

Analysis of the Use of Insulated Conductors on 20 kV Primary Distribution Channels

Analisa Penggunaan Penghantar Berisolasi pada Saluran Distribusi Primer 20 kV

Ida Ernawati ¹

¹Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pwiyatan Daha, Kediri

E-mail: *idaernawati196952@gmail.com

Abstract – Efforts to increase the quantity and quality of electrical energy and its services to consumers need to be considered. One of the efforts made is to minimize the disturbances and losses that often occur on the distribution side by considering the use of insulated conductors on the 20 kV primary distribution line. Thus, the lost energy can be suppressed. This study analyzes the use of primary distribution ducts for AAAC conductors (bare conductors) and AAAC-OC conductors (insulated conductors). From this analysis, the voltage loss for the AAAC type conductor is 0.272.I volt and the voltage loss for the AAAC-OC type conductor is 0.184.I volt. So that the dielectric loss of the AAAC type conductor is 14.872 Watt/km and the dielectric loss of the AAAC-OC type conductor is 1.536 Watt/Km.

Keywords — primer distribution, power loss, wired

Abstrak – Seiring dengan bertambahnya kebutuhan energi listrik, baik pada sektor rumah tangga, komersial, maupun publik, maka usaha peningkatan kuantitas dan kualitas energi listrik serta pelayanannya kepada konsumen perlu mendapat pertimbangan. Salah satu usaha yang dilakukan adalah dengan memperkecil gangguan dan kerugian yang sering terjadi pada sisi pendistribusian dengan mempertimbangkan penggunaan penghantar berisolasi pada saluran distribusi primer 20 kV. Dengan demikian energi yang hilang dapat ditekan. Penelitian ini menganalisa tentang pemakaian saluran udara distribusi primer penghantar jenis AAAC (penghantar telanjang) dan penghantar jenis AAAC-OC (penghantar berisolasi). Dari Analisa tersebut, diperoleh hasil rugi tegangan untuk penghantar jenis AAAC sebesar 0,272.I volt dan rugi tegangan untuk penghantar jenis AAAC-OC sebesar 0,184.I volt. Sehingga rugi dielektrik penghantar jenis AAAC sebesar 14,872 Watt/Km dan rugi dielektrik penghantar jenis AAAC-OC sebesar 1,536 Watt/Km.

Kata Kunci — distribusi primer, penghantar, rugi daya

1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik merupakan sistem yang terdiri dari pembangkit tenaga listrik, transmisi dan distribusi daya listrik kepada konsumen [1], [2]. Untuk menyalurkan daya listrik dari sumber daya ke pusat-pusat beban pada saluran distribusi primer digunakan saluran udara atau saluran bawah tanah. Saluran distribusi primer ini direntangkan sepanjang daerah yang akan diberi daya listrik sampai pada pusat beban ujung akhir, umumnya digunakan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Tingkat tegangan yang digunakan pada saluran distribusi primer meliputi tegangan 3 kV, 6 kV atau 20 kV dan biasanya disebut sistem distribusi tegangan menengah. Di Jawa Timur, sistem distribusi primer memiliki tegangan 6 kV dan 20 kV, dimana tegangan 6 kV nantinya secara berangsur-angsur akan direhabilitasi menjadi tegangan 20 kV [3].

Pada sisi distribusi primer tidak lepas dengan adanya gangguan yang mengakibatkan terhentinya pelayanan kepada pelanggan perlu mendapat perhatian. Dari jenis gangguan yang ada pada saluran distribusi udara bebas, pada umumnya disebabkan karena sentuhan pohon, petir, kegagalan atau kerusakan peralatan dan jaringan, manusia, hujan dan cuaca, binatang, benda-benda asing, keadaan alam sekitar, misalkan berpolusi dan berkadar garam tinggi. Penggunaan saluran udara/penghantar berisolasi bisa menjadi alternatif untuk menekan sekecil mungkin kerugian yang terjadi [4]. Gangguan pada sistem distribusi 20 kV menurut sifatnya dibagi menjadi dua kelompok, yaitu gangguan yang bersifat temporer yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat dibagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan yang kedua yaitu gangguan yang bersifat permanen bisa menyebabkan sistem menjadi terputus. Dimana untuk membebaskannya maka diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan gangguan tersebut. Gangguan yang bersifat temporer jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun kurang baiknya sistem kerja peralatan pengaman dapat berubah menjadi gangguan yang bersifat permanen dan menyebabkan sistem terputus. Prosentase gangguan yang terjadi pada saluran mencapai 70% - 80% dari seluruh jenis gangguan. Prosentase gangguan yang dibentangkan di udara bebas dan umumnya tidak memakai isolasi pembungkus karena pertimbangan ekonomis, maka jelas gangguannya lebih banyak terjadi jika dibandingkan dengan saluran distribusi yang ditanam dalam tanah yang menggunakan isolasi pembungkus.

