

Pengaruh *Distributed Generation* Terhadap Tegangan Jatuh di Jaringan Distribusi 20 kV PT. PLN Rayon Kuala Simpang

Suprianto

Program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan
suprianto@polmed.ac.id

Abstrak

Tegangan listrik merupakan salah satu faktor penentu dalam kualitas suatu sistem tenaga listrik. Tegangan lebih, tegangan kurang dan stabilitas tegangan, adalah masalah utama dalam masalah tegangan listrik, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penurunan tegangan dalam sistem distribusi tegangan menengah 20 kV di PT.PLN Rayon Kuala Simpang. Penelitian ini diharapkan menjadi acuan untuk melakukan perbaikan tegangan dan meningkatkan kualitas layanan tenaga listrik yang lebih baik. Penelitian ini dilakukan pada jaringan radial sistem distribusi utama di mana jatuh tegangan diamati pada tiga keadaan dalam sistem yaitu pada saat *Distributed Generation* terhubung dengan sistem distribusi, pada saat *Distributed Generation* tidak terhubung dengan sistem distribusi dan pada saat sebelum dan setelah pergantian kabel. Pengumpulan data dilakukan sesuai dengan data yang diperlukan dalam menganalisis penurunan tegangan dengan simulasi aliran menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6, hasil yang diperoleh kemudian divalidasi dengan membandingkan hasil simulasi dengan perhitungan manual sesuai dengan rumus yang terkait dan berlaku untuk perhitungan jatuh tegangan, dari hasil simulasi menunjukkan bahwa penurunan tegangan terbesar dan terkecil pada saat tanpa *Distributed Generation* (DG) masing-masing pada bus 87 dan bus Marlempang yaitu 97,145% dan 97,926% , nilai tersebut masih dalam batas standard untuk *under voltage* maksimum 10%. Pada saat *Distributed Generation* terhubung ke jaringan distribusi penurunan tegangan terbesar dan terkecil masing-masing pada bus 87 dan bus Marlempang yaitu 97,635% dan 98,42%. Perbaikan jatuh tegangan akibat pergantian kabel saluran distribusi dari ukuran 70 mm² menjadi ukuran 150 mm² sepanjang 2,746 km mulai dari bus 275 sampai dengan bus 207 menyebabkan jatuh tegangan maksimum dan minimum berkurang masing-masing pada bus 87 dan bus Marlempang menjadi 97,637% dan 98,422%. Pengaruh keberadaan pembangkit menyebabkan pembagian distribusi arus tidak terjadi pada satu sumber sehingga menyebabkan perhitungan nilai impedansi saluran terhadap keberadaan arus nominalnya menjadi berubah dan menyebabkan jatuh tegangan yang berkurang pada hampir seluruh bus sistem. Sedangkan pergantian kabel saluran distribusi dengan diameter yang semakin besar menyebabkan nilai impedansi saluran semakin mengecil yang mengakibatkan jatuh tegangan di seluruh bus sistem mengalami perubahan menjadi lebih kecil

Kata Kunci : Jatuh Tegangan , Aliran Daya , *Distributed Generation* , Etap 12.6

I. PENDAHULUAN

Kajian sistem tenaga listrik secara umum meliputi perencanaan generator, transformator , kabel saluran, peralatan proteksi, perkiraan beban termasuk beban puncak dan luar beban puncak, penambahan beban listrik dan lain-lain. seiring dengan berjalannya waktu dan perkembangan zaman yang berdampak pada pola hidup dan kebutuhan masyarakat, penambahan jumlah penduduk, tingkat perekonomian, pelayanan dan permintaan barang dan jasa baik secara langsung maupun tidak langsung akan menuntut kebutuhan listrik semakin meningkat sehingga kajian sistem tenaga listrik harus senantiasa diperbaharui.

Kajian sistem tenaga listrik salah satunya adalah kajian terhadap tegangan sistem yang merupakan salah satu penentu kualitas sistem tenaga listrik. Tegangan listrik yang lebih (*over voltage*) atau tegangan listrik yang kurang (*under voltage*) atau yang tidak stabil akan menyebabkan pelayanan terhadap beban terganggu, beban tidak dapat bekerja secara optimal bahkan dapat menyebabkan kerusakan pada beban listrik dan pada akhirnya akan merugikan para

pelanggan/konsumen listrik. Untuk itu perusahaan penyedia tenaga listrik dalam hal ini PT. PLN yang tentunya melayani kebutuhan listrik dalam skala besar khususnya di negara Indonesia, harus selalu memperhatikan kualitas tegangan pada sistem tenaga listriknya. Berkaitan dengan hal tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisa tegangan listrik setiap bus pada sistem distribusi tenaga listrik 20 kV di PT. PLN Rayon Kuala Simpang dengan menggunakan bantuan software Electrical Transient Analysis Program versi 12.6 yang diharapkan dapat memberikan pedoman dan rekomendasi untuk memperbaiki kualitas tegangan pada sistem distribusi tenaga listrik tersebut. Penelitian mengenai analisa tegangan telah juga dilakukan oleh peneliti lain namun untuk studi kasus yang berbeda dan dilakukan di tempat yang berbeda dengan menggunakan beberapa software diantaranya Matlab, Etap, EMTP dan EDSA .

