

Rekonfigurasi Jaringan Distribusi 20 kV untuk Mengurangi Drop Voltage Pada Penyulang Asuhan GI Daya

Dr. Ir. Satriani Said Akhmad, M.T. 1¹⁾, Hanifa Fauziah 2²⁾, Muhammad Fahreza Ali 3³⁾

¹ Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
satriani_said@poliupg.ac.id,

² Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
Fauziahhanifa7@gmail.com,

³ Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
muhfahrezaali5@gmail.com

Abstrak

Salah satu permasalahan sistem distribusi yakni *drop voltage* diakibatkan oleh beberapa hal, antara lain panjang saluran (kms). Dalam permasalahan tersebut, panjang saluran sistem distribusi dapat disesuaikan melalui rekonfigurasi agar *drop voltage* dapat diperbaiki. Penelitian ini berupaya untuk memperbaiki *drop voltage* pada penyulang asuhan gardu induk Daya (GI Daya) yang diakibatkan oleh GI Daya yang sudah tidak lagi teroperasikan. Percobaan ini ditinjau melalui simulasi aliran daya menggunakan ETAP. Dalam penelitian ini, model jaringan yang diterapkan yakni rekonfigurasi dengan mengubah GI Daya menjadi gardu hubung Daya (GH Daya) yang dilakukan dengan penambahan 2 buah *feeder express* dari GI Daya baru ke GH. Setelah dilakukannya rekonfigurasi saluran, 6 bus dalam kondisi *under voltage* berhasil diperbaiki ke profil tegangan yang memenuhi standar. Nilai tegangan terendah sebesar 18,952 kV atau dengan persentase jatuh tegangan sebesar 5,24% berhasil dinaikkan ke level tegangan standar dengan nilai 19,821 kV yang nilai persentase jatuh tegangannya sebesar 0,895% setelah dilakukannya rekonfigurasi melalui pemasangan *feeder express* sebagai *incoming* pada GH Daya.

Keywords: Rekonfigurasi, Drop Voltage, Feeder Express

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan suatu kebutuhan vital bagi masyarakat dan merupakan sumber daya yang paling ekonomis yang dapat digunakan dalam berbagai macam kegiatan. Hampir segala aktifitas manusia didukung oleh keberadaan energi listrik. Tingginya tingkat pertumbuhan kelistrikan tersebut mengakibatkan PLN tidak hanya berusaha memenuhi permintaan daya yang meningkat, akan tetapi juga harus memperbaiki tingkat keandalan pelayanan. Semakin tinggi tingkat keandalan suatu sistem yang diinginkan, maka diperlukan peralatan atau komponen yang memiliki jaminan tingkat keandalan dengan sensitivitas tinggi untuk mengatasi, mengisolir serta menormalisir kembali sistem dari gangguan yang terjadi pada jaringan.

Pemasok tenaga listrik dalam hal ini PT PLN (Persero), dituntut untuk mampu memberikan suatu pelayanan tenaga listrik yang optimal sesuai yang dibutuhkan para konsumen, Keperluan konsumen akan pemakaian listrik terus bertambah pesat seiring waktu. Peningkatan pemakaian listrik perlu diiringi dengan peningkatan kualitas jaringan listrik selain dari peningkatan sumber listrik. Penggunaan beban (daya) yang besar tanpa diiringi dengan peningkatan kualitas jaringan dapat mengakibatkan dampak kerusakan, baik kerusakan pada peralatan maupun terjadinya rugi-rugi daya (*losses*) pada sistem jaringan tenaga listrik.

Ada beberapa metode yang dapat dilakukan dalam mengurangi jatuh tegangan pada suatu JTM yaitu, Melakukan perubahan atau penambahan luas penampang

pada penghantar jaringan distribusi 20 kV, memasang kapasitor bank, dan melakukan rekonfigurasi jaringan atau mendesain ulang pola topologi jaringan pada suatu saluran sistem distribusi. Dari ketiga metode diatas, salah satu yang dapat dilakukan agar dapat meningkatkan profil tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya pada sistem distribusi sehingga efisiensi daya listrik yang disalurkan meningkat dan konsumen dapat dilayani dengan baik, yaitu dengan cara rekonfigurasi jaringan.

Metode rekonfigurasi jaringan ini dilakukan dengan cara mengubah gardu induk (GI) menjadi gardu hubung (GH) yang disuplai dari 2 penyulang *express* dari gardu induk Daya Baru. Saat ini penyulang asuhan gardu induk Daya disuplai atau dimanuver dari penyulang asuhan dari gardu induk yang berbeda, ini menyebabkan panjang saluran penyulang yang mensuplai penyulang asuhan gardu induk Daya semakin bertambah dan nilai beban juga bertambah. Semakin panjang nilai kms suatu saluran maka semakin besar juga nilai jatuh tegangan pada saluran tersebut. Dengan permasalahan yang ada penulis memutuskan untuk mengangkat judul "Rekonfigurasi Jaringan Distribusi 20 kV Untuk Mengurangi Drop Voltage Pada Penyulang Asuhan GI Daya".

II. KAJIAN LITERATUR

A. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik meliputi sistem pembangkitan, sistem transmisi serta sistem distribusi. Sistem distribusi mempunyai perananan penting dalam menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik ke masing-masing beban

ataupun konsumen dengan mengganti tegangan listrik yang didistribusikan jadi tegangan yang dikehendaki. Hal ini disebabkan peran sistem distribusi ialah bagian yang sangat akhir dari totalitas sistem tenaga listrik yang memiliki guna mendistribusikan langsung tenaga listrik pada beban ataupun konsumen yang memerlukan [2].

Berdasarkan dari masing-masing sub sistem dapat diperjelas sebagai berikut:

- **Pembangkit**
Berperan sebagai sumber daya tenaga listrik dan disebut juga sebagai produsen energi.
- **Sistem Transmisi**
Berperan sebagai penyaluran daya listrik secara besar-besaran yang berasal dari pembangkit ke bagian distribusi atau konsumen.
- **Sistem Distribusi**
Berperan sebagai penyalur energi ke konsumen yang membutuhkan energi listrik.

B. Klasifikasi Jaringan Distribusi

Sistem distribusi merupakan jaringan yang langsung terhubung dengan beban. Tenaga listrik dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan yang berkisar antara 11 kV sampai 24 kV. Tegangan listrik ini dinaikkan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV dengan transformator *step-up* tegangan pada gardu induk untuk kemudian disalurkan melalui saluran transmisi [5]. Tegangan ini dinaikkan dengan tujuan memperkecil kerugian daya pada saluran transmisi. Pada saluran distribusi primer, tenaga listrik disalurkan pada tegangan 20 kV yang diambil dari saluran transmisi dan diturunkan dengan transformator *step-down* tegangan. Gardu distribusi mengambil tegangan listrik dari saluran distribusi primer untuk diturunkan menjadi 220/380 V dan selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen. Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer. Secara umum jaringan sistem distribusi primer diklasifikasikan sebagai berikut:

- **Topologi Jaringan Spindel**
Jaringan spindel adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola radial dan ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang yang tegangannya diberikan dari gardu induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH) [2].
- **Topologi Jaringan Radial**
Sistem radial merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Dibandingkan dengan sistem yang lainnya, sistem radial memiliki sifat khusus yang dapat dimanfaatkan untuk mempermudah pemecahan masalah-masalah dalam menganalisis jaringan radial [2].
- **Topologi Jaringan Loop**
Jaringan loop atau lingkaran ini antar penyulang saling berhubungan dengan diberi pembatas. Kemudahan untuk merelokasi apabila terjadi gangguan di salah satu penyulang [2].

C. Operasi Sistem Distribusi

Suatu sistem distribusi tenaga listrik dituntut dapat memenuhi syarat dasar kebutuhan layanan kepada konsumen untuk menjamin kualitas tenaga listrik yang disalurkan ke konsumen dan memberikan suplai daya yang tinggi dimana sistem dapat melayani beban secara efektif.

Beban terlayani secara efektif apabila waktu layanan yang tinggi. Berikut beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam suatu sistem distribusi.

- Tegangan
- Rugi-rugi daya

D. Kualitas Daya

Daya yang dibangkitkan sebuah perangkat listrik sebanding dengan besarnya arus yang mengalir melewatinya. Daya juga sebanding dengan tegangan yang menggerakkan arus tersebut. Semakin besar arus dan semakin besar gaya gerak listriknya, sehingga semakin besar daya yang dihasilkan. Daya listrik dibedakan menjadi tiga yaitu daya semu (S), daya nyata (P) dan Daya Reaktif (Q).

Faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata dan daya semu. Nilai faktor daya dalam suatu saluran mempengaruhi besarnya arus yang mengalir pada saluran tersebut. Nilainya yaitu antara 0 sampai dengan 1. Terlalu rendah nilai faktor daya dapat mengakibatkan rugi yang sangat besar pada saluran.

- **Impedansi Saluran**
Perhitungan jatuh tegangan, resistansi dan reaktansi kedua konduktor perlu diperhitungkan. Paduan antara resistansi dan reaktansi disebut dengan impedansi yang dinyatakan satuannya dalam ohm. Impedansi dapat dihitung dengan rumus [2]:

$$z = \sqrt{R^2 + X^2} \tag{1}$$

Dimana:

- Z = Impedansi Saluran (ohm)
- R = Tahanan Saluran (ohm)
- X = Reaktansi (ohm)

- **Tahanan**
Tiap konduktor memberi perlawanan atau tahanan terhadap mengalirnya arus listrik dan hal ini dinamakan resistansi. Resistansi atau tahanan dari suatu konduktor (kawat penghantar) diberikan oleh [2]:

$$R = \rho \frac{l}{A} \text{ Ohm} \tag{2}$$

Dimana:

- R: Resistansi
- ρ : Resistivitas
- l = Panjang kawat
- A = Luas penampang kawat

- **Reaktansi**
Sebuah konduktor yang dilalui arus listrik dikelilingi oleh garis-garis magnetik yang berbentuk

lingkaran-lingkaran konsentrik. Dalam hal ini arus bolak-balik medan sekeliling konduktor tidaklah konstan melainkan berubah-ubah dan mengait dengan konduktor itu sendiri maupun dengan konduktor-konduktor lain yang terletak berdekatan. Reaktansi penghantar untuk jaringan distribusi pada umumnya terdiri dari induktansi, maka reaktansinya disebut induktif (XL) yang dapat dihitung dengan rumus [2]:

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L \quad (3)$$

Dimana:

X_L = Reaktansi Jaringan (Ohm)

f = Frekuensi (Hz)

L = Induktansi (Henry)

E. Jatuh Tegangan

Terjadinya jatuh tegangan pada saluran disuatu lokasi adalah disebabkan oleh bagian yang berbeda tegangan didalam suatu sistem daya tersebut dan juga dipengaruhi oleh resistansi, reaktansi, dan impedansi pada saluran. Jatuh tegangan pada saluran adalah selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman dengan tegangan pada ujung penerimaan tenaga listrik. Salah satu penyebab terjadinya jatuh tegangan yaitu bertambahnya beban atau konsumen yang tersambung. Besarnya rugi tegangan dapat dinyatakan sebagai berikut [2]:

$$V = I.R \cos \phi + I.X \sin \phi \quad (4)$$

$$V = I \times Z \quad (5)$$

Dimana:

V = Jatuh Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir (Ampere)

R = Tahanan Saluran (Ohm)

X = Reaktansi (Ohm)

ϕ = Sudut dari faktor daya beban

$Z = R+jX$ (Ohm)

Untuk menghitung persentase jatuh tegangan dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\% \Delta V = \frac{V_S - V_R}{V_S} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana:

V_S = Tegangan kirim

V_T = Tegangan terima

Berdasarkan SPLN 72: 1987 batas maksimum drop tegangan yang diijinkan adalah sebagai berikut:

- Drop tegangan pada jaringan tegangan menengah = 5%
- Drop tegangan pada trafo = 3%
- Drop tegangan pada jaringan tegangan rendah = 4%
- Drop tegangan pada saluran rumah = 1%

F. Gardu Distribusi

Gardu distribusi tenaga listrik merupakan salah satu komponen dari sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik ke pelanggan tegangan menengah maupun tegangan rendah. Pada gardu distribusi terdiri dari peralatan utama yaitu:

- Peralatan hubung bagi tegangan menengah (PHB-TM)
- Transformator distribusi
- Peralatan hubung bagi tegangan rendah (PHB-TR)

Gardu distribusi dibedakan atas 3 bagian yaitu:

- Jenis Pemasangan: gardu pasang luar, gardu pasang dalam
- Jenis Konstruksi: gardu beton, gardu tiang, gardu kios
- Jenis Penggunaan: gardu pelanggan umum, gardu pelanggan khusus.

G. Gardu Hubung

Gardu Hubung disingkat GH atau *Switching Substation* adalah gardu yang berfungsi sebagai sarana manuver pengendali beban listrik jika terjadi gangguan aliran listrik, program pelaksanaan pemeliharaan atau untuk maksud mempertahankan kontinuitas pelayanan.

H. Transformator Distribusi

Transformator merupakan peralatan listrik statis yang bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Dalam sistem tenaga listrik transformator digunakan dalam pendistribusian listrik tegangan tinggi jarak jauh yang dalam penggunaannya memungkinkan tenaga yang sesuai dan ekonomis untuk keperluan beban [2].

I. Metode Rekonfigurasi Jaringan

Proses menata konfigurasi awal dari jaringan (*intial condition*) menjadi suatu konfigurasi optimum akhir (*optimal condition*), sehingga dari konfigurasi yang terakhir ini diperoleh kerugian daya sistem distribusi yang paling kecil (aliran daya yang paling optimum).

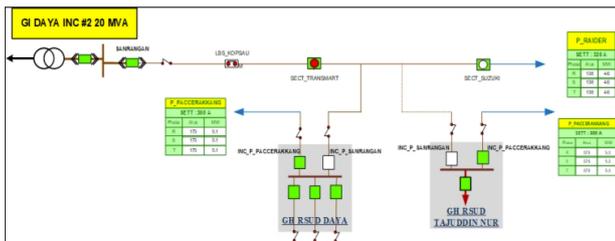
Meskipun jaringan distribusi dioperasikan menggunakan sistem radial, namun besarnya sistem tersebut dikombinasikan ke dalam beberapa tipe. Tipe yang paling umum adalah model jaringan distribusi radial dengan *tie* dan *switch* pemisah [7].

- *Normally Closed Switch (NC Switch)* yang dalam keadaan operasi normal, posisi kontaknya selalu tertutup (*on*).
- *Normally Open Switch (NO Switch)* yang dalam keadaan operasi normal, posisi kontaknya selalu terbuka (*off*).

III. METODE PENELITIAN

Metode analisis data yang digunakan yaitu dengan metode kuantitatif karena menggunakan data-data yang diperoleh dari PT. PLN UP2D Makassar. Metode pengumpulan data yang digunakan yaitu:

- Metode Observasi



d. Penyulang Sanrangan

Gambar 2. Penyulang Asuhan Gardu Induk Daya

D. Data Saluran

Data Saluran menampilkan panjang saluran, jenis dan luas penampang dari penghantar yang digunakan, serta data teknis konstruksi dari jenis penghantar menurut SPLN dan IEC. Adapun data panjang saluran dan jenis penghantar dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Panjang Saluran

No	Jenis	Keterangan
1	Total Panjang Saluran (kms)	558533
2	Jenis Kabel	AAAC
3	Luas Penampang (mm ²)	70, 150,120, 240

E. Data Beban per Segmen

Beban yang ada pada penyulang asuhan gardu induk Daya ini bervariasi, mulai dari beban rumah tangga, industri, fasilitas umum, dan lain-lain. Pada tabel 2 menampilkan data beban per segmen yang ada pada penyulang asuhan gardu induk Daya.

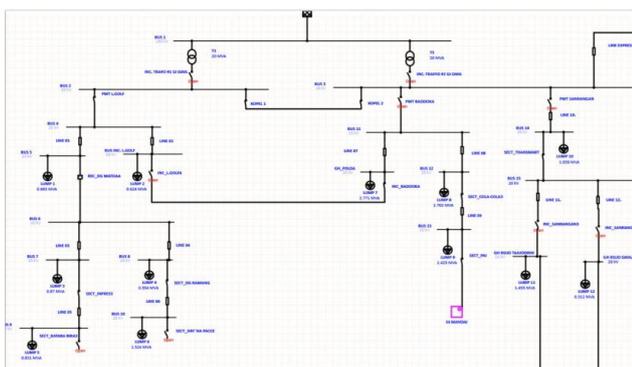
Tabel 2. Data Beban per Segmen

No	Keterangan	Jumlah
1	Beban <i>Lumped</i>	74
2	Nilai Beban (A)	4531

F. Simulasi Kondisi Existing

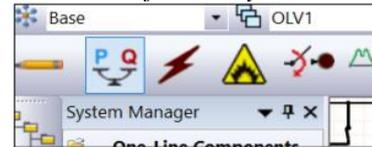
Simulasi yang akan dilakukan pada aplikasi ETAP berdasarkan representasi sistem pada gambar 3, gambar 4, dan gambar 5 yaitu simulasi *load flow analysis*. Berikut tahapan simulasi yang dilakukan:

- Sesuaikan *workspace* ETAP sesuai gambar 3.



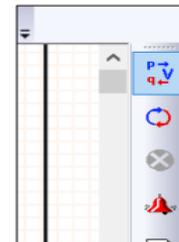
Gambar 3. Kondisi Existing Penyulang Asuhan Gardu Induk Daya

- Klik ikon *load flow analysis*



Gambar 4. Load flow analysis

- Kemudian jalankan simulasi aliran daya dengan klik ikon *run load flow*.



Gambar 5. Run load flow analisis

Seperti yang dapat dilihat pada gambar 3, penyulang asuhan GI Daya ini disuplai atau dimanuver oleh penyulang lain dari gardu induk yang berbeda. Dalam penelitian ini yang dianalisis adalah kondisi kualitas tegangan pada tiap bus yang ada di penyulang asuhan GI Daya berdasarkan simulasi aliran daya.

Hasil simulasi aliran daya melalui ETAP untuk data tiap bus dan *line* selengkapnya dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai tegangan kondisi existing penyulang asuhan gardu induk Daya

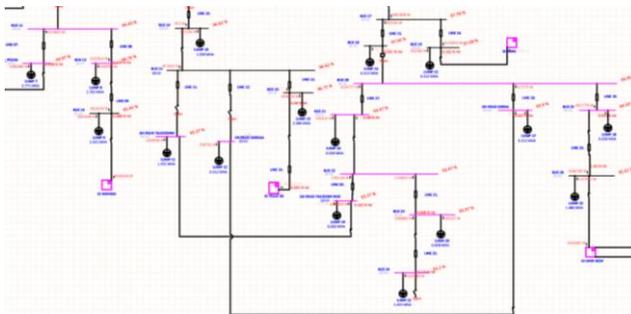
Nama Penyulang	Bus ID	Voltage
P. Lapangan Golf	BUS 2	19.093
	BUS 3	19.093
	BUS 4	19.093
	BUS 5	19.005
	BUS 6	19.005
	BUS 7	18.991
	BUS 8	18.976
	BUS 9	18.983
	BUS 10	18.963
	BUS INC. L. GOLF	19.089
P. Baddoka	BUS 11	18.991
	BUS 12	19.037
	BUS 13	19.095
P. Sanrangan	BUS 14	19.534
	BUS 15	19.534
	BUS 16	19.546
	GH_POLDA	18.952
P. Pacerackang	BUS 17	19.093
	BUS 18	19.089
	BUS 19	19.117
	BUS 20	19.828
	BUS 21	19.788
	BUS 22	19.788
	BUS 23	19.775
	BUS 24	19.751
	BUS 25	19.914
	BUS 26	20.051
	GH RSUD DAYA	19.824
GH RSUD TAJUDDIN NUR	19.774	

Berdasarkan hasil aliran daya di atas, pada *alert view* menunjukkan beberapa bus yang sedang dalam kondisi *under voltage* dengan tampilan seperti gambar 6 di bawah ini.

Device ID	Type	Condition	Rating/Limit	Operating	% Operating	Phase Type
T16	Transformer	Overload	20 MVA	20 489	102.4	3-Phase
BUS 7	Bus	Under Voltage	20 kV	18 999	94.9	3-Phase
BUS 8	Bus	Under Voltage	20 kV	18 991	95	3-Phase
BUS 9	Bus	Over Voltage	20 kV	20 407	102	3-Phase
BUS 10	Bus	Over Voltage	20 kV	20 411	102	3-Phase
BUS 11	Bus	Over Voltage	20 kV	20 407	102	3-Phase
BUS 12	Bus	Under Voltage	20 kV	18 979	94.9	3-Phase
BUS 13	Bus	Under Voltage	20 kV	18 964	94.9	3-Phase
BUS 14	Bus	Under Voltage	20 kV	18 964	94.9	3-Phase
BUS 15	Bus	Under Voltage	20 kV	18 961	94.7	3-Phase
BUS 16	Bus	Under Voltage	20 kV	18 988	94.9	3-Phase
BUS 17	Bus	Under Voltage	20 kV	18 97	94.9	3-Phase
BUS 18	Bus	Under Voltage	20 kV	18 941	94.7	3-Phase
BUS 19	Bus	Over Voltage	20 kV	20 524	102.6	3-Phase
BUS 20	Bus	Over Voltage	20 kV	20 449	102.2	3-Phase
BUS 21	Bus	Over Voltage	20 kV	20 49	102.5	3-Phase
BUS 22	Bus	Under Voltage	20 kV	18 927	94.6	3-Phase
BUS 23	Bus	Under Voltage	20 kV	18 912	94.6	3-Phase
BUS 24	Bus	Under Voltage	20 kV	18 918	94.6	3-Phase
BUS 25	Bus	Under Voltage	20 kV	18 952	94.8	3-Phase
GH_POLDA	Bus	Under Voltage	20 kV	18 952	94.8	3-Phase

Gambar 6. Hasil Simulasi ETAP

Simulasi akan menampilkan nilai tegangan bus pada saluran. Hasil simulasi aliran daya pada peyulang asuhan gardu induk Daya dalam ETAP dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Kondisi Existing Penyulang Asuhan Gardu Induk Daya Hasil Simulasi ETAP

Pengaturan *alert* pada *study case* simulasi aliran daya untuk kondisi *under voltage*, batas yang digunakan mengikuti *setting* otomatis dari ETAP dengan persentase tegangan kondisi kritis sebesar 96% dan kondisi marginal sebesar 98%. Untuk bus yang dalam kondisi *under voltage* tersebut, tertampil berwarna merah pada ETAP seperti gambar 7 di atas.

G. Persentase jatuh tegangan pada kondisi existing

Untuk persentase jatuh tegangan ditinjau menggunakan persamaan 6 sebagai berikut:

$$\% \Delta V = \frac{V_S - V_R}{V_S} \times 100\% \quad (6)$$

Bus 7 dengan nilai tegangan yang diterima sebesar $V_R = 18.941 V$, dan $V_S = GI \text{ Kima} = 20 V$, sehingga:

$$\% \Delta V = \frac{20 - 18.991}{20} \times 100\% \quad (7)$$

$$\% \Delta V = 5.045 \% \quad (8)$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, maka diperoleh hasil perhitungan persentase jatuh tegangan pada tiap bus percangan pada tabel 4 berikut:

Tabel 4 Hasil perhitungan presentase drop voltage

Device ID	Vr	%ΔV	Kondisi	Status
BUS 7	18.99	5.05	Under Voltage	Kritis
BUS 8	18.98	5.1	Under Voltage	Kritis
BUS 9	18.983	5.085	Under Voltage	Kritis
BUS 10	18.963	5.185	Under Voltage	Kritis
BUS 11	18.99	5.05	Under Voltage	Kritis
GH_POLDA	18.952	5.24	Under Voltage	Kritis

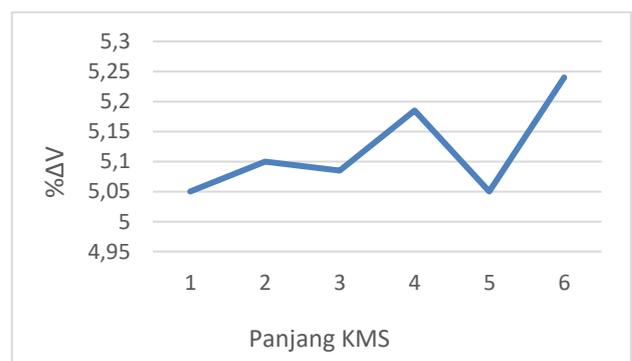
Berdasarkan hasil perhitungan tabel 4, jatuh tegangan terbesar terjadi pada GH POLDA dengan persentase jatuh tegangan sebesar 5.24 % yang tergolong dalam status kritis. Dengan demikian kondisi tegangan dari beberapa bus pada penyulang asuhan gardu induk Daya melebihi standar toleransi jatuh tegangan sebesar 5% atau tegangan terima kurang dari 19 kV.

Jatuh tegangan pada penyulang ini terjadi karena panjangnya hantaran yang dipengaruhi oleh nilai reaktansi dan resistansi dan juga nilai beban pada penyulang. Apabila nilai reaktansi dan resistansi semakin besar, maka jatuh tegangan akan semakin besar pula. Sehubungan dengan hal tersebut pengaruh panjang hantaran terhadap jatuh tegangan dapat ditinjau melalui tabel 5.

Tabel 4. Panjang saluran terhadap presentase drop voltage

Device ID	Panjang KMS	Vr	%ΔV	Kondisi	Status
BUS 7	18.917	18.99	5.05	Under Voltage	Kritis
BUS 8	19.817	18.98	5.1	Under Voltage	Kritis
BUS 9	20.417	18.983	5.085	Under Voltage	Kritis
BUS 10	21.117	18.963	5.185	Under Voltage	Kritis
BUS 11	29.696	18.99	5.05	Under Voltage	Kritis
GH_POLDA	33.196	18.952	5.24	Under Voltage	Kritis

Berdasarkan tabel panjang saluran di atas, didapatkan grafik panjang saluran terhadap jatuh tegangan sebagai berikut:



Gambar 8. Grafik panjang saluran terhadap persentase jatuh tegangan

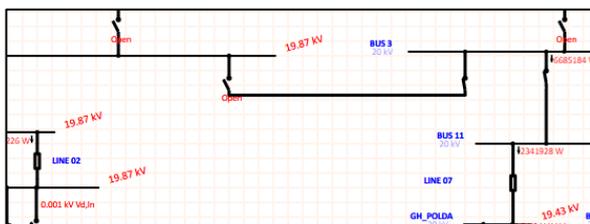
H. Penambahan feeder express

Berdasarkan tabel 5, ditemukan 6 bus dalam kondisi kritis. Dapat dilakukan pemasangan *feeder express* dari gardu induk Daya Baru ke gardu induk Daya untuk menurunkan jatuh tegangan pada bus percabangan, dengan meninjau beberapa hal berikut:

- Jarak gardu induk Daya Baru dan Gardu induk Daya
- Perubahan konfigurasi saluran pada penyulang asuhan gardu induk Daya dengan mengubah gardu induk Daya menjadi gardu hubung.
- Jatuh tegangan akan meminimalkan adanya *feeder express*.

I. Tahapan rekonfigurasi saluran

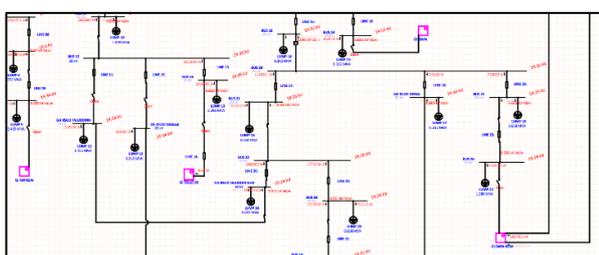
Tahapan yang dilakukan untuk rekonfigurasi saluran pada penyulang asuhan gardu induk Daya, dapat dilihat pada gambar 9. Sehingga dapat dilakukan rekonfigurasi dengan mengubah kopel antara busbar trafo 1 dan trafo 2 pada gardu induk Daya dibuka karena penyulang asuhan trafo 1 dari gardu induk Daya (penyulang Lapangan Golf) dialihkan dari penyulang asuhan Gardu Induk Kima (penyulang Effem Baru) melalui penyulang Paccerrakkang di gardu induk Daya.



Gambar 9. Kopel busbar dalam keadaan open

Membuka beberapa *section* yang terhubung dengan penyulang melakukan *manuver* penyulang asuhan gardu induk Daya dari gardu induk lain yaitu:

- Penyulang Baddoka dimanuver melalui *section* Pai yang terhubung dengan penyulang asuhan gardu induk Mandai (Penyulang Ujung Pandang)
- Penyulang Sanrangan dimanuver melalui *section* Suzuki yang terhubung dengan penyulang asuhan gardu induk Tello 30kv (Penyulang Raider)
- Penyulang Paccerrakkang dimanuver melalui *section* pangkal Paccerrakkang yang terhubung dengan penyulang asuhan gardu induk Kima (Penyulang Effem Baru) dan *section* Adiba3 yang terhubung dengan penyulang asuhan gardu induk Daya Baru (Penyulang db2).



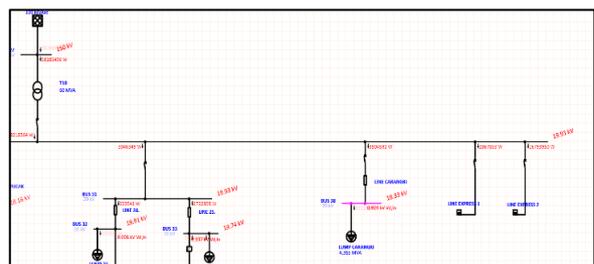
Gambar 10. Section dalam keadaan open

Dengan menutup PMT pada penyulang asuhan gardu induk Daya agar beban pada penyulang asuhan gardu induk Daya dapat disuplai dari *feeder express*



Gambar 11. PMT penyulang asuhan gardu induk Daya dalam keadaan close

Menambahkan 2 *feeder express* pada gardu induk Daya Baru yang akan mensuplai penyulang asuhan gardu induk Daya



Gambar 12. Menambahkan feeder express dari GI Daya Baru

Berdasarkan konfigurasi yang telah dilakukan, gardu induk daya di alih fungsikan menjadi gardu hubung dengan 2 *incoming* penyulang *express* dari gardu induk Daya Baru dan 4 *outgoing* berupa penyulang asuhan gardu induk Daya. Sehingga nilai tegangan tiap bus percabangan saat *feeder express* beroperasi dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 5 Hasil nilai tegangan setelah penambahan feeder express

Device ID	V _r (kV)	V _s (kV)	Kondisi
BUS 7	20.029	20	Stabil
BUS 8	20.015	20	Stabil
BUS 9	20.021	20	Stabil
BUS 10	20.002	20	Stabil
BUS 11	19.859	20	Stabil
GH_POLDA	19.821	20	Stabil

Seperti yang terlihat pada tabel 6, tegangan operasi pada setiap bus percabangan menjadi stabil. Sehingga persentase jatuh tegangan dapat ditinjau menggunakan persamaan 6 sebagai berikut.

$$\% \Delta V = \frac{V_s - V_R}{V_s} \times 100\% \tag{6}$$

$$\% \Delta V = \frac{20 - 19.859}{20} \times 100\% \tag{9}$$

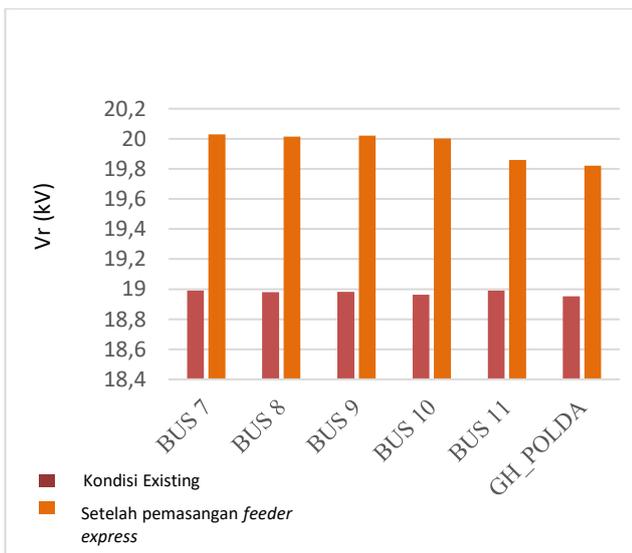
$$\% \Delta V = 0.705 \% \tag{10}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, maka diperoleh hasil perhitungan persentase jatuh tegangan yang dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 6 Hasil persentase jatuh tegangan setelah pemasangan feeder express

Device ID	Panjang KMS	Vr	%ΔV	Kondisi	Status
BUS 7	14.796	20.029	-0.145	Stabil	Normal
BUS 8	14.301	20.015	-0.075	Stabil	Normal
BUS 9	16.296	20.021	-0.105	Stabil	Normal
BUS 10	17.98	20.002	-0.01	Stabil	Normal
BUS 11	9	19.859	0.705	Stabil	Normal
GH_POLDA	13.298	19.821	0.895	Stabil	Normal

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 7, nilai jatuh tegangan tiap bus percabangan telah memenuhi standar yaitu tidak melebihi 5% sehingga beroperasi dalam kondisi stabil. Perbandingan nilai tegangan operasi tiap bus percabangan kondisi *existing* dan setelah pemasangan *feeder express* berdasarkan data hasil simulasi pada tabel 5 dan tabel 7 dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Grafik perbandingan nilai tegangan sebelum dan setelah rekonfigurasi

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, setelah pemasangan *feeder express* pada penyulang asuhan gardu induk Daya sehingga, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada saat kondisi *existing* tegangan tiap bus percabangan beroperasi dalam kondisi *under voltage* dengan bus yang beroperasi dalam status kritis yaitu Bus 7, Bus 8, Bus 9, Bus 10, Bus 11, dan gardu hubung POLDA. Tegangan terima terendah pada bus percabangan yang ditinjau melalui simulasi aliran daya menggunakan *Electrical Transient Analysis Program (ETAP) 12.6.0* terjadi pada gardu hubung POLDA sebesar 18,952 kV, dengan kondisi *under voltage* dan dalam status kritis dengan persentase jatuh tegangan sebesar 5.24%.
2. Panjang saluran mempengaruhi nilai tegangan yang diterima dan persentase jatuh tegangan, dimana

semakin panjang saluran dari titik sumber menuju bus percabangan maka nilai tegangan yang diterima oleh bus tersebut cenderung semakin berkurang dan nilai jatuh tegangannya semakin besar.

3. Rekonfigurasi jaringan yang dilakukan dengan mengubah gardu induk menjadi gardu hubung ini dilakukan dengan penambahan 2 buah *feeder express* dari gardu induk Daya Baru ke gardu induk Daya. Setelah dilakukan simulasi pemasangan *feeder express* tegangan terima pada gardu hubung POLDA yang mengalami *under voltage* berubah menjadi 19.821 kV dengan persentase jatuh tegangan 0.895 %. Dengan terpasangnya *feeder express* sebagai *incoming* pada gardu hubung Daya, beban pada penyulang asuhan gardu induk Daya semakin berkurang dan Panjang jaringan (kms) juga berkurang sehingga dapat menekan jatuh tegangan dan tegangan operasi yang didapatkan lebih optimal serta nilai tegangan operasi berada dalam kondisi stabil.

REFERENSI

- [1] Albaroka Guton, Widodo Gatot. 2017. “Analisis Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Penyulang Barata Jaya Area Surabaya Selatan Menggunakan Software Etap 12.6”. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- [2] Anugrah, Andri Van. 2020. Studi Pemasangan Express Feeder Jaringan Distribusi 20 kV Untuk Mengatasi Drop Tegangan Pada Feeder Sorek PT PLN (Persero) Rayon Pangkalan Kerinci. Medan : Universitas Lancang Kuning.
- [3] Ferdian Pondri, Sukardi.2022. “Analisis Perbaikan Tegangan Ujung Dan Susut Teknis Dengan Rekonfigurasi Jaringan Distribusi 20 Kv Pada Penyulang Silago Pt Pln (Persero) Unit Layanan Pelanggan (Ulp) Sitiung”. Padang: Universitas Negeri Padang.
- [4] Hontong Nolki Jonal, Tuegeh Maickel, Patras Lily.S. 2015. “Analisis Rugi-rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Di PT. PLN Palu”. Manado: Universitas Sam Ratulangi.
- [5] Muhammad Awaludin, Tumaliang Hans, Silimang Sartje. 2018. “Analisis Rugi-rugi Energi Listrik Pada Jaringan Distribusi (JTM) Di PT. PLN (Persero) Area Gorontalo”. Manado: Universitas Sam Ratulangi.
- [6] Saputri, Nurhaliza. 2022. “Perancangan Pemasangan Express Feeder Untuk Perbaikan Profil Tegangan Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Penyulang Gardu Hubung Sungguminasa (Ghsm) PT. PLN Persero Ulp Sungguminasa”. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- [7] Saputra, Aryan Budi. 2016. “Rekonfigurasi Sistem Distribusi Untuk Mengatasi Beban Lebih Dan Meminimalkan Rugi – Rugi Pada Jaringan Distribusi Tengkawang Samarinda. Malang : Institut Teknologi Nasional Malang”

- [8] SPLN 72-1987. Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara. Jakarta
- [9] Sugianto, Jaya Arif, Ashad Bayu Adrian. 2020. "Analisis Rugi-rugi Daya Jaringan Distribusi Penyulang POLDA Area Makassar Utara dengan Menggunakan ETAP 12.6." Makassar: Universitas Muslim Indonesia.
- [10] Supriyadi, Paronda Abdul Hafid, Hasad Andi. 2017. "Analisis *Power Losses* Pada Distribusi Listrik Di Gedung Universitas Islam "45" Bekasi dengan Menggunakan *Software ETAP 7.5.0*". Bekasi: Universitas Islam "45" Bekasi.
- [11] Tanjung Abrar. 2014. "Rekonfigurasi Sistem Distribusi 20 KV Gardu Induk Teluk Lembu Dan PLTMG Langgam Power Untuk Mengurangi Rugi Daya Dan Drop Tegangan." Pekanbaru: Universitas Lancang Kuning.