

ANALISIS PENAMBAHAN JURUSAN GARDU DISTRIBUSI I.598 PADA PENYULANG APEL PT.PLN RAYON RIVAI PALEMBANG

Yessi Marniati

Engineering Departement, Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang, Indonesia
E-mail: yessi_pdg@polsri.ac.id

Abstract

The final report discusses replenishment plan of distribution substation I.598 major at apel feeder in PT. PLN Rival Rayon Palembang to decreases overload fault, drop voltage, and power losses conductor. According to the discussion on the final report, obtained replenishment plan of distribution substation major is able to decreases one of major's loading which has the biggest load, namely B major from 65,61% is decreased to 21,95%, decreases drop voltage of B major's conductors from 7,5% is decreased to 1% on phase R, 4,3% is decreased to 1,4% on phase S and 6% is decreased to 1,9% on phase T and also decreases power losses of B major's conductors from 1,6 kW is decreased to 0,04 kW on phase R, 0,6 kW on decreased to 0,09 kW on phase S and 1,2 kW is decreased to 0,19 kW on phase T. These conditions are occurred by replenishment of conductor and dividing B major's load to new majors, namely C and D major so that they influence loading, current load, and conductor length will be decreased. Therefore overload fault, drop voltage, and power losses conductor will be minimized.

Keyword : *Overload, Drop Voltage, Power losses, Replenishment of Substation*

1. Pendahuluan

Setiap jurusan gardu tentu mempunyai tingkatan pembebanan yang berbeda dan seiring pesatnya pertumbuhan beban, maka otomatis beban jurusan gardu pun terus bertambah sehingga lama kelamaan memungkinkan terjadinya beban lebih (*overload*) pada jurusan gardu yang dibebani lebih dari batas kemampuannya, serta besarnya arus beban dengan panjang saluran beban yang semakin bertambah dapat menghasilkan jatuh tegangan dan rugi daya sepanjang saluran beban. Jika masalah ini dibiarkan maka akan membuat pelayanan ke konsumen listrik dan keandalan penyaluran tenaga listrik akan terganggu. Selain dari itu, kerusakan mulai dari komponen gardu distribusi hingga jaringan tegangan rendah tidak bisa dihindarkan lagi serta kerugian perusahaan PT. PLN (Persero) akan semakin besar. Salah satu cara untuk menurunkan kemungkinan terjadinya beban lebih (*overload*) pada jurusan gardu distribusi dan memperbaiki jatuh tegangan dan rugi daya pada penyaluran jaringan tegangan rendah serta untuk menjaga keandalan kerja komponen gardu distribusi hingga jaringan tegangan rendah adalah dengan melakukan pembagian beban. Pembagian beban bertujuan untuk mengurangi arus beban yang mengalir pada penghantar fasa dengan membagi beban pada jurusan yang terbebani berat ke jurusan yang baru.

2. Tujuan Dan Manfaat

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui cara mengatasi gangguan beban lebih (*overload*) dan penurunan keandalan kerja peralatan pada gardu distribusi dan jaringan tegangan rendah dalam menyalurkan energi listrik.
2. Untuk mengetahui persentase perbandingan pembebanan jurusan gardu distribusi I.598 sebelum dan setelah pembagian beban pada rencana penambahan jurusan gardu distribusi.
3. Untuk mengetahui cara mengurangi besar jatuh tegangan dan rugi-rugi daya listrik pada jaringan tegangan rendah.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat menjelaskan cara mengatasi gangguan beban lebih (*overload*) pada jurusan gardu distribusi I.598 dan menjaga keandalan kerja peralatan pada gardu distribusi dan jaringan tegangan rendah dalam menyalurkan energi listrik.

2. Dapat menjelaskan persentase perbandingan pembebanan jurusan gardu distribusi I.598 sebelum dan setelah pembagian beban pada rencana penambahan jurusan gardu distribusi.
3. Dapat menjelaskan solusi dalam memberikan tegangan listrik yang sesuai standar PLN dan mengurangi besar rugi-rugi daya listrik pada jaringan tegangan rendah demi pelayanan yang optimal ke setiap pelanggan.

3. Tinjauan Pustaka

3.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik [1]

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah:

1. Pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan
2. Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan.

Hal ini disebabkan karena daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir (I^2R).

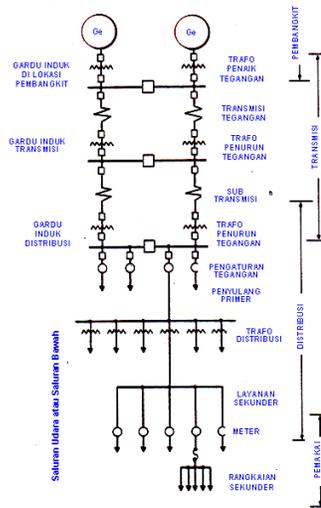
Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan transformator distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Hal ini membuktikan bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan transformator *step-up*. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV, UHV, EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahalnya harga perlengkapan-perengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan transformator *step-down*. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda. Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan seperti pada Gambar 1:

- | | |
|------------|--|
| Daerah I | : Bagian pembangkitan (<i>Generation</i>) |
| Daerah II | : Bagian penyaluran (<i>Transmission</i>), bertegangan tinggi (HV, UHV, EHV) |
| Daerah III | : Bagian distribusi primer, bertegangan menengah (6 atau 20 kV). |
| Daerah IV | : (Di dalam bangunan pada beban/konsumen), Instalasi, bertegangan rendah. |

Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahui bahwa porsi materi Sistem Distribusi adalah Daerah III dan IV, yang pada dasarnya dapat diklasifikasikan menurut beberapa cara, bergantung dari segi apa klasifikasi itu dibuat. Dengan demikian ruang lingkup Jaringan Distribusi adalah:

- a. SUTM : terdiri dari tiang dan peralatan kelengkapannya, konduktor dan peralatan perlengkapannya, serta peralatan pengaman dan pemutus.
- b. SKTM : terdiri dari kabel tanah, indoor dan outdoor termination, batu bata, pasir dll.
- c. Gardu Trafo : terdiri dari transformator, tiang, pondasi tiang, rangka tempat transformator, LV panel, pipa-pipa pelindung, Arrester, kabel-kabel, peralatan grounding, dll.
- d. SUTR : terdiri dari perlengkapan/ material yang sama yang terdapat pada SUTM dan SKTM. yang membedakan hanya dimensinya. [1]



Gambar 1. Pembagian Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

3.2 Saluran transmisi [2]

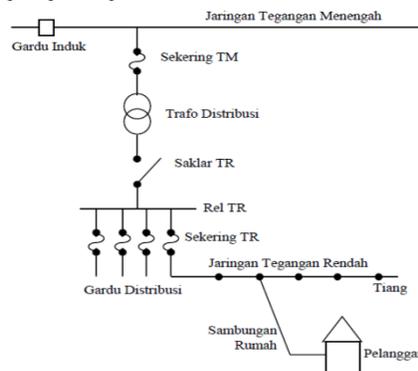
Saluran Transmisi merupakan media yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik dari Generator Station/ Pembangkit Listrik sampai distribution station hingga sampai pada konsumen pengguna listrik. Tenaga listrik di transmisikan oleh suatu bahan konduktor yang mengalirkan tipe Saluran Transmisi Listrik. [2]

Berdasarkan sistem transmisi dan kapasitas tegangan yang disalurkan terdiri:

1. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 200kV-500kV
2. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 30kV-150kV
3. Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 30kV-150kV

Jaringan pada sistem distribusi primer [3] atau jaringan sistem distribusi tegangan menengah (Primer 20kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu Jaringan Radial, Jaringan hantaran penghubung (*Tie Line*), Jaringan Lingkaran (Loop), Jaringan Spindel dan Sistem Gugus atau Kluster.

