



**SIMULATOR SISTEM TENAGA LISTRIK TIGA  
FASA *SINGLE FEEDER* UNTUK PENDIDIKAN DAN  
PELATIHAN**

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro

Oleh

Arif Hartanto

NIM.5301411076



**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2017**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Arif Hartanto

NIM : 5301411076

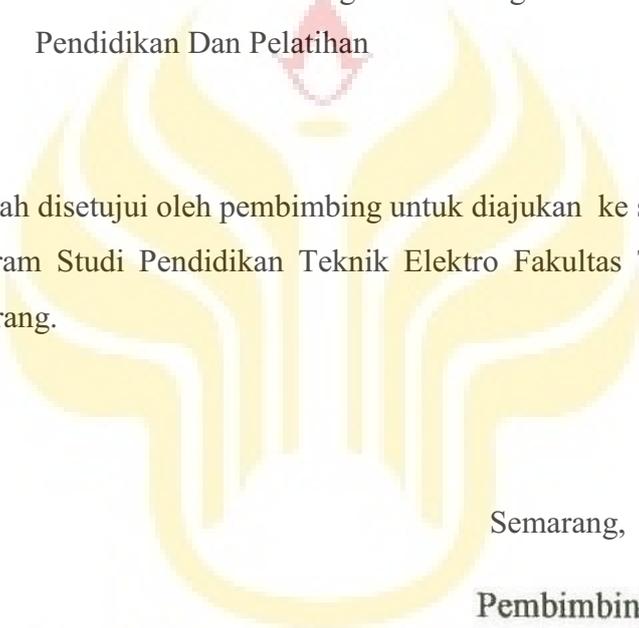
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro

Judul : Simulator Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa *Single Feeder* Untuk Pendidikan Dan Pelatihan

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, September 2017

Pembimbing,



UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
Drs. Sutarno, M.T.

NIP. 195510051984031001

## PENGESAHAN

Skripsi dengan judul *Simulator Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa Single Feeder* untuk Pendidikan dan Pelatihan telah dipertahankan di depan sidang panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 28 bulan September tahun 2017.

Oleh

Nama : Arif Hartanto  
NIM : 5301411076  
Program Studi: Pendidikan Teknik Elektro

Panitia:

Ketua

Sekretaris



Dr. Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T.,M.T.  
NIP. 197805312005011002



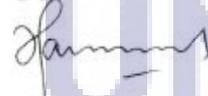
Drs. Agus Suryanto, M.T.  
NIP. 196708181992031004

Penguji 1



Dr. Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T.,M.T.  
NIP. 197805312005011002

Penguji 2



Dr. Muhammad Harlanu, M.Pd.  
NIP. 196602151991021001

Penguji 3



Drs. Sutarno, M.T.  
NIP. 195510051984031001

Mengetahui:  
Dekan Fakultas Teknik UNNES



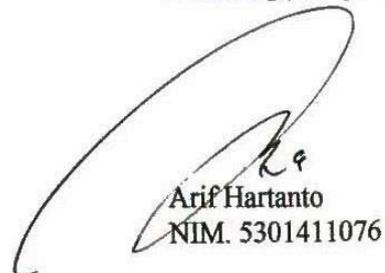
Dr. Nur Qudus, M.T.  
NIP. 196911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, di Universitas Negeri Semarang (UNNES).
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini

Semarang, 28 September 2017



Arif Hartanto  
NIM. 5301411076

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### **Motto :**

“*Man Jadda Wa Jadda*” barang siapa yang bersungguh-sungguh maka akan berhasil

Hidup adalah sebuah perjuangan

Sebaik-baiknya orang adalah yang bermanfaat bagi orang lain

### **Persembahan :**

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ibu dan Ayah tercinta yang selalu memberikan doa, dan semangat buat anaknya
2. Saudara-saudaraku yang selalu memberikan dorongan untuk terus maju menuntut ilmu
3. Amin, Shofi dan Sahabatku yang selalu menemani dalam suka duka mengerjakan skripsi ini
4. Keluarga ke duaku PPHK, Kos Mbah Ti yang selalu memberikan motivasinya untukku
5. Mbak Vita Ferisa yang selalu memberikan semangat dan motivasi untukku
6. Dosen, staff, dan teman-teman mahasiswa di jurusan Teknik Elektro yang senantiasa membantu pengerjaan skripsi ini

## ABSTRAK

Hartanto, Arif. 2017. **Simulator Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa *Single Feeder* Satu Fasa untuk Pendidikan dan Pelatihan**. Skripsi, Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Drs. Sutarno, M.T.

**Kata kunci** : eksperimen, simulator, sistem tenaga listrik tiga fasa *single feeder*.

Mata kuliah praktik sistem tenaga listrik merupakan salah satu mata kuliah yang ada pada Prodi Pendidikan Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Mata kuliah ini wajib bagi mahasiswa Pendidikan Teknik Elektro konsentrasi arus kuat. Kegiatan praktik tersebut tentunya membutuhkan alat untuk digunakan dalam praktik sistem tenaga listrik, khususnya simulator sistem tenaga listrik tiga fasa *single feeder*. Hal inilah yang menjadi kendala dalam mata kuliah praktik sistem tenaga listrik, dikarenakan belum adanya alat untuk bisa melakukan praktik tersebut secara maksimal. Dengan adanya simulator sistem tenaga listrik tiga fasa *single feeder* diharapkan dapat mengatasi permasalahan kebutuhan alat praktik dalam pembelajaran sistem tenaga listrik serta memberikan kemudahan bagi mahasiswa dalam mempelajari dan menguasai materi pembelajaran praktik sistem tenaga listrik sehingga dapat meningkatkan pemahaman materi pelajaran dan dapat mengoptimalkan hasil belajar para mahasiswa teknik elektro Universitas Negeri Semarang. Berdasarkan latar belakang tersebut rumusan masalah yang diperoleh apakah Simulator Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa *Single Feeder* untuk Pendidikan dan Pelatihan dapat digunakan pada mata kuliah praktik sistem tenaga listrik serta menampilkan drop tegangan dan rugi daya. Tujuan dari penelitian ini yaitu membuat, memaparkan, dan mengetahui bahwa Simulator Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa *Single Feeder* untuk Pendidikan dan Pelatihan dapat menampilkan drop tegangan dan rugi daya.

Metode penelitian yang digunakan dalam skripsi ini adalah metode penelitian eksperimen, karena data yang digunakan bersumber dari penelitian laboratorium. Pendekatan ini dipilih karena relevan dengan ciri ciri penelitian kuantitatif.

Hasil penelitian laboratorium menunjukkan bahwa Simulator Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa *Single Feeder* untuk Pendidikan dan Pelatihan dapat digunakan untuk menampilkan drop tegangan dan rugi daya.

Berdasarkan hasil penelitian laboratorium tersebut dapat disimpulkan bahwa Simulator Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa *Single Feeder* untuk Pendidikan dan Pelatihan dapat digunakan untuk menampilkan drop tegangan dan rugi daya serta dapat digunakan sebagai media pembelajaran pada perkuliahan praktik sistem tenaga listrik. Peneliti menyarankan dalam proses pembuatan Simulator Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa *Single Feeder* menggunakan komponen R dan L sesuai dengan buku referensi.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa yang telah melimpahkan segala rahmat, taufik serta hidayah-Nya, sehingga dengan ridho-Nya dapat terselesaikan skripsi yang berjudul "Simulator Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa *Single Feeder* untuk Pendidikan dan Pelatihan" dengan lancar.

Penulis menyadari bahwa pelaksanaan penyusunan karya tulis skripsi ini tidak akan dapat berjalan sebagaimana mestinya tanpa adanya dukungan serta bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Drs. Sutarno, M.T., selaku Dosen Pembimbing
2. Suroso, S.T. selaku laboran Laboratorium Praktik Sistem Tenaga
3. Bu Ranti dan Bapak Joko selaku Tata Usaha Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
4. Amin, Reza, Sofi dan teman-teman yang selalu memberikan semangat
5. Dr. Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T., selaku Penguji 1
6. Dr. Muhammad Harlanu, M.Pd. selaku penguji 2
7. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, yang telah membantu dari awal sampai terselesaikannya penulisan skripsi ini.

Penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari para pembaca. Penulis juga berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca juga bagi pihak lain yang memerlukannya. Aamiin.