Analisa tentang pengujian pada sistem distribusi primer 20 kV telah dilakukan [5]–[8]. Saluran/penghantar yang bagaimanakah yang bisa menggantikan fungsi penghantar distribusi primer 20 kV. Dalam hal ini pertimbangannya ada pada beberapa hal, yakni seberapa besar kapasitas daya saluran, rugi daya saluran, rugi tegangan dan juga rugi daya dielektriknya.

Dalam penelitian ini melakukan kajian untuk menganalisa tentang pemakaian saluran udara distribusi primer pada penghantar jenis AAAC (penghantar telanjang) dan penghantar jenis AAAC-OC (penghantar berisolasi). AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*) terbuat dari kawat-kawat aluminium campuran yang dipilin bulat untuk saluran udara Tegangan Rendah (TR) maupun Tegangan Menengah (TM) [9]. Penghantar saluran udara jenis AAAC-OC ini adalah penghantar udara jenis aluminium paduan yang berselubung polietilen ikat silang (XLPE) dan dipakai untuk sistem tegangan menengah sampai dengan 20 KV [10]. Dari kajian pada penelitian ini diharapkan dapat mengetahui perbandingan harga tahanan saluran, impedansi saluran, kapasitas daya, rugi tegangan dan rugi dielektrik pada penghantar jenis AAAC dan penghantar jenis AAAC-OC.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini berupa kajian teoritis untuk melakukan analisa tentang pemakaian penghantar jenis AAAC dan penghantar jenis AAAC-OC pada saluran udara distribusi primer. Metode yang dilakukan yaitu melakukan studi literatur berupa mempelajari referensi yang terkait dengan topik penelitian ini. Selanjutnya menganalisa pemakaian saluran udara distribusi primer penghantar jenis AAAC dan penghantar jenis AAAC-OC. Data penghantar yang digunakan pada penelitian ini disajikan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Data Penghantar Jenis AAAC dan Penghantar Jenis AAAC-OC Yang Digunakan

Jenis Penghantar	AAAC	AAAC-OC
Luas Penghantar (mm ²)	150	150
Jumlah Penghantar (buah)	37	37
Diameter Penghantar (mm)	2.25	2.25
Tahanan DC pada Suhu 20° (Ω/Km)	0.225	0.124

Dari data yang disajikan oleh Tabel 1 dilakukan perhitungan untuk memperoleh hasil perbandingan harga tahanan saluran, impedansi saluran, kapasitas daya, rugi tegangan dan rugi dielektrik pada penghantar jenis AAAC dan penghantar jenis AAAC-OC.

2.1. Faktor Beban dan Faktor Rugi

2.1.1. Faktor Beban

Beban yang dipikul oleh suatu pusat pembangkit tenaga listrik dalam rangka memenuhi kebutuhan energi ditentukan oleh cara pemakaian dari masing-masing pemakai. Cara pemakaian ini akan memberikan besar beban tertentu pada suatu saat, biasanya dinyatakan dengan perbandingan yang disebut dengan faktor beban (*Load Factor*) [11]. Tiap-tiap pemakai akan mempunyai karakteristik beban dan faktor bebannya masing-masing untuk suatu jangka waktu tertentu. Faktor beban ini berguna untuk menentukan besarnya faktor rugi-rugi yang kemudian berguna untuk menentukan besarnya faktor rugi-rugi yang kemudian berguna untuk menentukan rugi-rugi jaringan [1]. Faktor beban merupakan perbandingan antara beban rata-rata selama suatu periode tertentu dengan beban rata-rata selama periode tersebut, atau dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah energi yang benar-benar digunakan terhadap jumlah energi yang digunakan pada kebutuhan maksimum, dan dapat ditulis menjadi Persamaan 1 [12].

$$\text{Faktor Beban (Fb)} = \frac{\text{Energi yang digunakan}}{\text{Kebutuhan max. energi terus-menerus pada jangka waktu tertentu}} \dots\dots\dots (1)$$

Berdasarkan Persaman 1, maka perhitungan faktor beban untuk satu tahun atau 8.760 jam menggunakan Persamaan 2.

$$\text{Faktor Beban (Fb)} = \frac{\text{Energi yang digunakan rata-rata}}{\text{Energi beban puncak} \times 8760 \text{ jam}} \dots\dots\dots (2)$$