Sistem distribusi sekunder seperti pada Gambar 2 merupakan salah satu bagian dalam sistem distribusi, yaitu mulai dari gardu transformator sampai pada pemakai akhir atau konsumen.



Gambar 2. Hubungan Tegangan Menengah ke Tegangan Rendah dan Konsumen

Melihat letaknya, sistem distribusi ini merupakan bagian yang langsung berhubungan dengan konsumen, jadi sistem ini berfungsi menerima daya listrik dari sumber daya (transformator distribusi), juga akan mengirimkan serta mendistribusikan daya tersebut ke konsumen, mengingat bagian ini berhubungan langsung dengan konsumen, maka kualitas listrik selayaknya harus sangat diperhatikan.

Sistem penyaluran daya listrik pada Jaringan tegangan rendah dapat dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut :

1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel telanjang (tanpa isolasi) seperti kabel AAAC, kabel ACSR.
2. Saluran Kabel Udara Tegangan Rendah (SKUTR) Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel berisolasi seperti kabel LVTC (*Low Voltage Twisted Cable*). ukuran kabel LVTC adalah : $2 \times 10 \text{mm}^2$, $2 \times 16 \text{mm}^2$, $4 \times 25 \text{mm}^2$, $3 \times 35 \text{mm}^2$, $3 \times 50 \text{mm}^2$, $3 \times 70 \text{mm}^2$.

Penyambungan JTR menurut SPLN No.74 tahun 1987 yaitu “sambungan JTR adalah sambungan rumah (SR) penghantar di bawah tanah atau di atas tanah termasuk peralatannya mulai dari titik penyambungan tiang JTR sampai alat pembatas dan pengukur (APP)”.

Jaringan ini menggunakan tegangan rendah. Sebagaimana halnya dengan distribusi primer, terdapat pula pertimbangan perihal keadaan pelayanan dan regulasi tegangan, distribusi sekunder yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi ke konsumen. Jaringan ini sering jaringan tegangan rendah.[4]

Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada di konsumen. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi. Sistem ini biasanya disebut sistem tegangan rendah yang langsung akan dihubungkan kepada konsumen/pemakai tenaga listrik dengan melalui peralatan-peralatan sebagai berikut:

1. Papan pembagi pada transformator distribusi;
2. Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder);
3. Saluran Layanan Pelanggan (SLP) (ke konsumen/pemakai);
4. Alat Pembatas dan pengukur daya (kWH. meter) serta fuse atau pengaman pada pelanggan.

3.3 Gardu Distribusi

Gardu Distribusi adalah suatu tempat/bangunan instalasi listrik yang didalamnya terdapat alat-alat : Pemutus, penghubung, pengaman dan transformator distribusi untuk mendistribusikan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan tegangan konsumen.

Peralatan-peralatan ini adalah untuk menunjang mencapai pendistribusian tenaga listrik secara baik yang mencakup kontinuitas pelayanan yang terjamin, mutu yang tinggi dan menjamin keselamatan bagi manusia.

Fungsi Gardu Distribusi :

1. Menyalurkan/meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke konsumen tegangan rendah;
2. Menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah selanjutnya disalurkan ke konsumen tegangan rendah;
3. Menyalurkan/meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke gardu distribusi lainnya dan ke gardu hubung.

Gardu listrik pada dasarnya adalah rangkaian dari suatu perlengkapan hubung bagi yang terbagi atas dua:

- a. PHB tegangan menengah;
- b. PHB tegangan rendah.

Masing-masing dilengkapi gawai-gawai kendali dengan komponen proteksinya. Jenis-jenis gardu listrik atau gardu distribusi didesain berdasarkan maksud dan tujuan penggunaannya sesuai dengan peraturan Pemda setempat, yaitu:

1. Gardu Distribusi konstruksi beton (Gardu Beton);
2. Gardu Distribusi konstruksi metal clad (Gardu besi);
3. Gardu Distribusi tipe tiang portal, dan Distribusi tipe tiang cantol (Gardu Tiang);
4. Gardu Distribusi mobil tipe kios, dan Gardu Distribusi mobil tipe trailer (Gardu Mobil).

Komponen-komponen gardu :

- a. PHB sisi tegangan rendah;
- b. PHB pemisah saklar daya;
- c. PHB pengaman transformator;
- d. PHB sisi tegangan rendah;
- e. Pengaman tegangan rendah;

- f. Sistem pembumian;
- g. Alat-alat indikator.

Instalasi perlengkapan hubung bagi tegangan rendah berupa PHB TR atau rak TR terdiri atas 3 bagian, yaitu:

1. Sirkuit masuk + sakelar;
2. Rel pembagi;
3. Sirkuit keluar + pengaman lebur maksimum 8 sirkuit.

3.4 Peralatan yang digunakan (komponen utama) pada gardu distribusi GTT

Secara umum komponen utama GTT adalah:

1. Transformator : berfungsi sebagai transformator daya merubah tegangan menengah (20 kV) menjadi tegangan rendah (380/200) Volt;
2. Fuse Cut Out (CO): sebagai pengaman penyulang, bila terjadi gangguan di gardu (transformator) dan melokalisir gangguan di transformator agar peralatan tersebut tidak rusak. CO di pasang pada sisi tegangan menengah (20 kV);
3. Arrester: sebagai pengaman transformator terhadap tegangan lebih yang disebabkan oleh sambaran petir dan switching. [5]
4. NH Fuse : sebagai pengaman transformator terhadap arus lebih yang terpasang di sisi tegangan rendah (220 Volt), untuk melindungi transformator terhadap gangguan arus lebih yang disebabkan karena hubung singkat di jaringan tegangan rendah maupun karena beban lebih;
5. Grounding Arrester: untuk menyalurkan arus ke tanah yang disebabkan oleh tegangan lebih karena sambaran petir dan switching;
6. Graunding Transformator: untuk menghindari terjadi tegangan lebih pada fasa yang sehat bila terjadi gangguan satu fasa ke tanah maupun yang disebutkan oleh beban tidak seimbang;
7. Grounding LV Panel: sebagai pengaman bila terjadi arus bocor yang mengalir di LV panel.

