

**ANALISIS REGULASI TEGANGAN SALURAN TRANSMISI
JARAK MENENGAH ANTARA GARDU INDUK
SIDIKALANG DAN TARUTUNG DENGAN MODEL PHI
NOMINAL**

SKRIPSI

Oleh :

**REZA ADITHYA SIREGAR
NPM : 08 812 0010**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2013**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 29/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Judul skripsi : Analisis regulasi tegangan saluran transmisi jarak menengah antara Gardu Induk Sidikalang dan Tarutung dengan model phi nominal

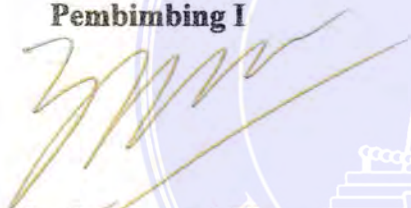
Nama : Reza Adithya Siregar

NPM : 08 812 0010

Fakultas : Teknik Elektro

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing

Pembimbing I



Ir. Suwarno, MT

Pembimbing II



Rimbawati, ST, MT

Diketahui Oleh :



Dekan

Ir. Hj. Haniza, MT

Ketua Jurusan



Ir. H. Usman Harahap, MT

ABSTRAK

Penelitian tugas akhir membahas tentang drop tegangan sisi penerima saluran transmisi jarak menengah juga dapat terjadi karena adanya jatuh tegangan di saluran karena impedansi seri saluran yang dihasilkan dari parameter resistansi saluran dan reaktansi induktif saluran, serta admitansi ketanah yaitu pengaruh medan listrik yang dihasilkan oleh penghantar udara terhadap tanah.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan regulasi tegangan saluran transmisi jarak menengah dengan memodelkan saluran dalam bentuk π nominal dan mengkalkulasi konstanta saluran A, B, C dan D. Alat bantu dalam studi regulasi saluran transmisi menggunakan komputer, karena peranan komputer dalam penentuan konstanta A, B, C dan D mempunyai keuntungan diantaranya fleksibel (dapat digunakan untuk menganalisis hampir semua persoalan), teliti, cepat dan ekonomis. Software komputer yang digunakan adalah Matlab, karena Matlab merupakan bahasa berbasis Grafic User Interface dan Matlab merupakan integrasi dari komputasi, visualisasi dan pemrograman yang dapat membantu menganalisis persoalan regulasi tegangan saluran transmisi

Dari hasil penelitian diperoleh (V.R) sebesar 10,85 %, sedangkan arus sisi pengirim sebesar 538,255 A dengan PF. 0,762491, tegangan sisi pengirim 149,998 kV sedangkan daya aktif sebesar 106,628 MW dan daya reaktif sebesar 90,4771 Mvar

Keywords: Saluran Transmisi, Regulasi Tegangan, Matlab

ABSTRACT

The study discusses the voltage-drop from the side of channel's receiver of medium-range transmission can also occur due to voltage-drop in the channel because the impedance of channel's series resulting from resistance channel's parameter and inductive reactant of channel, as well as admittance to the ground and the influence of the electric field produced by the conductor of the air to the ground.

One of method that can be used to determine the voltage's regulation of medium-range channel's transmission is to model the channel in the form of pi nominal and calculate the constants of channel A, B, C and D. The tool aids in the study of regulation of the transmission channel is using the computer, because the role of it in the determination of the constants A, B, C and D has the advantages such as flexible (it can be used to analyze almost any problem), meticulous, fast and economical. Computer software used is Matlab, because Matlab's software language-based Grafic User Interface (GUI). Matlab is an integration of computation; visualization and programming that can help analyze the problem of regulation of transmission's channel voltage.

from the research's result of sender's side voltage as well as the voltage's regulation noted that there is the voltage-drop in receiver side in the amount of 10,85%, while the electrical current of the sender side is 538,255 A with PF=0,76 whereas the active power at 106,628 MW and reactive power at 90,4771 MVAR.

Keywords: Transmission Line, Voltage Regulation, Matlab

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BABI : PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Masalah	3
1.5 Metode Penelitian	4
1.6 Sistematika Pembahasan	6
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Hasil yang dicapai dan studi pendahuluan	7
2.2. Diagram Sistem Tenaga Listrik	8
2.3. Saluran Udara Tegangan Tinggi	9
2.4. Perlengkapan SUTT dan Fungsinya	10
2.4.1. Tower	10
2.4.2. Konduktor	13
2.5. Ground wire	16
2.6. Isolator	17
2.7. Daya Kompleks	20
2.8. Parameter Saluran Transmisi Jarak Menengah	22
2.8.1. Resistansi	23
2.8.2. Induktansi dan Reaktansi Induktif	23
2.8.3. Kapasitansi dan Reaktansi Kapasitif	24
2.8.4. Hubungan Arus dan Tegangan pada Saluran Transmisi Jarak Menengah	25
BAB III: METODE PENELITIAN	
3.1. Lokasi Penelitian	29
3.2. Alat Penelitian	29
3.3. Teknik Pengumpulan Data	29
3.4. Diagram Alir Penelitian	30

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Klasifikasi saluran transmisi	32
4.2. Analisis Model Phi Nominal pada Saluran Transmisi Jarak Menengah	33
4.3. Analisis Penentuan Regulasi Tegangan Saluran Transmisi Jarak Menengah Berbasis Perangkat Lunak MATLAB 6.1	34
4.4. Analisis Penentuan Regulasi Tegangan Saluran Transmisi Jarak Menengah Melalui Parameter Konstanta A, B, C, D Dengan Cara Perhitungan Matematis.	35

BAB V : PENUTUP

5.1. Kesimpulan	41
5.2. Saran	41

DAFTAR PUSTAKA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Sistem tenaga listrik merupakan satu kesatuan yang tidak terpisahkan dari mulai pembangkit, penyaluran energi sampai pada pemanfaatan energi listrik oleh konsumen. Listrik adalah bentuk energi sekunder yang paling praktis penggunaannya oleh manusia, dimana listrik dihasilkan dari proses konversi energi sumber primer seperti batubara, minyak bumi, gas, panas bumi, potensial air dan energi angin.

Kebutuhan listrik di masyarakat semakin meningkat seiring dengan meningkatnya pemanfaatan tenaga listrik pada peralatan-peralatan rumah tangga, kantor dan sebagainya, sehingga pasokan listrik harus ditambah yakni dengan pembangunan pembangkit listrik baru. Selain tersedianya pembangkitan yang cukup, hal lain yang juga harus ditentukan adalah apakah kondisi transient jika terjadi gangguan akan mengganggu operasi normal sistem atau tidak. Hal ini akan berhubungan dengan kualitas listrik yang sampai ke konsumen berupa kestabilan frekuensi dan tegangan.

