

Analisa Drop Tegangan pada Feeder K3 Gardu Induk Kota Kabupaten

Ida Widiastuti, Dedi Nugroho

Electrical Engineering Study Program, Faculty of Industrial Technology, Sultan Agung Islamic University

Correspondence Author: ida_fti@unissula.ac.id

Abstract

Feeder 3 Gardu Induk Kudus memiliki panjang feeder mencapai 16,62 km, oleh karena itu untuk mengantisipasi drop tegangan berlebihan maka sistem tegangan disisi pangkal feeder tersebut menggunakan tegangan 20,9 kV atau 4,5% dari tegangan standar PLN 20 kV. Untuk mengetahui unjuk kerja sistem tegangan tersebut terhadap drop tegangan di titik – titik tertentu sepanjang feeder, maka diperlukan perhitungan drop tegangan. Metode yang digunakan dalam riset ini adalah melakukan perhitungan drop tegangan disepanjang seksi – seksi feeder berdasarkan data-data ril, diantaranya panjang seksi feeder, jenis, ukuran dan impedansi konduktor dan beban harian rata – rata feeder. Perhitungan dilakukan untuk kondisi real time dengan tegangan 20,9 kV dan perhitungan secara simulasi dengan asumsi tegangan sumber feeder 20 kV, mengacu pada tegangan nominal PLN untuk feeder primer. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa drop tegangan di titik ujung feeder dengan tegangan real sumber 20,9 kV adalah 19,06 kV atau mengalami drop tegangan 8,88 %. Jika merujuk pada tegangan standar PLN untuk tegangan sistem 20 kV maka batas maksimum drop tegangan diizinkan adalah 5% atau 19 kV, dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sistem feeder tersebut diatas telah mengalami kondisi kritis, meskipun masih dapat diizinkan, namun dampaknya beban – beban diujung feeder akan mengalami gangguan seperti ketidakstabilan tegangan karena tegangannya berada diambang kritis, oleh sebab itu perlu adanya upaya untuk memperbaiki profil tegangan tersebut.

Keyword : feeder , Drop tegangan, Gardu Induk

1. PENDAHULUAN

Drop tegangan pada sistem distribusi baik pada sistem jaringan distribusi tegangan menengah (JTM) maupun jaringan tegangan rendah (JTR), merupakan masalah penting dalam sistem penyaluran daya listrik ke konsumen listrik. Drop tegangan merupakan hilangnya tegangan disepanjang konduktor akibat nilai impedansi dari konduktor itu sendiri, semakin tinggi arus beban dan semakin panjang konduktor maka akan semakin tinggi pula nilai drop tegangan yang terjadi. Drop tegangan yang buruk atau terlalu tinggi dapat mengakibatkan permasalahan disisi konsumen listrik seperti terjadinya kerusakan pada peralatan – peralatan listrik, peralatan listrik tidak dapat bekerja secara optimal, umur peralatan listrik menjadi lebih pendek, panas berlebihan pada motor - motor listrik, system kendali menjadi tidak bekerja sebagaimana mestinya dan sebagainya, oleh karena itu drop tegangan selalu dibatasi pada nilai standar yang dizinkannya. Berdasarkan standar SPLN 72 – 1987, drop tegangan pada jaringan tegangan menengah tipe radial tidak boleh melebihi 5% dari tegangan nominalnya [1], sedangkan berdasarkan standar SLPN 1 -1995 ditentukan bahwa variasi tegangan pelayanan (tegangan rendah), sebagai akibat adanya perubahan beban, maka batas tegangan, maksimum +5% dan minimum -10% dari tegangan nominalnya [2]. Hal ini berarti untuk jaringan tegangan rendah drop tegangan tidak boleh melebihi batas 10% dari tegangan nominalnya.

Meskipun pada awal desain sistem jaringan distribusi telah dirancang agar drop tegangan dipastikan memenuhi standar yang diizinkan, namun dalam perkembangannya kemudian, drop tegangan yang terjadi semakin lama semakin tinggi, hal ini dikarenakan faktor pertumbuhan beban – beban listrik yang meningkat secara signifikan, akibatnya drop tegangan yang terjadi semakin tinggi. Untuk mengatasi hal – hal tersebut diatas maka diperlukan monitoring dan analisa drop tegangan pada jaringan – jaringan tertentu yang memiliki pembebanan cukup tinggi. Analisa dilakukan dengan menghitung drop tegangan yang terjadi pada pada titik – titik bus di sepanjang jaringan sistem distribusi [3,4] guna mengetahui tingkat persentase drop tegangan, apakah masih layak sesuai dengan standar PLN atau telah melampaui batas standar yang diizinkan.

