (kM)	P_S (W)	V_R (V)	I_R (A)	I_S (A)	P (W)	Q (Var)
NO.		V_S (V)	I_S (A)	P (W)	Q (Var)	I_R (A)	
1		110	0,76	18	1,45	0,81	
1	150	192	382	0,29	0,32	194	-80
2	300	207	398	0,30	0,40	207	-158

c. Percobaan Hubung Singkat

Tabel 4.19 Percobaan Hubung Singkat

HUBUNGAN SERI DARI 2 SALURAN

1. Saluran 1 = 150 km saluran 2 = 150 km

Tabel 4.20 Hubungan Seri Dari 2 Saluran (saluran 1=150 km)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	247	0,82	332	110
2	240	0,44	184	-27

Tabel 4.21 Hubungan Seri Dari 2 Saluran (saluran 2=150 km)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	214	0,84	327	62
2	240	0,43	184	-13

Tabel 4.22 Hubungan Seri Dari 2 Saluran (Berbeban)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	117	1	116	12
2	136	0,5	67,9	4,1

2. Saluran 1 = 150 km saluran 2 = 300 km

Tabel 4.23 Hubungan Seri Dari 2 Saluran (saluran 1=150 km)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	237	0,78	268	183
2	241	0,45	186	-36

Tabel 4.25 Hubungan Seri Dari 2 Saluran (saluran 1=300 km)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
-----	-------------------	-----------------	----------------	------------

1	208	0,82	262	144
2	242	0,44	186	-23

Tabel 4.26 Hubungan Seri Dari 2 Saluran (Berbeban)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	91,8	1	91,2	11
2	137,8	0,50	69	4,1

3. Saluran 1 = 300 km saluran 2 = 150 km
 - Saluran awal 1

Tabel 4.27 Hubungan Seri Dari 2 Saluran (saluran 1=300 km)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	238	0,78	237	173
2	241	0,45	184	-39

Tabel 4.28 Hubungan Seri Dari 2 Saluran (saluran 2=150 km)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
-----	-------------------	-----------------	----------------	------------

1	180	0,84	257	67
2	242	0,42	182	-14

Tabel 4.24 Hubungan Seri Dari 2 Saluran (Berbeban)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	94	1	93	8
2	138	0,5	68	4

4. Saluran 1 = 300 km saluran 2 = 300 km
- Saluran awal 1

Tabel 4.28 Hubungan Seri Dari 2 Saluran (saluran 1=300 km)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	240	0,67	161	228
2	240	0,47	191	-47

Tabel 4.29 Hubungan Seri Dari 2 Saluran (saluran 2=300 km)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	152	0,78	146	148
2	246	0,44	188	-25

Tabel 4.30 Hubungan Seri Dari 2 Saluran (Berbeban)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	50	1	48,3	1,9
2	149	0,5	70,1	4,9

HUBUNGAN 2 SALURAN SECARA PARALEL

5. Saluran 1 = 150 km saluran 2 = 150 km

Tabel 4.31 Hubungan 2 saluran secara paralel (saluran 1=150 km)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	225	1,52	509	192
2	232	0,6	232	90

Tabel 4.32 Hubungan 2 saluran secara paralel (saluran 2=150 km)

Tabel 4.33 Hubungan 2 saluran secara paralel (Berbeban)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	203	1,56	557	114
2	218	0,68	231	130

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	118	1,6	186,4	39
2	126,8	0,8	86,7	52,5

6. S
aluran 1

= 150 km saluran 2 = 300 km
- Saluran awal 1

Tabel 4.34 Hubungan 2 saluran secara paralel (saluran 1=150 km)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	225	1,50	550	202
2	243	0,59	231	63

Tabel 4.35 Hubungan 2 saluran secara paralel (saluran 2=150 km)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	114	1,6	179,3	38
2	127	0,8	88	51

Tabel 4.36 Hubungan 2 saluran secara paralel (Berbeban)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	195	1,57	537	107
2	216	0,69	232	128

= 300 km saluran 2 = 150 km

Tabel 4.37 Hubungan 2 saluran secara paralel (saluran 1=300 km)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	224	1,50	547	205
2	231	0,58	231	64

7. S
aluran 1

Tabel 4.38 Hubungan 2 saluran secara paralel (saluran 2=150 km)

Tabel 4.39 Hubungan 2 saluran secara paralel (Berbeban)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	194	1,57	531	106
2	214	0,68	230	126

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	114	1,6	179	39
2	125	0,8	87	50

8. Saluran 1 = 300 km saluran 2 = 300 km

Tabel 4.40 Hubungan 2 saluran secara paralel (saluran 1=300 km)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	225	1,46	501	266
2	232	0,56	228	47

Tabel 4.41 Hubungan 2 saluran secara paralel (saluran 2=300km)

1	171	1,57	474	84
2	205	0,68	224	118

Tabel 4.42 Hubungan 2 saluran secara paralel (Berbeban)

NO.	V_{L1-N} (V)	I_{L1} (A)	P aktif (W)	Q (Var)
1	102	1,6	161	33
2	120,9	0,8	83	49

3. Sistem Proteksi

a. Over Current Relay

Tabel 4.43 Over Current Relay 1 pola (Hubung Singkat)

NO.	Over Current Level	$I_{PU}(A)$	I_{Re} (A)	$R (\Omega)$	$I_{L1} P_U$ (A)	$I_{L1} R_e$ (A)	$R (\Omega)$	$I_{L2} P_U$ (A)	$I_{L2} R_e$ (A)
1	0,5	0,51	0,46	0,90	0,07	0,06	0,85	0,08	0,08
2	0,8	0,80	0,76	0,95	0,10	0,10	1	0,13	1,12

3	1	1	0,97	0,97	0,12	0,12	1	0,15	0,15
4	1,2	1,2	1,14	0,95	0,14	0,14	1	0,17	0,17

Tabel 4.44 Over Current Relay 2 pola (Hubung Singkat)

NO.	Over Current Level	I_{PU} (A)	I_{Re} (A)	R (Ω)	$I_{L1 PU}$ (A)	$I_{L1 Re}$ (A)
1	0,5	0,49	0,48	0,97	0,09	0,08
2	0,8	0,80	0,76	0,95	0,13	0,12
3	1	1	0,96	0,96	0,15	0,15
4	1,2	1,2	1,17	0,97	0,18	0,17

Tabel 4.45 Over Current Relay 3 pola (Hubung Singkat)

NO.	Over Current Level	I_{PU} (A)	I_{Re} (A)	R (Ω)
1	0,5	0,50	0,47	0,94
2	0,8	0,78	0,75	0,96
3	1	1	0,94	0,94
4	1,2	1,18	1	0,84

b. Directional Relay

Tabel 4.46 Directional Relay

NO.	Waktu Setting (s)	Waktu Trip (s)	Selisih (s)
1	10	09,77	-0,23
2	8	08,40	0,4
3	6	06,02	0,02
4	4	03,90	-0,1

B. Analisa Data

Untuk Memudahkan perhitungan kita bisa menggunakan konstanta A B C D yaitu:

1. Panjang saluran 150 km

Pada perhitungan kostanta A B C D digunakan persamaan (2.14 dan 2.15) yang terdapat pada halaman 8.