Sistem tenaga listrik yang baik adalah sistem tenaga yang dapat melayani beban secara kontinyu tegangan dan frekuensi yang konstan. Fluktuasi tegangan dan frekuensi yang terjadi harus berada pada batas toleransi yang diizinkan agar peralatan listrik konsumen dapat bekerja dengan baik dan aman. Kondisi sistem yang benar-benar mantap sebenarnya tidak pernah ada. Perubahan beban selalu terjadi dalam sistem. Penyesuaian oleh pembangkit akan dilakukan melalui governor dari penggerak mula dan eksitasi generator.

Perubahan kondisi tegangan sisi penerima biasanya terjadi akibat adanya gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik, dan pelepasan atau penambahan beban yang benar secara tiba-tiba. Akibat adanya perubahan kondisi kerja dari sistem ini, maka keadaan sistem akan berubah dari keadaan lama ke keadaan baru.

Drop tegangan sisi penerima saluran transmisi jarak menengah juga dapat terjadi karena adanya jatuh tegangan di saluran karena impedansi seri saluran yang dihasilkan dari parameter resistansi saluran dan reaktansi induktif saluran, serta admitansi ketanah yaitu pengaruh medan listrik yang dihasilkan oleh penghantar udara terhadap tanah.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan regulasi tegangan saluran transmisi jarak menengah dengan memodelkan saluran dalam bentuk π nominal dan mengkalkulasi konstanta saluran A, B, C dan D saluran transmisi jarak menengah antara gardu induk Sidikalang dan Tarutung dengan panjang saluran 81,5 km.

Alat bantu dalam studi regulasi saluran transmisi menggunakan komputer, karena peranan komputer dalam penentuan konstanta A, B, C dan D mempunyai keuntungan diantaranya fleksibel (dapat digunakan untuk menganalisis hampir semua persoalan), teliti, cepat dan ekonomis. Software komputer yang digunakan adalah Matlab, karena matlab merupakan bahasa canggih untuk komputasi teknik. Dan matlab merupakan integrasi dari komputasi, visualisasi dan pemrograman dalam suatu lingkungan yang mudah digunakan, karena permasalahan dan pemecahannya dinyatakan dalam notasi matematika biasa.

Berdasarkan latar belakang tersebut menjadi alasan untuk dilakukannya penelitian tentang Analisis Regulasi Tegangan Saluran Transmisi Jarak menengah Melalui Parameter Konstanta A, B, C, D menggunakan Matlab.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang dapat dikemukakan dalam studi ini adalah:

1. Bagaimana menentukan konstanta A, B, C dan D saluran transmisi jarak menengah antara GI Sidikalang dan GI Tarutung dengan model phi nominal menggunakan perangkat lunak Matlab
2. Berapa besar voltage regulasi, penentuan arus sisi pengirim dan daya sisi pengirim serta faktor daya menggunakan perangkat lunak Matlab.

1.3. Batasan Masalah

Untuk memperjelas pembahasan dan topik masalah yang dikaji dalam penelitian, maka dibatasi persoalan penelitian hanya membahas tentang:

1. *Voltage regulation* untuk saluran transmisi jarak menengah antara GI Sidikalang dan GI Tarutung, model saluran yang digunakan menggunakan model phi nominal
2. Perangkat lunak yang digunakan dalam menganalisis kasus adalah Matlab versi 6.1

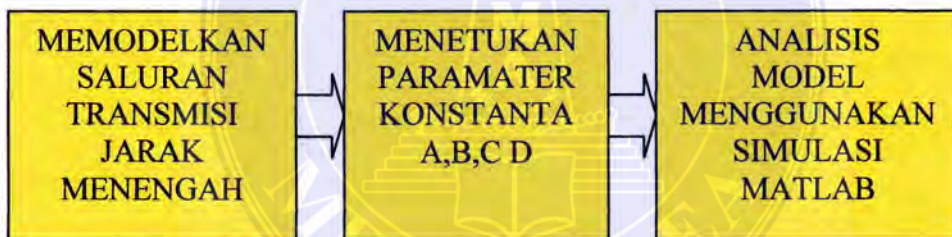
1.4. Tujuan Penelitian

Untuk tujuan dari penelitian ini dijabarkan sebagai berikut :

1. Dapat menentukan konstanta A, B, C dan D saluran transmisi jarak menengah antara GI Sidikalang dan GI Tarutung dengan model phi nominal menggunakan perangkat lunak Matlab
2. Dapat mengetahui besar voltage regulasi, penentuan arus sisi pengirim dan daya sisi pengirim serta faktor daya menggunakan perangkat lunak Matlab.

1.5. Metode Penelitian

Tahapan penyusunan model penelitian analisis regulasi tegangan saluran transmisi jarak menengah melalui parameter konstanta A, B, C, dan D menggunakan perangkat lunak matlab ditunjukkan pada gambar 1. berikut ini:



Gambar 1.1. Step penelitian penyelesaian skripsi

Tahapan-tahapan secara umum penyelesaian skripsi antara lain:

1. Memodelkan saluran transmisi jarak menengah; sebuah sistem tenaga listrik dengan data parameter saluran dimodelkan dalam bentuk phi-nominal untuk dapat diperoleh menentukan konstanta A, B, C dan D
2. Dari poin 1, dilanjutkan dengan menentukan parameter konstanta A,B,C dan D, parameter ini merupakan syarat untuk memperoleh analisis terkait dengan regulasi saluran transmisi

3. Hasil dari poin 2, diuji dengan menerapkan analisis menggunakan simulasi matlab untuk mempermudah hasil perhitungan secara efektif dan praktis.

Metode pengumpulan dan analisis data menggunakan prinsip sebagai berikut:

1. Studi Kepustakaan (Library Research)

studi kepustakaan yaitu mengumpulkan bahan-bahan referensi dari berbagai sumber ilmiah seperti buku, jurnal, paper, makalah maupun situs internet yang berhubungan dengan penelitian konduktor terbuka (*open fault analysis*)

2. Observasi.

Observasi merupakan teknik pengumpulan data dengan cara mengadakan pengamatan langsung terhadap objek yang akan di teliti serta pencatatan secara cermat dan sistematis. Dalam kesempatan ini observasi dilakukan di PT PLN (Persero) Penyaluran Dan Pusat Pengaturan Beban Sumatera, Unit Pelayanan Transmisi Medan.

