

Analisis Transfer Daya pada Saluran Transmisi 150 kV dari Gardu Induk Air Anyir ke Gardu Induk Sungailiat PLN Area Bangka

Diaz Dwiky Feranda¹, Asmar², Rudy Kurniawan³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung

Email : diazdwikyferanda77@gmail.com

ABSTRACT

The availability of sufficient and quality electrical energy is a demand that must be fulfilled by PT. PLN (Persero). Distribution of electricity through the 150 kV transmission line with a relatively long distance and using aluminum type conductive wire always experiences changes in current and voltage, giving rise to the ability to send electricity power unstable. Other influences can also be obtained from changes in power factor and phase angle. The method used is the method of analyzing equations in the form of hyperbolis. In this study shows that the power transfer ability is influenced by phase angles. The maximum active power transfer capability is 1962,71 kW on VS which is $150\angle75^0$ and VR which is $150\angle0^0$ with phase angle difference is 75^0 . Whereas in $VS = 150\angle75^0$ and $VR = 145\angle0^0$ the transfer ability of active power is 1911,97 kW with the difference in the same phase angle of 75^0 . This study shows that the transfer ability of active power is influenced by voltage. The maximum active power transfer capability for VR values = $150\angle0^0$ at VS which is constant, which is $150\angle90^0$ is 2134,49 kW. Whereas for the VR value = $145\angle0^0$ VS at VS which is constant which is $150\angle90^0$ is equal to 2078,03 kW.

Keywords : Hyperbolis, Phase angle, Power transfer

INTISARI

Ketersediaan energi listrik yang cukup dan berkualitas merupakan tuntutan yang harus dipenuhi oleh PT. PLN (Persero). Penyaluran tenaga listrik melalui saluran transmisi 150 kV dengan jarak yang relatif panjang dan menggunakan kawat penghantar jenis aluminium selalu mengalami perubahan arus dan tegangan sehingga menimbulkan kemampuan pengiriman daya listrik menjadi tidak stabil. Pengaruh lainnya juga dapat diperoleh dari perubahan faktor daya dan sudut fasanya. Metode yang digunakan adalah metode analisis persamaan dalam bentuk hiperbolis. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa kemampuan transfer daya dipengaruhi oleh sudut fasa. Kemampuan transfer daya aktif maksimum adalah sebesar 1962,71 kW pada Vs yaitu $150\angle75^0$ dan V_R yaitu $150\angle0^0$ dengan selisih sudut fasa adalah 75^0 . Sedangkan pada $VS = 150\angle75^0$ dan $VR = 145\angle0^0$ kemampuan transfer daya aktif adalah sebesar 1911,97 kW dengan selisih sudut fasa yang sama yaitu 75^0 . Penelitian ini memperlihatkan bahwa kemampuan transfer daya aktif dipengaruhi oleh tegangan. Kemampuan transfer daya aktif maksimum untuk nilai $V_R = 150\angle0^0$ pada Vs yang konstan yakni $150\angle90^0$ adalah sebesar 2134,49 kW. Sedangkan Untuk nilai $V_R = 145\angle0^0$ pada Vs yang konstan yakni $150\angle90^0$ adalah sebesar 2078,03 kW.

Kata kunci: Hiperbolis, Sudut fasa, Transfer daya

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu kebutuhan yang paling penting untuk menunjang kehidupan manusia saat ini dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari, baik dalam rumah tangga maupun dalam bisnis. Oleh sebab itu ketersediaan energi listrik yang cukup dan berkualitas merupakan tuntutan yang harus dipenuhi oleh PT. PLN (Persero).