Transformator dapat digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan, Turun dan naiknya tegangan pada sisi sekunder tergantung pada perbandingan jumlah lilitan kumparan.

- N_2 : Jumlah lilitan pada kumparan sekunder
- N_1 : Jumlah lilitan pada kumparan primer
- V_1 : Tegangan pada kumparan primer
- V_2 : Tegangan pada kumparan sekunder timbul Gaya Gerak Listrik
- E_1 : Tegangan induksi pada kumparan primer
- E_2 : Tegangan induksi pada kumparan sekunder
- a : Perbandingan transformator

Dengan rumus persamaan:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \dots\dots\dots (1) [6]$$

3.5 Daya Listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam sirkuit listrik. Dalam sistem listrik AC/Arus Bolak-Balik ada tiga jenis daya yang dikenal, yaitu:

1. Daya semu

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar.

Untuk 1 fasa : $S = V_L \times I_L \dots\dots\dots (2) [7]$

Untuk 3 fasa : $S = \sqrt{3} V_L \times I_L \dots\dots\dots (3) [7]$

Dimana:

S : Daya semu (VA)

V: Tegangan antar saluran (V)
 I : Arus Saluran (A)

2. Daya aktif

Daya aktif (daya nyata) merupakan daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya. Daya aktif ini merupakan pembentukan dari besar tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya.

Untuk 1 fasa : $P = V \times I \times \text{Cos } \emptyset$ (4) [7]

Untuk 3 fasa : $P = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \text{Cos } \emptyset$(5) [7]

Dimana:

- P : Daya Nyata (Watt)
- V : Tegangan antar saluran (V)
- I : Arus Saluran (A)
- Cos \emptyset : Faktor Daya (standar PLN 0,85)

3. Daya reaktif

Daya reaktif merupakan selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar itu sendiri, dimana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan panas. Daya reaktif ini adalah hasil kali antara besarnya arus dan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor daya.

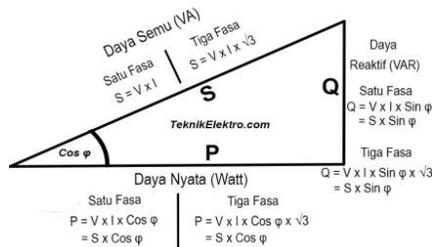
Untuk 1 fasa : $S = V_L \times I_L \times \text{Sin } \emptyset$ (6) [7]

Untuk 3 fasa : $S = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \text{Sin } \emptyset$ (7) [7]

- P : Daya Nyata (Watt)
- V : Tegangan antar saluran (V)
- I : Arus Saluran (A)
- Sin \emptyset : Faktor Daya

3.5 Segitiga daya

Dari bermacam daya diatas maka daya listrik digambarkan sebagai segitiga siku, yang secara vektoris adalah penjumlahan daya aktif dan reaktif dan sebagai resultannya adalah daya semu.



Gambar 3. Segitiga daya

3.6 Resistansi Penghantar

Resistansi adalah tahanan suatu penghantar baik itu pada saluran transmisi maupun distribusi yang menyebabkan kerugian daya. Maka besarnya resistansi pada jaringan listrik dapat dicari dengan rumus persamaan berikut:

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots (8) [8]$$

Dimana :

- R : Resistansi (Ω),
- l : Panjang kawat penghantar (m),
- A : Luas penampang kawat (m^2),
- ρ : Tahanan jenis (Ωm).

Tahanan penghantar mempunyai suhu maksimum yang telah distandarkan oleh pabrik pembuatnya (maksimum 30°C untuk Indonesia), perubahan suhu sebesar 1°C dapat menaikkan tahanan penghantar. Perubahan tahanan nilai tahanan ini disebut koefisien temperatur dari tahanan yang diberi simbol α , Perubahan nilai tahanan terhadap suhu, dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$R_{t_2} = R_{t_1}[1 + \alpha_{tl}(t_2 - t_1)] \dots\dots\dots (9) [8]$$

Dimana T_0 = Temperatur pada penghantar aluminium ($^{\circ}C$)

$$R_{t_2} = R_{t_1} \frac{T_0 + t_2}{T_0 + t_1} \dots\dots\dots (10) [8]$$

Dimana:

R_{t_2} = resistan pada suhu t_2 (Ω / km)

R_{t_1} = resistan pada suhu t_1 (Ω / km)

α_{t1} = koefisien temperature dari tahanan pada suhu
 0,03931 untuk Cu pada suhu 12345°C
 0,03931 untuk Al pada suhu 12345°C

t_1 = suhu normal penghantar ($^{\circ}C$)

t_2 = suhu yang ditentukan ($^{\circ}C$)

T_0 = konstanta untuk penghantar tertentu :

- a. 234,5 untuk tembaga 100% Cu
- b. 241,0 untuk tembaga 97% Cu
- c. 228 untuk aluminium 61 % Al

3.7 Model Saluran Distribusi

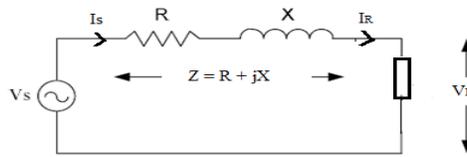
Saluran distribusi digambarkan melalui suatu model ekivalen dengan mengambil parameter rangkaian pada suatu basis per fasa. Tegangan terminal digambarkan dari saluran ke netral, arus dari satu fasa saluran sehingga sistem distribusi tiga fasa berkurang menjadi ekivalen sistem distribusi fasa tunggal.

Model saluran distribusi digunakan untuk menghitung tegangan, arus dan aliran daya yang dipengaruhi oleh panjang saluran. Model saluran distribusi diperoleh dengan mengalikan impedansi saluran persatuan panjang dengan panjang saluran.

$$Z = (r + j\omega L).l \dots\dots\dots (11)[9]$$

$$Z = R + jX \dots\dots\dots (12)[9]$$

Dimana R dan X merupakan resistansi dan induktansi perfasa per satuan panjang, dan l merupakan panjang saluran.