Semarang, September 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
ABSTRAK .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Identifikasi Masalah.....	3
C. Rumusan Masalah .....	4
D. Pembatasan Masalah .....	4
E. Tujuan Penelitian .....	4
F. Manfaat Penelitian .....	5
G. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II LANDASAN TEORI.....	7
A. Sistem Tenaga Listrik .....	7
1. Pembangkit Tenaga Listrik .....	8
2. Transmisi Tenaga Listrik .....	9
3. Distribusi Tenaga Listrik.....	11
B. Klasifikasi Saluran Transmisi .....	16
1. Saluran Pendek.....	16
2. Saluran Menengah.....	17
3. Saluran Panjang.....	19
C. Jaringan Tunggal.....	20
D. <i>Single Feeder</i> .....	21
E. Daya .....	23
1. Pengertian Daya .....	23
2. Jenis Daya .....	24
3. Segitiga Daya .....	25
4. Faktor Daya.....	26

5. Rugi-rugi Daya.....	27
F. Tegangan .....	28
1. Pengertian Tegangan .....	28
2. Rugi-rugi Tegangan .....	29
G. Beban Listrik.....	30
1. Beban Resistif .....	30
2. Beban Induktif .....	31
3. Beban Kapasitif .....	32
H. Resistansi, Induktansi, dan Kapastansi .....	33
1. Resistansi .....	33
2. Induktansi .....	34
3. Kapasitansi .....	35
 BAB III METODE PENELITIAN.....	 37
A. Metode Penelitian .....	37
B. Subyek Penelitian.....	37
C. Tempat dan Waktu Penelitian.....	38
D. Prosedur Penelitian .....	38
E. Teknik Analisis Data.....	51
 BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	 53
A. Hasil Penelitian .....	53
1. Pembuatan Simulator .....	53
2. Hasil Penelitian Laboratorium .....	54
B. Pembahasan.....	60
 BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....	 72
A. Simpulan .....	72
B. Saran .....	72
 DAFTAR PUSTAKA .....	 73
LAMPIRAN.....	74



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik .....	8
Gambar 2.2. Konfigurasi Jaringan Radial .....	12
Gambar 2.3. Konfigurasi Jaringan Hantaran Penghubung.....	13
Gambar 2.4. Konfigurasi Jaringan Loop .....	14
Gambar 2.5. Konfigurasi Jaringan Spindel .....	14
Gambar 2.6. Konfigurasi Sistem Kluster .....	15
Gambar 2.7. Diagram Pengganti Saluran Pendek .....	16
Gambar 2.8. Saluran Pendek pada Simulator.....	17
Gambar 2.9. Diagram Pengganti Saluran Menengah, Nominal $T$ .....	17
Gambar 2.10. Diagram Pengganti Saluran Menengah, Nominal $PI$ .....	18
Gambar 2.11. Saluran Menengah pada Simulator.....	19
Gambar 2.12. Diagram Pengganti Saluran Panjang.....	19
Gambar 2.13. Saluran Panjang pada Simulator.....	20
Gambar 2.14. Jaringan Tunggal .....	21
Gambar 2.15. Sistem <i>Single Feeder</i> .....	22
Gambar 2.16. Sistem <i>Double Feeder</i> .....	22
Gambar 2.17. Segitiga Daya.....	25
Gambar 2.18. Diagram Faktor Daya .....	27
Gambar 2.19. Vektor Tegangan dan Arus.....	30
Gambar 2.20. Grafik Arus Tegangan pada Beban Resistif .....	31
Gambar 2.21. Grafik Arus Tegangan pada Beban Induktif .....	32
Gambar 2.22. Grafik Arus Tegangan pada Beban Kapasitif.....	33
Gambar 2.23. Resistor Daya.....	34
Gambar 2.24. Induktor .....	35
Gambar 2.25. Kapasitor <i>Elco</i> .....	36
Gambar 3.1. Diagram Alir Prosedur Penelitian .....	38
Gambar 3.2. Simulator Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa Jaringan Tunggal dan Ganda <i>Single Feeder</i> .....	48
Gambar 3.3. Rangkaian Simulator Sistem Tenaga Listrik Jaringan Tunggal dan Ganda <i>Single Feeder</i> .....	49
Gambar 4.1. Grafik Rugi Tegangan Dengan Beban Lampu Elektronik .....	57
Gambar 4.2. Grafik Rugi Tegangan Dengan Beban Lampu Pijar.....	57
Gambar 4.3. Grafik Rugi Tegangan Jaringan Tunggal Beban Motor AC ..	58

Gambar 4.4.	Grafik Daya Jaringan Tunggal dengan Beban Lampu Elektronik .....	58
Gambar 4.5.	Grafik Daya dengan Beban Lampu Pijar.....	59
Gambar 4.6.	Grafik Daya dengan Beban Motor AC.....	59
Gambar 4.7.	Vektor Tegangan Jaringan Tunggal Saluran Pendek Beban Lampu Elektronik .....	64
Gambar 4.8.	Vektor Tegangan Jaringan Tunggal Saluran Pendek Beban Lampu Pijar.....	64
Gambar 4.9.	Vektor Tegangan Jaringan Tunggal Saluran Pendek Beban Motor AC.....	65
Gambar 4.10.	Vektor Tegangan Jaringan Tunggal Saluran Menengah Beban Lampu Elektronik.....	65
Gambar 4.11.	Vektor Tegangan Jaringan Tunggal Saluran Menengah Beban Lampu Pijar .....	65
Gambar 4.12.	Vektor Tegangan Jaringan Tunggal Saluran Menengah Beban Motor AC.....	66
Gambar 4.13.	Vektor Tegangan Jaringan Tunggal Saluran Panjang Beban Lampu Elektronik .....	66
Gambar 4.14.	Vektor Tegangan Jaringan Tunggal Saluran Panjang Beban Lampu Pijar.....	66
Gambar 4.15.	Vektor Tegangan Jaringan Tunggal Saluran Panjang Beban Motor AC.....	67
Gambar 4.16.	Segitiga Daya Saluran Pendek dengan Beban Lampu Elektronik .....	68
Gambar 4.17.	Segitiga Daya Saluran Pendek dengan Beban Lampu Pijar.....	68
Gambar 4.18.	Segitiga Daya Saluran Pendek dengan Beban Motor AC .....	68
Gambar 4.19.	Segitiga Daya Saluran Menengah dengan Beban Lampu Elektronik .....	69
Gambar 4.20.	Segitiga Daya Saluran Menengah dengan Beban Lampu Pijar	69
Gambar 4.21.	Segitiga Daya Saluran Menengah dengan Beban Motor AC ...	70
Gambar 4.22.	Segitiga Daya Saluran Panjang dengan Beban Lampu Elektronik .....	70
Gambar 4.23.	Segitiga Daya Saluran Panjang dengan Beban Lampu Pijar....	71
Gambar 4.24.	Segitiga Daya Saluran Panjang dengan Beban Motor AC .....	71

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Besar Resistor, Induktor dan Kapasitor dari Ketiga Bus .....	47
Tabel 3.2. Besar Resistor, Induktor dan Kapasitor dari Ketiga Bus dengan Perbandingan .....	47
Tabel 4.1. Hasil Penelitian Laboratorium .....	55



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Desain Produk.....	73
Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian di Laboratorium.....	74



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. LATAR BELAKANG**

Sistem tenaga listrik merupakan sistem yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik ke konsumen. Sistem tenaga listrik ini umumnya terbagi menjadi tiga tahapan yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban. Untuk memenuhi tujuan operasi sistem tenaga listrik, ketigabagiannya yaitu pembangkit, penyaluran dan distribusi tersebut satu dengan yang lainnya tidak dapat dipisahkan karena saling melengkapi. Energi listrik ini dibangkitkan di pusat-pusat listrik tenaga, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), dan lain sebagainya. Energi ini kemudian akan disalurkan ke konsumen melalui jaringan listrik yaitu jaringan transmisi dan distribusi. Jaringan listrik berfungsi untuk menyalurkan energi listrik yang dihasilkan pada pusat pembangkit ke konsumen, karena umumnya pusat pembangkit listrik terletak jauh dari konsumen atau tempat yang membutuhkan energi listrik. Jaringan listrik ini ada dua yaitu jaringan transmisi dan distribusi, jaringan transmisi menyalurkan tenaga listrik bertegangan tinggi ke pusat-pusat beban dalam jumlah besar, maka saluran

distribusi berfungsi membagikan tenaga listrik tersebut kepada pihak pemakai melalui saluran tegangan rendah. Dalam dunia kampus khususnya fakultas teknik jurusan elektro konsentrasi listrik juga mempelajari tentang praktik sistem tenaga listrik.

Praktik sistem tenaga listrik adalah mata kuliah yang mengulas tentang sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik adalah rangkaian instalasi tenaga listrik dari pembangkitan, transmisi, dan distribusi yang dioperasikan secara serentak dalam rangka penyediaan tenaga listrik (Pasal 1 Angka 6 UU Nomor 20 Tahun 2002 Tentang Ketenagalistrikan). Salah satu materi dalam mata kuliah praktik sistem tenaga listrik adalah materi uji sistem tenaga listrik tiga fasa *single feeder*. Dalam materi tersebut mahasiswa diharapkan mampu menganalisis sistem tenaga listrik tiga fasa *single feeder* mulai dari perhitungan tegangan input (tegangan sumber), tegangan pada tiap bus yaitu dari bus saluran pendek, menengah dan panjang, tegangan pada output (tegangan pada beban), arus yang mengalir, faktor daya, hingga dicari rugi-rugi daya dan tegangannya. Kegiatan praktik tersebut tentunya membutuhkan alat untuk digunakan dalam praktik sistem tenaga, khususnya simulasi sistem tenaga listrik tiga fasa *single feeder*. Hal inilah yang menjadi kendala dalam mata kuliah praktik sistem tenaga listrik, dikarenakan belum adanya alat untuk bisa melakukan praktik tersebut secara maksimal. Pada saat praktik mahasiswa hanya menggunakan alat seadanya untuk dapat melakukan praktik dalam mata kuliah praktik sistem tenaga listrik, sehingga hasil pengamatan mahasiswa pun kurang maksimal. Alat yang dibutuhkan untuk praktik pun

tidak beredar luas di pasaran, oleh karena itu alat praktik tersebut perlu dibuat sendiri untuk digunakan dalam praktik sistem tenaga listrik mengingat komponen-komponen yang dibutuhkan tersedia di pasaran. Dengan adanya simulator sistem tenaga listrik tiga fasa *single feeder* diharapkan dapat mengatasi permasalahan kebutuhan alat praktik dalam pembelajaran sistem tenaga listrik serta memberikan kemudahan bagi mahasiswa dalam mempelajari dan menguasai materi pembelajaran praktik sistem tenaga listrik, sehingga dapat meningkatkan pemahaman materi pelajaran dan dapat mengoptimalkan hasil belajar para mahasiswa teknik elektro Universitas Negeri Semarang.