3. Wawancara

Metode ini dilakukan dengan cara menanyakan hal-hal yang sekiranya belum penulis ketahui kepada pembimbing lapangan.

4. Analisis dan simulasi

Memodelkan sistem yang mengalami gangguan satu konduktor terbuka dan menganalisis dengan bantuan perangkat lunak matlab sebagai media simulasi.

1.6. Sistematika Pembahasan

Uraian secara teoritis dan analisis penulisan tugas akhir dilakukan dengan bagian-bagian yang disebut dengan BAB. Untuk membagi masing-masing pembahasan guna mempermudah penyelesaian penulisan, berikut ini secara sistematis dijabarkan isi masing-masing BAB sebagai berikut:

- BAB I** Membahas tentang latar belakang masalah, pembatasan masalah dan tujuan dan manfaat penelitian.
- BAB II** Membahas Saluran Transmisi Tegangan Tinggi, parameter saluran transmisi jarak menengah.
- BAB III** Metodologi penelitian
- BAB IV** Membahas tentang penggunaan perangkat lunak matlab versi 6.1. dalam menganalisis saluran transmisi jarak menengah dengan model phi nominal
- BAB V** Penutup berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dikaji dan saran untuk kelanjutan dari penelitian.

..BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Hasil yang dicapai dan studi pendahuluan

Hasil perolehan secara analisa atau teori yang dicapai sebagai hasil penelitian pendahuluan merupakan yang melatarbelakangi dan dikaitkan dengan penelitian ini.

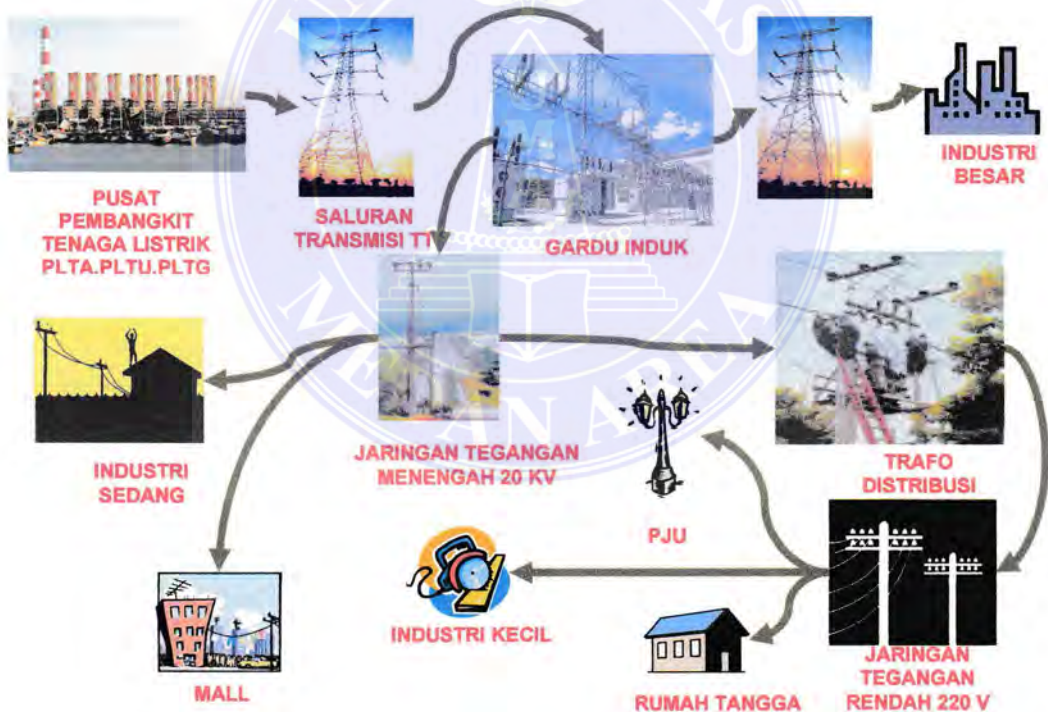
Sugeng A. Karim (2009) mencoba menganalisis rugi-rugi daya pada saluran transmisi sistem 150 kV menggunakan metode teorema poynting yang diharapkan dapat memperoleh hasil perhitungan berdasarkan besarnya kuat medan listrik dan intensitas medan magnet yang terjadi pada saluran transmisi tersebut untuk mendapatkan rugi-rugi daya. Beberapa hal juga ikut menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya pada saluran transmisi udara yaitu pada tahanan penghantar akibat pemanasan, jarak antar penghantar R-S-T yang dekat 4-10 meter akan mengakibatkan semakin besarnya kuat medan listrik, sehingga rugi-rugi daya saluran akan semakin besar, juga dipengaruhi oleh panjang saluran dan besar arus yang mengalir di sepanjang saluran tersebut.

Ronald Fernando Pane (2009) melakukan penelitian tentang pengaruh pemasangan kapasitor shunt pada saluran transmisi jarak menengah. Dalam penyaluran listrik tegangan tinggi ini mulai dari pusat pembangkit hingga ke gardu induk (substation) akan terjadi drop tegangan (tegangan jatuh), maupun rugi-rugi pada saluran transmisi. Oleh karena itu digunakan salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut yaitu menggunakan kapasitor shunt dalam mengoptimalkan tegangan yang dikirimkan dari pusat pembangkit. Yang mana dalam

menganalisisnya dapat digunakan metode nominal PI dan nominal T, sehingga dapat diamati perubahan tegangan, efisiensi transmisi dan pengaturan tegangan dalam suatu sistem tenaga listrik.

2.2. Diagram Sistem Tenaga Listrik

Pembangunan pusat Pembangkit dengan kapasitas produksi energi listrik yang besar: PLTA, PLTU, PLTGU, PLTG, PLTP memerlukan banyak persyaratan, terutama masalah lokasi yang tidak selalu bisa dekat dengan pusat beban seperti kota, kawasan industri dan lainnya. Akibatnya tenaga listrik tersebut harus disalurkan melalui sistem transmisi yaitu 1). Saluran Transmisi, 2). Gardu Induk, 3) Saluran Distribusi.



Gambar 2.1. Skema Penyaluran pada Sistem Tenaga Listrik

Apabila salah satu bagian sistem transmisi mengalami gangguan maka akan berdampak terhadap bagian transmisi yang lainnya, sehingga saluran transmisi,

gardu induk dan saluran distribusi merupakan satu kesatuan yang harus dikelola dengan baik.

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) adalah sarana di udara untuk menyalurkan tenaga listrik berskala besar dari pembangkit ke pusat-pusat beban dengan menggunakan tegangan tinggi.

