



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI MENAIKKAN NILAI *SURGE IMPEDANCE LOADING*  
(*SIL*) DAN TEGANGAN GITET DEPOK DENGAN  
MENGUBAH KONFIGURASI SALURAN TRANSMISI 500 KV  
TASIK-DEPOK**

**SKRIPSI**

**FAJAR TRI WARDANA**

**1206250134**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**DEPOK**

**MEI 2016**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI MENAIKKAN NILAI *SURGE IMPEDANCE LOADING*  
(*SIL*) DAN TEGANGAN GITET DEPOK DENGAN  
MENGUBAH KONFIGURASI SALURAN TRANSMISI 500 KV  
TASIK-DEPOK**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik**

**FAJAR TRI WARDANA**

**1206250134**

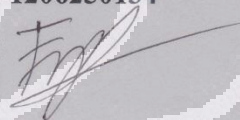
**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
KEKHUSUSAN TEKNIK TENAGA LISTRIK  
DEPOK  
MEI 2016**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Fajar Tri Wardana

NPM : 1206250134

Tanda Tangan : 

Tanggal : 16 Mei 2016

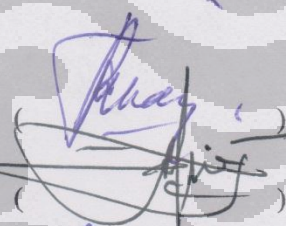
## HALAMAN PENGESAHAN

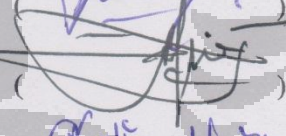
Skripsi ini diajukan oleh :

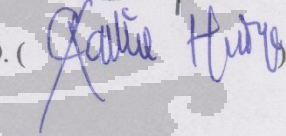
Nama : Fajar Tri Wardana  
NPM : 1206250134  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Studi Menaikkan Nilai *Surge Impedance Loading (Sil)* Dan Tegangan Gigit Depok Dengan Mengubah Konfigurasi Saluran Transmisi 500 Kv Tasik-Depok

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Rudy Setiabudy, DEA. (  )

Penguji : Dr. Ir. Ridwan Gunawan, M.T. (  )

Penguji : Chairul Hudaya, S.T., M.Eng., Ph.D. (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Mei 2016

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Studi Menaikkan Nilai *Surge Impedance Loading (SIL)* dan Tegangan Gigit Depok dengan Mengubah Konfigurasi Saluran Transmisi 500 kV Tasik-Depok” ini.

Dalam pelaksanaan penulisan skripsi, penulis dibantu oleh banyak pihak. Maka dari itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga penulis, terutama bapak Solihin dan ibu Dirwati, yang telah memberikan banyak dukungan baik doa, moral dan materi selama pengerjaan skripsi.
2. Prof. Dr. Ir. Rudy Setiabudy, DEA. selaku dosen pembimbing skripsi penulis, karena telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan membantu dalam segala proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Ahmad Yusuf Salile dan bapak Agus Setiawan dari PT PLN (Persero) P3B Jawa Bali atas bantuan pemberian data dan arahnya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Maka dari itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya ilmu tenaga listrik.

Depok, Mei 2016

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS  
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Fajar Tri Wardana  
NPM : 1206250134  
Program Studi : Teknik Elektro  
Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Studi Menaikkan Nilai *Surge Impedance Loading (Sil)* dan Tegangan Gigit Depok dengan Mengubah Konfigurasi Saluran Transmisi 500 Kv Tasik-Depok”

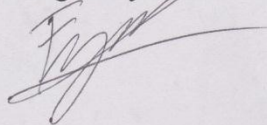
berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir data saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 16 Mei 2016

Yang menyatakan



Fajar Tri Wardana

## ABSTRAK

Nama : Fajar Tri Wardana

Program Studi : Teknik Elektro

Judul : Studi Menaikkan Nilai *Surge Impedance Loading (Sil)* dan Tegangan Gigit Depok dengan Mengubah Konfigurasi Saluran Transmisi 500 kV Tasik-Depok

Dalam sistem tenaga listrik, penyaluran tenaga listrik yang baik merupakan hal yang vital dalam memenuhi kebutuhan beban. Kapasitas penyaluran daya pada saluran transmisi dibatasi oleh batas *Surge Impedance Loading (SIL)*. Saat saluran transmisi dibebani pada nilai SIL-nya maka saluran transmisi tersebut akan bersifat resistif murni. Apabila saluran transmisi bersifat resistif murni maka nilai susut tegangan akan semakin berkurang dan akan memperbaiki kualitas daya. Tegangan yang berada dibawah nilai normalnya akan menyebabkan peralatan listrik tidak bekerja dengan maksimal. Saat level SIL suatu saluran transmisi dinaikkan maka kapasitas suatu saluran transmisi juga akan bertambah. Menaikkan level SIL dapat dilakukan dengan mengubah-ubah konfigurasi saluran transmisi tersebut. Pengubahan yang dilakukan antara lain, memperbesar diameter konduktor, menjauhkan jarak antar subkonduktor, menambah jumlah subkonduktor per fasa dan mendekatkan jarak antar fasa. Dari semua variasi tersebut akan dilihat nilai SIL dan susut tegangan dari saluran transmisi 500kV TASIK-DEPOK. Dari hasil yang diperoleh dapat diambil kesimpulan bahwa nilai SIL terbesar terjadi saat jumlah subkonduktor sebanyak 6 buah dengan jarak antar subkonduktor 80cm. SIL terbesar bernilai 2429.4543 MW dan % tegangan bus DEPOK tertinggi adalah 96.81%.

Kata kunci: Saluran transmisi, *surge impedance loading*, susut tegangan.

## ABSTRACT

Name : Fajar Tri Wardana  
Study Program : Electrical Engineering  
Title : Study Increasing *Surge Impedance Loading (SIL)* and Voltage at Depok Substation by Changing Tasik-Depok 500 kV Transmission Line's Configuration.

In electric power systems, the good electric power transmission is vital to occupy the load requirements. Power transmission capacity on transmission lines restricted by Surge Impedance Loading (SIL). When the transmission line loaded at its SIL value then the transmission line will be purely resistive. If the transmission line is purely resistive then the value of drop voltage will decrease and will improve the power quality. Voltage that below its normal value would cause the electrical equipment does not work in the maximum performance. When a transmission line SIL level is increased, the capacity of a transmission line will also increase. Increasing the level of SIL can be done by changing the configuration of the transmission line. The conversion is done inter alia, expand the diameter of the conductor, increasing the distance between subconductor, increasing the number of subconductor per phase and decreasing the gap between phases. From all of these variations will be seen the value of SIL and drop voltage of 500kV transmission line TASI-K-DEPOK. From the results obtained it can be concluded that the value of the largest SIL occurs when the number of subconductor as much as 6 pieces with subconductor distance between 80cm. The highest SIL is 2429.4543 MW and the highest %voltage of DEPOK bus is 96.81%.

Keywords: Drop voltage, *surge impedance loading*, transmission line.

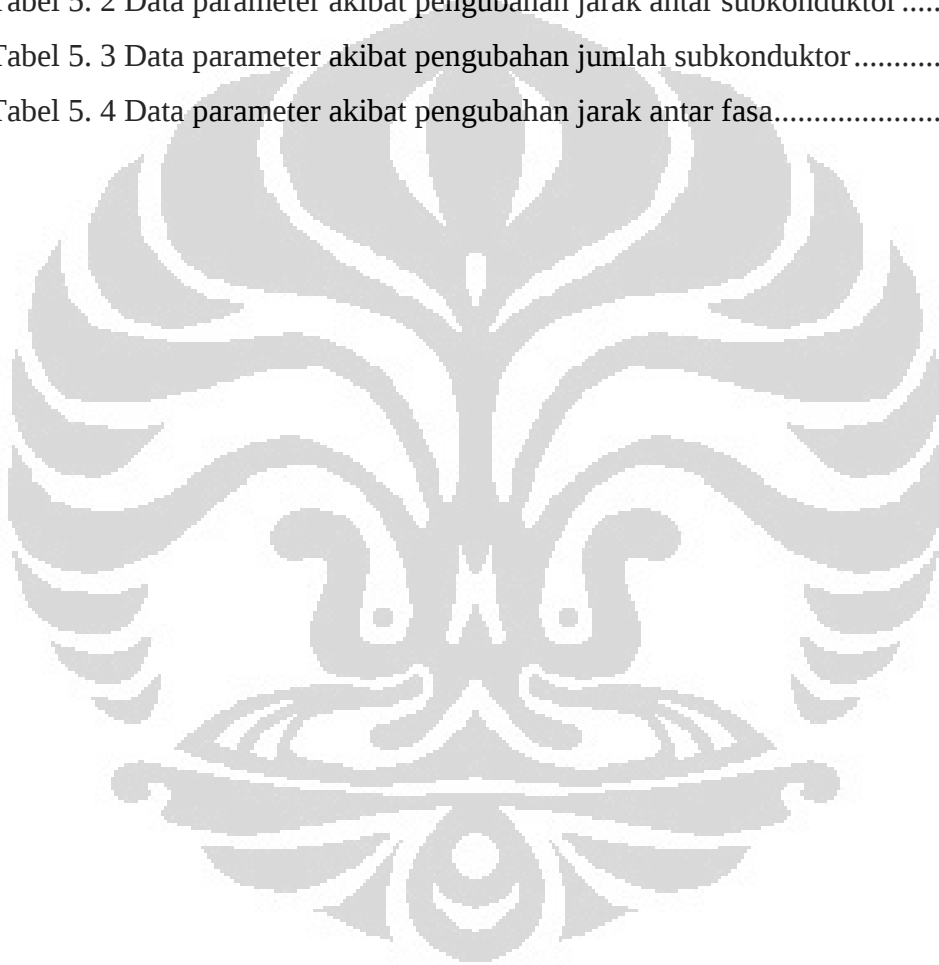
## DAFTAR ISI

|                                                                                          |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| HALAMAN JUDUL.....                                                                       | i    |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....                                                     | ii   |
| HALAMAN PENGESAHAN.....                                                                  | iii  |
| KATA PENGANTAR .....                                                                     | iv   |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR<br>UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS ..... | v    |
| ABSTRAK .....                                                                            | vi   |
| ABSTRACT.....                                                                            | vii  |
| DAFTAR ISI.....                                                                          | viii |
| DAFTAR TABEL .....                                                                       | x    |
| DAFTAR GAMBAR .....                                                                      | xi   |
| BAB 1 PENDAHULUAN .....                                                                  | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                                                                 | 1    |
| 1.2 Perumusan Masalah.....                                                               | 2    |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                                                               | 2    |
| 1.4 Batasan Masalah.....                                                                 | 3    |
| 1.5 Metodologi Penelitian .....                                                          | 3    |
| 1.6 Sistematika Penulisan.....                                                           | 4    |
| BAB 2 KARAKTERISTIK SALURAN TRANSMISI.....                                               | 5    |
| 2.1 Resistansi.....                                                                      | 5    |
| 2.2 Induktansi .....                                                                     | 6    |
| 2.2.1 Induktansi Pada Saluran Satu Fasa .....                                            | 7    |
| 2.2.2 Induktansi Pada Saluran Tiga Fasa .....                                            | 8    |
| 2.3 Kapasitansi .....                                                                    | 11   |
| 2.3.1 Kapasitansi Pada Saluran Satu Fasa.....                                            | 12   |
| 2.3.2 Kapasitansi Pada Saluran Tiga Fasa .....                                           | 15   |
| 2.4 Karakteristik Saluran Transmisi.....                                                 | 19   |
| 2.4.1 Saluran Transmisi Pendek.....                                                      | 19   |
| 2.4.2 Saluran Transmisi Menengah.....                                                    | 20   |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4.3 Saluran Transmisi Panjang.....                                    | 23 |
| BAB 3 PEMBEBANAN IMPEDANSI SURJA (SURGE IMPEDANCE<br>LOADING/SIL) ..... | 28 |
| 3.1 Pengertian <i>Surge Impedance Loading</i> .....                     | 28 |
| 3.2 Metode Menaikkan <i>Surge Impedance Loading</i> .....               | 30 |
| 3.3 Karakteristik Saluran Transmisi Pada Level SIL .....                | 32 |
| BAB 4 SIMULASI JARINGAN 500 KV JAWA BALI .....                          | 34 |
| 4.1 Jaringan 500 kV Jawa Bali .....                                     | 34 |
| 4.1.1 Gambaran Umum .....                                               | 34 |
| 4.1.2 Saluran Transmisi 500 kV Jawa Bali .....                          | 35 |
| 4.2 Pengambilan Data Penelitian.....                                    | 38 |
| 4.2.1 Simulasi Jaringan 500 kV Jawa Bali.....                           | 38 |
| 4.2.2 Perhitungan X dan Y Saluran Transmisi.....                        | 38 |
| BAB 5 ANALISIS HASIL SIMULASI.....                                      | 44 |
| 5.1 Saluran Transmisi 500 kV TASIK-DEPOK.....                           | 44 |
| 5.2 Mengubah Jari-Jari ACSR Gannet.....                                 | 45 |
| 5.3 Mengubah Jarak Antar Subkonduktor.....                              | 47 |
| 5.4 Mengubah Jumlah Subkonduktor.....                                   | 50 |
| 5.5 Mengubah Jarak Antar Fasa .....                                     | 54 |
| 5.6 Analisis Hasil .....                                                | 57 |
| BAB 6 KESIMPULAN.....                                                   | 58 |
| DAFTAR REFERENSI .....                                                  | 59 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                                    | 61 |
| LAMPIRAN.....                                                           | 62 |

## DAFTAR TABEL

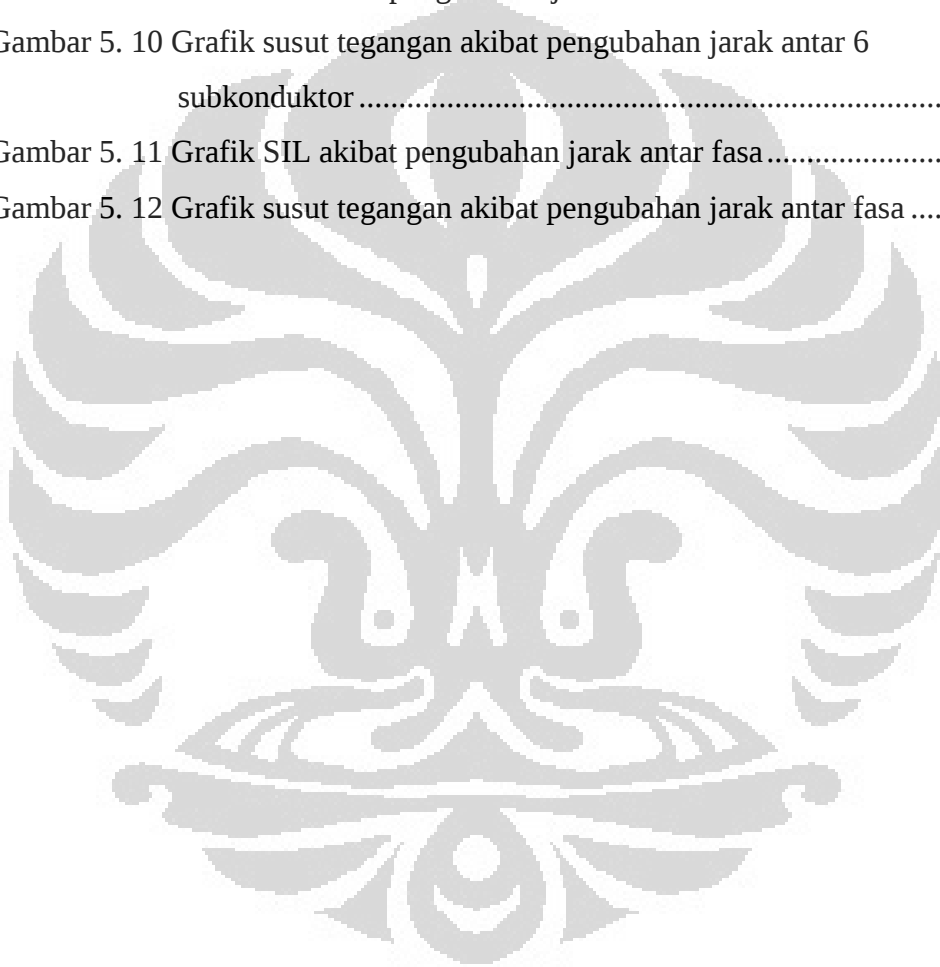
|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2. 1 Koefisien Resistivitas dan Temperatur dari Reisisistensi [1] ..... | 6  |
| Tabel 2. 2 Tabel Permeabilitas Relatif Bahan.....                             | 8  |
| Tabel 4. 1 Saluran transmisi 500 kV Jawa Bali .....                           | 37 |
| Tabel 4. 2 Rumus GMR untuk setiap kawat berkas.....                           | 39 |
| Tabel 5. 1 Data parameter akibat pengubahan jari-jari konduktor.....          | 46 |
| Tabel 5. 2 Data parameter akibat pengubahan jarak antar subkonduktor .....    | 49 |
| Tabel 5. 3 Data parameter akibat pengubahan jumlah subkonduktor .....         | 51 |
| Tabel 5. 4 Data parameter akibat pengubahan jarak antar fasa.....             | 55 |



## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2. 1 Medan magnet dari fasa tunggal [1].....                                                                                     | 7  |
| Gambar 2. 2 Saluran transmisi tiga phasa dengan jarak konduktor sama.....                                                               | 9  |
| Gambar 2. 3 Transposisi saluran transmisi tiga fasa [1] .....                                                                           | 10 |
| Gambar 2. 4 Garis-garis fluks listrik berasal dari muatan-muatan positif tersebar<br>merata pada permukaan penghantar silinder .....    | 12 |
| Gambar 2. 5 Jalur integrasi dua titik diluar suatu penghantar silinder yang<br>mempunyai muatan positif yang terbagi secara merata..... | 13 |
| Gambar 2. 6 Penampang saluran kawat sejajar.....                                                                                        | 14 |
| Gambar 2. 7 Kapasitansi fasa ke fasa.....                                                                                               | 15 |
| Gambar 2. 8 Kapasitansi fasa ke netral .....                                                                                            | 15 |
| Gambar 2. 9 Saluran tiga fasa dengan jarak pemisah sama .....                                                                           | 16 |
| Gambar 2. 10 Diagram fasor tegangan sistem 3 fasa seimbang .....                                                                        | 17 |
| Gambar 2. 11 Saluran tiga fasa dengan jarak pemisah yang tidak sama .....                                                               | 18 |
| Gambar 2. 12 Rangkaian ekuivalen saluran transmisi pendek .....                                                                         | 20 |
| Gambar 2. 13 Rangkaian ekuivalen saluran transmisi menengah $\phi$ .....                                                                | 21 |
| Gambar 2. 14 Rangkaian ekuivalen saluran transmisi menengah T .....                                                                     | 22 |
| Gambar 2. 15 Rangkaian ekuivalen saluran transmisi panjang .....                                                                        | 23 |
| Gambar 2. 16 Elemen saluran sepanjang $dx$ .....                                                                                        | 23 |
| Gambar 3. 1 Karakteristik SIL penghantar .....                                                                                          | 29 |
| Gambar 3. 2 Suatu bundle conductor terdiri dari 4 kawat .....                                                                           | 31 |
| Gambar 3. 3 Penampang melintang suatu konduktor ACSR [3] .....                                                                          | 32 |
| Gambar 4. 1 Topologi Jaringan Jawa Bali[7] .....                                                                                        | 35 |
| Gambar 4. 2 Konfigurasi saluran tunggal horizontal [1] .....                                                                            | 36 |
| Gambar 4. 3 Konfigurasi saluran vertikal ganda [1].....                                                                                 | 36 |
| Gambar 4. 4 Spesifikasi konfigurasi saluran horizontal .....                                                                            | 40 |
| Gambar 4. 5 Spesifikasi saluran vertikal ganda .....                                                                                    | 42 |
| Gambar 5. 1 Grafik SIL akibat perubahan jari-jari konduktor.....                                                                        | 47 |
| Gambar 5. 2 Grafik susut tegangan akibat perubahan jari-jari konduktor .....                                                            | 47 |
| Gambar 5. 3 Grafik SIL akibat perubahan jarak antar subkonduktor .....                                                                  | 48 |

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 5. 4 Grafik susut tegangan akibat pengubahan jarak antar subkonduktor          | 48 |
| Gambar 5. 5 Grafik SIL akibat pengubahan jarak antar 2 subkonduktor .....             | 52 |
| Gambar 5. 6 Grafik susut tegangan akibat pengubahan jarak antar 2 subkonduktor .....  | 52 |
| Gambar 5. 7 Grafik SIL akibat pengubahan jarak antar 3 subkonduktor .....             | 52 |
| Gambar 5. 8 Grafik susut tegangan akibat pengubahan jarak antar 3 subkonduktor .....  | 53 |
| Gambar 5. 9 Grafik SIL akibat pengubahan jarak antar 6 subkonduktor .....             | 53 |
| Gambar 5. 10 Grafik susut tegangan akibat pengubahan jarak antar 6 subkonduktor ..... | 53 |
| Gambar 5. 11 Grafik SIL akibat pengubahan jarak antar fasa .....                      | 56 |
| Gambar 5. 12 Grafik susut tegangan akibat pengubahan jarak antar fasa .....           | 56 |



## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Sistem tenaga listrik secara umum terbagi dalam tiga subsistem besar yaitu pembangkitan, transmisi dan distribusi. Subsistem transmisi digunakan untuk menyalurkan daya listrik dalam jumlah yang sangat besar. Sistem transmisi menggunakan tegangan tinggi dalam menyalurkan daya listrik. Hal ini bertujuan agar rugi daya akibat disipasi dari penghantar berkurang. Karena saat tegangan dinaikkan maka arus listrik akan menjadi kecil. Arus listrik yang rendah ini juga akan berdampak pada rugi disipasi yang rendah.

Sebuah saluran transmisi memiliki batas kemampuan dalam menyalurkan daya listrik. Salah satu batas tersebut adalah batas temperatur konduktor penghantar. Saat arus listrik mengalir pada suatu konduktor penghantar, maka akan timbul panas akibat disipasi. Batas temperatur ini akan membatasi besar arus listrik yang dapat mengalir dan secara langsung akan membatasi nilai daya listrik yang dapat disalurkan. Saat arus listrik yang besar mengalir pada saluran transmisi, maka tegangan pada sisi penerima akan lebih rendah dari tegangan pada sisi pengirim. Semakin besar arus listrik yang mengalir maka akan semakin besar nilai susut tegangan dari saluran transmisi tersebut.

Dalam perkembangan dan ekspansi sistem tenaga listrik, jumlah pembangkit listrik dan jumlah beban listrik semakin lama akan semakin bertambah. Hal ini menuntut agar daya listrik yang dapat disalurkan juga semakin besar atau dengan kata lain menuntut agar arus listrik yang dapat disalurkan menjadi semakin besar. Sistem transmisi yang bertugas menyalurkan daya listrik juga harus dapat menaikkan kapasitasnya. Namun hal ini terkendala dari batas temperatur konduktor penghantar.

Jika arus yang disalurkan pada saluran transmisi dinaikkan, meskipun masih dibawah batas temperaturnya, namun akan menyebabkan susut tegangan akan semakin tinggi. Sehingga perlu penanganan lebih jauh, cara yang biasa digunakan untuk mengatasi susut tegangan ialah dengan menambahkan kompensator daya reaktif pada sisi penerima, menaikkan tegangan pada sisi pengirim dan menaikkan level *surge impedance loading (sil)* pada penghantar tersebut. Cara terakhir, yaitu menaikkan level *surge impedance loading (sil)* pada penghantar akan dibahas pada skripsi ini.

Dalam skripsi ini, studi kasus akan dilakukan pada jaringan 500 kV Jawa-Bali. Dengan mengubah-ubah konfigurasi saluran, yang akan mengubah nilai induktansi dan kapasitansi saluran, sekaligus mengubah level *surge impedance loading (sil)*. Mengubah konfigurasi saluran agar didapatkan nilai sil yang lebih tinggi dari sebelumnya dan akan dilihat nilai susut tegangan pada bus yang terhubung.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat dirumuskan permasalahan yang akan dibahas dalam skripsi ini, diantaranya:

1. Apa pengaruh dinaikkannya level *surge impedance loading (sil)* pada jaringan 500 kV Jawa-Bali?
2. Berapa besar nilai penurunan susut tegangan saat level *surge impedance loading (sil)* dinaikkan?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mendapatkan hubungan antara *surge impedance loading (sil)* dengan susut tegangan pada saluran transmisi sehingga dapat menurunkan susut tegangan saluran transmisi 500 kV Jawa-Bali.