Dari masalah tersebut lah yang melatarbelakangi peneliti untuk mengambil judul penelitian “SIMULATOR SISTEM TENAGA LISTRIK TIGA FASASINGLE FEEDER UNTUK PENDIDIKAN DAN PELATIHAN”.

## **B. IDENTIFIKASI MASALAH**

Dari latar belakang masalah tersebut, maka identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Belum tersedianya alat simulator sistem tenaga listrik tiga fasa *single feeder* di laboratorium.
2. Alat simulator yang dibutuhkan tidak beredar luas di pasaran.
3. Kurang optimalnya proses pembelajaran praktik.

4. Mahasiswa kurang mendapatkan pengalaman praktik sistem tenaga listrik di laboratorium.
5. Mahasiswa kurang menguasai dan memahami materi praktik sistem tenaga listrik.

### **C. RUMUSAN MASALAH**

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

Bagaimana merancang dan membuat simulator sistem tenaga listrik tiga fasa *single feeder* yang dapat menampilkan drop tegangan dan rugi daya?

### **D. PEMBATASAN MASALAH**

Agar permasalahan lebih terfokus, maka dilakukan pembatasan permasalahan. Skripsi ini membahas tentang simulator tenaga listrik tiga fasa *single feeder* untuk pendidikan dan pelatihan pada mata kuliah praktik sistem tenaga listrik. Simulator ini akan mensimulasikan jaringan listrik tiga fasa *single feeder* dengan menggunakan sumber tegangan AC tiga fasa 380 Volt.

### **E. TUJUAN PENELITIAN**

Berdasarkan judul yang diambil penulis, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

Mengetahui bahwa simulator sistem tenaga listrik tiga fasa *single feeder* dapat menampilkan besar kecilnya drop tegangan dan rugi daya.

## F. MANFAAT PENELITIAN

### 1. Bagi Penulis

Memberi dan meningkatkan pengetahuan dan pemahaman penulis terhadap sistem tenaga listrik.

### 2. Bagi Akademik

Dapat menambah kepustakaan dalam kajian sistem tenaga listrik dan dapat dijadikan alat untuk praktik pada mata kuliah praktik sistem tenaga listrik.

## G. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan skripsi terdiri atas lima bab yang secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut :

### 1. Bab 1 Pendahuluan

Bab ini memuat tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan.

### 2. Bab 2 Landasan Teori Penelitian

Bab ini membahas tentang pengertian sistem tenaga listrik tiga fasa, *single feeder*, daya, tegangan, rugi-rugi daya dan tegangan.

### 3. Bab 3 Metode Penelitian

Bab ini membahas pengumpulan data dari simulator sistem tenaga listrik tiga fasa *single feeder*, pengolahan data, dan diakhiri dengan analisis data dari simulator *single feeder*.

#### 4. Bab 4 Analisis Hasil Penelitian dan pembahasan

Bab ini dijelaskan hasil proses pengujian dari simulator sistem tenaga listrik tiga fasa *single feeder* yaitu, analisis data dari hasil yang didapat lewat pengujian-pengujian yang dilakukan.

#### 5. Bab 5 Penutup berisi simpulan dan saran

Bab ini berisi kesimpulan atas hasil analisis dan saran yang mendukung penelitian agar memberikan hasil yang lebih baik lagi untuk pengembangannya serta berisi keinginan penulis menyampaikan suatu gagasan yang belum dicapai dalam tujuan penelitian demi perbaikan.

Bagian akhir berisi Daftar Pustaka dan Lampiran-lampiran.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

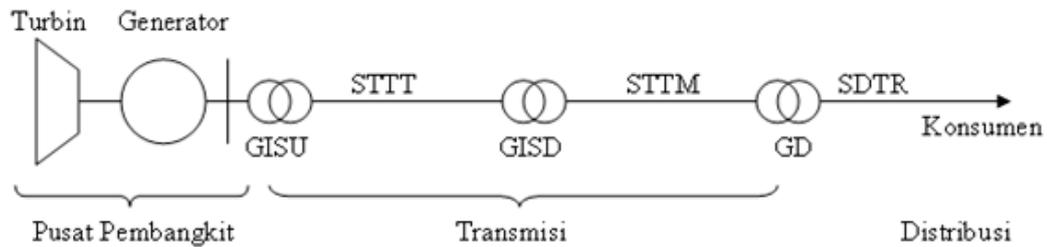
#### **A. SISTEM TENAGA LISTRIK**

Sistem Tenaga Listrik adalah rangkaian instalasi tenaga listrik dari pembangkitan, transmisi, dan distribusi yang dioperasikan secara serentak dalam rangka penyediaan tenaga listrik (Pasal 1 Angka 6 UU Nomor 20 Tahun 2002 Tentang Ketenagalistrikan). Sistem tenaga listrik yang baik adalah sistem tenaga yang dapat melayani beban secara kontinyu tegangan dan frekuensi yang konstan (Fazri, 2010). Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga komponen utama, yaitu pembangkitan tenaga listrik, transmisi dan distribusi. Pada pusat listrik dilakukan pembangkitan tenaga listrik dengan cara memanfaatkan generator sinkron.

Secara umum sistem tenaga listrik terdiri dari tiga komponen utama, yaitu :

1. Pembangkit Tenaga Listrik
2. Transmisi Tenaga Listrik
3. Distribusi Tenaga Listrik

Penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit sampai ke konsumen dapat digambarkan seperti gambar 2.1, pada gambar di bawah ini sudah mencakup ketiga unsur dari tiga komponen utama sistem tenaga listrik.



Gambar 2.1 Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik

## 1. Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik yaitu tempat energi listrik pertama kali dibangkitkan, dimana terdapat turbin sebagai penggerak mula (*Prime mover*) dan generator yang membangkitkan listrik (Pramono, Buwono dan Zamrudi, 2010: 1). Murnomo mengatakan pembangkitan energi listrik sebagian besar dilakukan dengan memutar generator sinkron (alternator). Dapat juga diperoleh dari perubahan energi lain, seperti energi kinetis, kalor dan sebagainya secara langsung maupun tidak langsung, konvensional atau non konvensional. Biasanya di pusat pembangkit listrik juga terdapat gardu induk. Peralatan utama pada gardu induk antara lain : transformer, yang berfungsi untuk menaikkan tegangan generator (11,5 kV) menjadi tegangan transmisi / tegangan tinggi (150 kV) dan juga peralatan pengaman dan pengatur.

Pembangkit berfungsi untuk mengkonversikan sumber daya energi primer menjadi energi listrik.

Pusat pembangkit listrik konvensional mencakup:

- a. Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU)

- b. Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA)
- c. Pusat Listrik Tenaga Gas (Gas)
- d. Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Disamping pembangkit listrik konvensional masih ada pembangkit listrik non konvensional seperti:

- a. Pembangkit Listrik Tenaga Angin
- b. Pembangkit Listrik Tenaga Matahari

## **2. Transmisi Tenaga Listrik**

Saluran transmisi berfungsi untuk mengirim atau mentransmisikan energi listrik dari pusat pembangkit sampai pada gardu distribusi dengan menggunakan tegangan tinggi dan menengah. Tugas sistem transmisi adalah menyalurkan tenaga listrik dalam jumlah besar ke pusat beban atau perusahaan-perusahaan pemakai tenaga listrik besar (Soepartono dan Ismu, 1980: 2).

Ada dua kategori saluran transmisi : saluran udara (Overhead Lines) dan saluran kabel tanah (Underground cable). Yang pertama menyalurkan tenaga listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada menara atau tiang transmisi dengan perantaraan isolator-isolator, sedang untuk kategori kedua menyalurkan tenaga listrik melalui kabel-kabel yang ditanam di bawah tanah. Kedua cara penyaluran di atas mempunyai untung-ruginya sendiri-sendiri. Dibandingkan dengan saluran udara, saluran bawah tanah tidak terpengaruh oleh cuaca buruk, taufan, hujan angin, bahaya petir dan

sebagainya. Lagi pula, saluran bawah tanah lebih estetik karena tidak mengganggu pandangan. Namun biaya pembuatannya jauh lebih mahal dibandingkan dengan saluran udara, dan perbaikannya lebih sukar bila terjadi gangguan hubung singkat dan kesukaran-kesukaran lain yang biasa dipakai untuk menyalurkan tenaga listrik dalam jumlah besar adalah sistem transmisi arus bolak-balik 3 fasa, saluran udara. Tegangan sistem transmisi adalah 30 kV sampai 700 kV (Soepartono dan Ismu, 1980: 2).

Tegangan transmisi di Indonesia telah ditentukan oleh pemerintah, yaitu:

- a. Tegangan nominal sistem (kV) (30) – 66 – 110 – (150) – 220 – 380 – 500.
- b. Tegangan tertinggi perlengkapan (kV) (36) – 72,5 – 123 – (170) – 245 – 420 – 525.
- c. Tegangan ini disesuaikan dengan anjuran (rekomendasi) dari International Electrotechnical Commission (IEC).

Tegangan angka di dalam kurung, lebih disukai. Dalam membuat rencana penyaluran tenaga listrik, harus diperhatikan:

- a. Pemilihan tegangan
- b. Pemilihan jenis kawat dan penampang kawat
- c. Pemilihan sistem perlindungan terhadap gangguan-gangguan
- d. Kontinuitas penyaluran tenaga listrik
- e. Pembebasan tanah yang dilewati.

