

# PENGARUH UPRATING PENGHANTAR SUTM PADA PENYULANG MAWAN PT. PLN (PERSERO) UP3 MERAUKE ULP TANAH MERAH

Oktavianus Kati<sup>1</sup>

<sup>1)</sup> Teknik Elektro, Universitas Cenderawasih, Indonesia  
email: oktavianuskati26@gmail.com

## Info Artikel

Histori Artikel:  
Diterima Okt 08, 2023  
Direvisi Okt 12, 2023  
Disetujui Okt 20, 2023

## ABSTRACT

The purpose of this research is to determine the effect of uprating conductors from AAAC to AAACS on voltage drop and power loss in the Mawan feeder of PT. PLN (Persero) in the P2B UP3 Merauke ULP Tanah Merah region. The methodology used includes calculations with existing formulas and simulations using ETAP 16.0.0. The results are then analyzed for the impact of conductor uprating.

The results show that before the uprating, the highest voltage drop recorded was 74.97289 Volts (bus7), while the lowest bus voltage was 19,590.12 Volts (98.45%) at bus39. After uprating, the largest voltage drop decreased to 46.815 Volts (bus7), and the voltage quality at the end of the line (bus39) improved from 98.43% to 99.04%. The uprating of conductors also reduced total real power loss by 52.65% and reactive power loss by 6.63%. This improvement is attributed to the lower impedance values (R and X) of the 150 mm<sup>2</sup> AAACS conductors compared to the 70 mm<sup>2</sup> AACS conductors.

**Keywords:** short circuit, voltage dip, power loss

---

## ABSTRAK

Tujuan dari Penelitian ini adalah mengetahui pengaruh uprating penghantar dari AAAC ke AAACS terhadap tegangan jatuh dan rugi daya pada Penyulang Mawan PT. PLN (Persero) Wilayah P2B UP3 Merauke ULP Tanah Merah. Metode yang digunakan adalah melalui perhitungan dengan rumus yang ada serta simulasi menggunakan ETAP 16.0.0. Hasil ini kemudian dianalisa pengaruh uprating penghantar tersebut.

Hasil memperlihatkan sebelum dilakukan uprating penghantar, jatuh tegangan terbesar adalah 74,97289 Volt (bus7). Sedangkan tegangan bus terkecil adalah 19.590,12 Volt (98,45%) pada bus39. Setelah dilakukan uprating maka, jatuh tegangan terbesar adalah 46,815 Volt (bus7) dan terjadi perbaikan kualitas tegangan pada ujung saluran (bus39) yaitu dari 98,43% menjadi 99,04%. Uprating penghantar juga memperkecil total rugi daya nyata sebesar 52,65% dan daya reaktif sebesar 6,63%. Hal ini disebabkan nilai impedansi R dan X penghantar AACS 150 mm<sup>2</sup> lebih kecil dari penghantar AACS 70 mm<sup>2</sup>.

**Kata kunci:** uprating penghantar, jatuh tegangan, rugi daya

---

Penulis Korespondensi:  
Oktavianus Kati  
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,  
Universitas Cenderawasih,  
Email: oktavianuskati26@gmail.com

## 1. PENDAHULUAN

Penyulang adalah sarana pendistribusian tenaga listrik dengan tegangan pengenal 20 kV dari Gardu Induk (GI) atau pusat listrik ke konsumen. Dimana kontinuitas pendistribusian tenaga listrik tersebut harus selalu dijaga. Sistem distribusi jaringan tegangan menengah (JTM) dimulai dari Gardu Induk (GI) sisi 20 kV yang tersalurkan menuju gardu distribusi untuk diturunkan tegangannya oleh transformator distribusi (20 kV/400 V) menjadi tegangan rendah. Baik buruknya sistem penyaluran dan distribusi tenaga listrik terutama adalah ditinjau dari kualitas tegangan yang diterima pada sisi pelanggan. Untuk memastikan kualitas ini PT PLN (Persero) senantiasa mengupayakan proses distribusi tenaga listrik yang optimal dan andal demi menjamin kepuasan pelanggan. Namun pada kenyataannya, mustahil untuk mencapai proses penyaluran atau distribusi tenaga listrik yang sempurna tanpa adanya masalah apapun. Salah satu masalah yang paling umum terjadi adalah drop voltage atau tegangan kurang yang mengakibatkan bertambahnya rugi-rugi daya pada saluran akibat tegangan kurang tersebut. Tegangan kurang juga menyebabkan peralatan listrik milik pelanggan tidak dapat bekerja secara optimal. Permasalahan lainnya yang timbul adalah penyulang tersebut sering mengalami gangguan yang dapat disebabkan adanya kejadian secara acak dalam sistem yang dapat berupa terganggunya fungsi peralatan, peningkatan beban dan lepasnya peralatan-peralatan yang tersambung ke sistem. Selain itu, biasanya gangguan tersebut juga disebabkan oleh jaringan dengan konduktor telanjang (AAAC) yang masih banyak terdapat di Indonesia lebih khusus lagi yang terdapat di wilayah pelayanan PT.PLN UP3 Merauke, yang terpasang di udara bebas yang akan beresiko menyebabkan terjadinya gangguan seperti gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah yang sifatnya temporer atau permanen.