2.3. Saluran Udara Tegangan Tinggi

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) merupakan jenis saluran transmisi tenaga listrik yang banyak digunakan di Indonesia karena harganya yang lebih murah dibanding jenis lainnya serta pemeliharaannya mudah. Jaringan SUTT Seperti ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar 2.2. Saluran Udara Tegangan Tinggi

Pembangunan SUTT sudah melalui proses rancang bangun yang aman bagi lingkungan serta sesuai dengan standar keamanan internasional, diantaranya:

- a. Ketinggian kawat penghantar
- b. Penampang kawat penghantar
- c. Daya isolasi
- d. Medan listrik dan medan magnet

- e. Desis korona

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 29/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

2. 4. Perlengkapan SUTT dan Fungsinya

2.4.1. Tower

Tenaga listrik yang disalurkan lewat sistem transmisi umumnya menggunakan kawat telanjang sehingga mengandalkan udara sebagai media isolasi antara kawat penghantar tersebut dengan benda sekelilingnya.

Tower adalah konstruksi bangunan yang kokoh, berfungsi untuk menyangga/merentang kawat penghantar dengan ketinggian dan jarak yang cukup agar aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya. Antara tower dan kawat penghantar disekat oleh isolator.

Jenis-jenis tower

A. Menurut bentuk konstruksinya:

- a. Lattice tower (gambar 2.5.a)
- b. Tubular steel pole (gambar2.5.b)
- c. Concrete pole
- d. Wooden pole



Gambar 2.3.a Lattice Tower



Gambar 2.3.b Steel Pole

Konstruksi tower merupakan jenis konstruksi SUTT yang paling banyak digunakan di jaringan PLN karena mudah dirakit terutama untuk pemasangan di daerah pegunungan dan jauh dari jalan raya. Namun demikian perlu pengawasan yang intensif karena besi-besinya rawan terhadap pencurian.

Tower harus kuat terhadap beban yang bekerja padanya yaitu:

- a. Gaya berat tower dan kawat penghantar (gaya tekan)
- b. Gaya tarik akibat rentangan kawat
- c. Gaya angin akibat terpaan angin pada kawat maupun badan tower.

B. Menurut fungsinya:

- a. **Dead end tower** yaitu tiang akhir yang berlokasi di dekat gardu induk, tower ini hampir sepenuhnya menanggung gaya tarik
- b. **Section tower** yaitu tiang penyekat antara sejumlah tower penyangga dengan sejumlah tower penyangga lainnya karena alasan kemudahan saat pembangunan (penarikan kawat), umumnya mempunyai sudut belokan yang kecil.
- c. **Suspension tower** yaitu tower penyangga, tower ini hampir sepenuhnya menanggung gaya berat, umumnya tidak mempunyai sudut belokan
- d. **Tension tower** yaitu tower penegang, tower ini menanggung gaya tarik yang lebih besar daripada gaya berat, umumnya mempunyai sudut belokan
- e. **Transposition tower** yaitu tower tension yang digunakan sebagai tempat melakukan perubahan posisi kawat fasa guna memperbaiki impedansi transmisi

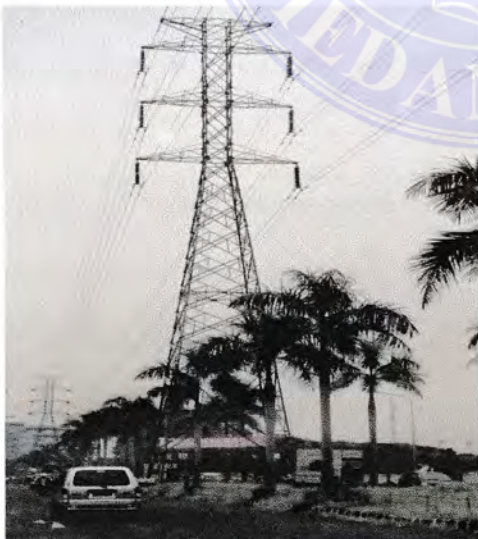
- f. **Gantry tower** yaitu tower berbentuk portal digunakan pada persilangan antara dua saluran transmisi. Tiang ini dibangun di bawah saluran transmisi existing.
- g. **Combined tower** yaitu tower yang digunakan oleh dua buah saluran transmisi yang berbeda tegangan operasinya



Gambar 2.4.a Tower 4 sirkit tipe suspensi (Suspension Tower)



Gambar 2.4.b Tower 4 sirkit tipe tension (Tension Tower)



Gambar 2.5.a. Tower 2 sirkit tipe suspensi



Gambar 2.5.b. Tower 2 sirkit tipe tension

C. Menurut susunan/konfigurasi kawat fasa

- Jenis **delta** digunakan pada konfigurasi horisontal/mendatar
- Jenis **piramida** digunakan pada konfigurasi vertikal/tegak.
- Jenis **Zig-zag** yaitu kawat fasa tidak berada pada satu sisi lengan tower.

Type tower terdiri dari :

Tabel 2.1. Tower 150 kV

TYPE TOWER	FUNGSI	SUDUT
Aa	Suspension	$0^{\circ} - 3^{\circ}$
Bb	Tension / section	$3^{\circ} - 20^{\circ}$
Cc	Tension	$20^{\circ} - 60^{\circ}$
Dd	Tension	$60^{\circ} - 90^{\circ}$
Ee	Tension	$> 90^{\circ}$
Ff	Tension	$> 90^{\circ}$
Gg	Transposisi	

2.4.2. Konduktor

Konduktor adalah media untuk tempat mengalirkan arus listrik dari pembangkit ke gardu induk atau dari GI ke GI lainnya, yang terentang lewat tower-tower. Konduktor pada tower tension dipegang oleh tension clamp, sedangkan pada tower suspension dipegang oleh suspension clamp. Dibakang clamp tersebut dipasang rencengan isolator yang terhubung ke tower.

a. Bahan konduktor

Bahan konduktor yang dipergunakan untuk saluran energi listrik perlu memiliki sifat sifat sebagai berikut :

- 1) konduktivitas tinggi

- 2) kekuatan tarik mekanikal tinggi
- 3) titik berat
- 4) biaya rendah
- 5) tidak mudah patah

Jenis-jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi adalah :

Tembaga dengan konduktivitas 100% (CU 100%), tembaga konduktivitas 97,5% (CU 97,5%) atau aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%). Kawat penghantar aluminium terdiri dari berbagai jenis dengan lambang sebagai berikut :

- a. AAC = All - Aluminium Conductor, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
- b. AAAC = All Aluminium - Alloy Conductor, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
- c. ACSR = Aluminium Conductor Steel - Reinforced, yaitu kawat penghantar aluminium ber-inti kawat baja.
- d. ACAR = Aluminium Conductor Alloy - Reinforced, yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibanding dengan kawat penghantar aluminium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. tapi kelemahannya ialah untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dari aluminium dan juga lebih mahal. Oleh karena itu kawat penghantar aluminium telah menggantikan kedudukan tembaga. Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium digunakan campuran aluminium (aluminium alloy). Untuk saluran-saluran tegangan tinggi, dimana jarak antara dua tiang/menara jauh

(ratusan meter), dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi. Untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR.