Apabila nilai persentase drop tegangan melampaui standar, maka perlu dilakukan perbaikan drop tegangan baik pada saluran distribusi primer maupun saluran distribusi sekunder. Perbaikan drop tegangan pada sistem jaringan distribusi tegangan menengah dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti system pengoperasian pembebanan penyulang primer melalui pelimpahan sebagian beban dari satu penyulang ke penyulang lainnya agar

terjadi penurunan drop tegangan [5,6], memperbesar penampang konduktor penyulang dan pemasangan kapasitor bank pada jaringan mmteangan menengah [7], pemasangan kapasitor pada sisi Gardu Induk 150 kV jika sisi tegangan tinggi mengalami drop tegangan yang signifikan [8]. Penggunaan *renewable energy* seperti pada panel surya melalui system on-grid dengan jaringan distribusi menengah dapat memperbaiki drop tegangan pada jaringan tegangan menengah tersebut [9]. Selain pada system jaringan tegangan menengah, perbaikan drop tegangan dapat dilakukan pula pada jaringan tegangan rendah, apabila permasalahannya berasal dari jaringan tersebut. Berbagai metode perbaikan pada jaringan tegangan rendah antara lain : Mengganti ukuran penampang konduktor jaringan tegangan rendah dengan ukuran yang lebih besar [10], rekonfigurasi jaringan tegangan rendah [11], reposisi trafo distribusi dan penataan kembali jaringan tegangan rendah [12], dan penambahan trafo distribusi baru pada area jaringan tegangan rendah yang memiliki drop tegangan melebihi batas yang diizinkan, dan perluasan jaringan distribusi [13]. Pada sistem jaringan distribusi di kawasan Industri, perbaikan drop tegangan dapat dilakukan dengan menaikkan tingkat tegangan jaringan distribusi tegangan menengah, dan rekonfigurasi jaringan [14].

Feeder (penyulang) K3 merupakan saluran jaringan distribusi primer yang bersumber dari Gardu Induk Kudus. Panjang saluran ini cukup panjang mencapai 16,62 km dengan ujung terakhir terhubung pada PT. TSMI yang berada di Desa Bakung RT 01 / RW 05 Mijen Kabupaten Demak. Berdasarkan identifikasi awal bahwa ada masalah ketidakstabilan tegangan yang dirasakan oleh konsumen yang berada dititik ujung feeder tersebut, sementara berdasarkan pengukuran diketahui tegangan di sisi pangkal dari feeder, terukur tegangan sebesar 20,9 kV atau 4,5% lebih tinggi dari tegangan nominal 20 kV, berdasarkan hal tersebut perlu dikaji dampak dari tegangan sistem tersebut terhadap drop tegangan pada masing – masing seksi saluran pada feeder K3 tersebut diatas. Tujuan riset ini adalah untuk menganalisa drop tegangan yang terjadi pada seksi – seksi saluran feeder K3 dan membandingkannya dengan penggunaan tegangan standar 20 kV.

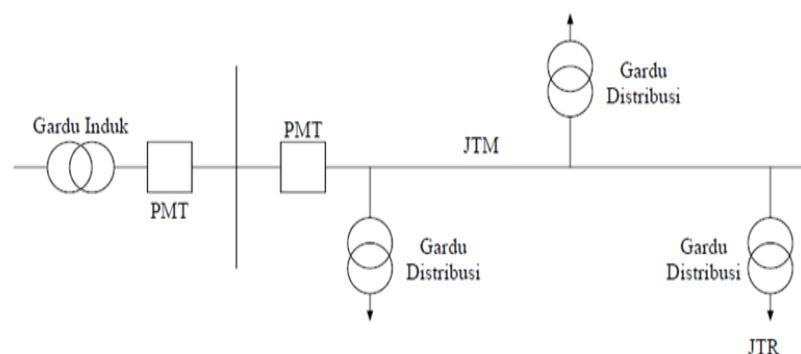
Melalui riset ini maka akan diperoleh hasil – hasil tegangan pada masing – masing feeder sehingga dapat digunakan sebagai data acuan jika terjadi penambahan beban atau pengembangan feeder tersebut dikemudian hari.

1.1. Sistem Jaringan Distribusi

Sistem jaringan distribusi primer memiliki beberapa variasi bentuk, dimana masing-masing bentuk jaringan memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pada umumnya terdapat empat bentuk dasar dari sistem jaringan distribusi primer yaitu sebagai berikut:

A. Sistem jaringan radial

Sistem jaringan radial umumnya banyak digunakan pada daerah yang memiliki kerapatan beban rendah karena hanya mengalirkan tenaga listrik pada satu arah saja yang bersumber dari suatu pusat tenaga ke suatu daerah pemakaian dengan memakai satu maupun beberapa kawat penghantar.