2.1.2. Faktor Rugi

Faktor rugi (*Loss Factor*) merupakan parameter penting dalam mengevaluasi rugi-rugi jaringan. Faktor rugi adalah perbandingan antara rugi rata-rata dalam kWh yang terjadi selama periode waktu tertentu dengan rugi beban puncak [1], atau dapat diartikan sebagai perbandingan antara jumlah energi yang hilang rata rata selama periode waktu tertentu dengan jumlah daya yang hilang pada saat beban maksimum dan dengan jumlah jam periode tersebut. Sehingga faktor rugi dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.

$$\text{Faktor Rugi (Fr)} = \frac{\text{Rugi daya rata-rata}}{\text{Rugi daya beban puncak}} \dots\dots\dots (3)$$

Berdasarkan Persaman 3, maka perhitungan faktor rugi untuk periode satu tahun atau 8.760 jam dihitung menggunakan Persamaan 4.

$$\text{Faktor Rugi (Fr)} = \frac{\text{Energi yang hilang rata-rata}}{\text{Rugi daya beban puncak} \times 8760 \text{ jam}} \dots\dots\dots (4)$$

Untuk faktor beban (*load factor*) yang telah diketahui, maka faktor rugi dihitung dengan mempergunakan rumus empiris seperti yang disajikan oleh Persaman 5 sebagai berikut.

$$Fr = k \cdot Fb + (1 - k)Fb^2 \dots\dots\dots (5)$$

2.2. Saluran Udara Tegangan Menengah Berisolasi

2.2.1. Konstruksi

Konstruksi saluran udara tegangan menengah berisolasi mempengaruhi kemampuan membawa arus kontinu. Konstruksi saluran udara tegangan menengah berisolasi terdiri dari hantaran/inti (*Conductor*) dan isolasi (*Insulation*) [13].

2.2.1.1. Hantaran

Dilihat dari inti hantaran, saluran udara tegangan menengah berisolasi ini dibedakan menjadi dua bagian, yaitu yang berinti tunggal (*single core*) dan yang berinti banyak (*multi-core*). Setiap inti merupakan hantaran, dan bahan hantaran yang banyak digunakan adalah [14]:

- a. *Copper*, yaitu kawat *copper* polos (*Plain Wire*) atau kawat *copper* berlapis putih (*Tinned Copper Wire*) dengan kemurnian 99,9%. Kawat *copper* yang digunakan harus memiliki permukaan halus, licin, mengkilap, tidak retak dan tidak teroksidasi.
- b. Aluminium, yaitu aluminium yang mempunyai permukaan rata dan halus serta mempunyai kemurnian aluminium campuran (*magnesium/silicon*) minimum 97,28%.

Hantaran yang digunakan dapat berbentuk bulat tanpa rongga, bulat berongga, dan bentuk sektoral. Hantaran bulat tanpa rongga merupakan kawat yang dipilin dan membentuk lingkaran (bulat) dengan pusat lingkaran yang tak berongga. Hantaran bulat tanpa rongga sangat baik untuk kabel berinti tunggal. Hantaran bulat berongga terdiri dari beberapa kawat bulat atau trapezium lengkung yang dipilin diatas spiral baja, dan membentuk saluran sepanjang hantaran yang berfungsi untuk mengalirkan minyak. Sedang hantaran bentuk sektoral terdiri dari beberapa kawat yang dipilin dan membentuk sektor lingkaran. Arah pilinan umumnya kearah kanan. Hantaran bentuk sektoral banyak digunakan pada kabel berinti banyak. Hantaran *copper* banyak dipakai karena bahan *copper* ini mempunyai konduktifitas panas yang baik, tetapi harganya yang relatif mahal. Tabel 2. menunjukkan perbandingan sifat fisik dari *copper* dan aluminium [13].

Tabel 2. Sifat Fisik Konduktor

	<i>Copper</i>	Aluminium
Berat Jenis [Kg/m ³]	8890	2703
Pertambahan Panas per°C [x10 ⁻⁶]	17	23
Konduktifitas Panas [W/CM°C]	3.8	2.4
Modulus Elastisitas [MN/m ²]	26	14
Harga/Satuan Berat [Unit]	132	246

2.2.1.2. Isolasi

Isolasi berfungsi untuk menahan medan listrik yang timbul, sehingga peralatan, kabel menjadi lebih aman. Pada kabel dan saluran udara yang berisolasi umumnya dipakai isolasi padat, dan umumnya memiliki jenis kertas impregnasi dan polimer. Isolasi kertas impregnasi menggunakan kertas yang diresapi dengan minyak isolasi atau bahan campuran (*non-draining compound*). Bahan peresap akan mengisi ruang-ruang kosong pada kertas dan diantara lapisan-lapisan kertas. Hal ini akan meningkatkan ketahanan dielektrik kertas secara keseluruhan. Bahan isolasi dapat digolongkan menjadi 3 bagian, yaitu isolasi karet, isolasi kertas, isolasi sintesis [13]. Secara garis besar, isolasi sintesis terdiri dari:

- a. *Elastomer*, misalkan *Buthil rubber*
- b. *Thermoplastic*, misalkan *Polyoynil Chlorid (PVC)*
- c. *Thermosetting*, misalkan *Crosslinked Polythyle (XLPE)*, *PE (Poly-Ethylene)*, *EPR (Etylene Propylene Rubber)*

Sebagai perbandingan tentang jenis isolasi penghantar XLPE, PVC dan kertas disajikan pada Tabel 3 dan 4 [13].