Penyaluran tenaga listrik melalui saluran transmisi 150 kV dengan jarak yang relatif

panjang dan menggunakan kawat penghantar jenis aluminium selalu mengalami perubahan arus dan tegangan sehingga menimbulkan kemampuan pengiriman daya listrik menjadi tidak stabil. Pengaruh lainnya juga dapat diperoleh dari perubahan faktor daya dan sudut fasanya. Sehingga akan berpengaruh pada daya listrik yang diterima di saluran transmisi ke Gardu Induk Sungailiat Rayon Sungailiat untuk didistribusikan ke konsumen. Hal yang harus diperhatikan dari transfer daya adalah kestabilan tegangan pada saluran transmisi. Dengan menggunakan aliran

daya melalui saluran transmisi dapat diperoleh batas kemampuan pengiriman daya listrik berdasarkan tegangan terkirim dan tegangan diterima serta sudut fasanya. Metode yang digunakan adalah metode analisis persamaan dalam bentuk hiperbolis.

II. LANDASAN TEORI

A. Sistem Saluran Transmisi

Pusat pembangkit tenaga listrik biasanya terletak jauh dari titik-titik pusat beban. Oleh karena itu, tenaga listrik yang telah dibangkitkan disalurkan oleh penghantar-penghantar dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban tersebut, baik itu secara langsung ataupun melalui saluran penghubung seperti Gardu Induk.

Pada persamaan berikut ini menunjukkan impedansi karakteristik saluran adalah sebagai berikut:

$$Z_C = \sqrt{\frac{z}{y}} \quad (1)$$

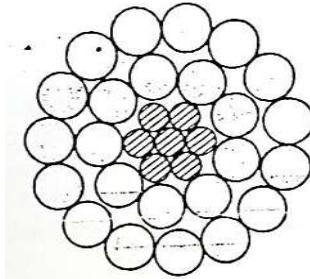
dan

$$\gamma = \sqrt{zy} \quad (2)$$

dimana Z_C merupakan impedansi karakteristik dan y merupakan konstanta perambatan (*propagation constant*).

B. Kawat Penghantar

Untuk saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak antar tiang/menara jauhnya sampai ratusan meter maka dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi. Untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR. Penghantar dari campuran aluminium mempunyai kekuatan-tarik (*tensile strength*) yang lebih besar daripada penghantar aluminium biasa. ACSR terdiri dari serat baja ditengah yang dikelilingi oleh lapisan-lapisan dari serat aluminium yang ditunjukkan pada Gambar 1. [9]



Gambar 1. Penampang penghantar dengan penguatan baja, 7 serat baja, dan 24 serat aluminium [9]

C. Induktansi Saluran Tiga Fasa dengan Jarak Pemisah Tidak Simetris

Induktansi rata-rata per fasa ditunjukkan pada Persamaan 3.

$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s} \text{ H/m} \quad (3)$$

dimana

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}} \quad (4)$$

D_s adalah GMR penghantar, D_{eq} yaitu rata-rata geometris dari ketiga jarak pada saluran tidak simetris, adalah jarak pemisah ekivalen sama-sisi.

Jika dimisalkan D_s^b adalah GMR penghantar berkas dan D_s adalah GMR masing-masing penghantar yang membentuk berkas, maka didapatkan persamaan berikut

- Untuk berkas dua penghantar,

$$D_s^b = \sqrt[4]{(D_s \times d)^2} = \sqrt{(D_s \times d)} \quad (5)$$

- Untuk berkas tiga penghantar,

$$D_s^b = \sqrt[9]{(D_s \times d \times d)^3} = \sqrt[3]{D_s \times d^2} \quad (6)$$

- Untuk berkas empat penghantar,

$$D_s^b = \sqrt[16]{(D_s \times d \times d \times d \times 2^{1/2})^4} \\ = 1,09 \cdot \sqrt[4]{D_s \times d^3} \quad (7)$$