Metode analisa perhitungan jatuh tegangan dan menggunakan solusi penggantian luas penghantar yang awalnya menggunakan penghantar dengan luas 70mm<sup>2</sup> diganti dengan penghantar 150mm<sup>2</sup> untuk mengetahui cara untuk memperbaiki kualitas tegangan atau mengurangi jatuh tegangan pada saluran pendistribusian tenaga listrik [1]. Penelitian ini

menghasilkan untuk jatuh tegangan di penyulang Feeder Tinoring Sebesar 6,165 %. Untuk solusi dengan penggantian penghantar diperoleh nilai jatuh tegangan sebesar 3,8 %. Metode untuk memperkecil nilai losses dan drop tegangan terkecil juga dilakukan dengan metode pemindahan titik beban rekonfigurasi penyulang, khususnya dengan memindahkan sebagian beban dari Penyulang Gading ke Penyulang Sumber Glagah [2]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rekonfigurasi menyebabkan pengurangan drop tegangan pada penyulang Sumber Glagah dan Gading, dengan nilai drop tegangan berkurang dari 0,264% menjadi 0,208%.

Berdasarkan latar belakang sebelumnya tujuan dari penelitian ini adalah menghitung nilai jatuh tegangan sebelum dan sesudah uprating penghantar dan mengetahui pengaruh uprating penghantar terhadap tegangan jatuh dan rugi daya pada Penyulang Mawan PT. PLN (Persero) Wilayah P2B UP3 Merauke ULP Tanah Merah.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Tegangan Jatuh (*Drop Voltage*)

Tegangan jatuh atau drop tegangan (drop voltage) atau juga rugi tegangan adalah perbedaan tegangan kirim dan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar.

Faktor - faktor yang mempengaruhi nilai tegangan jatuh, adalah:

- Panjang dari kabel penghantar, semakin panjang kabel semakin besar nilai tegangan jatuhnya;
- Luas penampang penghantar, luas penampang kabel yang besar (diameter) akan memiliki nilai tegangan jatuh yang lebih kecil dibandingkan dengan kabel yang mempunyai luas penampang yang lebih kecil pada panjang kabel yang sama;
- Resistivitas atau tahanan jenis dari konduktor penghantar;
- Besar nilai arus, semakin besar nilai arus, maka akan semakin turun nilai dari tegangan.

Pengaturan tegangan dan turun tegangan [7], yaitu:

- Turun Tegangan pada JTM dibolehkan 2% dari tegangan kerja sebagaimana tercantum pada ayat 22 bagi sistem yang tidak

memanfaatkan STB yaitu sistem spindel dan gugus, 5% dari tegangan kerja bagi sistem yang memanfaatkan STB yaitu sistem radial diatas tanah dan sistem simpul.

2. Turun tegangan pada transformator distribusi dibolehkan 3% dari tegangan kerja.

Adapun rumus tegangan jatuh adalah.:

$$\Delta V_{1 \text{ fasa}} = I \cdot (R \cdot \cos \theta + X \sin \theta) \cdot L \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta V_{3 \text{ fasa}} = \sqrt{3} \cdot I \cdot (R \cdot \cos \theta + X \sin \theta) \cdot L \dots\dots (2)$$

dimana:

$\Delta V$  = Jatuh Tegangan/rugi tegangan (V)

$I$  = Besar arus (A)

$L$  = Panjang kabel penghantar (m)

$\cos \theta$  = Faktor daya

$\sin \theta$  = Faktor daya

$R$  = Resistansi Penghantar ( $\Omega/\text{km}$ )

$X$  = Reaktansi Penghantar ( $\Omega/\text{km}$ )

Persentase Rugi Tegangan pada Ujung Jaringan:

$$V_{drop \text{ ujung}} (\%) = \frac{V_s - V_r}{V_s} \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

$V_{drop \text{ ujung}}$  = Jatuh Tegangan (V)

$V_r$  = Tegangan ujung (V)

$V_s$  = Tegangan pangkal (V)

## 2.2 Metode Upgrading

Metode upgrading merupakan metode yang dilakukan dengan cara menaikkan nilai kapasitas dan besar penampang kawat/penghantar pada jaringan distribusi 20 kV, maka dengan dinaikkannya luas penampang kawat penghantar maka, semakin besar penampang kawat penghantar maka semakin kecil nilai hambatan/tolernansi suatu penghantar dan losses yang dihasilkan juga akan semakin kecil, kecilnya losses yang terjadi dalam penyaluran sistem distribusi hal ini dapat memperbaiki kualitas tegangan dan jatuh tegangan (voltage drop) pada ujung saluran distribusi.

## 2.3 Rugi Daya

Rugi daya adalah hilangnya daya listrik akibat tahanan atau resistansi pada penghantar atau konduktor. Rugi daya juga dapat diartikan sebagai selisih antara daya yang dikirim dengan daya yang diterima oleh beban (konsumen).

Besarnya rugi daya aktif ( $\Delta P$ ) dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$\Delta P_{1 \text{ fasa}} = I_{\text{fasa}}^2 \times R \times L \dots\dots\dots (4)$$

$$\Delta P_{3 \text{ fasa}} = 3 \times I_{\text{fasa}}^2 \times R \times L \dots\dots\dots (5)$$

Besarnya rugi daya reaktif ( $\Delta Q$ ) dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$\Delta Q_{1 \text{ fasa}} = I_{\text{fasa}}^2 \times X \times L \dots\dots\dots (6)$$

$$\Delta Q_{3 \text{ fasa}} = 3 \times I_{\text{fasa}}^2 \times X \times L \dots\dots\dots (7)$$

## 2.4 Electric Transient and Analysis Program (ETAP)

Perangkat lunak ETAP merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara realtime. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik.

Analisa tenaga listrik yang dapat dilakukan ETAP antara lain:

- a. Analisa aliran daya (*Load Flow*);
- b. Analisa hubung singkat (*Short Circuit*);
- c. Arc Flash Analysis
- d. Analisa kestabilan transien. dll.