II. TINJAUAN PUSTAKA

Komponen sistem tenaga listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran

distribusi dan beban yang merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem yang disebut sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi untuk mensuplai tenaga dan mengalirkan listrik dari sumber tenaga listrik (pembangkit, gardu induk, dan gardu distribusi) ke beban atau konsumen (Kothari,2005:96). Dalam sistem distribusi terdapat beberapa bentuk jaringan yang umum digunakan dalam menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik yaitu sistem jaringan distribusi radial , sistem jaringan distribusi rangkaian tertutup(loop) dan sistem jaringan distribusi spindel.

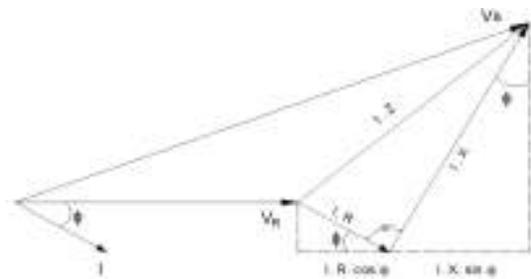
Sistem distribusi mempunyai peranan yaitu untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik ke masing-masing beban atau konsumen dengan mengubah tegangan listrik yang didistribusikan menjadi tegangan yang dikehendaki, karena kedudukan sistem distribusi merupakan bagian yang paling akhir dari keseluruhan sistem tenaga listrik yang mempunyai fungsi mendistribusikan langsung tenaga listrik pada beban atau konsumen yang membutuhkan. Dalam pendistribusian tenaga listrik kekonsumen, tegangan listrik yang digunakan bervariasi tergantung dari jenis konsumen yang membutuhkan (Hadi,1994:56). Untuk konsumen industri biasanya digunakan tegangan menengah 20 kV atau 6,3 kV sedangkan untuk konsumen tegangan rendah 0,4 kV yang merupakan tegangan siap pakai untuk peralatan pabrik perkantoran dan rumah tangga (Zuhal, 1991:74).

Tegangan Jatuh atau drop voltage adalah besar penurunan atau kehilangan nilai tegangan listrik pada suatu penghantar dari nilai tegangan normalnya, atau bisa juga disebut bahwa tegangan jatuh adalah selisih antara besar tegangan pangkal (Sumber) dengan besar tegangan ujung (beban) dari suatu instalasi listrik(Lily, 2015:5). Besarnya kerugian tegangan atau tegangan jatuh (*drop voltage*) yang terjadi pada suatu jaringan listrik, dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Panjang kabel Penghantar
Semakin panjang kabel penghantar yang digunakan, maka semakin besar kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi.
2. Besar arus
Semakin besar arus listrik yang mengalir pada penghantar, maka semakin besar kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi.
3. Tahanan jenis (Rho)
Semakin besar tahanan jenis dari bahan penghantar yang digunakan, maka semakin besar kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi. Kombinasi antara resistansi dan reaktansi disebut dengan impedansi yang dinyatakan dalam satuan ohm (Stevenson, 1994:89).
4. Luas Penampang penghantar.
Semakin besar ukuran luas penampang penghantar yang digunakan, maka semakin

kecil kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi.

Perhitungan jatuh tegangan pada jaring distribusi adalah selisih antara tegangan pangkal pengirim (*sending end*) dengan tegangan pada ujung penerima (*receiving end*). Jatuh tegangan terjadi karena ada pengaruh dari tahanan dan reaktansi saluran, perbedaan sudut fasa antara arus dan tegangan serta besar arus beban, jatuh tegangan pada saluran bolak-balik tergantung pada impedansi, beban, dan jarak. Suatu system arus bolak-balok, besar jatuh tegangan dapat dihitung berdasarkan diagram fasor(Gonen, 1988:123)