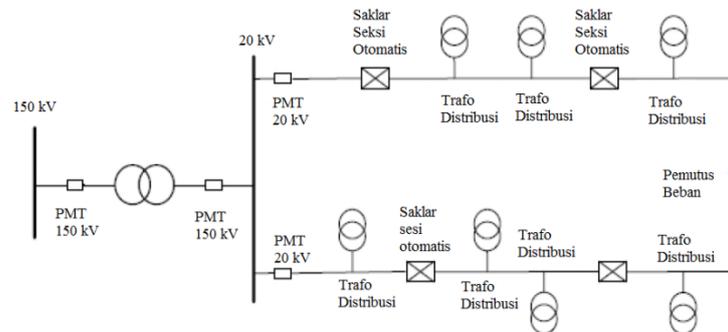
Gambar 1 Sistem Jaringan Radial

Pada sistem jaringan radial seperti ditunjukkan pada Gambar 1 memiliki keandalan yang rendah dan pelaksanaan pengoperasiannya mudah. Pada sistem ini memiliki satu jalur ke beban sehingga apabila terjadi gangguan di pangkal jaringan maka semua beban pada jaringan tersebut akan kehilangan daya. Salah satu kelemahan sistem jaringan radial adalah kontinuitas pelayanan kurang baik dan keandalannya rendah serta drop tegangan yang terjadi besar, terutama untuk beban yang terdapat pada ujung saluran.

Pada sistem jaringan radial memiliki keandalan yang rendah dan pelaksanaan pengoperasiannya mudah. Pada sistem ini memiliki satu jalur ke beban sehingga apabila terjadi gangguan di pangkal jaringan maka semua beban pada jaringan tersebut akan kehilangan daya. Salah satu kelemahan sistem jaringan radial adalah kontinuitas pelayanan kurang baik dan keandalannya rendah serta drop tegangan yang terjadi besar, terutama untuk beban yang terdapat pada ujung saluran.

B. Sistem jaringan lingkaran (*Loop Network*)

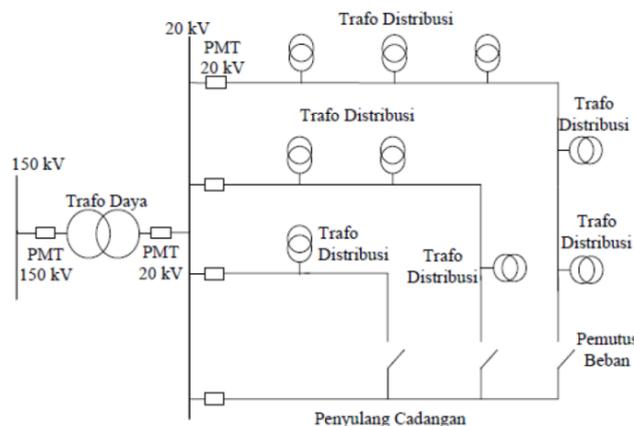
Sistem jaringan lingkaran umumnya digunakan pada daerah-daerah dengan kerapatan beban tinggi seperti wilayah industri maupun perkantoran. Sistem ini memiliki beberapa sumber pengisian (substation) untuk mengaliri beberapa daerah pemakai dan membentuk rangkaian tertutup. Pada jaringan tersebut apabila terjadi suatu gangguan pada bagian penghantar, maka tiap daerah masih bisa menerima energi listrik. Dengan adanya beberapa sumber pengisian maka pada sistem jaringan lingkaran sistem keandalannya lebih tinggi, metode pengoperasian cukup mudah serta dapat mengurangi jatuh tegangan sehingga memperkecil rugi – rugi jaringan. Gambar jaringan lingkaran (Loop Network) diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2 Sistem Jaringan Loop

C. Sistem Cluster

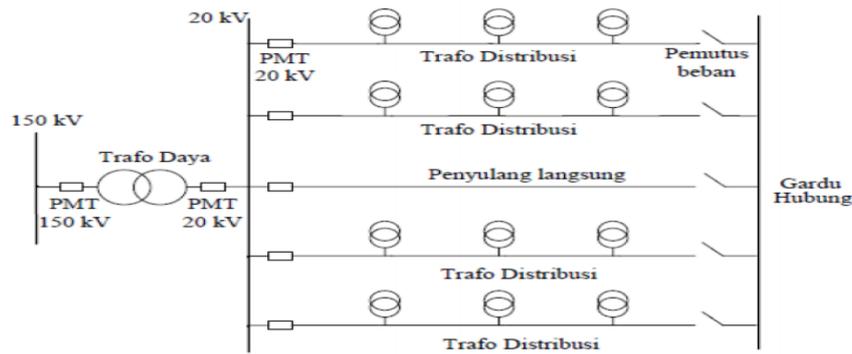
Sistem jaringan listrik ini pada sistem cluster tidak menggunakan gardu hubung atau gardu switching seperti ditunjukkan pada Gambar 3, sehingga *express feeder* bisa terhubung langsung dengan setiap penyulang. *express feeder* ini dapat berguna sebagai titik manuver ketika terjadi gangguan pada salah satu bagian jaringan.