Aluminium harganya lebih rendah dan lebih ringan namun konduktivitas dan kekuatan mekanikalnya lebih rendah dibanding tembaga. Pada umumnya SUTT menggunakan ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced).

Bagian dalam kawat berupa steel yang mempunyai kuat mekanik tinggi, sedangkan bagian luar kawat daripada bagian sebelah dalam kawat maka ACSR cocok dipakai pada SUTT. Untuk daerah yang udaranya mengandung kadar belerang tinggi dipakai jenis ACSR/AS, yaitu kawat steelnya dilapisi dengan aluminium.

Pada saluran transmisi yang perlu dinaikkan kapasitas penyalurannya namun SUTT tersebut berada di daerah yang rawan sosialnya tinggi dan sulit dilakukan pemadaman semua sisi, maka dipasang konduktor jenis TACSR (Thermal Aluminium Conductor Steel Reinforced) yang mempunyai kapasitas besar tetapi berat kawat tidak mengalami perubahan yang banyak.

Konduktor pada SUTT merupakan kawat berkas (stranded) atau serabut yang dipilin, agar mempunyai kapasitas yang lebih besar dibanding kawat pejal.

a. Penampang dan jumlah konduktor

Penampang dan jumlah konduktor disesuaikan dengan kapasitas daya yang akan disalurkan, sedangkan jarak antar kawat fasa maupun kawat berkas disesuaikan dengan tegangan operasinya. Jika kawat terlalu kecil maka kawat akan panas dan rugi transmisi akan besar.

b. Urutan fasa

Pada sistem arus putar, keluaran dari generator berupa tiga fasa, setiap fasa

mempunyai sudut pergeseran fasa 120° . Pada SUTT dikenal fasa R, S dan T yang urutan fasanya selalu R diatas, S ditengah dan T dibawah.

c. Jarak antar kawat fasa:

Jarak kawat antar fasa SUTT 70kV idealnya adalah 3 meter, SUTT 150kV= 6 meter. Hal ini karena menghindari terjadinya efek ayunan yang dapat menimbulkan flash over antar fasa.

d. Perlengkapan kawat penghantar

Perlengkapan atau fitting kawat penghantar adalah Spacer dan vibration damper. Untuk keperluan perbaikan dipasang repair sleeve maupun armor rod. Sambungan kawat disebut mid span joint.

2.5. Ground wire (Earth wire)

Ground wire atau Earth wire (kawat petir / kawat tanah) adalah media untuk melindungi kawat fasa dari sambaran petir. Kawat ini dipasang di atas kawat fasa dengan sudut perlindungan yang sekecil mungkin, karena dianggap petir menyambar dari atas kawat. Namun jika petir menyambar dari samping maka dapat mengakibatkan kawat fasa tersambar dan dapat mengakibatkan terjadinya gangguan.

Kawat pada tower tension dipegang oleh tension clamp, sedangkan pada tower suspension dipegang oleh suspension clamp. Pada tension clamp dipasang kawat jumper yang menghubungkannya pada tower agar arus petir dapat dibuang ke tanah lewat tower. Untuk keperluan perbaikan mutu pentanahan maka dari kawat jumper ini ditambahkan kawat lagi menuju ketanah yang kemudian dihubungkan dengan kawat pentanahan.

a. Bahan ground wire

Bahan ground wire terbuat dari steel yang sudah digalvanis, maupun sudah dilapisi dengan almunium. Pada SUTET yang dibangun mulai tahun 1990-an, didalam ground wire difungsikan fiber optic untuk keperluan telemetri, tele proteksi maupun telekomunikasi yang dikenal dengan OPGW (Optic Ground Wire), sehingga mempunyai beberapa fungsi.

b. Jumlah dan posisi ground wire

Jumlah ground wire paling tidak ada satu buah diatas kawat fasa, namun umumnya disetiap tower dipasang dua buah. Pemasangan yang hanya satu buah untuk dua penghantar akan membuat sudut perlindungan menjadi besar sehingga kawat fasa mudah tersambar petir.

Jarak antara ground wire dengan kawat fasa di tower adalah sebesar jarak antar kawat fasa, namun pada daerah tengah gawangan dapat mencapai 120% dari jarak tersebut.

2.6. Isolator

Isolator adalah media penyekat antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan. Fungsi isolator pada SUTT/SUTET adalah untuk mengisolir kawat fasa dengan tower.

a. Nilai isolasi

Besarnya isolasi pada umumnya 3 hingga 3,3 kali tegangan sistem, dimaksudkan akan tahan terhadap muka tegangan petir pada waktu 1,2 mikro detik. Apabila nilai isolasi menurun akibat dari polutan maupun kerusakan pada isolasinya, maka akan terjadi kegagalan isolasi yang akhirnya dapat menimbulkan gangguan.

b. Jenis isolator

Isolator terbagi atas beberapa jenis yaitu:

Menurut bentuknya:

- a. Piringan yaitu isolator yang berbentuk piring, salah satu sisi dipasang semacam mangkuk logam dan sisi lainnya dipasang pasak. Antara pasak dengan mangkuk diisolasi dengan semen khusus.
- b. Ada dua macam model sambungannya: Ball dan socket ; clevis dan eye. Pemasangan isolator jenis piring ini digandeng-gandengkan dengan piringan lainnya. Jumlahnya disesuaikan dengan kebutuhan isolasi terhadap tegangan yang bekerja di transmisi tersebut. Jenis ini mempunyai fleksibilitas yang tinggi, karena bisa dipakai sebagai isolator gantung maupun isolator tarik.
- c. Long rod adalah isolator yang berbentuk batang panjang, di kedua ujungnya dipasang sarana penghubung yang terbuat dari logam. Sirip-sirip isolator berada di antara kedua ujung tersebut. Isolator jenis ini dipakai sebagai isolator gantung.
- d. Pin isolator tidak digunakan di SUTT/SUTET.
- e. Post isolator adalah isolator berbentuk batang panjang, di kedua ujungnya dipasang sarana penghubung yang terbuat dari logam. Isolator ini dipakai sebagai isolator yang didudukkan.