Tabel 3. Perbandingan Sifat – Sifat Isolasi

	XLPE	PVC	kertas
Konstanta dielektrik	4.5	5	3.6
Ketahanan dielektrik [KV/mm]	40	30	80
Kuat Tarik	150	125	tidak tahan
Faktor dissipasi	0.0005	0.07	0.003
Temperature kerja max [°C]	90	70	60
Temperature hubung singkat [°C]	250	135	150
Perpajangan (%)	150	150	---
Ketahanan terhadap api	buruk	baik	buruk
Ketahanan terhadap penuaan:			
• Pada 100°C	istimewa	Cukup	Baik
• Pada 150°C	sedang	--	buruk

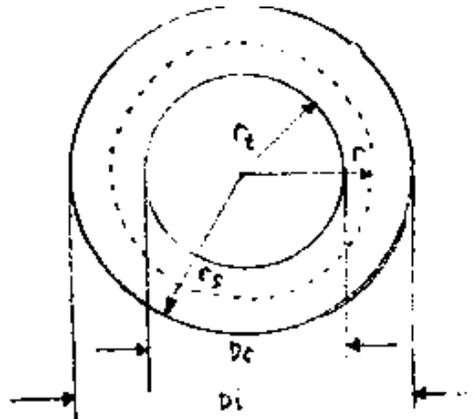
Bahan isolasi yang banyak dipakai untuk sistem distribusi dewasa ini adalah jenis XLPE, karena memiliki kelebihan dibandingkan dengan jenis lainnya, tetapi bahan XLPE ini akan mengalami kegagalan bila terdapat gelembung atau partikel didalam isolasi.

Tabel 4. Kenaikan Temperatur dan Arus Hubung Singkat Pada Kabel

Tipe Isolasi	Konduktor	Kenaikan Suhu [°C]	Arus Hubung Singkat [A]
Kertas 1-6 KV	Copper	80-160	$108 \times ST^{-1/2}$
	Aluminium	80-160	$70 \times ST^{-1/2}$
PVC 1-3 KV	Copper	80-160	$108 \times ST^{-1/2}$
	Aluminium	80-160	$70 \times ST^{-1/2}$
XLPE dan EPR	Copper	80-160	$108 \times ST^{-1/2}$
	Aluminium	80-160	$70 \times ST^{-1/2}$

2.2.2. Kapasitansi

Isolasi pada saluran udara yang berisolasi ini mempengaruhi besar harga kapasitansinya [13]. Tinjauan suatu udara yang berisolasi berbentuk koaksial yang terdiri atas hantaran dan isolasi seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Saluran Udara Berisolasi Bentuk Koaksial

Bila q adalah muatan elektrik yang terdapat pada hantaran sepanjang kabel l , dengan menganggap bahan isolasi bebas dari muatan ruang, maka kuat medan elektrik E pada jarak r dari inti hantaran adalah [15]:

$$E = \frac{q}{2\pi r l \epsilon} \dots\dots\dots (6)$$

Potensial elektrik antara hantaran dan selubung, V adalah:

$$\begin{aligned} V &= \int^{r_s} E dr \\ &= \frac{q}{2\pi r l \epsilon} \ln \left(\frac{r_s}{r_c} \right) \\ &= \frac{q}{2\pi r l \epsilon} \ln \left(\frac{D_i}{D_c} \right) \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

Kapasitansi persatuan Panjang (C) untuk kabel adalah.

$$\begin{aligned} C &= q / (V \times l) \\ C &= \frac{\epsilon r}{18 \ln(D_i/D_c)} \times 10^{-9} [F/m] \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

Sedangkan untuk menghitung kapasitansi pada kawat adalah.

$$C = \frac{2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot L}{\ln \frac{1}{r} + D} (F/m) \dots\dots\dots (9)$$

Dimana, ϵ_0 merupakan permivitas udara, D adalah jarak kawat ke tanah dalam satuan meter dan r adalah diameter kawat dengan satuan meter.

