

Perbaikan Jatuh Tegangan dengan Upgrading Konduktor pada Feeder PWI 03 GI 150/20 KV

Robby Choirul Huda, Muhammad Haddin, dan Gunawan

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang

Correspondence Author: Robbych@std.unissula.ac.id

Abstract

Bertambah tingginya tingkat konsumsi masyarakat terhadap energi listrik akan menyebabkan adanya penambahan distribusi energi listrik, terutama yang berlokasi pada feeder PWI 03 Purwodadi. Umumnya mayoritas beban bersifat induktif, menyebabkan kebutuhan daya reaktif induktif meningkat yang menyebabkan meluasnya jaringan beban pada jaringan listrik tersebut. Penelitian ini membahas tentang evaluasi perbaikan jatuh tegangan dengan upgrading konduktor pada feeder PWI 03 GI 150/20 KV Purwodadi, data panjang penyulang PWI-03, data penghantar AAAC. Data-data yang telah di dapatkan nantinya akan dihitung untuk mengetahui drop tegangan pada feeder PWI 03 PLN ULP Purwodadi dengan aplikasi ETAP 12.6. Hasil analisis drop voltage sistem jaringan distribusi dengan menggunakan perhitungan manual didapatkan hasil jatuh tegangan terbesar yaitu sebesar 1.40 % pada feeder 52.PWI.F03.Z02.S01.SE01 masih dibawah standar IEC 60364-5-52 sebesar 5%. hasil simulasi analisis jatuh tegangan menggunakan ETAP 12.6 nilai Drop Voltage terbesar terjadi pada penyulang 52.PWI.F03.Z01.S01 mencapai 0,85 % dan didapatkan PWI.F03.Z02.S01.SE01 mengalami kondisi overload mencapai 106,2%. Hasil perbaikan jatuh tegangan pada perhitungan manual 52.PWI.F03.Z02.S01.SE01 menjadi 0.82% sehingga dengan memperbesar ukuran penghantar dapat memperbaiki nilai jatuh tegangan pada feeder karena semakin besar nilai penghantar maka nilai impedansi penghantar lebih rendah. Hasil simulasi perbaikan menggunakan ETAP 12.6 pada feeder 52.PWI.F03.Z02.S01.SE01 menjadi 0.30% dan perbaikan ini mampu memperbaiki kondisi overload pada PWI.F03.Z02.S01.SE01 dan undervoltage pada setiap bus.

Keyword: Drop Tegangan, ETAP, Feeder

1. PENDAHULUAN

Penyediaan energi listrik dilakukan oleh suatu sistem tenaga listrik yang meliputi sistem pembangkitan, sistem transmisi, dan sistem distribusi gambaran umumnya sistem tenaga listrik. Pembangkit tenaga listrik terbarukan ataupun nonterbarukan proses pembangkitan menghasilkan tenaga listrik sebesar 150 kV atau 500 kV Kemudian akan di transmisikan pada SUTT tenaga listrik akan diterima pada gardu induk untuk kemudian diturunkan tegangannya menjadi 20 kV dan akan didistribusikan ke konsumen, pada sistem distribusi terdapat transformator distribusi yang berguna untuk menurunkan tegangan 20 kV menjadi 220 dan kemudian akan sampai pada konsumen [1].

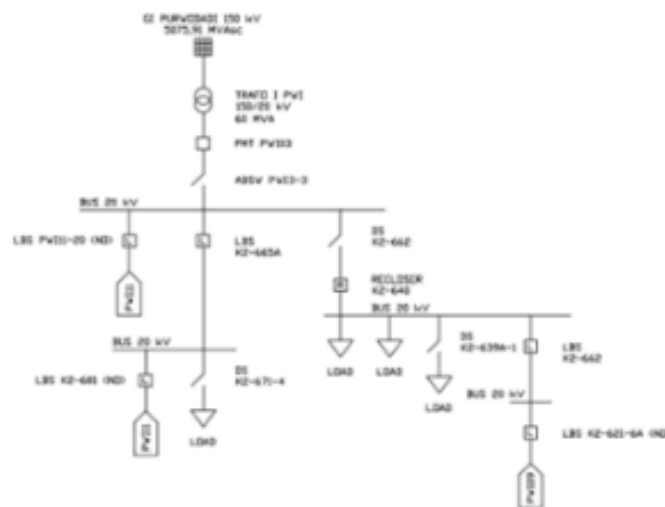
Dengan bertambah tingginya tingkat konsumsi masyarakat terhadap energi listrik akan menyebabkan adanya penambahan distribusi energi listrik, terutama yang berlokasi pada feeder PWI 03 Purwodadi yang umumnya mayoritas beban bersifat induktif, menyebabkan kebutuhan daya reaktif induktif meningkat yang menyebabkan meluasnya jaringan beban pada jaringan listrik tersebut. Energi listrik yang disalurkan harus memenuhi tuntutan yang diminta yaitu adanya kualitas dan kuantitas daya yang baik, kontinuitas pelayanan serta tegangan, faktor daya dan frekuensi sistem yang berkualitas. Tuntutan – tuntutan tersebut harus dipenuhi oleh penyedia tenaga listrik, yang dalam hal ini adalah PLN. Dalam menghadapi berbagai macam tuntutan tersebut PLN menghadapi berbagai macam kendala. Salah satu kendala yang muncul adalah adanya susut daya dan rugi – rugi daya pada saluran transmisi dan distribusi [2]. Permasalahan yang terjadi seiring meningkatnya pertumbuhan konsumen listrik di masyarakat dan penggunaannya mengakibatkan terjadinya drop tegangan. Terjadinya gangguan dan drop tegangan pada suatu sistem tenaga listrik dan membuat tidak berfungsi dengan baik atau terhenti total dapat menimbulkan kerugian yang sangat besar.

ETAP digunakan sebagai Pemodelan dalam perhitungan besarnya drop tegangan pada jaringan listrik. Hasil perhitungan drop tegangan pada software ETAP akan dibandingkan dengan hasil pengukuran tegangan secara langsung di lokasi. Evaluasi jatuh tegangan dilakukan dengan simulasi jaringan menggunakan software ETAP Power Station 12.6.0. ETAP adalah suatu software analisis yang *comprehensive* untuk mendesain dan mensimulasikan suatu sistem rangkaian tenaga. Analisis yang ditawarkan oleh ETAP yang digunakan oleh penulis adalah *drop tegangan*. ETAP juga bisa memberikan warning terhadap penyulang-penyulang yang *under voltage* dan *over voltage* sehingga pengguna bisa mengetahui penyulang mana yang tidak beroperasi optimal. Untuk

menganalisa suatu rangkaian diperlukan data rangkaian yang lengkap dan akurat sehingga hasil rangkaian yang lengkap hasil perhitungan ETAP bisa di pertanggungjawabkan.