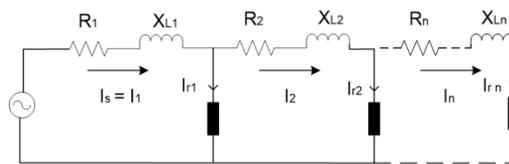


Gambar 4. Rangkaian ekivalen saluran distribusi

Oleh karena arus rangkaian saluran distribusi merupakan hubungan seri maka arus ujung pengirim dan ujung penerima adalah sama

$$I_s = I_R \dots\dots\dots (13)[9]$$

Hal tersebut berbeda dengan model saluran dengan beban terhubung sepanjang saluran yaitu :



Gambar 5. Saluran Distribusi dengan Beban Terhubung Sepanjang Saluran

Berdasarkan gambar diatas maka didapatkan persamaan arus sesuai Hukum Kirchoff I yaitu

$$\sum I_{\text{masuk}} = \sum I_{\text{keluar}} \dots\dots\dots (14)[9]$$

Sehingga didapatkan besar arus :

$$I_s = I_1 + (I_{r1} + I_2) = I_1 + (I_{r1} + I_{r2} + \dots + I_n) \dots\dots\dots (15)[9]$$

3.8 Rugi Tegangan (*Drop Voltage*)

Salah satu kriteria yang dipertimbangkan dalam mendesain Jaringan Tegangan Rendah adalah tegangan jatuh, [6] batas drop tegangan yang diijinkan untuk Jaringan Tegangan Rendah (JTR) maksimum 4 % dari tegangan kerja. Untuk mendapatkan besaran tegangan jatuh dalam batas tersebut maka pemilihan penghantar yang digunakan harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

- a. Jenis Penghantar
- b. Luas penampang penghantar.
- c. Panjang Jaringan
- d. Kerapatan beban

Selain pemilihan penghantar yang digunakan harus dibatasi besar arus beban yang mengalir sesuai dengan KHA (Kemampuan Hantar Arus) dari jenis penghantar agar batas tegangan jatuh yang diijinkan dapat tercapai. Jenis penghantar untuk JTR ada dua macam menurut konstruksinya yaitu *Open Wire* (telanjang) dan *Insulated* (berisolasi) sedang ditinjau dari bahan yang digunakan ada dua jenis yang umum digunakan yaitu dari bahan Tembaga (CU) dan dari bahan Aluminium (Al).

Untuk keandalan dan keamanan dalam penyaluran tenaga listrik penghantar JTR yang paling banyak digunakan saat ini dari jenis *Insulated* dibandingkan dengan kabel telanjang. Jenis bahan penghantar berisolasi yang banyak digunakan adalah dari bahan aluminium (Al) karena lebih ringan namun daya hantarnya lebih rendah dibandingkan dengan dari bahan Tembaga (Cu).

Jenis, Luas dan panjang penghantar yang digunakan untuk JTR akan mempengaruhi besarnya Impedansi (Z) dari JTR, perkalian impedansi Z dengan arus yang mengalir akan didapatkan besarnya *drop voltage* pada JTR

dan Berdasarkan rangkaian ekivalen saluran pada gambar (5) besarnya *drop voltage* yang terjadi pada saluran tersebut dapat dirumuskan :

$$\Delta V = |V_s| - |V_r| = I \cdot Z = I_R \cdot R + I_X \cdot jX \dots \dots \dots (16)[9]$$

Dimana :

$$I_R = I \cos \theta \dots \dots \dots (17)[9]$$

$$I_X = I \sin \theta \dots \dots \dots (18)[9]$$

$\cos \theta = 0,85$ (standar PLN 70-1 : 1985)

$$\sin \theta = \text{Arc } \cos \theta = 0,53$$

Sehingga didapatkan persamaan :

$$\Delta V = I \cdot (R \cos \theta + jX \sin \theta) \dots \dots \dots (19)[9]$$

Karena faktor panjang saluran (L) mempengaruhi impedansi saluran (Z) maka persamaan menjadi :

$$\Delta V = I (R \cos \theta + jX \sin \theta) \cdot L \dots \dots \dots (20)[9]$$

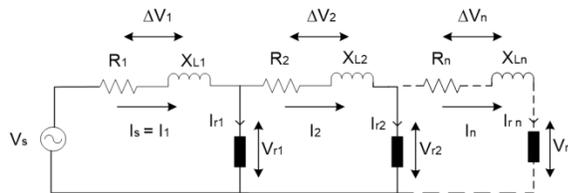
Maka untuk saluran distribusi pada saluran distribusi 3 fasa adalah :

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I \cdot (R \cos \theta + jX \sin \theta) \cdot L \dots \dots \dots (21)[9]$$

Keterangan :

- | | |
|---------------------------------------|----------------------------|
| ΔV = Drop tegangan (V) | I = Arus saluran (A) |
| V_s = Tegangan pengiriman (V) | I_R = Arus aktif |
| V_r = Tegangan penerimaan (V) | I_X = Arus reaktif |
| R = Resistansi saluran (Ω) | L = Panjang Saluran (km) |
| X = Reaktansi saluran (Ω) | |

Dan berdasarkan model saluran pada gambar 6 untuk beban yang terhubung sepanjang saluran maka persamaan *drop voltage* didapatkan:



Gambar 6. Drop Voltage Saluran dengan Beban Terhubung Sepanjang Saluran

$$\Delta V = I_1 (R_1 \cos \theta + jX_1 \sin \theta) \cdot L + I_2 (R_2 \cos \theta + jX_2 \sin \theta) \cdot L + \dots + I_n (R_n \cos \theta + jX_n \sin \theta) \cdot L \dots \dots (22)[9]$$

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \dots \dots + \Delta V_n \dots \dots \dots (23)[9]$$

Dan *drop voltage* dalam persentase :

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_s} \times 100 \% \dots \dots \dots (24)[9]$$

3.9 Rugi Daya

Dalam mendesain JTR maka hal yang sangat penting diperhitungkan adalah batas maksimum susut yang akan terjadi pada jaringan tersebut. Untuk mencapai *range losses* tersebut maka desain JTR juga harus mempertimbangkan hal hal yang sama seperti pada saat menekan tegangan jatuh yaitu:

- a. Jenis Penghantar yang digunakan
- b. Panjang Jaringan Tegangan Rendah
- c. Luas penampang
- d. Pembatasan Jumlah beban yang tersambung sesuai dengan KHA penghantar

Berdasarkan gambar 4 rugi daya saluran timbul karena adanya komponen resistansi dan reaktansi saluran dalam bentuk rugi daya aktif dan reaktif. Rugi daya aktif yang timbul pada komponen resistansi saluran distribusi akan terdisipasi dalam bentuk energi. Sedangkan rugi daya reaktif akan dikembalikan ke sistem dalam bentuk medan magnet atau medan listrik.

Rugi daya yang dapat dicari menggunakan rumus :

$$\Delta P = I^2 \times R \times L \dots\dots\dots (25)[10]$$

Dan berdasarkan gambar 4 dengan beban terhubung pada sepanjang saluran didapatkan persamaan rugi daya :

$$\Delta P = I_1^2 \times R_1 \times L + I_2^2 \times R_2 \times L + \dots + I_n^2 \times R_n \times L \dots\dots\dots (26)[10]$$

Maka untuk saluran distribusi pada saluran distribusi 3 fasa adalah :

$$\Delta P = 3 \times I^2 \times R \times L \dots\dots\dots (27)[10]$$

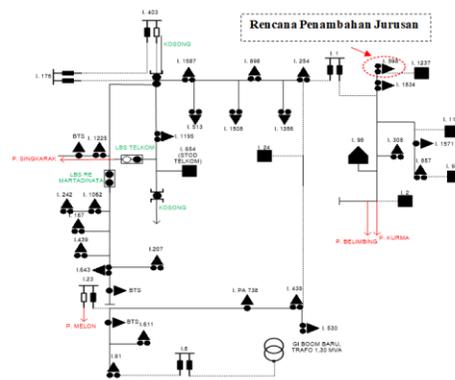
$$\Delta P = 3 \times (I_1^2 \times R_1 \times L + I_2^2 \times R_2 \times L + \dots + I_n^2 \times R_n \times L) \dots\dots\dots (28)[10]$$

