

# Tegangan Jatuh Jaringan Distribusi pada Penyulang Takar Tegangan Menengah 20 KV Gardu Induk Pondok Kelapa PT.PLN (Persero) Rayon Bantar Gebang

Andri Ridwan<sup>1</sup>, Andi Hasad<sup>2</sup>, Muhammad Ilyas Sikki<sup>3</sup>  
 Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam “45” Bekasi  
<sup>1</sup>)q2.pdkb@gmail.com, <sup>2</sup>)andihasad@yahoo.com

## Abstrak

Penelitian ini membahas mengenai pengaruh arus, jarak, diameter dan jenis penghantar yang terjadi pada sistem distribusi jaringan tegangan menengah terhadap tegangan jatuh pada penyulang takar di PT.PLN (Persero) Rayon Bantar Gebang. Perhitungan tegangan jatuh dilakukan pada tiap-tiap segmen penghantar utama dan dibagi menjadi beberapa skenario berdasarkan jenis dan diameter penghantar. Metode analisis yang digunakan adalah analisis deskriptif dengan distribusi frekuensi, dimana dapat dilihat bahwa peningkatan nilai tegangan jatuh yang terjadi pada penyulang takar akan semakin besar akibat perubahan nilai arus, jarak dan diameter penghantar. Dari hasil perhitunganyang dilakukan, diketahui bahwa tegangan jatuh yang terjadi pada skenario 1 kondisi nyata penyulang takar dengan penghantar *All Alluminium Alloy Conductor* 150 sebesar 1,3 kV atau 6,7 persen, paling besar terjadi pada skenario 2 sebesar 2.3 kV atau 11.5 persen dan yang paling rendah pada skenario 3 sebesar 0.6 kV atau 3 persen, maka dengan menggunakan skenario 3 penghantar *All Alluminium Alloy-Solation* 150 dapat menekan besarnya jatuh tegangan menjadi 0.6 kV meskipun dalam keadaan beban puncak maksimal.

**Kata Kunci:** *tegangan jatuh, gardu induk, penghantar, penyulang takar*

## Abstract

*This research discusses the influence of currents, distances, diameters and types of conductors that occur in the medium voltage network distribution system to the drop voltage on the measuring beam at PT. PLN (Persero) Rayon Bantar Gebang. Calculation of the drop voltage is performed on each main delivery segment and divided into several scenarios based on the type and diameter of the conductor. The analytical method used is descriptive analysis with a frequency distribution, which can be seen that the increase in the value of the voltage drop (drop voltage) that occurs in the measuring beam will be greater due to changes in current value, distance and diameter of the conductor. From the results of calculations performed, it is known that the voltage drop that occurs in scenario 1 the real condition of the measuring beam with the conductor of the All Alluminium Alloy Conductor 150 of 1.3 kV or 6.7 percent, the greatest occurred in scenario 2 of 2.3 kV or 11.5 percent and the lowest in scenario 3 is 0.6 kV or 3 percent, then using scenario 3 introducing the All Alluminium Alloy-Solation 150 can reduce the amount of drop voltage to 0.6 kV even in the maximum peak load.*

**Keywords:** *substation, drop voltage, conductor, measuring rod*

## PENDAHULUAN

Dewasa ini energi listrik sudah menjadi salah satu kebutuhan primer dan mempunyai peran yang sangat penting dalam kehidupan masyarakat, oleh karena itu, keandalan sistem penyaluran energi listrik menjadi sangat penting. PT. PLN (*Persero*) sebagai pihak yang bertanggung jawab terhadap hal itu berupaya agar keandalan sistem penyaluran tetap terjaga [1].