ETAP memiliki 2 macam standar yang digunakan untuk melakukan analisa kelistrikan, ANSI dan IEC, Pada dasarnya perbedaan yang terjadi di antara kedua standar tersebut adalah frekuensi yang digunakan, yang berakibat pada perbedaan spesifikasi peralatan yang sesuai dengan frekuensi tersebut. Simbol elemen listrik yang digunakan dalam analisa dengan menggunakan ETAP pun berbeda ANSI adalah Amerika yang berarti 60 Hz dan IEC adalah Eropa yang berarti 50 Hz yaitu sesuai dengan frekuensi yang dipakai oleh Indonesia.

## 3. METODOLOGI

Dalam rangka untuk mencapai tujuan dari penelitian ini, maka diperlukan data-data yang lengkap berupa data *Single Line* Penyulang Mawan, data jumlah dan kapasitas transformator distribusi, data *tagging* lokasi dan jarak/panjang penghantar antar beban, dan data impedansi penghantar sebelum dan sesudah upgrading. Data-data tersebut kemudian diolah untuk menghitung jatuh tegangan serta rugi daya pada penyulang





disuplai penghantar dengan impedansi nilai R sebesar 0,4608 dan X sebesar 0,3572. Panjang penghantar dari bus 37 ke bus 38 adalah 0,5253 kms. Adapun nilai  $\cos \phi$  sebesar 0,85 dan  $\sin \phi$  sebesar 0,527. Jatuh tegangan pada bus 38 dapat dihitung sebagai berikut.

$$\Delta V_{bus38} = \sqrt{3} \times (I_{TMR25} + I_{TMR17}) \times ((R \cdot \cos \phi) + (X \cdot \sin \phi)) \times L$$

$$\Delta V_{bus38} = \sqrt{3} \times (1,443 + 1,443) \times ((0,4608 \times 0,85) + (0,3572 \times 0,527)) \times 0,526$$

$$\Delta V_{bus38} = 1,52223 \text{ Volt.}$$

Untuk perhitungan jatuh tegangan ( $\Delta V$ ), selanjutnya dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Excel 2021. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini.

**Tabel 3.** Hasil Perhitungan Jatuh Tegangan Sebelum Uprating

No. Bus	$\Delta V$ (Volt)	$V_{\text{sumber}}$ (Volt)	$V_{\text{bus}}$ (Volt)	Persentase Tegangan
Bus1	0,00000	20000,00	20000,00	100,00%
Bus2	29,95314	20000,00	19970,05	99,85%
Bus3	50,28565	19970,05	19919,77	99,60%
Bus4	1,23253	19919,77	19918,53	99,59%
Bus5	0,19143	19918,53	19918,34	99,59%
Bus6	0,59491	19918,53	19917,94	99,59%
Bus7	74,97289	19919,77	19844,80	99,22%
Bus8	4,17918	19844,80	19840,62	99,20%
Bus9	0,41305	19840,62	19840,21	99,20%
Bus10	3,88554	19840,62	19836,74	99,18%
Bus11	1,38428	19836,74	19835,35	99,18%
Bus12	0,89742	19835,35	19834,45	99,17%
Bus13	34,18549	19840,62	19806,44	99,03%
Bus14	2,36309	19806,44	19804,08	99,02%
Bus15	0,92580	19804,08	19803,15	99,02%
Bus16	0,23893	19803,15	19802,91	99,01%
Bus17	1,21943	19803,15	19801,93	99,01%
Bus18	1,27352	19803,15	19801,88	99,01%
Bus19	1,11833	19803,15	19802,03	99,01%
Bus20	8,60025	19804,08	19795,48	98,98%
Bus21	31,29441	19795,48	19764,18	98,82%
Bus22	12,42112	19764,18	19751,76	98,76%
Bus23	8,81538	19751,76	19742,94	98,71%
Bus24	10,38008	19742,94	19732,56	98,66%
Bus25	0,54559	19732,56	19732,02	98,66%
Bus26	2,54582	19732,56	19730,02	98,65%
Bus27	0,15753	19730,02	19729,86	98,65%
Bus28	0,69137	19729,86	19729,17	98,65%
Bus29	10,45079	19730,02	19719,57	98,60%
Bus30	5,19094	19719,57	19714,38	98,57%
Bus31	1,58562	19714,38	19712,79	98,56%
Bus32	9,82937	19714,38	19704,55	98,52%
Bus33	2,91212	19704,55	19701,64	98,51%
Bus34	1,08070	19701,64	19700,56	98,50%
Bus35	4,93557	19701,64	19696,70	98,48%
Bus36	0,83582	19696,70	19695,87	98,48%
Bus37	4,08794	19696,70	19692,62	98,46%

Bus38	1,49943	19692,62	19691,12	98,46%
Bus39	0,40324	19691,12	19690,72	98,45%

Tabel 3 memperlihatkan, jatuh tegangan terbesar yaitu pada bus7 sebesar 75,85266 Volt. Nilai tegangan bus terkecil adalah 19690,72 Volt (19,69 kV) pada bus 39 di ujung saluran yang menyuplai trafo distribusi TMR17, dengan persentase tegangan bus dapat dihitung:

$$V = 19690,69 / 20000 \times 100\%$$

$$V = 98,435\%$$

Perhitungan Rugi daya dimulai dari beban ujung saluran salah satunya yaitu Bus 39 dengan data seperti pada tabel 4.4 memiliki arus beban 1,4 A, impedansi penghantar R sebesar 0,4608 dan X sebesar 0,3572. Panjang penghantar 0,28254 kms. Rugi daya nyata ( $\Delta P$ ) dapat dihitung dengan persamaan (5):

$$\Delta P_{3 \text{ fasa}} = 3 \times 1,42 \times 0,4608 \times 0,28254$$

$$\Delta P_{3 \text{ fasa}} = 0,7875 \text{ W} = 0,0007875 \text{ kW}$$

Besarnya rugi daya reaktif ( $\Delta Q$ ) sesuai persamaan (7) menjadi:

$$\Delta Q_{3 \text{ fasa}} = 3 \times 1,42 \times 0,3572 \times 0,28254$$

$$\Delta Q_{3 \text{ fasa}} = 0,610505 \text{ W} = 0,000610505 \text{ kW}$$

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4. berikut.

