

Analisis Rugi-Rugi Daya dan Jatuh Tegangan pada Gardu Induk Denai Menggunakan Simulasi ETAP

Liv Raja Tua Pasaribu¹, Olnes Hutajulu^{2*}, Erita Astrid³, Puji Mory Nababan⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan

^{*})Corresponding Author, olnes.hutajulu@unimed.ac.id

Abstrak

Jatuh tegangan merupakan salah satu kondisi yang dapat terjadi pada jaringan tenaga listrik. Jatuh tegangan dapat menurunkan kinerja perangkat penyaluran daya hingga kerusakan khususnya transformator sehingga terjadi pemutusan/pemadaman listrik ke konsumen. Upaya untuk meminimalisir jatuh tegangan (*drop voltage*) menjadi penting untuk meningkatkan keandalan sistem, menjaga kondisi tranformator dan mereduksi rugi-rugi daya. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui aliran daya yang pada transformator daya yang terdapat pada sebuah penyulang dengan 3 trafo. Selain itu akan dilakukan upaya untuk mengatasi jatuh tegangan dan mereduksi rugi-rugi daya dengan penambahan kabel atau menubah ukuran kabel saluran yang digunakan. Pada penelitian ini, Metode Newton-Raphson akan digunakan untuk menganalisis aliran daya pada sisi penyulang Gardu Induk Denai. Hasil analisis akan digunakan untuk menentukan diameter kabel yang dibutuhkan dan selanjutnya dihitung perubahan nilai rugi-rugi daya yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis diperoleh diameter kabel yang dibutuhkan pada sisi penyulang trafo 1 adalah $2 \times 630 \text{ mm}^2$ dari sebelumnya hanya $1 \times 630 \text{ mm}^2$ dan ukuran kabel trafo 2 menjadi 495 mm^2 dari sebelumnya hanya 400 mm^2 . Sedangkan trafo 3 tidak digunakan. Berdasarkan rekomendasi tersebut terdapat penurunan rugi-rugi daya sebesar 50% pada trafo 1 dan 19.7% pada trafo 2. Selain itu, karena trafo 3 tidak digunakan maka rugi-rugi daya pada saluran 3 turum sebesar 100% dan trafo ini dapat dijadikan cadangan atau *backup* saat dibutuhkan.

Abstract

Voltage drop is one of the conditions that can occur in an electric power network. Voltage drop can reduce the performance of the power distribution device to damage, especially the transformer resulting in disconnection/blackout of electricity to consumers. Efforts to minimize the voltage drop are important to increase system reliability, maintain transformer condition and reduce power losses. The purpose of this study is to determine the power flow in the power transformer contained in a feeder with 3 transformers. In addition, efforts will be made to overcome voltage drops and reduce power losses by adding cables or changing the size of the cable lines used. In this study, the Newton-Raphson method will be used to analyze the power flow on the feeder side of the Denai Substation. The results of the analysis will be used to determine the required cable diameter and then calculate the change in the value of the power losses that occur. Based on the results of the analysis, it was found that the required cable diameter on the feeder side of transformer 1 was $2 \times 630 \text{ mm}^2$ from previously only $1 \times 630 \text{ mm}^2$ and the cable size for transformer 2 became 495 mm^2 from previously only 400 mm^2 . While transformer 3 is not used. Based on these recommendations, there is a decrease in power losses of 50% on transformer 1 and 19.7% on transformer 2. In addition, because transformer 3 is not used, the power losses on channel 3 decrease by 100% and this transformer can be used as a backup or backup when needed.

INFO.

Info. Artikel:

No. 498

Received. August, 16, 2023

Revised. October, 11, 2023

Accepted. October, 20, 2023

Page. 799 – 808

Kata kunci:

- ✓ Rugi – Rugi Daya
- ✓ Jatuh Tegangan
- ✓ ETAP
- ✓ Gardu Induk
- ✓ Newton-Raphson

PENDAHULUAN

Gardu induk merupakan salah satu bagian penting dalam sistem transmisi. Adapun salah satu fungsi dari gardu induk adalah sebagai pusat atau tempat untuk menurunkan atau menaikkan tegangan pada sistem tenaga listrik. Berdasarkan hal tersebut menjadikan gardu induk ini harus sangat

diperhatikan karena jika terjadi kegagalan operasi pada gardu induk maka akan terjadi pemadaman bagi konsumen. Banyak cara yang dilakukan agar keandalan penyaluran tenaga listrik tetap terjaga. Berdasarkan hal tersebut pada sistem distribusi, efisiensi dapat dilakukan salah satunya dengan meminimalisir jatuh tegangan (*drop voltage*) pada saluran dan mengurangi daya reaktif yang terjadi [1-2]. Banyak hal yang dapat mengakibatkan terputusnya pasokan daya listrik ke beban, salah satunya adalah *drop* tegangan. *Drop* tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Rugi daya (*Power losses*) merupakan hal yang pasti terjadi dalam proses penyalurannya. Kerugian tersebut terjadi karena energi yang disalurkan tidak sama dengan energi yang diterima pada sisi konsumen [3-4]. Daya listrik yang disalurkan dari gardu induk/trafo distribusi ke konsumen akan terjadi jatuh tegangan dan rugi daya yang disebabkan oleh saluran distribusi memiliki impedansi [5-7] Rugi-rugi juga dapat terjadi akibat pembebanan yang tidak seimbang antara ketiga fasa sistem, panas yang terjadi pada konduktor saluran maupun transformator dan panas saluran konduktor yang buruk (*loss contact*) [8-9].