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. Simulasi yang dibuat adalah jaringan listrik 500 kV Jawa-Bali
- b. Saluran yang menjadi objek penelitian adalah saluran TASIK-DEPOK
- c. Pengaruh yang diamati dari mengubah level SIL hanya susut tegangan saluran transmisi.

#### 1.5 Metodologi Penelitian

Pada skripsi ini akan dilakukan studi literatur, deskripsi mengenai sistem Jawa Bali 500 kV saat ini, studi perhitungan induktansi dan kapasitansi saluran, studi performansi saluran transmisi, simulasi perhitungan nilai *surge impedance loading (sil)* dan pengaruhnya pada susut tegangan dan yang terakhir analisis hasil simulasi.

Tahap pertama adalah melakukan studi perhitungan nilai induktansi dan kapasitansi dari saluran transmisi 500kV yang umumnya menggunakan kawat berkas dengan metode *Geometric Mean Distance (GMD)* dan *Geometric Mean Radius (GMR)*. Pada tahap ini juga mempelajari tentang performansi saluran transmisi, karakteristik tegangan penerima dengan tegangan pengirim dan hubungan *surge impedance loading (sil)* dengan nilai susut tegangan.

Tahap kedua adalah meminta data yang dibutuhkan untuk membuat simulasi jaringan listrik 500kV Jawa-Bali. Simulasi akan dibuat pada perangkat lunak *Electric Transient and Analysis Program (ETAP)* 12.6.0. Data-data yang dibutuhkan secara umum ialah *single line diagram* jaringan 500kV Jawa-Bali, *rating* peralatan-peralatan seperti generator, transformator, panjang dan karakteristik saluran transmisi.

Tahap ketiga adalah membuat simulasi dengan perangkat lunak ETAP 12.6.0. Simulasi yang telah dibuat kemudian dijalankan dan dilihat tegangan pada tiap bus. Selanjutnya saluran transmisi diubah karakteristiknya dan konfigurasinya, dan kemudian diamati perubahan tegangan pada bus yang tersambung.

Tahap terakhir, melakukan analisis mengenai hasil simulasi dan membandingkannya dengan teori pada studi yang telah dilakukan sebelumnya. Kemudian ditarik kesimpulan berdasarkan analisis yang dibuat.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Skripsi ini terdiri dari enam bab. Dimulai dari bab satu yang membahas tentang latar belakang, permasalahan, tujuan penulisan, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan. Selanjutnya dilakukan studi literatur agar pemahaman materi lebih mendalam, studi literatur yang dilakukan adalah mengenai saluran transmisi, cara menghitung nilai induktansi dan kapasitansi saluran dan studi tentang performansi saluran transmisi yang semuanya ditulis sebagai bab dua. Setelah dilakukan studi literatur, selanjutnya disusun penjelasan lebih lanjut tentang *surge impedance loading (sil)*, cara menaikkan nilai SIL dan performansi saluran transmisi saat saluran dibebani pada nilai SIL dan diluar nilai SIL, selain itu juga berisi penjelasan singkat tentang sistem tenaga listrik Jawa-Bali khususnya jaringan 500 kV Jawa-Bali, semua pembahasan tersebut disusun menjadi bab tiga. Setelah semua dasar teori dan pemahaman lengkap, maka selanjutnya dibuat simulasi jaringan listrik 500 kV Jawa-Bali dan hasil yang ditimbulkan saat ada saluran transmisi yang diubah karakteristik dan konfigurasinya yang disusun pada bab empat. Kemudian dibuat analisis hasil simulasi tersebut dan penjelasan saat konfigurasi saluran diubah-ubah dan disusun pada bab lima. Setelah analisis dibuat, dapat ditarik kesimpulan yang akan disusun pada bab enam.

## BAB 2

### KARAKTERISTIK SALURAN TRANSMISI

#### 2.1 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 [1],

$$R = \frac{P_{loss}}{I^2} \quad (2.1)$$

dengan  $R$  : resistansi efektif (ohm)

$P_{loss}$  : rugi daya (watt)

$I$  : arus RMS (ampere).

Sedangkan resistansi dc diberikan oleh rumus:

$$R_o = \rho \frac{\ell}{A} \quad (2.2)$$

dengan  $R_o$  : resistansi DC (ohm)

$\rho$  : hambatan jenis (ohm-m)

$\ell$  : panjang saluran (meter)

$A$  : luas penampang konduktor (m<sup>2</sup>).

Karena pada umumnya kawat-kawat penghantar terdiri dari kawat-pilin (*stranded conductors*) maka sebagai faktor koreksi untuk memperhitungkan pengaruh dari pilin itu, panjang kawat dikalikan dengan 1,02 (2% faktor koreksi) seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.1. Tahanan kawat berubah oleh temperatur. Dalam batas 10°C sampai 100 °C, maka untuk kawat tembaga dan aluminium berlaku rumus temperatur:

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (2.3)$$

dengan  $R_2$  : resistansi saat temperatur  $t_2$  (ohm)

$R_1$  : resistansi saat temperatur  $t_1$  (ohm)

$\alpha$  : koefisien temperatur ( $1/^\circ\text{C}$ )

Jadi,

$$\frac{R_{t2}}{R_{t1}} = \frac{1/\alpha_0 + t_2}{1/\alpha_0 + t_1} \quad (2.4)$$

Besarnya resistiviti dan koefisien temperatur dari masing-masing bahan ditunjukkan oleh Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Koefisien Resistivitas dan Temperatur dari Resistansi [1]

| Material            | Resistiviti $\rho$<br>pada $20^\circ\text{C}$<br>( $\mu\Omega/\text{cm}$ ) | Koefisien Suhu<br>[ $\alpha$ ] pada $20^\circ\text{C}$<br>( $^\circ\text{C}^{-1}$ ) |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Alumunium           | 2.83                                                                       | 0.0039                                                                              |
| Brass               | 6.4-8.4                                                                    | 0.002                                                                               |
| Cooper (Hard-drawn) | 1.77                                                                       | 0.00382                                                                             |
| Cooper (Annealed)   | 1.72                                                                       | 0.00393                                                                             |
| Iron                | 10                                                                         | 0.005                                                                               |
| Silver              | 1.59                                                                       | 0.0038                                                                              |
| Steel               | 12.88                                                                      | 0.001-0.005                                                                         |

## 2.2 Induktansi

Dalam penurunan rumus-rumus untuk induktansi dan reaktansi induktif dari suatu konduktor biasanya diabaikan dua faktor, yaitu:

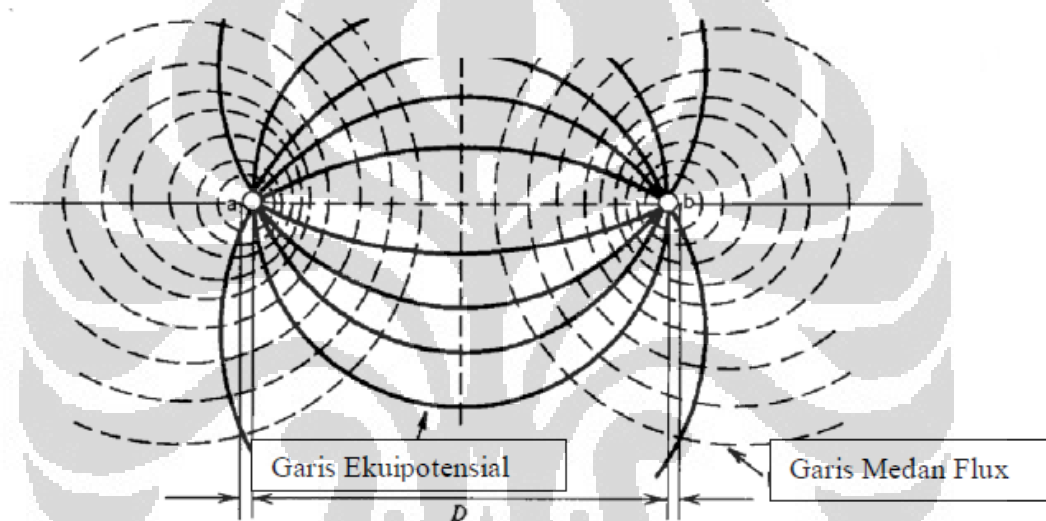
- Efek kulit (*skin effect*).
- Efek sekitar (*proximity effect*).

Efek kulit adalah gejala pada arus bolak-balik, bahwa kerapatan arus dalam penampang konduktor tersebut makin besar ke arah permukaan kawat. Tetapi, apabila 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.

### 2.2.1 Induktansi Pada Saluran Satu Fasa

Gambar 2.1 menunjukkan medan magnet dari fasa tunggal. Diasumsikan aliran arus konduktor a keluar dan konduktor b masuk kembali. Perubahan arus karena perubahan flux, disebabkan tegangan induksi di dalam rangkaian.



Gambar 2. 1 Medan magnet dari fasa tunggal [1]

Induktansi yang disebabkan fluks pada konduktor diatas adalah,

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r'} \quad [H/m] \quad (2.5)$$

atau jika diubah kedalam logaritma basis 10 menjadi,

$$L = 0.7411 \log \frac{D}{r'} \quad [mH/km] \quad (2.6)$$

Maka reaktansi induktif perkonduktor adalah,

$$X_L = 2\pi fL = 12.56 \times 10^{-7} f \ln \frac{D}{r'} \quad [\Omega/m] \quad (2.7)$$

atau

$$X_L = 2\pi fL = 4.6541 f \log \frac{D}{r'} \quad [m\Omega/km] \quad (2.8)$$

Dengan:  $f$  = frekuensi listrik (Hz)

$D$  = Jarak antar konduktor (meter)

$$r' = r \times e^{\frac{-\mu_r}{4}} \text{ (meter)}$$

$\mu_r$  adalah nilai permeabilitas relatif dari suatu bahan, umumnya konduktor yang digunakan pada saluran transmisi menggunakan konduktor dengan bahan aluminium. Pada ruang vakum, nilai permeabilitas adalah sebesar  $\mu_0 = 4 \times 10^{-7} [N/A^2]$ . Berikut adalah tabel nilai  $\mu_r$  dari beberapa bahan,

Tabel 2. 2 Tabel Permeabilitas Relatif Bahan

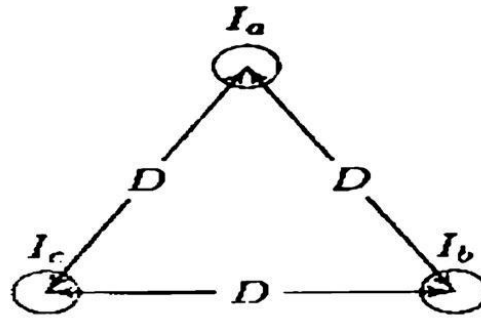
| No | Bahan        | Permeabilitas Relatif ( $\mu_r$ ) |
|----|--------------|-----------------------------------|
| 1  | Tembaga      | 0.9999906                         |
| 2  | Perak        | 0.9999736                         |
| 3  | Timah        | 0.9999831                         |
| 4  | Udara        | 1.00000037                        |
| 5  | Oksigen      | 1.000002                          |
| 6  | Aluminium    | 1.000021                          |
| 7  | Titanium 6-4 | 1.00005                           |
| 8  | Palladium    | 1.0008                            |
| 9  | Platina      | 1.0003                            |
| 10 | Mangan       | 1.001                             |
| 11 | Cobalt       | 250                               |
| 12 | Nikel        | 600                               |
| 13 | Besi         | 280,000                           |

### 2.2.2 Induktansi Pada Saluran Tiga Fasa

Saluran transmisi tiga fasa rangkaian tunggal dapat dibedakan menurut susunan konduktornya yaitu saluran transmisi tiga fasa dengan jarak konduktor sama besar transmisi tiga fasa dengan jarak yang tidak sama besar.

#### a. Saluran Transmisi Tiga Fasa Dengan Jarak Konduktor Sama

Saluran konduktornya ditunjukkan dalam Gambar 2.2. dimana masing-masing konduktor mempunyai jarak yang sama yaitu  $D$ .



Gambar 2. 2 Saluran transmisi tiga fasa dengan jarak konduktor sama

Fluks yang melingkupi konduktor diatas dapat dirumuskan menjadi,

$$\begin{aligned}
 \lambda_a &= 2 \times 10^{-7} \left( I_a \ln \frac{1}{r'_a} + I_b \ln \frac{1}{D_{ab}} + I_c \ln \frac{1}{D_{ac}} \right) \\
 &= 2 \times 10^{-7} \left( I_a \ln \frac{1}{r'_a} + I_b \ln \frac{1}{D} + I_c \ln \frac{1}{D} \right) \\
 &= 2 \times 10^{-7} \left( I_a \ln \frac{1}{r'_a} + (I_b + I_c) \ln \frac{1}{D} \right) \quad (2.9)
 \end{aligned}$$

Dalam keadaan seimbang, penjumlahan arus pada tiap-tiap fasa adalah sama dengan nol, maka:

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad (2.10)$$

$$\text{atau} \quad I_b + I_c = -I_a \quad (2.11)$$

Kemudian substitusi persamaan (2.11) kepersamaan (2.9), sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \lambda_a &= 2 \times 10^{-7} \left( I_a \ln \frac{1}{r'_a} - I_a \ln \frac{1}{D} \right) \\
 \lambda_a &= 2 \times 10^{-7} I_a \ln \frac{D}{r'_a} \quad (2.12)
 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh induktansi konduktor-a adalah:

$$\begin{aligned}
 L_a &= \frac{\lambda_a}{I_a} \\
 L_a &= 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r'_a} \quad [H/m] \quad (2.13)
 \end{aligned}$$

$$\text{atau } L_a = 0.7411 \log \frac{D}{r'_a} \quad \left[ \frac{mH}{km} \right] \quad (2.14)$$

Dengan cara yang sama dapat juga dihitung induktansi konduktor b dan c, hasilnya akan sama dengan induktansi konduktor-a. Jadi pada saluran transmisi 3 fasa dengan jarak konduktor sama, akan diperoleh induktansi perphasanya atau perkonduktornya akan sama besar.

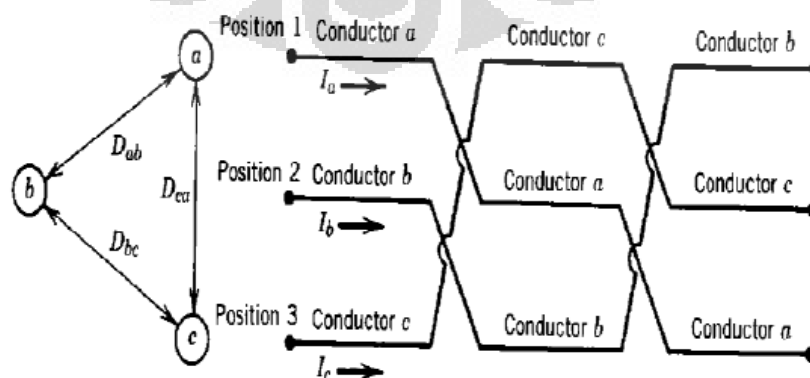
#### b. Saluran Transmisi Tiga Fasa Dengan Jarak Konduktor Tidak Sama

Bila jarak-jarak antara ketiga kawat-kawat itu tidak sama (tidak simetris), maka fluks-lingkup pada kawat 1 tergantung dari arus-arus  $i_2$  dan  $i_3$ , demikian juga halnya untuk kawat 2 dan 3. Jadi induktansi  $L_1$ ,  $L_2$  dan  $L_3$ , demikian juga reaktansi  $X_1$ ,  $X_2$  dan  $X_3$  tidak sama.

Untuk mengatasi kesulitan ini, kawat-kawat dari rangkaian tiga fasa sering ditransposisikan pada jarak-jarak tertentu, sehingga tiap-tiap fasa menduduki tiap kedudukan kawat untuk  $1/3$  dari panjang kawat. Keadaan ini membutuhkan paling sedikit dua titik transposisi, sehingga membagi jarak itu dalam tiga daerah.

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab}D_{bc}D_{ac}} \quad (2.15)$$

Transposisi berguna untuk mengatasi ketidaksimetrian yang disebabkan oleh kedudukan kawat yang tidak simetris. Dengan kata lain impedansi per fasa dari rangkaian tiga fasa yang tidak simetris menjadi simetris oleh karena transposisi tersebut.



Gambar 2. 3 Transposisi saluran transmisi tiga fasa [1]

Pada Gambar 2.3, angka 1, 2, dan 3 menyatakan posisi kawat dan huruf a, b, dan c menyatakan fasa. Dapat dilihat juga bahwa tiap fasa menduduki ketiga posisi 1/3 panjang kawat. Misalkan ketiga kawat itu terdiri dari bahan yang sama dan mempunyai radius sama pula. Jadi,  $L$  dan  $X$  untuk tiap kawat sama. Maka induktansi per fasa,

$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s} \quad [H/m] \quad (2.16)$$

$$\text{atau} \quad L_a = 0.7411 \log \frac{D_{eq}}{D_s} \quad [mH/km] \quad (2.17)$$

### 2.3 Kapasitansi

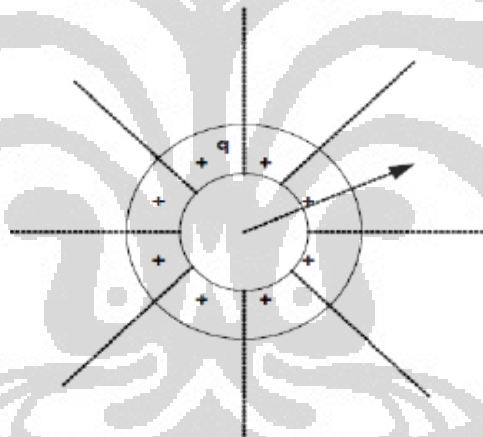
Kapasitansi saluran transmisi diakibatkan beda potensial antar penghantar (konduktor) dan antara penghantar dengan bumi. Kapasitansi menyebabkan penghantar tersebut bermuatan seperti yang terjadi pada plat kapaistor bila terjadi beda potensial diantaranya. Kapasitansi antara penghantar adalah muatan per unit beda potensial. Kapasitansi antara penghantar sejajar bergantung pada ukuran dan jarak pemisah dan jenis 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, kapasistansinya menjadi bertambah besar.

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 memengaruhi jatuh tegangan sepanjang saluran, efisiensi, dan faktor daya saluran serta kestabilan sistem dimana saluran tersebut merupakan salah satu bagiannya.

### 2.3.1 Kapasitansi Pada Saluran Satu Fasa

Untuk meninjau kapasitansi saluran, hal yang penting untuk diketahui adalah medan listrik, garis fluks listrik berasal dari muatan positif pada saluran satu penghantar dan berakhir pada muatan penghantar lain. Kerapatan fluks listrik adalah fluks listrik per meter per segi dan diukur dalam satuan per meter persegi ( $m^2$ ). Kerapatan fluks listrik pada jarak  $x$  meter dapat dihitung dengan membayangkan suatu permukaan silinder yang konsentris dengan penghantar dengan berjari-jari  $x$  meter. Karena semua bagian permukaan itu sama jauhnya dari penghantar yang mempunyai muatan yang terbagi rata, permukaan silinder merupakan yang ekuipotensial dan kerapatan fluks dari permukaan itu sama dengan banyaknya fluks yang meninggalkan penghantar per meter panjang dibagi luas permukaan sepanjang sumbu 1 m.



Gambar 2. 4 Garis-garis fluks listrik berasal dari muatan-muatan positif tersebar merata pada permukaan penghantar silinder

Seperti dapat dilihat pada Gambar 2.8. Kerapatan fluks listrik adalah

$$D = \frac{q}{2\pi x} \quad \left[ \frac{C}{m^2} \right] \quad (2.18)$$

Dengan:  $q$  = muatan pada penghantar (colomb/meter)

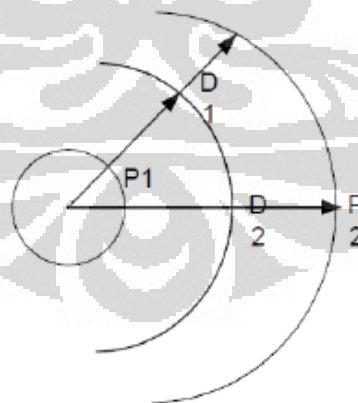
$x$  = jarak dari penghantar (meter)

Kuat medan listrik sama dengan kerapatan fluks listrik dibagi dengan permitivitas medium. Oleh karena itu medan listrik adalah:

$$E = \frac{q}{2\pi xK} \quad \left[ \frac{V}{m^2} \right] \quad (2.19)$$

Beda potensial antara dua titik dalam volt sama dengan kerja dalam joule per coulomb yang diperlukan dalam memindahkan satu coulomb muatan antara kedua titik tersebut. Kuat medan listrik adalah suatu ukuran gaya pada suatu muatan yang berada dalam medan. Kuat medan listrik dalam volt per meter sama dengan gaya dalam newton per coulomb pada satu coulomb muatan titik yang sedang ditinjau. Bila ditinjau sebuah kawat lurus diperlihatkan pada Gambar 2.5. Titik  $P_1$  dan  $P_2$  terletak pada jarak  $D_1$  dan  $D_2$  dari pusat kawat.

Muatan positif pada kawat menggunakan suatu gaya tolak pada muatan positif yang diletakkan dalam medan. Untuk alasan ini dan karena dalam hal ini  $D_2$  lebih besar dari  $D_1$  harus ada kerja yang dilakukan pada suatu muatan positif untuk memindahkannya dari  $P_2$  ke  $P_1$  dan  $P_1$  berada dalam potensial yang lebih tinggi dari  $P_2$ . Beda potensial adalah banyaknya kerja yang dilakukan per coulomb muatan yang dipindahkan. Jika muatan itu bergerak dari  $P_1$  ke  $P_2$  maka muatan tersebut melepaskan tenaga dan banyaknya kerja atau tenaga dalam Newton meter adalah susut tegangan (*Voltage drop*) dari  $P_1$  ke  $P_2$ . Beda potensial ini tergantung pada jalur yang dilalui.



Gambar 2. 5 Jalur integrasi dua titik diluar suatu penghantar silinder yang mempunyai muatan positif yang terbagi secara merata

Cara yang paling sederhana untuk menghitung jatuh tegangan antara dua titik adalah dengan menghitung tegangan antara permukaan ekuipotensial yang melewati  $P_1$  dan  $P_2$  dengan mengintegrasikan kuat medannya sepanjang jalur radial

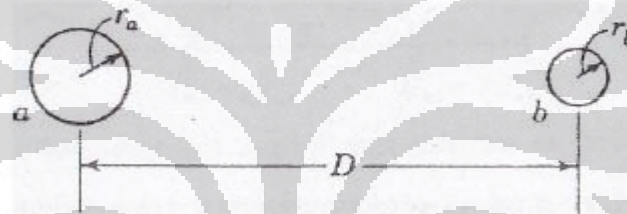
antara kedua permukaan ekipotensial itu. Jadi susut tegangan sesaat antara  $P_1$  dan  $P_2$  adalah:

$$V_{12} = \int_{D_1}^{D_2} e dx = \int_{D_1}^{D_2} \frac{q}{2\pi K x} dx = \frac{q}{2\pi K} \ln \frac{D_2}{D_1} \quad [V] \quad (2.20)$$

Dengan:  $q$  = muatan sesaat pada kawat (coloumb/meter).