**Tabel 4.** Hasil Perhitungan Rugi Daya Sebelum Uprating

No. Bus	Arus (A)	R	X	Rugi Daya	
				kW	kvar
Bus1	93,11	0,4608	0,3572	3,838453	2,975467
Bus2	93,11	0,4608	0,3572	6,245033	4,840984
Bus3	90,23	0,4608	0,3572	0,007308	0,005665
Bus4	4,31	0,4608	0,3572	0,00038	0,000295
Bus5	1,44	0,4608	0,3572	0,002346	0,001819
Bus6	2,87	0,4608	0,3572	8,390046	6,503742
Bus7	81,31	0,4608	0,3572	0,451256	0,349802
Bus8	78,45	0,4608	0,3572	0,002603	0,002018
Bus9	4,58	0,4608	0,3572	0,055157	0,042756
Bus10	10,31	0,4608	0,3572	0,010926	0,008469
Bus11	5,73	0,4608	0,3572	0,003529	0,002736
Bus12	2,86	0,4608	0,3572	2,990618	2,318248
Bus13	63,56	0,4608	0,3572	0,197422	0,153036
Bus14	60,70	0,4608	0,3572	0,018584	0,014406
Bus15	14,58	0,4608	0,3572	0,001502	0,001164
Bus16	4,57	0,4608	0,3572	0,01678	0,013007
Bus17	10,00	0,4608	0,3572	0,007526	0,005834
Bus18	4,29	0,4608	0,3572	0,004406	0,003415
Bus19	2,86	0,4608	0,3572	0,5461	0,423322
Bus20	46,13	0,4608	0,3572	1,863856	1,444812
Bus21	43,27	0,4608	0,3572	0,691111	0,535731
Bus22	40,42	0,4608	0,3572	0,434934	0,337149
Bus23	35,85	0,4608	0,3572	0,471697	0,365647
Bus24	33,01	0,4608	0,3572	0,002142	0,00166
Bus25	2,85	0,4608	0,3572	0,095701	0,074185
Bus26	27,31	0,4608	0,3572	0,001237	0,000959
Bus27	5,70	0,4608	0,3572	0,002714	0,002104

Bus28	2,85	0,4608	0,3572	0,310803	0,240926
Bus29	21,61	0,4608	0,3572	0,13413	0,103974
Bus30	18,77	0,4608	0,3572	0,009925	0,007694
Bus31	4,55	0,4608	0,3572	0,192188	0,148979
Bus32	14,21	0,4608	0,3572	0,045572	0,035326
Bus33	11,37	0,4608	0,3572	0,004219	0,003271
Bus34	2,84	0,4608	0,3572	0,057967	0,044934
Bus35	8,53	0,4608	0,3572	0,003264	0,00253
Bus36	2,84	0,4608	0,3572	0,031935	0,024755
Bus37	5,68	0,4608	0,3572	0,005857	0,00454
Bus38	2,84	0,4608	0,3572	0,000788	0,000611
Bus39	1,42	0,4608	0,3572	3,838453	2,975467
<b>Total Rugi Daya</b>				<b>27,150001</b>	<b>21,04597</b>

Tabel 4 memperlihatkan hasil perhitungan rugi daya untuk penghantar AACS 70 mm<sup>2</sup>. Rugi daya terbesar yaitu pada bus6 TMR-55 dengan rugi daya nyata 8,390046 kW dan rugi daya reaktif 6,503742 kVAr. Sedangkan total rugi daya adalah rugi daya nyata 27,15001 kW dan rugi daya reaktif 21,04597 kVAr.

#### 4.2.2 Sesudah Uprating Penghantar

Untuk perhitungan jika dilakukan uprating penghantar dari AACS 70mm<sup>2</sup> menjadi AAACS 150 mm<sup>2</sup>, maka yang berubah dalam perhitungan adalah nilai impedansi penghantarnya yaitu nilai R adalah 0,2162 dan nilai X adalah 0,3305. Sehingga perhitungan jatuh tegangan setelah dilakukan uprating penghantar dapat dilakukan sebagai berikut.

$$\Delta V_{bus39} = \sqrt{3} \times I_{TMR17} \times ((R \cdot \cos \theta) + (X \cdot \sin \theta)) \times L$$

$$\Delta V_{bus39} = \sqrt{3} \times 1,443 \times ((0,2162 \times 0,85) + (0,3305 \times 0,527)) \times 0,28254$$

$$\Delta V_{bus39} = 0,25278 \text{ Volt.}$$

Untuk perhitungan jatuh tegangan ( $\Delta V$ ), selanjutnya dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Excel 2021. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 5 berikut.

