

Analisis Aliran Daya *Reconductoring* Saluran Transmisi Paiton Kraksaan- Probolinggo 150 kV Terhadap Saluran Yang Terimbas

Rohmanita Duanaputri^{*a)}, Ahmad Hermawan^{a)}, Zulvina Arifah^{a)}

(Artikel diterima: Juni 2022, direvisi: Juni 2022)

Abstract: Provision of quality and sufficient electrical energy is something that must be done by PT. PLN (Persero). Based on data from PT. PLN (Persero), carried out work on replacing conductors on the Paiton – Kraksaan – Probolinggo transmission line from the TACSR 330 mm² conductor with KHA 1190 A to 2xACCC/TW Copenhagen with KHA 2016 A. Reconductoring work is one of the efforts to uprating the transmission line by considering increasing load requirements. This reconductoring is carried out using the open circuit method or a total blackout in a circuit where the conductor is being replaced by taking into account the stages determined by PT. PLN (Persero). So that the power flow in the system must be considered when these conditions take place for the sake of service reliability or system reliability using a power flow simulator application, namely ETAP software. The simulation voltage tolerance with actual conditions is 5%. Next, analyze the power flow on the affected transmission line which is directly connected to the Kraksaan – Paiton – Probolinggo 150 kV transmission line based on voltage drop, transmission line losses and loading from each stage. As well as calculating the power transfer capability after and before reconductoring. The results of the simulation show that the most significant anomaly (deviation that should not be) is that there is a critical point loading of up to 89.220% on the Probolinggo - Gondangwetan channel when reconductoring has been carried out except for the Paiton - Kraksaan1 transmission line. Meanwhile, the value of power transfer capability increased after reconductoring, where the Paiton-Kraksaan1 and Paiton-Kraksaan2 channels increased by 63.91 MW, the Kraksaan - Probolinggo1 channel increased by 67.95 MW, and the Kraksaan - Probolinggo2 channel increased by 63.461 MW from previously.

Keywords: Deviation analysis, PT.PLN, reconductoring, open circuit method.

1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem kompleks yang terdiri dari tiga bagian utama, antara lain pusat pembangkitan, transmisi, distribusi, dan beban yang saling berhubungan sedemikian rupa dan bekerja sama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan. Energi listrik dibangkitkan pada pusat pembangkitan lalu ditransmisikan dengan jarak jauh menuju beban atau pusat beban. Sistem transmisi menginterkoneksi semua unit pembangkit dan pusat beban utama didalam sistem membentuk tulang punggung sistem tenaga.[1] Penyaluran listrik dilakukan dengan menaikkan tegangan sistem sampai dengan tegangan transmisi dengan tujuan untuk memperkecil kerugian yang terjadi, berupa rugi-rugi daya.[2]

Saluran transmisi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berupa sejumlah konduktor yang dipasang membentang sepanjang jarak antara pusat pembangkit sampai pusat beban atau gardu induk. Saluran transmisi berfungsi untuk mengirimkan energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban atau mengirinkan energi listrik dari satu gardu induk ke gardu induk lain. Berdasarkan panjangnya, saluran transmisi dibagi menjadi tiga macam, yaitu Saluran transmisi pendek, saluran transmisi menengah dan saluran transmisi panjang. Resistansi bergantung pada besarnya tahanan jenis penghantar, panjang pengantar, dan luas penampang penghantar.[3] Resistansi dari sebuah penghantar berbanding lurus dengan tahanan jenis dan panjang penghantar dan berbanding terbalik dengan luas penampang. Induktansi pada saluran transmisi merupakan akibat dari adanya medan magnet yang muncul di sekitar penghantar yang dialiri arus.[4] Kapasitansi saluran transmisi merupakan akibat beda potensial antar penghantar. Kapasitansi ini menyebabkan penghantar menjadi bermuatan seperti pada keping-keping suatu kapasitor bila ada beda potensial diantaranya. Pada saluran

transmisi pendek nilai kapasitansi dan konduktansi dapat diabaikan, sehingga saluran transmisi pendek dapat dianggap sebagai rangkaian impedansi yang terdiri dari tahanan dan induktansi saja.[5] Drop tegangan pada saluran transmisi adalah selisih antara tegangan kirim dan tegangan terima tenaga listrik.[2]