Kapasitansi antara dua penghantar suatu saluran adalah muatan pada penghantar dibagi dengan selisih potensial antara kedua penghantar, dituliskan dengan rumus:

$$C = \frac{q}{v} \quad [f/m] \quad (2.21)$$



Gambar 2. 6 Penampang saluran kawat sejajar

Tegangan  $V_{ab}$  antar kedua penghantar pada saluran dua kawat yang diperhatikan pada Gambar 2.6. Dapat diperoleh dengan menentukan beda potensial antar kedua penghantar itu. Maka beda potensial antara konduktor a dan b adalah:

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi K} \left( q \ln \frac{D}{r_a} - q \ln \frac{r_b}{D} \right) \quad (2.22)$$

Kapasitansi per satuan panjang diantara konduktor tersebut adalah  $C_{ab}$  yang merupakan perbandingan muatan dengan beda potensial persatuan panjang:

$$C_{ab} = \frac{q}{V_{ab}} \quad [f/m] \quad (2.23)$$

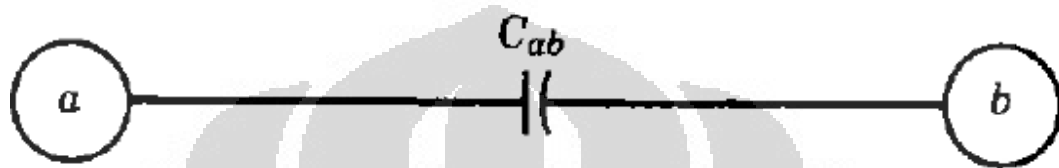
$$C_{ab} = \frac{\pi k}{\ln \frac{D}{\sqrt{r_a r_b}}} \quad [f/m] \quad (2.24)$$

$$C_{ab} = \frac{0.0121}{\log \frac{D}{\sqrt{r_a r_b}}} \quad [\mu f/km] \quad (2.25)$$

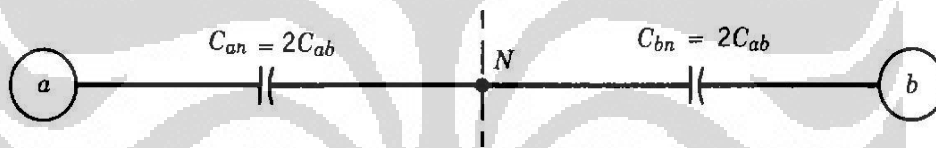
Jika  $r_a = r_b = r$ , maka:

$$C_{ab} = \frac{0.0121}{\log \frac{D}{\sqrt{r}}} \quad [\mu f / km] \quad (2.26)$$

Kadangkala perlu juga diperoleh kapasitansi diantara salah satu konduktor dengan titik netral. Kapasitansi saluran dapat disusun dari dua kapasitansi yang terangkai seri. Dapat di lihat pada Gambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2. 7 Kapasitansi fasa ke fasa



Gambar 2. 8 Kapasitansi fasa ke netral

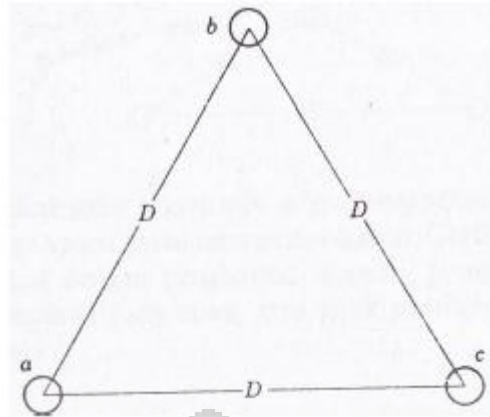
Kapasitansi dari masing-masing saluran ke netral adalah dua kali kapasitansi saluran ke saluran (*line to line capacitance*).

$$C_n = C_{an} = C_{bn} = 2C_{ab} = \frac{0.0242}{\log \frac{D}{\sqrt{r}}} \quad [\mu f / km] \quad (2.27)$$

### 2.3.2 Kapasitansi Pada Saluran Tiga Fasa

#### a. Kapasitansi Saluran Transmisi Tiga Fasa Dengan Jarak Konduktor Sama

Pada Gambar 2.9, saluran tiga fasa dengan jarak pemisah yang sama menyatakan tegangan antara dua penghantar yang disebabkan oleh muatan pada masing-masing penghantar.



Gambar 2.9 Saluran tiga fasa dengan jarak pemisah sama

Jadi beda potensial untuk  $V_{ab}$  dan  $V_{ac}$  dapat ditulis:

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi K} \left( q_a \ln \frac{D}{r} + q_b \ln \frac{r}{D} + q_c \ln \frac{D}{D} \right) \quad [V] \quad (2.28)$$

$$V_{ac} = \frac{1}{2\pi K} \left( q_a \ln \frac{D}{r} + q_b \ln \frac{D}{D} + q_c \ln \frac{r}{D} \right) \quad [V] \quad (2.29)$$

Penjumlahan dari persamaan (2.28) dan (2.29) menghasilkan:

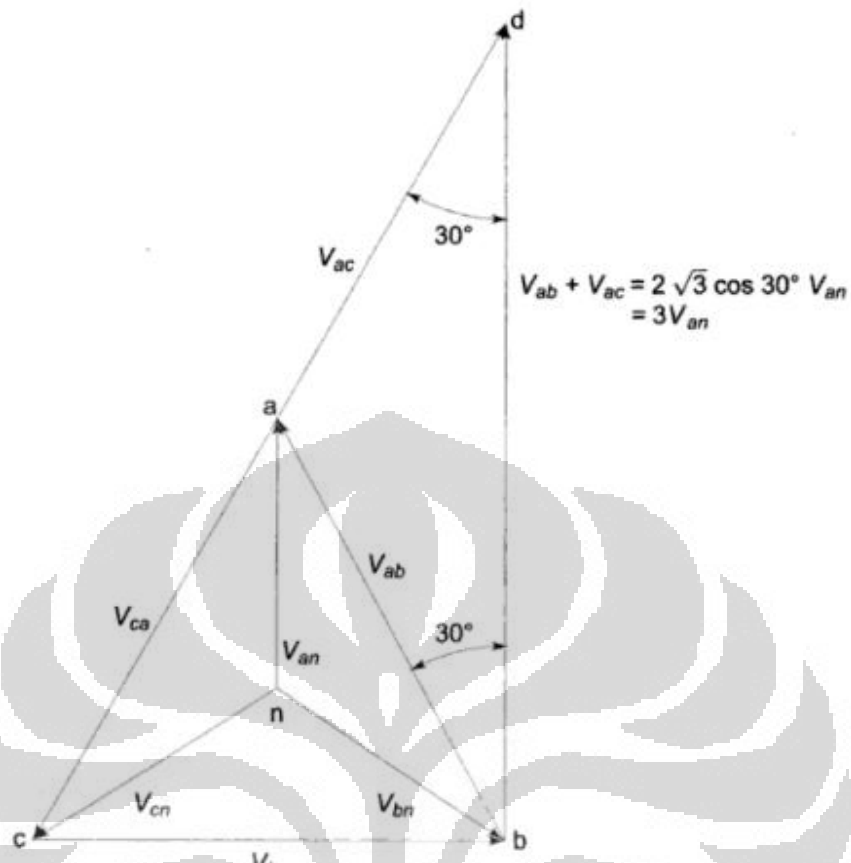
$$V_{ab} + V_{ac} = \frac{1}{2\pi K} \left( 2q_a \ln \frac{D}{r} + (q_b + q_c) \ln \frac{r}{D} \right) \quad [V] \quad (2.30)$$

Jika  $q_b + q_c = -q_a$  maka:

$$V_{ab} + V_{ac} = \frac{1}{2\pi K} \left( 2q_a \ln \frac{D}{r} - q_a \ln \frac{r}{D} \right) \quad [V] \quad (2.31)$$

$$V_{ab} + V_{ac} = \frac{3q_a}{2\pi K} \ln \frac{D}{r} \quad [V] \quad (2.32)$$

Untuk sistem 3 fasa seimbang, maka berlaku  $V_{ab} + V_{ac} = 3V_{an}$ , berikut adalah diagram fasor yang menunjukkan hubungan penjumlahan tegangan antar fasa dari sistem 3 fasa seimbang.



Gambar 2. 10 Diagram fasor tegangan sistem 3 fasa seimbang

Dengan menyubsitusikan  $V_{ab} + V_{ac} = 3V_{an}$  ke persamaan (2.32) diperoleh:

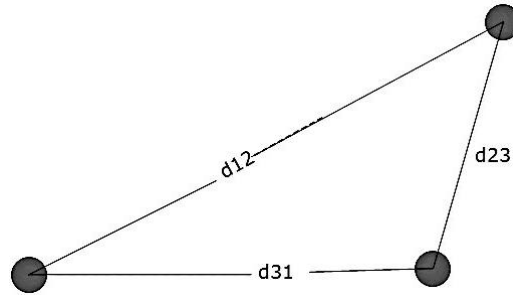
$$V_{an} = \frac{q_a}{2\pi K} \ln \frac{D}{r} \quad [V] \quad (2.33)$$

Kapasitansi saluran ke netral adalah:

$$C_n = \frac{2\pi K}{\ln \frac{D}{r}} \quad \left[ \frac{f}{m \text{ ke netral}} \right] \quad (2.34)$$

#### b. Kapasitansi Saluran Transmisi Tiga Fasa Dengan Jarak Konduktor Tidak Sama

Kapasitansi dari saluran tiga fasa dengan jarak pemisah yang tidak simetris diperoleh dengan menganggap bahwa saluran ditransposisikan.



Gambar 2. 11 Saluran tiga fasa dengan jarak pemisah yang tidak sama

Untuk saluran yang diperlihatkan pada Gambar 2.10, diperoleh tiga persamaan untuk  $V_{ab}$  untuk tiga bagian yang berbeda pada periode transposisi. Untuk fasa a pada posisi 1, b pada posisi 2, dan c pada posisi 3, maka:

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi K} \left( q_{a1} \ln \frac{D_{12}}{r} + q_{b1} \ln \frac{r}{D_{12}} + q_{c1} \ln \frac{D_{23}}{D_{31}} \right) [V] \quad (2.35)$$

Untuk fasa a pada posisi 2, b pada posisi 3, dan c pada posisi 1, maka:

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi K} \left( q_{a2} \ln \frac{D_{23}}{r} + q_{b2} \ln \frac{r}{D_{23}} + q_{c2} \ln \frac{D_{31}}{D_{12}} \right) [V] \quad (2.36)$$

Untuk fasa a pada posisi 3, b pada posisi 1 dan c pada posisi 2, maka:

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi K} \left( q_{a3} \ln \frac{D_{31}}{r} + q_{b3} \ln \frac{r}{D_{31}} + q_{c3} \ln \frac{D_{12}}{D_{23}} \right) [V] \quad (2.37)$$

Maka nilai rata-rata tegangan antara penghantar dapat dicari dan kapasitansi dihitung berdasarkan tegangan rata-rata. Tegangan rata-rata tersebut didapat dengan menjumlahkan persamaan dan membagi hasilnya dengan 3.

Tegangan rata-rata antara a dan b berdasarkan pengandaian muatan yang sama pada penghantar tanpa memperhitungkan posisinya pada periode transposisi adalah:

$$V_{ab} = \frac{1}{3} (V_{ab1} + V_{ab2} + V_{ab3}) \quad (2.38)$$

Sehingga:

$$V_{ab} = \frac{1}{6\pi K} \left( q_a \ln \frac{D_{12}D_{23}D_{31}}{r^3} + q_a \ln \frac{r^3}{D_{12}D_{23}D_{31}} + q_a \ln \frac{D_{12}D_{23}D_{31}}{D_{12}D_{23}D_{31}} \right) [V] \quad (2.39)$$

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi K} \left( q_a \ln \frac{D_{eq}}{r} + q_b \ln \frac{r}{D_{eq}} \right) \quad [V] \quad (2.40)$$

Dengan:

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}} \quad [m] \quad (2.41)$$

Dengan cara yang sama diperoleh:

$$V_{ac} = \frac{1}{2\pi K} \left( q_a \ln \frac{D_{eq}}{r} + q_c \ln \frac{r}{D_{eq}} \right) \quad [V] \quad (2.42)$$

Dengan menjumlahkan persamaan (2.40) dan (2.42) dapat diperoleh:

$$V_{ab} + V_{ac} = \frac{1}{2\pi K} \left( 2q_a \ln \frac{D_{eq}}{r} + q_b \ln \frac{r}{D_{eq}} + q_c \ln \frac{r}{D_{eq}} \right) \quad [V] \quad (2.43)$$

Karena  $q_a + q_b + q_c = 0$  pada rangkaian tiga fasa yang seimbang dan  $V_{ab} + V_{ac} = 3V_{an}$ , sehingga:

$$V_{an} = \frac{q_a}{2\pi K} \ln \frac{D_{eq}}{r} \quad [V] \quad (2.44)$$

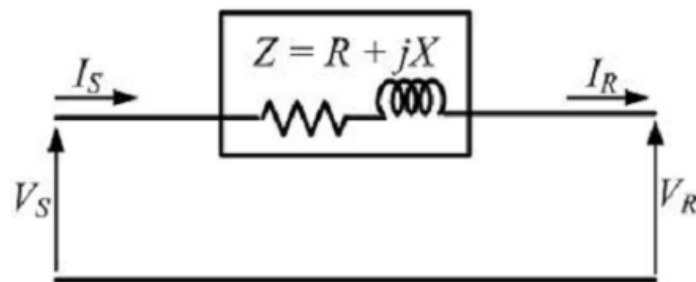
Sehingga diperoleh kapasitansi saluran adalah:

$$C_n = \frac{2\pi K}{\ln \frac{D_{eq}}{r}} \quad \left[ \frac{f}{m} \text{ ke netral} \right] \quad (2.45)$$

## 2.4 Karakteristik Saluran Transmisi

### 2.4.1 Saluran Transmisi Pendek

Saluran transmisi pendek didefinisikan sebagai saluran transmisi yang panjangnya kurang dari 80 km. Pada saluran model ini besar kapasitansi ke tanah sangat kecil, dengan demikian besar arus bocor ke tanah kecil terhadap arus beban, maka dalam hal ini kapasitansi ke tanah dapat diabaikan. Rangkaian ekivalen saluran transmisi pendek ditunjukkan pada Gambar 2.11 dengan kapasitansi saluran diabaikan.



Gambar 2. 12 Rangkaian ekuivalen saluran transmisi pendek

Hubungan tegangan dengan arus pada saluran transmisi pendek adalah sebagai berikut:

$$V_S = V_R + Z \cdot I_R \quad (2.46)$$

$$I_S = I_R \quad (2.47)$$

Dengan:  $V_S$ : tegangan saluran terhadap netral pada sisi pengirim (Volt)

$V_R$ : tegangan saluran terhadap netral pada sisi penerima (Volt)

$I_S$ : arus pada ujung pengirim (ampere)

$I_R$ : arus pada ujung penerima (ampere).

Dalam matriks:

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

Sehingga,  $A = D = 1$ ;  $B = Z$ ;  $C = 0$

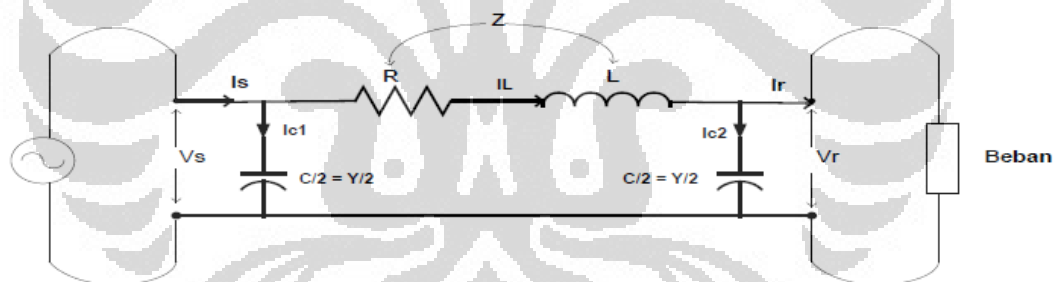
#### 2.4.2 Saluran Transmisi Menengah

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*, di mana pada saluran transmisi menengah dibedakan menjadi dua model, yaitu:

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

a. Saluran Transmisi Menengah Phi

Pada transmisi saluran ini akan diperhitungkan pengaruh kapasitansi pada saluran transmisi. Admittansi *shunt* yang biasanya merupakan kapasitansi murni dimasukkan dalam diperhitungkan untuk saluran jarak menengah. Jika keseluruhan admittansi *shunt* saluran dibagi dua sama besar dan ditempatkan masing-masing pada ujung penerima dan pengirim, maka dinamakan rangkaian berbentuk nominal Phi. Untuk mendapatkan suatu rumus untuk  $V_R$  kita akan berpedoman pada Gambar 2.12 di bawah ini.



Gambar 2. 13 Rangkaian ekuivalen saluran transmisi menengah phi

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

$$V_S = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) V_R + Z \cdot I_R \quad (2.48)$$

$$I_S = \left(Y + \frac{ZY^2}{4}\right) V_R + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) I_R \quad (2.49)$$

Dengan, Z: impedansi seri total perfasa (ohm/km)

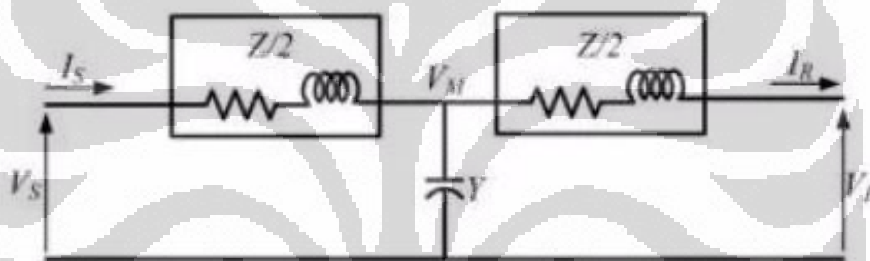
Y: admittansi *shunt* total perfasa ke netral (siemens/km)

Dalam matriks: 
$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{ZY}{2} & Z \\ Y + \frac{ZY^2}{4} & 1 + \frac{ZY}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

Sehingga,  $A = 1 + \frac{ZY}{2}$        $B = Z$        $C = Y + \frac{ZY^2}{4}$        $D = 1 + \frac{ZY}{2}$

b. Saluran Transmisi Menengah T

Dengan metode nominal T harga impedensi dibagi dua menjadi seri yang sama besarnya dan ditempatkan pada ujung pengirim dan ujung penerima dimana kapasitansi membatasi antara kedua impedansi seri tersebut. Dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 14 Rangkaian ekuivalen saluran transmisi menengah T

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

$$V_S = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) V_R + \left(Z + \frac{ZY^2}{4}\right) I_R \quad (2.50)$$

$$I_S = Y \cdot V_R + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) I_R \quad (2.51)$$

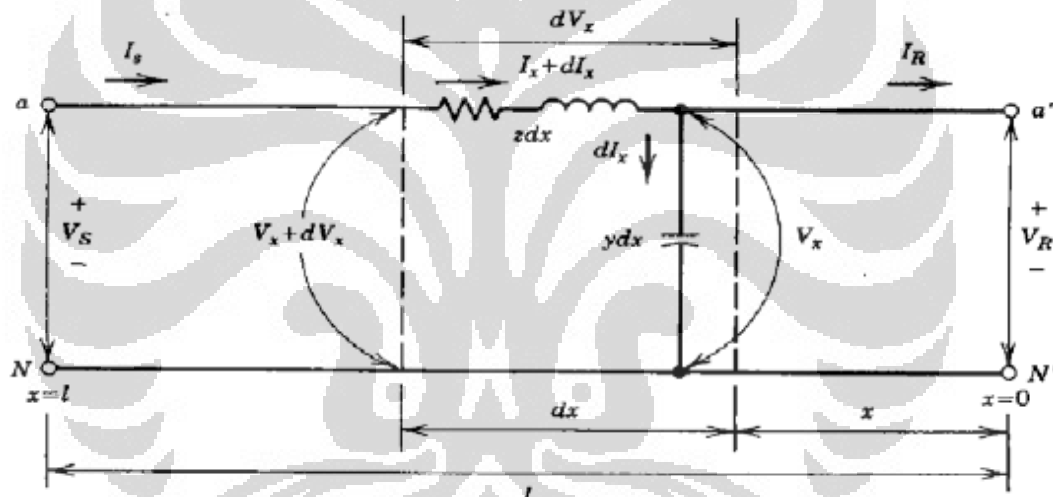
Dalam matriks: 
$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{ZY}{2} & Z + \frac{ZY^2}{4} \\ Y & 1 + \frac{ZY}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

Sehingga,  $A = 1 + \frac{ZY}{2}$        $B = Z + \frac{ZY^2}{4}$        $C = Y$        $D = 1 + \frac{ZY}{2}$

### 2.4.3 Saluran Transmisi Panjang

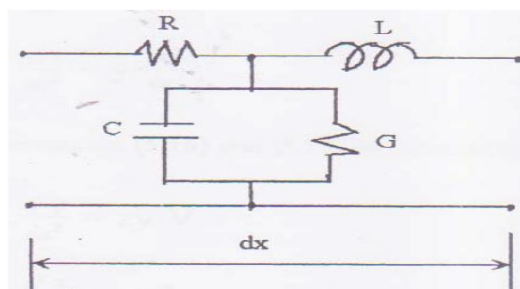
Saluran transmisi yang panjangnya lebih dari 250 km digolong pada saluran transmisi panjang. Besarnya reaktansi kapasitif paralel dan konduktansi semakin kecil sehingga arus bocor semakin besar. Jadi pada saluran panjang ini semua parameter  $R$ ,  $L$ ,  $C$ , dan  $G$  diperhitungkan secara terdistribusi sepanjang saluran.

Saluran transmisi panjang ditunjukkan seperti Gambar 2.14, dalam hal ini ditinjau bagian yang terpendek dari saluran yaitu elemen  $dx$  yang berjarak  $x$  dari sisi beban. Elemen saluran yang panjangnya  $dx$  terdiri dari impedansi seri  $z$  dan admittansi  $y$  persatuan panjang. Tegangan  $V$  dan arus  $I$  adalah besar tegangan dan arus pada sembarang titik yang berjarak  $x$  dari beban secara berturut-turut.



Gambar 2. 15 Rangkaian ekuivalen saluran transmisi panjang

Elemen  $dx$  terdiri dari impedansi seri  $z$  dan admittansi paralel  $y$  dalam bentuk persatuan panjang yang ditunjukkan seperti Gambar 2.15 dibawah ini,



Gambar 2. 16 Elemen saluran sepanjang  $dx$

Dengan,  $Z = R + j\omega L$ , impedansi seri persatuan panjang (ohm/km),

$Y = G + j\omega C$ , admintansi paralel persatuan panjang (siemens/km),

$Z = z\ell$ , impedansi seri total (ohm),

$Y = y\ell$ , admintansi paralel total (siemens).

Tegangan pada elemen dx adalah:  $dV = I \cdot z \, dx$  (2.52)

dan arus pada elemen dx adalah:  $dI = V \cdot y \, dx$ . (2.53)

Turunkan persamaan (2.52) terhadap dx maka akan diperoleh,

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = Z \frac{dI}{dx} \quad (2.54)$$

Selanjutnya substitusikan persamaan (2.53) ke (2.54) maka diperoleh,

$$\frac{d^2 V_x}{dx^2} = yz V_x \quad (2.55)$$

persamaan (2.55) adalah persamaan diferensial orde dua yang mana penyelesaiannya adalah sebagai berikut,

$$V_x = A_1 e^{\sqrt{zy}x} + A_2 e^{-\sqrt{zy}x} \quad (2.56)$$

Substitusi persamaan (2.56) ke persamaan (2.52), diperoleh besar arus pada jarak x sebagai berikut.

$$\frac{d}{dx} (A_1 e^{\sqrt{zy}x} + A_2 e^{-\sqrt{zy}x}) = z I_x \quad (2.57)$$

Selanjutnya diperoleh,

$$I_x = \frac{\sqrt{zy}}{z} (A_1 e^{\sqrt{zy}x} + A_2 e^{-\sqrt{zy}x})$$

$$I_x = \frac{1}{\sqrt{\frac{z}{y}}} (A_1 e^{\sqrt{zy}x} + A_2 e^{-\sqrt{zy}x})$$

$$I_x = \frac{1}{Z_c} (A_1 e^{\sqrt{zy}x} + A_2 e^{-\sqrt{zy}x}) \quad (2.58)$$

Konstanta  $A_1$  dan  $A_2$  ditentukan dengan memerhatikan kondisi saluran pada ujung penerima, dimana untuk jarak  $x = 0$  harga tegangan  $V=V_R$  dan harga arus  $I=I_R$  dengan menyubstitusi nilai-nilai ini kepersamaan (2.57) dan persamaan (2.58) diperoleh konstanta:

$$A_1 = \frac{V_R + Z_c I_R}{2} \quad (2.59)$$

$$A_2 = \frac{V_R - Z_c I_R}{2} \quad (2.60)$$

Dengan mengganti  $A_1$  dan  $A_2$  pada persamaan (2.56) dan (2.58) akan diperoleh tegangan dan arus saluran transmisi pada sembarang titik yang berjarak  $x$  dari ujung penerima seperti yang ditunjukkan persamaan dibawah ini,

$$V_x = \frac{V_R + Z_c I_R}{2} e^{\gamma x} + \frac{V_R - Z_c I_R}{2} e^{-\gamma x} \quad (2.61)$$

$$I_x = \frac{V_R / Z_c + I_R}{2} e^{\gamma x} + \frac{V_R / Z_c - I_R}{2} e^{-\gamma x} \quad (2.62)$$

Persamaan (2.61) dan (2.62) merupakan gelombang tegangan dan arus pada jarak  $x$  dari sisi penerima, bagian pertama dari persamaan diatas adalah gelombang arah maju (*incident wave*) dan bagian kedua adalah gelombang arah mundur (*reflected wave*) dapat juga ditulis dengan rumus sebagai berikut,

$$V = V^+ + V^- \quad (2.63)$$

$$I = I^+ + I^- \quad (2.64)$$

dimana,  $V^+ = \frac{V_R + Z_c I_R}{2} e^{\gamma x}$  Gelombang tegangan arah maju

$V^- = \frac{V_R - Z_c I_R}{2} e^{-\gamma x}$  Gelombang tegangan arah mundur

$I^+ = \frac{V_R / Z_c + I_R}{2} e^{\gamma x}$  Gelombang arus arah maju

$I^- = \frac{V_R / Z_c - I_R}{2} e^{-\gamma x}$  Gelombang arus arah mundur

Dari persamaan (2.61) dan (2.62) bila  $x = 1$ , besar tegangan  $V$  dan arus  $I$  akan sama dengan tegangan arus pada ujung pengirim yang diberikan oleh persamaan berikut,

$$V_S = \frac{V_R + Z_C I_R}{2} e^{\gamma} + \frac{V_R - Z_C I_R}{2} e^{-\gamma} \quad (2.65)$$

$$I_S = \frac{V_R / Z_C + I_R}{2} e^{\gamma} + \frac{V_R / Z_C - I_R}{2} e^{-\gamma} \quad (2.66)$$

$$\gamma = \sqrt{zy} = \alpha + j\beta \quad (2.67)$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}} \quad (2.68)$$

Panjang gelombang adalah  $\lambda = \frac{2\pi}{\beta} [km]$  (2.69)

Kecepatan rambat gelombang adalah  $v = \lambda f [km/s]$  (2.70)

dengan  $Z_c$  : imedansi karakteristik saluran [ohm]

$\gamma$  : konstanta rambat gelombang,

$\alpha$  : konstanta redaman [neper/km]

$\beta$  : konstanta sudut fasa [radian/km].