Gambar 3 Sistem Jaringan Cluster

D. Sistem Spindel

Gambar 4 adalah model sistem jaringan *spindle*. Sistem spindle merupakan pengembangan dari sistem jaringan radial dan lingkaran. Pada sistem ini menggunakan 2 jenis penyulang yaitu penyulang cadangan (*standby* atau *express feeder*) dan penyulang operasi (*working feeder*). Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai *back-up supply* jika terjadi gangguan pada penyulang operasi, sehingga sistem ini tergolong sistem yang handal. Sistem ini sudah memperhitungkan perkembangan beban atau penambahan jumlah konsumen atau beban sampai beberapa tahun ke depan, sehingga dapat digunakan dalam waktu yang cukup lama, akan tetapi investasi pembangunannya juga memerlukan biaya investasi lebih besar. Proteksinya tergolong sederhana dan mirip dengan sistem *loop*. Pada bagian tengah jaringan pada umumnya dipasang gardu tengah yang berfungsi sebagai titik manuver ketika terjadi gangguan pada jaringan tersebut.



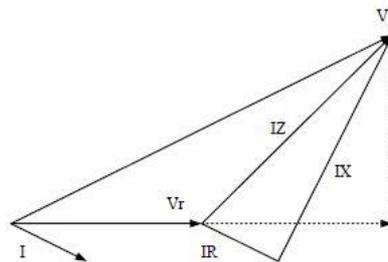
Gambar 4 Sistem Jaringan Spindel

Untuk konfigurasi 2 penyulang, maka faktor pembebanan hanya diperbolehkan maksimal 50%. Berdasarkan konsep *spindel* jumlah penyulang pada 1 spindel adalah 6 penyulang operasi dan 1 penyulang cadangan sehingga faktor pembebanan konfigurasi spindel penuh adalah 85%. Hal ini dimungkinkan agar penyulang cadangan mampu ketika mendapat pelimpahan dari seluruh penyulang operasi dalam system tersebut. Ujung-ujung penyulang berakhir pada gardu yang disebut Gardu Hubung dengan kondisi penyulang operasi “NO” (*Normally Open*), kecuali penyulang cadangan dengan kondisi “NC” (*Normally Close*)

1.2. Drop Tegangan

Drop tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Besarnya drop tegangan dapat dinyatakan baik dalam bentuk satuan volt atau persen. Panjang sebuah jaringan tegangan menengah (JTM) dapat didesain dengan mempertimbangkan drop tegangan (Voltage Drop). Drop tegangan selalu terjadi pada jaringan, baik pada pelanggan maupun pada perusahaan listrik. Jatuh tegangan pada saluran distribusi adalah selisih antara tegangan pada sisi kirim (V_s) dan tegangan pada sisi terima (V_r).

$$\Delta V = V_s - V_r \tag{1}$$



Gambar 5 Diagram Phasor Saluran Distribusi

Gambar 5 menunjukkan diagram phasor pada saluran distribusi. Apabila perbedaan nilai tegangan tersebut melebihi standar yang ditentukan, maka mutu penyaluran tersebut rendah. Di dalam saluran distribusi persoalan tegangan sangat penting, baik dalam keadaan operasi maupun dalam perencanaan sehingga harus selalu diperhatikan tegangan pada setiap titik saluran. Maka pemilihan penghantar (penampang penghantar) untuk tegangan menengah harus diperhatikan.

esarnya rugi tegangan pada saluran distribusi tersebut, diukur pada titik yang paling jauh (ujung). Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa persamaan tegangan yang mendasari diagram phasor tersebut adalah:

$$V_s = V_r + I (R \cos \theta + jX \sin \theta) \tag{2}$$

Karena $I (R \cos \theta + jX \sin \theta)$ sama dengan IZ , maka persamaan tersebut menjadi:

$$V_s = V_r + IZ \text{ atau } V_s - V_r = IZ \tag{3}$$

$$\text{Sehingga } \Delta V = IZ \tag{4}$$

$$\Delta V = I(R \cos \theta + jX \sin \theta) \tag{5}$$

Untuk panjang saluran L maka :

$$\Delta V = I \cdot L(R \cos \theta + jX \sin \theta) \quad (6)$$

Besar persentase susut tegangan pada saluran distribusi primer dapat dihitung dengan :

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% \quad (7)$$

Dengan :

ΔV	= Drop Tegangan	(Volt)
$\% \Delta V$	= Persentase Drop Tegangan	(%)
V_s	= Tegangan Sumber	(Volt)
R	= Resistansi Jaringan	(Ω/km)
jX	= Reaktansi Jaringan	(Ω/km)
I	= Arus Saluran	(A)
L	= Panjang Saluran	(km)

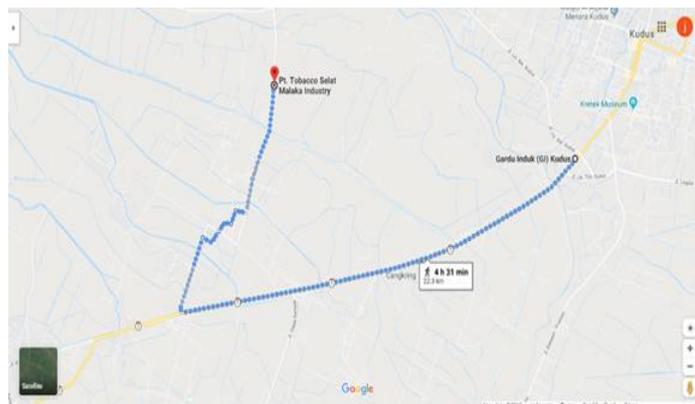
Formula pendekatan untuk menghitung drop tegangan :

$$\Delta V = I \cdot L(R \cos \theta + X \sin \theta) \quad (8)$$

2. METODE PENELITIAN

2.1. Obyek Penelitian

Jaringan tegangan menengah 20 kV feeder Kudus 03 Gardu Induk Kudus UPT Demak yang memiliki kapasitas 3 x 60 MVA . Gambar 6 memperlihatkan panjang feeder yang dimulai dari GI kudus dengan titik akhir di PT. Tobacco Selat Malaka Industri.



Gambar 6 feeder 3 Gardu Induk Kudus

2.2. Data - data Penelitian

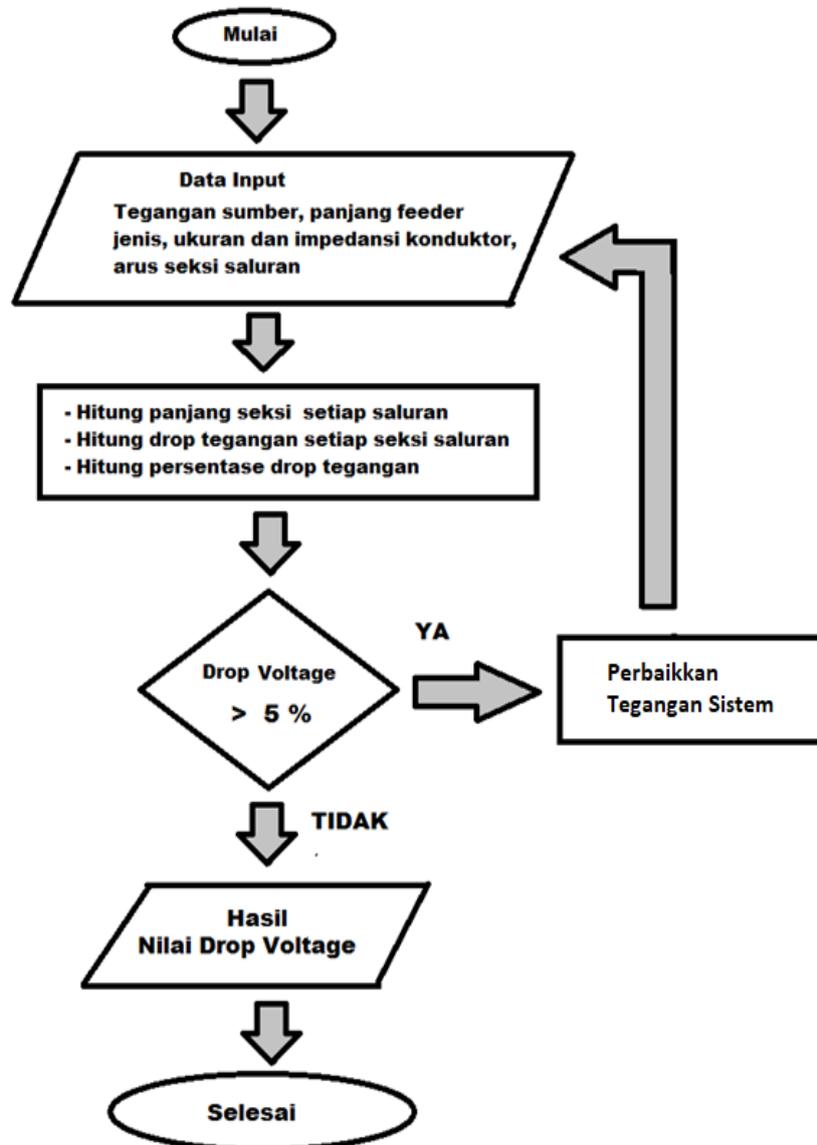
Data – data penelitian yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data spesifikasi feeder K3 meliputi panjang masing – masing seksi saluran, resistansi dan induktansi konduktor, ukuran dan jenis konduktor feeder, data arus pada masing – masing seksi saluran, dan tegangan sumber. Data – data tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 data seksi saluran , konduktor dan arus

No	Section	Arus (A)	Panjang (Kms)	Ukuran Penampang (mm ²)	Tegangan Kirim (kV)
1	GI KDS03 ke K3-45	117	2,475	3 x 240	20,9
2	GI KDS03 ke K3-49	121	2,695	3 x 240	20,9
3	GI KDS03 ke K3-89	142	4,895	3 x 240	20,9
4	GI KDS03 ke K3-139	170	7,645	3 x 240	20,9
5	GI KDS03 ke K3-165	182	9,075	3 x 240	20,9
6	GI KDS03 ke K3-210/2	278	11,660	3 x 240	20,9
7	GI KDS03 ke K3-210/23/1	323	12,870	3 x 70	20,9
8	GI KDS03 ke K3-210/92	356	16,610	3 x 70	20,9

2.3 Diagram alur Penelitian

Gambar 7 adalah alur penelitian analisa drop tegangan pada gardu induk feeder K3 yang dimulai pengukuran tegangan sumber beserta parameter-parameter terkait. Jika drop tegangan tidak sesuai dengan standar yang diinginkan maka rekonfigurasi jaringan perlu dilakukan lagi sampai pada tahap analisa drop tegangan kurang dari 5%.



Gambar 7 flowchart penelitian

3. HASIL DAN ANALISA

Untuk mengurangi drop tegangan yang tinggi pada jaringan tegangan menengah, maka tegangan di sisi Gardu Induk (pankalk feeder) dapat dinaikkan antara 0,5 – 1 kV, atau tidak melebihi batas 5% dari tegangan nominalnya [1], oleh karena pada feeder K3 Kudus tegangan nominal dinaikkan dari 20 kV menjadi 20,9 kV, atau 4,5% dari tegangan nominal 20 kV, hal ini dilakukan untuk mengurangi drop tegangan karena feeder ini memiliki jarak saluran yang cukup panjang.

Hasil perhitungan untuk kondisi tegangan ril 20,9 kV pada pangkal feeder secara lengkap diperlihatkan dalam tabel 2 yang memperlihatkan hubungan antara panjang jarak seksi saluran, tegangan disisi terima dan drop tegangan

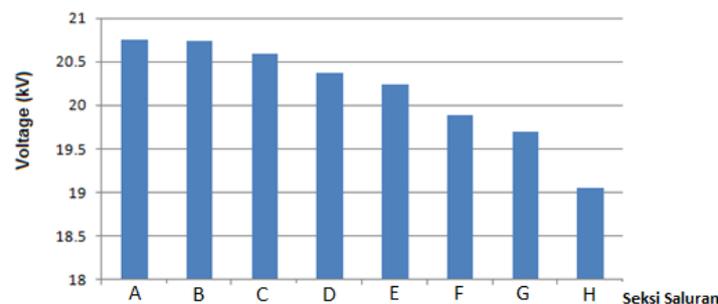
Tabel 2 Hasil perhitungan drop tegangan Kudus 03

No	Seksi Saluran	Kode	Jarak (Kms)	kV Terima (kV)	Drop Voltage ΔV (kV)	Drop voltage ΔV (%)
1	GI KDS03 ke K3-45	A	2,475	20,75	0,14	0,67
2	K3-45 ke K3-49	B	0,22	20,74	0,128	0,76
3	K3-49 ke K3-89	C	2,2	20,59	0,1507	1,48
4	K3-89 ke K3-139	D	2,75	20,37	0,225	2,4
5	K3-139 ke K3-165	E	1,43	20,24	0,073	3,14
6	K3-165 ke K3-210/2	F	2,585	19,89	0,346	4,83
7	K3-210/2 ke K3-210/23/1	G	1,21	19,7	0,19	5,7
8	K3-210/23/1 ke K3-210/92	H	3,75	19,06	0,643	8,82

Berdasarkan hasil perhitungan terlihat bahwa drop tegangan mencapai 8,82%, artinya drop tegangan ini telah melampaui batas diatas 5%, namun jika merujuk pada batas drop tegangan yang diizinkan yaitu 5% dari tegangan nominal 20 kV atau batas tegangan yang diizinkan tidak melebihi 19 kV. Jadi maka drop tegangan diujung feeder tersebut adalah :

$$\Delta V = \frac{20 - 19,060}{20} \times 100\% = 4,7\%$$

Drop tegangan tersebut masih dibawah batas yang diizinkan, namun demikian keadaannya sudah sangat kritis, sehingga tidak lagi memungkinkan untuk penambahan beban di feeder tersebut. Untuk mengurangi drop tegangan maka solusi yang dapat dilakukan adalah melalui pelimpahan sebagian beban di feeder tersebut ke feeder lain yang masih relatif rendah pembebanannya. Namun jika tidak memungkinkan dapat dilakukan dengan rekonfigurasi jaringan, atau pemasangan kapasitor bank pada sejumlah gardu distribusi yang memiliki beban – beban relatif tinggi untuk mengurangi kebutuhan daya reaktif sehingga dapat memperbaiki profil tegangan kerja sistem.



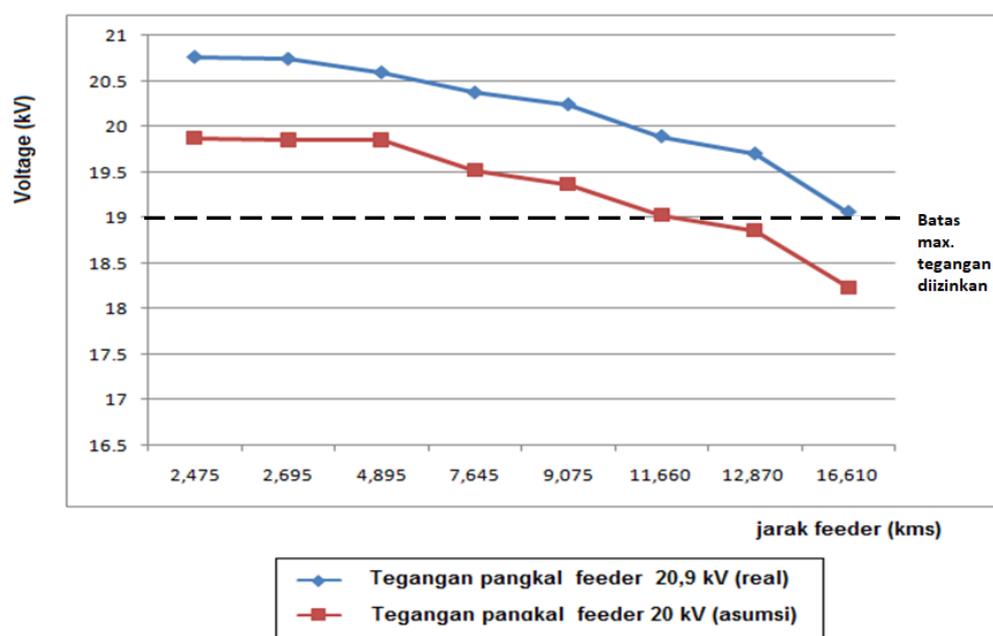
Gambar 8 grafik jarak feeder dari GI terhadap tegangan

Gambar 8 adalah grafik hubungan antara drop tegangan terhadap masing – masing seksi saluran feeder. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan bahwa drop tegangan diujung feeder yang memiliki panjang total 16,62 km tersebut mencapai 8,82% dengan tegangan di ujung feeder 19,06 kV.

Selanjutnya disimulasikan perhitungan drop tegangan jika diasumsikan bahwa sisi tegangan pangkal feeder adalah 20 kV dengan tujuan sebagai pembandingan dengan tegangan sumber secara real yaitu 20,9 kV. Hasil – hasil perhitungan drop tegangan ini diperlihatkan dalam tabel 3.

Tabel 3 hasil perhitungan tegangan pada seksi saluran dengan asumsi tegangan GI adalah 20 kV

No	Section	Jarak (Kms)	kV Terima (kV)	Drop Voltage ΔV (kV)	Drop voltage ΔV (%)
1	GI KDS03 ke K3-45	2,475	19,87	0,134	0,67
2	K3-45 ke K3-49	0,22	19,85	0,152	0,76
3	K3-49 ke K3-89	2,2	19,85	0,296	1,48
4	K3-89 ke K3-139	2,75	19,52	0,48	2,4
5	K3-139 ke K3-165	1,43	19,37	0,628	3,14
6	K3-165 ke K3-210/2	2,585	19,03	0,966	4,83
7	K3-210/2 ke K3-210/23/1	1,21	18,86	1,14	5,7
8	K3-210/23/1 ke K3-210/92	3,75	18,24	1,764	8,82



Gambar 9 Grafik perbandingan tegangan vs jarak *feeder* dari GI antara tegangan real GI 20,9 kV dan tegangan asumsi 20 kV

Berdasarkan hasil perhitungan untuk tegangan pangkal 20 kV, drop tegangan pada ujung feeder adalah 8,82%, atau 1,764 kV, dengan demikian tegangan system di ujung feeder adalah 18,24 kV, kondisi ini jelas sudah berada pada batas tegangan yang tidak diizinkan karena telah melampaui batas 5% dari tegangan 20kV. Gambar 9 memperlihatkan perbandingan terjadinya drop tegangan sisten antara tegangan pangkal feeder 20,9 kV (kondisi ril) dan tegangan pangkal 20 kV (kondisi asumsi). Berdasarkan grafik tersebut terlihat jelas untuk tegangan pangkal ril 20,9 kV, tegangan diujung feeder masih bisa diizinkan, namun dalam kondisi kritis, sedangkan pada tegangan pangkal 20 kV, tegangan diujung feeder sudah tidak layak lagi, karena telah melampaui batas tegangan yang diizinkan.

4. KESIMPULAN

Feeder K 3 Kudus memiliki panjang 16,62 km dengan tegangan disisi sumber 20,9 kV atau 4,5% diatas tegangan nominal standard PLN 20 kV menyebabkan drop tegangan sebesar 8,88% disisi ujung feeder tersebut dengan tegangan system sebesar 19,06 kV. Merujuk pada standar PLN untuk batas drop tegangan yang diizinkan 5% dari tegangan nominal 20kV atau batas tegangan maksimum diizinkan 19 kV, maka dapat disimpulkan bahwa tegangan

diujung feeder masih dapat diizinkan namun dalam keadaan kondisi sangat kritis. Dengan kondisi ini berarti feeder K3 GI Kudus tidak dapat lagi dilakukan penambahan beban – beban baru. Solusi yang dapat dilakukan adalah dengan memperbaiki tegangan system yaitu dengan cara menurunkan drop tegangan melalui beberapa metode seperti pelimpahan sebagian beban, pemasangan kapasitor bank di gardu – gardu distribusi, rekonfigurasi jaringan, atau pergantian ukuran konduktor feeder tersebut, namun diperlukan kajian yang mendalam untuk memilih metode yang efektif dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. PLN Persero, Peraturan SPLN No.72 Tahun 1987
- [2] PT. PLN Persero, Peraturan SPLN No.1 Tahun 1995
- [3] Amrina Yusra , Muliadi , Syukri, “ Analisa Jatuh Tegangan dan *Losses* Pada Sistem Distribusi 20 kV Penyulang Simpang Rima, “ Aceh Journal of Electrical Engineering and Technology, Vol. 2 , No. 2, Desember 2022 , ISSN : 2827-9700 .
- [4] Suprianto , “ Analisa Tegangan Jatuh Pada Jaringan Distribusi 20 kV PT.PLN Area Rantau Prapat Rayon Aek Kota Batu, “ *Journal of Electrical Technology, Vol. 3, No. 2, Juni 2018* , eISSN : 2598 – 1099, ISSN : 2502 – 3624 (drop tegangan diatas batas diizinkan 10%) baik saat LWBP dan WBP)
- [5] Sepannur Bandri1, *Rafika Andari2, & Fithia Ezra Mustika , “ Analisis Perbaikkan Drop Tegangan Melalui Perubahan Pola Operasi Pada Penyulang Koto Tingga “, Jurnal Radial, Vol 9, No.2, hal.221-233, Desember 2021, ISSN: 2337-4101, E-ISSN : 2686-553X.
- [6] Agusutrisno Agusutrisno A,1, Wahyu Prabowo B, dkk, “ Study Of Analysis And Repair Of Drop Voltage With Load Breaking Method At CD 125 PT. PLN UP3 Bintaro”, Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi Vol 17 No 01 (2021) hal.78–81.
- [7] Hermanto, Dian Yayan Sukma1, Feranita, “ Perbaikkan Jatuh Tegangan pada *Feeder* Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 kV Teluk Kuantan”, Jom FTEKNIK Volume 4 No. 1 Februari 2017.
- [8] Gusti Ayu Chandra Try Buana, Trisna Wati, “Perbaikkan Jatuh Tegangan dengan Pemasangan Kapasitor di Gardu Induk Waru “, Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro, Informasi, dan Teknik Informatik (SNESTIK II), 26 Maret 2022, ISSN 2775-5126
- [9] I Nyoman Cita Artawa, I Wayan Sukerayasa, Ida Ayu Dwi Giriantari, “ Analisa Pengaruh Pemasangan *Distributed Generation* Terhadap Profil Tegangan Pada Penyulang Abang Karangasem “, Teknologi Elektro, Vol. 16, No. 3, September - Desember 2017 p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372
- [10] Restu Mukti Utomo1, Nur Rani Alham , dkk. “ Studi Tentang Perbaikkan Jatuh Tegangan Di Tiang Ujung Jaringan Tegangan Rendah Pada PT.PLN UP3 Area Samarinda “, JTE UNIBA, Vol. 6, No. 2, April 2022 , E/P-ISSN: 2549-0842/2528 – 6498
- [11] Nurainun Septiani , Sarma Thaha 2, Naely Muchtar , “Analisis Drop Tegangan Pada Jaringan Tegangan Rendah PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP)

Panakkukang”, Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2021 Makassar, 21 September 2021.

[12] Bambang Winardi , “ Perbaiki Jatuh Tegangan Dengan Reposisi Trafo Untuk Sambungan Rumah Pelanggan, “ Transmisi No. 20, (4), Oktober 2018, P-ISSN 1411-0814 E-ISSN 2407-6422.

[13] Agung Nugroho, Eko Setiawan , “ Analisa Perbaiki Losses dan Jatuh Tegangan Pada Jaringan Sambungan Rumah Tidak Standar Dengan Simulasi Software Etap 7.5.0”, Transmisi, No. 17, (3), 2015, E-ISSN 2407–6422, 142.

[14] Heri Darmawan, Rudi Kurnianto, dkk , “ Analisis Sistem Jaringan Tegangan Menengah 20 kV di Kawasan Industri Kelapa Sawit PT. Bumitama Gunajaya Agro”, Jurnal Darma Agung, Vol. 30, No. 3, (2022) Desember : 414 – 429.