Sumber: (Soepartono dan Ismu, 1980: 2)

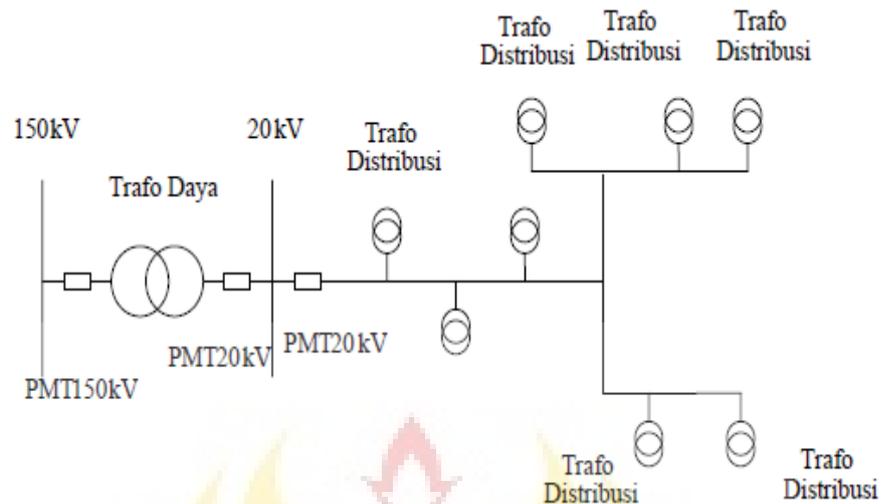
### 3. Distribusi Tenaga Listrik

Saluran distribusi berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dari gardu distribusi ke konsumen dengan menggunakan tegangan rendah. Dalam menyalurkan tenaga listrik ke pusat beban, suatu sistem distribusi harus disesuaikan dengan kondisi setempat dengan memperhatikan faktor beban, lokasi beban, perkembangan dimasa mendatang, keandalan serta nilai ekonomisnya.

Tegangan sistem distribusi dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian besar, yaitu distribusi primer (20kV) dan distribusi sekunder (380/220V). Jaringan distribusi 20kV sering disebut Sistem Distribusi Tegangan Menengah dan jaringan distribusi 380/220V sering disebut jaringan distribusi sekunder atau disebut Jaringan Tegangan Rendah.

#### a. Jaringan Radial

Sistem distribusi dengan pola Radial seperti Gambar 2.2. Adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis . Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.



Sumber: Donal Siregar.USU.2011

Gambar2.2.Konfigurasi Jaringan Radial

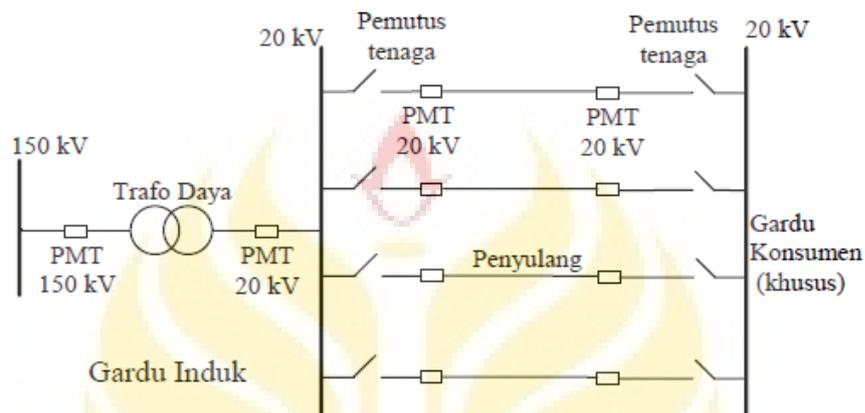
Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Bisa dalam bangunan beton atau diletakan diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain.

Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding dengan sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam.

Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada diujung saluran.

### b. Jaringan Hantaran Penghubung (Tie Line)

Sistem distribusi Tie Line seperti Gambar 2.3. digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lain-lain).



Sumber: Donal Siregar.USU.2011

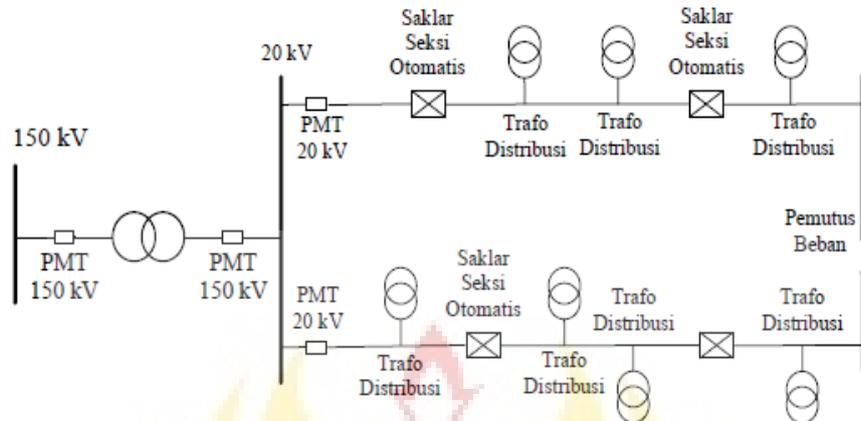
Gambar 2.3. Konfigurasi Jaringan Hantaran Penghubung

Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch, setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan dipindah ke penyulang lain.

### c. Jaringan Lingkar (Loop)

Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (Loop) seperti Gambar 2.4. dimungkinkan pemasoknya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relatif lebih

baik.

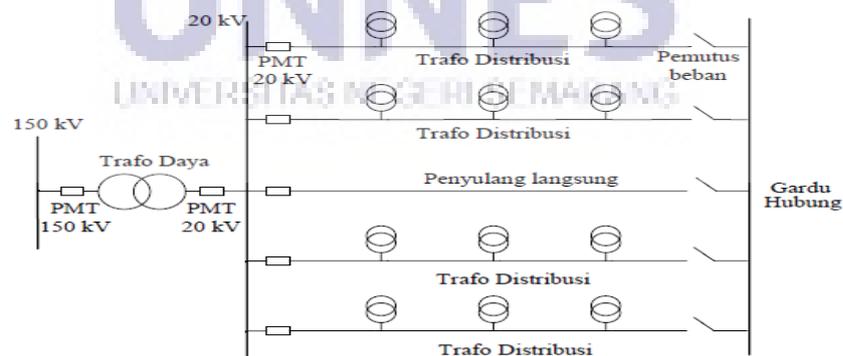


Sumber: Donal Siregar.USU.2011

Gambar 2.4. Konfigurasi Jaringan Loop

#### d. Jaringan Spindel

Sistem Spindel seperti pada Gambar 2.5. adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola Radial dan Ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (*feeder*) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung.



Sumber: Donal Siregar.USU.2011

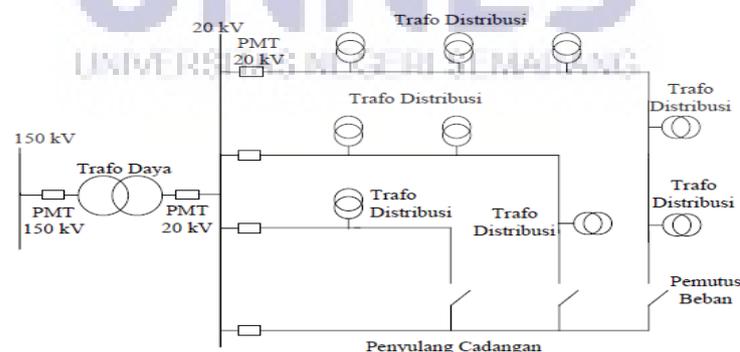
Gambar 2.5. Konfigurasi Jaringan Spindel

Pada sebuah spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (*express*) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola Spindel biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan menengah

Namun pada pengoperasiannya, sistem Spindel berfungsi sebagai sistem Radial. Didalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah (TR) atau tegangan menengah(TM).

#### e. Sistem Gugus atau Sistem Kluster

Konfigurasi Gugus seperti pada Gambar 2.6. banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat Saklar Pemutus Beban, dan penyulang cadangan.



Sumber: Donal Siregar.USU.2011

Gambar 2.6.Konfigurasi Sistem Kluster

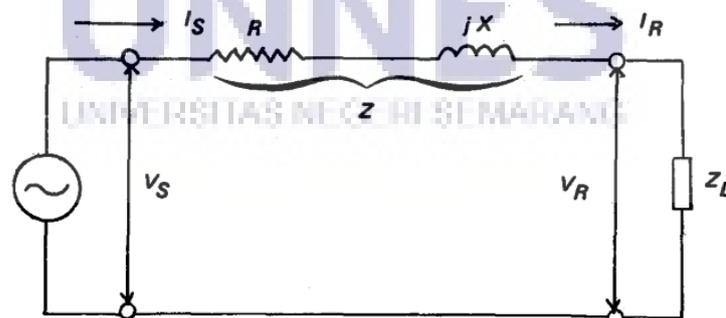
Dimana penyulang ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai kekonsumen.

Sedangkan gardu distribusi sendiri adalah suatu tempat/sarana, dimana terdapat transformator step down yaitu transformator yang menurunkan tegangan dari tegangan menengah menjadi tegangan rendah (sesuai kebutuhan konsumen).