$f$  : frekuensi listrik [Hz]

Tegangan dan arus pada setiap titik dari saluran transmisi panjang pada persamaan (2.61) dan (2.62) dapat dibuat dalam bentuk fungsi hiperbolis. Penggunaan fungsi hiperbolis memudahkan pembuktian persamaan tegangan saat saluran tersebut dibebani pada nilai SIL-nya. Penjelasan tentang hubungan SIL dengan tegangan pengirim dan penerima akan dibahas pada bab selanjutnya. Penurunan rumus tegangan dan arus pada saluran transmisi panjang dapat dilihat seperti dibawah ini,

$$V_x = \frac{V_R + Z_C I_R}{2} e^{\gamma x} + \frac{V_R - Z_C I_R}{2} e^{-\gamma x}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{V_R}{2} e^{\gamma x} + \frac{V_R}{2} e^{-\gamma x} + \frac{Z_C I_R}{2} e^{\gamma x} - \frac{Z_C I_R}{2} e^{-\gamma x} \\
&= \frac{e^{\gamma x} + e^{-\gamma x}}{2} V_R + Z_C \frac{e^{\gamma x} + e^{-\gamma x}}{2} I_R \\
V_x &= (\cosh \gamma x) V_R + (Z_C \sinh \gamma x) I_R
\end{aligned} \tag{2.71}$$

dan,  $I_x = \frac{V_R/Z_C + I_R}{2} e^{\gamma x} + \frac{V_R/Z_C - I_R}{2} e^{-\gamma x}$

$$\begin{aligned}
&= \frac{V_R}{2Z_C} e^{\gamma x} - \frac{V_R}{2Z_C} e^{-\gamma x} + \frac{I_R}{2} e^{\gamma x} + \frac{I_R}{2} e^{-\gamma x} \\
&= \frac{1}{Z_C} \frac{e^{\gamma x} - e^{-\gamma x}}{2} V_R + \frac{e^{\gamma x} + e^{-\gamma x}}{2} I_R \\
I_x &= \left( \frac{1}{Z_C} \sinh \gamma x \right) V_R + (\cosh \gamma x) I_R
\end{aligned} \tag{2.72}$$

Dalam matriks dapat dituliskan  $\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma x & Z_C \sinh \gamma x \\ \frac{1}{Z_C} \sinh \gamma x & \cosh \gamma x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$

Sehingga,  $A = \cosh \gamma x$      $B = Z_C \sinh \gamma x$      $C = \frac{1}{Z_C} \sinh \gamma x$      $D = \cosh \gamma x$

## BAB 3

### PEMBEBANAN IMPEDANSI SURJA (*SURGE IMPEDANCE LOADING/SIL*)

#### 3.1 Pengertian *Surge Impedance Loading*

*Surge Impedance Loading* (SIL) didefinisikan sebagai daya aktif (MW) yang disalurkan oleh saluran kepada beban resistif murni yang nilainya sama dengan nilai *surge impedance* saluran tersebut. Dimana *surge impedance* adalah impedansi karakteristik ( $Z_c$ ) yang telah dibahas pada bab dua.

Saluran transmisi menghasilkan daya reaktif (MVar) akibat kapasitansi naturalnya. Jumlah MVar yang dihasilkan bergantung dari reaktansi kapasitifnya ( $X_C$ ) dan tegangan (kV) pada saluran tersebut. Saluran transmisi juga menyerap daya reaktif untuk menghasilkan medan magnetnya. Kuat medan magnet bergantung pada arus yang mengalir pada saluran dan besar reaktansi induktifnya ( $X_L$ ). Besar daya reaktif yang diserap juga tergantung pada arus dan  $X_L$ .

Saat suatu saluran transmisi dibebani pada level SIL-nya, maka saluran tersebut menghasilkan daya reaktif (MVar) yang sama dengan daya reaktif yang diserapnya. Sehingga saluran tersebut bersifat resistif murni. Persamaan daya reaktif yang diserap dan yang dihasilkan oleh suatu saluran dapat ditulis sebagai,

$$MVar \text{ dihasilkan} = \frac{kV^2}{X_c} \quad (3.1)$$

$$MVar \text{ diserap} = I^2 X_L \quad (3.2)$$

Saat saluran dibebani pada level SIL-nya maka,

$$MVar \text{ dihasilkan} = MVar \text{ diserap}$$

$$\frac{kV^2}{X_c} = I^2 X_L$$

$$\frac{V}{I} = \sqrt{L/C} \quad (3.3)$$

Dengan V: tegangan antar fasa pada sisi penerima ( $V_R$ )

I: arus pada sisi penerima ( $I_R$ ).

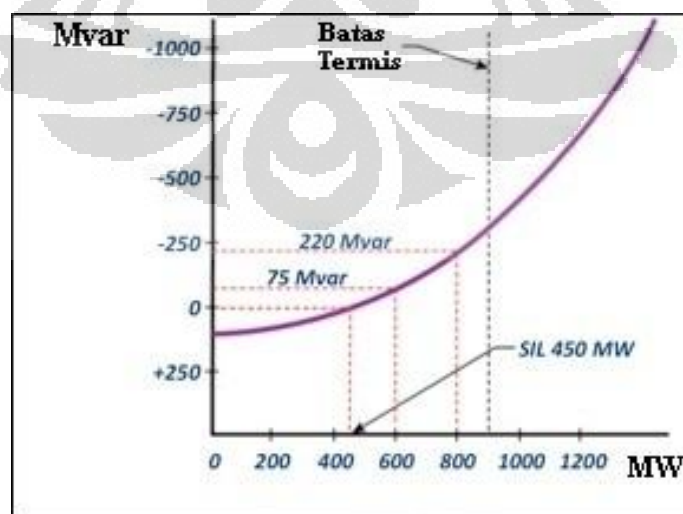
Seperti yang telah diketahui bahwa  $Z_c = \sqrt{L/C}$  sehingga level SIL terjadi saat perbandingan tegangan penerima dan arus penerima sama dengan impedansi karakteristik dari suatu saluran. Besar daya aktif (MW) yang disalurkan saat level SIL dapat dirumuskan sebagai,

$$SIL = \frac{kV^2}{\sqrt{L/C}} \quad [MW] \quad (3.4)$$

dan arus  $I_R$  saat level SIL adalah,

$$I = \frac{V_R}{\sqrt{3} \times \sqrt{L/C}} \quad [A] \quad (3.5)$$

Jika penghantar dibebani dibawah nilai SIL nya, maka penghantar menyuplai daya reaktif ke sistem sehingga menaikkan tegangan. Sebaliknya, jika penghantar dibebani dibawah nilai SIL, maka penghantar akan menyerap daya reaktif sehingga menurunkan tegangan. Secara umum grafik SIL dapat dilihat seperti berikut,



Gambar 3. 1 Karakteristik SIL penghantar

### 3.2 Metode Menaikkan *Surge Impedance Loading*

Dari persamaan (3.4), dapat dilihat bahwa nilai SIL akan dipengaruhi besar impedansi karakteristik saluran. Besar impedansi karakteristik ini juga dipengaruhi oleh nilai induktansi dan kapasitansi saluran tersebut. Pada perumusan nilai induktansi dan kapasitansi saluran transmisi, dapat dilihat bahwa variabel yang memengaruhi besar dari induktansi dan kapasitansi adalah nilai *geometric mean distance* (GMD atau  $D_{eq}$ ) dan *geometric mean radius* (GMR atau  $r'$  atau  $D_s$ ) dari saluran tersebut. Seperti yang telah diketahui, rumus induktansi dan kapasitansi saluran dapat dilihat kembali dibawah ini [2],

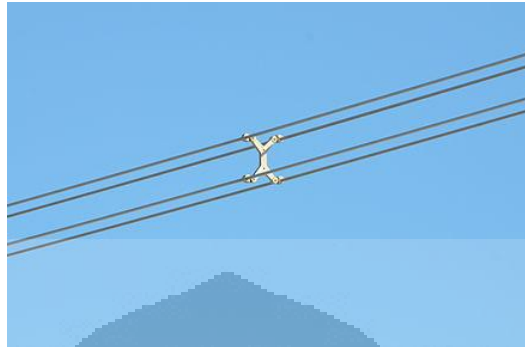
$$L_a = 0.7411 \log \frac{D_{eq}}{D_s} \quad [mH/km]$$

$$C_{ab} = \frac{0.0121}{\log \frac{D}{\sqrt{r}}} \quad [\mu f/km]$$

Sehingga untuk dapat mengubah dan menaikkan level SIL dapat dilakukan dengan mengubah-ubah besar dari *geometric mean distance* (GMD) dan *geometric mean radius* (GMR) pada suatu saluran. Mengubah GMD dan GMR dilakukan dengan mengubah konfigurasi saluran. Pada penelitian ini nilai SIL akan dinaikkan sehingga mengubah konfigurasi saluran dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain [3]:

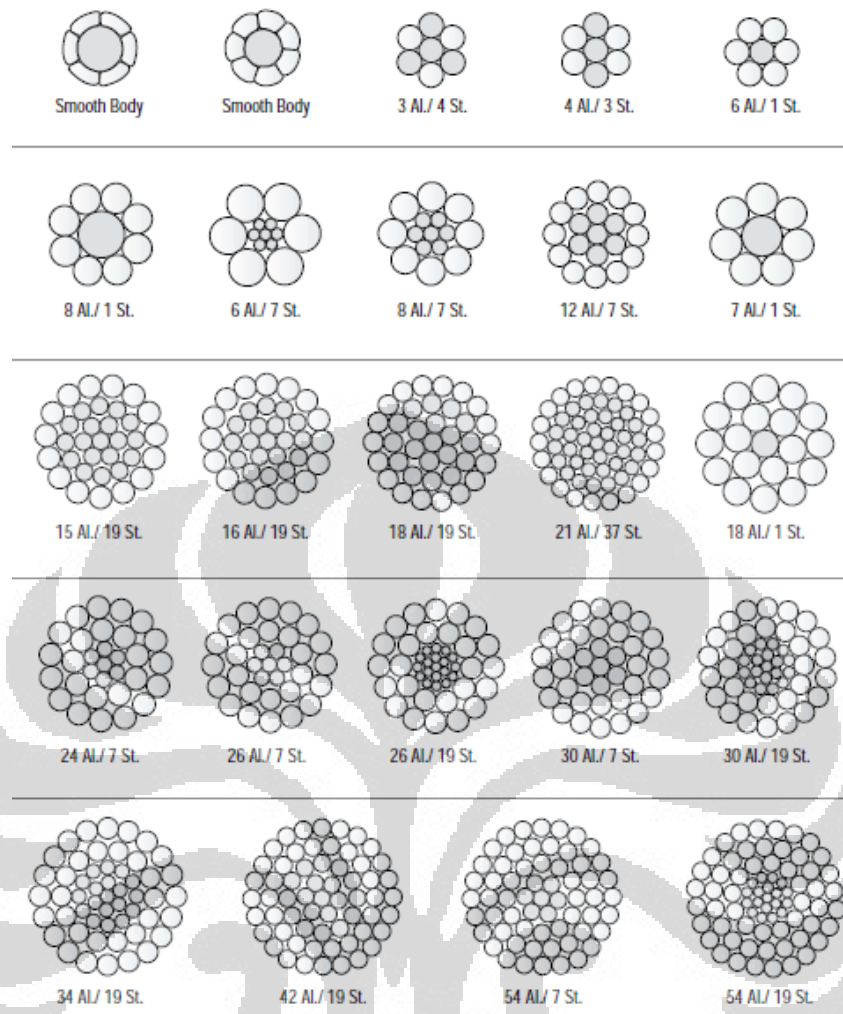
- Mendekatkan jarak antar fasa, mendekatkan jarak antar fasa akan menurunkan nilai GMD sehingga induktansi akan turun dan nilai SIL akan naik. Umumnya suatu saluran 500 kV menyusun konduktor tiap fasanya dalam konfigurasi horizontal dan vertikal ganda.
- Menjauhkan jarak antar subkonduktor, maka nilai GMR akan meningkat dan nilai induktansi akan menurun dan nilai SIL akan naik. Subkonduktor terdapat pada suatu *bundle conductor* (kawat berkas) dan umumnya kawat berkas digunakan pada saluran bertegangan diatas 70 kV. Kawat berkas adalah jenis saluran yang untuk tiap fasanya terdiri dari dua buah atau lebih konduktor yang disusun menurut konfigurasi tertentu, umumnya segitiga dan persegi.

Penggunaan kawat berkas bertujuan untuk mengurangi rugi korona dan memperbesar daya hantar suatu konduktor.



Gambar 3. 2 Suatu bundle conductor terdiri dari 4 kawat

- Memperbesar diameter konduktor, maka nilai GMR akan meningkat dan nilai induktansi akan menurun dan nilai SIL akan naik. Pada saluran transmisi umumnya digunakan *stranded conductor* (konduktor yang dipilin) yang terdiri dari beberapa *strand*. Konduktor ACSR (*aluminium conductor steel reinforced*) biasa digunakan dan biasanya terdiri dari 7 *strands* baja dan 48 *strands* aluminium. Penggunaannya dimaksudkan untuk mengurangi efek kulit.
- Menambah jumlah subkonduktor perfasa, maka nilai GMR akan meningkat dan nilai induktansi akan menurun dan nilai SIL akan naik. Pada saluran 500 kV umumnya digunakan *bundle conductor* dengan 4 buah subkonduktor. Dengan menambah jumlah subkonduktor untuk tiap *bundle conductor* maka akan menaikkan SIL.



Gambar 3. 3 Penampang melintang suatu konduktor ACSR [3]

Dengan mengaplikasikan keempat metode diatas maka nilai induktansi akan diturunkan dan nilai kapasitansi secara otomatis akan naik sehingga nilai SIL saluran tersebut akan meningkat. Dengan meningkatnya level SIL suatu saluran, maka susut tegangan akan semakin berkurang.

### 3.3 Karakteristik Saluran Transmisi Pada Level SIL

Pada persamaan (2.71) nilai  $I_R$  akan mengalami perubahan pada kondisi SIL sehingga persamaan tersebut,

$$V_s = \cosh(\gamma \ell) V_R + Z_C \sinh(\gamma \ell) I_R$$

Dapat diturunkan pada kondisi SIL sebagai berikut,

Pada kondisi SIL,

$$I_R = \frac{V_R}{Z_c} \quad (3.6)$$

Dengan menyubstitusikan persamaan (3.6) ke persamaan (2.71) maka diperoleh,

$$\begin{aligned} V_s &= \cosh(\gamma \ell) V_R + \sinh(\gamma \ell) V_R \\ V_s &= [\cosh(\gamma \ell) + \sinh(\gamma \ell)] V_R \end{aligned} \quad (3.7)$$

mengingat persamaan (2.67),

$$\begin{aligned} \gamma &= \sqrt{zy} = \alpha + j\beta \\ \cosh(\alpha \ell + j\beta \ell) &= \cosh \alpha \ell \cos \beta \ell + j \sinh \alpha \ell \sin \beta \ell \\ \sinh(\alpha \ell + j\beta \ell) &= \sinh \alpha \ell \cos \beta \ell + j \cosh \alpha \ell \sin \beta \ell \end{aligned} \quad (3.8)$$

Maka persamaan (3.7) menjadi,

$$V_s = (\cosh \alpha \ell + \sinh \alpha \ell)(\cos \beta \ell + j \sin \beta \ell) V_R \quad (3.9)$$

$$V_s = (\cosh \alpha \ell + \sinh \alpha \ell) V_R \angle \beta \ell \quad (3.10)$$

Dengan  $\alpha$  : konstanta redaman [neper/mile]

$\beta$  : konstanta sudut fasa [radian/mile].

Dari persamaan (3.10) dapat dilihat bahwa magnitude nilai tegangan pada sisi penerima bergantung pada nilai  $\alpha$ . Dan sudut fasanya bergantung pada nilai  $\beta$ .

## BAB 4

### SIMULASI JARINGAN LISTRIK 500 KV JAWA-BALI

#### 4.1 Jaringan 500 kV Jawa Bali

##### 4.1.1 Gambaran Umum

Operasi Sistem Interkoneksi Jawa Bali pada sistem tegangan ekstra tinggi dan tegangan tinggi dikelola oleh PT PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa Bali (PLN P3B Jawa Bali). Namun, saat ini struktur organisasi PT. PLN (Persero) P3B Jawa Bali dibagi menjadi empat bagian, yaitu unit P2B dan 3 (tiga) Unit Transmisi masing-masing yaitu Unit Transmisi Jawa Bagian Barat, Tengah dan Timur. Sistem Interkoneksi Jawa Bali terhubung satu sama lain melalui saluran transmisi 500 kV, 150 kV dan 70 kV [6].

Sistem interkoneksi memungkinkan adanya transfer antar area, sehingga kekurangan daya di suatu area akan dapat dipenuhi oleh area lain melalui jaringan interkoneksi. Sistem interkoneksi ini juga membuat setiap kejadian apapun pada salah satu komponen di Sistem Interkoneksi akan berpengaruh pada keseluruhan sistem. Operasi Sistem Jawa Bali dibagi menjadi dua hirarki [6]:

- a. Hirarki pertama adalah *Java Control Centre (JCC)* di bawah Badan Operasi Sistem (BOPS) yang berada di Gandul, Depok sebagai pengendali sistem Jawa Bali yang bertanggungjawab terhadap manajemen energi serta pengendalian operasi sistem penyaluran 500 kV.
- b. Hirarki kedua adalah empat *Regional Control Centre* di masing-masing region: *RCC* Cawang untuk Region/Area 1, *RCC* Cigelereng untuk Region/Area 2, *RCC* Ungaran untuk Region/Area 3 serta *RCC* Waru untuk Region/Area 4. Khusus untuk wilayah Bali dikendalikan oleh *Sub-Region Control Centre* Bali di Denpasar yang secara teknis berfungsi sebagai region sendiri tetapi secara administratif di bawah Region 4. *RCC* dan *Sub-RCC* bertanggungjawab terhadap pengendalian jaringan 150 kV dan 70 kV di wilayah kerjanya serta meneruskan perintah *JCC* ke unit pembangkit yang beroperasi di sistem 150 kV dan 70 kV.

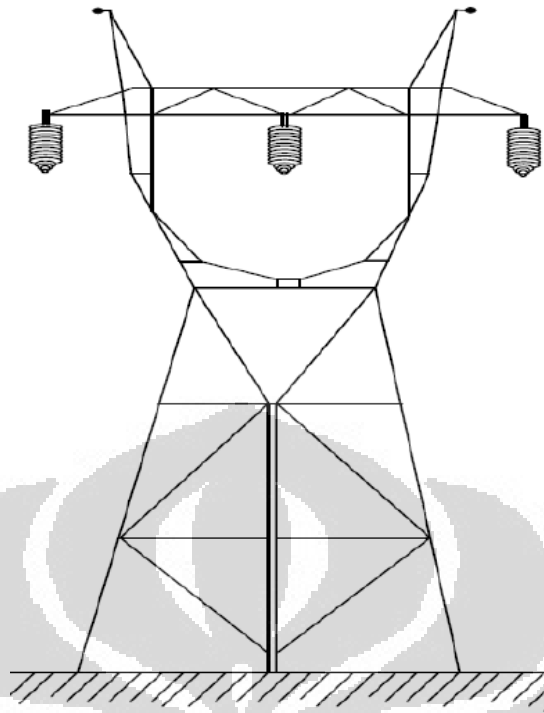


Gambar 4. 1 Topologi Jaringan Jawa Bali[7]

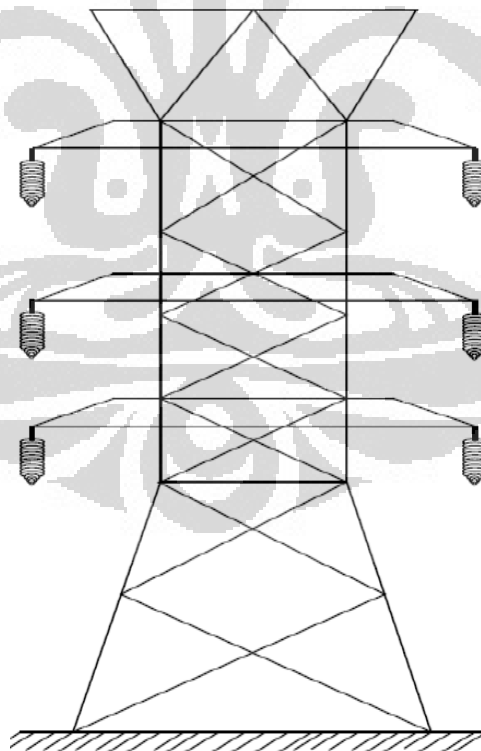
#### 4.1.2 Saluran Transmisi 500 kV Jawa Bali

Saluran Transmisi Jawa Bali umumnya menggunakan konduktor ACSR Gannet dan ACSR Dove. Kedua jenis ACSR ini memiliki spesifikasi jumlah *strand* yang sama yaitu 7 *strand* baja dan 26 *strand* aluminium. Perbedaan antara konduktor Gannet dan Dove adalah pada diameternya, baik diameter baja maupun diameter aluminiumnya. Untuk saluran transmisi 500 kV digunakan kawat berkas (*bundle conductor*) dengan 4 buah *stranded conductor*.