Berdasarkan uraian tersebut maka penelitian ini membahas tentang evaluasi perbaikan jatuh tegangan dengan upgrading konduktor pada *feeder* PWI 03 GI 150/20 KV Purwodadi. dampak memperbesar luas permukaan penampang saluran distribusi dalam upaya mengurangi nilai-nilai drop tegangan yang ada. Permasalahan yang sering terjadi adalah apakah performa dari generator PLTP Unit 1 PT. Geo Dipa Energi mampu bekerja secara maksimal untuk terkoneksi dengan sistem tenaga listrik Jawa-Bali. Penyebab kinerja dari generator adalah generator yang sudah bekerja terjadi penurunan beban (*derating*), trip (unit *shutdown*), lamanya pemeliharaan, kesalahan dalam beroperasi, perawatannya dan lain sebagainya[4]. Akibat dari kinerja generator yang tidak maksimal adalah dapat membuat penurunan untuk performa dari sistem tenaga listrik Jawa-Bali. Solusi untuk permasalahan tersebut adalah perlu dilakukan kembali mengenai analisa performa dari generator tersebut.

2. METODE PENELITIAN



Gambar 1 *Single Line Diagram Feeder Purwodadi 03*

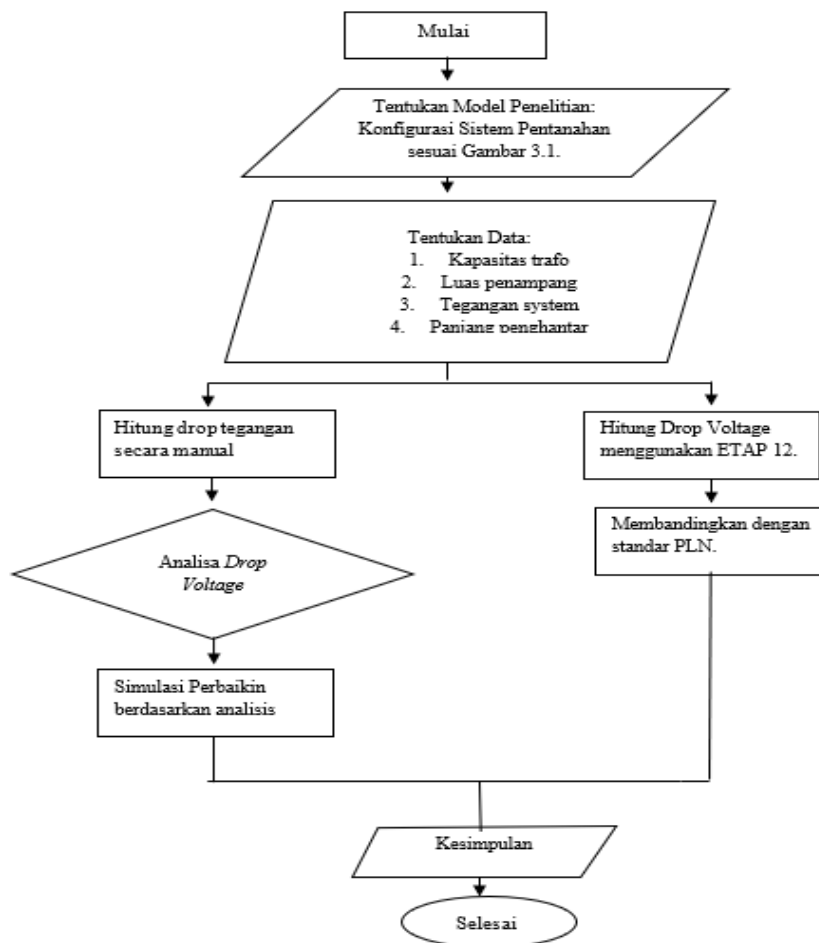
Dalam penelitian ini penulis menggunakan model penelitian kuantitatif, yaitu penelitian yang didasari dengan teori menuju data. Adapun teknik pengumpulannya yaitu dengan melakukan studi literatur dan melakukan observasi pada lapangan dengan melihat data seperti, data beban feeder PWI-03, data panjang penyulang PWI-03, data penghantar AAAC. Data-data yang telah di dapatkan nantinya akan dihitung untuk mengetahui drop tegangan pada feeder PWI 03 PLN ULP Purwodadi dengan aplikasi ETAP 12.6. Untuk pemodelan pada ETAP 12.6 mengacu *single line diagram* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.

2.2. RANCANGAN PENELITIAN

Tahap persiapan ini merupakan tahapan paling awal didalam penelitian. Di tahap persiapan ini peneliti menentukan topik yang akan di bahas di dalam penelitian dan juga menentukan obyek yang akan diteliti. Topik penelitian di dapat dengan cara membaca referensi-referensi baik berasal dari jurnal, buku, artikel, maupun penelitian-penelitian terdahulu. Referensi-referensi tersebut akan dijadikan sebagai tolak ukur dan juga acuan peneliti pada saat menyusun laporan.

Pada penelitian ini membutuhkan data sekunder dari obyek penelitian yang akan diambil, di dalam tahap persiapan ini peneliti juga melakukan survey ke lokasi yang sebelumnya sudah ditentukan sebagai objek penelitian serta mengurus perizinan penelitian. Untuk menunjang keberhasilan penelitian, persiapan alat dan bahan sudah di siapkan sejak awal di tahap persiapan ini. Alat dan bahan yang disiapkan baik laptop untuk melakukan penulisan laporan maupun perhitungan, software ETAP 12.6.0 untuk simulasi, dan lain-lain.

Setelah mendapatkan topik penelitian dan juga persetujuan dari obyek penelitian, peneliti akan melakukan identifikasi masalah mengenai topik yang akan diteliti dan merumuskannya ke dalam rumusan masalah. Identifikasi masalah tersebut akan dijabarkan dan disusun seperti ditunjukkan pada gambar 2.



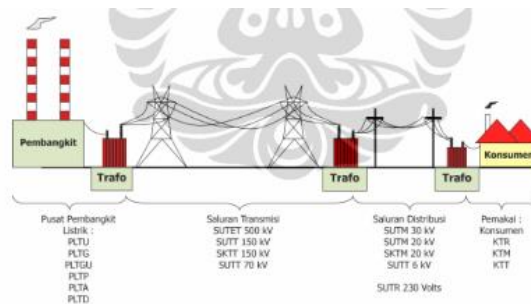
Gambar 2 Alur Penelitian

Penelitian tentang *upgrading* konduktor pada *feeder* penyulang tomat Gardu Induk Sumatra utara. Setelah dilakukan penggantian konduktor yang luas penampangnya 35mm², 75mm², 150mm² diganti dengan yang luas penampangnya 240mm². Lalu dilakukan simulasi dengan menggunakan aplikasi ETAP 12.6.0 didapatkan data berupa nilai tegangan pada masing-masing bus di sepanjang penyulang tomat. Dan hasil tegangan yang didapatkan pada bus ujung penyulang adalah sebesar 17,132 kV atau jatuh tegangan pada ujung penyulang sebesar 14,34% yang artinya nilai tegangan terimanya pada penyulang tomat masih berada di bawah standar yang ditetapkan melalui SPLN : 72 pasal 19 ayat 1 yaitu sebesar 5% untuk JTM dengan konfigurasi radial.

Jika dibandingkan dengan nilai jatuh tegangan pada kondisi awal jaringan, nilai jatuh tegangan dengan mengganti konduktor menjadi luas penampangnya yang lebih besar pada penyulang tomat mengalami penurunan yang tadinya nilai tegangan pada ujung penyulang sebesar 16,397 kV atau jatuh tegangannya 18,015% menjadi 17,842 kV atau jatuh tegangannya 10,79% yang artinya penurunan nilai jatuh tegangan pada penyulang tomat sebesar 7,225%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengganti konduktor pada penyulang tomat dengan konduktor yang luas penampangnya lebih besar akan menurunkan nilai jatuh tegangannya karena semakin besar luas penampang konduktor maka akan semakin kecil pula nilai resistansinya. Sehingga nilai tegangan pada bus sepanjang penyulang akan dapat diperbaiki [4].