Dimana :

- ΔP = Rugi daya (kw)
- I = Arus yang mengalir (Ampere)
- R = Resistansi saluran (ohm)

4. Hasil dan Analisa

Penyambungan beban pelanggan pada gardu distribusi secara tidak merata untuk setiap jurusan dapat mengakibatkan salah satu jurusan memiliki beban yang lebih besar dibandingkan jurusan lain dan bahkan dapat menimbulkan terjadinya beban lebih (*overload*) dan *drop voltage* serta rugi daya saluran. Beban lebih dan *drop voltage* serta rugi daya saluran tersebut dapat mengakibatkan mutu layanan kepada konsumen PT. PLN (Persero) berkurang. Hal itulah yang terjadi pada gardu distribusi I.598 di PT. PLN (Persero) Rayon Rivai yang mengalami pembebanan lebih pada salah satu jurusan pada Waktu Beban Puncak (WBP) mulai pukul 18.00 – 22.00 WIB yang juga mempengaruhi terjadinya *drop voltage* dan rugi daya pada penghantar saluran udara tegangan rendah. Untuk itulah dibuat sebuah solusi melalui sebuah penelitian pada rencana penambahan jurusan gardu distribusi yang nantinya akan mengurangi beban lebih dan *drop voltage* serta rugi daya saluran pada salah satu jurusan gardu I.598. Gardu Distribusi I.598 adalah salah satu gardu distribusi yang berada pada penyulang Apel di PT. PLN (Persero) Rayon Rivai yang berlokasi Jalan Sultan Agung Boom Baru Kel. Mariana, Kel. Kawang Kidul , Kec. Ilir Timur II



Gambar 7. Single Penyulang Apel Rayon Rivai Palembang

Tabel 1. Data Panjang Penghantar JTR I.598

No.	Jurusan	Jenis Penghantar (mm ²)	Panjang Saluran (Km)
1.	A	LVTC 3 x 70 + 50 mm ²	0.507
2.	B		1.307

Tabel 2. Jumlah Data Pelanggan Tersambung untuk setiap Jurusan Gardu

No.	Jurusan Gardu Distribusi I.598	Jumlah Pelanggan				
		2A	4A	6A	10A	Total
1.	A	25	13	2	-	40
2.	B	106	61	19	2	188
Total Pelanggan						288

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Arus saat waktu Beban Puncak (WBP) GD I.598

Phasa	Beban Induk (A)	Jurusan	
		A	B
R	247	41	177
S	143	22	143
T	176	36	152
N	118	48	70

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Tegangan saat Waktu Beban Puncak (WBP) GD I.598

Phasa	Tegangan Induk (V)	Tegangan Ujung Beban (V)									
		Jurusan A				Jurusan B					
		1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
		(3)	(8)	(13)	(15)	(44)	(37)	(38)	(32)	(29)	(24)
R-N	223	220	220	220	-	216	217	217	217	216	218
S-N	224	-	-	220	220	216	218	218	216	217	219
T-N	223	-	220	220	220	216	217	217	216	217	219
R-S	388										
S-T	389										
T-R	388										

4.1 Simulasi *unbalance load flow* pada gardu distribusi I.598

1. Penentuan persentase pemakaian beban rata-rata oleh pelanggan

Berdasarkan pemakaian beban yang berubah untuk setiap waktu pemakaian dan berbeda untuk setiap pelanggan maka diperlukan penentuan pemakaian beban rata-rata pelanggan khususnya pada saat waktu beban puncak (WBP) per tiap jurusan gardu I.598 melalui simulasi *Unbalance load flow* pada Etap 12.6. Simulasi tersebut dapat mengkondisikan dan selanjutnya menentukan pemakaian beban rata-rata pelanggan yang sesuai dengan data hasil pengukuran beban jurusan seperti pada tabel 3 dan 4 sehingga akan mempermudah perhitungan sesuai dengan kondisi pemakaian beban rata-rata yang sebenarnya. Oleh karena itu, dibuatlah tiga persentase pemakaian beban rata-rata pelanggan yaitu 100 %, 80%, dan 75% dengan menggunakan 3 *loading category* pada simulasi *Unbalance load flow* yaitu:

1. *Brake Loading Category*
Loading Category ini mengkondisikan pemakaian beban rata-rata pelanggan yaitu sebesar 100%.
2. *Design Loading Category*
Loading Category ini mengkondisikan pemakaian beban rata-rata pelanggan yaitu sebesar 80%.
3. *Normal Loading Category*
Loading Category ini mengkondisikan pemakaian beban rata-rata pelanggan yaitu sebesar 75%.

Berdasarkan tabel 3 simulasi maka akan ditentukan persentase pemakaian beban rata-rata pelanggan dari 3 *loading category* yang digunakan dan sesuai dengan data hasil pengukuran saat waktu beban puncak (WBP) pada tabel 3 dan 4 Untuk mempermudah pengamatan hasil simulasi maka dibuat tabel beban jurusan pada gardu distribusi I.598 dari hasil simulasi *Unbalance Load Flow* :

Tabel 5. Data Arus Beban Jurusan pada Hasil Simulasi Pemakaian Beban Rata-rata GD I.598

Phasa	Beban Induk (A)	Loading Category					
		Brake (100%)		Design(80%)		Normal(75%)	
		Beban Jurusan (A)					
		A	B	A	B	A	B
R	247	55	216	44.4	176.1	41.7	165.8
S	143	25	178.6	20.1	144.5	18.9	135.9
T	176	43.4	189.1	35	153.7	32.9	144.7

Tabel 6. Data Tegangan Induk Beban Hasil Simulasi Pemakaian Beban Rata-rata GD I.598

Phasa	Loading Category		
	Brake	Design	Normal
	Tegangan Beban Induk (V)		
R-N	221	222.85	223.32
S-N	223.43	224.87	225.23
T-N	222.43	224.02	224.43
R-S	384.27	387.23	387.38
S-T	386.41	388.99	389.64
T-R	384.34	387.27	388.02

Berdasarkan tabel diatas, persentase pemakaian beban rata-rata pelanggan yang sesuai dengan data hasil pengukuran adalah pada saat menggunakan *design loading category* yang menunjukkan bahwa setiap pelanggan memakai beban sebesar +/- 80% sehingga menjadi parameter pemakaian beban rata-rata pada perhitungan dan simulasi *unbalanced load flow* untuk menentukan pembebanan jurusan, *drop voltage* dan rugi daya saluran.