Menurut bahannya

Bahan isolator terbuat dari:

- a. **Keramik:** mempunyai keunggulan tidak mudah pecah, tahan terhadap cuaca, harganya relatif mahal. Pada umumnya isolator menggunakan bahan ini.

b. Gelas/kaca: Mempunyai kelemahan mudah pecah namun harganya murah.

Digunakan hanya untuk isolator jenis piring.

Sambungan isolator yaitu batang pasak dan mangkuknya terbuat dari logam digalvanis. Pada daerah yang banyak mengandung uap garam maupun zat kimia tertentu dapat membuat batang pasak karatan dan putus. Akhir-akhir ini dikembangkan teknik untuk melapisi batang pasak tersebut dengan zink.

Menurut bentuk pasangannya

- a. "I" string
- b. "V" string
- c. Horizontal string
- d. Single string
- e. Double string
- f. Quadruple



Gambar 2.6. Isolator yang terpasang pada tension tower type DD

Spesifikasi isolator

Setiap isolator harus mempunyai spesifikasi dari fabrikasi yang mencantumkan:

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 29/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)29/8/23

- a. Standar mutu, misalnya dari IEC
- b. Type
- c. Model sambungan
- d. Panjang creepage atau alur (mm)
- e. Kuat mekanik (kN)
- f. Panjang antar sambungan (mm)
- g. Berat satuan (kg)
- h. Diameter (mm)
- i. Tegangan lompatan api frekuensi rendah kondisi basah (kV)
- j. Tegangan lompatan impuls kondisi kering (kV)
- k. Tegangan tembus (kV)

Karakteristik listrik

Bahan isolator yang diapit oleh logam merupakan kapasitor. Kapasitansinya diperbesar oleh polutan maupun kelembaban udara dipermukaannya. Bagian ujung saluran mengalami tegangan permukaan yang paling tinggi, sehingga dibutuhkan arcing horn untuk membagi tegangan tersebut lebih merata ke beberapa piring isolator lainnya.

Karakteristik mekanik

Isolator harus memiliki kuat mekanik guna menanggung beban tarik kawat maupun beban berat isolator dan kawat penghantar.

2.7. Daya Kompleks

Daya Rata – Rata (P)

Daya ini sebenarnya adalah daya yang dipakai oleh komponen pasif

yang merupakan daya yang terpakai atau terserap.

Simbol : P

Satuan : Watt (W)

Secara matematis daya rata-rata atau daya nyata merupakan perkalian antara tegangan efektif, arus efektif, dan koefisien faktor dayanya.

$$P = V_{eff} I_{eff} \cos \theta$$

Daya Reaktif (Q)

Daya ini adalah daya yang muncul diakibatkan oleh komponen pasif diluar resistor yang merupakan daya rugi-rugi atau daya yang tidak diinginkan.

Daya ini seminimal mungkin dihindari walaupun bisa diperkecil, walaupun tidak akan hilang sama sekali dengan cara memperkecil faktor dayanya.

Simbol : Q

Satuan : Volt Ampere Reaktif (VAR)

Secara matematis daya reaktif merupakan perkalian antara tegangan efektif, arus efektif, dan nilai $\sin \theta$.

$$Q = V_{eff} I_{eff} \sin \theta$$

Daya Tampak (S)

Daya yang sebenarnya disupply oleh PLN, merupakan resultan daya antara daya rata-rata dan daya reaktif.

Simbol : S

Satuan : Volt Ampere (VA)

Secara matematis daya tampak merupakan perkalian antara tegangan dan arus efektifnya

$$S = V_{eff} I_{eff}$$

Daya kompleks

Merupakan gabungan antara daya rata-rata dan daya reaktifnya.

$$S = P + jQ = V_{eff} I_{eff} \cos \theta + jV_{eff} I_{eff} \sin \theta$$

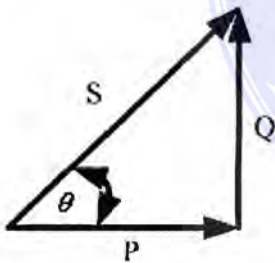
Faktor Daya

Faktor daya atau *power factor (pf)* merupakan perbandingan daya rata-rata terhadap daya tampak.

$$pf = \frac{P}{S} = \frac{V_{eff} I_{eff} \cos \theta}{V_{eff} I_{eff}} = \cos \theta$$

Segitiga Daya

Ditunjukkan pada gambar :



$$P = V_{eff} I_{eff} \cos \theta$$

$$S = V_{eff} I_{eff}$$

$$Q = V_{eff} I_{eff} \sin \theta$$

2.8. PARAMETER SALURAN TRANSMISI JARAK MENENGAH

Regulasi tegangan adalah bagaimana pengaturan tegangan baik dari Gardu

Induk, saluran transmisi ataupun pada pembangkit. Regulasi tegangan erat

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 29/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)29/8/23

kaitannya dengan drop tegangan. drop tegangan adalah besarnya tegangan yang diakibatkan oleh arus yang mengalir pada suatu media yang punya impedansi.

2.8.1. 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:

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

dimana : Daya = Watt (W).
 Arus rms = Ampere (A).

Sedangkan resistansi dc diberikan oleh rumus

$$R_o = \rho \frac{L}{A} \Omega \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana : ρ = resistivitas penghantar,
 l = panjang,
 A = luas penampang.

2.8.2. Induktansi dan Reaktansi Induktif

Dalam penurunan rumus-rumus untuk induktansi dan reaktansi induktif dari suatu konduktor biasanya diabaikan dua faktor, yaitu : a) Efek kulit (skin effect), b) Efek sekitar (proximity effect). Efek kulit adalah gejala pada arus bolak-balik, bahwa kerapatan arus dalam penampang konduktor tersebut makin besar ke arah permukaan kawat. Tetapi bila kita hanya meninjau frekuensi kerja (50 Hertz atau 60 Hertz) maka pengaruh efek kulit itu sangat kecil dan dapat diabaikan. Efek sekitar ialah pengaruh dari kawat lain yang berada di samping

kawat yang pertama (yang ditinjau) sehingga distribusi fluks tidak simetris lagi. Tetapi bila radius konduktor kecil terhadap jarak antara kedua kawat maka efek sekitar ini sangat kecil dan dapat diabaikan.

2.8.3. Kapasitansi dan Reaktansi Kapasitif

Kapasitansi saluran transmisi adalah akibat beda potensial antara penghantar (konduktor), kapasitansi menyebabkan penghantar tersebut bermuatan seperti yang terjadi pada plat kapasitor 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.