## B. KLASIFIKASI SALURAN TRANSMISI

### 1. Saluran Pendek

Saluran pendek adalah saluran transmisi yang panjangnya kurang dari 80 km (50 mil) (Sulasno, 1993: 3). Pada saluran pendek ini nilai kapasitansi penghantar dapat diabaikan sehingga penghantar dimodelkan dengan impedansi ( $R$  dan  $X_L$ ), maka saluran transmisi dimodelkan sebagai berikut :



Gambar 2.7. Diagram Pengganti Saluran Pendek (Hutauruk, 1990: 61)

Maka untuk saluran pendek berlaku:

$$V_S = V_R + ZI_R$$

$$I_S = I_R$$

Dimana:

$V_S$  = tegangan pada ujung kirim atau ujung generator

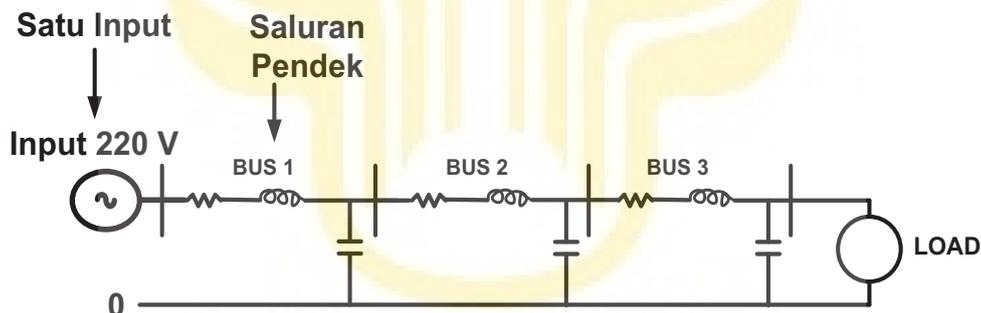
$I_S$  = arus pada ujung kirim atau ujung generator

$V_R$  = tegangan pada ujung terima atau ujung beban

$I_R$  = arus pada ujung terima atau ujung beban

$Z = R + jX$  = impedansi saluran

Dalam penelitian ini saluran pendek ada pada bus pertama yaitu bus yang pertama menerima input tegangan sumber 220 volt. Berikut gambar saluran pendek pada simulator:

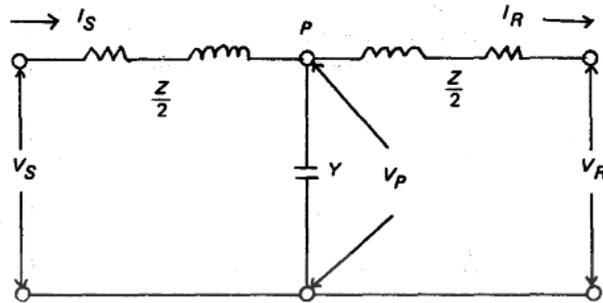


Gambar 2.8. Saluran Pendek pada Simulator

## 2. Saluran Menengah

Saluran menengah adalah saluran transmisi yang panjangnya antara 80 km dan 240 km (50 - 150 mil) (Sulasno, 1993: 3). Pada saluran menengah nilai kapasitansi tidak dapat diabaikan sehingga penghantar dimodelkan dengan impedansi penghantar ( $R$  dan  $XL$ ) dan kapasitansi yang dapat dimodelkan dalam bentuk nominal T dan PI ( $\pi$ ).

## a. Saluran Menengah Nominal T



Gambar 2.9. Diagram Pengganti Saluran Menengah, Nominal T

(Hutauruk, 1990: 62)

$$V_S = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) V_R + \left(Z + \frac{Z^2 Y}{4}\right) I_R$$

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

b. Saluran Menengah Nominal PI ( $\pi$ )

Gambar 2.10. Diagram Pengganti Saluran Menengah, Nominal PI

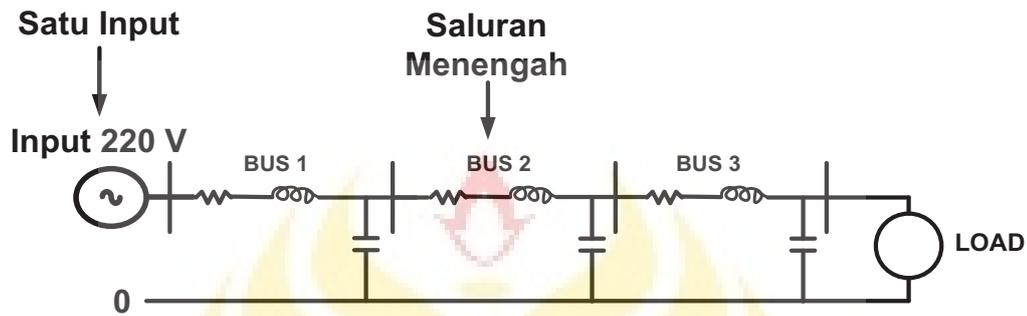
(Hutauruk, 1990: 62)

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

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

Dalam penelitian ini saluran menengah ada pada bus kedua yaitu bus yang berada ditengah yang menghubungkan antara bus pertama dan ketiga.

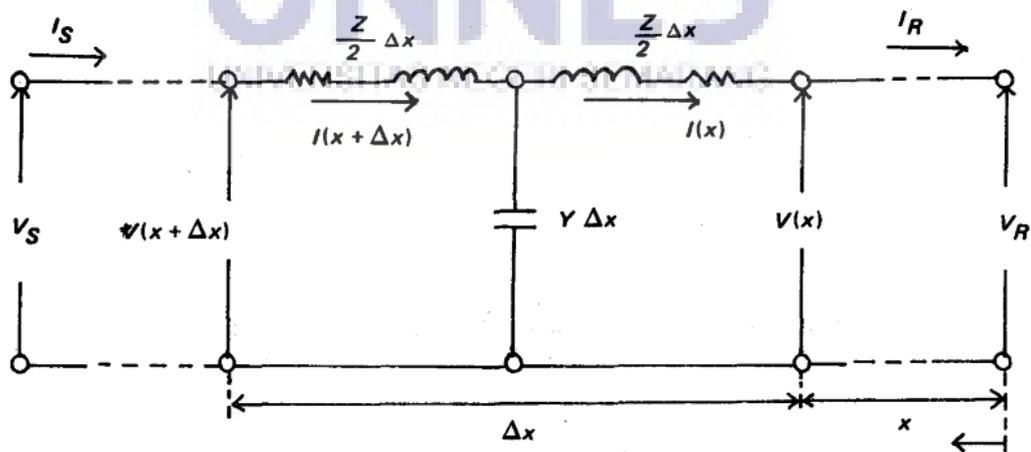
Berikut gambar saluran menengah pada simulator:



Gambar 2.11. Saluran Menengah pada Simulator

### 3. Saluran Panjang

Saluran panjang adalah saluran transmisi yang panjangnya lebih dari 240 km (lebih dari 150 mil) (Sulasno, 1993: 3). Pada saluran panjang, nilai kapasitansi dan impedansi penghantar ( $R$  dan  $XL$ ) diasumsikan terdapat pada sepanjang penghantar hingga batas tak hingga, untuk itu dilakukan metoda pendekatan per elemen panjang, sebagai berikut :



Gambar 2.12. Diagram Pengganti Saluran Panjang (Hutauruk, 1990: 70)

Misalkan :

$Z$  = impedansi per satuan panjang

$Y$  = admitansi shunt per satuan panjang

$l$  = panjang saluran

maka :

$$V_S = V_R \cosh \sqrt{ZY} l + Z_k I_R \sinh \sqrt{ZY} l$$

$$I_S = I_R \cosh \sqrt{ZY} l + V_R/Z_k \sinh \sqrt{ZY} l$$

Atau

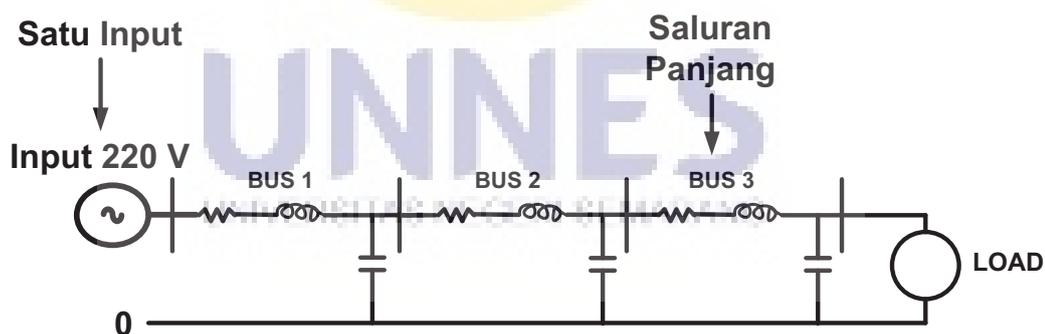
$$V_R = V_S \cosh \sqrt{ZY} l - I_S Z_k \sinh \sqrt{ZY} l$$

$$I_R = I_S \cosh \sqrt{ZY} l - V_S/Z_k \sinh \sqrt{ZY} l$$

Dimana :

$$\sqrt{\frac{Z}{Y}} = Z_k = \text{impedansi karakteristik.}$$

Dalam penelitian ini saluran panjang ada pada bus ketiga yaitu bus yang berada diakhir jaringan atau dekat dengan beban. Berikut gambar saluran panjang pada simulator:

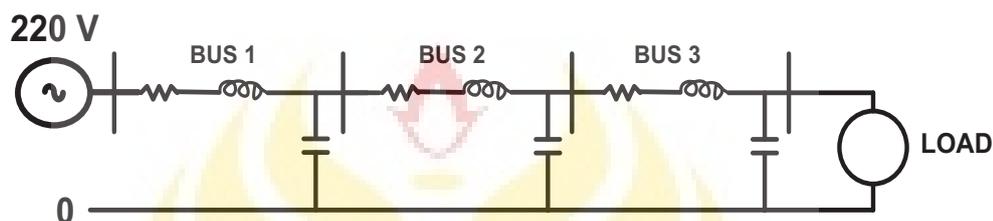


Gambar 2.13. Saluran Panjang pada Simulator

### C. JARINGAN TUNGGAL

Jaringan tunggal adalah jaringan satu phase sistem tenaga listrik yang hanya terdiri dari phase dan netral. Jaringan listrik terdiri dari jaringan

tunggal satu phase (phase-netral) dan jaringan tiga phase (R-S-T). Dalam penelitian ini hanya menggunakan jaringan tunggal satu phase untuk diteliti rugi-rugi daya dan tegangannya. Pada penelitian ini pula hanya menggunakan tegangan 220 volt. Berikut gambar jaringan tunggal yang akan digunakan pada penelitian:



Gambar 2.14. Jaringan Tunggal

Pada gambar jaringan tunggal yang ada diatas memiliki 3 bus dengan penjelasan 3 bus tersebut sebagai berikut:

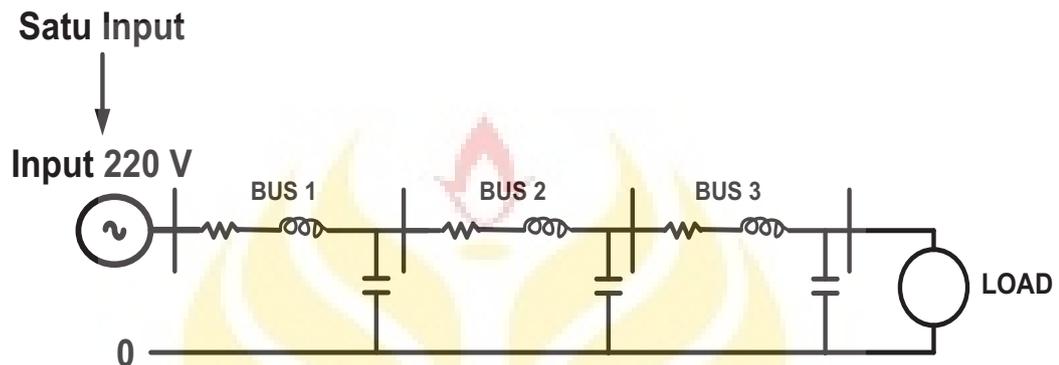
- Bus 1 : Jaringan pusat pembangkit (saluran pendek)
- Bus 2 : Jaringan transmisi (saluran menengah)
- Bus 3 : Jaringan distribusi (saluran panjang)

Karena penelitian ini hanya sebatas simulasi kami menggunakan tegangan yang sama di setiap bus, tetapi tentunya setiap bus akan memiliki karakteristik yang berbeda-beda.

#### D. *SINGLE FEEDER*

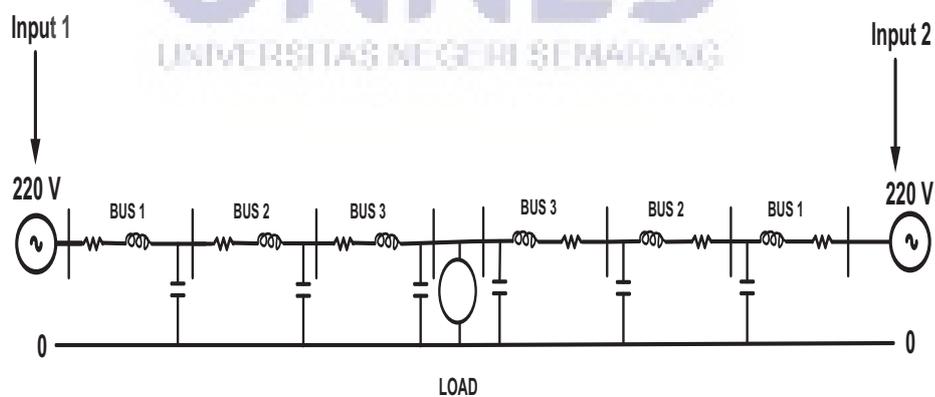
*Single feeder* atau pengisian tunggal adalah input tenaga listrik tunggal atau pengisian tenaga listrik hanya pada satu titik untuk menyuplai beban yang ada di ujung titik lain. Tentunya *single feeder* bukanlah satu-satunya

cara pengisian tenaga pada sistem tenaga listrik, tetapi dalam penelitian ini kami hanya menggunakan cara *single feeder* untuk menyuplai tenaga pada jaringan sistem tenaga listrik yang kami buat. Berikut gambar dari sistem *single feeder*:



Gambar 2.15. Sistem *Single Feeder*

Pengisian tenaga lain selain *single feeder* yaitu *double feeder* atau pengisian ganda. *Double feeder* adalah input tenaga listrik ganda atau pengisian tenaga listrik pada dua titik untuk menyuplai beban yang ada di tengah. Jadi pada *double feeder* input terdapat pada ujung-ujung pengisian. Berikut gambar dari sistem *double feeder*:



Gambar 2.16. Sistem *Double Feeder*

Dari gambar *single feeder* dan *double feeder* diatas terlihat sekali perbedaannya, bahwa pada *single feeder* pengisian tenaga hanya pada satu titik tunggal sedangkan pada *double feeder* pengisian tenaga terdapat pada dua titik di ujung kanan dan kiri.

Ditekankan sekali lagi bahwa pada penelitian ini hanya menggunakan sistem *single feeder* untuk menyuplai tenaga pada jaringan.

## E. DAYA

### 1. Pengertian Daya

Menurut kamus besar bahasa Indonesia, daya adalah kemampuan melakukan sesuatu atau kemampuan bertindak; kekuatan; tenaga. Daya hantar adalah kemampuan menghantarkan (mengalirkan) kalor atau arus listrik. Menurut Kamus Fisika, daya adalah laju usaha yang dilakukan atau laju perubahan energi, dengan satuan SI-nya adalah watt (W) yang setara dengan 1 joule per detik. Sedangkan menurut Wikipedia, daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam sirkuit listrik.

Daya listrik merepresentasikan laju perubahan energi yang dihasilkan oleh sebuah perangkat listrik, dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Sebagai contoh sebuah pemanas ruangan mengubah energi listrik menjadi energi panas. Laju perubahan ini dinyatakan dalam satuan watt. Simbol untuk besaran watt adalah W (Bishop, 2004:13).

Dapat diperlihatkan bahwa daya yang dibangkitkan sebuah perangkat listrik sebanding dengan besarnya arus yang mengalir

melewatinya. Daya juga sebanding dengan tegangan yang menggerakkan arus tersebut. Semakin besar arus dan semakin besar gaya gerak listriknya, semakin besar pulalah daya yang dihasilkan. Daya disimbolkan dengan huruf P, arus disimbolkan dengan huruf I dan tegangan disimbolkan dengan huruf V. Apabila kita menuliskannya dalam bentuk persamaan:

$$\text{Daya (P)} = \text{Arus (I)} \times \text{Tegangan (V)}$$

- Daya (P) dinyatakan dalam satuan watt
- Arus (I) dalam satuan ampere
- Tegangan (V) dalam satuan volt

## 2. Jenis Daya

### a. Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya (Belly, *at al*, 2010: 3). Satuan daya aktif adalah Watt. Misalnya energi panas, cahaya, mekanik dan lain – lain. Daya aktif atau disebut daya nyata dirumuskan dengan  $S \cos \phi$  atau  $VI \cos \phi$  dengan simbol P. Dalam satuan Watt (W), kilo Watt (kW), Mega Watt (MW) (Cekdin dan Taufik, 2013: 74). Jadi,

$$P = S \cos \phi = VI \cos \phi$$

### b. Daya Reaktif

Daya reaktif adalah daya yang dibutuhkan oleh sistem tenaga listrik untuk keperluan magnetisasi. Daya ini diperlukan untuk

membangkitkan fluks-fluks magnetik pada peralatan listrik dalam rangkaian. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain – lain. Daya reaktif dapat dicatu dari eksitasi berlebih mesin-mesin sinkron maupun static kapasitor. Daya reaktif dapat terjadi karena induktansi atau kapasitansi yang diakibatkan komponen berbentuk kumparan sedangkan kapasitansi diakibatkan oleh kapasitor. Daya reaktif dirumuskan dengan  $S \sin \phi$  atau  $VI \sin \phi$  dengan simbol Q dalam satuan Volt Ampere Reaktif (VAR), kilo Volt Ampere Reaktif (kVAR), Mega Volt Ampere Reaktif (MVAR) (Cekdin dan Taufik, 2013: 74). Jadi,

$$Q = S \sin \phi = VI \sin \phi$$

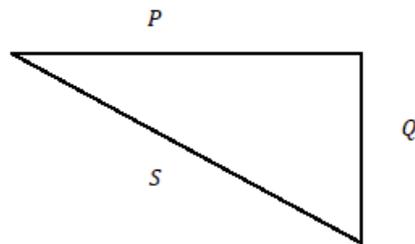
### c. Daya Semu

Daya Semu adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan dan arus dalam suatu jaringan. Satuan daya semu adalah Volt Ampere (VA), kilo Volt Ampere (kVAR), Mega Volt Ampere (MVA). Daya semu dirumuskan dengan  $VI$  dan disimbolkan dengan S. Jadi,

$$S = VI$$

### 3. Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe - tipe daya yang berbeda antara daya semu, daya aktif dan daya reaktif berdasarkan prinsip trigonometri.