Permasalahan yang terdapat dalam penelitian ini diketahui ketika hasil pengukuran arus pada kabel penghubung trafo daya dengan penyulang di Gardu Induk Denai diperoleh nilai yang melewati batas Kuat Hantar Arus (KHA) kabel bawah tanah dengan tipe NA2XSY yang digunakan. Hasil pengukuran rata-rata 922 A dan 780 A sedangkan KHA pada kabel dengan diameter 630 mm² sebesar 708 A dan 542 A berdasarkan IEC 60502-2 dan SPLN 43-5-3:1995. Akibatnya terjadi rugi-rugi daya sebesar 25 kWatt pada saluran trafo daya satu dan 33 kWatt untuk saluran pada trafo daya dua sehingga perlu dilakukan perbaikan untuk mengurangi rugi-rugi daya tersebut.

Cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi rugi-rugi daya ini dapat dilakukan rekonfigurasi jaringan diantaranya dengan merubah diameter penghantar, memasang transformator sisip dan memasang kapasitor bank menggunakan bantuan perangkat lunak ETAP [10-13]. Analisis aliran daya dalam mengetahui rugi-rugi daya yang terjadi dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode yaitu metode Gauss-Seidel, Metode Newton-Raphson dan Metode Fast Decouple [14-16].

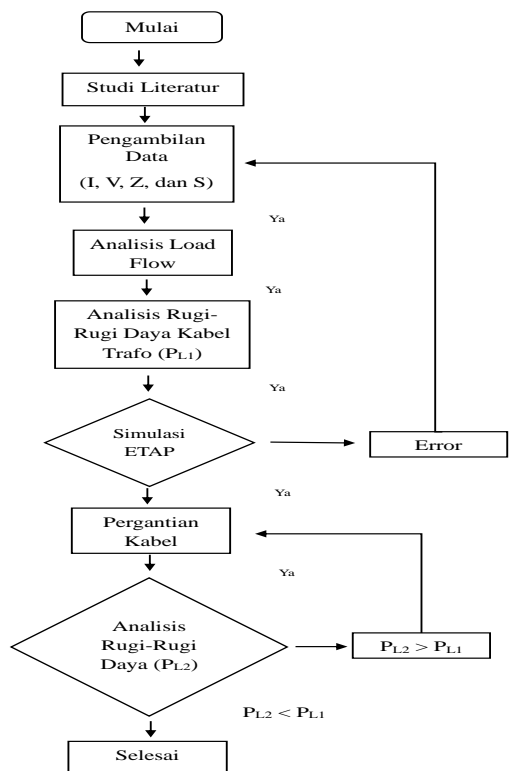
Metode Newton-Raphson akan digunakan untuk menganalisis aliran daya pada sisi penyulang Gardu Induk Denai. Proses perhitungan manual pada penelitian ini dilakukan untuk lebih memahami proses perhitungan simulasi ETAP. Perbaikan yang dapat dilakukan untuk mengurangi rugi-rugi daya yang terjadi akibat kuat hantar arus kabel penghantar yang tidak dapat memikul arus pada waktu beban puncak yang terjadi melalui penambahan luas penampang dari kabel penghantar tersebut agar kuat hantar arus kabel dapat memenuhi waktu beban puncak yang terjadi. Namun karena luas penampang kabel tertinggi pada tipe NA2XSY adalah 630 mm², maka hal yang akan dilakukan adalah menambah kabel dengan tipe yang sama menjadi dua buah setiap fasanya atau dengan mengganti kabel saluran bawah tanah tipe lain dengan KHA yang lebih tinggi. Jatuh tegangan yang terjadi pada Gardu Induk Denai dapat diantisipasi menggunakan penambahan kapasitor bank untuk menyuplai daya reaktif yang terjadi. Analisis akan dilakukan menggunakan simulasi ETAP sehingga biaya perbaikan yang akan dilakukan diabaikan.

Hasil analisis tersebut akan dicoba sebagai salah satu variabel dalam mengambil keputusan untuk tindakan perbaikan ataupun perawatan pada Gardu Induk Denai sehingga dapat mengurangi rugi-rugi daya yang terjadi serta jatuh tegangan dengan menggunakan simulasi ETAP untuk proses perbaikan dan rekonfigurasi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Gardu Induk Denai, Jl. Selambo, RT.002/RW. 02, Medan Tenggara, Kec. Medan Denai, Sumatera Utara 20226. Penelitian ini dilakukan pada kabel saluran sisi sekunder transformator dayanya. Adapun gambar rangkaian satu garis penyulang yang akan diteliti diperlihatkan pada gambar 1.

Langkah awal penelitian teknik yang dilakukan dalam pengambilan data yaitu terlebih dahulu mencatat nameplate pada setiap transformator yang tersedia dan juga mengambil data daya tegangan dan beban yang terdapat pada setiap penyulang serta mengambil data resistansi dan reaktansi yang terdapat pada konduktor yang tersedia.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Menentukan Impedansi, Resistansi, Reaktansi, dan Admitansi

Rugi-rugi energi yang terjadi pada jaring tegangan menengah disebabkan oleh adanya impedansi pada suatu penghantar listrik dinyatakan dalam persamaan:

$$Z = R + j.X_L \tag{1}$$

Menentukan admitansi digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Y = \frac{1}{Z} \tag{2}$$

Keterangan:

- Z = Impedansi
- R = Resistansi
- j.X_L = Reaktansi
- Y = Admitansi saluran (u)

Metode Newton Raphson

Metode Newton-Raphson merupakan metode yang digunakan untuk mendapatkan aliran daya sehingga jaringan dapat direkonfigurasi menjadi lebih optimal lagi. Ketidakefektifan suatu jaringan dapat dipengaruhi oleh pembebanan antar fasa yang terjadi tidak seimbang serta ketidakmampuan suatu jaringan untuk memenuhi kebutuhan beban yang dibutuhkan. Hal ini dapat berakibat terjadinya penurunan keandalan dari jaringan tersebut. Daya kompleks pada bus i adalah :

$$P_i - jQ_i = V_i * \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \tag{3}$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i - \theta_{ij}) \tag{4}$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i - \theta_{ij}) \tag{5}$$

Keterangan

- P_i = Daya aktif ke-i
- Q_i = Daya reaktif ke-i
- V_i = Tegangan ke-i
- Y_{ij} = Admintansi

Rugi Daya

Rugi daya (Power losses) merupakan hal yang pasti terjadi dalam proses penyalurannya. Daya listrik yang disalurkan dari gardu induk/trafo distribusi ke konsumen akan terjadi jatuh tegangan dan rugi daya yang disebabkan oleh saluran distribusi memiliki impedansi. Rugi rugi daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 6:

$$P_{losses} = 3 \cdot I^2 \cdot R \quad (6)$$

Keterangan :

- P_{losses} = Rugi rugi daya (Watt)
 I = Arus yang mengalir (Ampere)
 R = Tahanan saluran (Ω /meter)

Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan yang dipengaruhi oleh reaktansi sehingga faktor dayanya tidak sama dengan satu. Perhitungan jatuh tegangan biasanya disederhanakan dengan mengansumsikan beban tiga fasa yang seimbang dan faktor daya yang terjadi kisaran 0.6 sampai 0.9. Perhitungan tegangan dapat dilakukan berdasarkan persamaan 7.

$$\Delta V = I (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) \quad (7)$$

Pengambilan data-data yang dibutuhkan pada penelitian ini telah didapatkan maka tahap selanjutnya adalah perapihan data untuk pengolahan lebih lanjut dengan mengecek kelengkapan data yang diperoleh. Dilanjutkan dengan perhitungan secara manual rugi-rugi daya dan jatuh tegangan yang terjadi mulai dari trafo daya sampai ke penyulang. Dilakukan simulasi mulai dari trafo daya sampai ke setiap penyulang yang tersedia.

Mendapatkan data telah diselesaikan secara manual dan secara simulasi menggunakan ETAP maka dapat dilakukan perbandingan seberapa akurat data yang diperoleh dari simulasi dibandingkan dengan menghitung secara manual baru dilakukan analisis untuk meminimalisir rugi-rugi daya dan jatuh tegangan yang terjadi.

Penyusunan penelitian ini, memakai beberapa metode yaitu sebagai berikut :

- Metode Studi Literatur
- Metode Observasi
- Metode Wawancara

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Waktu Beban Puncak Setiap Penyulang

Data rata-rata waktu beban puncak setiap penyulang 20 kV yang terdapat pada ketiga transformator daya pada Gardu Induk Denai terdapat pada pukul 19.00 WIB yang diambil selama seminggu dapat dilihat pada tabel 1. berikut ini.

Tabel 1 Arus waktu beban puncak dan faktor daya penyulang

No	Trafo Daya	Penyulang	Arus Beban Puncak Rata-Rata (A)	Daya Aktif (kW)	Daya Reaktif (kVAR)	Faktor Daya (%)
1	I	DA2	150	4832	1910	93
		DA3	203	6540	2585	93
		DA4	162	5219	2063	93
		DA5	239	7617	3245	92
		DA6	139	4478	1770	93
		DA7	147	4736	1872	93
		DA8	119	3792	1615	92
		DN1	139	4719	958	98
		DN2	50	1697	345	98
DN3	101	3394	851	98		

2	II	DN4	231	7842	1592	98
		DN5	113	3429	696	98
		DN6	10	0.4	350	0.12
3	III	DI1	140	4753	965	98

Besar arus beban puncak rata-rata selama seminggu pada setiap penyulang terjadi pada pukul 19.00 WIB. Berdasarkan Tabel 1. trafo I merupakan trafo yang paling banyak menyuplai beban sedangkan yang paling sedikit terdapat pada trafo daya III. Data ini akan digunakan untuk perhitungan rugi-rugi daya dan aliran daya pada setiap trafo menggunakan metode Newton-Raphson.

Data Impedansi dan Luas Penampang Kabel

Pada sisi sekunder transformator daya ke sisi penyulang di Gardu Induk Denai merupakan kabel bawah. Adapun jenis, merk kabel dan luas penampang kabel bawah tanah pada Gardu Induk Denai dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Data kabel sisi penyulang setiap trafo

No	Tarfo	Jenis Kabel	Merk Kabel	Luas Penampang Kabel
1	I	NA2XSJ	FoxSell	630 mm ²
2	II	NA2XSJ	Sumy Indo Cable	400 mm ²
3	III	NA2XSJ	Jimbo Cable	630 mm ²

Untuk mengetahui besar impedansi kabel berbeda beda tergantung besar luas penampang, panjang dan jenis kabelnya, dan pada Gardu Induk Denai memiliki panjang 200 meter.

Data Transformator Daya Gardu Induk Denai

Untuk melihat data transformator daya dapat dilihat dari *nameplate* yang tertera di *body* trafo dapat dilihat pada tabel 3. berikut ini.

Tabel 3 Data transformator daya

No	Merk Trafo	Kapasitas (MVA)	Tegangan Input (kV)	Tegangan Output (kV)	Daya Input ke Penyulang (kW)
1	Unindo	60	150	20	37214
2	Pauwels	60	150	20	21081
3	B & D Transformer	60	150	20	4753

Data tabel 3. merupakan jumlah daya pada data Tabel 2. yang diterima setiap penyulang. Besarnya rata-rata daya yang diterima dari sisi 150 kV di Gardu Induk Denai dapat dilihat pada tabel 4. berikut ini.

Tabel 4 Daya yang diterima dari sisi 150 kV

No	Sumber Daya	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVA)
1	Sei Rotan	28,77	6,25
2	Tanjung Morawa	39,37	15,8

Data Tabel 4. merupakan daya yang diterima pada sisi primer trafo daya yang akan digunakan pada proses simulasi etap agar dapat mengetahui aliran daya yang sesuai dengan data lapangan.

Analisis Airan Daya Menggunakan Metode Newton-Raphson

1. Perhitungan Impedansi dan Admitansi Kabel

Impedansi dipengaruhi oleh resistansi jenis serta panjang saluran dan besarnya reaktansi induktif yang terdapat pada saluran. Ada beberapa hal yang mempengaruhi besarnya impedansi yaitu resistansi dan reaktansinya [17]. Diketahui nilai resistansi dan reaktansi kabel. Untuk perhitungan besar impedansi dalam bilangan kompleks sebagai berikut.

Tabel 5 Impedansi dan admitansi saluran

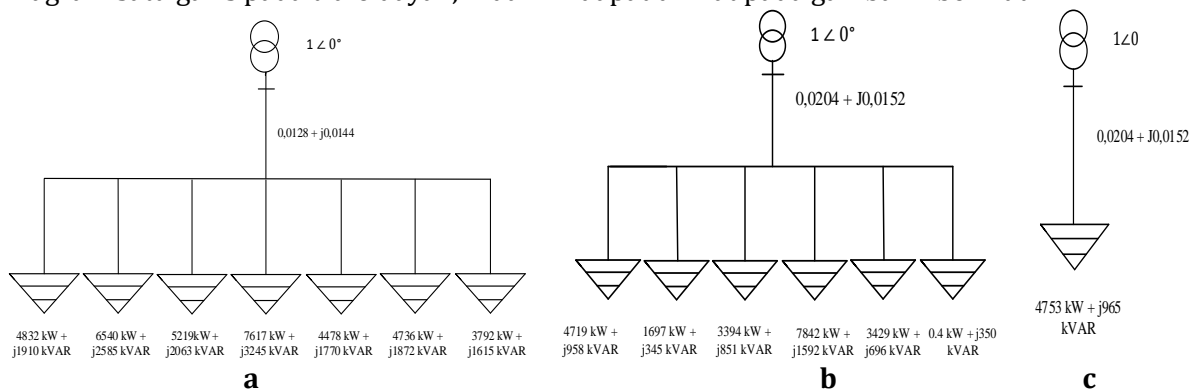
No	Luas Penampang Kabel	Impedansi ($R+jX_L (\Omega)$)	Admitansi (μ)
1	400 mm ²	0,0204 + j0,0152	39,3 \angle -36,68°
2	630 mm ²	0,0128 + j0,0144	51,9 \angle -48,37°

2. Perhitungan Aliran Daya Menggunakan Metode Newton-Raphson

Aliran daya pada setiap sisi sekunder transformator daya dapat diketahui dengan melakukan perhitungan menggunakan metode Newton-Raphson mengacu pada hasil review beberapa penelitian sebelumnya [18-19]. Metode ini memerlukan iterasi dalam proses perhitungannya maka diperlukan nilai *error* yang ditetapkan maka dalam hal ini nilai *error* yang ditetapkan adalah 0.01.

Trafo Daya

Diagram satu garis pada trafo daya I, II dan III dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini



Gambar 2 Sisi penyulang trafo daya a. I, b. II dan c. III

Besaran daya yang dibutuhkan untuk menyuplai beban walaupun terjadi rugi-rugi daya pada saluran menggunakan Metode Newton-Raphson menggunakan persamaan 3,4 dan 5.

Tabel 6 Perhitungan daya menggunakan metode Newton-Rapshon

No	Trafo	Daya Aktif (pu)	Daya Reaktif (pu)	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)
1	Trafo I	0,638	0,26	38,28	15,6
2	Trafo II	0,36	0,11	21,6	6,6
3	Trafo III	0,11	0,02	6,6	1,2

Berdasarkan perhitungan menggunakan Metode Newton-Raphson pada Tabel 6. diketahui bahwa trafo daya I memerlukan daya sebesar 38,28 MW + 15,6 MVAR agar tetap mampu menyuplai beban walaupun terjadi rugi-rugi daya pada saluran kabel data beban terdapat pada Tabel 4. Sedangkan pada trafo daya II diperlukan daya sebesar 21,6 MW + 15,6 MVAR, trafo daya III sebesar 6,6 MW + 1,2 MVAR.

1. Analisis Rugi-Rugi Daya dan Jatuh Tegangan

1. Perhitungan Rugi-Rugi Daya

Rugi-rugi daya terdiri dari dua jenis yaitu kerugian teknis dan kerugian non teknis. Kerugian teknis terjadi akibat kerugian korona, *joule effect*, kerugian magnetic dan *skin effect* [20]. Kerugian non-teknik adalah kerugian yang dapat dihindari. Kerugian non teknis biasanya diakibatkan oleh adanya titik penyambungan yang kendor, perhitungan dan pencatatan buruk serta kondisi aman jaringan transmisi [21]. Berdasarkan persamaan 6.

Tabel 7 Rugi-rugi daya sebelum perbaikan

No	Saluran Kabel	Beban Puncak (A)	Resistansi (Ω)	Rugi-Rugi Daya (W)
1	Trafo I	1159	0,0128	51.582
2	Trafo II	644	0,0204	25.381
3	Trafo III	140	0,0128	752,64

Bedasarkan Tabel 7. terjadi rugi-rugi daya yang cukup besar pada ketiga trafo yaitu sebesar 77,7 kW. Untuk mengetahui penyebab terjadinya rugi-rugi daya tersebut maka diperlukan indentifikasi masalah menggunakan simulasi ETAP.

2. Perhitungan Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan merupakan pengurangan antara tegangan yang dikirimkan dengan tegangan yang diterima [22] Jatuh tegangan adalah besar tegangan yang hilang pada penghantar listrik. Nilai jatuh tegangan biasanya dibuat dalam besaran persen atau volt [23]. Jatuh tegangan di saluran tenaga listrik akan berbanding lurus dengan panjang saluran penghantar dan beban serta akan berbanding terbalik dengan luas penampang saluran. Nilai toleransi menurut standar PLN (SPLN) adalah 10%. Besar jatuh tegangan pada setiap saluran kabel dihitung menggunakan persamaan 7.

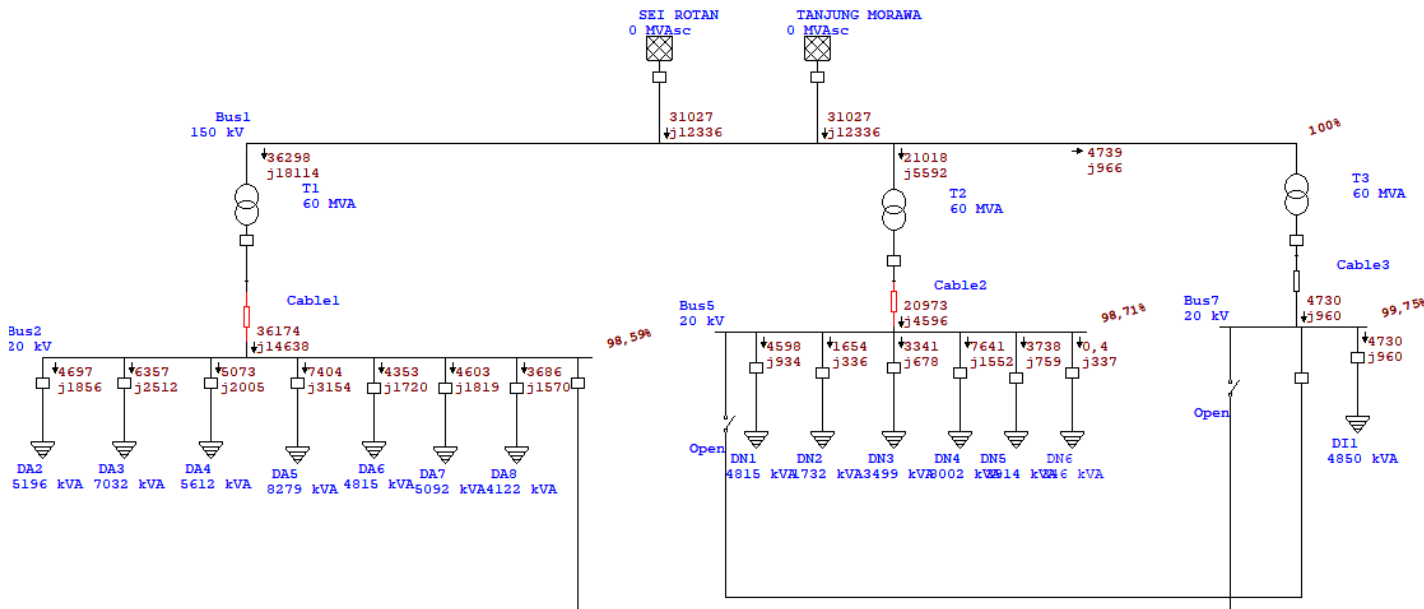
Tabel 8 Perhitungan jatuh tegangan saluran kabel

No	Saluran Trafo Daya	Daya Semu (P + Q)	%ΔV
1	Trafo I	(37214 kW + 15060 kVAR)	0,1%
2	Trafo II	(21081 kW + 4792 kVAR)	0,077%
3	Trafo III	(4753 kW + 965 kVAR)	0,01%

Perhitungan jatuh tegangan pada Tabel 8. didapatkan bahwa jatuh tegangan yang terjadi pada ketika saluran trafo daya masih sesuai dengan standar SPLN No. 56: 1984 yaitu masih di bawah 10%.

3. Simulasi ETAP

Proses penginputan data pada ETAP sangat perlu diperhatikan agar hasil simulasi yang didapatkan sesuai. ETAP juga dapat digunakan untuk manuver jaringan sistem transmisi dan distribusi, mengurangi rugi-rugi daya pada sistem transmisi serta distribusi, pemasangan kapasitor bank pada sistem transmisi maupun sistem distribusi. ETAP dapat dijalankan dengan *microsoft, windows, XP, Vista 7 dan 8* [24-26]. Proses analisis aliran daya yang terjadi pada rangkaian tersebut yang dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5 Aliran daya simulasi ETAP sebelum perbaikan

Terdapat dua komponen yang mengalami kondisi tidak normal yaitu kabel saluran trafo daya I dan trafo daya II akibat KHA dari kabel tersebut telah melewati batas. Temuan ini mengharuskan adanya perbaikan atau pemeliharaan pada jaringan distrbusi listrik untuk mengatasi ketidakseimbangan beban dan beban yang berlebih seperti yang terjadi pada penelitian sebelumnya [27]. Kondisi tidak normal ini dapat dilihat pada menu *alert view* yang terdapat pada gambar 6 berikut.

Device ID	Type	Condition	Rating/Limit
Cable1	Cable	Overload	708 Amp
Cable2	Cable	Overload	542 Amp

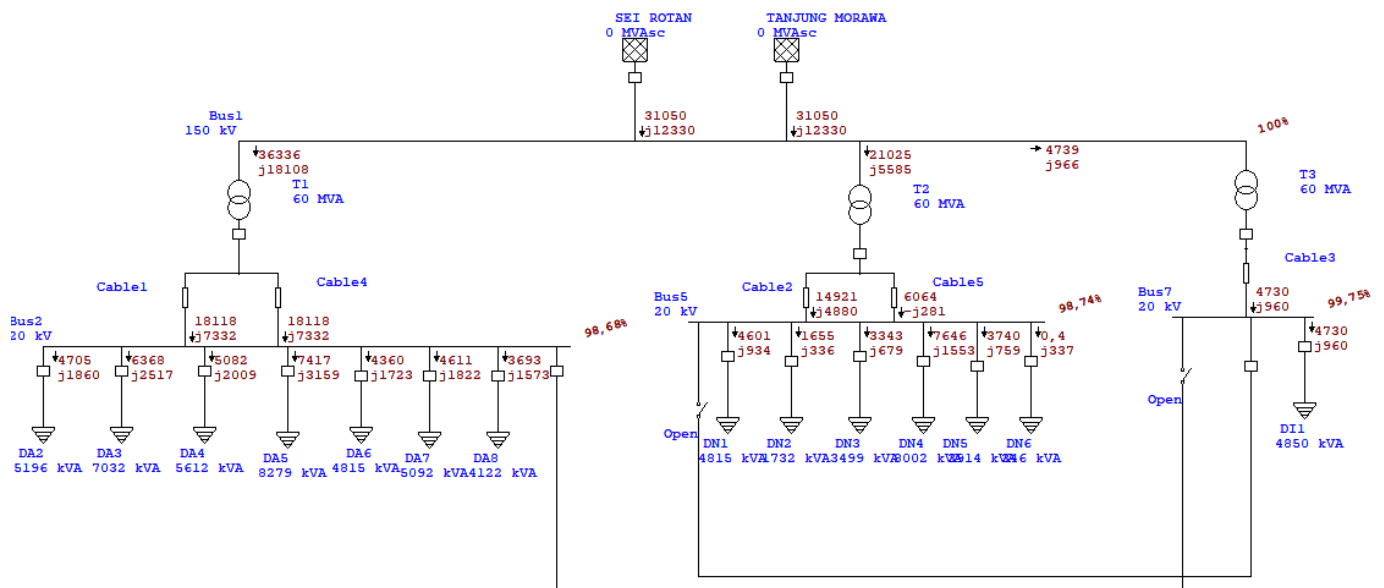
Gambar 6 Alert view sebelum perbaikan

Perbaikan yang akan dilakukan untuk menentukan besar KHA kabel saluran adalah berikut.

Tabel 9 Perhitungan luas penampang saluran

No	Kabel Saluran	Arus Puncak (A)	Luas Penampang (mm ²)
1	Trafo I	1159	2 x 630
2	Trafo II	644	400 + 95

Seperti terlihat pada Tabel 9. Perhitungan luas penampang untuk kabel saluran trafo I adalah 2 x 630 mm² dengan arus puncak 1159 A. Artinya, jika dibandingkan dengan Tabel 7. terjadi penambahan 1 kabel lagi dengan luas penampang 630 mm² pada saluran trafo I. Sedangkan untuk saluran trafo II luas penampang kabel 400 + 95 mm². Jika dibandingkan dengan Tabel 7. maka terjadi penambahan kabel dengan luas penampang 95 mm² agar dapat memenuhi kuat hantar arus sebesar 644 A. Perbaikan pada kabel saluran telah selesai dilakukan maka simulasi pada ETAP yang dilakukan keadaan tidak normal yang sebelumnya terjadi telah diatasi yang dapat dilihat pada gambar 7 berikut.



Gambar 7 Aliran daya setelah dilakukan perbaikan

Maka rugi-rugi daya yang terjadi setelah perbaikan dapat dihitung menggunakan persamaan 6.

Tabel 10 Perhitungan rugi-rugi daya setelah perbaikan

No	Saluran Kabel	Beban Puncak (A)	Resistansi (Ω)	Rugi-Rugi Daya (W)
1	Trafo I	1159	0,0064	25791
2	Trafo II	644	0,0163	20280,6

Data tabel 10 menunjukkan bahwa dengan melakukan penambahan kabel seperti hasil perhitungan Tabel 9. Maka rugi-rugi daya pada masing-masing saluran dapat dikurangi/diperkecil serta kuat hantar arus kabel sudah sesuai. Pada saluran trafo I terjadi penurunan rugi-rugi daya yang sebelumnya 51.582 W sesuai data Tabel 8, kini turun menjadi 25.791 W atau turun 50%. Begitu pula rugi-rugi daya pada saluran II juga mengalami penurunan dari 25.381 W menjadi 20.286,6 W yaitu sekitar 20% dari sebelumnya. Karena kuat hantar arus kabel pada trafo III masih sesuai maka tidak dilakukannya perbaikan.

KESIMPULAN

Penyesuaian kabel pada sistem saluran listrik harus sesuai dengan besar arus listrik yang disalurkan sehingga dapat meminimalisir rugi-rugi daya yang terjadi. Kondisi Rugi-rugi daya pada saluran penyulang Gardu Induk Denai pada saluran kabel trafo daya I dan trafo daya II sebesar 51,58 kW dan 25.381 kW hal ini diakibatkan KHA kabel yang tidak sesuai. Perubahan rugi-rugi daya sebelum perbaikan sebesar 76,96 kW setelah dilakukannya perbaikan sebesar 46,07 kW sehingga rugi-rugi daya yang dikurangi sebesar 30,89 kW.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Siahaan, Hendra Anwar. "Analisis Susut Energi Untuk Tindakan Pemeliharaan Jaringan Tegangan Menengah Di Pt Pln (Persero) Ulp Siborongborong." 2022.
- [2] Hasmudi, Nurul Khaerunnisa. "Studi Penempatan Statcom Pada Sistem Transmisi Sulsebar Setelah Masuknya Pltb Sidrap Dan Jeneponto." PhD diss., Universitas Hasanuddin, 2020.
- [3] Arifin, Asmah Nur. "Studi Efek Pemasangan Kapasitor Bank Pada Sistem Kelistrikan Terisolasi (Studi Kasus: Pulau Selayar)." PhD diss., Universitas Hasanuddin, 2023.
- [4] Saputri, Ahfi Diah. "Pertanggung Jawaban PT. PLN (persero) Terhadap Kerugian Konsumen Akibat Pemadaman Listrik PT. PLN (persero) Area UP-3 Pekanbaru." PhD diss., Universitas Islam Riau, 2020.
- [5] Fardiansyah, Muhammad Imam. "Studi Pembangunan Penyulang Kds18 Untuk Memperbaiki Kualitas Tegangan Dan Susut Daya Jaringan 20 Kv Dengan Menggunakan ETAP 12.6." PhD diss., Universitas Sultan Agung, 2021.
- [6] Silalahi, First Sischa, Hans Tumaliang, and Lily S. Patras. "Perencanaan Jaringan Transmisi GI Otam-GI Molibagu 150 kV." 2021.
- [7] A. T. Mustari and S. Pranoto, "Analisis Rugi-Rugi Daya Akibat Kerusakan Jointing Melalui Hotspot Thermovision pada PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Rantepao," no. September, pp. 93-97, 2021.
- [8] Usuluddin, U. "Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Sistem Kelistrikan Bandara Sultan Mahmud Badaruddin Ii Palembang." PhD diss., 021008 Universitas Tridinanti Palembang, 2023.
- [9] Mangera, Paulus, and Damis Hardiantono. "analisis rugi tegangan jaringan distribusi 20 kv pada PT. PLN (persero) cabang Merauke." *Musamus of Journal Electro and Machine Engineering (MJEME)* 1, no. 2 : pp. 61-69, 2019.
- [10] Abood, Salam Bnyan, and Thamir M. Abdul Wahhab. "Comparison of different methods to face the huge increase in future load in power distribution network." *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics* 11, no. 5: pp. 2450-2459, 2022.
- [11] Tana, Nikolaus M., Frans Likadja, and Wellem F. Galla. "Rekonfigurasi Jaringan Pada Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV Penyulang Naioni PT. PLN (Persero) ULP Kupang Menggunakan Perangkat Lunak Electrical Transient Analysis Program (ETAP) 12.6." *Jurnal Media Elektro*: pp. 36-47, 2019.
- [12] Solanki, Arjun Singh, and Dolly Thankachan. "A Comparative Study for Effective Distribution Network System Among LVDS and HVDS." *CSVTU Research Journal*, 9 (1) 2020: 16-22.
- [13] Iweh, Chu Donatus, Samuel Gyamfi, Emmanuel Tanyi, and Eric Effah-Donyina. "Distributed generation and renewable energy integration into the grid: Prerequisites, push factors, practical options, issues and merits." *Energies* 14, no. 17 2021: pp. 5375, 2021.
- [14] Chamim, Anna Nur Nazilah, Karisma Trinanda Putra, and Muhammad Fahrul Al Farisi. "Power Flow Analysis of Electrical Network Systems Using Gauss-Seidel Method and Python." *Emerging Information Science and Technology* 4, no. 1: 28-36, 2023.
- [15] Salimon, Sunday Adeleke, Hassan Adedapo Aderinko, F. I. Fajuke, and Kamilu Akinkunmi Suuti. "Load flow analysis of nigerian radial distribution network using backward/forward sweep technique." *Journal of VLSI Design and its Advancement* 2, no. 3: 1-11, 2019.
- [16] Jaiswal, Ganesh Kumar, Uma Nangia, and Narender Kumar Jain. "Load Flow Studies Using Intelligent Techniques." *The American Journal of Lattices and Communications* 10, no. 2: 13-19, 2021.
- [17] Uzair, Muhammad, Li Li, Mohsen Eskandari, Jahangir Hossain, and Jian Guo Zhu. "Challenges, advances and future trends in AC microgrid protection: With a focus on intelligent learning methods." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 178: 113228, 2023.
- [18] Bennani, Hakim, Ahmed Chebak, and Abderrazak El Ouafi. "Unique Symbolic Factorization for Fast Contingency Analysis Using Full Newton-Raphson Method." *Energies* 16, no. 11: 4279, 2023.
- [19] Yang, Cheng, Yupeng Sun, Yujie Zou, Fei Zheng, Shuangyu Liu, Bochao Zhao, Ming Wu, and Haoyang Cui. "Optimal Power Flow in Distribution Network: A Review on Problem Formulation and Optimization Methods." *Energies* 16, no. 16: 5974, 2023.

- [20] Rodriguez-Sotelo, Daniela, Martin A. Rodriguez-Licea, Ismael Araujo-Vargas, Juan Prado-Olivarez, Alejandro-Israel Barranco-Gutiérrez, and Francisco J. Perez-Pinal. "Power Losses Models for Magnetic Cores: A Review" *Micromachines* 13, no. 3: 418, 2022.
- [21] de Souza Savian, Fernando, Julio Cezar Mairesse Siluk, Taís Bisognin Garlet, Felipe Moraes do Nascimento, José Renes Pinheiro, and Zita Vale. "Non-technical losses: A systematic contemporary article review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 147: 111205, 2021.
- [23] M. Putri and F. I. Pasaribu, "Analisis Kualitas Daya Akibat Beban Reaktansi Induktif (XL) di Industri," *Journal of Electrical Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 81–85, 2018.
- [24] L. T. Utami, *Analisis Perhitungan Rugi- Rugi Daya Pada Menggunakan Program Simulasi*. 2020.
- [25] Ouyang, Jianna, Shuo Liang, Shaonan Chen, Shan Li, Yangjun Zhou, and Liwen Qin. "Identification and Analysis of Key Equipment for Power Supply Reliability of Distribution Network based on ETAP." In 2021 China International Conference on Electricity Distribution (CICED), pp. 81-85. IEEE, 2021.
- [26] Brezinski, Kenneth, and Ken Ferens. "Metamorphic Malware and Obfuscation: A Survey of Techniques, Variants, and Generation Kits." *Security and Communication Networks* 2023.
- [27] Duyo, Rizal, and Andi Sulkifli. "Analisis Jaringan Dan Pemeliharaan Pada Jaringan Distribusi Di Pt. Pln Wilayah Cabang Pinrang." *Vertex Elektro* 11, no. 2, pp. 1-11, 2019.
- [28] Erita Astrid, Citra Dewi, and Ricky Maulana. "Optimal Placement dan Sizing Kapasitor pada Sistem Radial Distribusi Listrik Untuk Mengurangi Rugi-Rugi Daya Menggunakan Metode Modified Particle Swarm Optimization (MPSO)." *SENTER*, pp. 110-119, 2018.
- [29] Erita Astrid, Doni Tri Putra Yanto, Krismadinata and Citra Dewi. "Optimal Allocation And Sizing Of Capacitors Employing Pattern Search Optimization." *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, Vol 100, no. 8, pp. 2417-2423, 2022.