Pada jaringan 500 kV Jawa Bali panjang saluran transmisi bervariasi dan memiliki konfigurasi yang beragam. Konduktor yang digunakan juga beragam. Konfigurasi yang umum digunakan dalam saluran transmisi adalah konfigurasi horizontal tunggal dan konfigurasi vertikal ganda. Daftar saluran transmisi jaringan 500 kV Jawa Bali dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan konfigurasi horizontal dan vertikal dapat dilihat pada gambar dibawah,



Gambar 4. 2 Konfigurasi saluran tunggal horizontal [1]



Gambar 4. 3 Konfigurasi saluran vertikal ganda [1]

Tabel 4. 1 Saluran transmisi 500 kV Jawa Bali

| No | ID                | Panjang (Kms) | Jenis Saluran | Konduktor |
|----|-------------------|---------------|---------------|-----------|
| 1  | BDSL N-SGLNG 1    | 39            | 1CCT 1TWR     | GANNET    |
| 2  | BDSL N-SGLNG 2    | 39            | 1CCT 1TWR     | GANNET    |
| 3  | CIBNG-BKASI       | 37.9          | 1CCT 1TWR     | DOVE      |
| 4  | CIBNG-DEPOK       | 15.57         | 2CCT 1TWR     | DOVE      |
| 5  | CLGON-CIBNG       | 130.81        | 1CCT 1TWR     | GANNET    |
| 6  | CRATA-CBATU       | 46.757        | 2CCT 1TWR     | DOVE      |
| 7  | CWANG-BKASI       | 16.84         | 1CCT 1TWR     | DOVE      |
| 8  | DEPOK-GNDUL       | 7.5           | 2CCT 1TWR     | DOVE      |
| 9  | GNDUL-KMBGN       | 30.1          | 2CCT 1TWR     | GANNET    |
| 10 | GRATI-SBBRT       | 92.4          | 2CCT 1TWR     | GANNET    |
| 11 | GRSIK-SBBRT       | 23.9          | 2CCT 1TWR     | DOVE      |
| 12 | KDRI-PEDAN        | 204.5         | 2CCT 1TWR     | GANNET    |
| 13 | MDCAN-BDSL N      | 119.4         | 1CCT 1TWR     | DOVE      |
| 14 | MTWAR-CBATU       | 48.4          | 2CCT 1TWR     | DOVE      |
| 15 | MTWAR-CIBNG       | 53            | 1CCT 1TWR     | DOVE      |
| 16 | MTWAR-CWANG       | 48            | 1CCT 1TWR     | DOVE      |
| 17 | NBANG-UNGAR       | 207.7         | 1CCT 1TWR     | DOVE      |
| 18 | NEW BLRJA-GNDUL 1 | 50.84         | 1CCT 1TWR     | DOVE      |
| 19 | NEW BLRJA-GNDUL 2 | 50.84         | 1CCT 1TWR     | DOVE      |
| 20 | NEW SRLYA-SRLYA   | 1.25          | 1CCT 1TWR     | DOVE      |
| 21 | PEDAN-TASIK       | 304           | 2CCT 1TWR     | GANNET    |
| 22 | PITON-GRATI       | 87.9          | 2CCT 1TWR     | GANNET    |
| 23 | PITON-KDIRI       | 209.1         | 2CCT 1TWR     | GANNET    |
| 24 | SBBRT-NBANG       | 50.981        | 1CCT 1TWR     | DOVE      |
| 25 | SBBRT-UNGAR       | 267.11        | 1CCT 1TWR     | DOVE      |
| 26 | SGLNG-CBNG 1      | 80.4          | 1CCT 1TWR     | GANNET    |
| 27 | SGLNG-CIBNG 1     | 83.8          | 1CCT 1TWR     | GANNET    |
| 28 | SGLNG-CRATA       | 25.2          | 2CCT 1TWR     | DOVE      |
| 29 | SRLYA-CLGON       | 12.48         | 2CCT 1TWR     | GANNET    |
| 30 | SRLYA-NEW BLRJA 1 | 64.3          | 1CCT 1TWR     | DOVE      |
| 31 | SRLYA-NEW BLRJA 2 | 64.3          | 1CCT 1TWR     | DOVE      |
| 32 | TASIK-DEPOK       | 279.5         | 2CCT 1TWR     | GANNET    |
| 33 | TJATI-UNGAR       | 134.8         | 2CCT 1TWR     | GANNET    |
| 34 | UNGAR-MDCAN 1     | 230           | 1CCT 1TWR     | DOVE      |
| 35 | UNGAR-MDCAN 2     | 229.5         | 1CCT 1TWR     | DOVE      |
| 36 | UNGAR-PEDAN       | 77.1          | 1CCT 1TWR     | DOVE      |

## 4.2 Pengambilan Data Penelitian

### 4.2.1 Simulasi Jaringan 500 kV Jawa Bali

Dalam penelitian ini, objek yang ingin diteliti adalah nilai dari susut tegangan pada suatu bus. Nilai susut tegangan akan diamati pada berbagai macam variasi konfigurasi saluran. Hal yang akan divariasikan adalah diameter konduktor (baik aluminium maupun baja), jarak antar subkonduktor, jumlah subkonduktor dalam satu *bundle* dan jarak antar fasa. Saluran yang dipilih untuk diamati adalah saluran TASIK-DEPOK. Pemilihan saluran ini dikarenakan saluran transmisi dari GITET Tasik ke GITET Depok tersebut memiliki panjang yang paling panjang yaitu 279.5 kms. Sehingga variasi yang dilakukan akan terlihat signifikan.

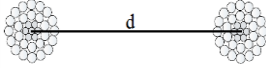
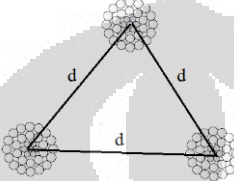
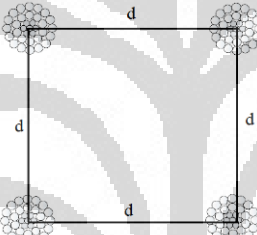
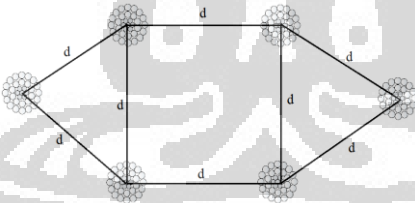
Dari data-data yang diperoleh dari P.T. PLN (Persero) P3B Jawa Bali dapat dibuat suatu simulasi jaringan 500 kV Jawa Bali dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 (*Electrical Transient and Analysis Program*). Simulasi yang dilakukan adalah simulasi analisa aliran daya sehingga tegangan pada setiap bus pada saat sistem beroperasi dapat diketahui.

Khusus pada saluran transmisi, parameter-parameter yang perlu dimasukkan pada ETAP akan dimasukkan berdasarkan perhitungan yang dilakukan sebelumnya. Hal ini dikarenakan variasi-variasi yang dilakukan sepanjang penelitian akan memengaruhi secara langsung nilai dari parameter-parameter tersebut. Parameter yang perlu dimasukkan pada rating saluran transmisi di ETAP antara lain reaktansi ( $X$ ) dan *susceptance* ( $Y$ ).

### 4.2.2 Perhitungan $X$ dan $Y$ Saluran Transmisi

Dengan digunakannya kawat berkas dan beragam konfigurasi saluran transmisi, maka perhitungan nilai  $X$  dan  $Y$  dari saluran transmisi 500 kV Jawa Bali perlu diperhatikan. Berikut adalah rumus *geometric mean radius* (GMR) untuk masing-masing konfigurasi kawat berkas.

Tabel 4. 2 Rumus GMR untuk setiap kawat berkas

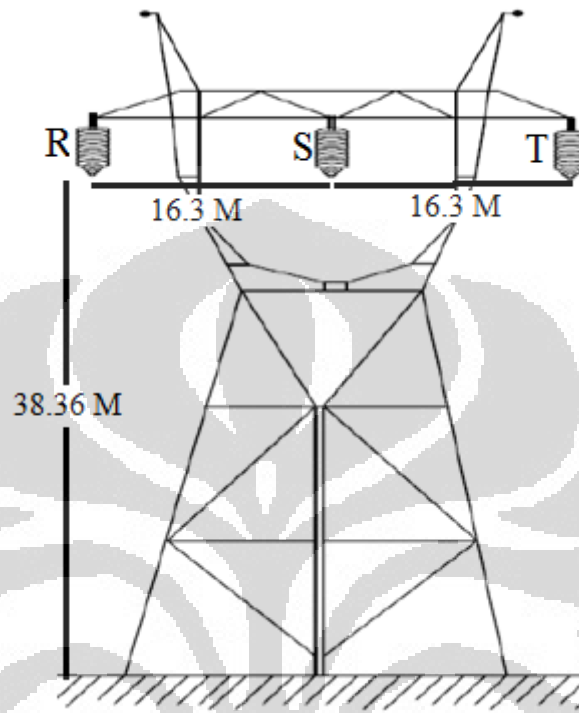
| Jumlah Konduktor | Konfigurasi                                                                         | Rumus GMR                    |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 2                |    | $GMR = \sqrt{r'd}$           |
| 3                |    | $GMR = \sqrt[3]{r'd^2}$      |
| 4                |   | $GMR = 1.09\sqrt[4]{r'd^3}$  |
| 6                |  | $GMR = 1.272\sqrt[6]{r'd^5}$ |

Dengan  $r'$  adalah GMR dari setiap *stranded conductor* ACSR yang digunakan dalam kawat berkas tersebut. Satuan yang digunakan pada  $r'$  dan  $d$  adalah meter dan GMR yang dihasilkan dalam satuan meter. Khusus untuk perhitungan kapasitansi saluran,  $r'$  diganti dengan  $r$  (jari-jari) *stranded conductor* ACSR.

a. Saluran konfigurasi horizontal

Pada jaringan 500 kV Jawa Bali terdapat saluran transmisi yang digunakan dalam konfigurasi horizontal. Baik dalam horizontal tunggal maupun horizontal ganda. Dalam tabel 4.1 kolom jenis saluran, 1CCT1TWR (1 *circuit* 1 tower) berarti

saluran horizontal tunggal dan 2CCT2TWR (2 *circuit* 2 tower) berarti saluran horizontal ganda. Berikut adalah konfigurasi saluran horizontal pada saluran 500 kV Jawa Bali,



Gambar 4. 4 Spesifikasi konfigurasi saluran horizontal

Dengan spesifikasi panjang seperti gambar diatas, dapat dihitung nilai dari *geometric mean distance (GMD)* dari saluran horizontal tersebut. Rumus GMD saluran tersebut adalah

$$GMD = \sqrt[3]{D_{RS}D_{ST}D_{RT}} \quad (4.1)$$

Dengan,  $D_{RS}$  : Jarak antara fasa R dan S (m)

$D_{ST}$  : Jarak antara fasa S dan T (m)

$D_{RT}$  : Jarak antara fasa R dan T (m)

Selanjutnya dapat diturunkan rumus induktansi dan kapasitansi dari saluran horizontal tersebut sebagai berikut,

$$L = 0.461 \log \frac{GMD}{GMR} \quad (4.2)$$

$$C = \frac{0.0242}{\log \frac{GMD}{GMR}} \quad (4.3)$$

Dengan, L : Induktansi (mH/fasa/km)

C : Kapasitansi (μF/km ke netral)

GMD : *geometric mean distance* (m)

GMR : *geometric mean radius* (m)

Selanjutnya dapat diturunkan rumus reaktansi dan *susceptance* dari saluran horizontal tersebut sebagai berikut,

$$X = 0.314 \times L \quad (4.4)$$

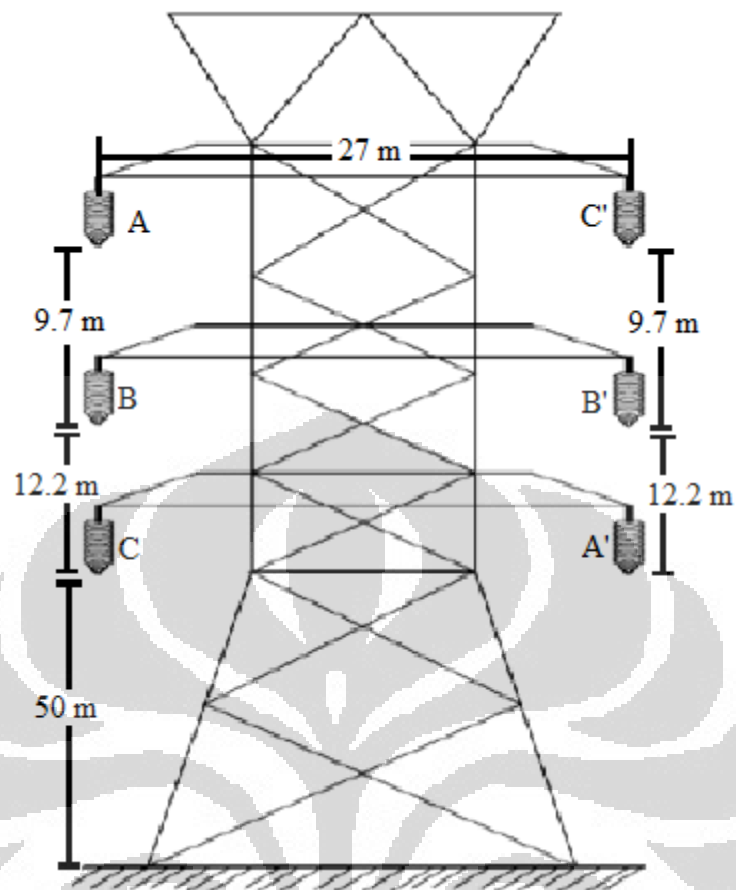
$$Y = 314 \times C \quad (4.5)$$

Dengan, X : Reaktansi (ohm/fasa/km)

Y : *Susceptance* (μSiemens/km)

#### b. Saluran Vertikal

Saluran vertikal yang digunakan dalam sistem 500 kV Jawa Bali umumnya saluran vertikal ganda. Dalam Tabel 4.1, 2CCT1TWR (2 *circuit* 1 tower) berarti saluran vertikal ganda. Berikut adalah konfigurasi saluran vertikal ganda pada jaringan 500 kV Jawa Bali,



Gambar 4. 5 Spesifikasi saluran vertikal ganda

Terdapat perbedaan dalam menghitung  $D_{eq}/GMD$  dan  $D_s/GMR$  untuk saluran vertikal ganda. Perhitungan rumus  $D_{eq}$  dan  $D_s$  saluran vertikal ganda adalah sebagai berikut,

$$D_{ab} = \sqrt[4]{D_{AB}D_{AB'}D_{A'B}D_{A'B'}}$$

$$D_{bc} = \sqrt[4]{D_{BC}D_{BC'}D_{B'C}D_{B'C'}}$$

$$D_{ac} = \sqrt[4]{D_{AC}D_{AC'}D_{A'C}D_{A'C'}}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab}D_{bc}D_{ac}} \quad (4.6)$$

dan penurunan rumus untuk  $D_s$  adalah sebagai berikut,

$$D_{sa} = \sqrt[4]{GMR^2 D_{AA'} D_{A'A}}$$

$$D_{sb} = \sqrt[4]{GMR^2 D_{BB'} D_{B'B}}$$

$$D_{sc} = \sqrt[4]{GMR^2 D_{CC'} D_{C'C}}$$

$$D_s = \sqrt[3]{D_{sa} D_{sb} D_{sc}} \quad (4.7)$$

Selanjutnya dapat diturunkan rumus induktansi dan kapasitansi dari saluran vertikal ganda tersebut sebagai berikut,

$$L = 0.461 \log \frac{D_{eq}}{D_s} \quad (4.8)$$

$$C = \frac{0.0242}{\log \frac{D_{eq}}{D_s}} \quad (4.9)$$

Dengan, L : Induktansi (mH/fasa/km)

C : Kapasitansi (μF/km ke netral)

$D_{eq}$  : *Mutual GMD* (m)

$D_s$  : *Self GMD* (m)

Untuk rumus reaktansi dan *susceptance* sama seperti persamaan (4.4) dan (4.5).

## BAB 5

### ANALISIS HASIL SIMULASI

#### 5.1 Saluran Transmisi 500 kV TASIK-DEPOK

Saluran transmisi 500 kV dari Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) Tasik ke GITET Depok menggunakan konfigurasi vertikal ganda. Saluran TASIK-DEPOK memiliki panjang saluran sepanjang 279.5 kms. Data mengenai saluran TASIK-DEPOK dapat dilihat dibawah ini,

- Konduktor : ACSR Gannet
- Jumlah baja/aluminium : 7/26
- Jari-jari baja/aluminium : 0.1581 cm/0.20335 cm
- Jumlah subkonduktor per fasa : 4
- Jarak antar subkonduktor : 40 cm
- Konfigurasi kawat berkas : Persegi (*Quadruple*)
- Jenis saluran : Vertikal ganda

Untuk jarak antar fasa dan konfigurasi saluran TASIK-DEPOK sama seperti Gambar 4.5.

Dari data diatas selanjutnya dapat diketahui nilai dari parameter-parameter saluran transmisi pada saluran TASIK-DEPOK adalah sebagai berikut,

$$L = 0.4259 \text{ (mH/fasa/km)}$$

$$C = 0.0266 \text{ (}\mu\text{F/km ke netral)}$$

$$X = 0.1337 \text{ (ohm/fasa/km)}$$

$$Y = 8.3481 \text{ (}\mu\text{Siemens/km)}$$

$$Z_c = 126.5648 \text{ (ohm)}$$

$$SIL = 1975.2729 \text{ (MW)}$$

Pada diagram satu garis jaringan 500 kV Jawa Bali, saluran TASIK-DEPOK menghubungkan busbar GITET Tasik dengan busbar GITET Depok. Aliran daya mengalir dari GITET Tasik menuju GITET Depok. Busbar GITET Depok juga tersambung ke busbar GITET Gandul dan GITET Cibinong. Pada busbar GITET Depok juga terpasang 2 unit IBT 500kV/150kV dengan kapasitas 500 MVA.

## 5.2 Mengubah Jari-Jari ACSR Gannet

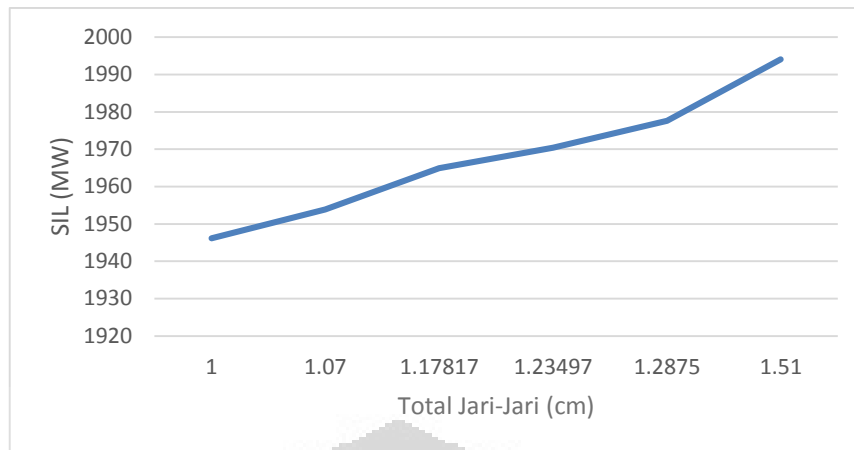
Karena konduktor yang digunakan adalah konduktor ACSR, maka variasi pengubahan jari-jari dilakukan untuk *strand* baja dan *strand* aluminium. Data yang diperoleh dari hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Baris dengan warna hijau merupakan data awal konduktor yang digunakan. Variasi jari-jari dilakukan dengan memperbesar dan memperkecil jari-jari dari *stranded conductor*. Dari Tabel 5.1, dapat dilihat bahwa nilai induktansi dan reaktansi akan meningkat saat jari-jari diperpendek dan sebaliknya, akan berkurang saat jari-jari diperpanjang. Sedangkan nilai kapasitansi dan *susceptance* akan meningkat saat jari-jari diperpanjang dan sebaliknya, akan berkurang saat jari-jari diperpendek. Hal ini disebabkan karena saat jari-jari diperpanjang, maka akan memperbesar nilai dari  $r'$  dan selanjutnya akan memperbesar nilai dari GMR.

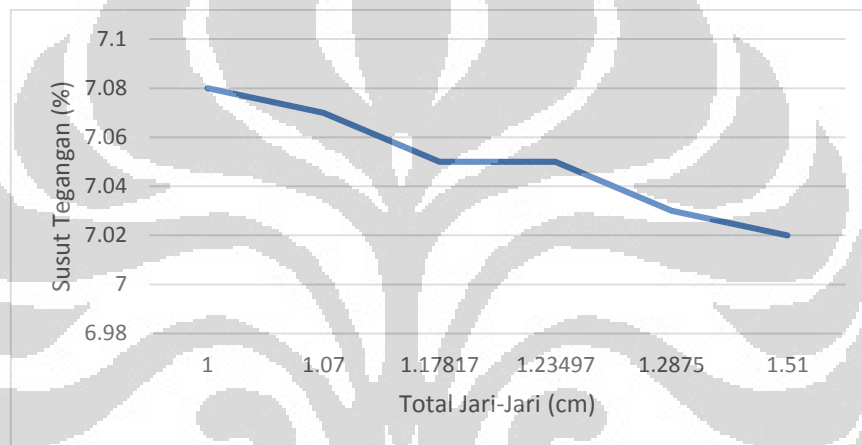
Dengan pengaruh tersebut, maka akan berdampak pada nilai impedansi karakteristik ( $Z_c$ ), SIL dan nilai tegangan pada bus DEPOK. Pengaruh yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 5.1. Saat nilai induktansi berkurang dan nilai kapasitansi meningkat, maka nilai  $Z_c$  akan berkurang dan nilai SIL akan meningkat. Lebih jauh lagi nilai tegangan bus DEPOK akan meningkat karena susut tegangan pada saluran TASIK-DEPOK berkurang. Pada Tabel 5.1 dapat dilihat tegangan bus DEPOK paling besar pada data ke-4, dimana saat jari-jari *stranded conductor* paling besar.

Tabel 5. 1 Data parameter akibat pengubahan jari-jari konduktor

| No | r St<br>(cm) | r Al<br>(cm) | r total<br>(cm) | Selisih<br>r total<br>(cm) | %<br>pengubahan | L<br>(mH/<br>phase/km) | X<br>(ohm/<br>phase/km) | C<br>( $\mu$ F/km<br>ke<br>netral) | Y<br>( $\mu$ mho/<br>km) | Zc<br>(ohm) | SIL<br>(MW) | %V<br>DEPOK | $\Delta$ V (%)<br>TASIK-<br>DEPOK |
|----|--------------|--------------|-----------------|----------------------------|-----------------|------------------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------------|
| 1  | 0.12         | 0.16         | 1               | -0.288                     | -22.33          | 0.4322                 | 0.13571                 | 0.0262                             | 8.224                    | 128.459     | 1946.14     | 96.08       | 7.08                              |
| 2  | 0.13         | 0.17         | 1.07            | -0.218                     | -16.89          | 0.4305                 | 0.13518                 | 0.0263                             | 8.257                    | 127.952     | 1953.851    | 96.09       | 7.07                              |
| 3  | 0.14499      | 0.1858       | 1.17817         | -0.109                     | -8.49           | 0.4281                 | 0.13442                 | 0.0264                             | 8.304                    | 127.231     | 1964.932    | 96.11       | 7.05                              |
| 4  | 0.14499      | 0.2          | 1.23497         | -0.053                     | -4.08           | 0.4269                 | 0.13405                 | 0.0265                             | 8.327                    | 126.878     | 1970.396    | 96.12       | 7.05                              |
| 5  | 0.1581       | 0.20335      | 1.2875          | 0.000                      | 0.00            | 0.4248                 | 0.13340                 | 0.0266                             | 8.348                    | 126.412     | 1977.657    | 96.13       | 7.03                              |
| 6  | 0.17         | 0.25         | 1.51            | 0.223                      | 17.28           | 0.4219                 | 0.13247                 | 0.0268                             | 8.428                    | 125.371     | 1994.073    | 96.16       | 7.02                              |



Gambar 5. 1 Grafik SIL akibat perubahan jari-jari konduktor



Gambar 5. 2 Grafik susut tegangan akibat perubahan jari-jari konduktor

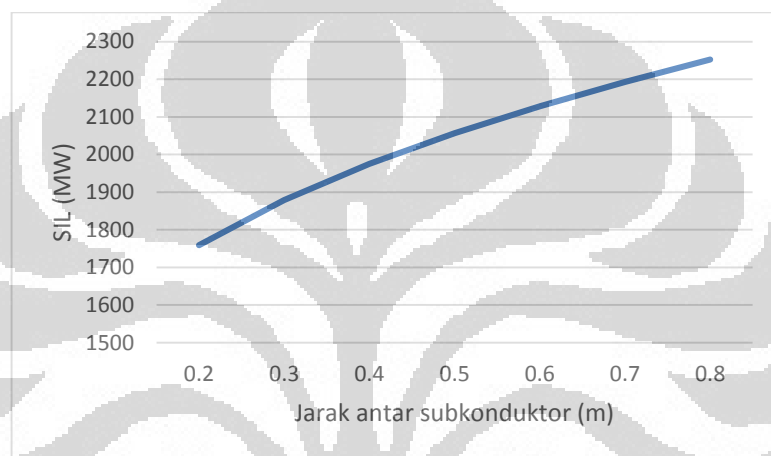
### 5.3 Mengubah Jarak Antar Subkonduktor

Dalam saluran TASI-K-DEPOK konfigurasi kawat berkas yang digunakan adalah konfigurasi persegi (empat buah subkonduktor) dengan jarak antar subkonduktor sejauh 40 cm. Data yang diperoleh dari hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 5.2.