Gambar 1. Diagram fasor tegangan dan arus jaringan distribusi

Dari diagram fasor pada Gambar 1. tegangan kirim adalah :

$$\bar{V}_s = V_s \angle \delta \dots\dots\dots (1)$$

Arus adalah :

$$\bar{I} = I \angle -\phi \dots\dots\dots (2)$$

Regulasi tegangan dapat didefinisikan sebagai :

$$VR_{pu} = \frac{V_s - V_r}{V_r} \dots\dots\dots (3)$$

Persentase regulasi tegangan dapat didefinisikan sebagai :

$$\%VR_{pu} = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100 \dots\dots (4)$$

atau ,

$$\%VR_{pu} = VR_{pu} \times 100 \dots\dots (5)$$

Sedangkan jatuh tegangan per-unit didefinisikan sebagai :

$$VD_{pu} = \frac{V_s - V_r}{V_B} \dots\dots\dots (6)$$

Sehingga persentase jatuh tegangan :

$$\%VD = \frac{V_s - V_r}{V_B} \times 100 \dots \dots \dots (7)$$

atau,

$$\%VD = VD_{pu} \times 100 \dots \dots \dots (8)$$

Di mana V_B adalah tegangan dasar yang bebas dipilih apakah tegangan dasar sekunder, atau menggunakan tegangan dasar primer dengan memperhitungkan rasio transformator yang digunakan

Dari Gambar 1. diagram fasor tegangan kirim adalah :

$$\bar{V}_s = V_r + \bar{I} \cdot Z \dots \dots \dots (9)$$

atau,

$$V_s = V_r \angle 0^\circ + (I \angle -\phi) \cdot (R + jX) \quad (10)$$

$$V_s = V_r \angle 0^\circ + I (\cos(\phi) - j \sin(\phi)) \cdot (R + jX) \quad (11)$$

Hubungan Z, R dan X dalam bentuk trigonometri adalah

$$\cos(\phi) = \frac{R}{Z} \quad \text{dan}, \quad \sin(\phi) = \frac{X}{Z} \quad (12)$$

Substitusi persamaan (12) kedalam persamaan (11) menjadi

$$V_s = V_r + I \cdot \{ \cos(\phi) \cdot R + j X \cdot \cos(\phi) - j R \sin(\phi) + X \sin(\phi) \} \dots \dots (13)$$

$$V_s = V_r + I \cdot \left\{ \cos(\phi) \cdot R + j X \cdot \left(\frac{R}{Z} \right) - j R \left(\frac{X}{Z} \right) + X \sin(\phi) \right\} \dots (14)$$

Sehingga persamaan menjadi

$$V_s = V_r + I \cdot R \cos(\phi) + I \cdot X \sin(\phi) \dots (15)$$

Sehingga jatuh tegangan untuk faktor daya terbelakang adalah :

$$V_{D1\phi} = I \cdot R \cos(\phi) + I \cdot X \sin(\phi) \dots (16)$$

Untuk sistem tiga fasa

$$V_{D3\phi} = \sqrt{3} [I \cdot R \cos(\phi) + I \cdot X \sin(\phi)] \quad (17)$$

Jika impedansi total saluran merupakan $R = r \cdot l$ dan $X = x \cdot l$ dan besarnya arus adalah :

$$I = \frac{S_s}{\sqrt{3} V_s} \dots \dots (18)$$

Substitusi persamaan (18) kedalam persamaan (17) menjadi :

$$V_{D3\phi} = \frac{S_s \cdot [r \cos(\phi) + x \sin(\phi)] \cdot l}{V_s} \quad (19)$$

Karena rugi-rugi saluran diabaikan, maka daya pada sisi kirim sama dengan daya sisi terima.

$$S_s = S_r \dots \dots \dots (20)$$

Diasumsikan tegangan dasar V_B menggunakan tegangan kirim V_s , dengan mensubstitusi persamaan (20) ke persamaan (19) menjadi :

$$V_{D(pu)} = \frac{S_r \cdot [r \cos(\phi) + x \sin(\phi)] \cdot l}{V_s^2} \quad (21)$$

$$\% V_D = \frac{S_r \cdot [r \cos(\phi) + x \sin(\phi)] \cdot l}{V_s^2} \times 100 \quad (22)$$

Dalam menganalisis sistem distribusi tegangan menengah pada umumnya besaran beban atau daya menggunakan satuan KVA sedangkan besaran tegangan menggunakan satuan KV, sehingga persamaan dapat dikonversikan dengan cara dibagi dengan 1000 menjadi

$$\% V_D = \frac{S_r \cdot [r \cos(\phi) + x \sin(\phi)] \cdot l}{V_s^2} \times \frac{100}{1000} \quad (23)$$