Salah satu persyaratan keandalan sistem penyaluran energi listrik yang harus dipenuhi adalah kualitas tegangan yang baik dan stabil, karena meskipun kelangsungan catu daya dapat diandalkan, namun belum memungkinkan untuk mempertahankan tegangan yang diterima pelanggan tetap sama dengan tegangan yang dikirim dari pusat tenaga listrik. Pada suatu sistem penyaluran sistem tenaga listrik, baik memakai sistem transmisi, sub transmisi maupun distribusi, kemungkinan besar akan terjadi tegangan jatuh (*drop voltage*) dan *losses*. Tegangan jatuh dapat terjadi akibat nilai arus, nilai impedansi dan panjangnya penghantar yang mempunyai tahanan [2].

## METODE PENELITIAN

### Komponen Penghantar Jaringan Distribusi Primer

Penghantar ialah suatu benda yang berbentuk logam ataupun non-logam yang bersifat konduktor atau dapat mengalirkan arus listrik dari satu titik ke titik yang lain, Pilihan konduktor penghantar telanjang yang memenuhi pada dekade ini adalah *All Alloy Conductor (AAC)* atau *All Aluminium Alloy Conductor (AAAC)*. Sebagai akibat tingginya harga tembaga dunia, saat ini belum memungkinkan penggunaan penghantar berbahan tembaga sebagai pilihan yang baik jaringan [3]. Konduktor dengan bahan utama tembaga (*Cu*) atau *aluminium (Al)* yang dipilin bulat padat (*SPLN 42 : 1986 dan 74 : 1987*). Contohnya adalah *BC (Bare Conductor)*, Penghantar Berlubang (*Hollow Conductor*), *ACSR (Alluminium conductor Steel Reinforced)* dan *ACAR (Alluminium Conductor Alloy Reinforce)* [4].

### Tiang Penyangga

Tiang penyangga berfungsi sebagai penyangga saluran udara jaringan distribusi dan mempunyai kekuatan mekanis yang cukup untuk menahan tarikan dan beban dari penghantar itu sendiri agar tetap aman pada jarak yang diperbolehkan.

### Isolator

Isolator adalah komponen yang memisahkan antara jaringan bertegangan dengan komponen yang tidak bertegangan atau tanah (*ground*). Isolator juga sebagai penopang penghantar pada tiang-tiang listrik yang digunakan untuk memisahkan dua kawat atau lebih secara elektrik agar tidak terjadi kebocoran arus (*leakage current*) atau loncatan bunga api (*flash over*) sehingga menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem [5].

### Trafo Distribusi

Trafo distribusi adalah peralatan pada tenaga listrik yang berfungsi memindahkan /menyalurkan tenaga listrik tegangan menengah ketegangan rendah atau sebaliknya, sedangkan prinsip kerjanya melalui kopling magnetik atau induksi magnetik [6].

### Peralatan Hubung

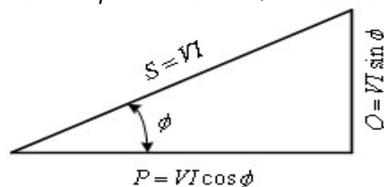
Pada jaringan saluran udara tegangan menengah digunakan juga peralatan hubung (*switching*) untuk optimasi operasi distribusi dan sesuai karakteristiknya peralatan hubung dapat dibedakan atas:

- Pemisah (*Disconnecting switch* = Peralatan pada jaringan menengah 20 kV yg berfungsi sebagai penghubung dan pemutus tegangan akan tetapi tidak bisa dioperasikan dalam keadaan berbeban.
- Pemutus Beban (*Load Break Switch = LBS*)
- Peralatan pada jaringan menengah 20 kV yg berfungsi sebagai penghubung dan pemutus tegangan akan tetapi bisa dioperasikan dalam keadaan berbeban [7].