D. Saluran Transmisi Jarak Panjang: Persamaan dalam Bentuk Hiperbolis

Bentuk persamaan yang lebih mudah untuk menghitung arus dan tegangan pada suatu saluran tenaga diperoleh dengan memperkenalkan fungsi

hiperbolis. Fungsi hiperbolis didefinisikan dalam bentuk eksponensial sebagai berikut [9]:

$$\text{Sinh } \theta = \frac{e^\theta - e^{-\theta}}{2} \quad (8)$$

$$\text{Cosh } \theta = \frac{e^\theta + e^{-\theta}}{2} \quad (9)$$

Persamaan 10 dan 11 untuk mendapatkan tegangan dan arus pada ujung pengirim, didapatkan :

$$V_S = V_R \cosh \gamma l + I_R Z_C \sinh \gamma l \quad (10)$$

$$I_S = I_R \cosh \gamma l + \frac{V_R}{Z_C} \sinh \gamma l \quad (11)$$

Persamaan 12 dan 13 dapat diselesaikan untuk V_R dan I_R dengan V_S dan I_S sebagai suku-sukunya, diperoleh :

$$V_R = V_S \cosh \gamma l + I_S Z_C \sinh \gamma l \quad (12)$$

$$I_R = I_S \cosh \gamma l + \frac{V_S}{Z_C} \sinh \gamma l \quad (13)$$

Dengan meneliti persamaan-persamaan ini dapat dilihat bahwa konstanta rangkaian umum untuk saluran yang panjang ditunjukkan pada persamaan berikut ini:

$$A = \cosh \gamma l \quad B = Z_C \sinh \gamma l \quad C = \frac{\sinh \gamma l}{Z_C} \quad D = \cosh \gamma l \quad (14)$$

Persamaan-persamaan berikut ini memberikan uraian tentang sinus dan cosinus hiperbolis dari argumen kompleks dalam bentuk fungsi lingkaran dan hiperbolis dari argumen nyata:

$$\cosh(\alpha + j\beta) = \cosh \alpha \cos \beta + j \sinh \alpha \sin \beta \quad (15)$$

$$\sinh(\alpha + j\beta) = \sinh \alpha \cos \beta + j \cosh \alpha \sin \beta \quad (16)$$

E. Aliran Daya Melalui Saluran Transmisi

Meskipun aliran daya pada setiap titik di sepanjang saluran transmisi selalu dapat diperoleh jika tegangan, arus dan faktor daya diketahui atau dapat dihitung beberapa persamaan yang sangat menarik dapat diturunkan untuk daya dengan konstanta $ABCD$ sebagai suku-sukunya.

Dengan mengulang persamaan sebelumnya untuk arus ujung penerima maka dihasilkan persamaan berikut:

$$V_S = A V_R + B I_R \quad (17)$$

$$I_R = \frac{V_S + A V_R}{B} \quad (18)$$

Dengan membuat

$$A = |A| \angle \alpha B = |B| \angle \beta$$

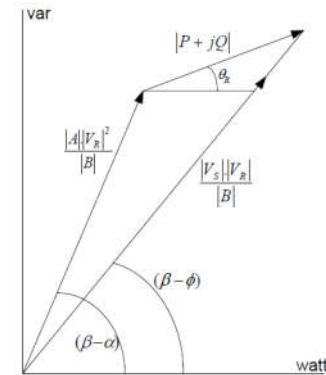
$$V_R = |V_R| \angle 0^\circ V_S = |V_S| \angle \delta$$

Sehingga diperoleh Persamaan 19 berikut ini:

$$I_R = \frac{|V_S|}{|B|} \angle \delta - \angle \beta - \frac{|A||V_R|}{|B|} \angle \alpha - \angle \beta \quad (19)$$

Maka daya kompleks $V_S I_R^*$ pada ujung penerima ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$P_R + j Q_R = \frac{|V_S||V_R|}{|B|} \angle \beta - \angle \delta - \frac{|A||V_R|^2}{|B|} \angle \beta - \angle \alpha \quad (20)$$



Gambar 2. Faktor-faktor persamaan 20 dilukiskan dalam bidang kompleks [9]

Komponen-komponen nyata dari $|P_R + j Q_R|$ adalah

$$P_R = |V_R| \| I_R \| \cos \theta_R \quad (21)$$

dan

$$Q_R = |V_R| \| I_R \| \sin \theta_R \quad (22)$$

Pada Persamaan 21 dan 22, θ_R adalah sudut fasa dengan mana V_R mendahului I_R . Daya nyata dan daya reaktif pada ujung penerima adalah:

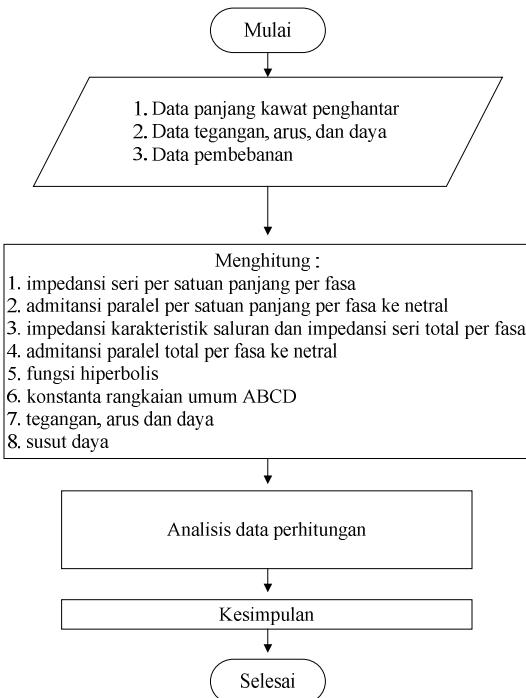
$$P_R = \frac{|V_S||V_R|}{|B|} \cos(\beta - \delta) - \frac{|A||V_R|^2}{|B|} \cos(\beta - \alpha) \quad (23)$$

dan

$$Q_R = \frac{|V_S||V_R|}{|B|} \sin(\beta - \delta) - \frac{|A||V_R|^2}{|B|} \sin(\beta - \alpha) \quad (24)$$

III. METODE PENELITIAN

Untuk mengetahui kemampuan transfer daya pada saluran transmisi dari Gardu Induk Air Anyir ke Gardu Induk Sungailiat, maka dilakukan melalui prosedur seperti pada Gambar 3.

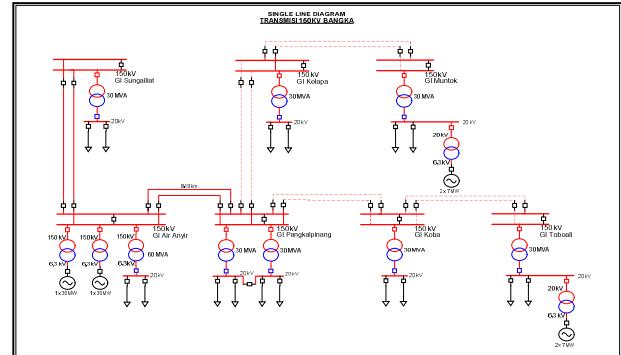


Gambar 3. Diagram alir langkah penelitian

IV. HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

A. Kondisi Transmisi Area Bangka

Pada sistem kelistrikan di area Bangka kondisi pembangkitan saat ini mengalami peningkatan sehingga membutuhkan jalur transmisi yang baik serta memadai untuk dapat menyalurkan daya listrik.



Gambar 4. Single line diagram transmisi Area Bangka [7]

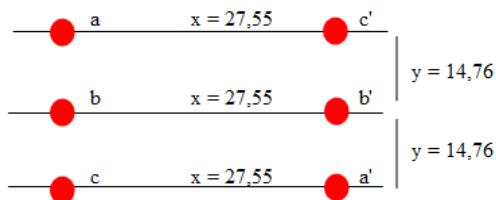
Tabel 1. Data transmisi T/L 150 kV Pangkalpinang - Air Anyir dan T/L 150 kV Sungailiat - Air Anyir [8]