2.2.3. Impedansi Saluran

Impedansi dibentuk oleh resistansi dan induktansi yang terbagi rata disepanjang saluran. Sedangkan konsuktansi dan kapasitansi yang terdapat diantara penghantar-penghantar dari suatu saluran fasa-tunggal atau diantara sebuah penghantar dan netral dari suatu saluran tiga-fasa membentuk admitansi paralel. Perhitungan impedansi pada saluran dapat dihitung menurut persamaan [15]:

$$\begin{aligned} Z &= R + jX \dots\dots\dots (10) \\ &= \sqrt{R^2 + X^2} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk perhitungan reaktansi dengan persamaan berikut.

$$X = 0,14467 \left(\log \frac{1}{r_1} + 0,10857 + \log d_{12} \right) \dots\dots\dots (11)$$

2.2.4. Perhitungan Kapasitas Daya

Prakiraan terhadap kapasitas kilometer saluran dapat dihitung sebagai berikut:

$$MVA - KM = \frac{V_L \Delta V}{Z.F_D} \dots\dots\dots (12)$$

2.2.5. Perhitungan Kapasitas Daya

Rugi-rugi pada bagian-bagian kabel menimbulkan panas yang akan merambat ke sekeliling kabel. Panas yang terjadi akan mempengaruhi besaran arus yang dapat disalurkan kabel dengan aman. Pemanasan yang berlebihan dapat mengakibatkan pemendekan umur pada bagian isolasi saluran udara tersebut. Rugi-rugi elektrik pada kabel terdiri dari Rugi-rugi hantaran (P_c) dan Rugi-rugi dielektrik (P_d).

Rugi-rugi hantaran terjadi karena mengalirnya arus pada hantaran yang memiliki tahanan sebesar R . besar rugi-rugi ini persatuan panjang adalah:

$$P_c = I^2 \times R (W/m) \dots\dots\dots (13)$$

dimana, I merupakan arus yang mengalir pada hantaran dengan satuan A , sedangkan R adalah Tahanan penghantaran (ohm/m).

Pada hantaran sepanjang L (meter), rugi daya tahanan sistem 1-fasa sebesar:

$$P_L = I^2 \times R \times L \dots\dots\dots (14)$$

Untuk sistem 3-fasa adalah:

$$P_L = 3 \times I^2 \times R \times L \dots\dots\dots (15)$$

Untuk menghitung rugi daya dalam persen adalah:

$$P_L(\%) = \frac{P_L}{P_T} \times 100\% \dots\dots\dots (16)$$

Untuk menghitung rugi daya rata-rata:

$$P_{L \text{ rata-rata}} = F_R \times P_L \dots\dots\dots (17)$$

Untuk menghitung arus 3 phasa:

$$I_{3\phi} = \frac{P_T}{V \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \theta} \dots\dots\dots (18)$$

Untuk menghitung drop tegangan:

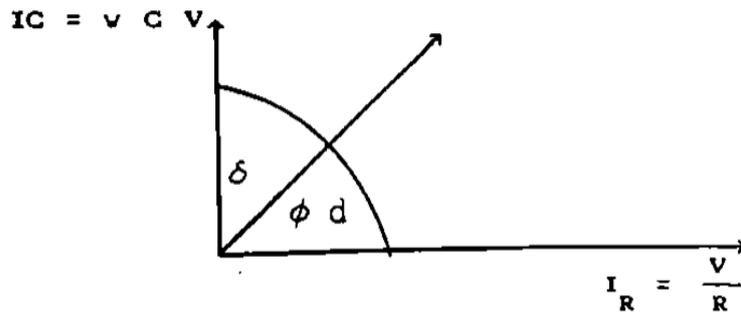
$$V_D = I \cdot Z \dots\dots\dots (19)$$

Dimana :

- PL (%) : Rugi daya saluran dalam %
- PL : Rugi daya saluran (Watt)
- PT : Daya yang disalurkan (Watt)
- V : Tegangan distribusi (volt)
- Z : Impedansi saluran (Ω /Km)
- Fr : Faktor rugi

Rugi-rugi dielektrik (P_d) merupakan rugi daya pada bahan dielektrik adalah daya yang diserap oleh bahan dielektrik dalam satu satuan waktu akibat terjadinya arus bocor pada bahan dielektrik tersebut. Hal ini dapat terjadi karena ketidak sempurnaan bahan dielektrik [16]. Yang dimaksud dengan ketidak sempurnaan bahan dielektrik tersebut yaitu meskipun tahanan isolasi dari dielektrik tinggi sekali, tetapi bukan berarti nilainya tidak terhingga, sehingga memungkinkan mengalirnya arus konduksi pada isolasi dan ini dapat menimbulkan panas pada bahan isolasi. Dalam prakteknya rugi daya pada bahan bukan dielektrik ini disebabkan oleh adanya arus bocor atau adanya campuran dalam bahan dielektrik tersebut sehingga terbentuk struktur yang tidak homogen.