**Tabel 5.** Hasil Perhitungan Jatuh Tegangan Sesudah Uprating

No. Bus	$\Delta V$	V <sub>sumber</sub> (Volt)	V <sub>bus</sub> (Volt)	Persentase Tegangan
Bus1	0,000	20000,00	20000,00	100,00%
Bus2	18,683	20000,00	19981,44	99,91%
Bus3	31,375	19981,44	19950,28	99,75%
Bus4	0,764	19950,28	19949,52	99,75%
Bus5	0,119	19949,52	19949,40	99,75%
Bus6	0,369	19949,52	19949,15	99,75%
Bus7	46,815	19950,28	19903,80	99,52%
Bus8	2,610	19903,80	19901,21	99,51%
Bus9	0,257	19901,21	19900,95	99,50%
Bus10	2,418	19901,21	19898,80	99,49%
Bus11	0,861	19898,80	19897,95	99,49%
Bus12	0,558	19897,95	19897,39	99,49%

Bus13	21,368	19901,21	19880,01	99,40%
Bus14	1,477	19880,01	19878,54	99,39%
Bus15	0,577	19878,54	19877,97	99,39%
Bus16	0,149	19877,97	19877,82	99,39%
Bus17	0,760	19877,97	19877,21	99,39%
Bus18	0,794	19877,97	19877,18	99,39%
Bus19	0,697	19877,97	19877,28	99,39%
Bus20	5,381	19878,54	19873,21	99,37%
Bus21	19,586	19873,21	19853,79	99,27%
Bus22	7,775	19853,79	19846,08	99,23%
Bus23	5,519	19846,08	19840,61	99,20%
Bus24	6,500	19840,61	19834,17	99,17%
Bus25	0,341	19834,17	19833,83	99,17%
Bus26	1,594	19834,17	19832,59	99,16%
Bus27	0,099	19832,59	19832,49	99,16%
Bus28	0,433	19832,49	19832,07	99,16%
Bus29	6,547	19832,59	19826,10	99,13%
Bus30	3,252	19826,10	19822,88	99,11%
Bus31	0,993	19822,88	19821,90	99,11%
Bus32	6,160	19822,88	19816,78	99,08%
Bus33	1,825	19816,78	19814,97	99,07%
Bus34	0,677	19814,97	19814,30	99,07%
Bus35	3,094	19814,97	19811,91	99,06%
Bus36	0,524	19811,91	19811,39	99,06%
Bus37	2,563	19811,91	19809,37	99,05%
Bus38	0,940	19809,37	19808,44	99,04%
Bus39	0,253	19808,44	19808,19	99,04%

Tabel 5 memperlihatkan, setelah dilakukan uprating penghantar menjadi AAACS 150 mm<sup>2</sup> maka jatuh tegangan terbesar yaitu pada bus7 sebesar 46,815 Volt. Nilai tegangan bus terkecil adalah 19.808,19 Volt (19,81 kV) pada bus39 di ujung saluran yang menyuplai trafo distribusi TMR17, dengan persentase tegangan bus dapat dihitung sebagai berikut.

$$V = (19808,19/20000) \times 100\%$$

$$V = 99,04\%$$

Dengan demikian rugi tegangan adalah 100%-99,03% menjadi sebesar 0,97 %.

Perhitungan Rugi daya dimulai dari beban ujung saluran salah satunya yaitu Bus 39 dengan data seperti pada tabel 4.4 memiliki arus beban 1,4 A, impedansi penghantar R sebesar 0,2162 dan X sebesar 0,3305. Panjang penghantar 0,28254 kms. Maka besarnya rugi daya nyata ( $\Delta P$ ) dapat dirumuskan dengan persamaan (5):

$$\Delta P_{3 \text{ fasa}} = 3 \times 1,4^2 \times 0,2162 \times 0,28254$$

$$\Delta P_{3 \text{ fasa}} = 0,3747 \text{ W} = 0,0003747 \text{ kW}$$

Besarnya rugi daya reaktif ( $\Delta Q$ ) sesuai persamaan (7) menjadi:

$$\Delta Q_{3 \text{ fasa}} = 3 \times 1,4^2 \times 0,3305 \times 0,28254$$

$$\Delta Q_{3 \text{ fasa}} = 0,5728 \text{ W} = 0,000572855 \text{ kW}$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 6 berikut.