Gambar 2.17. Segitiga Daya

Dimana berlaku hubungan :

$$S = V \cdot I$$

$$P = S \cos \varphi$$

$$Q = S \sin \varphi$$

#### 4. Faktor Daya

Perbandingan antara besarnya daya aktif dengan daya semu disebut faktor daya ( $\cos \varphi$ ),  $\varphi$  merupakan sudut yang dibentuk antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya ini terjadi karena adanya pergeseran fasa yang disebabkan oleh sifat beban induktif atau kapasitif. Arus bolak-balik penjumlahan daya dilakukan secara vektoris, yang dibentuk vektornya merupakan segitiga siku-siku, yang sering dikenal dengan segitiga daya yang telah dibahas sebelumnya.

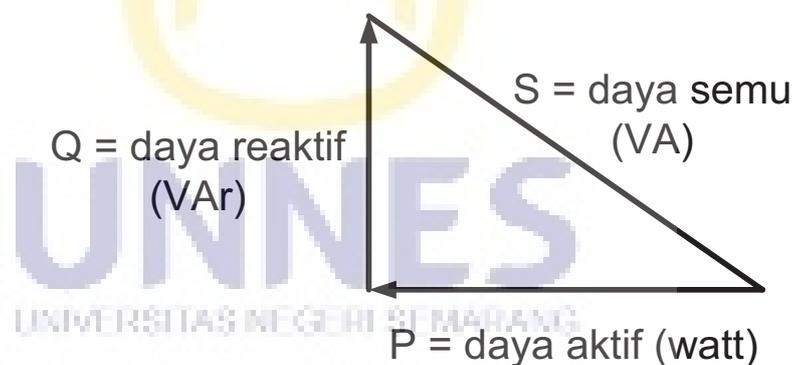
Sudut  $\varphi$  merupakan sudut pergeseran fasa, apabila besarnya daya aktif (P) tetap dan besarnya sudut  $\varphi$  semakin besar, maka semakin besar pula daya semu (S), dan semakin besar pula daya reaktif (Q), sehingga faktor dayanya ( $\cos \varphi$ ) semakin kecil. Daya reaktif merupakan daya yang

hilang atau rugi-rugi sehingga semakin besar sudutnya atau semakin kecil faktor dayanya maka rugi-ruginya semakin besar. Nilai faktor daya ini mempengaruhi jumlah arus yang mengalir pada saluran untuk suatu beban yang sama.

Faktor daya salah satunya disebabkan oleh penggunaan peralatan pada pelanggan yang menyimpang dari syarat-syarat penyambungan yang telah ditetapkan, dapat mengakibatkan pengaruh balik terhadap saluran, antara lain faktor daya yang rendah dan ketidakseimbangan beban.

$$\text{Faktor daya } (\cos \phi) = \frac{P(\text{watt})}{S(\text{VA})}$$

Hubungan ketiga jenis energi tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.18. Diagram Faktor Daya

## 5. Rugi-rugi Daya

Rugi-rugi daya merupakan rugi-rugi yang terjadi akibat adanya daya yang hilang pada jaringan seperti daya aktif dan daya reaktif. Semakin panjang saluran yang ada maka nilai tahanan dan reaktansi jaringan akan

semakin besar, sehingga rugi-rugi bertambah besar baik itu pada rugi-rugi daya aktif maupun rugi-rugi daya reaktif (Bien, Kasim dan Pratiwi, 2009: 55).

Rugi-rugi ini timbul diakibatkan oleh pemanasan yang terjadi pada kawat penghantar sewaktu dilalui arus bolak-balik. Daya yang dikirimkan sumber sinyal sebagian berubah menjadi panas yang terjadi pada bahan dielektrik. Ketika dilalui arus bolak-balik, maka struktur atom dari bahan dielektrik akan mengalami perubahan dan perubahan ini membutuhkan energi. Energi inilah yang mengakibatkan timbulnya rugi-rugi daya. Semakin sulit struktur atom suatu bahan dielektrik berubah, maka semakin besar energi yang dibutuhkannya, yang berarti semakin besar rugi daya yang disebabkan.

Dalam teori listrik arus bolak-balik penjumlahan daya dilakukan secara vektoris, yang dibentuk vektornya merupakan segitiga siku-siku, yang dikenal dengan segitiga daya. Sudut  $\phi$  merupakan sudut pergeseran fasa, semakin besar sudutnya, semakin besar Daya Semu (S), dan semakin besar pula Daya Reaktif (Q), sehingga faktor dayanya ( $\cos \phi$ ) semakin kecil.

Seperti diketahui, kerugian daya suatu saluran merupakan perkalian arus pangkat dua dengan resistansi atau reaktansi dari saluran tersebut. Rugi-rugi dapat dinyatakan sebagai berikut.

- Rugi daya nyata =  $I^2 \cdot R$  (watt)
- Rugi daya reaktif =  $I^2 \cdot X$  (watt)

- Rugi daya semu =  $\sqrt{(I^2 \cdot R)^2 + (I^2 \cdot X)^2}$

## F. TEGANGAN

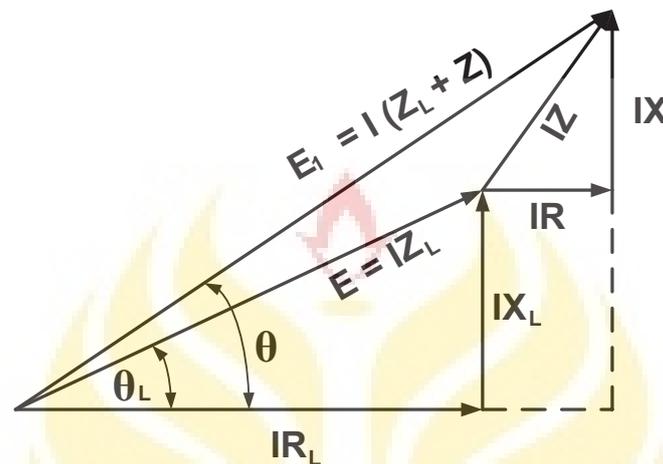
### 1. Pengertian Tegangan

Menurut kamus besar bahasa Indonesia, tegangan adalah tekanan yang diakibatkan oleh tarikan; (tek) arus atau aliran listrik. Tegangan biasa disebut juga beda potensial. Menurut Kamus Fisika, beda potensial adalah perbedaan potensial antara dua titik, yang sama dengan perubahan energi, saat satu satuan muatan positif bergerak dari satu tempat ke tempat lain dalam medan listrik. Satuan beda potensial adalah volt (V). Satu volt berarti ada perubahan energi sebesar satu joule jika ada muatan bergerak sebesar satu coulomb. Tegangan listrik adalah gaya listrik yang menggerakkan arus untuk mengalir di sepanjang sebuah rangkaian listrik (Bishop, 2004:12).

Tergantung pada perbedaan potensial listriknya, suatu tegangan listrik dapat dikatakan sebagai ekstra rendah, rendah, tinggi atau ekstra tinggi. Secara definisi tegangan listrik menyebabkan obyek bermuatan listrik negatif tertarik dari tempat bertegangan rendah menuju tempat bertegangan lebih tinggi. Sehingga arah arus listrik konvensional di dalam suatu konduktor mengalir dari tegangan tinggi menuju tegangan rendah.

### 2. Rugi-rugi Tegangan

Rugi tegangan pada saluran distribusi sebagai akibat adanya R dan X pada saluran. Gambar vector tegangan dan arus pada jaringan distribusi dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 2.19. Vektor Tegangan dan Arus

Besar rugi tegangan adalah:

$$V = E_1 - E$$

Rugi tegangan atau disebut juga regulasi tegangan biasanya dinyatakan dalam persen:

$$\% V_L = \frac{E_1 - E}{E} \times 100$$

Prosentasi tersebut dinyatakan terhadap tegangan beban.

Apabila dinyatakan terhadap sumber maka:

$$\% V_L = \frac{E_1 - E}{E_1} \times 100$$

## G. BEBAN LISTRIK

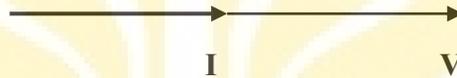
### 1. Beban Resistif

Beban yang merupakan suatu resistor murni, contoh: lampu pijar, pemanas. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali. Tegangan dan arus se-fasa. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa rumusan daya adalah sebagai berikut:

$$P = V I$$

Dimana:

- P** = Daya aktif yang diserap beban (Watt)  
**V** = Tegangan yang mencatu beban (Volt)  
**I** = Arus yang mengalir pada beban (Ampere)



Gambar 2.20. Grafik Arus Tegangan pada Beban Resistif

## 2. Beban Induktif

Beban induktif adalah beban yang mengandung komponen reaktans karena pemakaian kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti, biasanya inti besi. Contoh motor-motor listrik, transformator, induktor.