2. Hasil simulasi *unbalance load flow* pada Gardu Distribusi (GD) I.598

Berdasarkan arus beban pada setiap jurusan memiliki nilai yang berbeda untuk setiap fasa R, S, dan T sehingga simulasi yang digunakan adalah simulasi *unbalanced load flow*. Simulasi ini akan menunjukkan besarnya arus beban jurusan, pembebanan jurusan, *drop voltage* dan rugi daya saluran pada fasa R, S, dan T sehingga mempermudah untuk menganalisa data.

Hasil *report manager* dan simulasi *unbalanced load flow* pada gardu distribusi I.598 untuk mendapatkan besarnya pembebanan jurusan, *drop voltage* dan rugi daya secara lengkap dapat dilihat Tabel 7 dibawah ini :

Tabel 7. Hasil Simulasi Unbalanced Load Flow pada GD I.598 Sebelum Rencana Penambahan Jurusan

Jurusan	Phasa	Pembebanan Jurusan (kVA)	Drop Voltage (%)	Rugi Daya (kW)
A	R	10	0.9	0
	S	5	0.8	0
	T	8	1.2	0
B	R	39	8.1	1.7
	S	32	4.26	0.5
	T	34	6.5	1.3

4.2 Perhitungan pembebanan setiap jurusan pada I.598

Dengan menggunakan data yang didapatkan dari pengukuran langsung yang dilakukan pada tanggal 20 September 2021 di lokasi gardu distribusi I.598 yaitu di Jalan Sultan Agung, yang merupakan wilayah kerja PT. PLN (Persero) Rayon Rivai, kemudian dapat dihitung besarnya kapasitas daya setiap jurusan dan pembebanan transformator dengan menggunakan data hasil pengukuran pada tabel 3 dan 4 serta persamaan 2, yakni:

1. Pembebanan jurusan A

$$\begin{aligned}
 \text{Beban fasa R} &= (I_R \times V_{R-N}) = 41 \times 223 = 9.14 \text{ kVA} \\
 \text{Beban fasa S} &= (I_S \times V_{S-N}) = 22 \times 224 = 4.92 \text{ kVA} \\
 \text{Beban fasa T} &= (I_T \times V_{T-N}) = 36 \times 223 = 8.02 \text{ kVA} \\
 \text{Total Beban Jurusan A} &= (I_R \times V_{R-N}) + (I_S \times V_{S-N}) + (I_T \times V_{T-N}) \\
 &= 9.14 + 4.92 + 8.02 = 22.1 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

2. Pembebanan jurusan B

$$\begin{aligned}
 \text{Beban fasa R} &= (I_R \times V_{R-N}) = 177 \times 223 = 39.47 \text{ kVA} \\
 \text{Beban fasa S} &= (I_S \times V_{S-N}) = 143 \times 224 = 32.03 \text{ kVA} \\
 \text{Beban fasa T} &= (I_T \times V_{T-N}) = 152 \times 223 = 33.89 \text{ kVA} \\
 \text{Total Beban Jurusan A} &= (I_R \times V_{R-N}) + (I_S \times V_{S-N}) + (I_T \times V_{T-N}) \\
 &= 39.47 + 32.03 + 33.89 = 105.39 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan beban per tiap jurusan diatas maka dapat dihitung persentase pembebanan Transformator dengan persamaan 3, yaitu:

1. Jurusan A

$$\begin{aligned} \% \text{ Persentase beban pada jurusan A} &= \frac{kVA_{\text{beban}}}{kVA_{\text{Trafo}}} \times 100 \% \\ &= \frac{\text{beban A}}{\text{kapasitas Trafo}} \times 100 \% \\ &= \frac{22,1}{160} \times 100 \% = 13,81 \% \end{aligned}$$

2. Jurusan B

$$\begin{aligned} \% \text{ Persentase beban pada jurusan B} &= \frac{kVA_{\text{beban}}}{kVA_{\text{Trafo}}} \times 100 \% \\ &= \frac{\text{beban B}}{\text{kapasitas Trafo}} \times 100 \% \\ &= \frac{105,39}{160} \times 100 \% = 65,86 \% \end{aligned}$$

3. Total Jurusan

$$\begin{aligned} \% \text{ Persentase beban total Transformator} &= \frac{kVA_{\text{beban}}}{kVA_{\text{Trafo}}} \times 100 \% \\ &= \frac{\text{beban A} + \text{beban B}}{\text{kapasitas Trafo}} \times 100 \% \\ &= \frac{22,1 + 105,39}{160} \times 100 \% = 79,6 \% \end{aligned}$$

4.3 Perhitungan Parameter Saluran

Untuk mengetahui berapa besar resistansi (R_{t2}) pada saat arus maksimum saat beban puncak sebagai berikut:

1. Berdasarkan tabel 5 resistansi untuk penghantar jenis NFA2X 3x70+50mm² atau penghantar jenis LVTC sebesar 0,443 ohm/km pada temperatur 20^o C.
2. Temperatur saat beroperasi waktu beban puncak (WBP) adalah 35^oC.

Dimana tahanan saluran dapat dihitung menggunakan koreksi pada kenaikan temperatur 20^oC – 35^oC dengan menggunakan persamaan 10 dan memakai data pada tabel 5 maka didapatkan hasil:

$$\frac{R_{t2}}{0,443} = \frac{228+35}{228+20} \quad R_{t2} = \frac{0,443 (263)}{248} = 0.46 \Omega/\text{km}$$

Karena jenis dan ukuran penghantar yang digunakan di gardu distribusi I.598 sama, maka R_{t2} yang digunakan pada perhitungan *drop voltage* dan rugi daya setiap jurusan adalah sebesar 0.46 Ω/km .

4.4 Perhitungan drop Voltage dan Rugi Daya Saluran

1. Gardu distribusi I.598 mempunyai 2 Jurusan yaitu Jurusan A dan Jurusan B maka perhitungan *drop voltage* dan rugi daya akan dilakukan pada kedua jurusan tersebut sebelum dilakukannya rencana penambahan jurusan baru.
2. Pada jurusan A memiliki jumlah pelanggan sebesar 40 pelanggan dan jurusan B memiliki jumlah pelanggan sebesar 188 pelanggan yang tersebar untuk setiap titik beban di sepanjang saluran jurusan A dan jurusan B sesuai pada data pelanggan dan gambar 7. Sebelum menghitung *drop voltage* dan rugi daya, dibutuhkan perhitungan arus beban dan impedansi saluran yaitu: perhitungan arus beban saluran. Sebelum perhitungan arus beban di sepanjang saluran jurusan gardu distribusi dilakukan maka dibutuhkan perhitungan arus beban pada setiap titik beban. Perhitungan didapat berdasarkan daya beban terpakai (sebesar 80 % dari total daya beban terpasang) melalui data pelanggan untuk setiap titik beban sesuai gambar 5. Perhitungan Arus Beban per tiap Titik Beban pada Jurusan A. Perhitungan ini dilakukan untuk setiap titik beban sepanjang saluran jurusan A sesuai pada gambar 5 dan daya beban terpakai sesuai data pelanggan jurusan A. sedangkan perhitungan Arus Beban per tiap Titik Beban pada Jurusan B, Perhitungan ini dilakukan untuk setiap titik beban sepanjang saluran jurusan B sesuai pada gambar 5 dan daya beban terpakai sesuai data pelanggan jurusan B. Perhitungan arus beban untuk setiap titik beban pada saluran jurusan A dan B akan dibuat dalam sebuah tabel perhitungan untuk mempermudah perhitungan dan pengamatan seperti pada tabel 8, 9 dan 10 sebagai berikut:

Tabel 8. Perhitungan Arus Beban per tiap titik Beban pada Jurusan A

Titik Beban	Fasa	Jumlah Daya Beban (VA)				Total Daya Beban (VA)	Daya Beban Terpakai (VA)	Arus Beban (A)	Titik Beban	Fasa	Jumlah Daya Beban (VA)				Total Daya Beban (VA)	Daya Beban Terpakai (VA)	Arus Beban (A)
		450	900	1300	2200						450	900	1300	2200			
1	R	0	0	0	0	0	0.00	9	R	0	0	1	0	1300	1040	4.73	
	S	0	0	0	0	0	0.00		S	0	0	0	0	0	0	0.00	
	T	0	0	0	0	0	0.00		T	1	1	0	0	1350	1080	4.91	
2	R	0	2	0	0	1800	1440	6.55	10	R	0	0	0	0	0	0.00	
	S	0	0	0	0	0	0.00	S		2	2	0	0	2700	2160	9.82	
	T	0	0	0	0	0	0.00	T		0	0	0	0	0	0.00		
3	R	0	2	0	0	1800	1440	6.55	11	R	0	0	0	0	0	0.00	
	S	0	0	0	0	0	0.00	S		0	1	0	0	900	720	3.27	
	T	0	0	0	0	0	0.00	T		2	1	0	0	1800	1440	0.00	
4	R	1	1	1	0	2650	2120	9.64	12	R	0	0	0	0	0	0.00	
	S	0	0	0	0	0	0.00	S		0	0	0	0	0	0.00		
	T	0	0	0	0	0	0.00	T		1	1	0	0	1350	1080	4.91	
5	R	2	1	0	0	1800	1440	6.55	13	R	0	0	0	0	0	0.00	
	S	0	0	0	0	0	0.00	S		1	0	0	0	450	360	1.64	
	T	0	1	0	0	1350	1080	4.91		T	0	0	0	0	0	0.00	
6	R	0	1	0	0	900	720	3.27	14	R	0	0	0	0	0	0.00	
	S	0	0	0	0	0	0.00	S		0	0	0	0	0	0.00		
	T	0	1	0	0	900	720	3.27		T	2	1	0	0	1800	1440	6.55
7	R	2	0	0	0	900	720	3.27	15	R	0	0	0	0	0	0.00	
	S	0	0	0	0	0	0.00	S		3	0	0	0	1350	1080	4.91	
	T	1	0	0	0	450	360	1.64		T	0	0	0	0	0	0.00	
8	R	2	0	0	0	900	720	3.27	* Tegangan Ujung 1 Fasa sesuai data pengukuran								
	S	0	0	0	0	0	0.00										
	T	1	0	0	0	450	360	1.64									

Tabel 9. Perhitungan Arus Beban per tiap titik Beban pada Jurusan B (a)

Titik Beban	Fasa	Jumlah Daya Beban (VA)				Total Daya Beban (VA)	Daya Beban Terpakai (VA)	Arus Beban (A)	Titik Beban	Fasa	Jumlah Daya Beban (VA)				Total Daya Beban (VA)	Daya Beban Terpakai (VA)	Arus Beban (A)
		450	900	1300	2200						450	900	1300	2200			
16	R	5	0	0	0	2250	1800	8.26	24	R	0	0	3	0	3900	3120	14.31
	S	3	3	1	1	5350	4280	19.52		S	0	0	2	0	2600	2080	9.56
	T	2	0	0	0	900	720	3.29		T	0	0	0	0	0	0.00	
17	R	2	3	0	0	3600	2880	13.21	25	R	1	1	1	0	2650	2120	9.79
	S	2	3	1	1	7100	5680	25.90		S	0	0	0	0	0	0.00	
	T	1	2	0	0	2250	1800	8.22		T	1	0	0	0	450	360	1.66
18	R	2	4	0	0	4500	3600	16.51	26	R	0	0	0	0	0	0.00	
	S	0	1	1	0	2200	1760	8.03		S	0	0	0	0	0	0.00	
	T	1	2	1	0	3550	2840	12.97		T	4	2	0	0	3600	2880	13.27
19	R	1	1	0	0	1350	1080	4.95	27	R	2	0	0	0	900	720	3.33
	S	2	1	0	0	3100	2480	11.31		S	2	0	0	0	900	720	3.31
	T	1	1	0	0	1350	1080	4.93		T	1	1	0	0	1350	1080	4.98
20	R	0	0	0	0	0	0.00	28	R	2	2	1	0	4000	3200	14.78	
	S	2	0	0	0	900	720		3.28	S	0	0	0	0	0	0.00	
	T	2	4	0	0	4500	3600		3.29	T	0	1	0	0	900	720	3.32
21	R	0	0	0	0	0	0.00	29	R	0	0	2	0	2600	2080	9.61	
	S	2	0	0	0	900	720		6.57	S	1	1	0	0	1350	1080	4.96
	T	2	0	0	0	900	720		4.93	T	0	1	0	0	900	720	3.32
22	R	2	0	0	0	900	720	3.30	30	R	2	0	0	0	900	720	3.33
	S	2	1	0	0	1800	1440	4.92		S	1	0	0	0	450	360	1.66
	T	1	1	0	0	1350	1080	4.93		T	2	0	0	0	900	720	3.32
23	R	2	0	0	0	900	720	3.30	31	R	2	0	0	0	900	720	3.33
	S	1	1	0	0	1350	1080	4.92		S	2	1	0	0	1800	1440	6.62
	T	1	0	0	0	1350	1080	4.93		T	0	1	0	0	900	720	3.32

Tabel 10. Perhitungan Arus Beban per tiap titik Beban pada Jurusan B (b)