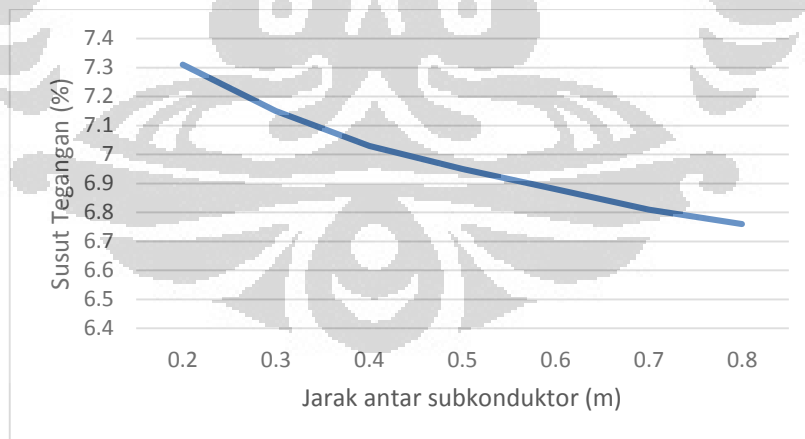
Variasi jarak antar subkonduktor dalam satu kawat berkas dilakukan dengan menjauhkan dan mendekatkan jaraknya. Dari Tabel 5.2 dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak antar subkonduktor maka nilai induktansi dan reaktansi akan semakin kecil dan sebaliknya. Sedangkan untuk nilai kapasitansi dan *susceptance* akan semakin besar saat jarak antar subkonduktor semakin jauh dan sebaliknya. Hal

ini disebabkan karena perubahan jarak antar subkonduktor akan berpengaruh kepada nilai GMR dari kawat berkas tersebut. Semakin jauh jarak antar subkonduktor maka nilai GMR akan semakin besar dan sebaliknya.

Dari pengaruh terhadap nilai parameter diatas, maka nilai  $Z_c$ , SIL dan tegangan pada bus DEPOK akan mengalami perubahan juga. Semakin jauh jarak antar subkonduktor maka nilai  $Z_c$  akan semakin kecil dan nilai SIL akan semakin besar. Selanjutnya akan menyebabkan nilai susut tegangan akan semakin kecil dan tegangan pada bus DEPOK akan semakin besar.



Gambar 5. 3 Grafik SIL akibat perubahan jarak antar subkonduktor



Gambar 5. 4 Grafik susut tegangan akibat perubahan jarak antar subkonduktor

Tabel 5. 2 Data parameter akibat perubahan jarak antar subkonduktor

| No | Jarak (m) | Selisih jarak (m) | % perubahan | L (mH/phase/km) | X (ohm/phase/km) | C ( $\mu$ F/km ke netral) | Y ( $\mu$ mho/km) | Zc (ohm) | SIL (MW) | %V DEPOK | $\Delta V$ (%) TASIK-DEPOK |
|----|-----------|-------------------|-------------|-----------------|------------------|---------------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------------------------|
| 1  | 0.2       | -0.2              | -50         | 0.4779          | 0.1501           | 0.0237                    | 7.4270            | 142.1458 | 1758.758 | 95.79    | 7.31                       |
| 2  | 0.3       | -0.1              | -25         | 0.4475          | 0.1405           | 0.0253                    | 7.9395            | 133.0315 | 1879.254 | 95.98    | 7.15                       |
| 3  | 0.4       | 0                 | 0           | 0.4259          | 0.1337           | 0.0266                    | 8.3481            | 126.5648 | 1975.273 | 96.13    | 7.03                       |
| 4  | 0.5       | 0.1               | 25          | 0.4091          | 0.1285           | 0.0277                    | 8.6953            | 121.5488 | 2056.787 | 96.25    | 6.95                       |
| 5  | 0.6       | 0.2               | 50          | 0.3954          | 0.1242           | 0.0287                    | 9.0011            | 117.4505 | 2128.557 | 96.36    | 6.88                       |
| 6  | 0.7       | 0.3               | 75          | 0.3839          | 0.1205           | 0.0295                    | 9.2770            | 113.9853 | 2193.264 | 96.46    | 6.81                       |
| 7  | 0.8       | 0.4               | 100         | 0.3738          | 0.1174           | 0.0304                    | 9.5300            | 110.9837 | 2252.583 | 96.55    | 6.76                       |

#### 5.4 Mengubah Jumlah Subkonduktor

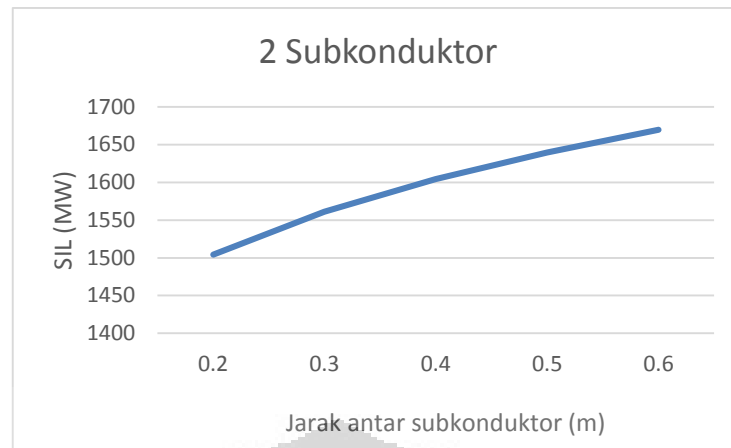
Pada saluran TASI-DEPOK, jumlah subkonduktor yang digunakan sebanyak 4 buah ACSR Gannet. Variasi yang akan dilakukan adalah mengubah jumlah subkonduktor menjadi 2 buah, 3 buah dan 6 buah. Untuk masing-masing pengubahan jumlah subkonduktor, akan dilakukan juga variasi jarak antar subkonduktor sebanyak 5 data. Data simulasi untuk variasi jumlah subkonduktor dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Pengubahan jumlah subkonduktor dalam satu buah kawat berkas berdampak pada berubahnya perhitungan GMR dari kawat berkas tersebut. Sehingga akan berpengaruh pada nilai parameter saluran transmisi. Nilai reaktansi akan semakin kecil saat jumlah subkonduktor diperbanyak dan sebaliknya. Sedangkan nilai *susceptance* akan semakin besar saat jumlah subkonduktor diperbanyak dan sebaliknya.

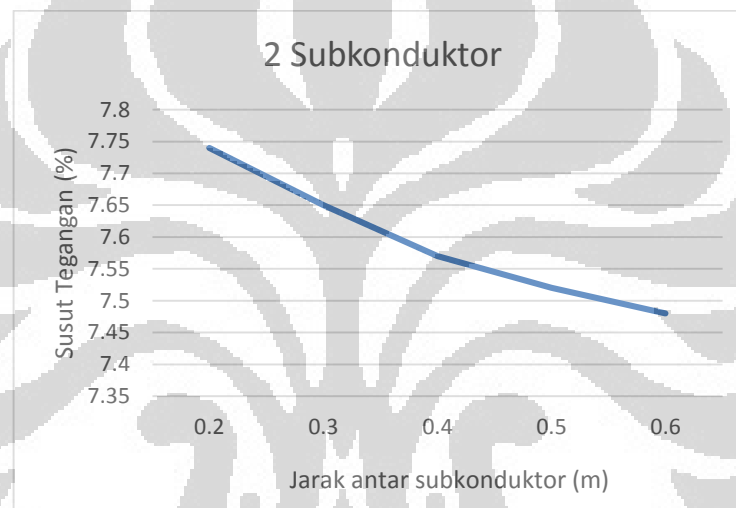
Dapat dilihat dari data diatas bahwa semakin banyak jumlah subkonduktor yang digunakan dalam kawat berkas, maka nilai SIL akan semakin besar dan tegangan bus DEPOK akan semakin tinggi. Untuk setiap variasi jarak antar subkonduktor, dapat ditarik kesimpulan yang sama bahwa semakin jauh jarak antar subkonduktor maka nilai SIL akan semakin besar dan tegangan bus DEPOK akan semakin tinggi.

Tabel 5. 3 Data parameter akibat pengubahan jumlah subkonduktor

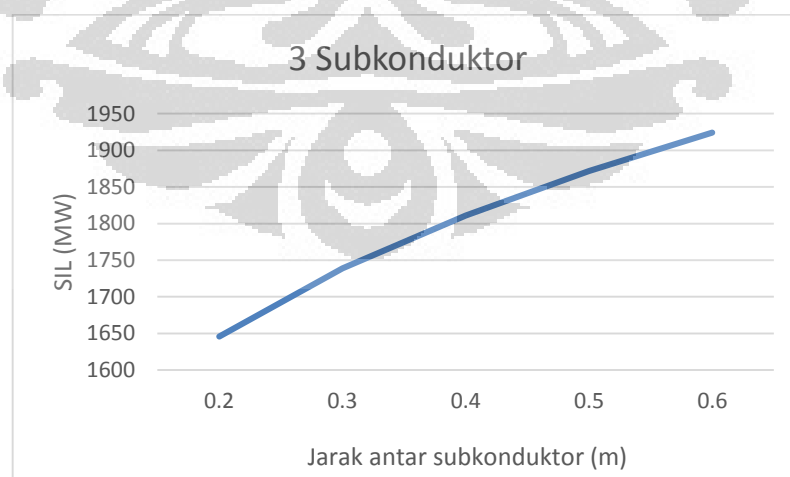
| No | Jumlah subkonduktor | Selisih jumlah | % selisih jumlah | Jarak (m) | Selisih jarak (m) | % Selisih Jarak | L (mH/phase/km) | X (ohm/phase/km) | C ( $\mu$ F/km ke netral) | Y ( $\mu$ mho/km) | Zc (ohm) | SIL (MW) | %V DEPOK | $\Delta$ V (%) TASIK-DEPOK |
|----|---------------------|----------------|------------------|-----------|-------------------|-----------------|-----------------|------------------|---------------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------------------------|
| 1  | 4                   | 0              | 0                | 0.4       | 0                 | 0               | 0.4248          | 0.1334           | 0.0266                    | 8.3480            | 126.41   | 1977.66  | 96.13    | 7.03                       |
| 2  | 2                   | -2             | -50              | 0.2       | -0.2              | -50             | 0.5614          | 0.1763           | 0.0203                    | 6.3816            | 166.21   | 1504.13  | 95.39    | 7.74                       |
| 3  |                     |                |                  | 0.3       | -0.1              | -25             | 0.5412          | 0.1699           | 0.0211                    | 6.6266            | 160.13   | 1561.20  | 95.49    | 7.65                       |
| 4  |                     |                |                  | 0.4       | 0                 | 0               | 0.5268          | 0.1654           | 0.0217                    | 6.8121            | 155.82   | 1604.40  | 95.56    | 7.57                       |
| 5  |                     |                |                  | 0.5       | 0.1               | 25              | 0.5156          | 0.1619           | 0.0222                    | 6.9633            | 152.48   | 1639.59  | 95.61    | 7.52                       |
| 6  |                     |                |                  | 0.6       | 0.2               | 50              | 0.5065          | 0.1590           | 0.0226                    | 7.0920            | 149.74   | 1669.51  | 95.66    | 7.48                       |
| 7  | 3                   | -1             | -25              | 0.2       | -0.2              | -50             | 0.5115          | 0.1606           | 0.0222                    | 6.9620            | 151.89   | 1645.94  | 95.62    | 7.48                       |
| 8  |                     |                |                  | 0.3       | -0.1              | -25             | 0.4845          | 0.1521           | 0.0234                    | 7.3576            | 143.79   | 1738.68  | 95.76    | 7.36                       |
| 9  |                     |                |                  | 0.4       | 0                 | 0               | 0.4653          | 0.1461           | 0.0244                    | 7.6668            | 138.04   | 1811.08  | 95.88    | 7.25                       |
| 10 |                     |                |                  | 0.5       | 0.1               | 25              | 0.4504          | 0.1414           | 0.0252                    | 7.9251            | 133.58   | 1871.53  | 95.97    | 7.18                       |
| 11 |                     |                |                  | 0.6       | 0.2               | 50              | 0.4382          | 0.1376           | 0.0260                    | 8.1494            | 129.94   | 1924.00  | 96.05    | 7.12                       |
| 12 | 6                   | 2              | 50               | 0.2       | -0.2              | -50             | 0.4374          | 0.1374           | 0.0257                    | 8.0850            | 130.34   | 1918.02  | 96.03    | 7.1                        |
| 13 |                     |                |                  | 0.3       | -0.1              | -25             | 0.4036          | 0.1267           | 0.0279                    | 8.7696            | 120.22   | 2079.59  | 96.28    | 6.91                       |
| 14 |                     |                |                  | 0.4       | 0                 | 0               | 0.3796          | 0.1192           | 0.0297                    | 9.3302            | 113.03   | 2211.79  | 96.48    | 6.78                       |
| 15 |                     |                |                  | 0.5       | 0.1               | 25              | 0.3610          | 0.1134           | 0.0313                    | 9.8169            | 107.46   | 2326.50  | 96.65    | 6.68                       |
| 16 |                     |                |                  | 0.6       | 0.2               | 50              | 0.3458          | 0.1086           | 0.0327                    | 10.2540           | 102.90   | 2429.45  | 96.81    | 6.58                       |



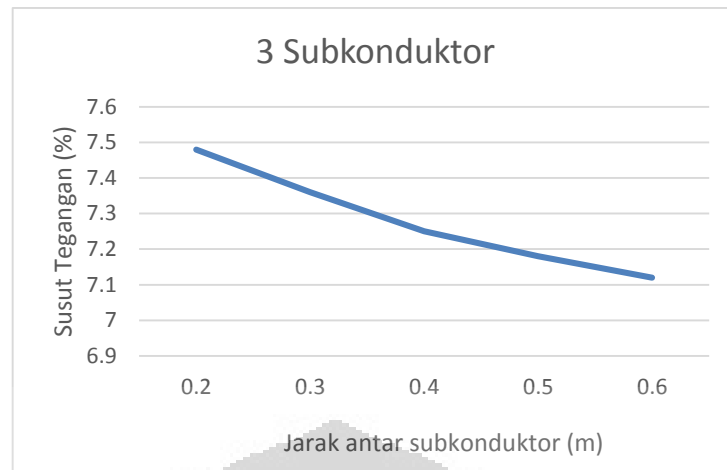
Gambar 5. 5 Grafik SIL akibat perubahan jarak antar 2 subkonduktor



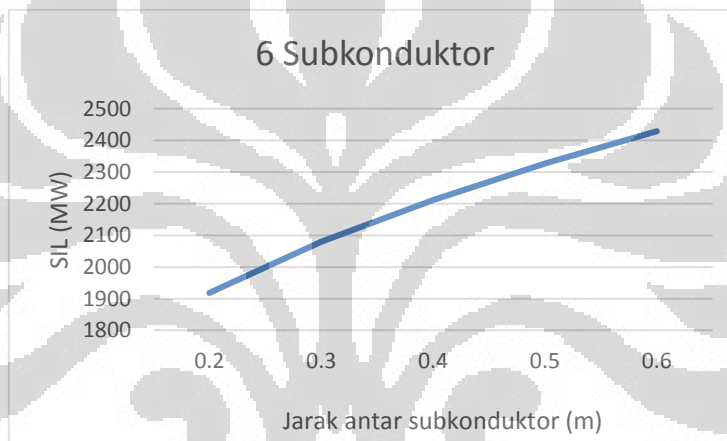
Gambar 5. 6 Grafik susut tegangan akibat perubahan jarak antar 2 subkonduktor



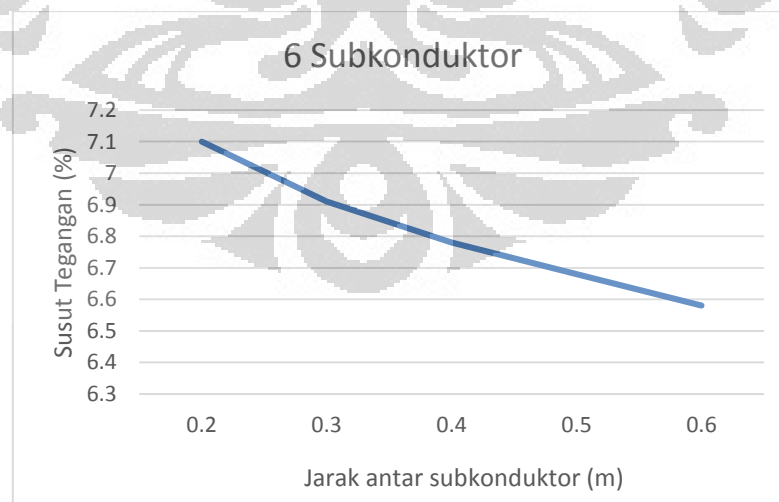
Gambar 5. 7 Grafik SIL akibat perubahan jarak antar 3 subkonduktor



Gambar 5. 8 Grafik susut tegangan akibat pengubahan jarak antar 3 subkonduktor



Gambar 5. 9 Grafik SIL akibat pengubahan jarak antar 6 subkonduktor



Gambar 5. 10 Grafik susut tegangan akibat pengubahan jarak antar 6 subkonduktor

### 5.5 Mengubah Jarak Antar Fasa

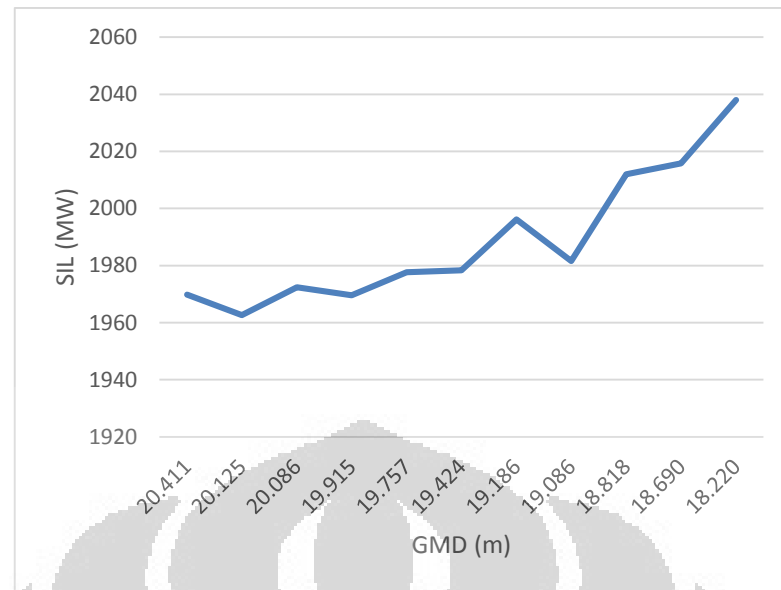
Mengubah jarak antar fasa dilakukan dengan mengubah jarak vertikal dari fasa A, B, C dan dengan mengubah jarak horizontal antara satu *circuit* dengan yang lain. Data simulasi akibat pengubahan jarak antar fasa dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Pengubahan jarak antar fasa dapat mengubah nilai parameter saluran transmisi. Dapat dilihat pada Tabel 5.4 nilai reaktansi akan semakin kecil saat jarak antar fasa semakin dekat dan sebaliknya. Sedangkan nilai *susceptance* akan semakin besar saat jarak antar fasa semakin dekat dan sebaliknya. Hal ini disebabkan karena saat mengubah jarak antar fasa akan mengubah nilai GMD dari saluran tersebut. GMD akan semakin kecil saat jarak antar fasa semakin dekat dan sebaliknya.

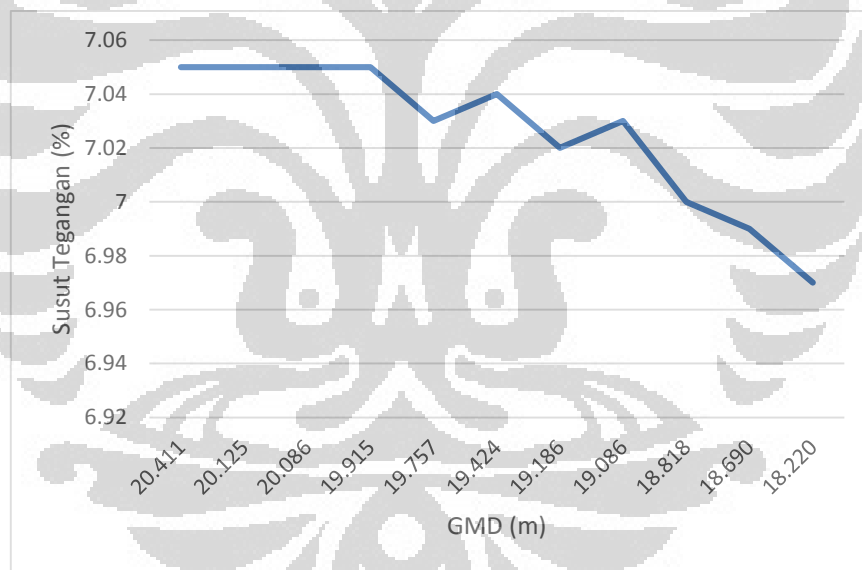
Dengan pengaruh pada karakteristik saluran transmisi tersebut, maka nilai SIL dan tegangan bus DEPOK akan mengalami perubahan. Nilai SIL dan tegangan bus DEPOK akan semakin tinggi saat jarak antar fasa semakin dekat. Namun mendekatkan jarak antar fasa pada praktiknya juga harus mempertimbangkan beberapa hal, karena jarak antar fasa memengaruhi kekuatan isolasi udara antar kawat penghantar.

Tabel 5. 4 Data parameter akibat perubahan jarak antar fasa

| No | DAB (m) | DBC (m) | DAC (m) | D (m) | GMD/Deq(m) | Selisih GMD (m) | % Selisih GMD | L (mH/phase/km) | X (ohm/phase/km) | C ( $\mu$ F/km ke netral) | Y ( $\mu$ mho/km) | Zc (ohm) | SIL (MW) | %V DEPOK | $\Delta V$ (%) TASIK-DEPOK |
|----|---------|---------|---------|-------|------------|-----------------|---------------|-----------------|------------------|---------------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------------------------|
| 1  | 9.7     | 12.2    | 21.9    | 29    | 20.411     | 0.65            | 3.31          | 0.4271          | 0.134094         | 0.0265                    | 8.3248            | 126.917  | 1969.799 | 96.12    | 7.05                       |
| 2  | 9.7     | 13      | 22.7    | 27    | 20.125     | 0.37            | 1.86          | 0.4286          | 0.134581         | 0.0264                    | 8.2943            | 127.381  | 1962.623 | 96.11    | 7.05                       |
| 3  | 9.7     | 12.2    | 21.9    | 28    | 20.086     | 0.33            | 1.67          | 0.4265          | 0.133917         | 0.0265                    | 8.3360            | 126.747  | 1972.435 | 96.12    | 7.05                       |
| 4  | 10      | 12.2    | 22.2    | 27    | 19.915     | 0.16            | 0.80          | 0.4271          | 0.134111         | 0.0265                    | 8.3238            | 126.932  | 1969.559 | 96.12    | 7.05                       |
| 5  | 9.7     | 12.2    | 21.9    | 27    | 19.757     | 0.00            | 0.00          | 0.4248          | 0.133402         | 0.0266                    | 8.3480            | 126.412  | 1977.657 | 96.13    | 7.03                       |
| 6  | 9.7     | 12.2    | 21.9    | 26    | 19.424     | -0.33           | -1.69         | 0.4252          | 0.13352          | 0.0266                    | 8.3611            | 126.369  | 1978.33  | 96.13    | 7.04                       |
| 7  | 9.7     | 11      | 20.7    | 27    | 19.186     | -0.57           | -2.89         | 0.4214          | 0.132334         | 0.0269                    | 8.4372            | 125.238  | 1996.197 | 96.16    | 7.02                       |
| 8  | 9.7     | 12.2    | 21.9    | 25    | 19.086     | -0.67           | -3.40         | 0.4245          | 0.1333           | 0.0267                    | 8.3752            | 126.159  | 1981.625 | 96.14    | 7.03                       |
| 9  | 8       | 12.2    | 20.2    | 27    | 18.818     | -0.94           | -4.75         | 0.4182          | 0.131305         | 0.0271                    | 8.5044            | 124.256  | 2011.97  | 96.18    | 7                          |
| 10 | 9.7     | 10      | 19.7    | 27    | 18.690     | -1.07           | -5.40         | 0.4174          | 0.131058         | 0.0271                    | 8.5206            | 124.021  | 2015.784 | 96.19    | 6.99                       |
| 11 | 7       | 12.2    | 19.2    | 27    | 18.220     | -1.54           | -7.78         | 0.4129          | 0.129643         | 0.0274                    | 8.6151            | 122.672  | 2037.956 | 96.22    | 6.97                       |



Gambar 5. 11 Grafik SIL akibat perubahan jarak antar fasa



Gambar 5. 12 Grafik susut tegangan akibat perubahan jarak antar fasa

## 5.6 Analisis Hasil

Untuk menaikkan nilai SIL dan tegangan bus DEPOK, dapat dilakukan dengan cara memperbesar diameter konduktor ACSR, menjauhkan jarak antar subkonduktor dalam satu kawat berkas, menambah jumlah subkonduktor dalam satu kawat berkas dan mendekatkan jarak antar fasa saluran tersebut. Cara yang paling berdampak adalah dengan menambahkan jumlah subkonduktor dalam satu kawat berkas. Dimana nilai SIL tertinggi dan tegangan tertinggi terjadi saat jumlah subkonduktor diubah menjadi 6 buah dengan jarak antar subkonduktor sejauh 60 cm.