2.3. Sistem Tenaga Listrik

Secara umum sistem tenaga listrik dapat dikatakan terdiri dari tiga bagian utama, yaitu: pembangkit tenaga listrik, penyaluran tenaga listrik dan distribusi tenaga listrik.



Gambar 3 Diagram satu garis sistem tenaga listrik

Sistem tenaga listrik merupakan sistem yang kompleks yang terdiri dari pusat pembangkit, saluran transmisi dan jaringan distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari pusat pembangkit ke pusat beban. Untuk memenuhi tujuan operasi sistem tenaga listrik, ketiga bagian yaitu pembangkit, penyaluran dan distribusi tersebut satu dengan yang lainnya tidak dapat dipisahkan seperti terlihat pada Gambar 3.

Energi listrik dibangkitkan oleh pembangkit tenaga listrik, disalurkan melalui saluran transmisi dan kemudian didistribusikan ke beban. Sistem tenaga listrik sering pula hanya disebut dengan sistem tenaga, bahkan kadangkala cukup hanya dengan sistem [3].

A. GI 150/20 KV Single Line Diagram (SLD)

Gardu induk memegang peranan penting dalam sistem distribusi tenaga listrik. Gardu induk berperan dalam menerima dan menyalurkan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan beban [4]. Untuk melakukan transmisi tenaga listrik dari suatu pembangkit digunakan tegangan 150kV atau tegangan ekstra tinggi 500kV lalu diturunkan menggunakan trafo step down yang terdapat pada gardu induk distribusi primer menjadi tegangan 20kV [5].

B. Daya

Pada sistem tenaga listrik terdapat perbedaan antara daya atau kekuatan (*power*) dan energi; energi adalah daya dikalikan waktu sedangkan daya listrik merupakan hasil perkalian tegangan dan arusnya, dengan satuan daya listrik yaitu watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu [Joule/s]. [3]. Daya listrik [P] yang dihasilkan oleh arus listrik [i] pada tegangan [v] dinyatakan dengan persamaan (1).

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

dengan: P = daya (watt)

V = tegangan(V)

I = arus(ampere)

a. Daya Aktif (P)

Daya aktif (Active Power) disebut juga daya nyata yaitu daya yang dibutuhkan oleh beban. Berikut ini merupakan persamaan daya aktif yang diperlihatkan pada persamaan (2) dan (3).

$$P = V \cdot I \cdot \cos \theta \quad (1 \text{ phasa}) \quad (2)$$

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \theta \quad (3 \text{ phasa}) \quad (3)$$

b. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah daya yang timbul akibat adanya efek induksi elektromagnetik oleh beban yang mempunyai nilai induktif (fase arus tertinggal/lagging atau kapasitif (fase arus mendahului/leading) [3]. Berikut ini merupakan persamaan daya reaktif diperlihatkan pada persamaan (4) dan (5).

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \theta \quad (1 \text{ phasa}) \quad (4)$$

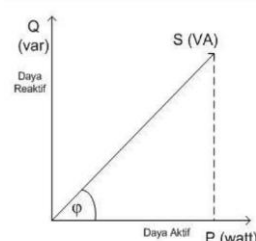
$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \theta \quad (3 \text{ phasa}) \quad (5)$$

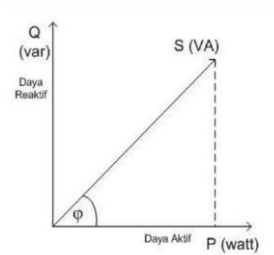
c. Daya Semu (S)

Pada beban impedansi (Z), daya semu adalah daya yang terukur atau terbaca pada alat ukur. Daya semu adalah penjumlahan daya aktif dan daya reaktif secara vektoris. Berikut persamaan dari daya semu diperlihatkan pada persamaan (6).

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (6)$$

Hubungan dari ketiga daya diatas (P, Q, S) disebut segitiga daya. Seeperti terlihat pada Gambar 4





Gambar 4 Segitiga Daya

Berikut ini memperlihatkan bahwa semakin besar nilai daya reaktif (Q) akan meningkatkan sudut antara daya nyata dan daya semu atau biasa disebut *power factor* $\cos\phi$. Sehingga daya yang terbaca pada alat ukur (S) lebih besar daripada daya yang sesungguhnya dibutuhkan oleh beban (P) [6].

$$Q = S \cdot \sin\phi \quad (7)$$

Dengan, $S = V \cdot I$

$$P = S \cdot \cos\phi$$

2.4. Penghantar

Penghantar yaitu suatu media yang berfungsi untuk menyalurkan arus listrik dari satu titik ke titik yang lain. Penghantar ini adalah bahan konduktor yang biasanya terbuat dari aluminium atau tembaga. Penghantar yang digunakan dapat berupa kawat berisolasi atau kabel. Ada juga penghantar tanpa isolasi seperti BC (*Bare Conductor*) penghantar berlubang (*Hollow Conductor*), ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*), AAC (*All Aluminium Conductor*), AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*), A3CS (*All Aluminium Alloy Conductor Solution*), dan ACAR (*Aluminium Conductor Alloy Reinforced*) [7].

2.5. Drop tegangan

Drop tegangan merupakan sebuah penyimpangan *voltase* terhadap *voltase supply* akibat adanya berbagai penyebab penyimpangan tersebut berupa *voltase* yang lebih rendah dari *voltase* yang seharusnya saat arus melalui sebuah konduktor maupun melalui sebuah rangkaian. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batasbatas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti. Drop tegangan merupakan selisih antara tegangan kirim dengan tegangan terima pada jaringan distribusi. Tegangan jatuh disebabkan oleh beberapa faktor yaitu arus, impedansi saluran dan jarak [8].

Drop tegangan V pada penghantar semakin besar jika arus I di dalam penghantar semakin besar dan jika tahanan penghantar Rl semakin besar pula. Drop tegangan merupakan penanggung jawab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Akibatnya hingga berada di bawah tegangan nominal yang dibutuhkan. Atas dasar hal tersebut maka *drop voltage* yang diizinkan untuk instalasi arus kuat hingga 1.000 V yang ditetapkan dalam persen dari tegangan kerjanya [9].