Diketahui:

$$R=0,024 \Omega/km$$

$$L=0,77 \text{ mH/ km} = 0,77 \times 10^{-3} \text{ H/km}$$

$$C_B=13,07 \text{ nF/km} = 13,07 \times 10^{-9} \text{ F/km}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } Z &= (R + j\omega L)l \\ &= (0,024+j (2\pi f)L)l \\ &= (0,024+j (2\pi 50) (0,77 \times 10^{-3}) 150 \\ &= (0,024+j 0,241) 150 \\ &= (3,6+j 36,15) \end{aligned}$$

$$Z = 36,32 \Omega \angle 84,31^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } Y &= (j\omega C_B)l \\ &= (j 2\pi f \cdot C_B)l \\ &= (j 2\pi 50 \cdot (13,07 \times 10^{-9}) 150 \\ &= (j 314 (13,07 \times 10^{-9}) 150 \\ &= (j 4,103 \times 10^{-6}) 150 \\ &= (j 6,155 \times 10^{-4}) \end{aligned}$$

$$= 6,155 \times 10^{-4} \Omega \angle 90^\circ$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } A = D &= 1 + \frac{ZY}{2} = 1 + \frac{36,32 \angle 84,31 \times (6,155 \angle 90)}{2} \\
 &= 1 + (-0,011 + j 1,108 \times 10^{-3}) \\
 &= 0,989 \angle 0,064^\circ
 \end{aligned}$$

$$B = Z = 3,632 \angle 84,31$$

$$\begin{aligned}
 C &= Y \left(1 + \frac{ZY}{4} \right) = Y \left(1 + \frac{36,32 \angle 84,31 \times 6,155 \times 10^{-4} \angle 90}{4} \right) \\
 &= Y (1 + (-5,56 \times 10^{-3} + j 5,54 \times 10^{-4})) \\
 &= Y (0,994 \angle 0,031) 1,994 \\
 &= (6,155 \times 10^{-4} \angle 90) \times (0,994 \angle 0,031) \\
 &= 6,118 \times 10^{-4} \angle 90,031 \\
 &= 3,31 \times 10^{-7} + j 6,11 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

2. Panjang saluran 300 km

Pada perhitungan konstanta A B C D digunakan persamaan (2.23) yang terdapat pada halaman 10.

Diketahui:

$$R = 0,024 \Omega / \text{km}$$

$$L = 0,77 \text{ mH} / \text{km} = 0,77 \times 10^{-3} \text{ H} / \text{km}$$

$$C_B = 13,07 \text{ nF} / \text{km} = 13,07 \times 10^{-9} \text{ F} / \text{km}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } Z &= (R + j\omega L)l \\
 &= (0,024 + j (2\pi f)L)l \\
 &= (0,024 + j (2\pi 50) (0,77 \times 10^{-3})) 300
 \end{aligned}$$

$$= (0,024 + j 0,241) 300$$

$$= 7,2 + j 72,3 \Omega$$

$$= 72,65 \Omega \angle 84,31^\circ$$

$$\rightarrow Y = (j \omega C) l$$

$$= (j 2\pi 50 \cdot 13,07 \times 10^{-9}) 300$$

$$= (j 4,106 \times 10^{-6}) 300$$

$$= (j 1,23 \times 10^{-3}) \Omega$$

$$= 1,23 \times 10^{-3} \Omega \angle 90^\circ$$

$$A = D = \cosh(\gamma l) = \cosh \sqrt{ZY}$$

$$= \cosh \sqrt{(72,65 \angle 84,31) \cdot (1,23 \times 10^{-3} \angle 90)},$$

$$= \cosh \sqrt{8,93 \times 10^{-2} \angle 174,31}$$

$$= \cosh(0,29 \angle 87,23)$$

$$= \cosh(0,014 + j 0,29)$$

$$= (\cosh 0,014) \cdot (\cos 0,29) + j (\sinh 0,014) \cdot (\sin 0,29)$$

$$= 1 \cdot 0,99 + j 0,01 \cdot 0,0050$$

$$A = 0,99 + j 5 \times 10^{-5}$$

$$= 0,99 \angle 2,8 \times 10^{-3}$$

$$B = Z_k \sinh(\gamma l)$$

$$= \sqrt{\frac{(72,65 \angle 84,31)}{1,23 \times 10^{-3} \angle 90}} \sinh(0,014 + j 0,29)$$

$$= 243,03 \angle - 2,845 (\sinh(0,14 + j 0,29))$$

$$= 243,03 \angle - 2,845 (\sinh 0,014) (\cos 0,29) + j (\cosh 0,014) \cdot (\sin 0,29)$$

$$= 243,03 \angle - 2,845 (0,014 \times 0,99 + j 1 \times 0,005)$$

$$= 243,03 \angle -2,845 (0,013 + j 0,005)$$

$$= (243,03 -2,845) (0,013 \angle 21,03)$$

$$= 3,15 \angle 18,18$$

$$B = 2,99 + j 0,98$$

$$C = \frac{\sinh \gamma}{Z_k} = \frac{0,013 \angle 21,03}{243,03 \angle -2,845}$$

$$= 5,347 \angle 23,88$$

$$= 4,89 \times 10^{-5} + j 2,165 \times 10^{-5}$$

$$= 5,347 \times 10^{-5} \angle 23,87$$

SALURAN MENENGAH

1. Percobaan Tanpa Beban

Data 1.