Dengan konfigurasi tersebut, maka nilai GMR dari kawat berkas akan semakin besar. Dari Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa rumus GMR untuk kawat berkas dengan jumlah subkonduktor 6 buah memiliki nilai yang paling besar. Sedangkan dengan jarak antar subkonduktor sejauh 60 cm, maka akan memperbesar nilai GMR dari kawat berkas tersebut dibandingkan dengan jarak antar subkonduktor 40 cm dan 50 cm. Seperti yang telah diketahui bahwa, semakin jauh jarak antar subkonduktor maka semakin besar pula nilai dari GMR konduktor tersebut. Dengan konfigurasi ini, diperoleh nilai GMR sebesar 0.3861 m dan nilai GMD sama seperti saluran dengan konfigurasi awal yaitu 19.75734 m.

Dengan nilai GMR yang semakin besar, maka nilai induktansi dan reaktansi akan semakin kecil dan nilai kapasitansi dan *susceptance* akan semakin besar. Sehingga nilai SIL saluran tersebut semakin besar dan nilai tegangan bus DEPOK akan semakin besar. Dengan konfigurasi ini, nilai SIL menjadi sebesar 2429.4543MW dan % tegangan bus DEPOK sebesar 96.81%.

## BAB 6

### KESIMPULAN

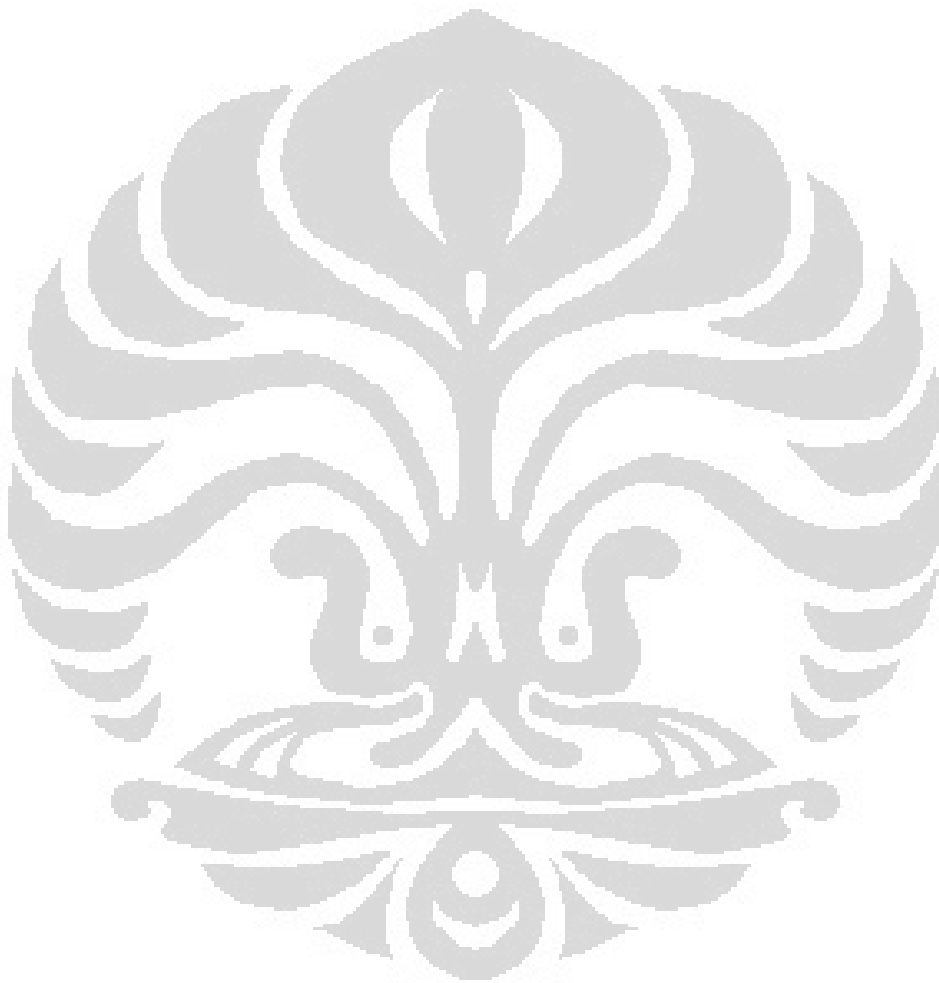
1. Nilai SIL dan tegangan bus DEPOK tertinggi dicapai saat jumlah subkonduktor sebanyak 6 buah dengan jarak 60 cm.
2. Nilai SIL terbesar adalah 2429.4543 MW dan % tegangan bus DEPOK tertinggi adalah 96.81%
3. Nilai SIL dan tegangan bus DEPOK tertinggi untuk masing-masing pengubahan adalah sebagai berikut:

| No | Jenis Pengubahan         | SIL (MW)  | %V<br>DEPOK | $\Delta V$ (%)<br>TASIK-<br>DEPOK |
|----|--------------------------|-----------|-------------|-----------------------------------|
| 1  | Diameter Subkonduktor    | 1994.0731 | 96.16       | 7.02                              |
| 2  | Jarak Antar Subkonduktor | 2252.5827 | 96.55       | 6.76                              |
| 3  | Jumlah Subkonduktor      | 2429.4543 | 96.81       | 6.58                              |
| 4  | Jarak Antar Fasa         | 2037.9557 | 96.22       | 6.97                              |

## DAFTAR REFERENSI

- [1] R.Budianto.2012.[Online]. Tersedia di:  
[repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/30690/4/Chapter%20II.pdf](http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/30690/4/Chapter%20II.pdf)  
[Diakses pada 2 Januari 2016]
- [2] Kothari, D.P. Nagrath, I.J. *Modern Power System Analysis 3<sup>th</sup>*. Tata McGraw-Hill Education, New Dehli. 2011.
- [3] Taihan Electric Wire Co.Ltd. "Overhead Electrical Alumunium Conductors".Seoul: Author
- [4] R. N. Nayak, Y K Sehgal and Subir Sen,"EHV Transmission Line Capacity Enhacement Through Incsrease in Surge Impedance Loading Level", Published in Transmission and Distribution Conference and Expansion, (2003 IEEE)
- [5] Varun Patel, J.G.Jamnani,"Technique to Increase Surge Impedance Loading level of EHV AC Transmission Lines for Improving Power Transfer Capability", Published in International Conference on Computation Power,Energy,Information and Communication (2015 IEEE)
- [6] M. T. Wikara, Studi Analisis Perecepatan Tahap I 10.000 MW, Depok: Universitas Indonesia, 2008.
- [7] P.T.PLN (Persero) P3B Jawa Bali."Topologi Konfigurasi Jaringan P3B Jawa Bali 2015".Jakarta.2015.
- [8] Rafik, Houssem. (2009). *Transmission and Distribution System*. Mekkah: Umm Al-Qura Unversity.
- [9] D. Marsudi, Operasi Sistem Tenaga Listrik, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.
- [10] P. P. (Persero), Buku Statistik PLN 2008-2014, Jakarta: PT. PLN (Persero), 2014.
- [11] W. S. Sawai, Studi Aliran Daya Sistem Jawa Bali 500 kV Tahun 2007-2011, Depok: Universitas Indonesia, 2008.
- [12] Midal Cable. *Conductor Datasheet Aluminium Conductor Steel Reinforced (ACSR)*. Bahrain: Author.

- [13] Sural. *Product Catalog Aluminium Conductor Steel Reinforced (ACSR)*. Venezuela: Author.
- [14] General Cable. *ACSR Bare Overhead Conductor*. Kentucky: Author
- [15] Susilo, Untung. *Analisis Pengaruh Konfigurasi Konduktor Berkas Terhadap Efisiensi, Regulasi Tegangan dan Korona pada Saluran Transmisi Udara*. Semarang: Universitas Diponegoro. 2009.

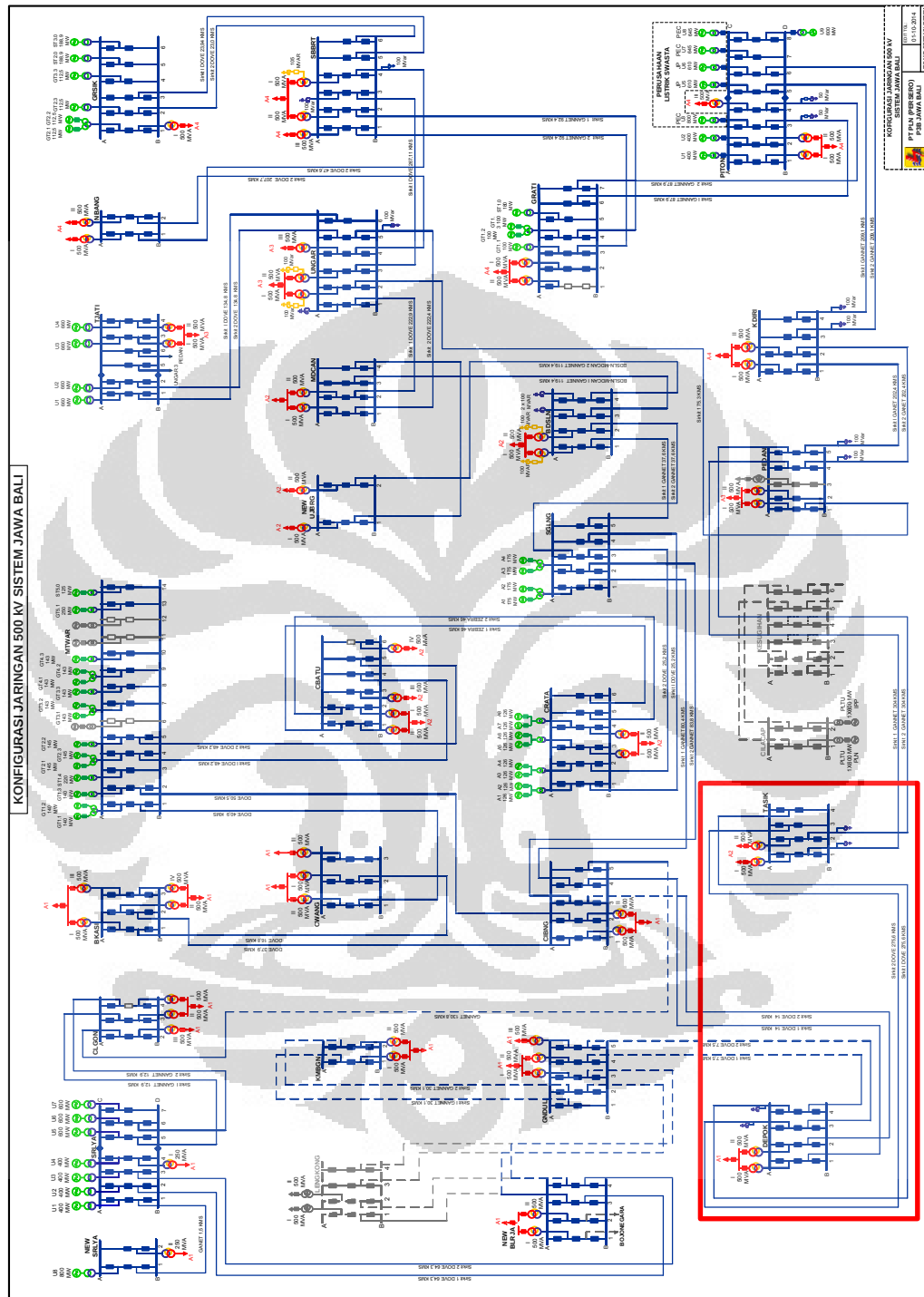


## DAFTAR PUSTAKA

- Marsudi, Djiteng. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta. 2006.
- Kothari, D.P. Nagrath, I.J. *Modern Power System Analysis 4<sup>th</sup>*. Tata McGraw-Hill Education, New Dehli. 2011.
- Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2015-2024*. PT PLN (Persero), Jakarta. 2014.
- Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta. 2002
- Chapman J., Stephen. (2005). *Electric Machinery and Power System Fundamentals*. New York: Mc Graw hill

## LAMPIRAN

### 1. Diagram satu garis jaringan 500 kV Jawa-Bali



## 2. Rating Saluran Transmisi 500 kV Jawa-Bali

| Name          | In Folder     | Grid  | Type                                    | Terminal i    | Terminal j    | Length<br>km | Irated<br>kA | Z1<br>Ohm | R1<br>Ohm | X1<br>Ohm | R0<br>Ohm | X0<br>Ohm | k0     |
|---------------|---------------|-------|-----------------------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| BDSL-UBRUNG 2 | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   | Substation    | Substation    | 32.89        | 1.98         | 9.308553  | 0.96368   | 9.258535  | 5.89718   | 27.7756   | 0.6862 |
| BKASI-CIBNG   | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   | BEKASI7       | CIBINONG7     | 37.9         | 1.98         | 10.72649  | 1.11047   | 10.66885  | 6.79547   | 32.0066   | 0.6862 |
| BKASI-CWANG   | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   | CAWANG7       | BEKASI7       | 16.84        | 1.98         | 4.766069  | 0.49341   | 4.74046   | 3.01941   | 14.2214   | 0.6862 |
| CBATU-CRATA   | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   | CIBATU7       | CIRATA7       | 46.757       | 1.98         | 13.2332   | 1.36998   | 13.1621   | 8.38353   | 39.4863   | 0.6862 |
| CBATU-CRATA1  | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   | CIBATU7       | CIRATA7       | 46.757       | 1.98         | 13.2332   | 1.36998   | 13.1621   | 8.38353   | 39.4863   | 0.6862 |
| CBATU-MTWAR   | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   | UARA TAWAR    | CIBATU7       | 48.158       | 1.98         | 13.62971  | 1.41103   | 13.55648  | 8.63473   | 40.6694   | 0.6862 |
| CBATU-MTWAR1  | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   | CIBATU7       | UARA TAWAR    | 48.158       | 1.98         | 13.62971  | 1.41103   | 13.55648  | 8.63473   | 40.6694   | 0.6862 |
| CIBNG-SGLNG-1 | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) | SAGULING7     | CIBINONG7     | 81.9         | 2.4          | 23.08922  | 2.05569   | 22.99752  | 14.3407   | 68.9926   | 0.6873 |
| CIBNG-SGLNG-2 | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) | CIBINONG7     | SAGULING7     | 81.9         | 2.4          | 23.08922  | 2.05569   | 22.99752  | 14.3407   | 68.9926   | 0.6873 |
| CLBRU-CIBNG   | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) | LEGON BARU    | CIBINONG7     | 130.81       | 2.4          | 36.8779   | 3.28333   | 36.73145  | 22.9048   | 110.194   | 0.6873 |
| DEPOK-CIBNG1  | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   | CIBINONG7     | DEPOK7        | 15.57        | 1.98         | 4.406633  | 0.4562    | 4.382955  | 2.7917    | 13.1489   | 0.6862 |
| DEPOK-CIBNG2  | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   | CIBINONG7     | DEPOK7        | 15.57        | 1.98         | 4.406633  | 0.4562    | 4.382955  | 2.7917    | 13.1489   | 0.6862 |
| DEPOK-GNDUL-1 | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   | GANDUL7       | DEPOK7        | 5.923        | 1.98         | 1.676332  | 0.17354   | 1.667325  | 1.06199   | 5.00197   | 0.6862 |
| DEPOK-GNDUL-2 | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   | GANDUL7       | DEPOK7        | 5.923        | 1.98         | 1.676332  | 0.17354   | 1.667325  | 1.06199   | 5.00197   | 0.6862 |
| DEPOK-TSKBR 1 | TSKBR-DEPOK 1 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) | KMALAYA BARU7 | KMALAYA BARU7 | 279.5        | 2.4          | 78.79652  | 7.01545   | 78.4836   | 48.9405   | 235.451   | 0.6873 |
| DEPOK-TSKBR 2 | TSKBR-DEPOK 2 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) | KMALAYA BARU7 | KMALAYA BARU7 | 279.5        | 2.4          | 78.79652  | 7.01545   | 78.4836   | 48.9405   | 235.451   | 0.6873 |
| GNDUL-BRAJA1  | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   | W BALARAJA7   | GANDUL7       | 50.84        | 1.98         | 14.38877  | 1.48961   | 14.31146  | 9.11561   | 42.9344   | 0.6862 |
| GNDUL-BRAJA1  | region1       | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   | EW BALARAJA7  | EW BALARAJA7  | 45           | 1.98         | 12.73593  | 1.3185    | 12.6675   | 8.0685    | 38.0025   | 0.6862 |
| GNDUL-BRAJA2  | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   | W BALARAJA7   | GANDUL7       | 50.84        | 1.98         | 14.38877  | 1.48961   | 14.31146  | 9.11561   | 42.9344   | 0.6862 |
| GNDUL-KMBGN-1 | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) | KEMBANGAN7    | GANDUL7       | 30.143       | 2.4          | 8.497902  | 0.75659   | 8.464155  | 5.27804   | 25.3925   | 0.6873 |
| GNDUL-KMBGN-2 | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) | KEMBANGAN7    | GANDUL7       | 30.143       | 2.4          | 8.497902  | 0.75659   | 8.464155  | 5.27804   | 25.3925   | 0.6873 |
| GRERU-SBBRT 1 | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   | FRESIK BARU   | RABAYA BARA   | 23.9         | 1.98         | 6.764196  | 0.70027   | 6.72785   | 4.28527   | 20.1836   | 0.6862 |
| GRERU-SBBRT 2 | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   | FRESIK BARU   | RABAYA BARA   | 23.9         | 1.98         | 6.764196  | 0.70027   | 6.72785   | 4.28527   | 20.1836   | 0.6862 |
| Line Route    | BNRAN-PEDAN 1 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) | PEDAN7        | PEDAN7        | 0.5          | 2.4          | 0.14096   | 0.01255   | 0.1404    | 0.08755   | 0.4212    | 0.6873 |
| Line Route    | BNRAN-PEDAN 2 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) | PEDAN7        | PEDAN7        | 0.5          | 2.4          | 0.14096   | 0.01255   | 0.1404    | 0.08755   | 0.4212    | 0.6873 |
| Line Route    | PITON-GRATI 1 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) | PAITON7       | PAITON7       | 0.5          | 2.4          | 0.14096   | 0.01255   | 0.1404    | 0.08755   | 0.4212    | 0.6873 |
| Line Route    | PITON-GRATI 2 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) | PAITON7       | PAITON7       | 0.5          | 2.4          | 0.14096   | 0.01255   | 0.1404    | 0.08755   | 0.4212    | 0.6873 |
| Line Route    | PITON-KDIRI 1 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) | PAITON7       | PAITON7       | 204.5        | 2.4          | 57.65256  | 5.13295   | 57.4236   | 35.808    | 172.271   | 0.6873 |
| Line Route    | PITON-KDIRI 2 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) | PAITON7       | PAITON        |              |              |           |           |           |           |           |        |

| Name            | In Folder     | Grid  | Type<br>TypeLne, TypTow, TypGeo         | Terminal i<br>Substation | Terminal j<br>Substation | Length<br>km | Irated<br>kA | Z1<br>Ohm | R1<br>Ohm | X1<br>Ohm | R0<br>Ohm | X0<br>Ohm | k0     |
|-----------------|---------------|-------|-----------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| Line Route(1)   | PITON-KDIRI 1 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) |                          | KEDIRI7                  | 0.5          | 2.4          | 0.14096   | 0.01255   | 0.1404    | 0.08755   | 0.4212    | 0.6873 |
| Line Route(1)   | PITON-KDIRI 2 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) |                          | KEDIRI7                  | 0.5          | 2.4          | 0.14096   | 0.01255   | 0.1404    | 0.08755   | 0.4212    | 0.6873 |
| Line Route(1)   | TSKBR-DEPOK 1 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) |                          | DEPOK7                   | 0.5          | 2.4          | 0.14096   | 0.01255   | 0.1404    | 0.08755   | 0.4212    | 0.6873 |
| Line Route(1)   | TSKBR-DEPOK 2 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) |                          | DEPOK7                   | 0.5          | 2.4          | 0.14096   | 0.01255   | 0.1404    | 0.08755   | 0.4212    | 0.6873 |
| Line SBBRT-REAC | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   |                          | BARAYA BARAT7            | 0.005        | 1.98         | 0.001415  | 0.00015   | 0.001408  | 0.0009    | 0.00422   | 0.6862 |
| MDCRN-BDSL N1   | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   |                          | ANDIRANCANDUNG SELAT7    | 119.3        | 1.98         | 33.76438  | 3.49549   | 33.58295  | 21.3905   | 100.749   | 0.6862 |
| MDCRN-UBRUNG 2  | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   |                          | ANDIRANCAN7 UJUNG BERU   | 86.43        | 1.98         | 24.46148  | 2.5324    | 24.33005  | 15.4969   | 72.9901   | 0.6862 |
| MDCRN-UNGRN 1   | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   |                          | UNGRAN7 ANDIRANCAN       | 230          | 1.98         | 65.09477  | 6.739     | 64.745    | 41.239    | 194.235   | 0.6862 |
| MDCRN-UNGRN 2   | MDCRN-UNGRN   | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   |                          | ANDIRANCAN7              | 229.5        | 1.98         | 64.95326  | 6.72435   | 64.60426  | 41.1494   | 193.813   | 0.6862 |
| MTWAR - CBNGN   | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   |                          | CIBINONG7                | 53           | 1.98         | 15.0001   | 1.5529    | 14.9195   | 9.5029    | 44.7585   | 0.6862 |
| MTWAR - CWANG   | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   |                          | CAWANG7                  | 48           | 1.98         | 13.585    | 1.4064    | 13.512    | 8.6064    | 40.536    | 0.6862 |
| NBANG-SBBRT     | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   |                          | NGIMBANG7                | 50.981       | 1.98         | 14.42868  | 1.49374   | 14.35115  | 9.14089   | 43.0535   | 0.6862 |
| PEDAN-KDIRI 1   | BNRAN-PEDAN 2 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) |                          | KEDIRI7                  | 204.5        | 2.4          | 57.65256  | 5.13295   | 57.4236   | 35.808    | 172.271   | 0.6873 |
| PEDAN-KDIRI 2   | BNRAN-PEDAN 1 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) |                          | KEDIRI7                  | 204.5        | 2.4          | 57.65256  | 5.13295   | 57.4236   | 35.808    | 172.271   | 0.6873 |
| PEDAN-KSGHN     | PEDAN-TSKBR 2 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) |                          | PEDAN7                   | 196          | 2.4          | 55.25624  | 4.9196    | 55.0368   | 34.3196   | 165.11    | 0.6873 |
| PEDAN-TSKBR 1   | PEDAN-TSKBR 1 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) |                          | PEDAN7                   | 304.5        | 2.4          | 85.84452  | 7.64295   | 85.5036   | 53.318    | 256.511   | 0.6873 |
| PEDAN-KDIRI 1   | BNRAN-PEDAN 2 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) |                          | KEDIRI7                  | 204.5        | 2.4          | 57.65256  | 5.13295   | 57.4236   | 35.808    | 172.271   | 0.6873 |
| PEDAN-KDIRI 2   | BNRAN-PEDAN 1 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) |                          | KEDIRI7                  | 204.5        | 2.4          | 57.65256  | 5.13295   | 57.4236   | 35.808    | 172.271   | 0.6873 |
| PEDAN-KSGHN     | PEDAN-TSKBR 2 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) |                          | PEDAN7                   | 196          | 2.4          | 55.25624  | 4.9196    | 55.0368   | 34.3196   | 165.11    | 0.6873 |
| PEDAN-TSKBR 1   | PEDAN-TSKBR 1 | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) |                          | PEDAN7                   | 304.5        | 2.4          | 85.84452  | 7.64295   | 85.5036   | 53.318    | 256.511   | 0.6873 |
| SBRT - UNGRN 1  | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   |                          | UNGRAN7                  | 254.2        | 1.98         | 71.94388  | 7.44806   | 71.5573   | 45.5781   | 214.672   | 0.6862 |
| SBBRT-GRATI 1   | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) |                          | BARAYA BARAT7            | 79.41        | 2.4          | 22.38724  | 1.99319   | 22.29833  | 13.9047   | 66.895    | 0.6873 |
| SBBRT-GRATI 2   | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) |                          | GRATI7                   | 79.41        | 2.4          | 22.38724  | 1.99319   | 22.29833  | 13.9047   | 66.895    | 0.6873 |
| SCLNG-BDSL N1   | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) |                          | SAGULING7                | 39           | 2.4          | 10.99486  | 0.9789    | 10.9512   | 6.8289    | 32.8536   | 0.6873 |
| SCLNG-BDSL N2   | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) |                          | SAGULING7                | 39           | 2.4          | 10.99486  | 0.9789    | 10.9512   | 6.8289    | 32.8536   | 0.6873 |
| SCLNG-CRATA 1   | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   |                          | CIRATA7                  | 25.166       | 1.98         | 7.1225    | 0.73736   | 7.084229  | 4.51226   | 21.2527   | 0.6862 |
| SCLNG-CRATA 2   | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)   |                          | SAGULING7                | 25.166       | 1.98         | 7.1225    | 0.73736   | 7.084229  | 4.51226   | 21.2527   | 0.6862 |
| SLAYA-CLBRU-1   | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) |                          | ILEGON BARU              | 12.48        | 2.4          | 3.518356  | 0.31325   | 3.504384  | 2.18525   | 10.5132   | 0.6873 |
| SLAYA-CLBRU-2   | 500kV         | 500kV | OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A) |                          | ILEGON BARU              | 12.48        | 2.4          | 3.518356  | 0.31325   | 3.504384  | 2.18525   | 10.5132   | 0.6873 |
| SLAYA-SRLRU     | region2       | 500kV | OHL-500kV-ACSR                          |                          |                          |              |              |           |           |           |           |           |        |