Komponen utama pada saluran transmisi antara lain isolator, kawat tanah, pentanahan tower kawat penghantar, dan tower.[6] Analisis aliran daya digunakan untuk menghitung tegangan, arus, daya dan faktor daya yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu jaringan listrik pada keadaan operasi normal. Perhitungan aliran daya merupakan perhitungan dasar untuk mengoperasikan sistem. Dari hasil perhitungan aliran daya akan diketahui tingkat pembebanan fasilitas transmisi, tingkat tegangan di semua GI dan rugi-rugi transmisi yang terkait dengan keekonomian operasi. Pembebanan (*loading*) saluran transmisi dinyatakan sebagai perbandingan arus yang mengalir pada saluran tersebut dengan arus maksimum yang diperbolehkan melaluinya (kapasitas penyaluran arus atau *ampacity*). [7]

Etap 12.6.0 adalah software untuk menganalisa power system yang bekerja berdasarkan plant (project). Setiap plant harus menyediakan modelling peralatan dan alat-alat pendukung yang berhubungan dengan analisa yang akan dilakukan. ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (single line diagram) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, starting motor, transient stability, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. [7]

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem kompleks yang terdiri dari tiga bagian utama, antara lain pusat pembangkitan, transmisi, distribusi, dan beban yang saling berhubungan sedemikian rupa dan bekerja sama untuk melayani kebutuhan

* Korespondensi rohmanitar@polinema.ac.id

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan. Secara garis besar sistem tenaga listrik dibagi menjadi pembangkitan, transmisi, distribusi, dan beban atau konsumen.[1]

2.2 Saluran Transmisi

Saluran transmisi berfungsi untuk mengirimkan energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban atau mengirimkan energi listrik dari satu gardu induk ke gardu induk lainnya. Saluran transmisi digunakan untuk mengirimkan daya listrik yang cukup besar untuk jarak yang relatif jauh.

2.3 Resistansi

Resistansi dari sebuah penghantar berbanding lurus dengan tahanan jenis dan panjang penghantar dan berbanding terbalik dengan luas penampang.

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

2.4 Induktansi

Induktansi dipengaruhi oleh penghantar lain yang berdekatan yang diberi pemisah yang pada umumnya diterapkan pada saluran transmisi yang biasa disebut konduktor berkas. Berkas ini dapat terdiri dari dua, tiga, atau empat penghantar.[4] Untuk menghitung reaktansi induktif pada saluran ganda dapat digunakan metode GMR dan GMD sebagai berikut.[8]

$$GMD = \sqrt[16]{d_{12}d_{13}d_{15}d_{16}d_{23}d_{24}d_{26}d_{34}d_{34}d_{45}d_{46}d_{56} \dots} \dots (2.2)$$

$$GMR = \sqrt[6]{(r)^3 d_{14}d_{25}d_{36} \dots} \dots\dots\dots (2.3)$$

2.5 Drop Tegangan

Jatuh tegangan pada saluran transmisi adalah selisih antara tegangan kirim dan tegangan terima tenaga listrik.[2]

$$\% V_{drop} = \frac{V_S - V_t}{V_t} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

2.6 Konduktor HTLS

Pada saat ini telah dikembangkan beberapa konduktor yang mempunyai keunggulan dibandingkan dengan konduktor konvensional atau yang biasa dikenal dengan konduktor *High Temperature Low Sag* (HTLS). Konduktor HTLS memiliki titik suhu yang tinggi sehingga kuat hantar arusnya lebih besar daripada ACSR walaupun dengan luas penampang yang sama. Konduktor HTLS mempunyai banyak variasi yang dikembangkan, contohnya ACSS, ACSS-TW, G(Z)TACSR, T(K)(Z)ACSR, X(Z)TACIR, ACCR, dan ACCC.[9].

2.7 Analisis Aliran Daya

Analisis aliran daya digunakan untuk menghitung tegangan, arus, daya dan faktor daya yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu jaringan listrik pada keadaan operasi normal. Dari analisis tersebut dapat diperoleh besar dan sudut fasa tegangan setiap bus, daya aktif dan daya reaktif yang mengalir dalam setiap saluran, dalam bentuk parameter P, Q, V dan δ. [7]

2.8 Klasifikasi Bus

Untuk memperoleh penyelesaian aliran daya pada setiap bus, maka perlu diketahui dua buah besaran dari empat besaran yang

terdapat pada setiap bus sistem tergantung pada parameter-parameter yang diketahui. Dengan demikian setiap bus dalam sistem tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga), yaitu bus beban (load bus), bus kontrol (generator bus), dan bus ayun (slack bus).