Kapasitansi saluran transmisi adalah akibat beda potensial antara penghantar (konduktor), kapasitansi menyebabkan penghantar tersebut bermuatan seperti yang terjadi pada plat kapasitor 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, kapasitansinya menjadi bertambah kering.

Suatu tegangan bolak-balik yang terpasang pada saluran transmisi akan menyebabkan muatan pada penghantar-penghantarnya disetiap titik bertambah atau berkurang sesuai dengan kenaikan dan penurunan nilai sesaat tegangan antara penghantar pada titik tersebut. Aliran muatan listrik dan arus yang disebabkan oleh pengisian dan pengosongan bolak-balik (alternate charging and discharging)

saluran karena tegangan bolak-balik disebut arus pengisian saluran. Arus pengisian mengalir dalam saluran transmisi meskipun saluran itu dalam keadaan terbuka. Hal ini mempengaruhi jatuh tegangan sepanjang saluran, efisiensi, dan faktor daya saluran serta kestabilan sistem dimana saluran tersebut merupakan salah satu bagiannya.

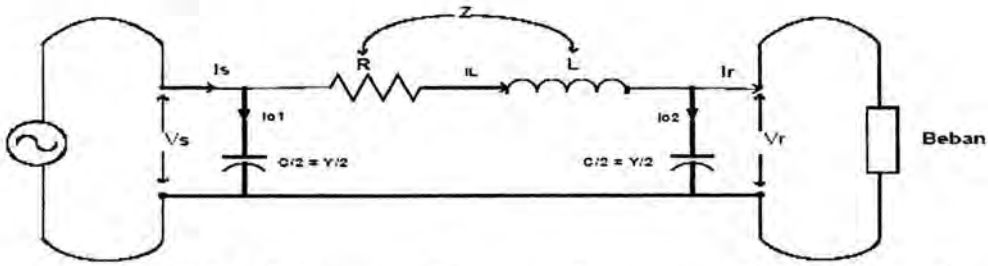
2.8.4. Hubungan Arus dan Tegangan pada Saluran Transmisi Jarak Menengah

Saluran transmisi menengah didefinisikan sebagai saluran transmisi yang mempunyai panjang dari 80 km sampai 250 km. Pada saluran model ini besar kapasitansi ke tanah cukup besar sehingga tidak dapat diabaikan. Sehingga seluruh admitansi shunt saluran terpusat pada cabang shunt, dimana pada saluran transmisi menengah dibedakan menjadi dua model, yaitu:

1. Saluran transmisi menengah nominal T yaitu saluran transmisi dengan kapasitansi dipusatkan pada satu titik dan impedansi serinya terbagi dua pada kedua cabang serinya.
2. Saluran transmisi menengah nominal PI yaitu saluran transmisi dengan kapasitansi dipusatkan pada dua titik dan impedansi serinya dipusatkan satu titik pada cabang serinya.

Nominal Phi pada transmisi saluran ini akan diperhitungkan pengaruh pemasangan kapasitor pada saluran transmisi. Admitansi shunt yang biasanya merupakan kapasitansi murni dimasukkan dalam perhitungan untuk saluran jarak menengah. Jika keseluruhan admitansi shunt saluran dibagi dua sama besar dan ditempatkan masing-masing pada ujung penerima, dinamakan rangkaian

berbentuk nominal PI. Untuk mendapatkan suatu rumus untuk VR kita akan berpedoman pada gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.7. Rangkaian nominal PI pada saluran transmisi jarak menengah

Hubungan tegangan dan arus pada saluran transmisi menengah nominal PI adalah:

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

$$I_s = \left(Y + \frac{ZY^2}{4}\right) V_R + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) I_R \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana : Z = impedansi seri total per fasa.

Y = admitansi shunt total per fasa ke netral

$$\begin{bmatrix} [V_s] \\ [I_s] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{ZY}{2} + 1 & Z \\ Y + \frac{ZY^2}{4} & \frac{ZY}{2} + 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [V_R] \\ [I_R] \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Substitusi persamaan (2.4) di atas dapat diperoleh dari penjabaran di bawah ini :

$$I_{line} = I_R + \frac{Y}{2} V_R$$

$$V_s = V_R + Z I_L$$

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

$$V_s = V_R + Z I_R + \frac{ZY}{2} V_R$$

$$V_S = V_R + \frac{ZY}{2} V_R + Z I_R$$

Maka,

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

$$I_S = \frac{Y}{2} (V_S + V_R) + I_R$$

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

$$= \frac{Y}{2} \left\{ V_R + \frac{V_R \cdot Z \cdot Y}{2} + I_R \cdot Z + V_R \right\} + I_R$$

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

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

Maka,

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

Sehingga,

$$A = \frac{ZY}{2} + 1 \quad B = Z \quad C = Y + \frac{ZY^2}{4} \quad D = \frac{ZY}{2} + 1 \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

$$V_{R(NL)} = \frac{V_S}{1 + \frac{ZY}{2}} ; \quad V_{R(FL)} = V_R \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

maka,

$$VR(\%) = \frac{|V_{R(NL)}| - |V_{R(FL)}|}{|V_{R(FL)}|} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan : VR = Voltage Regulation (%)

$V_{R(NL)}$ = Tegangan sisi penerima tanpa beban

$V_{R(FL)}$ = Tegangan sisi penerima beban penuh



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di PT PLN (Persero) Penyaluran Dan Pusat Pengatur Beban Sumatera Unit Pelayanan Transmisi Medan. Alamat Jl. Listrik no.12 Medan – 20112, Telp (061) 4579900, Fax (061) 4577700.

3.2. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Notebook/Laptop dengan spesifikasi processor Intel core i5 CPU M 450 @ 2.40 GHz dan RAM 2 GB.
- *Operating System Windows 8 Pro, 32-bit*
- *Software Matlab versi 6.1*

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan dan analisis data menggunakan prinsip sebagai berikut:

1. Studi Kepustakaan (Library Research)

studi kepustakaan yaitu mengumpulkan bahan-bahan referensi dari berbagai sumber ilmiah seperti buku, jurnal, paper, makalah maupun situs internet yang berhubungan dengan penelitian konduktor terbuka (*open fault analysis*)

2. Observasi.

Observasi merupakan teknik pengumpulan data dengan cara mengadakan pengamatan langsung terhadap objek yang akan di teliti serta pencatatan

secara cermat dan sistematis. Dalam kesempatan ini observasi dilakukan di PT PLN (Persero) Penyaluran Dan Pusat Pengaturan Beban Sumatera, Unit Pelayanan Transmisi Medan.