### 3. Daftar perubahan konfigurasi saluran

| Keterangan       | No | St | r (cm)  | No. | r (cm)  | Or(cm) | r' (m)  | Subconductor | Spacing (m) | GWR (m) | GWR C (m) | DAB (m) | DBA (m) | DAA (m) | Dab (m) | Dac (m)  | Dad (m)  | GMD/ Deg (m) | Unitik induktansi |          |          | Unitik kapasitansi |           |            |           |            |             |            |
|------------------|----|----|---------|-----|---------|--------|---------|--------------|-------------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|--------------|-------------------|----------|----------|--------------------|-----------|------------|-----------|------------|-------------|------------|
|                  |    |    |         |     |         |        |         |              |             |         |           |         |         |         |         |          |          |              | Da(m)             | Dd(m)    | Dd(m)    | Da(m)              | Dd(m)     | Dd(m)      |           |            |             |            |
| Keadaan Awal     | 1  | 7  | 0.1581  | 26  | 0.20335 | 1.2877 | 0.01003 | 4            | 0.4         | 0.1735  | 0.1847    | 9.7     | 12.2    | 21.9    | 27      | 28.68855 | 29.62816 | 34.76507     | 17.80005          | 17.80005 | 24.31666 | 19.75733961        | 2.4559096 | 2.164326   | 2.4559096 | 2.345928   | 2.5338683   | 2.42933593 |
|                  | 2  | 7  | 0.12    | 26  | 0.16    | 1      | 0.00779 | 4            | 0.4         | 0.1629  | 0.1734    | 9.7     | 12.2    | 21.9    | 27      | 28.68855 | 29.62816 | 34.76507     | 17.80005          | 17.80005 | 24.31666 | 19.75733961        | 2.379499  | 2.096988   | 2.379499  | 2.281346   | 2.4550376   | 2.3575219  |
|                  | 3  | 7  | 0.13    | 26  | 0.17    | 1.07   | 0.00833 | 4            | 0.4         | 0.1656  | 0.1763    | 9.7     | 12.2    | 21.9    | 27      | 28.68855 | 29.62816 | 34.76507     | 17.80005          | 17.80005 | 24.31666 | 19.75733961        | 2.397806  | 2.114798   | 2.397806  | 2.307104   | 2.47588832  | 2.37747407 |
|                  | 4  | 7  | 0.14699 | 26  | 0.2058  | 1.1787 | 0.00918 | 4            | 0.4         | 0.1697  | 0.1806    | 9.7     | 12.2    | 21.9    | 27      | 28.68855 | 29.62816 | 34.76507     | 17.80005          | 17.80005 | 24.31666 | 19.75733961        | 2.385736  | 2.0968656  | 2.385736  | 2.25066423 | 2.5068656   | 2.40249497 |
|                  | 5  | 7  | 0.14699 | 26  | 0.2     | 1.2497 | 0.00962 | 4            | 0.4         | 0.1777  | 0.1886    | 9.7     | 12.2    | 21.9    | 27      | 28.68855 | 29.62816 | 34.76507     | 17.80005          | 17.80005 | 24.31666 | 19.75733961        | 2.4431075 | 2.25066423 | 2.4431075 | 2.25066423 | 2.5068656   | 2.40249497 |
| Ubah r St dan Al | 6  | 7  | 0.17    | 26  | 0.25    | 1.51   | 0.01176 | 4            | 0.4         | 0.1805  | 0.1922    | 9.7     | 12.2    | 21.9    | 27      | 28.68855 | 29.62816 | 34.76507     | 17.80005          | 17.80005 | 24.31666 | 19.75733961        | 2.455288  | 2.207842   | 2.455288  | 2.401942   | 2.584814671 | 2.47818004 |
|                  | 7  | 7  | 0.1581  | 26  | 0.20335 | 1.2877 | 0.01003 | 4            | 0.2         | 0.1032  | 0.1098    | 9.7     | 12.2    | 21.9    | 27      | 28.68855 | 29.62816 | 34.76507     | 17.80005          | 17.80005 | 24.31666 | 19.75733961        | 1.8937652 | 1.668924   | 1.8937652 | 1.815639   | 1.95307967  | 1.87327409 |
|                  | 8  | 7  | 0.1581  | 26  | 0.20335 | 1.2877 | 0.01003 | 4            | 0.3         | 0.1398  | 0.1468    | 9.7     | 12.2    | 21.9    | 27      | 28.68855 | 29.62816 | 34.76507     | 17.80005          | 17.80005 | 24.31666 | 19.75733961        | 2.204755  | 1.942991   | 2.204755  | 2.173795   | 2.2744177   | 2.18089697 |
|                  | 9  | 7  | 0.1581  | 26  | 0.20335 | 1.2877 | 0.01003 | 4            | 0.5         | 0.2051  | 0.2183    | 9.7     | 12.2    | 21.9    | 27      | 28.68855 | 29.62816 | 34.76507     | 17.80005          | 17.80005 | 24.31666 | 19.75733961        | 2.670265  | 2.353228   | 2.670265  | 2.501008   | 2.7502388   | 2.64136749 |
|                  | 10 | 7  | 0.1581  | 26  | 0.20335 | 1.2877 | 0.01003 | 4            | 0.6         | 0.2532  | 0.2703    | 9.7     | 12.2    | 21.9    | 27      | 28.68855 | 29.62816 | 34.76507     | 17.80005          | 17.80005 | 24.31666 | 19.75733961        | 2.893736  | 2.50747    | 2.893736  | 2.742488   | 2.9499751   | 2.82827605 |
| Ubah r St dan Al | 11 | 7  | 0.1581  | 26  | 0.20335 | 1.2877 | 0.01003 | 4            | 0.7         | 0.2640  | 0.2810    | 9.7     | 12.2    | 21.9    | 27      | 28.68855 | 29.62816 | 34.76507     | 17.80005          | 17.80005 | 24.31    |                    |           |            |           |            |             |            |

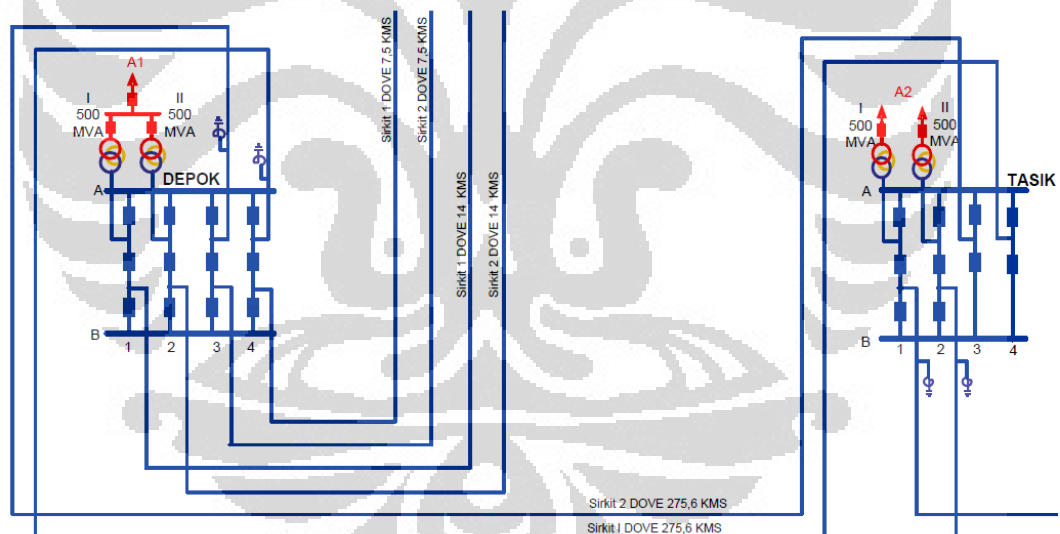
#### 4. Daftar nilai karakteristik saluran akibat pengubahan konfigurasi

| Keterangan                                            | No | L<br>(mH/ | X<br>(ohm/ph | C<br>( $\mu$ F/ | Y<br>( $\mu$ mho/k | Zc (ohm) | SIL (MW) |
|-------------------------------------------------------|----|-----------|--------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Keadaan Awal                                          | 1  | 0.43      | 0.133726     | 0.03            | 8.34812            | 126.5648 | 1975.273 |
| Ubah r St dan Al                                      | 2  | 0.43      | 0.135713     | 0.03            | 8.224097           | 128.4594 | 1946.14  |
| Ubah r St dan Al                                      | 3  | 0.43      | 0.135181     | 0.03            | 8.25692            | 127.9525 | 1953.851 |
| Ubah r St                                             | 4  | 0.43      | 0.134424     | 0.03            | 8.304094           | 127.2309 | 1964.932 |
| Ubah r Al                                             | 5  | 0.43      | 0.134054     | 0.03            | 8.327355           | 126.8781 | 1970.396 |
| Ubah r St dan Al                                      | 6  | 0.42      | 0.132474     | 0.03            | 8.428169           | 125.3715 | 1994.073 |
| Ubah Spacing untuk 4 buah subkonduktor                | 7  | 0.48      | 0.150066     | 0.02            | 7.427034           | 142.1458 | 1758.758 |
|                                                       | 8  | 0.45      | 0.140508     | 0.03            | 7.939459           | 133.0315 | 1879.254 |
|                                                       | 9  | 0.41      | 0.128465     | 0.03            | 8.695278           | 121.5488 | 2056.787 |
|                                                       | 10 | 0.4       | 0.124167     | 0.03            | 9.001113           | 117.4505 | 2128.557 |
|                                                       | 11 | 0.38      | 0.120533     | 0.03            | 9.276993           | 113.9853 | 2193.264 |
|                                                       | 12 | 0.37      | 0.117385     | 0.03            | 9.530013           | 110.9837 | 2252.583 |
| Variasi jarak subkonduktor dengan 2 buah subkonduktor | 13 | 0.56      | 0.176294     | 0.02            | 6.381566           | 166.2092 | 1504.129 |
|                                                       | 14 | 0.54      | 0.169921     | 0.02            | 6.626555           | 160.1327 | 1561.205 |
|                                                       | 15 | 0.53      | 0.1654       | 0.02            | 6.812105           | 155.8214 | 1604.401 |
|                                                       | 16 | 0.52      | 0.161893     | 0.02            | 6.963344           | 152.4773 | 1639.589 |
|                                                       | 17 | 0.51      | 0.159028     | 0.02            | 7.091992           | 149.7449 | 1669.506 |
| Variasi jarak subkonduktor dengan 3 buah subkonduktor | 18 | 0.51      | 0.160615     | 0.02            | 6.961959           | 151.8892 | 1645.937 |
|                                                       | 19 | 0.48      | 0.152118     | 0.02            | 7.357637           | 143.7875 | 1738.677 |
|                                                       | 20 | 0.47      | 0.14609      | 0.02            | 7.666797           | 138.0393 | 1811.079 |
|                                                       | 21 | 0.45      | 0.141414     | 0.03            | 7.925094           | 133.5806 | 1871.53  |
|                                                       | 22 | 0.44      | 0.137593     | 0.03            | 8.149424           | 129.9375 | 1924.001 |
| Variasi jarak subkonduktor dengan 6 buah subkonduktor | 23 | 0.44      | 0.137358     | 0.03            | 8.08503            | 130.3427 | 1918.021 |
|                                                       | 24 | 0.4       | 0.126737     | 0.03            | 8.769643           | 120.2158 | 2079.593 |
|                                                       | 25 | 0.38      | 0.119202     | 0.03            | 9.330192           | 113.0307 | 2211.789 |
|                                                       | 26 | 0.36      | 0.113357     | 0.03            | 9.81691            | 107.4574 | 2326.503 |
|                                                       | 27 | 0.35      | 0.108581     | 0.03            | 10.25396           | 102.9038 | 2429.454 |
| Ubah Jarak Antar Fasa                                 | 28 | 0.43      | 0.134094     | 0.03            | 8.324814           | 126.9165 | 1969.799 |
|                                                       | 29 | 0.43      | 0.134581     | 0.03            | 8.294266           | 127.3805 | 1962.623 |
|                                                       | 30 | 0.43      | 0.133917     | 0.03            | 8.336039           | 126.7469 | 1972.435 |
|                                                       | 31 | 0.43      | 0.134111     | 0.03            | 8.323791           | 126.932  | 1969.559 |
|                                                       | 32 | 0.43      | 0.13352      | 0.03            | 8.361134           | 126.3692 | 1978.33  |
|                                                       | 33 | 0.42      | 0.132334     | 0.03            | 8.437213           | 125.2381 | 1996.197 |
|                                                       | 34 | 0.42      | 0.1333       | 0.03            | 8.375166           | 126.1591 | 1981.625 |
|                                                       | 35 | 0.42      | 0.131305     | 0.03            | 8.504383           | 124.2563 | 2011.97  |
|                                                       | 36 | 0.42      | 0.131058     | 0.03            | 8.520625           | 124.0212 | 2015.784 |
|                                                       | 37 | 0.41      | 0.129643     | 0.03            | 8.615059           | 122.672  | 2037.956 |

## 5. Topologi saluran transmisi TASIK-DEPOK



## 6. Tampilan saluran transmisi TASIK-DEPOK pada SLD Jawa-Bali 500kV



## 7. Data aliran daya akibat pengubahan konfigurasi saluran TASIK-DEPOK

| Keterangan                                                  | No | Bus DEPOK |                        |                        |                     | Bus TASIK |                     | Bus CIBNG |                     | ΔV (%)<br>TASIK-<br>DEPOK |
|-------------------------------------------------------------|----|-----------|------------------------|------------------------|---------------------|-----------|---------------------|-----------|---------------------|---------------------------|
|                                                             |    | %V        | MW/MVAr IBT<br>Depok 1 | MW/MVAr IBT<br>Depok 2 | MW/MVAr<br>ke GNDUL | %V        | MW/MVAr<br>ke DEPOK | %V        | MW/MVAr<br>ke DEPOK |                           |
| Keadaan Awal                                                | 1  | 96.13     | 223.2/46.5             | 257.5/60.4             | 154/681.7           | 103.17    | 411.4/152           | 96.23     | 227.7/79            | 7.04                      |
| Ubah r St dan Al                                            | 2  | 96.08     | 223.2/46.5             | 257.5/60.4             | 153.6/678           | 103.16    | 410.1/152.5         | 96.19     | 228.7/84            | 7.08                      |
| Ubah r St dan Al                                            | 3  | 96.09     | 223.2/46.5             | 257.5/60.4             | 153.7/679           | 103.16    | 410.4/152.4         | 96.2      | 228.5/82.7          | 7.07                      |
| Ubah r St                                                   | 4  | 96.11     | 223.2/46.5             | 257.5/60.4             | 153.9/680.4         | 103.16    | 410.9/152.2         | 96.21     | 228.2/80.8          | 7.05                      |
| Ubah r Al                                                   | 5  | 96.12     | 223.2/46.5             | 257.5/60.4             | 154/681             | 103.17    | 411.2/152.1         | 96.22     | 228/79.9            | 7.05                      |
| Ubah r St dan Al                                            | 6  | 96.16     | 223.3/46.5             | 257.6/60.4             | 154.3/684           | 103.18    | 412.3/151.6         | 96.25     | 227.4/75.8          | 7.02                      |
| Ubah Spacing untuk 4<br>buah subkonduktor                   | 7  | 95.79     | 223/46.5               | 257.2/60.5             | 151.2/654.7         | 103.1     | 400.6/155.4         | 95.92     | 234.9/116           | 7.31                      |
|                                                             | 8  | 95.98     | 223.1/46.5             | 257.4/60.5             | 152.8/669.8         | 103.13    | 406.9/153.6         | 96.09     | 230.8/95.4          | 7.15                      |
|                                                             | 9  | 96.25     | 223.4/46.5             | 257.7/60.4             | 155.1/691.7         | 103.2     | 415/150.4           | 96.34     | 225.7/65.2          | 6.95                      |
|                                                             | 10 | 96.36     | 223.5/46.5             | 257.8/60.5             | 156/700.6           | 103.24    | 418.149             | 96.44     | 224/53              | 6.88                      |
|                                                             | 11 | 96.46     | 223.5/46.5             | 257.9/60.4             | 156.8/708.5         | 103.27    | 420.6/147.6         | 96.53     | 222.5/41.9          | 6.81                      |
| Variasi jarak<br>subkonduktor dengan<br>2 buah subkonduktor | 12 | 96.55     | 223.6/46.5             | 258/60.4               | 157.5/715.8         | 103.31    | 422.8/146.3         | 96.61     | 221.3/31.8          | 6.76                      |
|                                                             | 13 | 95.39     | 222.6/46.6             | 256.60.5               | 147.8/623.1         | 103.13    | 384.5/156.5         | 95.56     | 246.3/159           | 7.74                      |
|                                                             | 14 | 95.49     | 222.7/46.6             | 256.9/60.5             | 148.6/630.4         | 103.14    | 388.3/156           | 95.65     | 243.6/149.1         | 7.65                      |
|                                                             | 15 | 95.56     | 222.8/46.6             | 257/60.5               | 149.2/635.9         | 103.13    | 391/155.6           | 95.71     | 241.7/141.6         | 7.57                      |
|                                                             | 16 | 95.61     | 222.8/46.5             | 257/60.5               | 149.7/640.4         | 103.13    | 393.2/155.3         | 95.76     | 240.2/135.5         | 7.52                      |
| Variasi jarak<br>subkonduktor dengan<br>3 buah subkonduktor | 17 | 95.66     | 222.8/46.5             | 257.1/60.5             | 150.1/644.2         | 103.14    | 395/154.9           | 95.8      | 239/130.3           | 7.48                      |
|                                                             | 18 | 95.62     | 222.8/46.5             | 257/60.5               | 149.7/640.8         | 103.1     | 394/156.2           | 95.77     | 239.5/135           | 7.48                      |
|                                                             | 19 | 95.76     | 222.9/46.5             | 257.2/60.5             | 151/652.5           | 103.12    | 399.3/155.1         | 95.9      | 235.8/119.1         | 7.36                      |
|                                                             | 20 | 95.88     | 223/46.5               | 257.3/60.5             | 151.9/661.5         | 103.13    | 403.2/154.1         | 96        | 233.2/106.6         | 7.25                      |
|                                                             | 21 | 95.97     | 223.1/46.5             | 257.4/60.5             | 152.7/669.1         | 103.15    | 406.3/153.1         | 96.09     | 231.3/96.3          | 7.18                      |
| Variasi jarak<br>subkonduktor dengan<br>6 buah subkonduktor | 22 | 96.05     | 223.2/46.5             | 257.5/60.5             | 153.4/675.6         | 103.17    | 408.8/151.2         | 96.16     | 229.6/87.3          | 7.12                      |
|                                                             | 23 | 96.03     | 223.2/46.5             | 257.5/60.5             | 153.3/674.2         | 103.13    | 408.9/153.6         | 96.14     | 229.3/89.2          | 7.1                       |
|                                                             | 24 | 96.28     | 223.4/46.5             | 257.7/60.4             | 155.3/694.1         | 103.19    | 416.2/150.7         | 96.37     | 224.9/61.8          | 6.91                      |
|                                                             | 25 | 96.48     | 223.6/46.5             | 257.9/60.4             | 157/710.3           | 103.26    | 421.5/147.9         | 96.55     | 221.8/39.4          | 6.78                      |
|                                                             | 26 | 96.65     | 223.7/46.5             | 258.1/60.4             | 158.4/724.3         | 103.33    | 425.7/145.3         | 96.7      | 219.6/20            | 6.68                      |
| Ubah Jarak Antar Fasa                                       | 27 | 96.81     | 223.8/46.5             | 258.2/60.4             | 159.6/736.9         | 103.39    | 429.3/142.8         | 96.84     | 217.8/2.6           | 6.58                      |
|                                                             | 28 | 96.12     | 223.2/46.5             | 257.5/60.4             | 153.9/681           | 103.17    | 411.2/152.1         | 96.22     | 228.1/80            | 7.05                      |
|                                                             | 29 | 96.11     | 223.2/46.5             | 257.5/60.4             | 153.9/680.1         | 103.16    | 410.8/152.2         | 96.21     | 228.3/81.2          | 7.05                      |
|                                                             | 30 | 96.12     | 223.2/46.5             | 257.5/60.4             | 154/681.3           | 103.17    | 411.3/152           | 96.22     | 228/79.5            | 7.05                      |
|                                                             | 31 | 96.12     | 223.2/46.5             | 257.5/60.4             | 153.9/680.9         | 103.17    | 411.1/152.1         | 96.22     | 228.1/80            | 7.05                      |
|                                                             | 32 | 96.13     | 223.3/46.5             | 257.5/60.4             | 154.1/682           | 103.17    | 411.5/151.9         | 96.23     | 227.8/78.5          | 7.04                      |
|                                                             | 33 | 96.16     | 223.3/46.5             | 257.6/60.4             | 154.3/684.2         | 103.18    | 412.4/151.6         | 96.26     | 227.3/75.5          | 7.02                      |
|                                                             | 34 | 96.14     | 223.3/46.5             | 257.6/60.4             | 154.1/682.4         | 103.17    | 411.7/151.9         | 96.24     | 227.7/77.9          | 7.03                      |
|                                                             | 35 | 96.18     | 223.3/46.5             | 257.6/60.4             | 154.5/686.2         | 103.18    | 413.1/151.3         | 96.28     | 226.9/72.8          | 7                         |
|                                                             | 36 | 96.19     | 223.3/46.5             | 257.6/60.4             | 154.5/686.7         | 103.18    | 413.2/151.2         | 96.28     | 226.8/72.1          | 6.99                      |
|                                                             | 37 | 96.22     | 223.3/46.5             | 257.6/60.4             | 154.8/689.4         | 103.19    | 414.2/150.8         | 96.31     | 226.2/68.4          | 6.97                      |