2.9 Rugi Saluran

Losses sering dinyatakan dalam prosen setelah dibandingkan dengan daya kirim (P_{ij}).

$$\%Losses = \frac{P_{Lij}}{P_{ij}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

2.10 Pembebanan (Loading) Saluran Transmisi

Pembebanan (*loading*) saluran transmisi dinyatakan sebagai perbandingan arus yang mengalir pada saluran tersebut dengan arus maksimum yang diperbolehkan melaluinya (kapasitas penyaluran arus atau *ampacity*). Istilah arus maksimum yang diperbolehkan dikenal dengan Kuat Hantar Arus (KHA).

$$\% Loading = \frac{I_{flow}}{KHA} \times 100\% \dots\dots\dots (2.6)$$

2.11 Standar Performansi Jaringan

Semua pemakai jaringan harus berusaha semaksimal mungkin agar setiap titik kerja memenuhi:

- a. Frekuensi nominal 50 Hz, diusahakan untuk tidak lebih rendah dari 49,5 Hz atau lebih tinggi dari 50 Hz dan selama waktu keadaan darurat (*emergency*) dan gangguan, frekuensi sistem diizinkan turun hingga 47,5 Hz atau naik hingga 52,5 Hz sebelum unit pembangkit diizinkan keluar dari operasi;
- b. Tegangan nominal 150 kV pada kondisi normal tidak boleh melebihi 5% dan tidak kurang dari 10% tegangan nominal.
- c. Faktor daya di titik sambung antara instalasi pemakai jaringan dengan jaringan minimum sebesar 0,85 *lagging*. [10]

2.12 Prosentasi Error

Prosentase *error* menyatakan besarnya perbedaan antara nilai simulasi dengan nilai sebenarnya (aktual).

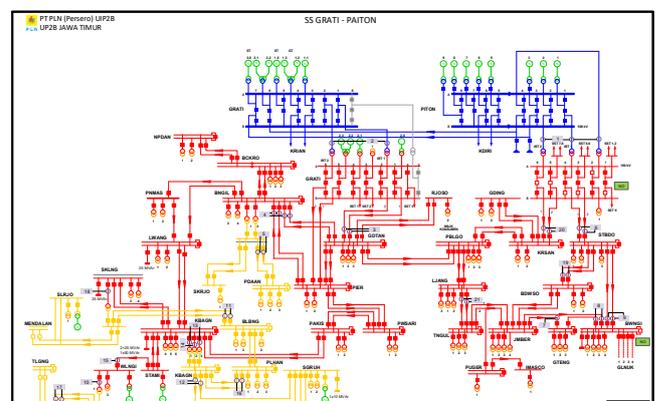
$$\%Error = \frac{simulasi - aktual}{aktual} \times 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

2.13 Kapabilitas Transfer Daya

Metode perhitungan kemampuan transfer saluran transmisi (ATC) kondisi normal merupakan metode yang menggunakan fungsi $ATC = TTC - ETC$. Pada perhitungan dengan metode ini digunakan untuk menganalisis nilai %pembebanan saluran transmisi, %standar pembebanan dan *limit* i, j max yang di ijinakan pada saluran transmisi tersebut.[11]

$$ATC = Limit_{i, j} \max - ETC \dots\dots\dots (2.8)$$

3. Metodologi Penelitian



Gambar 1. Single Line Diagram Substistem Grati – Paiton

Tabel 1. Daya Terpasang dan Daya Mampu Netto Substistem Paiton – Grati

No.	Nama Pembangkit	Unit	Daya Terpasang (MVA)	Daya Mampu Netto (MW)
1	PLTGU Grati	1.0	188.91	180
		1.1	100.75	100.25
		1.2	100.75	100.25
		1.3	100.75	100.25
		3.0	112.45	100
		3.1	112.45	100
		3.2	112.45	100
		2.1	112.45	100
		2.2	112.45	100
		2.3	112.45	100
2	PLTU Paiton	1	400	370
		2	400	370
		3	815	815
		4	615	610
		5	615	610
		6	650	610
		7	650	610
		8	650	610
		9	660	615
3	PLTA Sutami	1	35	34.33
		2	35	34.33
		3	35	34.33
4	PLTA Wlingi	1	27	26.81
		2	27	26.81
5	PLTA Sengguh	1	17.059	14.5
		2	17.059	14.5
6	PLTA Selorejo	1	4.71	4.48
7	PLTA Lodoyo	1	4.5	4.5

Tabel 2. Data Parameter Saluran Transmisi Paiton – Kraksaan – Probolinggo 150 kV

No.	ID Saluran Transmisi	Konduktor Lama	Konduktor Baru	Jarak (km)
1.	Paiton – Kraksaan	TACSR 330 mm ²	2 x ACCC Copenhagen	19,78
2.	Kraksaan - Probolinggo	TACSR 330 mm ²	2 x ACCC Copenhagen	30,24

4. Hasil dan Pembahasan

Penggantian konduktor atau *reconductoring* akan dilakukan pada saluran transmisi PAITON-KRAKSAAN dan KRAKSAAN-PROBOLINGGO yang berada pada jaringan tegangan 150 kV. Waktu yang diambil untuk simulasi ETAP berdasarkan beban puncak tertinggi yang terjadi pada tahun 2020, mengacu pada data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) UP2B Jawa Timur yang terjadi pada tanggal 17 November 2020 pukul 13.30 WIB.

Konduktor lama yang terpasang pada saluran transmisi PAITON-KRAKSAAN dan KRAKSAAN-PROBOLINGGO adalah konduktor TACSR/AW 330 mm² dimana nilai resistansinya sesuai dengan data yang diperoleh di PT. PLN (Persero) yaitu 0,09749 ohm dengan panjang saluran masing-masing 19,775 km dan

30,239 km. Sedangkan konduktor baru yang akan dipasang pada saluran transmisi PAITON-KRAKSAAN dan KRAKSAAN-PROBOLINGGO adalah konduktor 2xACCC/TW *Copenhagen* 220 mm². Pelaksanaan *reconductoring* saluran transmisi Paiton-Kraksaan-Probolinggo 150 kV dilakukan selama empat bulan melalui tahap-tahap pelepasan beban satu per-satu sesuai dengan kondisi aktual yang didapat dari PT.PLN (Persero).

Validasi dilakukan untuk membuktikan bahwa metode yang digunakan hasilnya sudah atau mendekati dengan data aktual yang didapatkan dari PT. PLN. Metode validasi yang digunakan merupakan fungsi *Load Flow Analysis* pada ETAP. Dalam validasi, diperlukan adanya batas *error* dikarenakan hasil simulasi tentu saja tidak akan sempurna. Sehingga, ditetapkan batas *error* dalam validasi ini yaitu kurang lebih 5%.

a) Tabel Hasil Simulasi Tahap 1 Kondisi 1

Analisis %Losses pada Tahap 1 Kondisi 1 dilakukan simulasi sebelum dilakukan *reconductoring* pada saluran transmisi PAITON-KRAKSAAN-PROBOLINGGO 150 kV, pada simulasi ini digunakan parameter impedansi konduktor lama yaitu TACSR 330 mm². Diketahui saluran PAITON_KRAKSAAN1 memiliki P_{Lij} sebesar 1,525 MW dan P_{ij} sebesar 133,557 MW. Maka besarnya %Losses dari saluran tersebut berdasarkan persamaan adalah sebagai berikut.

$$\%Losses = \frac{1,525}{133,557} \times 100\% = 1,14\%$$

Nilai *losses* pada saluran PAITON_KRAKSAAN1 memenuhi standar IEC yaitu 2,5%. Pada tabel 4. dapat diketahui bahwa saluran PAITON_KRAKSAAN dan KRAKSAAN_PROBOLINGGO memiliki nilai *losses* yang masih memenuhi standar yaitu 1,14% untuk PAITON_KRAKSAAN, 1,56% untuk KRAKSAAN_PROBOLINGGO2, dan 1,48% untuk KRAKSAAN_PROBOLINGGO 2.

Pada saluran PAITON_KRAKSAAN1 diketahui V_i sebesar 150,200 kV dan V_j sebesar 148,500, maka besarnya %V_{drop} berdasarkan persamaan adalah sebagai berikut.

$$\%V_{drop} = \frac{150,200 - 148,500}{150,200} \times 100\% = 1,145\%$$

Sebelum dilakukan *reconducting* saluran PAITON_KRAKSAAN memiliki luas penampang sebesar 330mm² dan panjang saluran 19,775 km dengan R₁ sebesar 0,0975 Ω/km dan X₁ sebesar 0,361 Ω/km.

$$V_{drop} = \sqrt{3} (0,514 \text{ kA} \angle 4,597^\circ) (7,397 \angle 74,891^\circ) = 6,585 \text{ kV} \angle 79,488^\circ$$

Maka, besarnya V_{drop} dari bus PAITON2 menuju bus KRAKSAAN1 adalah sebesar 6,585 kV ∠ 79,488° dengan %V_{drop} sebesar 1,145%.

Analisis %Loading Diketahui saluran PAITON_KRAKSAAN1 memiliki I_{ij} sebesar 0,514 kA dan KHA sebesar 1164 A. Maka besarnya %Loading dari saluran tersebut Berdasarkan persamaan adalah sebagai berikut.

$$\%Loading = \frac{0,514 \times 1000}{1164} \times 100\% = 44,16\%$$

b) Hasil Simulasi Tahap 1 Kondisi 2

Analisa %Losses tahap 1 kondisi 2 dilakukan sistem pemodelan ETAP dengan mematikan satu saluran (padam total) pada saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO2, pada kejadian ini dapat diperkirakan bahwa %Losses dibebepada saluran akan

mengalami kenaikan, hal ini dapat disebabkan tidak akan ada supply daya yang melewati saluran tersebut, sehingga tidak ada arus yang mengalir pada saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO2.

Analisis *Voltage Drop* menunjukkan bahwa pada saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO2. Kenaikan % *Losses* tertinggi dengan perbedaan %*Losses* 0,54% yang terjadi pada saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO1. arus pada saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO1 mengalami kenaikan dari 0,428 kA menjadi 0,587 kA akibatnya pada saluran PROBOLINGGO_LUMAJANG1 juga mengalami kenaikan %*Losses* sebesar 0,36% yang awalnya mengalami %*Losses* sebesar 1,09% menjadi 1,44% sebab Bus *i* Lumajang terinterkoneksi dengan Bus *i* Probolinggo. Penurunan % V_{drop} antara tahap 1 kondisi 1 dengan tahap 1 kondisi 2, beberapa saluran juga mengalami kenaikan % V_{drop} , namun hanya sebagian kecil. Terjadi penurunan % V_{drop} sebesar 0,272% pada saluran PAITON_KRAKSAAN hal ini dikarenakan terjadi kenaikan tegangan pada bus KRAKSAAN yang awalnya 148,5 kV menjadi 149 kV. Penurunan % V_{drop} terbesar akibat trip saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO2 terjadi pada saluran PROBOLINGGO_GDWETAN2 yaitu sebesar 0,61%

Analisis %*loading* menunjukkan bahwa terjadi kenaikan %*loading* pada saluran yang terinterkoneksi dengan saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO2 saat dilakukan dilakukan trip pada saluran tersebut. Hal ini berpengaruh pada pembebanan pada saluran PROBOLINGGO_GDWETAN1 dan PROBOLINGGO_LUMAJANG1 yang terinterkoneksi dengan Bus *i* PROBOLINGGO sehingga pada saluran PROBOLINGGO_GDWETAN1 juga mengalami kenaikan %*loading* yang awalnya 30,044% menjadi 42,333%

c) Hasil Simulasi Tahap 2 Kondisi 1

Analisis %*Losses* pada tahap 2 kondisi 1 terdapat saluran yang sudah dilakukan *reconducting* yaitu pada saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO2 yang sebelumnya menggunakan konduktor TACSR/AW 330 mm² dengan KHA 1164 A lalu diganti dengan konduktor 2xACCC/TW *Copenhagen* 220 mm² dengan KHA 2016 A. Nilai resistansi TACSR/AW 330mm² adalah 1,932 Ω , sedangkan resistansi 2x ACCE/TW *Copenhagen* 220 mm² adalah 0,997 Ω , Nilai resistansi ini berpengaruh pada besarnya nilai *losses*.

Pada data menunjukkan bahwa terdapat saluran yang mengalami kenaikan %*losses* dan penurunan %*losses*. Selain saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO2, saluran PROBOLINGGO_LUMAJANG2, saluran PAITON_KRAKSAAN1, dan saluran PROBOLINGGO_GDWETAN2 juga mengalami kenaikan %*losses*. Saluran PROBOLINGGO_LUMAJANG2 mengalami kenaikan 0,496% yang awalnya sebelum dilakukan *reconducting* besar %*losses*-nya 1,02% naik menjadi 1,477%.

Analisis %*voltage Drop* menunjukkan bahwa terjadi kenaikan % V_{drop} sebesar 0,551% pada saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO2 setelah dilakukan *reconducting* pada saluran tersebut.

Analisis %*loading* dapat di lihat bahwa saat konduktor baru sudah di pasang pada saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO2 terjadi perubahan %*loading* pada beberapa saluran yang terinterkoneksi langsung dengan saluran tersebut. Contohnya pada saluran PROBOLINGGO_GDWETAN2 mengalami kenaikan yang cukup signifikan yaitu sebesar 28,809% dari sebelum dilakukan *reconducting* 28,627% menjadi 55,323%.

d) Hasil Simulasi Tahap 2 Kondisi 2

Analisis %*Losses* pada Tahap 2 Kondisi 2 terdapat dua saluran yang di simulasikan dalam keadaan padam total atau *open* sirkit yaitu saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO1 dan PAITON_KRAKSAAN2 sedangkan saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO2 sudah beroperasi normal dalam keadaan selesai di *reconducting*. Pada saluran PAITON_KRAKSAAN1 mengalami kenaikan % *losses* sebesar 0,634%, yang awalnya pada saat Tahap 2 Kondisi 2 sebesar 1,340% naik menjadi 1,539% namun hal ini masih termasuk dalam batas standar IEC yaitu 2,5%.

Analisis %*Voltage Drop* terjadi perubahan % V_{drop} saat dilakukan tahap 2 kondisi 2 juga tidak mengalami perubahan yang signifikan khususnya pada saluran yang terinterkoneksi dengan KRAKSAAN_PROBOLINGGO1 dan PAITON_KRAKSAAN2. Tiga saluran dengan % V_{drop} terbesar terjadi pada saluran PROBOLINGGO_GDWETAN2 dengan nilai % V_{drop} -1,952%, saluran PROBOLINGGO_GDWETAN1 dengan nilai % V_{drop} -1,872%, kemudian PAITON_KRAKSAAN1 dengan nilai % V_{drop} 1,554%.

Analisis %*loading* saat dilakukan proses tahap 2 kondisi 2 yaitu dilakukan *open* sirkit pada dua saluran dapat dianalisis bahwa terdapat satu saluran yang hampir mengalami titik kritis (>80% kapasitas penghantar) yaitu pada saluran PAITON_KRAKSAAN1 yaitu sebesar 76,355%.

e) Hasil Simulasi Tahap 3 Kondisi 1

Analisis %*Losses* proses *reconducting* tahap 3 kondisi 1 berlangsung dimana saluran PAITON_KRAKSAAN2 dioperasikan secara normal kembali dengan kondisi penghantar yang sudah diganti dengan konduktor 2xACCC/TW *Copenhagen* 220 mm², begitu pula dengan KRAKSAAN_PROBOLINGGO2. saluran PROBOLINGGO_GDWETAN mengalami kenaikan %*losses* menjadi 3,212% dari yang sebelumnya 1,965%. Selain itu, terjadi kenaikan %*losses* pada saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO2 yang awalnya sebesar 1,719% kemudian naik menjadi 2,392%. Sedangkan saluran PAITON_KRAKSAAN1 mengalami penurunan %*losses* dari yang awalnya 1,974% turun menjadi 0,623%.

Analisis %*Voltage Drop* perubahan % V_{drop} pada tahap 3 kondisi 1 tidak mengalami perubahan yang cukup signifikan.

Analisis %*loading* saat dilakukan proses tahap 3 kondisi 1 terdapat satu saluran yang mengalami pembebanan melebihi titik kritis (>80% kapasitas penghantar) yaitu pada saluran PROBOLINGGO_GDWETAN2 sebesar 89,220% dari yang sebelumnya 56,539%.

f) Hasil Simulasi Tahap 3 Kondisi 2

Analisa %*Losses* pada tahap 3 kondisi 2 dilakukan simulasi dalam keadaan seluruh sirkit PAITON-KRAKSAAN-PROBOLINGGO *close* sirkit dengan kondisi tiga saluran sudah dilakukan pemasangan konduktor baru yaitu 2xACCC/TW *Copenhagen* 220 mm² diantaranya saluran PAITON_KRAKSAAN2, KRAKSAAN_PROBOLINGGO1, dan KRAKSAAN_PROBOLINGGO2. terjadi kenaikan %*losses* setelah dilakukan *open* sirkit pada saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO1. Kenaikan %*losses* terjadi pada saluran PAITON_KRAKSAAN1, PAITON_KRAKSAAN2, PROBOLINGGO_GDWETAN1, dan PROBOLINGGO_LUMAJANG1. Nilai %*losses* pada PAITON_KRAKSAAN1 yaitu 0,815% yang sebelumnya pada tahap 3 kondisi 1 adalah 0,623%. Sedangkan kenaikan %*losses* pada

saluran PAITON_KRAKSAAN2 cukup signifikan yaitu 1,678% naik menjadi 2,252% saat tahap 2 kondisi 2. Saluran PROBOLINGGO_GDWETAN1 dan PROBOLINGGO_LUMAJANG1 juga mengalami kenaikan $\%losses$ setelah dilakukan simulasi tahap 3 kondisi 2. Pada PROBOLINGGO_GDWETAN1 terjadi kenaikan $\%losses$ dari 0,775% menjadi 2,110%, sedangkan pada PROBOLINGGO_LUMAJANG1 dari 0,512% naik menjadi 1,453%. Lain halnya pada saluran PROBOLINGGO_GDWETAN2 mengalami penurunan $\%losses$ dari 2,979% turun menjadi 2,145% dan saluran PROBOLINGGO_LUMAJANG2 yang juga mengalami penurunan $\%losses$ dari 2,267% turun menjadi 1,452%. Hal ini dapat disebabkan oleh suplai daya dari KRAKSAAN_PROBOLINGGO2 mengalami penurunan dari yang awalnya 274,983 MW menjadi 194,234 MW

Analisis $\%Voltage Drop$ saluran yang terinterkoneksi langsung dengan saluran transmisi PAITON-KRAKSAAN-PROBOLINGGO mengalami kenaikan dan penurunan $\%V_{drop}$. Kenaikan $\%V_{drop}$ terjadi pada saluran PAITON_KRAKSAAN1, PAITON_KRAKSAAN2, PROBOLINGGO_GDWETAN1, dan PROBOLINGGO_GDWETAN2. Sedangkan saluran yang mengalami penurunan $\%V_{drop}$ antara lain saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO1, PROBOLINGGO_LUMAJANG1, dan PROBOLINGGO_LUMAJANG2.

Analisis $\%Loading$ pemasangan konduktor baru pada saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO1 maupun KRAKSAAN_PROBOLINGGO2 mengakibatkan $\%loading$ mengalami kenaikan pada sisi saluran yang menyuplai yaitu PAITON_KRAKSAAN1 dan PAITON_KRAKSAAN2 karena kapasitas hantar arus pada konduktor baru semakin besar sehingga mampu mentransfer daya yang lebih besar. Pada simulasi tahap 3 kondisi 1 saluran PROBOLINGGO_GDWETAN2 mengalami pembebanan berlebih atau melebihi batas kritis (>80% kapasitas hantar arus) yaitu sebesar 93,885%.

g) Hasil Simulasi Tahap 4 Kondisi 1

Analisis $\%Losses$ pada tahap 4 kondisi 1 dilakukan proses *reconductoring* pada saluran PAITON_KRAKSAAN1 dengan melakukan padam total/close sirkuit pada saluran tersebut. sehingga transfer daya dari GI Paiton menuju ke GI Kraksaan hanya melalui saluran PAITON_KRAKSAAN2.

Analisis $\%Voltage Drop$ 4 kondisi 1 tidak mengalami banyak perubahan yang signifikan selain pada saluran PAITON_KRAKSAAN2, pada saluran PAITON_KRAKSAAN2 mengalami kenaikan $\%V_{drop}$ sebesar 0,414%. $\%V_{drop}$ pada saat tahap 4 kondisi 1 sebesar 1,894% kemudian naik menjadi 2,308%. Hal ini disebabkan oleh turunnya tegangan pada bus sisi kirim yaitu Bus j KRAKSAAN dari yang awalnya 147,8 kV menjadi 147,3 kV sehingga menyebabkan kenaikan

Analisis $\%loading$ sama halnya dengan $\%losses$ dan $\%V_{drop}$ pada tahap 4 kondisi 1 perubahan nilai $\%loading$ tidak terlalu signifikan kecuali pada saluran PAITON_KRAKSAAN2 dimana $\%loading$ mencapai titik kritis yaitu 81,992% yang sebelumnya pada tahap 3 kondisi 2 saat saluran PAITON_KRAKSAAN1 *open trip* nilai $\%loading$ nya 74,029%.

h) Hasil Simulasi Tahap 4 Kondisi 2

Analisis $\%Losses$ pada tahap 2 kondisi 2 dilakukan simulasi dengan proses *reconductoring* telah selesai, sehingga pada tahap ini akan di analisis dan dibandingkan dengan pada saat tahap 1 kondisi 1 dimana perbandingannya adalah saat belum dilakukan

reconductoring dan setelah dilakukan *reconductoring* pada saluran transmisi PAITON – KRAKSAAN – PROBOLINGGO 150 kV. Pada saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO1 dari 1,56% menjadi 1,812%, sedangkan pada saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO2 dari 1,48% naik menjadi 1,732%. Hal ini terjadi karena saluran yang sudah diganti dengan konduktor baru mampu mentransfer daya lebih besar, sehingga $\%losses$ juga semakin besar.

Analisis $\%Voltage Drop$ bahwa $\%V_{drop}$ juga mengalami kenaikan pada saluran yang dilakukan penggantian konduktor. Pada kedua saluran PAITON_KRAKSAAN terjadi kenaikan $\%V_{drop}$ dari 1,145% menjadi 1,210%, hal ini disebabkan oleh kenaikan tegangan pada sisi kirim yaitu Bus PAITON sebesar 150,6 kV yang awalnya 150,2 kV, sehingga menyebabkan $\%V_{drop}$ mengalami kenaikan pada simulasi tahap 4 kondisi 2.