NO	KETERANGAN	SAT	NILAI
1	Panjang Jaringan		
	- Pangkal Pinang - Air Anyir	Kmc	2 x 1x240 Sqmm x 8.18
	- Sungai Liat - Air Anyir	Kmc	2 x 1x240 Sqmm x 24.75
	- Dukong - Suge	Kmc	19
2	Size Konduktor	mm ²	1x125
3	Type Konduktor	-	ACSR
4	Jumlah Konduktor Tiap Phase	-	1
5	Type Tower yang Dominan	-	AA4 dan 4AA4
6	Gambar/ukuran Tower	-	(Terlampir dalam Gbr Autocad)
7	Data Transmisi		
	- T/L 70 kV Suge - Tanjung Pandan (2 cct)	Tower	83

Tabel 2. Rincian Data Tower Transmisi Sistem Bangka [8]

No	Uraian	Jumlah			Keterangan
		Km	CCt	Tower (set)	
1	T/L 150 kV AIR ANYIR - PK PINANG	11	2 cct & 4 cct	26	
2	T/L 150 kV AIR ANYIR - S. LIAT	28	2 cct	63	
	Jumlah	39		89	

Untuk mencari nilai GMD yaitu sebagai berikut:



Gambar 5. Susunan kawat penghantar pada saluran transmisi

- Untuk posisi asli jarak penghantar a ke b :

$$z = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{14,76^2 + 0^2} = 14,76 \text{ ft}$$

- Untuk posisi asli jarak penghantar a ke b' :

$$z = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{14,76^2 + 27,55^2} = 31,25 \text{ ft}$$

- Untuk posisi asli jarak penghantar a ke a' :

$$z = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{29,52^2 + 27,55^2} = 40,37 \text{ ft}$$

GMD antara fasa-fasa adalah sebagai berikut:

$$D_{ab}^p = D_{bc}^p = \sqrt[4]{(14,76 \times 31,25)^2} = 21,47 \text{ ft}$$

$$D_{ca}^p = \sqrt[4]{(29,52 \times 27,55)^2} = 28,51 \text{ ft}$$

sehingga:

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{21,47 \times 21,47 \times 28,51} = 23,60 \approx 24 \text{ ft}$$

Impedansi seri per satuan panjang per fasa sebagai berikut:

$$z = 0,2107 + j(0,424 + 0,3856)$$

$$= 0,2107 + j0,8096 = 0,8365 \angle 75,41^\circ \Omega$$

Admitansi paralel per satuan panjang per fasa ke netral sebagai berikut:

$$y = j1/(0,098 + 0,0943) \times 10^{-6}$$

$$= j5,2002 \times 10^{-6} = 5,2002 \times 10^{-6} \angle 90^\circ \Omega$$

Untuk menghitung admitansi paralel total per fasa ke netral, yaitu:

$$yl = \sqrt{z \times y \times l} = 0,0320 \angle 82,70^\circ \Omega$$

Karena α dan β ingin diketahui dalam perhitungan fungsi hiperbolis dan menentukan konstanta ABCD maka sudut fasa admitansi

paralel total per fasa ke netral dirubah ke dalam radian adalah sebagai berikut:

$$\text{Radian} = \frac{2\pi}{360} = 0,017453293$$

maka:

$$82,70^\circ \times 0,017453293 = 1,44349424$$

$$yl = 0,0040 + j0,3179$$

sehingga diperoleh:

$$\alpha = 0,0040 \text{ dan } \beta = 0,3179$$

dengan menggunakan Persamaan 1, maka:

$$Z_C = \sqrt{z/y} = 401,0886 \angle -7,29^\circ \Omega$$

$$Z = z \times l = (0,8365 \angle 75,41^\circ) \times 15,37$$

$$= 12,8570 \angle 75,41^\circ \Omega$$

Untuk menghitung fungsi hiperbolis dan mementukan konstanta ABCD sebagai berikut:

$$\cosh(\gamma l) = \cosh 0,0040 \cos 0,0317$$

$$+ j \sinh 0,0040 \sin 0,0317$$

$$= 0,9995 \angle 0,0074^\circ$$

$$\sinh(\gamma l) = \sinh 0,0040 \cos 0,0317$$

$$+ j \cosh 0,0040 \sin 0,0317$$

$$= 0,0320 \angle 82,70^\circ$$

dengan mengacu pada Persamaan 14, konstanta ABCD adalah sebagai berikut:

$$A = \cosh \gamma l = 0,9995 \angle 0,0074^\circ$$

$$B = Z_C \sinh \gamma l = 12,8559 \angle 75,41^\circ$$

$$C = \frac{\sinh \gamma l}{Z_C} = 7,9913 \times 10^{-5} \angle 90,002^\circ$$

$$D = A = \cosh \gamma l = 0,9995 \angle 0,0074^\circ$$

Dengan mengacu pada Persamaan 19, untuk mengetahui nilai I_R adalah sebagai berikut:

$$I_R = \frac{|V_S|}{|B|} \angle \delta - \angle \beta - \frac{|A||V_R|}{|B|} \angle \alpha - \angle \beta$$

$$I_R = \frac{86,6025}{12,8559} \angle 90^\circ - \angle 75,41^\circ$$

$$- \frac{0,9995 \times 86,6052}{12,8559} \angle 0,007^\circ - \angle 75,41^\circ$$

$$I_R = 9,5237 \angle 59,57^\circ \text{ A}$$

Berdasarkan pada Persamaan 11, untuk mengetahui nilai I_S adalah sebagai berikut.

$$I_S = I_R \cosh \gamma l + \frac{V_R}{Z_C} \sinh \gamma l$$

$$I_S = 9,5237 \angle 59,57^\circ \times 0,9995 \angle 0,007^\circ \\ + \frac{86,6052 \angle 0^\circ}{401,0886 \angle -7,29^\circ} \times 0,0320 \angle 82,70^\circ$$

$$I_S = 9,5249 \angle 59,60^\circ \text{ A}$$

Dengan mengacu pada Persamaan 21 dan 23, P_S dan P_R adalah sebagai berikut:

$$P_f = \cos(90^\circ - 59,60^\circ) \times 0,01745329 \text{ 252} \\ = 0,86$$

$$P_S = |V_S| |I_S| \cos \theta_S \\ = 150 \times 9,5249 \times 0,86 = 1232,3498 \text{ kW} \\ = \sqrt{3} \times 1232,3498 = 2134,4925 \text{ kW}$$

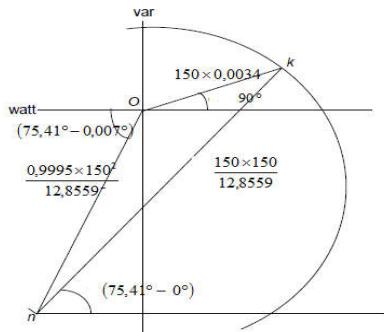
dan

$$P_R = \frac{|V_S| |V_R|}{|B|} \cos(\beta - \delta)$$

$$- \frac{|A| |V_R|^2}{|B|} \cos(\beta - \alpha)$$

$$P_R = \frac{150 \times 150}{12,8559} \cos(75,41^\circ - 90^\circ) \\ - \frac{0,9995 \times 150^2}{12,8559} \cos(75,41^\circ - 0,007^\circ)$$

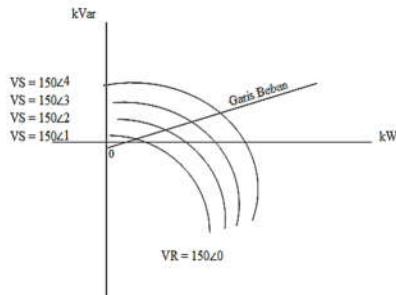
$$P_R = 1253,0372 \text{ kW}$$



Gambar 6. Diagram daya yang diperoleh dengan menggeser titik asal sumbu koordinat pada Gambar 2