$$\text{Dik : } V_R = 223 \text{ V / } 387 \text{ V} \quad I_R = 0 \text{ A}$$

$$V_S = V_R \cdot \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) + Z \cdot I_R$$

$$= V_R \cdot A + B \cdot I_R$$

$$= 223 \cdot (0,989 \angle 0,064) + (36,32 \angle 84,31) \cdot 0$$

$$= 220 + 0$$

$$V_{S(L-N)} = 220 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 381,05 \text{ V}$$

✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.1

$$V_{S(L-N)} = 219 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 381,05 \text{ V}$$

$$I_S = V_R \cdot Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) \cdot I_R$$

$$I_S = V_R \cdot C + D \cdot I_R$$

$$I_s = 387 \cdot (6,118 \times 10^{-4} \angle 90,031) + (0,989 \angle 0,064) \cdot 0$$

$$I_s = 0,12 + 0$$

$$I_s = 0,12 \text{ A}$$

✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.1

$$I_s = 0,14 \text{ A}$$

Data 2.

$$\text{Dik : } V_R = 176 \text{ V} / 305 \text{ V} \quad I_R = 0 \text{ A}$$

$$V_s = V_R \cdot \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) + Z \cdot I_R$$

$$V_s = V_R \cdot A + B \cdot I_R$$

$$V_s = 176 \cdot (0,989 \angle 0,064) + (36,32 \angle 84,31) \cdot 0$$

$$V_s = 174,86 + 0$$

$$V_{s(L-N)} = 174,86 \text{ V}$$

$$V_{s(L-L)} = 301,4 \text{ V}$$

✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.1

$$V_{s(L-N)} = 162 \text{ V}$$

$$V_{s(L-L)} = 301 \text{ V}$$

$$I_s = V_R \cdot Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) \cdot I_R$$

$$I_s = V_R \cdot C + D \cdot I_R$$

$$I_s = 305 \cdot (6,118 \times 10^{-4} \angle 90,031) + (0,989 \angle 0,064) \cdot 0$$

$$I_s = 0,10 + 0$$

$$I_s = 0,10 \text{ A}$$

✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.1

$$I_s = 0,11 \text{ A}$$

2. Percobaan Matching

Data 1. Dengan $P = 300 \text{ W}$

$$\text{Dik : } V_R = 219,39 \text{ V / } 380 \text{ V} \quad I_R = 0,44 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} V_S &= V_R \cdot \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) + Z \cdot I_R \\ &= V_R \cdot A + B \cdot I_R \\ &= 219,39 \cdot (0,989 \angle 0,064) + (36,32 \angle 84,31) \cdot (0,44) \\ &= 216,9 + 1,58 \end{aligned}$$

$$V_{S(L-N)} = 218,48 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 378,41 \text{ V}$$

$$I_S = V_R \cdot Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) \cdot I_R$$

$$I_S = V_R \cdot C + D \cdot I_R$$

$$I_S = 3,44 \cdot (6,118 \times 10^{-4} \angle 90,031) + (0,989 \angle 0,064) \cdot (0,44)$$

$$I_S = 0,01 + 0,43$$

$$I_S = 0,44 \text{ A}$$

Data 2.

$$\text{Dik : } V_R = 217,08 \text{ V / } 376 \text{ V} \quad I_R = 0,60 \text{ A}$$

$$V_S = V_R \cdot \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) + Z \cdot I_R$$

$$V_S = V_R \cdot A + B \cdot I_R$$

$$V_S = 217,08 \cdot (0,989 \angle 0,064) + (36,32 \angle 84,31) \cdot (0,60)$$

$$V_S = 214,69 + 2,16$$

$$V_{S(L-N)} = 216,85 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 375,5 \text{ V}$$

$$I_S = V_R \cdot Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) \cdot I_R$$

$$I_S = V_R \cdot C + D \cdot I_R$$

$$I_S = 376 \cdot (6,118 \times 10^{-4} \angle 90,031) + (0,989 \angle 0,064) \cdot (0,61)$$

$$I_S = 0,12 + 0,6$$

$$I_S = 0,72 \text{ A}$$

3. Percobaan Hubung Singkat

$$\text{Dik : } V_R = 110 \text{ V}$$

$$I_R = 2,03 \text{ A}$$

$$V_S = V_R \cdot \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) + Z \cdot I_R$$

$$= V_R \cdot A + B \cdot I_R$$

$$= 110 \cdot (0,989 \angle 0,064) + (36,32 \angle 84,31) \cdot 2,03$$

$$= 108,7 + 7,31$$

$$V_S = 116 \text{ V}$$

✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.3

$$V_S = 110 \text{ V}$$

$$I_S = V_R \cdot Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) \cdot I_R$$

$$I_S = V_R \cdot C + D \cdot I_R$$

$$I_S = 110 \cdot (6,118 \times 10^{-4} \angle 90,031) + (0,989 \angle 0,064) \cdot 2,03$$

$$I_S = 0,06 + 2,00$$

$$I_S = 2,06 \text{ A}$$

✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.3

$$I_S = 1,98 \text{ A}$$

4. Percobaan Berbeban

- Beban Kapasitif ($C = 2 \mu F$)

$$\text{Dik : } V_R = 229,2 \text{ V} / 397 \text{ V}$$

$$I_R = 0,15 \text{ A}$$

$$V_S = V_R \cdot \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) + Z \cdot I_R$$

$$= V_R \cdot A + B \cdot I_R$$

$$= 229,2 \cdot (0,989 \angle 0,064) + (36,32 \angle 84,31) \cdot 0,15$$

$$= 226,6 + 0,54$$

$$V_{S(L-N)} = 227,14 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 393,4 V$$

- ✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.4

$$V_S = 380V$$

$$I_S = V_R \cdot Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) \cdot I_R$$

$$I_S = V_R \cdot C + D \cdot I_R$$

$$I_S = 397 \cdot (6,118 \times 10^{-4} \angle 90,031) + (0,989 \angle 0,064) \cdot 0,15$$

$$I_S = 0,13 + 0,14$$

$$I_S = 0,27 A$$

- ✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.4

$$I_S = 0,30A$$

- Beban Kapasitif ($C = 4 \mu F$)

$$\text{Dik : } V_R = 234 V / 406 V$$

$$I_R = 0,29A$$

$$V_S = V_R \cdot \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) + Z \cdot I_R$$

$$V_S = V_R \cdot A + B \cdot I_R$$

$$V_S = 234 \cdot (0,989 \angle 0,064) + (36,32 \angle 84,31) \cdot 0,29$$

$$V_S = 231,42 + 1,04$$

$$V_{S(L-N)} = 232,46 V$$

$$V_{S(L-L)} = 402,6V$$

- ✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.5

$$V_S = 380 V$$

$$I_S = V_R \cdot Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) \cdot I_R$$

$$I_S = V_R \cdot C + D \cdot I_R$$

$$I_S = 406 \cdot (6,118 \times 10^{-4} \angle 90,031) + (0,989 \angle 0,064) \cdot 0,29$$

$$I_S = 0,13 + 0,28$$

$$I_S = 0,41 A$$

- ✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.5

$$I_S = 0,44 \text{ A}$$

- Data Beban Kapasitif ($C = 6 \mu F$)

$$\text{Dik : } V_R = 241,33 \text{ V/418 V}$$

$$I_R = 0,45 \text{ A}$$

$$V_S = V_R \cdot \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) + Z \cdot I_R$$

$$V_S = V_R \cdot A + B \cdot I_R$$

$$V_S = 241,33 \cdot (0,989 \angle 0,064) + (36,32 \angle 84,31) \cdot 0,45$$

$$V_S = 238,6 + 1,62$$

$$V_{S(L-N)} = 240,22 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 416 \text{ V}$$

- ✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.6

$$V_S = 380 \text{ V}$$

$$I_S = V_R \cdot Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) \cdot I_R$$

$$I_S = V_R \cdot C + D \cdot I_R$$

$$I_S = 418 \cdot (6,118 \times 10^{-4} \angle 90,031) + (0,989 \angle 0,064) \cdot 0,45$$

$$I_S = 0,25 + 0,44$$

$$I_S = 0,69 \text{ A}$$

- ✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.6

$$I_S = 0,60 \text{ A}$$

- Data Beban induktif ($L = 3,2 \text{ H}$)

$$\text{Dik : } V_R = 213,04 \text{ V/397 V}$$

$$I_R = 0,22 \text{ A}$$

$$V_S = V_R \cdot \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) + Z \cdot I_R$$

$$V_S = V_R \cdot A + B \cdot I_R$$

$$V_S = 213,04 \cdot (0,989 \angle 0,064) + (36,32 \angle 84,31) \cdot 0,22$$

$$V_S = 210,69 + 0,79$$

$$V_{S(L-N)} = 211,48 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 366,29 \text{ V}$$

✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.7

$$V_S = 380 \text{ V}$$

$$I_S = V_R \cdot Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) \cdot I_R$$

$$I_S = V_R \cdot C + D \cdot I_R$$

$$I_S = 397 \cdot (6,118 \times 10^{-4} \angle 90,031) + (0,989 \angle 0,064) \cdot 0,22$$

$$I_S = 0,13 + 0,21$$

$$I_S = 0,34 \text{ A}$$

✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.7

$$I_S = 0,08 \text{ A}$$

- Data Beban Induktif ($L = 2,8 \text{ H}$)

$$\text{Dik: } V_R = 211,88 \text{ V} / 367 \text{ V}$$

$$I_R = 0,25 \text{ A}$$

$$V_S = V_R \cdot \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) + Z \cdot I_R$$

$$V_S = V_R \cdot A + B \cdot I_R$$

$$V_S = 211,88 \cdot (0,989 \angle 0,064) + (36,32 \angle 84,31) \cdot 0,25$$

$$V_S = 209,54 + 0,90$$

$$V_{S(L-N)} = 210,44 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 364,4 \text{ V}$$

✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.8

$$V_S = 380 \text{ V}$$

$$I_S = V_R \cdot Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) \cdot I_R$$

$$I_S = V_R \cdot C + D \cdot I_R$$

$$I_s = 367 \cdot (6,118 \times 10^{-4} \angle 90,031) + (0,989 \angle 0,064) \cdot 0,25$$

$$I_s = 0,12 + 0,24$$

$$I_s = 0,36 \text{ A}$$

- ✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.8

$$I_s = 0,11 \text{ A}$$

- Data Beban induktif ($L = 2,4 \text{ H}$)

$$\text{Dik : } V_R = 213,04 \text{ V} / 364 \text{ V} \qquad I_R = 0,28 \text{ A}$$

$$V_s = V_R \cdot \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) + Z \cdot I_R$$

$$V_s = V_R \cdot A + B \cdot I_R$$

$$V_s = 213,04 \cdot (0,989 \angle 0,064) + (36,32 \angle 84,31) \cdot 0,28$$

$$V_s = 210,69 + 1$$

$$V_{s(L-N)} = 211,69 \text{ V}$$

$$V_{s(L-L)} = 366,65 \text{ V}$$

- ✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.9

$$V_s = 380 \text{ V}$$

$$I_s = V_R \cdot Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) \cdot I_R$$

$$I_s = V_R \cdot C + D \cdot I_R$$

$$I_s = 364 \cdot (6,118 \times 10^{-4} \angle 90,031) + (0,989 \angle 0,064) \cdot 0,22$$

$$I_s = 0,12 + 0,21$$

$$I_s = 0,33 \text{ A}$$

- ✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.9

$$I_s = 0,15 \text{ A}$$

- Data Beban Campuran ($L = 3,2 \text{ HR} = 300 \text{ W}$)

$$\text{Dik : } V_R = 210,7 \text{ V} / 397 \text{ V}$$

$$I_R = 0,50 \text{ A}$$

$$V_S = V_R \cdot \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) + Z \cdot I_R$$

$$V_S = V_R \cdot A + B \cdot I_R$$

$$V_S = 210,7 \cdot (0,989 \angle 0,064) + (36,32 \angle 84,31) \cdot 0,50$$

$$V_S = 208,38 + 1,80$$

$$V_{S(L-N)} = 210,18 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 364,4 \text{ V}$$

✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.10

$$V_S = 365 \text{ V}$$

$$I_S = V_R \cdot Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) \cdot I_R$$

$$I_S = V_R \cdot C + D \cdot I_R$$

$$I_S = 211,88 \cdot (6,118 \times 10^{-4} \angle 90,031) + (0,989 \angle 0,064) \cdot 0,50$$

$$I_S = 0,070 + 0,49$$

$$I_S = 0,56 \text{ A}$$

✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.10

$$I_S = 0,50 \text{ A}$$

- Data Beban Campuran ($L = 2,0 \text{ HR} = 400 \text{ W}$)

$$\text{Dik : } V_R = 203,22 \text{ V} / 352 \text{ V}$$

$$I_R = 0,73 \text{ A}$$

$$V_S = V_R \cdot \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) + Z \cdot I_R$$

$$V_S = V_R \cdot A + B \cdot I_R$$

$$V_S = 203,22 \cdot (0,989 \angle 0,064) + (36,32 \angle 84,31) \cdot 0,73$$

$$V_S = 200,76 + 2,62$$

$$V_{S(L-N)} = 203,38 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 352,26 \text{ V}$$

- ✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.11

$$V_S = 352 \text{ V}$$

$$I_S = V_R \cdot Y \left(1 + \frac{ZY}{4} \right) + \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) \cdot I_R$$

$$I_S = V_R \cdot C + D \cdot I_R$$

$$I_S = 352 \cdot (6,118 \times 10^{-4} \angle 90,031)(0,989 \angle 0,064) \cdot 0,73$$

$$I_S = 0,11 + 0,72$$

$$I_S = 0,83 \text{ A}$$

- ✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.11

$$I_S = 0,73 \text{ A}$$

SALURAN PANJANG (300 KM)

1. Percobaan Tanpa Beban

Data 1.

$$\text{Dik : } V_R = 237 \text{ V} / 412 \text{ V}$$

$$I_R = 0 \text{ A}$$

$$V_S = V_R \cdot \cosh \gamma l + Z_C \cdot \sinh \gamma l \cdot I_R$$

$$= V_R \cdot A + B \cdot I_R$$

$$= 237 \cdot (0,99 \angle 2,8 \times 10^{-3}) + (3,15 \angle 18,18) \cdot 0$$

$$= 234,6 + 0$$

$$V_{S(L-N)} = 234,6 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 406,3 \text{ V}$$

- ✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.16

$$V_{S(L-N)} = 219 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 382 \text{ V}$$

$$I_S = \frac{V_R}{Z_C} \sinh \gamma l + \cosh \gamma l \cdot I_R$$

$$I_S = V_R \cdot C + D \cdot I_R$$

$$I_s = 237 \cdot (5,347 \times 10^{-5} \angle 23,87) + (0,99 \angle 2,8 \times 10^{-3}) \cdot 0$$

$$I_s = 0,11 + 0$$

$$I_s = 0,11 \text{ A}$$

- ✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.16

$$I_s = 0,29 \text{ A}$$

Data 2.

$$\text{Dik : } V_R = 187 \text{ V} / 323 \text{ V} \quad I_R = 0 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} V_s &= V_R \cdot \cosh \gamma l + Z_C \cdot \sinh \gamma l \cdot I_R \\ &= V_R \cdot A + B \cdot I_R \\ &= 187 \cdot (0,99 \angle 2,8 \times 10^{-3}) + (3,15 \angle 18,18) \cdot 0 \\ &= 185,1 + 0 \end{aligned}$$

$$V_{S(L-N)} = 185,1 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 320,6 \text{ V}$$

- ✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.16

$$V_{S(L-N)} = 173 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 300 \text{ V}$$

$$I_s = \frac{V_R}{Z_C} \sinh \gamma l + \cosh \gamma l \cdot I_R$$

$$I_s = V_R \cdot C + D \cdot I_R$$

$$I_s = 187 \cdot (5,347 \times 10^{-5} \angle 23,87) + (0,99 \angle 2,8 \times 10^{-3}) \cdot 0$$

$$I_s = 0,01 + 0$$

$$I_s = 0,01 \text{ A}$$

- ✓ Data Hasil Pengukuran pada tabel 4.16

$$I_s = 0,23 \text{ A}$$

2. Percobaan Macthing

$$\text{Dik : } V_R = 224,58 \text{ V} / 389 \text{ V} \quad I_R = 0,43 \text{ A}$$

$$V_S = V_R \cdot \cosh \gamma l + Z_C \cdot \sinh \gamma l \cdot I_R$$

$$= V_R \cdot A + B \cdot I_R$$

$$= 224,58 \cdot (0,99 \angle 2,8 \times 10^{-3}) + (3,15 \angle 18,18) \cdot 0,43$$

$$= 221,75 + 1,28$$

$$V_{S(L-N)} = 223,03 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 386,29 \text{ V}$$

$$I_S = \frac{V_R}{Z_C} \sinh \gamma l + \cosh \gamma l \cdot I_R$$

$$I_S = V_R \cdot C + D \cdot I_R$$

$$I_S = 224,58 \cdot (5,347 \times 10^{-5} \angle 23,87) + (0,99 \angle 2,8 \times 10^{-3}) \cdot 0,43$$

$$I_S = 0,01 + 0,42$$

$$I_S = 0,43 \text{ A}$$

3. Percobaan Hubung Singkat

$$\text{Dik : } V_R = 110 \text{ V} \quad I_R = 0,81 \text{ A}$$

$$V_S = V_R \cdot \cosh \gamma l + Z_C \cdot \sinh \gamma l \cdot I_R$$

$$= V_R \cdot A + B \cdot I_R$$

$$= 110 \cdot (0,99 \angle 2,8 \times 10^{-3}) + (3,15 \angle 18,18) \cdot 0,81$$

$$= 108,8 + 0,53$$

$$V_{S(L-N)} = 109,33 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 189,36 \text{ V}$$

$$I_S = \frac{V_R}{Z_C} \sinh \gamma l + \cosh \gamma l \cdot I_R$$

$$I_S = V_R \cdot C + D \cdot I_R$$

$$I_S = 110 \cdot (5,347 \times 10^{-5} \angle 23,87) + (0,99 \angle 2,8 \times 10^{-3}) \cdot 0,81$$

$$I_S = 0,005 + 0,80$$

$$I_S = 0,80 \text{ A}$$

HUBUNGAN SERI DARI 2 SALURAN

1. Saluran 1 : 150 Km Saluran 2 : 150 Km

$$\text{Dik : } V_R = 117 \text{ V} / 202,6 \text{ V} \quad I_R = 1 \text{ A}$$

$$V_S = A_2(A_1 V_R + B_1 I_R) + B_2(C_1 V_R + D_1 I_R)$$

$$\begin{aligned} &= (A_1 A_2 + B_2 C_1)V_R + (A_2 B_1 + B_2 D_1)I_R \\ &= [(0,989 \angle 0,064)(0,989 \angle 0,064) \\ &\quad + (36,32 \angle 84,31)(6,118 \times 10^{-4} \angle 90,031)]. 117 \\ &\quad + [(0,989 \angle 0,064)(36,32 \angle 84,31) \\ &\quad + (36,32 \angle 84,31)(0,989 \angle 0,064)]. 1 \\ &= [(0,978 \angle 0,128) + (0,022 \angle 174,341)]. 117 \\ &\quad + [(35,92 \angle 84,43) + (35,92 \angle 84,43)]. 1 \\ &= [0,956 \angle 0,26]. 117 + [71,84 \angle 84,43]. \\ &= 226,56 + 6,97 \end{aligned}$$

$$V_{S(L-N)} = 233,53 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 404,4 \text{ V}$$