Sesuai dengan standar tegangan yang ditentukan oleh PLN (SPLN), perancangan jaringan dibuat agar jatuh tegangan di ujung diterima 10%. Tegangan jatuh pada jaringan disebabkan adanya rugi tegangan akibat hambatan listrik (R) dan reaktansi (X). Jatuh tegangan phasor (Vd) pada suatu penghantar yang mempunyai impedansi (Z) dan membawa arus (I) Berikut persamaan

$$Vd = IZ \quad (8)$$

Dalam pembahasan ini yang dimaksudkan dengan *drop* tegangan (ΔV) adalah selisih antara tegangan kirim (V_k) dengan tegangan terima (V_T), maka didapatkan persamaan:

$$\Delta V = (V_k) - (V_T) \quad (9)$$

Karena adanya resistansi pada penghantar maka tegangan yang diterima konsumen (V_r) akan lebih kecil dari tegangan kirim (V_s), sehingga *drop* tegangan (V_{drop}) merupakan selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (*sending end*) dan tegangan pada ujung penerimaan (*receiving end*) tenaga listrik. *Drop* tegangan relatif dinamakan regulasi tegangan VR (*voltage regulation*) dan dinyatakan oleh persamaan

$$VR = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \quad (10)$$

dengan: V_s = tegangan pada pangkal pengiriman (volt) V_r = tegangan pada ujung penerimaan

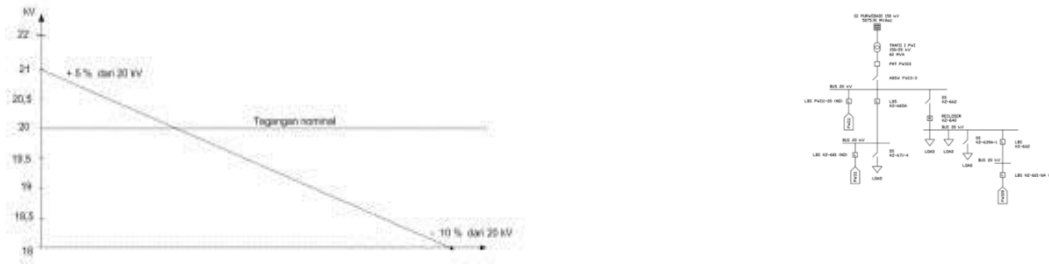
Untuk menghitung *drop* tegangan, diperhitungkan reaktansinya, maupun faktor dayanya yang tidak sama dengan satu, maka berikut ini akan diuraikan cara perhitungannya. Dalam penyederhanaan perhitungan, diasumsikan beban-bebannya merupakan beban fasa tiga yang seimbang dan faktor dayanya ($\cos\phi$) antara 0,6 s/d 0,85. Tegangan dapat dihitung berdasarkan persamaan

$$\Delta V = \sqrt{3} \times L \times I (R \cos\phi + X \sin\phi) \quad (11)$$

Besar persentase drop tegangan pada saluran distribusi primer dapat dihitung dengan persamaan

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{tu}} \times 100\% \quad (12)$$

Untuk mengetahui toleransi batas drop tegangan yang diizinkan dapat dilihat dari grafik batas toleransi seperti pada Gambar 5.



Gambar 5 Toleransi Tegangan Pelayanan yang diizinkan

Apabila terjadi perbedaan nilai tegangan 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 [10].

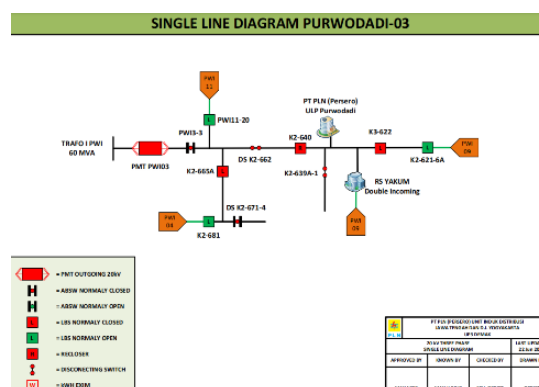
3.4. Metode Perbaikan Kualitas Daya Listrik

Ukuran penampang hantaran berpengaruh terhadap besar kecilnya nilai jatuh tegangan maupun rugi daya yang terjadi. Oleh karena itu dalam perencanaan saluran distribusi harus diperhitungkan besar-kecilnya penampang hantaran yang akan dipasang, dan harus disesuaikan dengan pembebanan program jangka panjang. Memperbesar penampang penghantar saluran berarti mengurangi besar nilai impedansi saluran tersebut. Sehingga untuk beban yang sama pada masing-masing fasa, nilai susut tegangannya akan menjadi semakin kecil. Untuk mengurangi rugi tegangan yang ditimbulkan oleh resistansi penghantar, perlu diperhatikan dalam pemilihan jenis penghantar sebagai penyalur tenaga listrik. Untuk pemilihan penghantar yang akan digunakan pada saluran transmisi maupun distribusi harus memperhatikan beberapa faktor antara lain :

- a. Daya hantar dari penghantar.
- b. Besar/penampang penghantar.
- c. Resistansi penghantar per satuan panjang.
- d. Kuat Tarik
- e. Ekonomis [11].

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembebanan pada tiap transformator seperti yang diperlihatkan Gambar 3 kemudian melakukan simulasi drop tegangan di ETAP seperti ditunjukkan Gambar 4. Berikut ini Gambar 6. Penyulang PWI-03 pada GI Purwodadi:



Gambar 6 Single Line Diagram PWI-03

Data Beban Feeder PWI-03

Tabel 1 Data Beban Feeder PWI-03

No.	Lokasi	No. Pole	Fasa	Tegangan (V)	Beban (A)
-----	--------	----------	------	--------------	-----------

1.	MT Haryono	K2-5/5	3	20000	38,16
2.	Jl. Sopyono	K2-643A/L	3	20000	56
3.	Purwodadi	K2-623	3	20000	49,73
4.	Jl. J Sudirman	K2-619	3	20000	20,73
5.	Glugu	K2-639A/16	3	20000	69,83
6.	Nganggil	K2-639A/27/14	3	20000	17,6
7.	Nganggil	K2-639A/27/5	3	20000	34,2
8.	Kedungrejo	K2-639A/77	3	20000	20,4
9.	Karang Asem	K2-639A/35A/H	3	20000	26,1
10.	Karang Asem	K2-639A/35K	3	20000	56,83

Data Panjang Penyulang PWI-03

Tabel 2 Data Panjang Penyulang PWI-03

No.	Feeder	Section	Panjang (kms)	Jenis Penghantar	Ukuran (mm ²)
1.	PWI-03	52.PWI.F03.Z01.S02.SE01.SE02	2,144	AAAC	70
2.	PWI-03	52.PWI.F03.Z01.S02	1,815	AAAC	240
3.	PWI-03	52.PWI.F03.Z01.S01	0,140	AAAC	240
4.	PWI-03	52.PWI.F03.Z02.S02	1,815	AAAC	240
5.	PWI-03	52.PWI.F03.Z02.S01	3,134	AAAC	240
6.	PWI-03	52.PWI.F03.Z01.S02.SE01	1,924	AAAC	70
7.	PWI-03	52.PWI.F03.Z01.S03	1,705	AAAC	240
8.	PWI-03	52.PWI.F03.Z02.S01.SE01	2,144	AAAC	70

Detail Kode pada *feeder* sebagai berikut :

F = Feeder

Z = Zona

S = Section

4.1. Perhitungan Drop Voltage

Pengolahan data dilakukan dengan melakukan secara manual dan menggunakan ETAP 12.6:

Analisis Drop Tegangan secara manual

Perhitungan *drop voltage* menggunakan persamaan (11)

Untuk saluran 3 fasa :

$$\Delta V = \sqrt{3} \times L \times I (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (11)$$

Keterangan :

ΔV = Drop Voltage (V)

I = Arus Saluran (A)

R = Resistansi Saluran (Ω)

X = Reaktansi Saluran (Ω)

Nilai Impedansi saluran 3 fasa:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Keterangan :

Z = Impedansi Saluran (Ω)

R = Resistansi Saluran (Ω)

X = Reaktansi Saluran (Ω)

Dengan :

$$\cos \theta = R/Z$$

$$\sin \theta = X/Z$$

Penyulang PWI-03 menggunakan konduktor jenis AAAC dengan diameter 240 mm² dan 70 mm², dengan spesifikasi menurut SPLN 64: 1985 pada Tabel 3.