3. Wawancara

Metode ini dilakukan dengan cara menanyakan hal-hal yang sekiranya belum penulis ketahui kepada pembimbing lapangan.

4. Analisis dan simulasi

Memodelkan sistem dan menganalisis dengan bantuan perangkat lunak matlab versi 6.1 sebagai media simulasi.

3.4. Diagram Alir Penelitian

Tahapan penyusunan model penelitian analisis regulasi tegangan saluran transmisi jarak menengah melalui parameter konstanta A, B, C, dan D menggunakan perangkat lunak matlab ditunjukkan pada gambar 1. berikut ini:



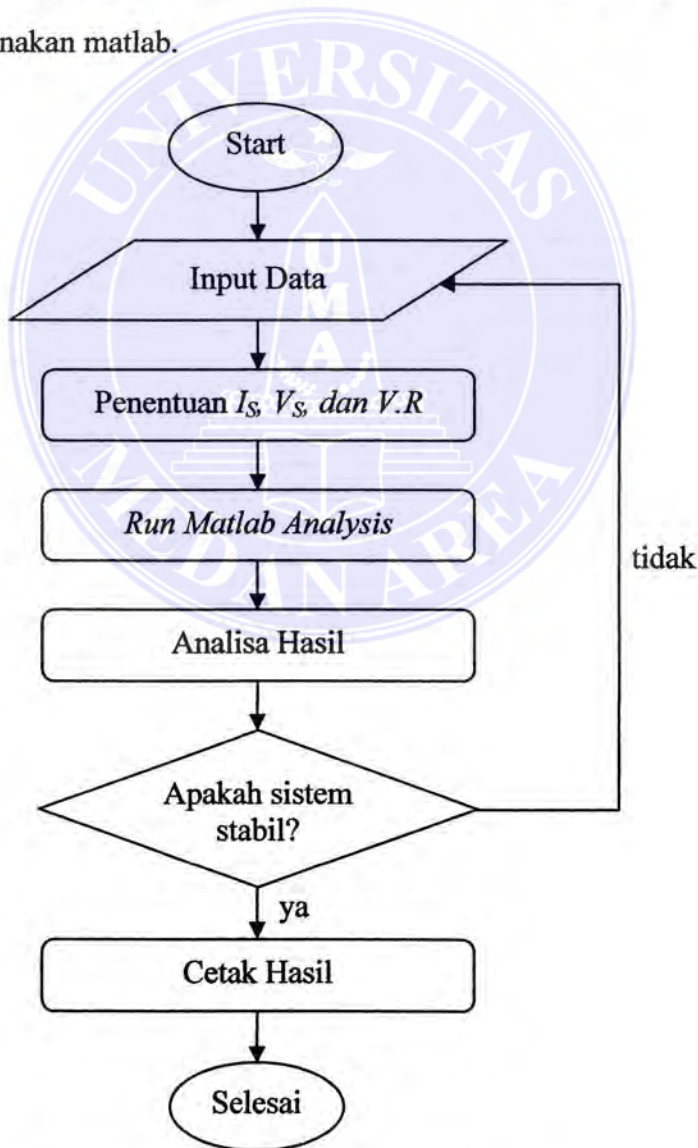
Gambar 3.1. Step penelitian penyelesaian skripsi

Tahapan-tahapan secara umum penyelesaian skripsi antara lain:

1. Memodelkan saluran transmisi jarak menengah; sebuah sistem tenaga listrik dengan data parameter saluran dimodelkan dalam bentuk phi-nominal untuk dapat diperoleh menentukan konstanta A, B, C dan D

2. Dari poin 1, dilanjutkan dengan menentukan parameter konstanta A, B, C dan D , parameter ini merupakan syarat untuk memperoleh analisis terkait dengan regulasi saluran transmisi
3. Hasil dari poin 2, diuji dengan menerapkan analisis menggunakan simulasi matlab untuk mempermudah hasil perhitungan secara efektif dan praktis.

Flowchart pada gambar 3.2 dapat kita lihat tahapan-tahapan dalam menganalisa regulasi tegangan saluran transmisi jarak menengah dengan model phi nominal menggunakan matlab.



Gambar 3.2. *Flowchart* tahapan simulasi

BAB V

PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

Penelitian yang telah dilakukan tentang studi analisis penentuan regulasi tegangan saluran transmisi jarak menengah dapat diuraikan beberapa kesimpulan antara lain:

1. Model phi nominal digunakan untuk menentukan regulasi tegangan, arus sisi pengirim dan daya sisi pengirim dengan parameter impedansi seri saluran, kapasitansi paralel saluran, daya sisi penerima dan power factor sistem
2. Regulasi Tegangan (V.R) sebesar 10.8 %, sedangkan arus sisi pengirim sebesar 538,255 A PF. 0.762491, Tegangan sisi pengirim 149.998 kV sedangkan daya aktif sebesar 106.628 MW dan daya reaktif sebesar 90.4771 Mvar

5.2. Saran

Diharapkan pada penelitian selanjutnya memperhitungkan dan menganalisis perbaikan jatuh tegangan pada saluran transmisi sehingga diperoleh perbaikan pengaturan tegangan saluran

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arismunandar, Artono, 1995, **Teknik Tenaga Listrik**, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [2] Bonggas L. Tobing "*Peralatan Tegangan Tinggi*" Penerbit Gramedia Pustaka Utama (c) Jakarta, 2003
- [3] Cek Mas Cek Din "*Sistem Tenaga Listrik*" Penerbit Andi offset Jakarta 2007
- [4] Gross, Charles A., 1986, **Power System Analysis**, 2nd Edition,
- [5] John Wiley&Sons, Toronto. Hutaeruk, T.S., 1996, **Transmisi Daya Listrik**, Erlangga, Jakarta.
- [6] Kadir, Abdul, 1998, **Transmisi Tenaga Listrik**, Universitas Indonesia, Jakarta.
- [7] Katsuhiko Ogata, *Designing Linier Control Systems With matlab*" Prentice hall, ltd. © 1994
- [8] Kundur P. "**Power System Stability and Control**", McGraw-Hill, 1994
- [9] Padiyar, K.R., 1996, *Power System Dynamis Stability and Control*, pp. 191 – 268, John Wiley & Sons , Singapore.
- [10] P.M. Anderson , A.A Fouad © 1977 "*Power System Kontrol and stability*" The Iowa State university Press
- [11] Stevenson, W.D., dan Idris,K.,1990, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, pp. 349-351, Erlangga, Jakarta.