### Daya Aktif

Energi ini dinyatakan dengan simbol *P* dengan satuan *Watt* atau *kW*. Energi aktif ini diperlukan untuk diubah kedalam bentuk energi lain, misalnya: energi panas, cahaya, dan sebagainya. Besar dari daya aktif ini, dinyatakan dengan rumus (1).

$$P = V.I.\cos \phi \text{ atau } P = \sqrt{3}.U.I.\cos \phi \quad (1)$$



Gambar 2. Segitiga Daya

Dimana  $P$  = Daya nyata (Watt)  
 $U$  = Tegangan 3 $\phi$  (Volt)  
 $V$  = Tegangan 1 $\phi$  (Volt)  
 $\cos \varphi$  = Faktor daya  
 $I$  = Arus (Ampere)

### Daya Reaktif

Energi reaktif dinyatakan dengan simbol  $Q$  dengan satuan  $VAR$  (Volt Ampere Reaktif) atau  $kVAR$ . Jenis energi ini diperlukan untuk keperluan pembentukan medan magnet pada peralatan yang bekerja dengan system elektromagnet. Besar dari daya reaktif ini, dinyatakan dengan rumus (2).

$$Q = V.I \sin \varphi \text{ atau } Q = \sqrt{3} U.I. \sin \varphi \quad (2)$$

Dimana  $Q$  = Daya nyata (Watt)  
 $\sin \varphi$  = Faktor kerja untuk daya reaktif

### Daya Nyata

Daya nyata adalah daya yang terbentuk dari daya aktif dan reaktif, daya ini dinyatakan dengan simbol  $S$  dengan satuan (VoltAmpere/VA). Daya nyata ini merupakan penjumlahan vektor dari daya aktif dan reaktif. Hubungan dari ketiga jenis daya ditunjukkan pada (3).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3)$$

### Faktor Daya

Faktor daya ( $\cos \varphi$ ) merupakan sudut yang terbentuk antara daya nyata  $S$  dan daya aktif  $P$ . Hubungan antara kedua jenis daya dengan factor daya ini, dapat ditentukan dari rumus persamaan daya aktif dan rumus persamaan daya nyata [8]. Kedua persamaan ini membentuk persamaan (4).

$$P = S. \cos \varphi \text{ sehingga } \cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (4)$$

### Tegangan Jatuh

Tegangan jatuh adalah besarnya tegangan yang diakibatkan oleh arus yang mengalir pada suatu media yang mempunyai impedansi. Untuk sistem arus searah besarnya jatuh tegangan sama dengan arus yang dikalikan resistansi hantaran tersebut, sedangkan pada saluran arus bolak-balik besarnya tegangan jatuh merupakan fungsi dari arus beban dan kosinus sudut impedansi dari beban. Pada distribusi primer jatuh tegangan sebagian besar terjadi pada saluran dan transformator. Oleh karena itu dalam perencanaan sistem harus di pilih saluran dan transformator yang bisa menghantarkan arus beban tanpa menyebabkan tegangan jatuh yang berlebihan dan dengan temperatur suhu yang aman [9]. Rumus perhitungan tegangan jatuh:

a. Beban diujung dan seimbang

$$\Delta V = \left( \frac{S * L * (R * \cos \varphi + X * \sin \varphi) * 100}{(KVLL)^2} \right) \quad (5)$$

b. Beban ditengah dan diujung seimbang

$$\Delta V = \left( \frac{S * L * (R * \cos \varphi + X * \sin \varphi) * 0.75 * 100}{(KVLL)^2} \right) \quad (6)$$

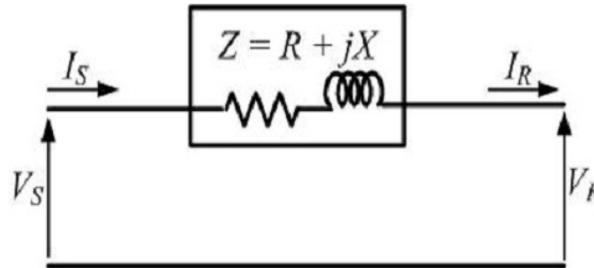
c. Beban merata dan seimbang

$$\Delta V = \left( \frac{S * L * (R * \cos \varphi + X * \sin \varphi) * 0.50 * 100}{(KVLL)^2} \right) \quad (7)$$

Dimana

- S = Daya Tersalurkan (MVA)
- L = Panjang Saluran (Km)
- R = Resistansi Penghantar (Ohm)
- X = Reaktansi Induktif Penghantar (Ohm)
- $\cos \varphi$  = Faktor Daya
- KVLL = Tegangan *Line To Line* (kV)

Rumus 5, 6 dan 7 memberikan hubungan antara tegangan jatuh  $\Delta V$ , P dan panjang penghantar L dengan kondisi beban berada pada pertengahan dan ujung penghantar dengan kondisi yang seimbang [10].