2. Saluran 1 : 150 Km Saluran 2 : 300 Km

$$\text{Dik : } V_R = 91,8 \text{ V} / 159 \text{ V} \quad I_R = 1 \text{ A}$$

$$V_S = A_2(A_1 V_R + B_1 I_R) + B_2(C_1 V_R + D_1 I_R)$$

$$\begin{aligned} &= (A_1 A_2 + B_2 C_1)V_R + (A_2 B_1 + B_2 D_1)I_R \\ &= [(0,989 \angle 0,064)(0,99 \angle 2,8 \times 10^{-3}) \\ &\quad + (3,15 \angle 18,18)(6,118 \times 10^{-4} \angle 90,031)]. 91,8 \\ &\quad + [(0,99 \angle 2,8 \times 10^{-3})(36,32 \angle 84,31) \\ &\quad + (3,15 \angle 18,18)(0,989 \angle 0,064)]. 1 \end{aligned}$$

$$= [(0,979 \angle 0,06) + (1,92 \times 10^{-3} \angle 108,21)]. 91,8$$

$$+ [(35,95 \angle 84,31) + (3,11 \angle 18,82)]. 1$$

$$= [0,978 \angle 0,16]. 91,8 + [37,34 \angle 79,96]. 1$$

$$= 89,7 + 6,5$$

$$V_{S(L-N)} = 96,2 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 166,62 \text{ V}$$

HUBUNGAN PARALEL DARI 2 SALURAN

1. Saluran 1 : 150 Km — Saluran 2 : 150 Km

$$\text{Dik : } V_R = V_{R1} = V_{R2} = 203 \text{ V} / 351,60 \text{ V} \quad I_R = I_{R1} + I_{R2} = 1,56 + 1,6 = 3,16 \text{ A}$$

$$V_S = \frac{[(A_1 B_2 + A_2 B_1)]}{B_1 + B_2} V_R + \frac{B_1 \cdot B_2}{B_1 + B_2} I_R$$

$$V_S = \frac{[(0,989 \angle 0,064)(36,32 \angle 84,31) + (0,989 \angle 0,064)(36,32 \angle 84,31)]}{(36,32 \angle 84,31) + (36,32 \angle 84,31)} 203$$

$$+ \frac{(36,32 \angle 84,31) \cdot (36,32 \angle 84,31)}{(36,32 \angle 84,31) + (36,32 \angle 84,31)} 3,16$$

$$V_S = \frac{[(35,92 \angle 84,37) + (35,92 \angle 84,37)]}{(72,64 \angle 84,31)} 203 + \frac{(1319,14 \angle 168,62)}{(72,64 \angle 84,31)} 3,16$$

$$V_S = \frac{[71,84 \angle 84,37]}{(72,64 \angle 84,31)} 203 + (18,15 \angle 84,31) 3,16$$

$$V_S = (0,988 \angle 0,06) 203 + (18,15 \angle 84,31) 3,16$$

$$V_S = 200,5 + 5,68$$

$$V_{S(L-N)} = 206,18 \text{ V}$$

$$V_{S(L-L)} = 357,11 \text{ V}$$

2. Saluran 1 : 150 Km — Saluran 2 : 300 Km

$$\text{Dik : } V_R = V_{R1} = V_{R2} = 195 \text{ V} / 337,7 \text{ V} \quad I_R = I_{R1} + I_{R2} = 1,57 + 1,6 = 3,17 \text{ A}$$

$$V_S = \frac{[(A_1 B_2 + A_2 B_1)]}{B_1 + B_2} V_R + \frac{B_1 \cdot B_2}{B_1 + B_2} I_R$$

$$V_s = \frac{[(0,989 \angle 0,064)(3,15 \angle 18,18) + (0,99 \angle 2,8 \times 10^{-3})(36,32 \angle 84,31)]}{(36,32 \angle 84,31) + (3,15 \angle 18,18)} 195$$

$$+ \frac{(36,32 \angle 84,31) \cdot (3,15 \angle 18,18)}{(36,32 \angle 84,31) + (3,15 \angle 18,18)} 3,17$$

$$V_s = \frac{[(3,11 \angle 18,24) + (3,187 \angle 84,31)]}{(37,7 \angle 79,9)} 195 + \frac{(114,4 \angle 102,4)}{(37,7 \angle 79,9)} 3,17$$

$$V_s = \frac{[5,27 \angle 51,73]}{(37,7 \angle 79,9)} 195 + (3,03 \angle 22,5) 3,17$$

$$V_s = (0,139 \angle -28,17) 203 + (3,03 \angle 22,5) 3,17$$

$$V_s = 24,87 + 88,7$$

$$V_{s(L-N)} = 113,5 V$$

$$V_{s(L-L)} = 196,70 V$$



SISTEM PROTEKSI

1. Over Current Relay

No.	Over Current Level	I_{PU} (A)	I_{Re} (A)	British Standard Pick Up (A)
1	0,5	0,51	0,46	0,52-0,65
2	0,8	0,80	0,76	0,84-1,04
3	1	1	0,97	1,05-1,3
4	1,2	1,2	1,14	1,26-1,56

Dari hasil yang kami dapatkan pada sistem over current relay itu sudah menunjukkan kerja alat yang sesuai dengan British Standard Pick Up. Dimana British Standard Pick Up = 1,05 s/d 1,3 Iset.