Tabel 3 Spesifikasi Penghantar AAAC

Luas Penampang (mm ²)	Jari-jari (mm)	Urut	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (ohm/km)	Impedansi urutan Nol (ohm/km)
16	2,2563	7	1,6380	2,0161 + j0,4036	2,1641 + j1,6911
25	2,8203	7	2,0475	1,2903 + j0,3895	1,4384 + j1,6770
35	3,3371	7	2,4227	0,9217 + j0,3790	1,0697 + j1,6665

50	3,9886	7	2,8957	$0,6452 + j0,3687$	$0,7932 + j1,6553$
70	4,7193	7	3,4262	$0,4608 + j0,3572$	$0,6088 + j1,6447$
95	5,4979	19	4,1674	$0,3096 + j0,3449$	$0,4876 + j1,6324$
120	6,1791	19	4,6837	$0,2688 + j0,3376$	$0,4168 + j1,6324$
150	6,9084	19	5,2365	$0,2162 + j0,3305$	$0,3631 + j1,6180$
185	7,6722	19	5,8155	$0,1744 + j0,3239$	$0,3224 + j1,6114$
240	8,7386	19	6,6238	$0,1344 + j0,3158$	$0,2824 + j1,6034$

Pada *feeder* PWI-03 menggunakan penghantar AAAC dengan diameter 240 mm² dan 70 mm², sehingga Drop Voltage pada feeder PWI-03 sebagai berikut:

A. *Feeder* 52.PWI.F03.Z01.S01

Feeder ini menggunakan *switch* jenis ABSW (ABSW PWI3-3) dan penghantar jenis AAAC 240 mm² dengan panjang saluran 0,14 kms, sehingga *Drop Voltage* pada saluran ini sebagai berikut:

$$R = 0,1344 \text{ (ohm/km)} \times 0,14 \text{ km} = 0,018 \text{ ohm}$$

$$X = 0,3158 \text{ (ohm/km)} \times 0,14 \text{ km} = 0,044 \text{ ohm}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,018^2 + 0,044^2} = 0,297 \text{ ohm}$$

$$\cos \theta = R/Z = 0,018/0,297 = 0,063$$

$$\sin \theta = X/Z = 0,044/0,297 = 0,148$$

Arus yang mengalir pada penyulang ini sebesar = 389,58 A

Maka

$$\begin{aligned} \Delta V &= I (R \cos \theta + X \sin \theta) \\ &= 389,58 (0,018 \times 0,063 + 0,044 \times 0,148) \\ &= 2,97 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \Delta V &= (2,97/20000 \text{ V}) \times 100 \% \\ &= 0,014\% \end{aligned}$$

B. *Feeder* 52.PWI.F03.Z01.S02

Feeder ini menggunakan *switch* jenis *Disconnecting Switch* (K2-662) dan penghantar jenis AAAC 240 mm² dengan panjang saluran 1,815 kms, sehingga *Drop Voltage* pada saluran ini sebagai berikut:

$$R = 0,1344 \text{ (ohm/km)} \times 1,815 \text{ km} = 0,243 \text{ ohm}$$

$$X = 0,3158 \text{ (ohm/km)} \times 1,815 \text{ km} = 0,573 \text{ ohm}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,243^2 + 0,573^2} = 1,098 \text{ ohm}$$

$$\cos \theta = R/Z = 0,243/1,098 = 0,222$$

$$\sin \theta = X/Z = 0,573/1,098 = 0,521$$

Arus yang mengalir pada penyulang ini sebesar = 351,42A

Maka

$$\begin{aligned} \Delta V &= I (R \cos \theta + X \sin \theta) \\ &= 351,42 (0,243 \times 0,222 + 0,573 \times 0,521) \\ &= 123,86 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \Delta V &= (123,86/20000 \text{ V}) \times 100 \% \\ &= 0,61\% \end{aligned}$$

C. *Feeder* 52.PWI.F03.Z01.S02.SE01

Feeder pada Tabel 4. menggunakan *switch* jenis *Load Break Switch* (K2-665A) dan penghantar jenis AAAC 70 mm² dengan panjang saluran 1,924 kms sehingga *Drop Voltage* pada saluran ini sebagai berikut:

$$R = 0,4608 \text{ (ohm/km)} \times 1,924 \text{ km} = 0,886 \text{ ohm}$$

$$X = 0,3572 \text{ (ohm/km)} \times 1,924 \text{ km} = 0,687 \text{ ohm}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,886^2 + 0,687^2} = 1,121 \text{ ohm}$$

$$\cos \theta = R/Z = 0,886/1,121 = 0,790$$

$$\sin \theta = X/Z = 0,687/1,121 = 0,612$$

Arus yang mengalir pada penyulang ini sebesar = 38,16A

Maka

$$\begin{aligned} \Delta V &= I (R \cos \theta + X \sin \theta) \\ &= 38,16 (0,886 \times 0,790 + 0,687 \times 0,612) \\ &= 42,75 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \Delta V &= (42,75/20000 \text{ V}) \times 100 \% \\ &= 0,21 \% \end{aligned}$$

Tabel 4 Hasil perhitungan manual *drop voltage* pada *Feeder* PWI 03.

No.	Section	Arus	Drop	% Drop
-----	---------	------	------	--------

		(A)	Voltage (V In)	Voltage
1.	52.PWI.F03.Z01.S02.SE01.SE02	38,16	47,62	0,23%
2.	52.PWI.F03.Z01.S02	351,42	123,86	0,61%
3.	52.PWI.F03.Z01.S01	389,58	2,978	0,014%
4.	52.PWI.F03.Z02.S01.SE01	224,96	280,72	1,40%
5.	52.PWI.F03.Z02.S01	20,73	16,29	0,08%
6.	52.PWI.F03.Z01.S02.SE01	38,16	42,75	0,21%
7.	52.PWI.F03.Z01.S03	295,42	94,96	0,47%

D. *Feeder* 52.F03.Z01.S02.SE01.SE02

Feeder ini menggunakan switch jenis *Disconnecting Switch* (K2-671-4) dan penghantar jenis AAAC 70 mm² dengan panjang saluran 2,144 kms, sehingga *Drop Voltage* pada saluran ini sebagai berikut:

$$R = 0,4608 \text{ (ohm/km)} \times 2,144 \text{ km} = 0,987 \text{ ohm}$$

$$X = 0,3572 \text{ (ohm/km)} \times 2,144 \text{ km} = 0,765 \text{ ohm}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,987^2 + 0,765^2} = 1,250 \text{ ohm}$$

$$\cos \theta = R/Z = 0,987/1,250 = 0,790$$

$$\sin \theta = X/Z = 0,765/1,250 = 0,612$$

Arus yang mengalir pada penyulang ini sebesar = 38,16A

Maka

$$\Delta V = I (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

$$= 38,16 (0,987 \times 0,790 + 0,765 \times 0,612)$$

$$= 47,62 \text{ A}$$

$$\% \Delta V = (47,62/20000 \text{ V}) \times 100 \%$$

$$= 0,23\%$$

E. *Feeder* 52.PWI.F03.Z01.S03

Feeder ini menggunakan switch jenis *Recloser* (K2-640) dan penghantar jenis AAAC 240 mm² dengan panjang saluran 1,705 kms, sehingga *Drop Voltage* pada saluran ini sebagai berikut:

$$R = 0,1344 \text{ (ohm/km)} \times 1,705 \text{ km} = 0,229 \text{ ohm}$$

$$X = 0,3158 \text{ (ohm/km)} \times 1,705 \text{ km} = 0,538 \text{ ohm}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,229^2 + 0,538^2} = 1,062 \text{ ohm}$$

$$\cos \theta = R/Z = 0,229/1,062 = 0,215$$

$$\sin \theta = X/Z = 0,538/1,062 = 0,506$$

Arus yang mengalir pada penyulang ini sebesar = 295,42A

Maka

$$\Delta V = I (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

$$= 295,42 (0,229 \times 0,215 + 0,538 \times 0,506)$$

$$= 94,96 \text{ V}$$

$$\% \Delta V = (94,96/20000 \text{ V}) \times 100 \%$$

$$= 0,47 \%$$

F. *Feeder* PWI.F03.Z02.S01

Feeder ini menggunakan switch jenis *Load Break Switch* (K2-662) dan penghantar jenis AAAC 240 mm² dengan panjang saluran 3,134 kms, sehingga *Drop Voltage* pada saluran ini sebagai berikut:

$$R = 0,1344 \text{ (ohm/km)} \times 3,134 \text{ km} = 0,421 \text{ ohm}$$

$$X = 0,3158 \text{ (ohm/km)} \times 3,134 \text{ km} = 0,989 \text{ ohm}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,421^2 + 0,989^2} = 1,468 \text{ ohm}$$

$$\cos \theta = R/Z = 0,421/1,468 = 0,286$$

$$\sin \theta = X/Z = 0,989/1,468 = 0,673$$

Arus yang mengalir pada penyulang ini sebesar = 20,73A

Maka

$$\Delta V = I (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

$$= 20,73 (0,987 \times 0,790 + 0,765 \times 0,612)$$

$$= 16,29 \text{ V}$$

$$\% \Delta V = (16,29/20000 \text{ V}) \times 100 \%$$

$$= 0,08\%$$

G. *Feeder* PWI.F03.Z02.S01.SE01

Feeder ini menggunakan *switch* jenis *Disconnecting Switch* (K2-639A-1) dan penghantar jenis AAAC 70 mm² dengan panjang saluran 2,144 kms, sehingga *Drop Voltage* pada saluran ini sebagai berikut:

$$R = 0,4608 \text{ (ohm/km)} \times 2,144 \text{ km} = 0,987 \text{ ohm}$$

$$X = 0,3572 \text{ (ohm/km)} \times 2,144 \text{ km} = 0,765 \text{ ohm}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,987^2 + 0,765^2} = 1,250 \text{ ohm}$$

$$\cos \theta = R/Z = 0,987/1,250 = 0,790$$

$$\sin \theta = X/Z = 0,765/1,250 = 0,612$$

Arus yang mengalir pada penyulang ini sebesar = 224,96A

Maka

$$\begin{aligned} \Delta V &= I (R \cos \theta + X \sin \theta) \\ &= 224,96 (0,987 \times 0,790 + 0,765 \times 0,612) \\ &= 280,72 \text{ V} \end{aligned}$$

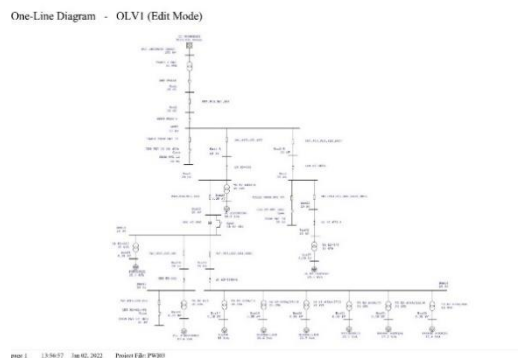
$$\begin{aligned} \% \Delta V &= (280,72/20000 \text{ V}) \times 100 \% \\ &= 1,40\% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan manual *Drop Voltage* pada *Feeder* PWI-03

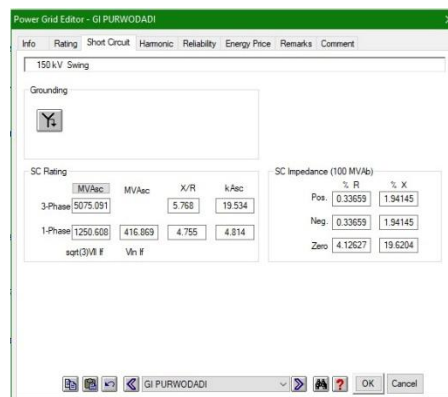
Dari perhitungan yang dilakukan *Drop Voltage* pada penyulang PWI-03 masih sesuai standar dibawah 5% sesuai IEC 60364-5-52. Nilai *Drop Voltage* terbesar terjadi pada penyulang 52.PWI.F03.Z02.S01.SE01 mencapai 1,40 %.

H. Analisa *Drop Voltage* menggunakan ETAP 12.6

Pada analisa menggunakan ETAP 12.6 penghantar jenis AAAC 70 mm² dan 240 mm² diganti menggunakan jenis Haesung/XLPE/CU/20kV/50Hz/3Core. Nilai impedansi pada penghantar jenis Haesung disesuaikan dengan jenis AAAC sesuai SPLN 64 : 1995 untuk impedansi urutan positif dan nol. Gambar 7. merupakan Single Line Diagram penyulang PWI-03.



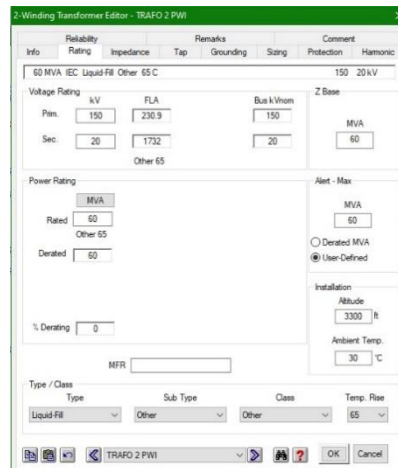
Gambar 7 Single Line Diagram PWI-03



Gambar 8 Kapasitas GI Purwodadi.

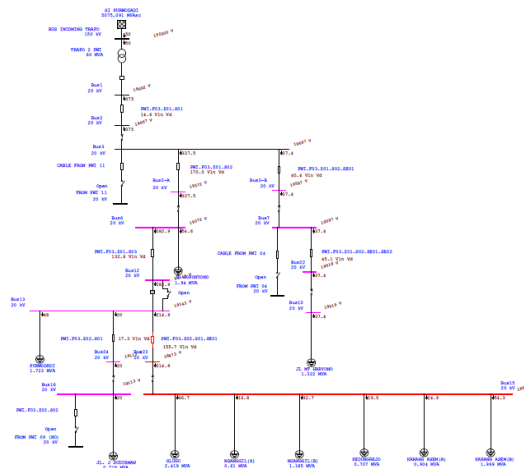
Pada simulasi ini kapasitas pada Gardu Induk Purwodadi 150 kV dapat dilihat pada Gambar 8.

Tegangan 150 kV yang masuk ke GI Purwodadi akan diturunkan menjadi tegangan menengah 20 kV menggunakan Transformator (TRAFO 2 PWI) dengan kapasitas 60 MVA. Berikut Gambar 9. merupakan rating Trafo 2 PWI.



Gambar 9 Rating Trafo 2 PWI

Untuk mengetahui nilai *Drop Voltage* pada penyulang PWI-03 pada ETAP 12.6 dilakukan dengan memilih *Load Flow Analysis*. Berikut ini hasil dari simulasi menggunakan ETAP 12.6. Gambar 10.



Gambar 10 Load Flow Analysis Feeder PWI-03

Berikut ini *Drop Voltage* pada penyulang PWI-03 menggunakan ETAP 12.6. Tabel 5.

Tabel 5 Hasil simulai feeder PWI-03

No.	Section	Arus (A)	Drop Voltage (V In)	% Voltage Drop
1.	52.PWI.F03.Z01.S02.SE01.SE02	37,4	45,1	0,22%
2.	52.PWI.F03.Z01.S02	337,5	170	0,85%
3.	52.PWI.F03.Z01.S01	375	14,6	0,073%
4.	52.PWI.F03.Z02.S01.SE01	214,9	155,7	0,77%
5.	52.PWI.F03.Z02.S01	20	17,3	0,086%
6.	52.PWI.F03.Z01.S02.SE01	37,4	40,4	0,20%
7.	52.PWI.F03.Z01.S03	282,9	132,6	0,66%

Dari simulasi yang dilakukan *Drop Voltage* pada penyulang PWI-03 masih sesuai standar dibawah 5% sesuai IEC 60364-5-52. Nilai *Drop Voltage* terbesar terjadi pada penyulang 52.PWI.F03.Z01.S01 mencapai 0,85 %. Pada simulasi load flow terlihat beberapa bus dan penyulang mengalami kondisi under voltage maupun overload yang ditandai dengan bus atau penyulang berwarna merah yang berarti kondisi perangkat terukur dalam kondisi critical, mencapai batas nilai standar yang diterapkan/dijinkan. Begitu juga dengan bus atau penyulang lain yang berwarna ungu menandakan kondisi perangkat dalam kondisi marginal, belum mencapai nilai standar akan tetapi perlu dilakukan pengawasan untuk menghindari perangkat mencapai kondisi critical. Berikut ini bus dan penyulang yang mengalami kondisi critical dan marginal. Pada Gambar 11.

Gambar 11 Load Flow Alert Report

Dilihat dari gambar 11. Bus 15 dan 23 mengalami kondisi under voltage mencapai 5% dari tegangan nominal sedangkan Bus 10, 12, 13, 16, 22, 24, 3-A, 3-B, 6, dan 7 mengalami kondisi under voltage mencapai 2% dari tegangan nominal. Pada simulasi ini penyulang PWI.F03.Z02.S01.SE01 mengalami kondisi **overload** mencapai 106,2%.

I. Analisa dan upaya perbaikan *drop voltage*

a. Perbaikan Nilai *Drop Voltage* dengan melakukan Upgrading Konduktor

Pada simulasi menggunakan ETAP 12.6 feeder pada PWI-03 mengalami overload sehingga akan dilakukan perbaikan dengan mengganti ukuran penyulang dengan diameter yang lebih besar. Perbaikan dengan mengubah diameter penyulang lebih besar akan memberikan dampak mengurangi nilai drop voltage pada penyulang tersebut. Berikut ini perbandingan nilai drop voltage secara perhitungan manual dan secara simulasi menggunakan ETAP 12.6 pada tabel 6.

Tabel 6 Perbandingan Hasil Perhitungan Manual dan Simulasi Menggunakan ETAP 12.6

No.	Section	Perhitungan Manual		Simulasi Menggunakan ETAP 12.6	
		Drop Voltage (V ln)	% Drop Voltage	Drop Voltage (V ln)	% Drop Voltage
1.	52.PWI.F03.Z01.S02.SE01.SE02	47,62	0,23%	45,1	0,22%
2.	52.PWI.F03.Z01.S02	123,86	0,61%	170	0,85%
3.	52.PWI.F03.Z01.S01	2,978	0,014%	14,6	0,073%
4.	52.PWI.F03.Z02.S01.SE01	280,72	1,40%	155,7	0,77%
5.	52.PWI.F03.Z02.S01	16,29	0,08%	17,3	0,086%
6.	52.PWI.F03.Z01.S02.SE01	42,75	0,21%	40,4	0,20%
7.	52.PWI.F03.Z01.S03	94,96	0,47%	132,6	0,66%

Upgrading Konduktor dilakukan pada penyulang 52.PWI.F03.Z02.S01.SE01 dengan diameter existing 70 mm² menjadi 240 mm² dengan jenis penghantar yang sama yaitu AAAC. sehingga Drop Voltage pada saluran ini sebagai berikut:

$$R = 0,1344 \text{ (ohm/km)} \times 2,144 \text{ km} = 0,2881 \text{ ohm}$$

$$X = 0,3158 \text{ (ohm/km)} \times 2,144 \text{ km} = 0,6770 \text{ ohm}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,2881^2 + 0,6770^2} = 0,7358 \text{ ohm}$$

$$\text{Cos } \theta = R/Z = 0,2881 / 0,7358 = 0,3915$$

$$\text{Sin } \theta = X/Z = 0,6770 / 0,7358 = 0,9201$$

Arus yang mengalir pada penyulang ini sebesar = 224,96A

Maka

$$\Delta V = I (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

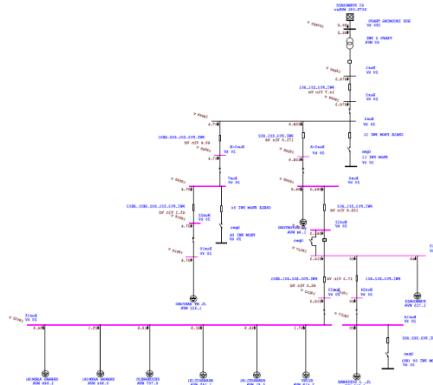
$$= 224,96 (0,2881 \times 0,3915 + 0,6770 \times 0,9201)$$

$$= 165,53 \text{ V}$$

$$\% \Delta V = (165,53 / 20000 \text{ V}) \times 100 \%$$

$$= 0,82\%$$

Setelah dilakukan upgrading konduktor pada penyulang 52.PWI.F03.Z02.S01.SE01 nilai voltage drop menjadi lebih rendah dengan kondisi awal 280,72 Vln atau 1,40% menjadi 165,53 Vln atau 0,82% dari Tegangan nominal. Hal ini membuktikan bahwa pengaruh diameter penghantar terhadap drop voltage mampu memperkecil losses dan memberikan kualitas tegangan yang lebih baik. Perbaikan ini juga dapat disimulasikan dengan ETAP 12.6, Berikut ini hasil simulasi menggunakan ETAP 12.6. pada Gambar 13



Gambar 12 Hasil simulasi setelah *Upgrading* Konduktor

Dilihat dari gambar 12, pengaruh penggantian dengan memperbesar diameter penghantar sangat signifikan memperbaiki drop voltage pada penyulang 52.PWI.F03.Z02.S01.SE01. Pada kondisi awal nilai drop voltage sebesar 155,7 Vln atau 0,77% setelah dilakukan perbaikan nilai drop voltage pada penyulang tersebut sebesar 60,3 Vln atau 0,30%. *Upgrading* konduktor ini juga mampu memperbaiki kualitas tegangan pada bus15 dan 23 dari critical menjadi marginal atau kondisi under voltage yang terjadi tidak lebih dari 5 %. Berikut ini Load Flow setelah dilakukan *upgrading* konduktor. Pada Gambar 13.

Marginal Alerts Report

Device ID	Type	Condition	Rating/Limit	Unit	Operating	% Operating	Phase Type
Bus10	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.517	97,6	3-Phase
Bus12	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.137	95,7	3-Phase
Bus13	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.137	95,7	3-Phase
Bus15	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.033	95,2	3-Phase
Bus16	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.107	95,5	3-Phase
Bus22	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.517	97,6	3-Phase
Bus23	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.033	95,2	3-Phase
Bus24	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.107	95,5	3-Phase
Bus3-A	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.349	96,8	3-Phase
Bus3-B	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.585	98,0	3-Phase
Bus6	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.349	96,8	3-Phase
Bus7	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.585	98,0	3-Phase

Gambar 13 *Load Flow Alert Report*.

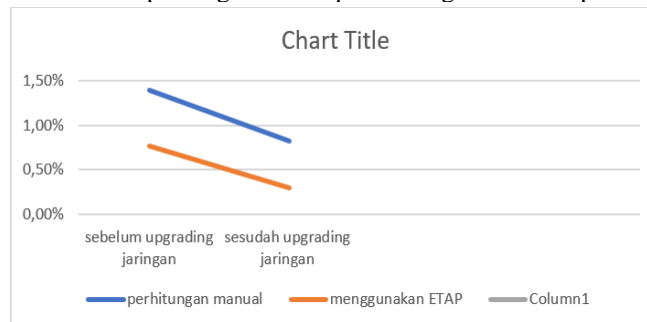
Untuk mengetahui perbandingan kondisi penyulang 52.PWI.F03.Z02.S01.SE01 secara perhitungan manual dan simulasi saat sebelum dan sesudah *upgrading* dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7 Perbandingan Hasil *Drop Voltage*

No.	Feeder	Perhitungan Manual		Simulasi Menggunakan ETAP 12.6	
		Drop Voltage (V ln)	% Drop Voltage	Drop Voltage (V ln)	% Drop Voltage
Sebelum <i>Upgrading</i>	52.PWI.F03.Z02.S01.SE01	280,72	1,40%	155,7	0,77%
Setelah <i>Upgrading</i>	52.PWI.F03.Z02.S01.SE01	165,53	0,82%	60,3	0,30%

Upgrading Konduktor dapat memperbaiki nilai drop voltage pada suatu penghantar. Hal ini dikarenakan semakin besar nilai diameter penghantar maka nilai impedansi urutan positif dan nol akan bernilai lebih rendah. Semakin rendah nilai impedansi pada penghantar akan menekan nilai drop voltage yang terjadi pada penghantar tersebut.

Berikut ini Gambar 14 merupakan grafik dari perbandingan hasil drop voltage



Gambar 14 Grafik dari perbandingan *drop voltage*

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan mengenai perbaikan nilai drop voltage pada feeder PWI-12 didapat kesimpulan sebagai berikut.

- A. Berdasarkan hasil analisis drop voltage sistem jaringan distribusi dengan menggunakan perhitungan manual didapatkan hasil jatuh tegangan terbesar yaitu sebesar 1.40 % pada feeder 52.PWI.F03.Z02.S01.SE01 masih dibawah standar IEC 60364-5-52 sebesar 5%.
- B. Berdasarkan hasil simulasi analisis jatuh tegangan menggunakan ETAP 12.6 nilai Drop Voltage terbesar terjadi pada penyulang 52.PWI.F03.Z01.S01 mencapai 0,85 % dan didapatkan PWI.F03.Z02.S01.SE01 mengalami kondisi overload mencapai 106,2%.
- C. Analisis upaya perbaikan dilakukan pada feeder 52.PWI.F03.Z01.S01 dengan memberikan diameter yang lebih besar dari kondisi saat ini dari 70 mm² menjadi 240 mm² untuk memperkecil nilai jatuh tegangan yang terjadi.
- D. Berdasarkan hasil perbaikan jatuh tegangan pada perhitungan manual 52.PWI.F03.Z02.S01.SE01 menjadi 0.82% sehingga dengan memperbesar ukuran penghantar dapat memperbaiki nilai jatuh tegangan pada feeder karena semakin besar nilai penghantar maka nilai impedansi penghantar lebih rendah.
- E. Berdasarkan hasil simulasi perbaikan menggunakan ETAP 12.6 pada feeder 52.PWI.F03.Z02.S01.SE01 menjadi 0.30% dan perbaikan ini mampu memperbaiki kondisi overload pada PWI.F03.Z02.S01.SE01 dan undervoltage pada setiap bus

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muhammad Fadli Biya Lubis, N. (2016). Analisa Alternatif Perbaikan Untuk Mengatasi Drop. *Fteknik Volume 3 No.2*Lackermair, G0eorg, Daniel Kailer, and Kenan Kanmaz. 2013. "Importance of Online Product Reviews from a Consumer's Perspective." *Advances in Economics and Business*. doi: 10.13189/aeb.2013.010101.
- [2] Pasra, N., & Ruswandi, P. P. (2016). Pelaksanaan Manajemen Pemeliharaan Gardu Distribusi. *Jurnal Sutet*, Vol 06, No 0
- [3] Yogi Priyo Istiyono. 2020. Analisa Tekno Ekonomi Pembangunan Gardu Induk 150kv Terotomasi Untuk Industri. *Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control*) Teknik Elektro – Universitas Pamulang
- [4] Saefulloh, D. (2013). Perencanaan pengembangan gardu induk untuk 10 tahun ke depan. *Teknik Elektro Universitas Diponegoro*
- [5] Syahputra, et al. (2015). *Performance Improvement of Radial Distribution Network with Distributed Generator Integration Using Extended Particle Swarm Optimization Algorithm*. *International Review of Electrical Engeneering (IREE)*, 10(2). pp. 293-304.
- [6] Nolki Jonal Hontong, M. T. (2015). Analisa Rugi – Rugi Daya Pada Jaringan. *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer* .
- [7] Sumanto, "Pengetahuan Bahan Untuk Mesin & Listrik. Yogyakarta : Andi Offset," 1994
- [8] Hajar, I., & Hasbi, M. P. (2018). Analisa Nilai Saidi Saifi Sebagai Indeks Keandalan Penyediaan. *Jurnal Ilmiah Energi dan Kelistrikan*, Vol 1, no 1.
- [9] I Ketut , T., I Wayan, S., & I Nyoman , M. (2014). Analisis Penggunaan Sistem Loop Scheme Jaringan. *Jurnal Logic*, Vol. 14. No. 2.
- [10] Isla, Y. M. (2013). Evaluasi Drop Tegangan pada Jaringan Tegangan Menengah 20 KV Feeder Bojo PT PLN (Persero) Rayon Mattirotasi. 43
- [11] Bambang Winardi, ., H. (2016). Perbaikan Losses Dan Drop Tegangan Pwi 9 Dengan Pelimpahan Beban Ke Penyulang Baru Pwi 11 Di Pt Pln (Persero) Area Semarang. *Transmisi*, 18, (2)