Titik Beban	Fasa	Jumlah Daya Beban (VA)				Total Daya Beban (VA)	Daya Beban Terpakai (VA)	Arus Beban (A)	Titik Beban	Fasa	Jumlah Daya Beban (VA)				Total Daya Beban (VA)	Daya Beban Terpakai (VA)	Arus Beban (A)		
		450	900	1300	2200						450	900	1300	2200					
32	R	2	2	0	0	2700	2160	10.00	39	R	1	1	1	0	2650	2120	9.81		
	S	2	0	0	0	900	720				450	360	1.66						
	T	0	1	1	0	2200	1760				8.12	0	0	0	450	360		1.66	
33	R	2	0	1	0	2200	1760	8.06	40	R	2	3	1	0	4900	3920	18.13		
	S	2	0	0	0	900	720				1350	1080	4.99						
	T	1	1	0	1	3550	2840				13.05	0	0	0	0	0.00			
34	R	2	0	0	0	900	720	3.31	41	R	2	0	0	0	900	720	3.33		
	S	2	1	0	0	1800	1440				6.59	1	1	0	0	1350		1080	4.99
	T	1	2	0	0	2250	1800				8.27	2	2	0	0	2700		2160	9.98
35	R	0	0	0	0	0	0	0.00	42	R	0	3	0	0	2700	2160	9.99		
	S	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0.00			
	T	4	0	0	0	1800	1440				6.61	0	0	0	0	0		0.00	
36	R	0	0	1	0	1300	1040	4.78	43	R	1	1	1	0	1350	1080	5.00		
	S	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0.00			
	T	2	0	0	0	900	720				3.31	2	1	0	0	1800		1440	6.65
37	R	2	0	0	0	900	720	3.31	44	R	0	0	2	0	0	0	0.00		
	S	1	1	0	0	1350	1080				4.95	1	0	0	0	450		360	1.66
	T	1	0	0	0	450	360				1.65	1	0	0	0	450		360	1.66
38	R	0	0	0	0	0	0	0.00	*Tegangan Ujung 1 Fasa sesuai dengan data pengukuran										
	S	2	0	0	0	900	720		3.30	T	1	0	0	0	450	360	1.66		
	T	2	0	0	0	900	720		3.31										

4.5 Analisa

Sebelum rencana penambahan jurusan gardu, gardu distribusi I.598 terdapat 2 buah jurusan dengan salah satu jurusan memiliki beban yang cukup besar yaitu pada jurusan B sebesar 105.39 kVA sedangkan jurusan A sebesar 22.1 kVA dengan persentase perbandingan pembebanan yaitu pada jurusan B sebesar 65.86 % sedangkan jurusan A sebesar 13.81 % dari total pembebanan trafo yaitu 79.6 %, hal tersebut dapat menimbulkan kemungkinan terjadinya gangguan beban lebih (*overload*) pada jurusan B jika dibiarkan seiring penambahan beban pelanggan setiap tahunnya. Selain dari itu, besar arus beban pada salah satu fasa pada jurusan B pada tabel 3 memiliki nilai yang hampir mendekati batas Kemampuan Hantar Arus (KHA) kabel jenis NFA2X ukuran 3x70 + 50 mm² yang berdasarkan SPLN 42-10 : 1993 yaitu sebesar 196 A sedangkan arus beban pada Fasa R jurusan sebesar 177 A sehingga sangat berbahaya bila terdapat penambahan beban pada fasa R yang memungkinkan arus beban fasa R melebihi batas KHA kabel LVTC (NFA2X) 3x70 + 50 mm² yang dapat menimbulkan gangguan jaringan tegangan rendah akibat terbakarnya kabel LVTC (NFA2X) 3x70 + 50 mm² dan kerusakan peralatan lain pada gardu distribusi dan jaringan tegangan rendah.

Solusi dari masalah diatas adalah dilakukannya rencana penambahan jurusan gardu distribusi dengan merencanakan penambahan saluran penghantar jurusan baru dan membagi beban dari jurusan B yang memiliki pembebanan yang besar ke jurusan yang baru sehingga beberapa pelanggan pada jurusan B untuk setiap Fasa (R,S,T) akan di pindahkan ke jurusan yang baru (jurusan C dan jurusan D) sesuai dengan rencana pembagian beban pada tabel 8 dan gambar 6 maka beban dari jurusan B akan terbagi dan membuat pembebanan pada jurusan B berkurang sehingga membuat arus beban pada jurusan B setiap fasa R, S, dan T juga akan berkurang maka kemungkinan terjadinya gangguan beban lebih (*overload*) serta penurunan kehandalan kerja peralatan pada gardu distribusi dan jaringan tegangan rendah dapat diminimalisir.

5. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pembahasan yang telah dilakukan didapat kesimpulan bahwa :

1. Pembagian beban salah satu jurusan ke jurusan yang baru pada rencana penambahan jurusan gardu dapat mengurangi pembebanan pada jurusan yang memiliki beban yang sangat besar sehingga kemungkinan terjadinya gangguan beban lebih (*overload*) pada jurusan gardu dapat berkurang sekaligus menjaga keandalan kerja peralatan pada gardu distribusi dan jaringan tegangan rendah.
2. Rencana penambahan jurusan pada gardu distribusi I.598 tidak mengubah total pembebanan pada transformator namun dapat mengurangi beban pada jurusan yang memiliki beban yang lebih besar

dengan perbandingan persentase pembebanan pertiap jurusan saat sebelum dan setelah rencana penambahan jurusan gardu distribusi I.598 sebagai berikut :

Sebelum Rencana :		Setelah Rencana	
Beban Jurusan A	= 13.81%	Beban Jurusan A	= 13.81%
Beban Jurusan B	= 65.86%	Beban Jurusan B	= 29.19%
Total pembebanan Transformator	= 79.6%	Beban Jurusan C	= 22.1%
		Beban Jurusan D	= 21.75%
		Total pembebanan Transformator	= 79.6%

- Salah satu cara untuk mengurangi besar jatuh tegangan (*drop voltage*) dan rugi-rugi daya listrik pada jaringan tegangan rendah adalah melakukan penambahan jurusan gardu dengan melakukan pembagian beban jurusan yang membuat arus beban dan panjang saluran menjadi lebih kecil sehingga besar jatuh tegangan (*drop voltage*) dan rugi-rugi daya listrik pada jaringan tegangan rendah dapat berkurang.

Daftar Pustaka

- [1]. PT. PLN PERSERO. 1987. *SPLN 72: Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR)*. Jakarta
- [2]. Stevenson, William. 1994. *Analisis Sistem Tenaga*. Diterjemahkan oleh Kamal Idris. Jakarta: Erlangga.
- [3]. Kadir, Abdul. 2000. *Distribusi dan Utilasi Tenaga Listrik*. Jakarta : Universitas Indonesia
- [4]. PT. PLN PERSERO. 1985. *SPLN 42-10: Kabel Pilin Udara Tegangan 0,6-1 kV*. Jakarta.
- [5]. Ardiansyah, A. 2010. *Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi Udara 20kV*. Skripsi.tidak diterbitkan.
- [6]. Zuhail. 1992. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [7]. Sitepu, Juliana. 2011. *Studi Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi PLN Ranting Lubuk Pakam*. Tugas Akhir Teknik Elektro Program Strata I Universitas Sumatera Utara. Tidak diterbitkan.
- [8]. Hutauruk, T.S. 1996. *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta : Erlangga.
- [9]. PT. PLN Pusat Pendidikan dan Pelatihan. 2010. *Teknik Listrik Terapan*. BukuPelatihan. Tidak diterbitkan.
- [10]. Pabla. A. S. 1991. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Jakarta : Erlangga