Rugi dielektrik yang disebabkan oleh arus bocor terjadi karena terdapatnya muatan-muatan bebas yang bias bergerak didalam medan listrik. Oleh karena itu rugi daya ini timbul pada bahan dielektrik yang mempunyai sifat hantaran (*conductivity*) yang tinggi. Rugi dielektrik yang disebabkan oleh struktur yang tidak homogen dapat terjadi apabila bahan dielektrik tercampur oleh beberapa komponen. Komponen yang sering tercampur dalam bahan dielektrik biasanya adalah gas dan uap air. Untuk mengetahui ada atau tidaknya rugi daya dielektrik ini dapat dilihat dari *tangen* sudut rugi-rugi atau $\tan \delta$, seperti pada Gambar 2..



Gambar 2. Diagram Phasor $Tan \delta$

Untuk bahan dielektrik (θ_d) adalah 90° , sehingga tangen sudut rugi ($\tan \delta$) sama dengan nol dan ini berarti tidak terjadi rugi-rugi pada bahan dielektrik. Tapi dalam kenyataan sebenarnya sudut faktor daya dielektrik selalu lebih kecil dari 90° , sehingga $\tan \delta$ tidak sama dengan nol dan akibatnya terdapat rugi daya pada bahan dielektrik. $\tan \delta$ dipengaruhi oleh tegangan dan temperatur untuk suatu tegangan yang dioperasikan $\tan \delta$ ini akan bertambah besar dengan naiknya temperatur. Hal ini akan menyebabkan rugi daya dielektrik juga akan bertambah besar sehingga menimbulkan panas pada kabel.

Panas yang ditimbulkan ini dapat merusak isolasi kabel dan akibatnya dapat memperpendek umur kabel. Apabila rugi daya dielektrik kabel terlalu besar, maka ada kemungkinan bahan dielektrik tersebut rusak. Harga $\tan \delta$ dari kawat dapat dinyatakan sebagai Persamaan 20 berikut.

$$\tan \delta = \frac{1,8 \times 10^{-12}}{\epsilon_0 \cdot f \cdot \rho} \dots\dots\dots (20)$$

Sehingga nilai konstanta dielektrik dari beberapa tipe kabel yang diisolasi dengan beberapa jenis isolasi disajikan oleh Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Konstanta Dielektrik

Tipe Kabel	ϵ_r	$\tan \delta$
Kabel diisolasi dengan		
• <i>Buthil Rubber</i>	4.0	0.0500
• EPR	3.0	0.0400
• PVC	8.0	0.1000
• PE	2.3	0.0010
• XLPE	2.5	0.0080

Sedangkan rugi daya eletrik dari kabel pada sistem 3 phasa dinyatakan oleh Persamaan 21 sebagai berikut.

$$P_D = V^2 \cdot L \cdot C \cdot \tan \delta \dots\dots\dots (21)$$

Didalam prakteknya rugi daya dielektrik ini kecil sekali pada tegangan rendah dan baru akan berarti pada tegangan diatas 275 kV.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perhitungan Kapasitas Daya

Prakiraan terhadap kapasitas kilometer saluran dapat dihitung menurut persamaan pada Persamaan 12, dengan nilai dari drop tegangan maksimum adalah 5% dari tegangan nominal. Untuk tegangan nominal 20 kV, *drop* tegangan maksimumnya adalah 1000 volt dan faktor distribusi arus 0.65.

Dengan memasukkan harga Z (impedansi saluran), didapat harga MVA-KM. harga Z dapat dihitung dengan Persamaan 10.

$$Z = R + jX$$

$$= \sqrt{R^2 + X^2}$$

- a. Untuk Penghantar Berisolasi dengan nilai $R = 0,124 \Omega/\text{Km}$ dan $X = 0.136 \Omega/\text{Km}$ maka impedansi salurannya adalah:

$$Z = \sqrt{(0,124)^2 + (0,153)^2} = 0,184 \Omega/\text{Km}$$

- b. Untuk penghantar telanjang dengan nilai $R = 0,225 \Omega/\text{Km}$ sedangkan r_1 sebesar $2,25 \times 10^{-2} \text{ m}$ dan d_{12} sebesar $20 \times 10^{-2} \text{ m}$ maka perlu dihitung harga X dengan menggunakan Persamaan 11 sebelum menghitung impedansi salurannya.