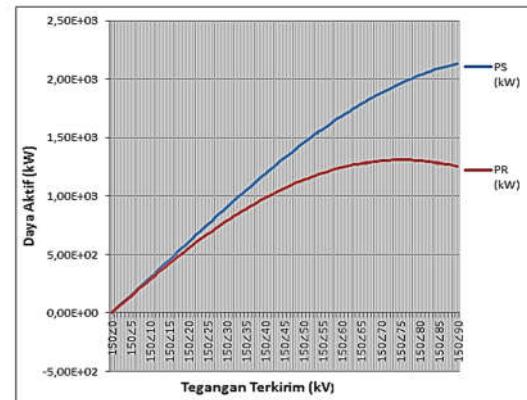
Dengan menganalisis pada Gambar 6 terlihat bahwa jika suatu nilai V_S dengan sudut yang berbeda untuk nilai V_R yang sama, maka letak titik n tidak berubah namun akan diperoleh suatu lingkaran baru dengan jari-jari nk yang

ditunjukkan pada Gambar 7 adalah sebagai berikut:

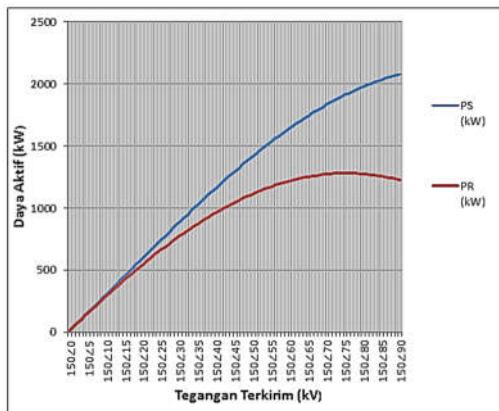


Gambar 7. Lingkaran daya pada ujung penerima (P_R) untuk berbagai V_S = $150^\circ 1$ sampai $150^\circ 4$ dan V_R = $150^\circ 0$

Perbandingan lingkaran daya untuk berbagai nilai V_S yang tidak konstan terhadap nilai V_R yang konstan ditunjukkan pada Gambar 7. Semakin besar sudut fasa pada nilai V_S maka semakin besar pula lingkaran daya pada ujung penerima apabila nilai V_R tetap yaitu $150^\circ 0$. Jika V_R dibuat konstan dan lingkaran daya pada ujung penerima (P_R) digambarkan untuk nilai V_S yaitu $150^\circ 1$ sampai $150^\circ 4$ maka lingkaran yang dihasilkan akan konsentris karena pusat lingkaran daya pada ujung penerima (P_R) tidak tergantung pada V_S .



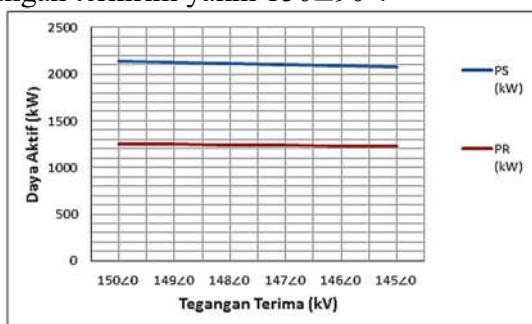
Gambar 8. Karakteristik perubahan P_S dan P_R berdasarkan V_S = $150^\circ 0$ sampai $150^\circ 90$ dan V_R = $150^\circ 0$



Gambar 9. Karakteristik perubahan P_S dan P_R berdasarkan $V_S = 150\angle 0^\circ$ sampai $150\angle 90^\circ$ dan $V_R = 145\angle 0^\circ$

Pada Gambar 8 menunjukkan karakteristik perbandingan antara daya terkirim (P_S) dan daya diterima (P_R) berdasarkan tegangan terkirim (V_S) = $150\angle 0^\circ$ sampai $150\angle 90^\circ$ dan tegangan diterima (V_R) = $150\angle 0^\circ$. Untuk daya yang terkirim (P_S), daya aktif maksimum yang dapat terkirim yaitu sebesar 2134,49 kW pada tegangan yang terkirim (V_S) yaitu $150\angle 90^\circ$ dan tegangan yang diterima (V_R) yaitu $150\angle 0^\circ$.