Gambar 3. Model Saluran Distribusi

Dari segitiga impedansi yang ditunjukkan pada Gambar 2, maka faktor daya beban untuk tegangan jatuh maksimum dapat dihitung dengan persamaan (8) dengan  $\cos \varphi$  maksimal pada (9) dan prosentase tegangan jatuh pada tegangan menengah dapat dihitung dengan (10).

$$PF = \cos \varphi \max = \frac{R}{(R^2 + X^2)^{1/2}} \quad (8)$$

$$\cos \varphi \max = \cos \left( \tan^{-1} \frac{X}{R} \right) \quad (9)$$

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_S} \cdot 100\% \quad (10)$$

Dimana:

$\Delta V$  = Tegangan Jatuh (kV)

$V_S$  = Tegangan Sumber (kV)

Penelitian dilaksanakan di PT.PLN (Persero) Rayon Bantar Gebang selama 3 (tiga) bulan, untuk mengetahui korelasi antara pengaruh panjang, jenis dan diameter penghantar terhadap tegangan jatuh yang terjadi. Penelitian tersebut dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu tahapan studi literatur dan pengumpulan data yang meliputi wawancara dan observasi.

### Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara wawancara (*interview*) dan observasi lapangan untuk mendukung penelitian ini. Wawancara (*interview*) dilaksanakan untuk mengetahui dan mendapatkan data informasi mengenai beban puncak saluran, panjang saluran, jumlah gardu, dan diagram satu garis (*single line diagram*) yang dilakukan terhadap management dan pegawai PT.PLN (*Persero*) Rayon Bantar Gebang. Sedangkan observasi dilaksanakan di PT.PLN (*Persero*) Rayon Bantar Gebang yang memiliki 28 penyulang jaringan tegangan menengah, dari 28 penyulang tersebut 6 diantaranya memakai konstruksi hantaran udara dimana pada salah satunya menjadi objek penelitian dan 22 penyulang lainnya memakai konstruksi bawah tanah yang dipasok dari 4 Gardu Induk (*GI*) yang berbeda.

Data dan informasi tersebut didapatkan dari pegawai dan *management* PT.PLN (*Persero*) Rayon Bantar Gebang tempat dimana lokasi penelitian dilaksanakan. Data yang dibutuhkan sebagai bahan dari penelitian tegangan jatuh yang terjadi pada saluran utama (*main line*) adalah:

- a. Diagram Satu Garis (*Single Line Diagram*).

- b. Panjang Penghantar ( $KM$ ).
- c. Jenis Penghantar.
- d. Diameter Penghantar ( $mm^2$ ).
- e. Beban Puncak Saluran Tegangan Menengah ( $A$ ).
- f. Beban Puncak Gardu Distribusi ( $A$ ).
- g. 80% Beban Gardu Distribusi ( $A$ ).
- h. Jumlah Gardu Distribusi.
- i.  $\cos \varphi$ .
- j.  $\sin \varphi$ .
- k. Resistansi Penghantar ( $R$ ).
- l. Reaktansi Penghantar ( $XL$ ).

### Perhitungan Tegangan Jatuh

Perhitungan tegangan jatuh dilakukan untuk mengetahui selisih antara tegangan kirim (gardu induk) dengan tegangan terima (ujung penghantar) berdasarkan pengaruh panjang, jenis dan diameter penghantar pada penyulang takar. Beberapa data yang dibutuhkan antara lain data panjang jaringan, data diameter penghantar, data jenis penghantar, data beban puncak gardu, data beban puncak saluran dan resistansi penghantar. Setelah mendapatkan data-data tersebut dilakukan proses perhitungan tegangan jatuh ( $V_d$ ) dan prosentasenya dilakukan lalu hasil perhitungan disajikan dalam bentuk grafik.

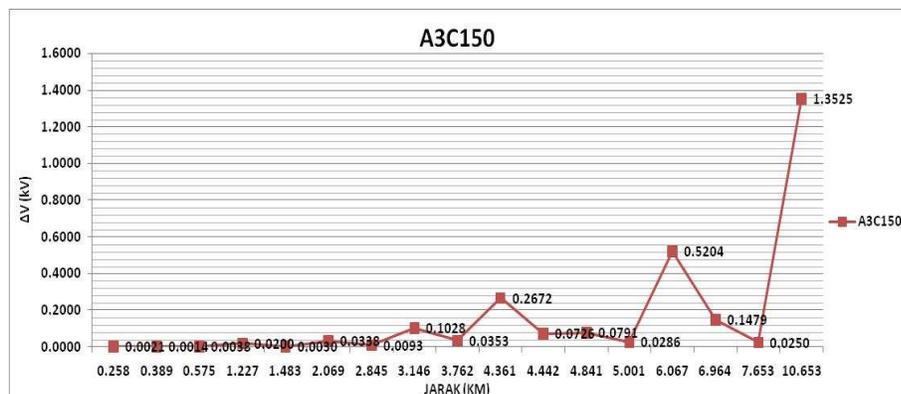
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan dibagi menjadi beberapa skenario, yaitu berdasarkan jenis dan diameter penghantarnya dengan memakai persamaan 7,  $\cos \varphi$  sama dengan 0.9 dan  $\sin \varphi$  sama dengan 0.4, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1.

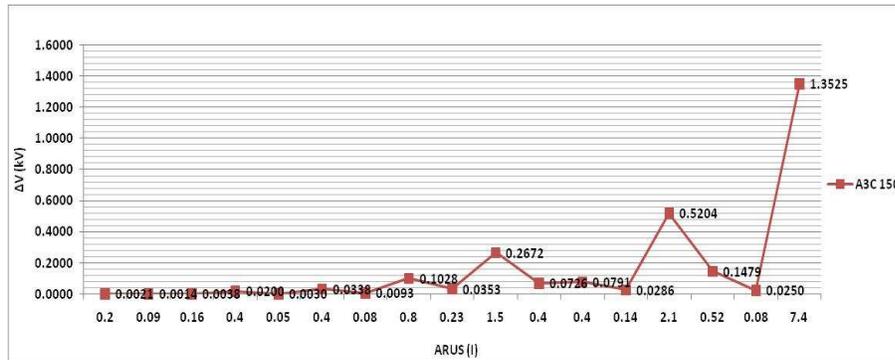
Tabel 1 Skenario Perhitungan

| Skenario   | Penghantar | Keterangan              |
|------------|------------|-------------------------|
| Skenario 1 | AAAC 150   | Kondisi Nyata Penyulang |
| Skenario 2 | AAAC 70    | Simulasi                |
| Skenario 3 | AAACS 150  | Simulasi                |
| Skenario 4 | AAACS 70   | Simulasi                |

Berdasarkan data arus dan panjang penghantar yang telah didapatkan dari hasil observasi pada Tabel 1, maka perhitungan pada kondisi nyata penghantar menunjukkan hasil tegangan jatuh (*drop voltage*) yang terjadi dapat dilihat dalam grafik pada Gambar 5 dan 6.



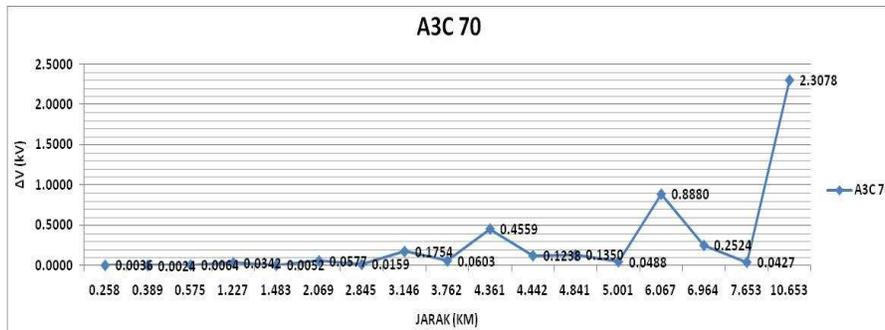
Gambar 5 Grafik Tegangan Jatuh (*Drop Voltage*) Skenario 1 Penghantar AAAC 150 ( $\Delta V$ / Jarak).



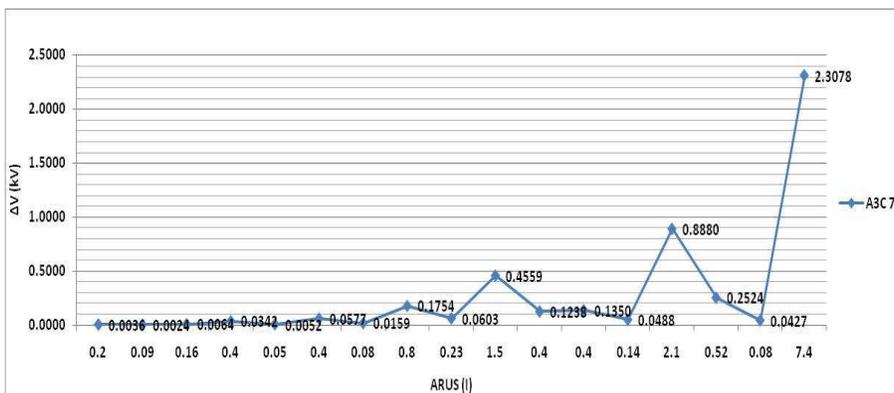
Gambar 6. Grafik Tegangan Jatuh (*Voltage Drop*) Skenario 1 Penghantar AAAC 150 ( $\Delta V$ / Arus)

**Hasil Tegangan Jatuh (*Drop Voltage*) dengan Simulasi Penghantar**

Untuk mengetahui pengaruh jenis dan diameter penghantar terhadap tegangan jatuh (*voltage drop*) maka dilakukan perhitungan berdasarkan data arus dan panjang yang telah didapatkan, sesuai dengan simulasi penghantar yang berbeda pada masing-masing skenario yang telah ditentukan. Perhitungan dilakukan sebagai bahan perbandingan terhadap tegangan jatuh yang terjadi pada kondisi nyata penyulang. Grafik pada Gambar 7 dan 8 adalah hasil perhitungan simulasi penghantar sesuai dengan masing-masing skenario.



Gambar 7. Grafik Tegangan Jatuh (*Voltage Drop*) Skenario 2 Penghantar AAAC70( $\Delta V$ / Jarak).



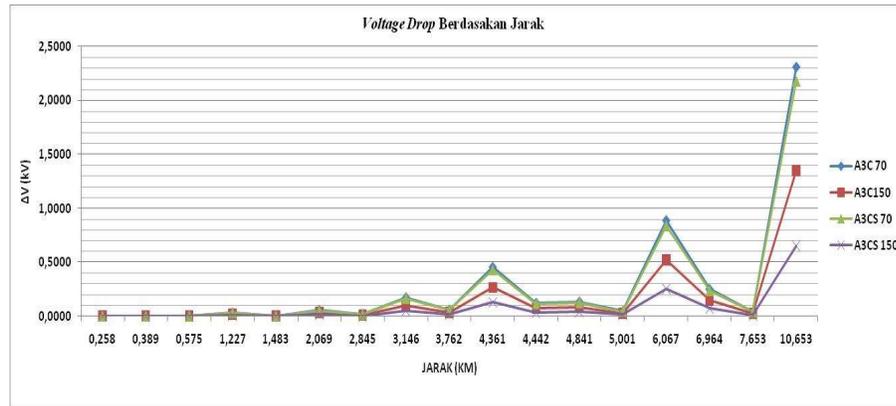
Gambar 8. Grafik Tegangan Jatuh (*Voltage Drop*) Skenario 2

**Penghantar AAAC70 ( $\Delta V$ / Arus)**

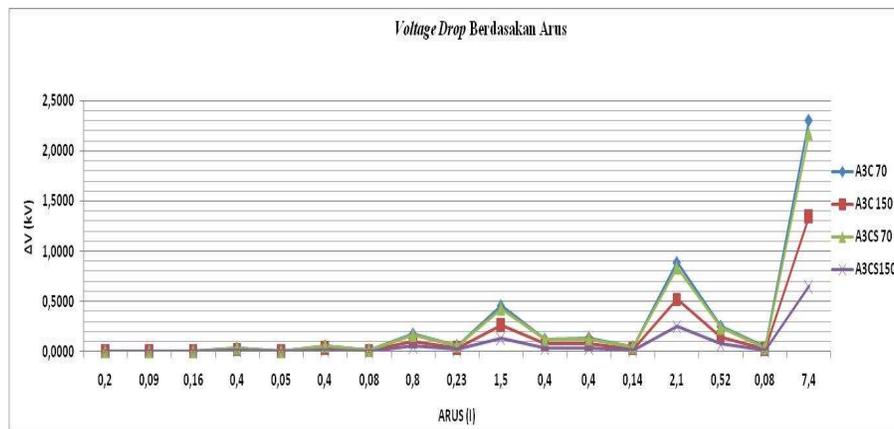
Hasil perhitungan dan grafik kondisi nyata penyulang takar besar tegangan jatuh yang terjadi adalah sebesar 1.3 kV atau 6.7 persen lebih besar, berdasarkan hasil pengukuran dengan *voltstick* sebesar 1 kV atau 5 persen dari tegangan sumber yaitu 20 kV. Perbedaan tersebut disebabkan karena perhitungan hanya dilakukan pada saluran utama (*main line*) dan dengan arus maksimal sedangkan pada kondisi nyata hasil pengukuran

tegangan jatuh menggunakan *volsick* mempunyai tingkat error sebesar 0.5 persen dengan fluktuasi arus beban terjadi pada waktu-waktu tertentu [11].

Untuk mengetahui perbedaan antara pengaruh diameter dan jenis penghantar terhadap tegangan jatuh yang terjadi maka dilakukan perhitungan dengan simulasi pada masing-masing diameter penghantar dengan skenario seperti Grafik 9 dan 10.



Gambar 9. Grafik Hasil Tegangan Jatuh Pada Setiap Skenario ( $\Delta V$ / Jarak)



Gambar 10. Grafik Hasil Tegangan Jatuh Pada Setiap Skenario ( $\Delta V$ / Arus)

Dari hasil-hasil perhitungan bahwa tegangan jatuh tetap dipengaruhi oleh arus, panjang penghantar, diameter dan jenis penghantar hal ini dapat dilihat pada grafik diatas dimana tegangan jatuh (*drop voltage*) yang paling besar terjadi pada skenario 2 sebesar 2.3 kV atau 11.5 persen dan yang paling rendah pada skenario 3 sebesar 0.6 kV atau 3 persen. Hasil perhitungan untuk masing-masing skenario dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Total Tegangan Jatuh Pada Setiap Skenario

| Skenario   | Penghantar | Total ( $\Delta V$ ) | Total % |
|------------|------------|----------------------|---------|
| Skenario 1 | AAAC 150   | 1.3 kV               | 6.7%    |
| Skenario 2 | AAAC 70    | 2.3 kV               | 11.5%   |
| Skenario 3 | AAACS 150  | 0.6 kV               | 3%      |
| Skenario 4 | AAACS 70   | 2.1 kV               | 10.8%   |

Berdasarkan Tabel 2, maka dengan menggunakan skenario 3 penghantar *AAACS* 150, dapat menekan besarnya jatuh tegangan menjadi 0.6 kV dibandingkan kondisi nyata penyulang takar pada skenario 1, dengan penghantar *AAAC* 150 sebesar 1.3 kV, meskipun dalam keadaan beban puncak. Mengacu kepada SPLN 1:1978, dimana terdapat variasi tegangan pelayanan akibat perubahan beban, yaitu maksimum + 5% dan

minimum – 10% dari tegangan minimal, maka tegangan jatuh yang terjadi pada kondisi nyata penyulang takar dengan penghantar *AAAC* 150 dalam standar yang telah ditentukan yaitu sebesar 18.7 kV.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Besaran nilai tegangan jatuh diakibatkan dan dipengaruhi oleh nilai arus, panjang penghantar dan nilai resistansi penghantar itu sendiri.
2. Hasil perhitungan tegangan jatuh dalam kondisi nyata penyulang masih dalam standar deviasi tegangan yaitu 1.3 kV atau 6.7 persen dari tegangan kirim sesuai dengan SPLN 1:1978.
3. Hasil perhitungan tegangan jatuh yang terbesar terjadi pada skenario 2 sebesar 2.3 kV atau 11.5% dan yang terkecil terjadi pada skenario 3 sebesar 0.6 kV atau 3%.

### Saran

Untuk menjaga kualitas tegangan pada penyulang takar agar tetap pada standar yang telah ditentukan sesuai SPLN 1:1978 maka perlu dilakukan perbaikan antara lain dengan cara:

1. Melakukan pergantian penghantar pada seluruh jaringan tegangan menengah 20 kV dengan penghantar yang berdiameter lebih besar dan mempunyai nilai resistansi yang lebih kecil terutama pada jaringan utama.
2. Melakukan pemotongan beban pada jaringan tegangan menengah 20 kV agar nilai arus dan jarak penghantar semakin kecil.
3. Merubah *tap changer* pada masing-masing trafo distribusi dengan cara menaikkan atau menurunkan posisi tap changer sehingga kualitas tegangan terpenuhi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] PLN. Buku 1. 2010. Kriteria Desain Enjinereng Konsrtuksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik. Jakarta: PT. PLN (Persero).
- [2] Suhadi. 2008. Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1. Jakarta: Depdiknas
- [3] Petruzella F.D. 2001. *Elektronik Industri*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- [4] PLN. Buku 5. 2010. Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik. Jakarta: PT. PLN (Persero).
- [5] Tooley M. 2006. *Electronic Circuit Fundamental and Applications*. Third Edition. Britain: Elsevier Ltd.
- [6] Hayt W. H., Kemmerly J. E., Durbin S. M. 2005. *Rangkaian Listrik*. Jilid 1. Edisi Keenam. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [7] Linsley T. 2008. *Advanced Electrical Installation Work*. Fifth Edition. Great Britain: Elsevier Ltd.
- [8] Dunn P. F. 2010. *Measurement And Data Analysis For Engineering And Science*. United States Of America: CRC Press
- [9] Muchyi A. 2009. Studi Perkiraan Susut Energi dan Alternatif Perbaikan Pada Penyulang Leci Di Gardu Induk Jababeka. Skripsi. Universitas Indonesia
- [10] Hakiki I. 2011. Analisa Drop Tegangan Pada Feeder Setapak Tegangan Menengah 20 kV Di Gardu Induk Sei-Wei PT PLN (Persero) Cabang Singkawang.
- [11] Setyawan A. 2012. Analisis Susut Energi Pada Konduktor Jaringan Tegangan Menengah Berbasis Bentuk Kurva Beban Harian. Skripsi. Universitas Indonesia.