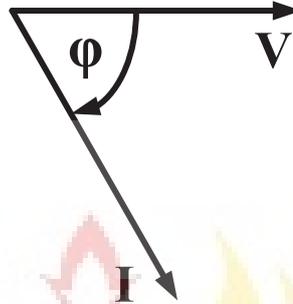
Beban ini mempunyai faktor daya  $< 1$  dengan arus tertinggal terhadap tegangan (*lagging*) sebesar sudut  $\phi$ . Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan menyerap daya reaktif (kVAR). Daya dirumuskan:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi$$

Dimana:

- P** = Daya aktif yang diserap beban (Watt)

- V** = Tegangan yang mencatu beban (Volt)  
**I** = Arus yang mengalir pada beban (Ampere)  
 **$\phi$**  = Sudut antara tegangan dan arus (Derajat)  
 **$\cos\phi$**  = Faktor daya



Gambar 2.21. Grafik Arus Tegangan pada Beban Induktif

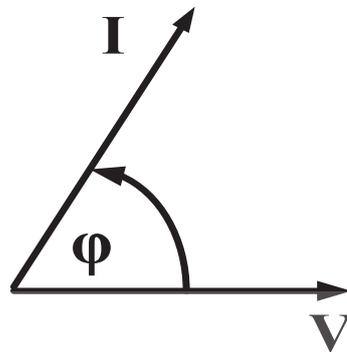
### 3. Beban Kapasitif

Beban kapasitif adalah beban yang mengandung suatu rangkaian kapasitor. Beban ini mempunyai faktor daya  $< 1$  dengan arus mendahului tegangan sebesar  $\alpha$  derajat (*leading*). Beban ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Daya dirumuskan:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi$$

Dimana:

- P** = Daya aktif yang diserap beban (Watt)  
**V** = Tegangan yang mencatu beban (Volt)  
**I** = Arus yang mengalir pada beban (Ampere)  
 **$\phi$**  = Sudut antara tegangan dan arus (Derajat)  
 **$\cos\phi$**  = Faktor daya



Gambar 2.22. Grafik Arus Tegangan pada Beban Kapasitif

## H. RESISTANSI, INDUKTANSI DAN KAPASITANSI

### 1. Resistansi

Stevenson (1990: 39) menyatakan resistansi penghantar saluran transmisi adalah penyebab yang terpenting dari rugi daya pada saluran transmisi. Jika tidak ada keterangan lain, maka yang dimaksudkan dengan istilah resistansi adalah resistansi efektif. Resistansi efektif dari suatu penghantar adalah

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

Dimana

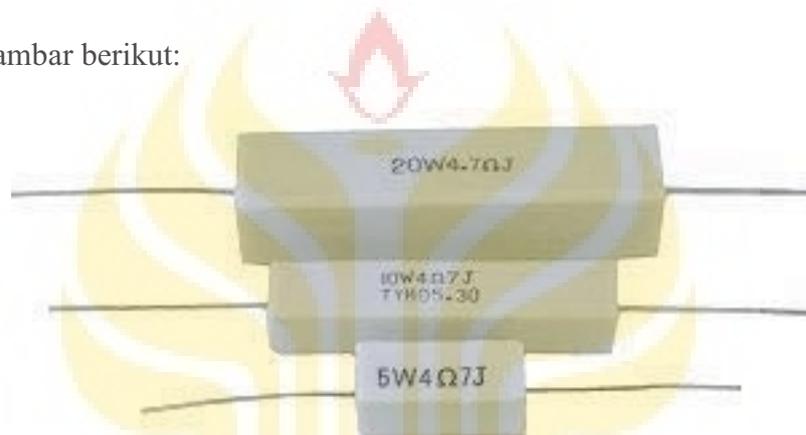
$\rho$	= resistivitas penghantar	(Ohm/m)
L	= panjang	(meter)
A	= luas penampang	(m <sup>2</sup> )
I	= arus	(Ampere)

Dimana daya dinyatakan dalam watt dan I adalah arus rms pada penghantar dalam ampere. Resistansi efektif sama dengan resistansi arus

searah (dc) dari saluran jika terdapat distribusi arus yang merata di seluruh penghantar. Resistansi diberikan oleh rumus dibawah ini

$$R_{dc} = \rho \frac{L}{A} \text{ Ohm}$$

Resistansi dalam penelitian ini akan menggunakan resistor daya sebagai penggantinya. Resistor daya yang akan digunakan adalah seperti gambar berikut:



Gambar 2.23. Resistor Daya (ozyrizka.mywapblog.com)

## 2. Induktansi

Induktansi adalah komponen listrik yang nilainya berbanding terbalik terhadap perubahan arus. Nilai induktansi merupakan fungsi dari konstruksi fisik. Jumlah lilitan, permeabilitas bahan, dan geometris menentukan induktansi suatu komponen.

$$E_L = L \frac{di}{dt}$$

Dimana

$E_L$  = tegangan pada induktor (Ohm/m)

$L$  = Induktansi (Henry)

$\frac{di}{dt}$  = kecepatan perubahan arus (A/s)

Induktansi dalam penelitian ini akan menggunakan induktor sebagai penggantinya. Induktor yang akan digunakan adalah seperti gambar berikut:



Gambar 2.24. Induktor (teknikelektronika.com)

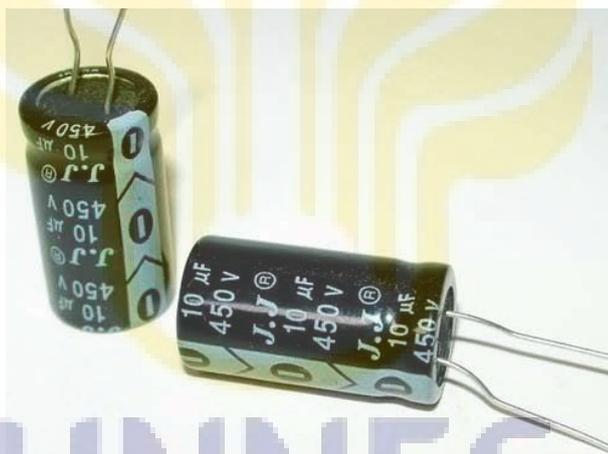
### 3. Kapasitansi

Kapasitansi suatu saluran transmisi adalah akibat beda potensial antar penghantar (konduktor); kapasitansi menyebabkan penghantar tersebut bermuatan seperti yang terjadi pada pelat kapasitor bila terjadi beda potensial di antaranya. Kapasitansi antara penghantar adalah muatan per unit beda potensial. Kapasitansi antara penghantar sejajar adalah suatu konstanta yang tergantung pada ukuran dan jarak pemisah antara penghantar (Stevenson, 1990: 65).

Menurut Hardiyanto (2008: 5) kapasitansi dihasilkan dari dua buah konduktor sejajar yang dipisahkan oleh isolator. Ketika dua buah konduktor pada potensial yang berbeda medan listrik mengkonsentrasikan muatan pada permukaan konduktor yang terdekat. Apabila dielektrik dimana molekulnya mudah terpolarisasi ditempatkan diantara konduktor

tersebut menyebabkan jarak diantara kedua konduktor tersebut seolah-olah lebih dekat dibandingkan jarak fisiknya, hal ini disebabkan atom yang terpolarisasi atau molekul di dalam dielektrik mentransfer medan listrik melewati dielektrik. Kapasitansi satu kapasitor berbanding lurus terhadap konstanta dielektrik, luas penampang konduktor dan berbanding terbalik terhadap jarak diantara kedua konduktor.

Kapasitansi dalam penelitian ini akan menggunakan kapasitor *elco* sebagai penggantinya. Kapasitor *elco* yang akan digunakan adalah seperti gambar berikut:



Gambar 2.25. Kapasitor *Elco* ([www.baco-army-goods.nl](http://www.baco-army-goods.nl))

## BAB V

### SIMPULAN DAN SARAN

#### A. Simpulan

Berdasarkan pembahasan dan hasil penelitian di laboratorium dapat disimpulkan bahwa hasil perancangan dan pembuatan Simulator Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa *Single Feeder* Untuk Pendidikan Dan Pelatihan dapat digunakan untuk menampilkan besar kecilnya drop tegangan dan rugi daya.

#### B. Saran

Saran yang dapat diajukan berdasarkan hasil penelitian adalah

1. Simulator Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa *Single Feeder* butuh pengembangan dan penelitian lebih lanjut agar dapat lebih sempurna.
2. Merencanakan pembuatan simulator menggunakan komponen R dan L sesuai buku referensi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Belly, alto, at al. 2010. *Daya Aktif, Reaktif & Nyata*. Depok: Universitas Indonesia.
- Bien, Liem Ek., Kasim, Ishak., dan Pratiwi, Erni Aprianti. 2009. *Analysis of power losses calculation in medium voltage network of feeder serimpi, pam 1 and pam 2 at network Area gambir pt.pln (persero) distribution jakarta raya And tangerang*. Jurnal: Universitas Trisakti.
- Bishop, Owen. 2004. *Dasar-dasar Elektronika*. Jakarta: Erlangga.
- Cekdin, Cekmas dan Taufik Barlian. 2013. *Rangkaian Listrik*. Yogyakarta: Andi.
- Hardiyanto, Eko. 2008. *Evaluasi Instalasi Jaringan Tegangan Rendah untuk Menekan Rugi-rugi Daya dan Tegangan Jatuh*. Skripsi: Universitas Indonesia.
- Hutauruk, T.S.. 1990. *Transmisi Daya Listrik*. Bandung: Erlangga.
- Saadat, Hadi. 2004. *Power System Analysis*. Singapore: Mc Graw Hill.
- Soepartono, A. Rida Ismu. 1980. *Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta: Penerbit Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah.
- Stevenson, William D. 1990. *Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sulasno. 1993. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Semarang: Satya Wacana
- Sumarsono, Heru. 2009. *Analisis Perhitungan Jarak antar Kawat dan Clearance Saluran Transmisi Udara*. Jurnal: Universitas Diponegoro
- Tim penyusun. 2005. *Kamus Besar Bahasa Indonesia (edisi ketiga)*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Zuhal. 1992. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia.