

Perbaikan Jatuh Tegangan dan Rugi Daya dengan Rekonfigurasi Jaringan Sambungan Rumah dan Rekonduktor Jaringan Tegangan Rendah pada Gardu Distribusi MI-44-150-21 PT PLN ULP Magelang Kota

Aldila Fajar Rizkiana¹, Yuris Mulya Saputra^{1*}

¹Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Gadjah Mada; aldilafajar@mail.ugm.ac.id

*Korespondensi: ym.saputra@ugm.ac.id

Abstract – *The electrical system in Wonosobo hamlet is supplied by a distribution transformer with a capacity of 50 kVA. There are 54 customer units with a total installed contract power of 31.5 kVA. Based on the measurement results, the lowest voltage on the customer side is 199 V which is below the nominal voltage of 231 V or has a voltage drop percentage of 13.85% exceeding the minimum standard voltage drop of 10%. One of the causes is that many house connections in Wonosobo hamlet exceed the PLN 56-1: 1993 standard regarding house connection standards. Thus, it is necessary to make improvement efforts including reconfiguring the house connection (SR) network and reconductoring the low voltage network (JTR) to overcome overload on the JTR conductor. Improvements are made using ETAP 12.6.0 software simulations so that the voltage drop value can be improved according to PLN No. 1 Year 1995 standards and can reduce power losses. Based on the simulation results, after making improvement efforts using 2 methods, the lowest voltage value was obtained to 210.2 V with the highest percentage of the previous voltage drop of 12.42% to 9.00%. Therefore, the voltage drop value obtained after the repair is in accordance with PLN standards, which is below the minimum standard of 10%. After repairing with two methods, the total power loss generated dropped from 1864.05 watt to 1051.17 watt.*

Keywords – *house connection, SR reconfiguration, reconductoring, voltage drop, power loss*

Intisari – Sistem kelistrikan di dusun Wonosobo disuplai oleh transformator distribusi dengan kapasitas 50 kVA. Terdapat 54 unit pelanggan dengan total daya kontrak terpasang adalah 31,5 kVA. Berdasarkan hasil pengukuran, tegangan terendah disisi pelanggan adalah 199 V berada di bawah tegangan nominal 231 V atau memiliki persentase jatuh tegangan sebesar 13,85% melebihi standar minimum jatuh tegangan 10%. Salah satu penyebabnya adalah banyak tarikan sambungan rumah di dusun Wonosobo melebihi standar PLN 56-1:1993 mengenai standar sambungan rumah. Dengan demikian perlu dilakukan upaya perbaikan meliputi rekonfigurasi jaringan sambungan rumah (SR) dan melakukan rekonduktor jaringan tegangan rendah (JTR) untuk mengatasi *overload* pada penghantar JTR. Rencana perbaikan disimulasikan dengan perangkat lunak ETAP 12.6.0 agar nilai jatuh tegangan dapat diperbaiki sesuai standar PLN No. 1 Tahun 1995 dan dapat mengurangi rugi daya. Berdasarkan hasil simulasi, setelah melakukan upaya perbaikan menggunakan 2 metode diperoleh nilai tegangan terendah menjadi 210,2 V dengan persentase tertinggi jatuh tegangan sebelumnya sebesar 12,42% menjadi 9,00%. Oleh karena itu, nilai jatuh tegangan yang didapat setelah perbaikan sudah sesuai dengan standar PLN yaitu di bawah standar minimum 10%. Setelah dilakukan perbaikan dengan dua metode, total rugi daya yang dihasilkan turun dari 1864,05 watt menjadi 1051,17 watt.

Kata kunci – *sambungan rumah, rekonfigurasi SR, rekonduktor, jatuh tegangan, rugi daya*

I. PENDAHULUAN

Sistem pembangkit, transmisi, dan distribusi membentuk suatu kesatuan yang utuh dinamakan sistem tenaga listrik. Melalui sistem distribusi, tenaga listrik akan disalurkan sampai ke konsumen [1]. Gardu distribusi terdiri dari beberapa komponen, di antaranya penghantar, tiang penyangga, dan trafo distribusi. Terdapat dua jenis penghantar pada jaringan distribusi yaitu kawat dan kabel. Penghantar kawat pada JTM antara lain jenis *all aluminium conductor* (AAC) dan *all aluminium alloy conductor* (AAAC). Penghantar kabel yang biasa digunakan pada jaringan distribusi adalah jenis kabel AAAC-S, BC dan XLPE [2]. Tiang penyangga digunakan untuk menyangga saluran. Penentuan jarak gawang saluran udara tegangan rendah (SUTR) di daerah pemukiman sebesar 40 s.d. 50 meter, sedangkan jarak gawang pada daerah luar pemukiman sekitar 60 s.d. 80 meter [3]. Transformator berfungsi untuk menaikkan turunkan tegangan. Terdapat dua macam gardu

distribusi berdasarkan jenis pemasangannya yaitu gardu pasang luar dan gardu pasang dalam. Gardu distribusi pasang luar terdiri dari gardu cantol dan gardu portal. Gardu distribusi pasang dalam terdiri dari gardu beton dan gardu kios.

Distribusi tenaga listrik harus mempunyai tingkat keandalan yang baik dan sesuai dengan standar PLN yang berlaku. Tingkat keandalan sistem distribusi ditentukan oleh mutu tegangan dan kondisi sambungan rumah (SR) yang menjadi titik akhir pelayanan listrik ke konsumen. Berdasarkan hasil pengukuran di Dusun Wonosobo, Magelang, Jawa Tengah diperoleh nilai tegangan terendah pada pelanggan sebesar 199 V, dengan kata lain terjadi jatuh tegangan sebesar 13,85%, melebihi batas maksimal jatuh tegangan sebesar 10%. Jatuh tegangan merupakan selisih antara tegangan pengiriman dengan tegangan penerimaan tenaga listrik. Jatuh tegangan dinyatakan dalam satuan volt atau persen. Jatuh tegangan dipengaruhi oleh adanya resistansi, reaktansi, dan impedansi pada saluran [5]. Jatuh

tegangan yang terjadi disebabkan oleh jumlah tarikan sambungan rumah yang tidak sesuai standar di Dusun Wonosobo.

Untuk mengetahui penyebab lain dari jatuh, dilakukan perhitungan persentase pembebanan transformator. Persentase pembebanan transformator merupakan hal yang harus diperhatikan, pasalnya trafo yang mengalami pembebanan lebih (*overload*) akan menyebabkan isolasi pada transformator mengalami panas berlebih. Hal tersebut dapat mengakibatkan kerusakan sehingga dapat mengakibatkan terjadinya jatuh tegangan [4].

Rugi daya listrik terjadi karena hilangnya energi listrik pada saat proses distribusi daya listrik dari sumber menuju beban (konsumen) yang diakibatkan oleh adanya hambatan pada penghantar tenaga listrik [6]. Rugi daya (*losses*) diklasifikasikan menjadi dua secara teknis dan non-teknis. Rugi daya teknis dipengaruhi oleh sifat material atau peralatan jaringan, sedangkan rugi non-teknis dikarenakan kesalahan instalasi atau kerusakan alat pada jaringan [7]. Susut teknis meliputi susut penghantar, susut pada transformator, dan susut akibat faktor daya rendah. Sedangkan rugi energi atau susut energi merupakan kondisi di mana jumlah energi yang dikirim atau didistribusikan tidak sama dengan energi yang diterima di sisi pelanggan atau daya kirim tidak terjual sepenuhnya. Susut energi seharga dengan rugi daya rata-rata untuk periode tertentu dikalikan dengan jumlah jam dari periode yang bersangkutan [8].

Pemilihan jenis penghantar jaringan distribusi merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan sistem tenaga listrik untuk menghindari adanya rugi daya dan jatuh tegangan. Rekonduktor merupakan metode perbaikan jatuh tegangan melalui penggantian penghantar dengan ukuran lebih besar. Saat dilakukan rekonduktor parameter impedansi dan arus jaringan akan berubah sehingga akan mengubah rugi daya dan jatuh tegangan [9].

Electric Transient and Analysis Program (ETAP) adalah perangkat lunak desain dan simulasi yang komprehensif untuk sistem rangkaian tenaga [10]. Aplikasi ini menggunakan antarmuka *single line diagram* (SLD) untuk berbagai jenis analisis antara lain: aliran daya, hubung singkat, *starting* motor, stabilitas *transient*, koordinasi relai proteksi dan sistem harmonik. *Load flow analysis* adalah studi yang bertujuan untuk mengetahui aliran daya dari satu titik ke titik lain dalam sistem kelistrikan dan tegangan antar bus dalam sistem [11]. Studi aliran daya dihitung menggunakan dua metode, yaitu metode Gauss-Seidel dan metode Newton-Raphson. Metode Newton-Raphson karena lebih unggul daripada metode Gauss-Seidel yaitu lebih efektif digunakan pada sistem jaringan yang besar, memiliki tingkat ketelitian lebih baik dibanding metode Gauss-Seidel, iterasi lebih sedikit diperlukan dan komputasi lebih cepat [12].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui persentase jatuh tegangan dan nilai rugi daya setiap sambungan rumah akibat sambungan rumah tidak sesuai

standar, mengetahui penurunan rugi daya sebelum dan sesudah dilakukan rekonfigurasi sambungan rumah dan rekonduktor JTR sesuai dengan hasil simulasi perangkat lunak ETAP 12.6.0. Selain itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas penggabungan dua metode perbaikan kualitas jaringan tegangan rendah dengan melakukan rekonfigurasi sambungan rumah dan rekonduktor JTR.

Perbedaan penelitian yang disusun oleh penulis dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya adalah lokasi penelitian berada di Dusun Wonosobo, Desa Kalegen, Kecamatan Bandongan, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah. Perbedaan selanjutnya adalah sebelum merencanakan perbaikan melakukan perhitungan persentase pembebanan transformator, menggabungkan dua metode perbaikan *drop* tegangan dan rugi *losses* pada jaringan SR dengan melakukan rekonfigurasi jaringan SR dan rekonduktor JTR menggunakan *software* ETAP 12.6.0, melakukan perhitungan rugi energi yang diakibatkan oleh rugi daya yang dihasilkan, dan menghitung persentase *error* perangkat lunak ETAP 12.6.0.

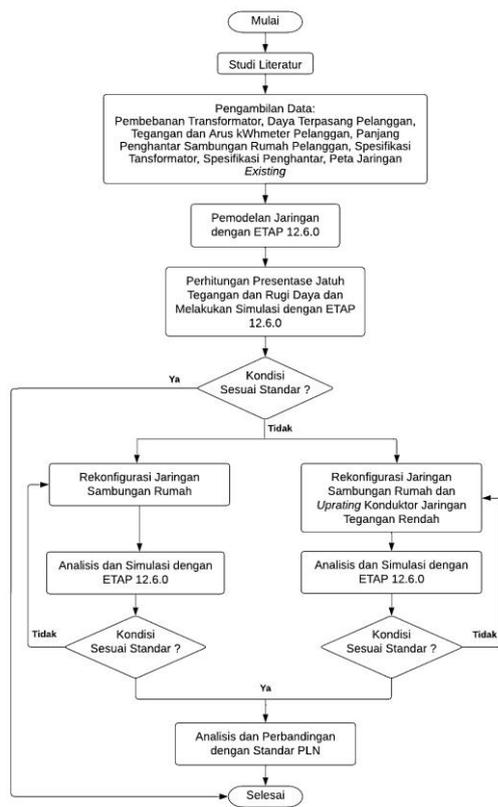
II. METODOLOGI

A. Flowchart

Upaya perbaikan jatuh tegangan dan rugi daya akibat jumlah tarikan sambungan rumah yang tidak sesuai standar dilakukan menggunakan dua metode perbaikan. Metode pertama adalah melalui rekonfigurasi jaringan SR dan metode kedua dilakukan menggabungkan dua metode, yaitu rekonfigurasi jaringan SR dan rekonduktor JTR. Perbaikan akan dilakukan melalui perhitungan dan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0. Upaya perbaikan dilakukan melalui beberapa tahapan. Gambar 1 menunjukkan bagan diagram alir penelitian yang dilakukan.

Setelah itu, dilanjutkan dengan simulasi jaringan setelah perbaikan. Rencana perbaikan akan menggunakan dua metode. Metode yang digunakan untuk mengatasi permasalahan jatuh tegangan dan rugi daya di dusun Wonosobo adalah dengan melakukan rekonfigurasi jaringan sambungan rumah dan melakukan rekonduktor jaringan tegangan rendah. Apabila hasil jatuh tegangan dan rugi daya sudah sesuai standar maka penelitian dapat dikatakan selesai, jika hasil tidak sesuai standar maka akan dilakukan perencanaan perbaikan kembali. Setelah disimulasikan, hasil jatuh tegangan dan rugi daya baik sebelum maupun sesudah perbaikan dapat dibandingkan berdasarkan pada hasil simulasi yang terdapat pada *report* ETAP 12.6.0.

Setelah melakukan perbandingan hasil penurunan jatuh tegangan dan rugi daya dengan menggunakan dua metode, studi dilanjutkan menganalisis serta membandingkan dengan standar PLN. Pengerjaan penelitian pun telah selesai dilakukan.



Gambar 1. Bagan diagram alir penelitian

B. Standar PLN

Untuk memperbaiki permasalahan yang ada yaitu jatuh tegangan dan jumlah tarikan sambungan SR yang tidak sesuai ketentuan akan mengacu pada standar PLN. Menurut SPLN No. 1 Tahun 1995 mengenai tegangan-tegangan standar, variasi tegangan pelayanan ditetapkan maksimum +% dan minimum - 10% terhadap tegangan nominal 231 V sesuai dengan tegangan sekunder transformator yang tertera pada *nameplate* transformator [13]. Sedangkan, standar sambungan rumah diatur dalam SPLN No. 56-1 Tahun 1993 bahwa jumlah sambungan tenaga listrik tegangan rendah (SLTR) pada satu tiang maksimum enam sambungan luar pelayanan (SLP) dan dari setiap SLP diperbolehkan mempunyai maksimum empat tarikan pelanggan. Banyaknya sambungan rumah yang tidak sesuai standar menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik pelanggan. Selain itu juga akan mengakibatkan permasalahan jatuh tegangan yang akan berpengaruh pada rugi daya yang dapat merugikan PLN [14].

C. Perhitungan Persentase Pembebanan Transformator

Perhitungan persentase pembebanan transformator digunakan untuk mengetahui kondisi transformator apakah dalam keadaan *overload* atau tidak. Persentase pembebanan transformator dikatakan mengalami *overload* jika nilai persentase pembebanan di atas 80% sesuai dengan standar PLN No.17 Tahun 1979. Pembebanan transformator dihitung menggunakan (1).

$$\% \text{ pembebanan} : \frac{I \text{ total}}{I \text{ beban penuh}} \times 100\% \quad (1)$$

$$I \text{ beban penuh} = \frac{S}{V} \quad (2)$$

Dengan,

- I total : arus total
- I beban penuh : arus beban penuh
- S : daya transformator (kVA)
- V : tegangan sekunder transformator (V)

D. Perhitungan Persentase Jatuh Tegangan

Perhitungan nilai jatuh tegangan menggunakan (3), Sedangkan, persentase jatuh tegangan dihitung menggunakan (4).

$$\Delta V = V_s - V_r \quad (3)$$

$$\% \text{ drop tegangan} = \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100\% \quad (4)$$

Dengan.

- ΔV : jatuh tegangan (V)
- V_s : tegangan sumber (V)
- V_r : tegangan terima (V)

E. Perhitungan Rugi Daya dan Rugi Energi

Rugi daya pada jaringan SR dihitung menggunakan (5). Konstanta 2 merupakan jumlah penghantar fase dan netral yaitu dua. Setelah mengetahui nilai rugi daya, kemudian nilai rugi energi pada penghantar dapat dihitung menggunakan (6).

$$\Delta P = 2 \times I^2 \times R \quad (5)$$

$$E = P \times t \quad (6)$$

Dengan,

- ΔP : rugi daya listrik pada jaringan (watt)
- I : arus jaringan (A)
- R : tahanan penghantar (Ω)
- E : rugi-rugi energi (kWh)
- P : rugi-rugi daya (kW)
- T : waktu (jam)

F. Perhitungan Luas Penampang Konduktor

Untuk menentukan luas penampang penghantar untuk melakukan rekondutor, hal pertama yang harus dilakukan yaitu menentukan arus yang mengalir melalui penghantar tersebut sesuai (7).

$$I = \frac{P}{V \times \cos \varphi} \quad (7)$$

Dengan,

- I : arus nominal (A)
- P : daya aktif (W)
- V : tegangan (V)
- $\cos \varphi$: faktor daya (0,8)

Kemudian, setelah mengetahui arus nominal penghantar, luas penampang penghantar ditentukan berdasarkan besar KHA jenis kabel yang digunakan. Nilai kemampuan hantar arus diperoleh dari 1,25 kali dari arus nominal yang melewati penghantar tersebut [15].

G. Perhitungan Persentase Keakuratan Perangkat Simulasi ETAP 12.6.0

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan dan simulasi ETAP 12.6.0 untuk mengetahui nilai jatuh tegangan dan rugi daya. Oleh karena itu, untuk mengetahui nilai keakuratan ETAP 12.6.0 sesuai (8).

$$\% \text{ Keakuratan ETAP} = \frac{\bar{X} \text{ Hasil ETAP}}{\bar{X} \text{ Hasil rumus manual}} \times 100\% \quad (8)$$

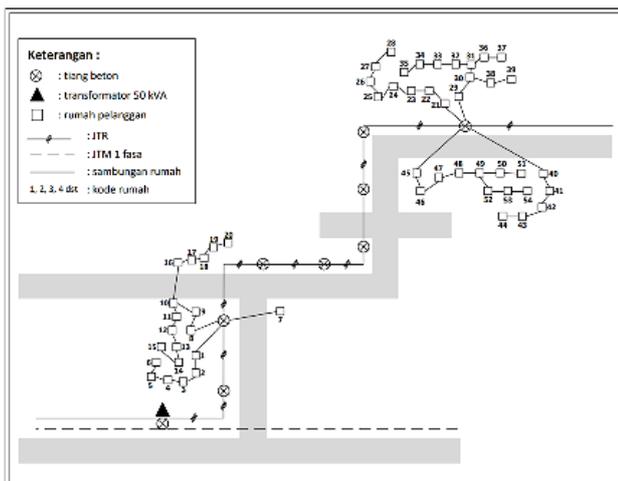
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data penelitian yang diperoleh kemudian diolah dengan urutan sebagai berikut :

A. Kondisi Jaringan

Kondisi jaringan di dusun Wonosobo ditunjukkan pada Gambar 2. Dusun Wonosobo disuplai oleh trafo satu fase berkapasitas 50 kVA. Penghantar yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik sampai ke pelanggan menggunakan jenis penghantar yang berbeda-beda. Penghantar JTM yang digunakan adalah jenis AAAC ukuran 70 mm² dengan nilai resistansi 0,438 Ω/km. Penghantar JTR yang digunakan adalah jenis NFA2X-T 2x70+50 mm² dengan nilai resistansi 0,433 Ω/km.

Sedangkan penghantar SR yang digunakan adalah jenis low voltage twisted cable (LVTC) NFA2X berukuran 2x10 mm² dengan nilai resistansi 3,08 Ω/km. Data pengukuran arus, tegangan, panjang penghantar SR disajikan pada Tabel 1 .



Gambar 2. Peta pelanggan PLN di dusun Wonosobo

Tabel 1. Data pengukuran arus, tegangan, dan panjang sambungan rumah

Kode	Daya Pelanggan (VA)	Tegangan Terukur (A)	Arus Terukur (A)	Panjang SR (m)
RMH 1	900	215,3	3,1	19
RMH 2	450	214,5	1,4	18
RMH 3	450	214,2	1,2	16
RMH 4	450	213,45	1,33	10
RMH 5	900	213	2,42	8
RMH 6	450	212,1	1,8	10
RMH 7	900	215,8	3,2	35
RMH 8	450	214,56	1,23	9
RMH 9	900	211,6	3,1	21
RMH 10	450	210,3	2	9
RMH 11	450	210	1,53	12
RMH 12	450	209,46	1,21	12
RMH 13	900	208	3,3	10
RMH 14	450	209,37	1,58	11
RMH 15	450	208	2	19
RMH 16	900	209,7	3,2	15
RMH 17	900	215	3,8	10
RMH 18	450	209,53	1,33	15
RMH 19	450	208,4	2	10
RMH 20	450	207,27	1,21	10
RMH 21	450	205,2	1,8	9
RMH 22	450	205	2	7
RMH 23	900	205,64	3,32	13
RMH 24	450	205,6	1,2	15
RMH 25	450	204,75	1,25	13
RMH 26	450	203,8	1,8	14
RMH 27	900	203,2	2,3	20
RMH 28	450	205,2	2	16
RMH 29	450	204	1,61	15
RMH 30	450	204,4	1,2	8
RMH 31	900	203	2,4	6
RMH 32	450	203	1,83	12
RMH 33	450	203,3	1,6	15
RMH 34	900	203	2,2	15
RMH 35	450	202,53	1,37	10
RMH 36	450	204,68	1,86	10
RMH 37	450	204,14	1,72	10
RMH 38	450	203,2	1,9	12
RMH 39	900	203,23	3,67	10
RMH 40	450	205	1,8	30
RMH 41	900	204	3,32	15
RMH 42	450	204	1,67	17
RMH 43	450	203,26	1,28	15
RMH 44	450	203,58	1,6	10
RMH 45	450	204,34	1,65	13
RMH 46	900	204,2	3,2	18
RMH 47	450	203,6	1,5	12
RMH 48	900	202,56	3,74	17
RMH 49	450	201	2	14
RMH 50	450	202,4	1,2	19
RMH 51	900	202	2,6	12
RMH 52	450	201,85	1,27	15
RMH 53	450	199,62	1,39	16
RMH 54	450	199	1,5	15

B. Perhitungan Persentase Pembebanan Transformator

Pengukuran arus pada jaringan distribusi ini bertujuan untuk mengetahui kondisi transformator dalam keadaan beban lebih (*overload*) atau tidak. Jika transformator mengalami beban lebih, maka akan berpengaruh pada kualitas tegangan yang diterima pelanggan. Data pengukuran pembebanan transformator disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data pengamatan pembebanan trafo distribusi 50 kVA

	Arus Terukur (A)	Arus Total (A)
X1	56	
X2	60	116
N	8,2	10

Berdasarkan data pengukuran yang ada, dapat dihitung persentase pembebanan transformator sebagai berikut : Untuk menghitung persentase pembebanan transformator, terlebih dahulu menghitung arus beban penuh sesuai dengan (2) sebagai berikut :

$$I \text{ beban penuh} = \frac{50.000 \text{ VA}}{231 \text{ V}}$$

$$I \text{ beban penuh} = 216,45 \text{ A}$$

Setelah itu, dapat dihitung persentase pembebanan transformator sesuai dengan (1) sebagai berikut :

$$\% \text{ Pembebanan Transformator} = \frac{116}{216,45} \times 100\%$$

$$\% \text{ Pembebanan Transformator} = 53,53\%$$

Diperoleh persentase pembebanan transformator sebesar 53,53% atau tidak melebihi 80%.

C. Perhitungan Persentase Jatuh Tegangan Sebelum Rekonfigurasi

Pada perhitungan persentase jatuh tegangan diperlukan data pengukuran tegangan pada Tabel 1. Jatuh tegangan diperoleh dari hasil selisih antara tegangan dari PLN yaitu 231 V (tegangan keluaran transformator) dengan tegangan pelanggan (tegangan terima) yang diukur secara langsung. Persentase jatuh tegangan RMH 1 dihitung dengan menggunakan (4).

$$\% \text{ drop tegangan} = \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100\%$$

$$\% \text{ jatuh tegangan} = \frac{231 - 215,3}{231} \times 100\%$$

$$\% \text{ jatuh tegangan} = 6,80 \%$$

Perhitungan persentase jatuh tegangan hingga rumah ke 54 menggunakan persamaan dan cara perhitungan yang sama seperti pada rumah kesatu. Berdasarkan hasil perhitungan, persentase jatuh tegangan berada pada rentang 6,58% hingga 13,85%. Terdapat 35 rumah pelanggan melebihi batas

ketentuan penurunan tegangan yaitu -10% berdasarkan SPLN 1:1995. Tegangan minimal sesuai ketentuan adalah 207,9 V.

D. Perhitungan Rugi Daya Sebelum Rekonfigurasi

Perhitungan rugi daya yang ditimbulkan akibat sambungan rumah tidak sesuai standar PLN di dusun Wonosobo dilakukan berdasarkan data hasil pengukuran arus setiap konsumen yang dapat dilihat pada Tabel 1. Rugi daya pada sambungan rumah ini dipengaruhi oleh nilai arus, panjang jaringan sambungan rumah, dan resistansi penghantar. Untuk mengetahui rugi daya dilakukan perhitungan menggunakan (5).

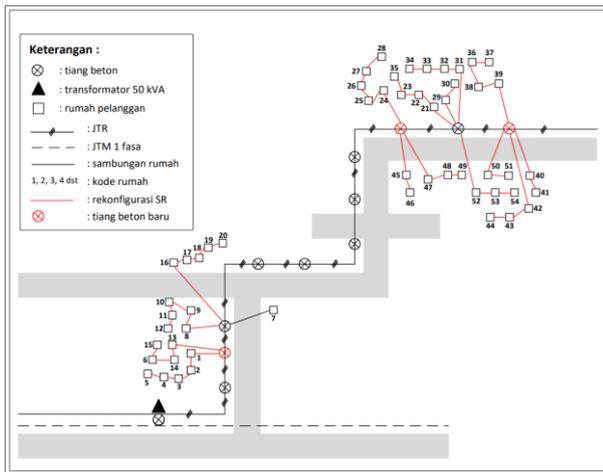
Sesuai dengan (5), perhitungan rugi daya pada jaringan SR ini dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya nilai arus, panjang jaringan sambungan rumah, dan resistansi penghantar. Salah satu penyebab adanya rugi daya adalah *overload* penghantar JTR, di mana aliran arus melalui penghantar melebihi arus nominal penghantar. Oleh karena itu untuk perlu dilakukan rekonduktor untuk memperkecil resistansi yang melewati penghantar. Semakin besar luas penampang penghantar, semakin kecil resistansinya, sehingga nilai jatuh tegangan semakin kecil. Rekonfigurasi jaringan SR juga dilakukan sebagai upaya mengurangi rugi daya, hal ini dikarenakan panjang penghantar mempengaruhi besarnya nilai rugi daya. Jadi, semakin banyak tarikan sambungan rumah, semakin tinggi nilai rugi daya yang dihasilkan.

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan (5) diperoleh total keseluruhan rugi-rugi sambungan rumah beserta rugi penghantar JTR adalah sebesar 2736,47 watt yang terdiri dari rugi penghantar JTR dan rugi penghantar SR.

E. Perencanaan Rekonfigurasi Jaringan Sambungan Rumah

Upaya penanggulangan jatuh tegangan dan rugi daya (*losses*) yang diakibatkan oleh SR tidak sesuai standar PLN dilakukan melalui rekonfigurasi sambungan rumah. Rekonfigurasi sambungan rumah dilakukan dengan melakukan penambahan JTR agar dapat menjangkau sambungan rumah deret paling ujung sehingga jatuh tegangan dapat berkurang.

Rekonfigurasi jaringan sambungan rumah dilakukan dengan mengacu pada ketentuan SPLN 56-1:1993 pasal lima yaitu jumlah SLTR pada satu tiang diperbolehkan maksimum 6 SLP dengan tiap SLP diperbolehkan maksimum memiliki 4 tarikan pelanggan. Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa jumlah sambungan rumah yang telah dilakukan rekonfigurasi sudah sesuai dengan standar ketentuan teknis pemasangan sambungan rumah sesuai SPLN 56-1:1993. Sebelum melakukan simulasi *load flow analysis* jaringan eksisting, terlebih dahulu dilakukan pembuatan SLD. Pembuatan SLD pada ETAP 12.6.0 dilakukan dengan pengisian parameter sesuai dengan data dan kondisi di lapangan.



Gambar 3. Perancangan rekonfigurasi sambungan rumah

F. Simulasi Jaringan Eksisting Sambungan Rumah Sebelum Rekonfigurasi

Penggunaan perangkat lunak ETAP berfungsi untuk menganalisis aliran daya (*load flow analysis*) baik pada jaringan distribusi tenaga listrik yang sudah ada maupun perencanaan perbaikan.

Persentase jatuh tegangan sebelum rekonfigurasi berada pada rentang 5,89% s.d. 12,42%. Untuk memperbaiki jatuh tegangan tersebut maka dilakukan upaya rekonfigurasi SR dengan melakukan penambahan JTR. Diperoleh total keseluruhan rugi-rugi sambungan rumah beserta rugi daya penghantar JTR adalah sebesar 1864,05 watt.

G. Perhitungan Ukuran Penghantar untuk Rekonduktor Jaringan Tegangan Rendah

Setelah membuat SLD kemudian dilakukan simulasi *load flow analysis*. Berdasarkan hasil simulasi *load flow analysis*, terdapat beberapa komponen berwarna merah dan ungu. Komponen yang berwarna ungu menunjukkan suatu kondisi *marginal*, sedangkan komponen berwarna merah menunjukkan kondisi *critical*. Kondisi *marginal* diartikan sebagai kondisi toleransi dan dapat dinyatakan masih aman, sedangkan kondisi *critical* berarti komponen pada sistem tenaga listrik dalam kondisi berbahaya dan harus segera dilakukan evaluasi beserta penanganan. *Setting* persentase *marginal* dan *critical* diatur pada fitur *Load Flow Study Case* pada perangkat lunak ETAP 12.6.0. Persentase *critical* diatur 100% dan persentase *marginal* diatur sebesar 95%.

Dapat dilihat pada *alert view* yang menunjukkan komponen memiliki kondisi *marginal* dan *critical*. Kondisi *critical* terdapat pada beberapa sadapan karena mengalami jatuh tegangan dan penghantar JTR LVTC NFA-2XT 1 mengalami *overload*. Berdasarkan hasil simulasi kondisi *real* dapat diketahui bahwa penyebab jatuh tegangan tidak hanya berasal dari sambungan rumah yang tidak sesuai standar PLN, akan tetapi terdapat penghantar jaringan tegangan rendah yang mengalami *overload*. Penghantar JTR LVTC NFA-2XT

1 mengalami *overload* dikarenakan aliran arus melalui penghantar terlampaui besar sehingga melebihi arus nominal penghantar. Oleh karena itu perlu dilakukan rekonduktor atau memperbesar luas penampang penghantar.

Untuk menentukan luas penampang penghantar yang diperlukan, maka harus dilakukan perhitungan arus yang mengalir melewati penghantar tersebut dengan (7).

$$I = \frac{P}{V \times \cos\theta}$$

$$I = \frac{31500 \text{ VA}}{231 \text{ V} \times 0,8}$$

$$I = 170,45 \text{ A}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, arus yang mengalir melewati penghantar JTR LVTC NFA-2XT 1 sebesar 170,45 A ketika total daya pelanggan 31.500 VA. Berdasarkan PUIL 2000, untuk menentukan KHA suatu penghantar menggunakan perhitungan berikut.

$$KHA = 125\% \times I_{\text{nominal}}$$

$$KHA = 125\% \times I_{\text{nominal}}$$

$$KHA = 125\% \times 170,45$$

$$KHA = 213,06$$

Selanjutnya penentuan luas penghantar ditentukan berdasarkan Kuat Hantar Arus (KHA) penghantar jenis NFA2X yang terdapat pada Tabel 2. Luas penghantar yang paling sesuai adalah jenis NFA2X berukuran 2x95 + 1x70 mm² dengan kuat hantar arus 242 A. Rekonduktor jaringan tegangan rendah dilakukan untuk memperkecil resistansi yang melewati penghantar, karena luas penampang penghantar berbanding terbalik dengan resistansi penghantar. Semakin besar luas penampang penghantar maka semakin kecil resistansinya. Resistansi penghantar merupakan faktor yang mempengaruhi jatuh tegangan. Diharapkan setelah dilakukan rekonduktor dapat memperbaiki permasalahan jatuh tegangan.

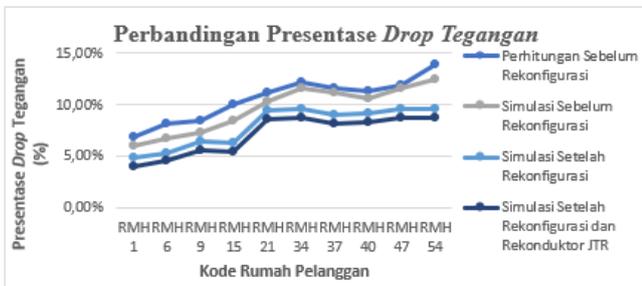
H. Simulasi Perbaikan Jaringan Sambungan Rumah Setelah Rekonfigurasi Menggunakan ETAP 12.6.0

Simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 dilakukan pada beberapa kondisi yaitu jaringan *eksisting* atau sebelum perbaikan, setelah dilakukan rekonfigurasi, dan setelah dilakukan rekonfigurasi beserta rekonduktor JTR. Tujuannya agar dapat dilakukan perbandingan jatuh tegangan dan rugi daya sebelum maupun sesudah rekonfigurasi SR dan rekonduktor JTR.

Hasil simulasi setelah rekonfigurasi menggunakan ETAP 12.6.0 diperoleh persentase jatuh tegangan pada rentang 4,85% hingga 9,83 % atau berada di bawah batas penurunan jatuh tegangan yaitu -10%. Sedangkan total keseluruhan rugi-rugi sambungan rumah beserta rugi penghantar jaringan tegangan rendah adalah sebesar 1212,49 watt.

Hasil simulasi setelah rekonfigurasi dengan melakukan penambahan jaringan tegangan rendah dan rekonduktor menunjukkan bahwa tidak ada jatuh tegangan yang melebihi batas standar yang di tentukan yaitu -10%. Persentase jatuh tegangan berada pada rentang 4.03% hingga 9.00%. Total keseluruhan rugi-rugi sambungan rumah beserta rugi penghantar jaringan tegangan rendah adalah sebesar 1051,17 watt.

Berikut disajikan grafik perbandingan hasil jatuh tegangan sebelum dilakukan rekonfigurasi, setelah dilakukan rekonfigurasi, dan setelah dilakukan rekonfigurasi beserta rekonduktor JTR menggunakan simulasi ETAP 12.6.0. Grafik perbandingan persentase jatuh tegangan menggunakan 10 rumah pelanggan yang diambil secara acak berdasarkan perbedaan jumlah tarikan sambungan rumah. Berikut grafik hubungan antara rumah pelanggan dengan persentase jatuh tegangan baik sebelum dan setelah dilakukan perbaikan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik perbandingan persentase jatuh tegangan

Gambar 4 menunjukkan bahwa perbaikan jatuh tegangan dengan menggunakan dua metode yaitu rekonfigurasi jaringan sambungan rumah dan rekonduktor JTR dapat menurunkan nilai jatuh tegangan sebelum rekonfigurasi sebesar 12,42% menjadi 9,00%. Dibandingkan dengan menggunakan satu metode saja yaitu rekonfigurasi jaringan sambungan rumah, persentase jatuh tegangan turun dari 12,42% menjadi 9,83%. Perbaikan tegangan terendah pelanggan setelah rekonfigurasi yaitu dari tegangan 202,3 V menjadi 219,8 V. Setelah dilakukan perbaikan menggunakan 2 metode tegangan dapat diperbaiki menjadi 221,7 V. Saat ini jatuh tegangan pada pelanggan sudah sesuai dengan standar PLN No. 1:1995.

Dilihat dari aspek ekonomi, penggunaan dua metode memang lebih mahal karena harus melakukan penggantian penghantar JTR, akan tetapi dilihat dari aspek keamanan penghantar JTR yang sudah mengalami *overload* harus dilakukan penggantian untuk mengantisipasi penghantar mengalami panas sehingga dapat berakibat fatal yaitu terbakar dan berujung pada biaya perbaikan. Selain itu, seiring dengan berjalannya waktu pelanggan atau beban akan terus bertambah sehingga perlu dilakukan penggantian penghantar yang disesuaikan dengan arus yang mengalir pada penghantar tersebut ketika beban mencapai 80% (batas pembebanan transformator). Maka dengan

mempertimbangkan aspek-aspek tersebut penggunaan dua metode lebih optimal untuk menurunkan *drop* tegangan dan rugi daya pada pelanggan.

Terdapat perbedaan hasil persentase jatuh tegangan dengan perhitungan dan simulasi sebelum perbaikan menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0. Perhitungan keakuratan dilakukan dengan membandingkan *report* ETAP dengan hasil perhitungan secara manual dikali dengan 100%. Adapun perhitungan berdasarkan (8) sebagai berikut :

$$\% \text{ Keakuratan ETAP} = \frac{\bar{X} \text{ Hasil ETAP}}{\bar{X} \text{ Hasil rumus manual}} \times 100\%$$

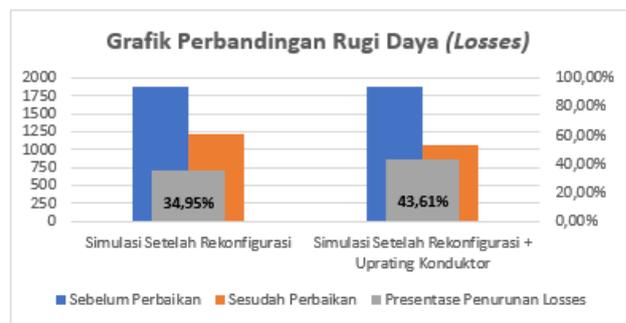
$$\% \text{ Keakuratan ETAP} = \frac{9,88\%}{10,64\%} \times 100\%$$

$$\% \text{ Keakuratan ETAP} = 92,91\%$$

Berdasarkan perhitungan diperoleh persen keakuratan ETAP sebesar 92,91% atau dengan tingkat *error* sebesar 7,09%, hal ini dikarenakan simulasi menggunakan ETAP 12.6.0 merupakan kondisi ideal berbeda dengan kondisi di lapangan sehingga terdapat adanya faktor yang tidak dapat diperhitungkan pada ETAP 12.6.0 seperti adanya *overheat* akibat sambungan penghantar kurang kencang yang menimbulkan *losses*.

Berikut disajikan Gambar 5 yaitu grafik perbandingan penurunan rugi daya menggunakan dua metode yaitu rekonfigurasi jaringan SR dan rekonduktor JTR dibandingkan menggunakan 1 metode saja yaitu rekonfigurasi jaringan SR saja.

Berdasarkan grafik perbandingan rugi daya pada Gambar 5 terlihat bahwa penggabungan dua metode yaitu rekonfigurasi jaringan sambungan rumah dan rekonduktor JTR dapat menurunkan rugi daya lebih besar yaitu sebesar 43,61%, dibandingkan dengan menggunakan metode rekonfigurasi jaringan SR sebesar 34,95%. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan ETAP 12.6.0, penurunan rugi daya sebelum perbaikan adalah sebesar 1.864,05 watt menjadi 1.212,49 watt dengan perbaikan menggunakan metode rekonfigurasi jaringan SR, sedangkan penurunan nilai rugi daya dengan melakukan perbaikan menggunakan dua metode sebesar 1.051,17 watt.



Gambar 5. Grafik perbandingan rugi daya

IV. SIMPULAN

Setelah dilakukan upaya perbaikan dengan rekonfigurasi jaringan SR dan rekonduktor JTR menggunakan simulasi ETAP 12.6.0 diperoleh persentase penurunan jatuh tegangan sebesar 27,54%. Presentasi jatuh tegangan dapat diperbaiki dari rentang 5,89% s.d. 12,42% menjadi 4,03% s.d. 9,00%. Berdasarkan standar PLN No. 1:1995 mengenai variasi tegangan pelayanan, persentase jatuh tegangan setelah perbaikan sudah sesuai standar yaitu berada di bawah 10%. Penggabungan dua metode untuk mengatasi permasalahan yang ada mampu menurunkan rugi daya sebesar 43,61%, dibandingkan hanya dengan melakukan rekonfigurasi jaringan SR saja dengan persentase penurunan rugi daya sebesar 34,95%. Penggabungan dua metode untuk mengatasi permasalahan yang ada yaitu dengan rekonfigurasi jaringan SR dan rekonduktor JTR efektif untuk memperbaiki jatuh tegangan dan menurunkan rugi daya.

PENELITIAN LANJUTAN

Penggabungan dua metode yaitu rekonfigurasi jaringan SR dan rekonduktor JTR memiliki keterbatasan. Metodologi yang digunakan yaitu rekonfigurasi SR yang dilakukan secara manual dan perlu adanya penggantian penghantar JTR, sehingga pada praktiknya di lapangan tentu akan memerlukan biaya dan tenaga yang harus diperhitungkan secara lebih detail.

Perbaikan jatuh tegangan dan rugi daya akibat tarikan sambungan rumah tidak sesuai standar menggunakan metode rekonfigurasi jaringan SR dan rekonduktor JTR merupakan solusi yang baik. Namun, proses rekonfigurasi jaringan SR masih dilakukan secara manual sehingga disarankan untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode rekonfigurasi *artificial intelligence* (AI) seperti *binary particle swarm optimization* (BPSO) agar dapat menentukan bentuk konfigurasi jaringan SR paling efisien dengan hasil rugi daya seminimal mungkin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak Dudy Setiawan selaku supervisor teknik PT PLN ULP Magelang Kota yang telah mengizinkan penulis untuk mengambil data penelitian. Seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, masukan, dan saran pada pengerjaan penelitian yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syufrijal dan Monantun, "Jaringan Distribusi Tenaga Listrik," *Kementrian Pendidik. Dasar Menengah Dan Kebud. RI*, vol. 1, p. 203, 2014.
- [2] Pasra dan Ruswandi, "Pelaksanaan Manajemen Pemeliharaan Gardu Distribusi," *J. SUTET*, vol. 6, no. 2, pp. 1–70, 2016.
- [3] Suhadi dan Wrahatnolo, "Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1," *Direktorat Pembim. SMK*, pp. 1–130, 2008.
- [4] Harahap dkk., "Analisa Penambahan Trafo Sisi Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban Overload Dan Jutah Tegangan Pada Trafo Bl 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etap 12.6.0," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 62–69, 2019.
- [5] Medina dkk., "Analisis Jatuh Tegangan Jaringan Distribusi 20 kV pada Penyulang CPK PT . PLN (Persero) UP3 Bandung," *Pros. Semin. Nas. Energi, Telekomun. dan Otomasi*, p. 10, 2021.
- [6] Kartika dkk., "Analisis Beban Takseimbang Terhadap Rugi-Rugi Daya Dan Efisiensi Transformator K10005 Jaringan Distribusi Sekunder Pada Penyulang Klungkung," *J. SPEKTRUM*, vol. 5, no. 2, p. 310, 2018.
- [7] N. Zainun, "Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi," *Ppsdm Migas*, vol. 10, no. 02, pp. 435–442, 2021, [Online]. Available: <https://ppsdmmigas.esdm.go.id/id/Profile/sejarah#>
- [8] J. Ju *et al.*, "Pembuatan dan Penyemprotan Cairan Desinfektan untuk Mencegah Penyebaran Covid-19," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 43, no. 1, p. 7728, 2020.
- [9] Abdullah dan Badaruddin, "Analisa Perbaikan Penampang Penghantar Guna Mengurangi Drop Tegangan dan Simulasi Etap 16.0 Pada JTR GD KRDB di Wilayah Kerja PT. PLN (Persero) ULP Serang Kota," *J. Teknol. Elektro*, vol. 11, no. 1, p. 24, 2020.
- [10] Cahyadi dkk., "Analisis Pengaruh Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Transmisi 150 kV Menggunakan Software Etap 12.6," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 126–130, 2022.
- [11] Hasibuan dkk., "Analisa Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Fast Decoupled Menggunakan Software Etap," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 1, pp. 37–45, 2020.
- [12] Safitri dan Ananta, "Simulasi Penempatan Transformator Pada Jaringan Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan Menggunakan Etap Power Station 12.6.0," *J. Edukasi Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 12–24, 2020.
- [13] Septiani dkk., "Analisis Drop Tegangan Pada Jaringan Tegangan Rendah PT . PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Panakkukang," *Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 3, no. September, pp. 129–135, 2021.
- [14] SPLN 56-1, *Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah (SLTR)*. 1993.
- [15] M. T. . A. C. S. . D. I. M. D. M. . Ir. Hery Purnomo, "Perancangan Kelistrikan Pada Kondotel Borobudur Blimbing Kota Malang," *J. Mhs. Tek. Elektro Univ. Brawijaya*, vol. 2, no. 7, p. 120722, 2014, [Online]. Available: <https://www.neliti.com/publications/120722/>