2. Directional Relay

Dari hasil pengujian yang didapatkan pada tabel 4.46 terlihat bahwa koordinasi antara rele pada sistem proteksi ini sudah bekerja dengan baik, yaitu dengan waktu kerja antara relenya rata-rata 0,1 detik.

BAB V

KESIMPULAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang karakteristik sistem proteksi dan saluran transmisi menengah dan panjang dapat disimpulkan:

- Nilai-nilai konstanta ABCD pada saluran 150 KM masing-masing adalah:
 - $A = D = 0,989$
 - $B = 36,32$
 - $C = 6,118 \times 10^{-4}$- Nilai-nilai konstanta ABCD pada saluran 300 KM masing-masing adalah:
 - $A = D = 0,99$
 - $B = 3,15$
 - $C = 5,347 \times 10^{-5}$
- Nilai impedansi (Z) pada saluran menengah $36,32 \angle 84,31 \Omega$ sedangkan nilai impedansi (Z) pada saluran panjang $72,65 \angle 84,31 \Omega$.
- Nilai admitansi (Y) pada saluran menengah $6,115 \times 10^{-4} \angle 90 \Omega$ sedangkan nilai admitansi (Y) pada saluran panjang $1,23 \times 10^{-3} \angle 90 \Omega$.
- Dari hasil pengujian Over Current Relay dan Directional Relay terlihat bahwa koordinasi antara rele telah berjalan dengan baik, yaitu dengan selisih 0-0,2 A. Dimana ini menunjukkan kesesuaian dengan standar british.

DAFTAR PUSTAKA

- William,D. dan Stevenson,Jr. (1990). *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga
- Hanif,G. (2009). *Klasifikasi Saluran Transmisi Berdasarkan Tegangan*. [Online]. Tersedia <http://dunia-listrik.blogspot.com/2009/11/klasifikasi-saluran-transmisi.html>
- Fauzi. (2006). *Studi Analisa Pemilihan Tegangan Optimal Untuk Saluran Transmisi Daya Listrik*. Tugas akhir pada FTE UNDIP Semarang: tidak terbitkan
- Stevenson, William. 1983. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Edisi IV. Jakarta: Erlangga.
- Arismunandar, Artono dan Susumu Kuwahara. 1993. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik* . Jilid 2. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Kadir, Abdul. 1998. *Transmisi Tenaga Listrik*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
- Hutahuruk, T.S. 1990. *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Anderson, P.M, *Power Sistem Proteksi*, John Wiley & Sons, Inc, Canada, 1998, Ch. 3.
- Power Sistem Analisis, *Studi Load Flow*, PT. Wilmar Nabati Indonesia, 2009.
- Power Sistem Analisis, *Setting Proteksi*, PT. Wilmar Nabati Indonesia, 2009.

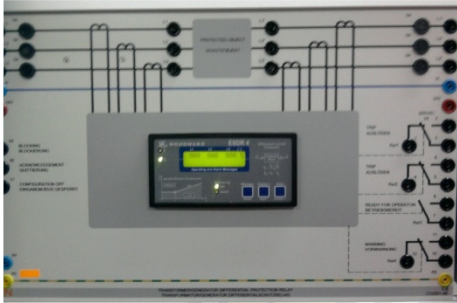
L



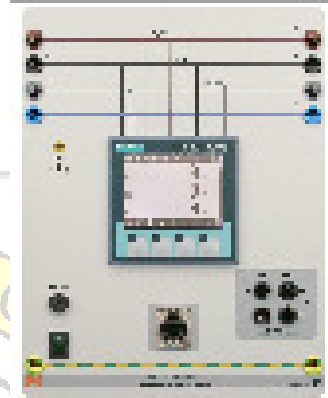
A

N

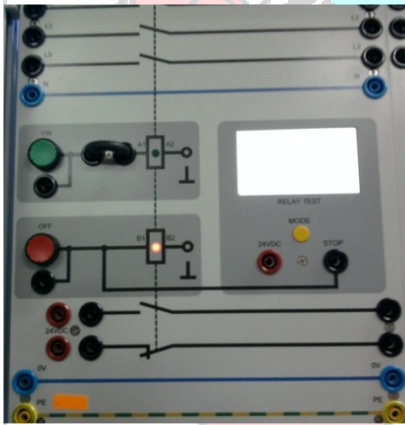
LAMPIRAN FOTO PERALATAN YANG DIGUNAKAN



Relai *differential*



Three Phase Meter



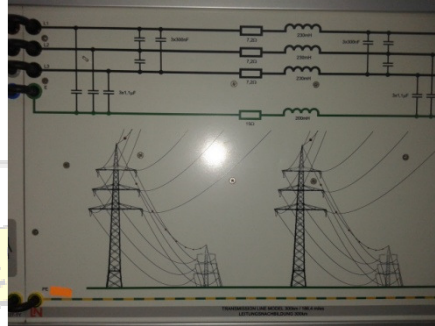
Timer



Three Phase Meter



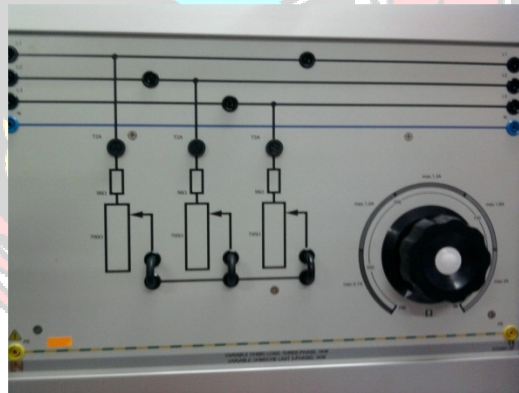
Saklar Daya



Saluran Transmisi



Relai Over Current

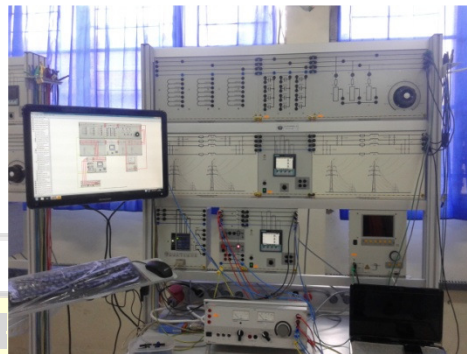


Beban (Resistif)