$$Z = \sqrt{(0,124)^2 + (0,153)^2} = 0,184 \Omega/\text{Km}$$

- a. Sehingga impedansi saluran pada penghantar telanjang adalah

$$Z = \sqrt{(0,225)^2 + (0,153)^2} = 0,272 \Omega/\text{Km}$$

- c. Dari harga impedansi saluran diatas, sehingga dapat dihitung besar dari *MVA-KM* saluran pada penghantar berisolasi maupun penghantar telanjang. Besar *MVA-KM* pada penghantar berisolasi dengan harga, $V_L = 20 \text{ K}$; $\Delta V = 5\% \cdot 20\text{kV} = 1000 \text{ Volt}$; $Z = 0.184 \Omega/\text{Km}$ dan $F_D = 0.65$ yang yang dihitung dengan menggunakan persamaan 12 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} KVA - KM &= \frac{20 \times 1000}{0,184 \times 0,65} \\ &= 167224,1 = 167,2 \text{ MVA} - KM \end{aligned}$$

Dengan *MVA-KM* penghantar dapat diperkirakan kerapatan beban perkilometer yang akan dilayani setiap panjang maksimum *feeder*.

3.2. Perhitungan rugi-rugi Daya

Untuk konduktor yang mempunyai luas penampang sebesar 150 mm^2 maka dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 18 berikut.

$$i_{3\phi} = \frac{P_T}{(20 \times 10^3) \cdot \sqrt{3} \cdot \cos 150} = \frac{P_T}{(20 \times 10^3) \cdot \sqrt{3} \cdot 0,85} = \frac{P_T}{29.444,864} \text{ Ampere}$$

Rugi-rugi saluran dihitung dengan menggunakan Persamaan 15. Pada penghantar berisolasi dengan nilai $R = 0,124 \Omega/\text{Km}$.

$$P_L = 3 \times \frac{P_T}{29.444,864} \times 0,124 \times L = \frac{P_T}{79.152,8602} L \text{ watt}$$

Untuk penghantar telanjang dengan nilai $R = 0,225 \Omega/\text{Km}$ maka:

$$P_L = 3 \times \frac{P_T}{29.444,864} \times 0,225 \times L = \frac{P_T}{43.622,0207} L \text{ watt}$$

3.3. Perhitungan rugi-rugi Daya

Untuk menghitung rugi-rugi tegangan pada saluran dapat digunakan Persamaan 19. perhitungan rugi-rugi tegangan pada penghantar berisolasi dengan Z sebesar $0,184 \Omega/\text{Km}$ maka:

$$V_D = I \times 0,184 = 0,184I$$

Sedangkan perhitungan rugi-rugi tegangan pada penghantar telanjang dengan Z sebesar $0,272 \Omega/\text{Km}$ maka:

$$V_D = I \times 0,272 = 0,272I$$

3.4. Perhitungan Rugi Dielektrik

Perhitungan rugi dielektrik ini dilakukan pada penghantar berisolasi dan penghantar telanjang. Pertama dihitung kapasitansi pada penghantar berisolasi berdasarkan Persamaan 8 dimana ϵ_r sebesar 2,5, sedangkan $D_i = 3,0 \times 10^{-3} \text{ m}$, dan $D_C = 2,25 \times 10^{-3} \text{ m}$ adalah:

$$C = \frac{2,5}{18 \ln\left(\frac{3 \times 10^{-3}}{2,25 \times 10^{-3}}\right)} \times 10^{-9} = 48 \times 10^{-11} \text{ F/m}$$

Sedangkan kapasitansi pada penghantar telanjang berdasarkan persamaan 9 dimana ϵ_o sebesar $8,855 \times 10^{-12}$, $D = 6 \text{ m}$ dan $L = 5272 \text{ m}$ serta $r = 2,25 \times 10^{-3} \text{ m}$ adalah:

$$C = \frac{2\pi \times 8,855 \times 10^{-12} \times 5,272}{\ln\left(\frac{1}{2,25 \times 10^{-3}}\right) + \ln 6} = 37,18 \times 10^{-9} \text{ F/m}$$

Berdasarkan Persamaan 20 nilai $\tan \delta$ yang diperoleh pada penghantar jenis AAAC-OC sebesar 0,008. Sedangkan pada penghantar telanjang dengan ϵ_o sebesar $8,855 \times 10^{-12}$, f sebesar 50 Hz dan ρ sebesar $2,8264 \times 10^{-8}$, maka nilai $\tan \delta$ yang diperoleh sebesar 0,001.