Pada Gambar 9 menjelaskan bahwa perubahan daya yang terjadi dipengaruhi oleh semakin kecilnya nilai dari V_R yakni $145\angle 0^\circ$ dan sudut fasa yang semakin besar. Untuk daya aktif maksimum terkirim sebesar 2078,03 kW pada tegangan terkirim yakni $150\angle 90^\circ$.



Gambar 10. Karakteristik perubahan P_S dan P_R berdasarkan $V_S = 150\angle 90^\circ$ dan $V_R = 150\angle 0^\circ$ sampai $145\angle 0^\circ$

Pada Gambar 10 menunjukkan bahwa perubahan daya aktif yang terjadi dipengaruhi oleh nilai V_R yakni $150\angle 0^\circ$ sampai dengan $145\angle 0^\circ$ pada V_S yang konstan yakni $150\angle 90^\circ$. Untuk daya aktif maksimum terkirim sebesar 2134,49 kW dan daya aktif maksimum yang diterima sebesar

1253,03 kW pada tegangan terkirim yakni $150\angle 90^\circ$ dan tegangan yang diterima $150\angle 0^\circ$.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penjelasan yang telah dikemukakan pada bab-bab sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa kemampuan transfer daya dipengaruhi oleh sudut fasa. Kemampuan transfer daya aktif maksimum adalah sebesar 1962,71 kW pada V_S yaitu $150\angle 75^\circ$ dan V_R yaitu $150\angle 0^\circ$ dengan selisih sudut fasa adalah 75° . Sedangkan pada $V_S = 150\angle 75^\circ$ dan $V_R = 145\angle 0^\circ$ kemampuan transfer daya aktif adalah sebesar 1911,97 kW dengan selisih sudut fasa yang sama yaitu 75° .
2. Penelitian ini memperlihatkan bahwa kemampuan transfer daya aktif dipengaruhi oleh tegangan. Kemampuan transfer daya aktif maksimum untuk nilai $V_R = 150\angle 0^\circ$ pada V_S yang konstan yakni $150\angle 90^\circ$ adalah sebesar 2134,49 kW. Sedangkan Untuk nilai $V_R = 145\angle 0^\circ$ pada V_S yang konstan yakni $150\angle 90^\circ$ adalah sebesar 2078,03 kW.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cekdin, C. dan Barlian, T. (2013). *Transmisi Daya Listrik*. Andi Publisher, Yogyakarta.
- [2] Gonen, T. (1986). *Electric Power Transmission System Engineering*. Wiley Interscience Publication, New York.
- [3] Hutaurok (1966). *Transmisi Daya Listrik*. Erlangga, Jakarta.
- [4] Irdha, Q. dan Maula, S. (2017). *Pembatasan Transfer Daya Maksimum Dan Pemasangan Kapasitor Untuk Stabilisasi Tegangan*. Jurnal JETRI, Vol. 15, No. 1, Jakarta.
- [5] Kadir, A. (1998). *Transmisi Tenaga Listrik*. Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta.

- [6] Marsudi, Djiteng (2005). *Pembangkitan Energi Listrik*. Erlangga, Jakarta.
- [7] PLN Sektor Bangka. (2018). *Single Line Diagram Transmisi Sistem Bangka*. PLN Sektor Bangka: Buku Operasi Sistem, Bangka
- [8] _____ (2018). *Data Transmisi Sistem Bangka*. PLN Sektor Bangka: Buku Operasi Sistem, Bangka
- [9] Stevenson, W. D. (1983). *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Erlangga, Jakarta.
- [10] Sujatmiko, H. (2009). *Analisis Kerugian Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV di P.T. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban (P3B) Jawa Bali Regional Jawa Tengah dan DIY Unit Pelayanan Transmisi Semarang*. Jurnal Teknik Elektro Vol. 1 No.1, Semarang.
- [11] Utari, I. (2017). *Analisis Data Medan Magnet di Bawah Andongan Jaringan Transmisi SUTT 150 kV dengan Menggunakan Metode Bayangan*. Jurnal Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara, Medan.