Analisis $\%Loading$ pada saluran yang telah diganti konduktornya tidak mengalami perubahan nilai $\%loading$. Namun meskipun tidak mengalami perubahan yang signifikan pada nilai $\%loading$, daya yang di transfer atau arus yang mengalir pada saluran tersebut mengalami kenaikan.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sebelum seluruh proses *reconductoring* selesai terjadi $\%loading$ mencapai titik kritis yaitu sebesar 89,220 % pada saluran PROBOLINGGO_GDWETAN2 tepatnya pada saat simulasi tahap 3 kondisi 1, dimana pada kondisi tersebut hanya saluran PAITON_KRAKSAAN1 yang belum dilakukan penggantian konduktor. Selain pada tahap 3 kondisi 1, terjadi $\%loading$ mencapai titik kritis yaitu sebesar 81,992% pada simulasi tahap 4 kondisi 1 tepatnya pada saluran KRAKSAAN_PAITON2.
2. Setelah dilakukan *reconductoring* pada saluran transmisi Paiton-Kraksaan-Probolinggo150 kV terjadi kenaikan $\%loading$ yang cukup signifikan pada saluran PROBOLINGGO_GDWETAN1 dan PROBOLINGGO_GDWETAN2 yang masing-masing mencapai 67,314% dan 67,606%.
3. Setelah dilakukan *reconductoring* nilai kapabilitas transfer daya pada saluran Paiton-Kraksaan-Probolinggo meningkat, dimana pada saluran PAITON_KRAKSAAN1 dan PAITON_KRAKSAAN2 meningkat menjadi 136 MW dimana sebelumnya 72,086 MW, pada saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO1 meningkat menjadi 164,12 MW dimana sebelumnya 96,172 MW, dan pada saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO2 meningkat menjadi 153,13MW dimana sebelumnya 89,669 MW.

6. Saran

Berdasarkan pembahasan penulis menyarankan untuk melakukan *reconductoring* pada saluran PROBOLINGGO_GDWETAN karena setelah dilakukan *reconductoring* pada saluran Paiton-Kraksaan-Probolinggo terjadi lonjakan $\%loading$ yang cukup signifikan pada saluran PROBOLINGGO_GDWETAN1 dan PROBOLINGGO_GDWETAN2 hingga mencapai masing-masing 67,314% dan 67,606% yang disebabkan transfer daya dari saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO menjadi lebih besar sehingga berpengaruh pada saluran yang terinterkoneksi langsung.

7. Daftar Pustaka

- [1] S. Supto, *Buku Ajar Dasar Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2014.
- [2] A. Arismunandar and S. Kuwahara, *TEKNIK TENAGA LISTRIK*, II. JAKARTA: PT PRADNYA PARAMITA, 2004.
- [3] C. Cekdin and T. Barlian, *Transmisi Daya Listrik*. Yogyakarta: ANDI, 2013.
- [4] D. S. Nabila and S. M. Salafia, "ANALISIS SUSUT DAYA DAN DROP TEGANGAN SETELAH PERUBAHAN KONFIGURASI DAN UPRATING SUTT MENJADI 150 KV PADA GI KEBONAGUNG-GI BLIMBING," Politeknik Negeri Malang, 2020.
- [5] A. Hermawan, "DISTRIBUSI DAN TRANSMISI SISTEM TENAGA LISTRIK," Malang: Politeknik Negeri Malang, 2008, p. 41.
- [6] Anonim2, *Buku Pedoman Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi (SUTT/SUTET)*. JAKARTA: PT. PLN (Persero), 2014.
- [7] M. M. Effendi, "ANALISIS ALIRAN DAYA DAN KUALITAS DAYA MENGGUNAKAN PERFORMANCE INDEX AKIBAT UPRATING SALURAN TRANSMISI DARI 70 KV MENJADI 150 KV PADA SUBSISTEM PAITON–GRATI," Politeknik Negeri Malang, 2020.
- [8] Hutauruk, "TRANSMISI DAYA LISTRIK," 2nd ed., JAKARTA: ERLANGGA, 1990, pp. 54–55.
- [9] E. Mateescu, D. Marginean, G. Florea, S. I. A. Gal, and C. Matea, "Reconductoring using HTLS conductors. Case study for a 220 kV double circuit transmission LINE in Romania," 2011, doi: 10.1109/TDCLLM.2011.6042242.
- [10] Anonim1, *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor: 03 Tahun 2007*. 2007.
- [11] B. M. Sri, "ANALISIS AVAILABLE TRANSFER CAPABILITY (ATC) SALURAN TRANSMISI 150 KV PADA KINERJA OLS 1, OLS 2, DAN OLS 3 DI SUB SISTEM KRIAN IBT 3 & 4," Politeknik Negeri Malang, 2019.