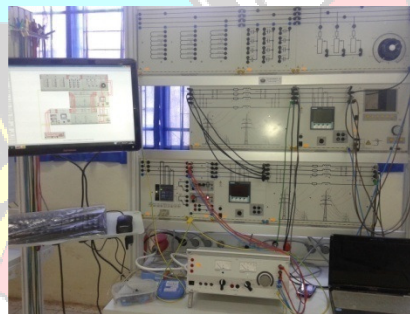
Power Supply 3 Phasa



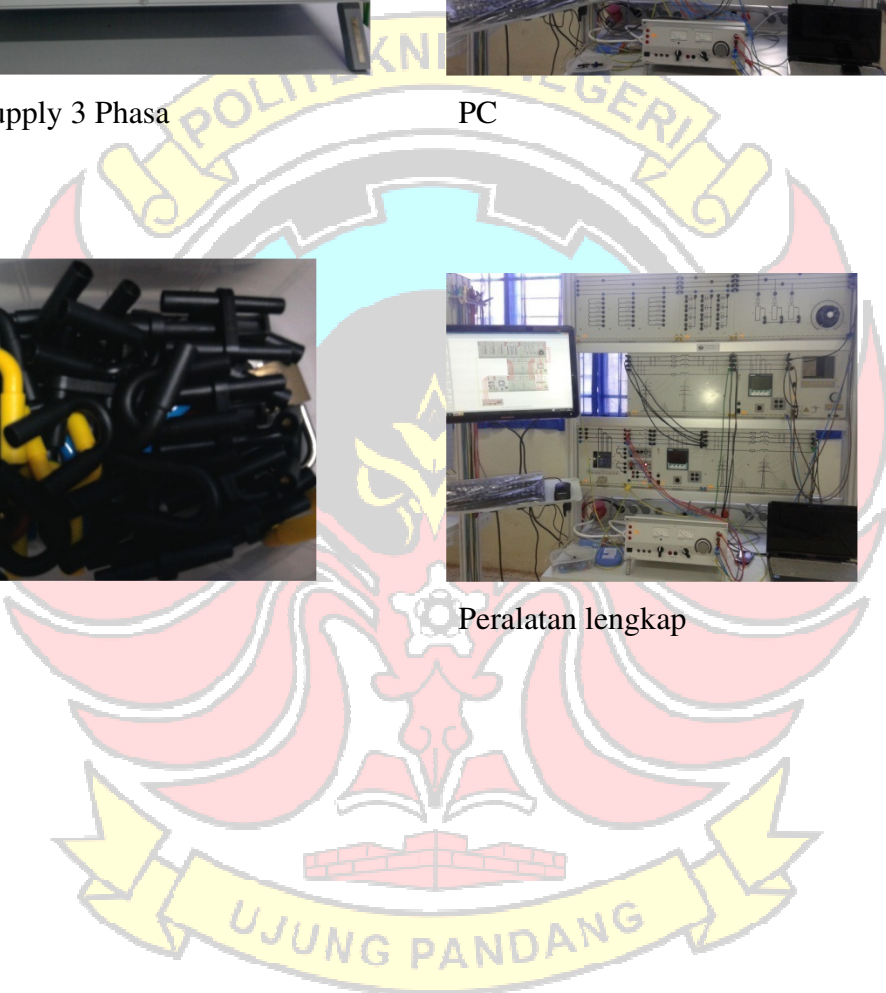
PC



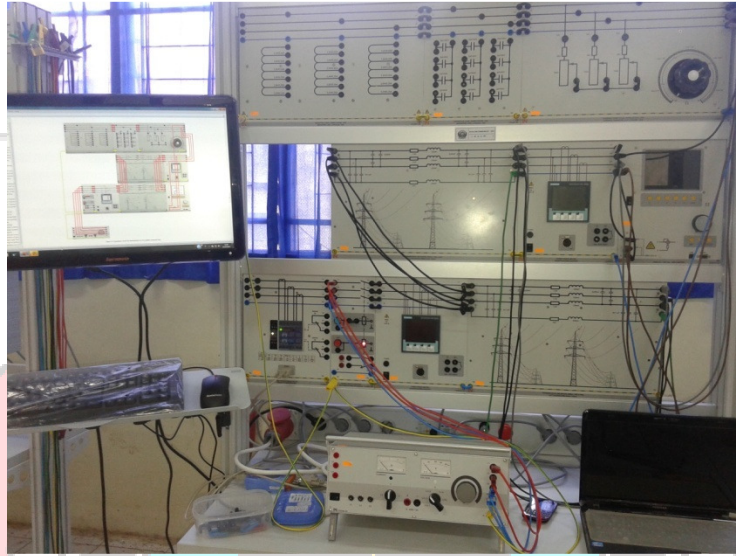
Plugger



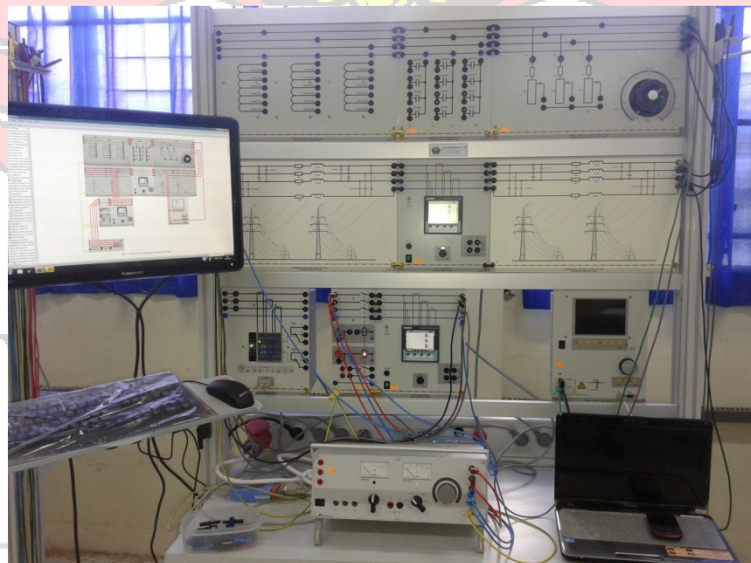
Peralatan lengkap



LAMPIRAN FOTO PENGAMBILAN DATA



Hubungan dua saluran secara paralel



Hubungan dua saluran secara seri



UJUNG PANDANG



UJUNG PANDANG