**Tabel 6** Perhitungan Rugi Daya sesudah *uprating*

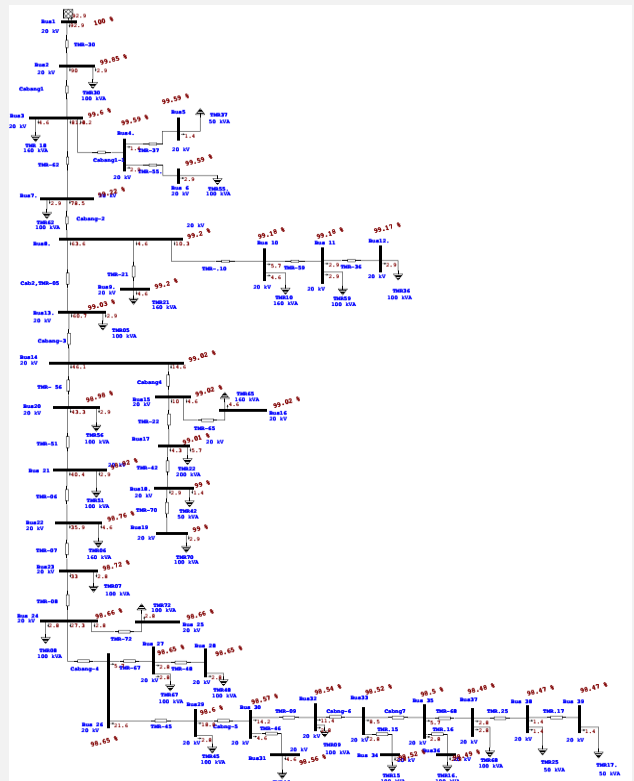
No. Bus	Arus (A)	R	X	Rugi Daya	
				kW	kvar
Bus1	93,11	0,2162	0,3305	1,8157	2,7756
Bus2	93,11	0,2162	0,3305	2,9541	4,5159
Bus3	90,23	0,2162	0,3305	0,0034	0,0053
Bus4	4,31	0,2162	0,3305	0,0002	0,0003
Bus5	1,44	0,2162	0,3305	0,0011	0,0017
Bus6	2,87	0,2162	0,3305	3,9724	6,0725
Bus7	81,31	0,2162	0,3305	0,2137	0,3266
Bus8	78,45	0,2162	0,3305	0,0012	0,0019
Bus9	4,58	0,2162	0,3305	0,0260	0,0398
Bus10	10,31	0,2162	0,3305	0,0051	0,0079
Bus11	5,73	0,2162	0,3305	0,0017	0,0025
Bus12	2,86	0,2162	0,3305	1,4169	2,1659
Bus13	63,56	0,2162	0,3305	0,0935	0,1430
Bus14	60,70	0,2162	0,3305	0,0088	0,0134
Bus15	14,58	0,2162	0,3305	0,0007	0,0011
Bus16	4,57	0,2162	0,3305	0,0079	0,0121
Bus17	10,00	0,2162	0,3305	0,0035	0,0054
Bus18	4,29	0,2162	0,3305	0,0021	0,0032
Bus19	2,86	0,2162	0,3305	0,2589	0,3958
Bus20	46,13	0,2162	0,3305	0,8838	1,3511
Bus21	43,27	0,2162	0,3305	0,3276	0,5009
Bus22	40,42	0,2162	0,3305	0,2063	0,3154
Bus23	35,85	0,2162	0,3305	0,2237	0,3420
Bus24	33,01	0,2162	0,3305	0,0010	0,0015
Bus25	2,85	0,2162	0,3305	0,0454	0,0694
Bus26	27,31	0,2162	0,3305	0,0006	0,0009
Bus27	5,70	0,2162	0,3305	0,0013	0,0020
Bus28	2,85	0,2162	0,3305	0,1476	0,2256
Bus29	21,61	0,2162	0,3305	0,0637	0,0973
Bus30	18,77	0,2162	0,3305	0,0047	0,0072
Bus31	4,55	0,2162	0,3305	0,0913	0,1396
Bus32	14,21	0,2162	0,3305	0,0216	0,0331
Bus33	11,37	0,2162	0,3305	0,0020	0,0031
Bus34	2,84	0,2162	0,3305	0,0275	0,0421
Bus35	8,53	0,2162	0,3305	0,0016	0,0024
Bus36	2,84	0,2162	0,3305	0,0152	0,0232
Bus37	5,68	0,2162	0,3305	0,0028	0,0043
Bus38	2,84	0,2162	0,3305	0,0004	0,0006
Bus39	1,42	0,2162	0,3305	1,8157	2,7756
<b>Total Rugi Daya</b>				<b>12,8552</b>	<b>19,6515</b>

Tabel 6 memperlihatkan hasil perhitungan rugi daya untuk penghantar AACS 150 mm<sup>2</sup>. Rugi daya terbesar yaitu pada bus6 TMR-55 dengan rugi daya nyata 3,9724 kW dan rugi daya reaktif 6,0725 kVar. Sedangkan total rugi daya adalah rugi daya nyata 12,8552 kW dan rugi daya reaktif 19,6515 kVar.

### 4.3 Simulasi Menggunakan Etap

Untuk mengetahui nilai jatuh tegangan dan rugi daya, maka data yang diperoleh kemudian dimasukkan dalam single line penyulang

Mawan dan hasil analisa aliran daya terlihat pada gambar 5 sebagai berikut.



**Gambar 5.** Hasil Simulasi Aliran Daya Menggunakan ETAP

Hasil simulasi jatuh tegangan dan rugi daya menggunakan ETAP dapat dilihat pada tabel 7 dan tabel 8.

**Tabel 7** Hasil Simulasi sebelum uprating (70 mm<sup>2</sup>)

Branch ID	Losses		% Bus Voltage	
	kW	kVAr	From	To
TMR-30	3,8384	2,9755	100	99,85
Cabang1	6,2447	4,8407	99,85	99,60
Cabang1-1	0,0073	0,0057	99,60	99,59
TMR-62	8,3910	6,5045	99,60	99,22
TMR-37	0,0004	0,0003	99,59	99,59
TMR-55.	0,0024	0,0018	99,59	99,59
Cabang-2	0,4513	0,3498	99,22	99,20
Cab2,TMR-05	2,9908	2,3184	99,20	99,03
TMR-10	0,0551	0,0427	99,20	99,18
TMR-21	0,0026	0,0020	99,20	99,20
TMR-59	0,0109	0,0085	99,18	99,18
TMR-36	0,0035	0,0027	99,18	99,17
Cabang-3	0,1974	0,1530	99,03	99,02
Cabang4	0,0186	0,0144	99,02	99,02
TMR- 56	0,5460	0,4233	99,02	98,98
TMR-22	0,0168	0,0130	99,02	99,01
TMR-65	0,0015	0,0012	99,02	99,01
TMR-42	0,0075	0,0058	99,01	99,00
TMR-70	0,0044	0,0034	99,00	99,00

TMR-51	1,8638	1,4448	98,98	98,82
TMR-06	0,6910	0,5356	98,82	98,76
TMR-07	0,4351	0,3372	98,76	98,71
TMR-08	0,4716	0,3655	98,71	98,66
Cabang-4	0,0957	0,0742	98,66	98,65
TMR-72	0,0021	0,0017	98,66	98,66
TMR-45	0,3109	0,2410	98,65	98,60
TMR-67	0,0012	0,0010	98,65	98,65
TMR-48	0,0027	0,0021	98,65	98,65
Cabng-5	0,1341	0,1039	98,60	98,57
TMR-09	0,1923	0,1491	98,57	98,52
TMR-46	0,0099	0,0077	98,57	98,56
Cabng-6	0,0456	0,0353	98,52	98,51
Cabng7	0,0579	0,0449	98,51	98,48
TMR.15	0,0042	0,0033	98,51	98,50
TMR.16	0,0033	0,0025	98,48	98,48
TMR-68	0,0320	0,0248	98,5	98,5
TMR.25	0,0059	0,0045	98,5	98,5
TMR.17	0,0008	0,0006	98,5	98,5

Tabel 7 memperlihatkan nilai rugi daya dan persentase tegangan pada bus beban yang menggunakan penghantar 70 mm<sup>2</sup>. Hasil simulasi ETAP memperlihatkan hasil yang mendekati hasil perhitungan.

**Tabel 8** Simulasi sesudah *uprating* (150 mm<sup>2</sup>)

Branch ID	Losses		% Bus Voltage	
	kW	kVAr	From	To
TMR-30	1,816	2,775	100	99,91
Cabang1	2,954	4,516	99,91	99,75
Cabang1-1	0,003	0,005	99,75	99,75
TMR-62	3,972	6,072	99,75	99,52
TMR-37	0,000	0,000	99,75	99,75
TMR-55	0,001	0,002	99,75	99,75
Cabang-2	0,214	0,327	99,52	99,51
Cab2,TMR-05	1,417	2,166	99,51	99,40
TMR-.10	0,026	0,040	99,51	99,49
TMR-21	0,001	0,002	99,51	99,50
TMR-59	0,005	0,008	99,49	99,49
TMR-36	0,002	0,003	99,49	99,49
Cabang-3	0,094	0,143	99,40	99,39
Cabang4	0,009	0,013	99,39	99,39
TMR- 56	0,259	0,396	99,39	99,37
TMR-22	0,008	0,012	99,39	99,39
TMR-65	0,001	0,001	99,39	99,39
TMR-42	0,004	0,005	99,39	99,38
TMR-70	0,002	0,003	99,38	99,38
TMR-51	0,884	1,351	99,37	99,27
TMR-06	0,328	0,501	99,27	99,23
TMR-07	0,206	0,315	99,23	99,20
TMR-08	0,224	0,342	99,20	99,17
Cabang-4	0,045	0,069	99,17	99,16
TMR-72	0,001	0,002	99,17	99,17
TMR-45	0,148	0,226	99,16	99,13
TMR-67	0,001	0,001	99,16	99,16
TMR-48	0,001	0,002	99,16	99,16
Cabng-5	0,064	0,097	99,13	99,11
TMR-09	0,091	0,140	99,11	99,08
TMR-46	0,005	0,007	99,11	99,11
Cabng-6	0,022	0,033	99,08	99,07
Cabng7	0,028	0,042	99,07	99,06
TMR.15	0,002	0,003	99,07	99,07
TMR.16	0,002	0,002	99,06	99,06

TMR-68	0,015	0,023	99,06	99,05
TMR.25	0,003	0,004	99,05	99,04
TMR.17	0,000	0,001	99,04	99,04

Tabel 8 memperlihatkan nilai rugi daya dan persentase tegangan ada bus beban yang menggunakan penghantar 150 mm<sup>2</sup>. Hasil simulasi ETAP memperlihatkan hasil yang mendekati hasil perhitungan.

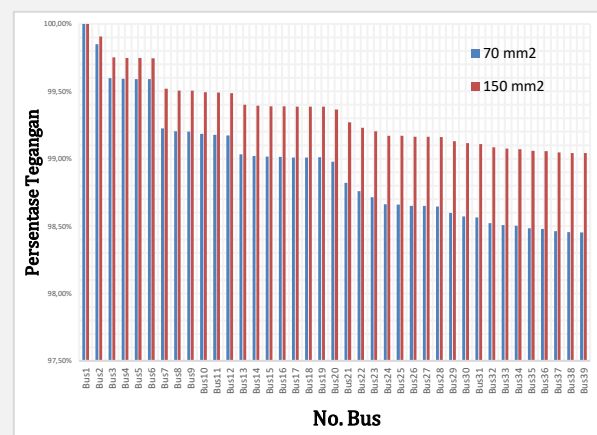
Nilai jatuh tegangan hasil perhitungan berbeda-beda karena dipengaruhi oleh:

1. Arus yang mengalir menuju bus beban
2. Panjang Penghantar
3. Impedansi Penghantar (R dan X)
4. Faktor daya beban

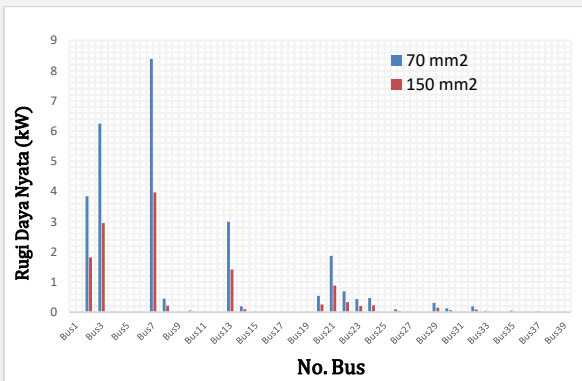
Nilai tegangan bus terkecil adalah 19.690,72 Volt (98,45%) pada bus 39. Hal ini terjadi karena semakin jauh titik beban dari sumber (grid) maka jatuh tegangannya pun semakin besar.

Untuk perhitungan setelah dilakukan uprating penghantar menjadi AACSR 150 mm<sup>2</sup>, memberikan hasil terjadi perbaikan kualitas tegangan pada ujung saluran yaitu dari 98,45% menjadi 99,04%. Hal ini disebabkan nilai impedansi R dan X penghantar 150 mm<sup>2</sup> lebih kecil dari penghantar 70 mm<sup>2</sup>.

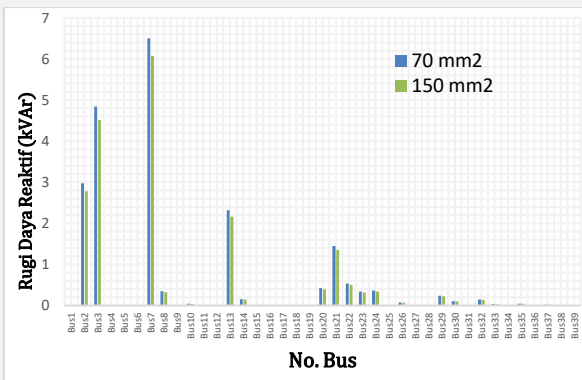
Nilai rugi daya nyata dan rugi daya reaktif juga semakin mengecil setelah dilakukan uprating penghantar pada penyulang Mawan. Untuk rugi daya nyata berubah 52,65% dari 27,15001 kW menjadi 12,8552 kW. Sedangkan daya reaktif berubah 6,63% dari 21,04597 kVAr menjadi 19,6515 kVAr. Adapun grafik perbaikan persentase tegangan sebelum dan sesudah uprating dapat dilihat pada gambar 6 berikut.



**Gambar 6** Grafik Persentase Tegangan sebelum dan sesudah Uprating



Gambar 7 Grafik Rugi Daya Nyata (P) sebelum dan sesudah *Uprating*



Gambar 8 Grafik Rugi Daya Reaktif (Q) sebelum dan sesudah *Uprating*

Gambar 6 s/d gambar 8 memperlihatkan secara keseluruhan terjadi perbaikan persentase tegangan, rugi daya nyata dan rugi daya reaktif. Meningkatkan nilai diameter penghantar dari 70 mm<sup>2</sup> ke 150 mm<sup>2</sup> akan memperbaiki kualitas tegangan dan rugi daya pada penyulang Mawan.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Dari analisis dan perhitungan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Sebelum dilakukan uprating penghantar, jatuh tegangan terbesar adalah 74,97289 Volt (bus7). Sedangkan tegangan bus terkecil adalah 19.590,12 Volt (98,45%) pada bus39. Setelah dilakukan uprating maka, jatuh tegangan terbesar adalah 46,815 Volt (bus7) dan terjadi perbaikan kualitas tegangan pada ujung saluran (bus39) yaitu dari 98,43% menjadi 99,04%. Uprating penghantar juga memperkecil total rugi daya nyata sebesar 52,65% dan daya reaktif sebesar 6,63%.

2. Uprating penghantar sangat berpengaruh terhadap tegangan jatuh pada Penyulang Mawan PT. PLN (Persero) Wilayah P2B UP3 Merauke ULP Tanah Merah. Hal ini disebabkan nilai impedansi R dan X penghantar 150 mm<sup>2</sup> lebih kecil dari penghantar 70 mm<sup>2</sup>.

### 5.2. Saran

Hasil perhitungan dan simulasi sedikit berbeda, karena perhitungan menggunakan perhitungan langsung menggunakan rumus yang ada. Sedangkan simulasi ETAP analisis aliran daya pada program ini menggunakan metode numerik yaitu metode Newton Raphson yang hasilnya lebih akurat. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis aliran daya menggunakan ETAP pada penelitian sejenis..

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahasweros Mampori, dkk, 2023, *Perbaikan Tegangan Pada Saluran Distribusi 20 kV Feeder Tinoring*, Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, Vol.12 No.1 Januari-April 2023, hal. 43-48. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/lekdankom>
- [2] Direksi PT. PLN (Persero), 1997, *Kursus Operasi dan Pemeliharaan Distribusi TR*, Tuntungan : PT. PLN (Persero).
- [3] Irma Rizky Aprillia, dkk, 2024, *Rekonfigurasi Saluran Udara Pada Penyulang Jaringan Tegangan Menengah Untuk Mengurangi Drop Tegangan Di PT. PLN (Persero) ULP Pacet*, Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, Vol. 12 No. 1, pISSN: 2303-0577 eISSN: 2830-7062.
- [4] KEPDIR PT. PLN (Persero) Nomor : 457.K./DIR/11 Agustus/2010. Buku I: *Kriteria Disain Enjinerig Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*.
- [5] Sarimun, Wahyudi, 2011, *Buku Saku Pelayanan Teknik (Yantek) Edisi Edisi Kedua*, Cibening : Garamond
- [6] SPLN No.1. 1995. *Tegangan-Tegangan Standar*. Jakarta : PT. PLN (Persero).
- [7] SPLN No.72, 1987, *Spesifikasi Desaint untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR)*, Jakarta : PT. PLN (Persero).
- [8] Suhadi, 2008, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid I*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.