Dari nilai diatas, maka rugi dielektrik dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 21. Pada penghantar berisolasi didapat nilai rugi dielektrik sebesar 1,536 Watt/Km. Sedangkan pada penghantar telanjang didapat nilai rugi dielektrik sebesar 14,872 Watt/Km. Dari hasil perhitungan diatas nilai tahanan saluran, impedansi saluran, kapasitas daya, *drop* tegangan, rugi dielektrik pada penghantar jenis AAAC dan AAAC-OC dapat dilihat pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Hasil Perhitungan Pada Penghantar Jenis AAAC dan AAAC-OC

Jenis Penghantar	AAAC	AAAC-OC
Luas Penampang (mm ²)	150	150
Tahanan Saluran (Ω /Km)	0.225	0.124
Impedansi Saluran (Ω /Km)	0.272	0.184
Kapasitas Daya (MVA-Km)	113.12	167.2
<i>Drop</i> Tegangan (Volt)	0,272 I	0,184 I
Rugi Dielektrik (Watt/Km)	14,872	1,536

4. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan diatas disimpulkan hasil perbandingan penghantar jenis AAAC dengan penghantar jenis AAAC-OC sebagai berikut:

- Harga tahanan saluran pada penghantar aluminium berdiameter 150 mm² pada suhu 20° untuk penghantar jenis AAAC sebesar 0.225 Ω /Km dan untuk penghantar jenis AAAC-OC sebesar 0.124 Ω /Km sehingga tahanan saluran penghantar jenis AAAC-OC lebih kecil dibandingkan dengan penghantar jenis AAAC.
- Impedansi saluran pada penghantar jenis AAAC dari hasil perhitungan didapatkan harga sebesar 0.272 Ω /Km dan pada penghantar jenis AAAC-OC didapatkan harga sebesar 0.184 Ω /Km.
- Kapasitas daya penghantar jenis AAAC sebesar 167,2 MVA-Km yang lebih besar dibandingkan dengan kapasitas daya penghantar jenis AAAC-OC sebesar 113,12 MVA-Km
- Rugi tegangan untuk penghantar jenis AAAC-OC diperoleh sebesar 0,184 I volt, lebih kecil dibandingkan dengan penghantar jenis AAAC yang sebesar 0,272 I volt.
- Rugi dielektrik penghantar jenis AAAC-OC sebesar 1,536 Watt/Km, yang lebih rendah dibandingkan dengan rugi dielektrik penghantar jenis AAAC sebesar 14,872 Watt/Km.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Cekdin, *DISTRIBUSI DAYA LISTRIK: Teori dan Praktik*. Yogyakarta: Penerbit Andi, 2021.
- [2] A. Tanjung, "Rekonfigurasi sistem distribusi 20 kv gardu induk teluk lembu dan pltmg langgam power untuk mengurangi rugi daya dan drop tegangan," *SITEKIN: Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, vol. 11, no. 2, hlm. 160–166, 2014.
- [3] PLN – Distribusi Jatim, "Sistem Distribusi," 1991.
- [4] W. D. Stevenson, *Analisis sistem tenaga listrik*. Penerbit Erlangga, 1984.
- [5] C. PARIPURNA, "ANALISIS RUGI-RUGI DAYA DAN JATUH TEGANGAN SALURAN DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH 20 KV PADA PENYULANG PADJAJARAN GARDU INDUK NEW JAKABARING".
- [6] N. Aryanto dan M. Balkis, "Tinjauan Gangguan Jaringan Distribusi 20 Kv Penyulang Muara Aman PT. PLN (Persero) Ulp Rayon Muara Aman," *Jurnal Teknik Elektro Raflesia*, vol. 1, no. 1, hlm. 16–22, 2021.



-
- [7] P. Mangera dan D. Hardiantono, “analisis rugi tegangan jaringan distribusi 20 kv pada PT. PLN (persero) cabang Merauke,” *Musamus of Journal Electro and Machine Engineering (MJEME)*, vol. 1, no. 2, hlm. 61–69, 2019.
- [8] A. Mampori, S. Silimang, dan M. Rumbayan, “Perbaikan Tegangan Pada Saluran Distribusi 20kV Feeder Tinoring,” *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 12, no. 1, hlm. 43–48, 2023.
- [9] R. Dewi, “Analisis Komponen Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 KV di Penyulang Merbau - Jambi,” *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPCA)*, vol. 3, no. 1, 2020, doi: 10.33087/jepca.v3i1.36.
- [10] SPLN 59 : 1985, *Keandalan pada Sistem Distribusi 20 KV dan 6 KV*. Jakarta, 1985.
- [11] W. H. Kersting, *Distribution system modeling and analysis*. 2001. doi: 10.1201/9781315222424-27.
- [12] A. S. Pabla dan A. Hadi, *Sistem distribusi daya listrik*, 2 ed. Jakarta: Erlangga, 1991.
- [13] D. (Donald) McAllister, *Electric cables handbook*. Granada, 1982. [Daring]. Tersedia pada: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130282273006065152>
- [14] SPLN 41-1 - 1991, “Syarat Penghantar.” Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, 1991.
- [15] T. S. Hutauruk, “Transmisi Daya Listrik, Erlangga.” Jakarta, 1985.
- [16] N. Irmea Sinisuka, *Kabel Sistem Tenaga*. Bandung: PLN-ITB, 1991.