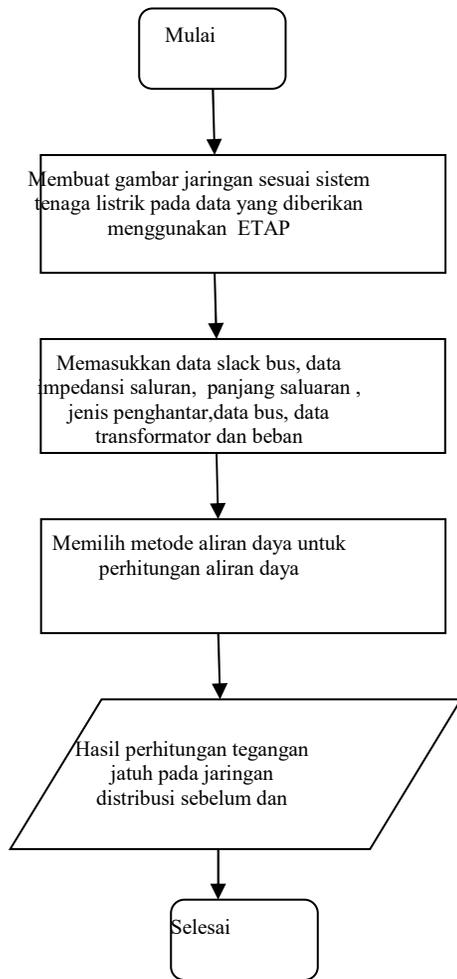
Sehingga persentase jatuh tegangan sistem tiga fasa adalah

$$\% V_D = \frac{S_r \cdot [r \cos(\phi) + x \sin(\phi)] \cdot l}{10 \cdot V_s^2} \quad (24)$$

Di mana :

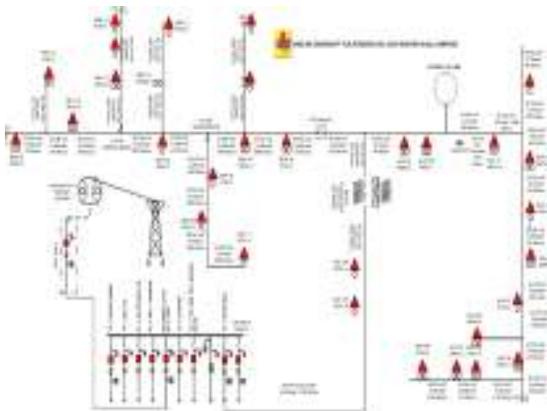
- V_s = Tegangan kirim dalam (KV)
- V_r = Tegangan terima dalam (KV)
- S_r = Daya kompleks sisi terima dalam (KVA)
- r = Resistansi saluran dalam (Ohm/Km)
- x = Reaktansi saluran dalam (Ohm/Km)
- l = Panjang saluran (Km)
- R = Resistansi saluran dalam (Ohm)
- X = Reaktansi saluran dalam (Ohm)
- $VD_{3\phi}$ = Jatuh tegangan tiga fasa dalam (KV)
- V_{dpu} = Jatuh tegangan dalam (pu)
- V_B = Tegangan dasar dalam (Volt)
- I = Arus dalam (Ampere)
- $VD\%$ = Persentase jatuh tegangan dalam (%)

Pelaksanaan penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh *distributed generation* terhadap tegangan jatuh di jaringan distribusi 20 kV PT.PLN Rayon Kuala Simpang. Alur penelitian sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Data saluran yang digunakan dalam analisa tegangan jatuh pada jaringan distribusi 20 kV di PT.PLN Rayon Kuala Simpang adalah data jenis penghantar, data transformator, data beban, diameter kabel saluran dan panjang saluran pada setiap segmen penyulang.



Gambar 3. Potongan sebagian One line diagram sistem distribusi 20 kV PT.PLN Rayon Kuala Simpang

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tegangan Jatuh Pada Bus-Bus yang Dipilih Pada Sistem Distribusi 20 kV di PT.PLN Rayon Kuala Simpang

Hasil simulasi tegangan jatuh diperoleh melalui analisa *load flow* dengan metode newton raphson menggunakan *software* ETAP 12.6. Perbandingan dan validasi untuk satu bus dipilih untuk merepresentasikan hasil keseluruhan tegangan jatuh pada sistem. Bus yang dipilih adalah bus 275, penggunaan rumus tegangan jatuh sesuai persamaan (17) dan (24). Beberapa parameter pada bus 276 ke bus 275 pada saat tanpa distributed generation diketahui dari data dan hasil simulasi aliran daya sebagai berikut:

- $R_{saluran} = 0.2162 \text{ ohm/km}$
- $X_{saluran} = 0.3305 \text{ ohm/km}$
- $L_{saluran} = 0,26 \text{ km}$
- $I_{saluran} = 100,3 \text{ A}$
- $MVA = 3447 \text{ kVA}$
- $Pf = 83,5$
- Tegangan Kirim = 19,85 kV
- Tegangan Terima = 19,834 kV

Persentase drop tegangan sesuai persamaan adalah :

$$\% V_D = \frac{S_r \cdot [r \cos(\phi) + x \sin(\phi)] \cdot l}{10 \cdot V_s^2}$$

$$\% V_D = \frac{3447 \times [0,2162 \times \cos(33,38) + 0,3305 \times \sin(33,38)] \times 0,26}{10 \times (19,85)^2}$$

$$\% V_D = 0,082$$

Sedangkan drop tegangan sesuai persamaan adalah :

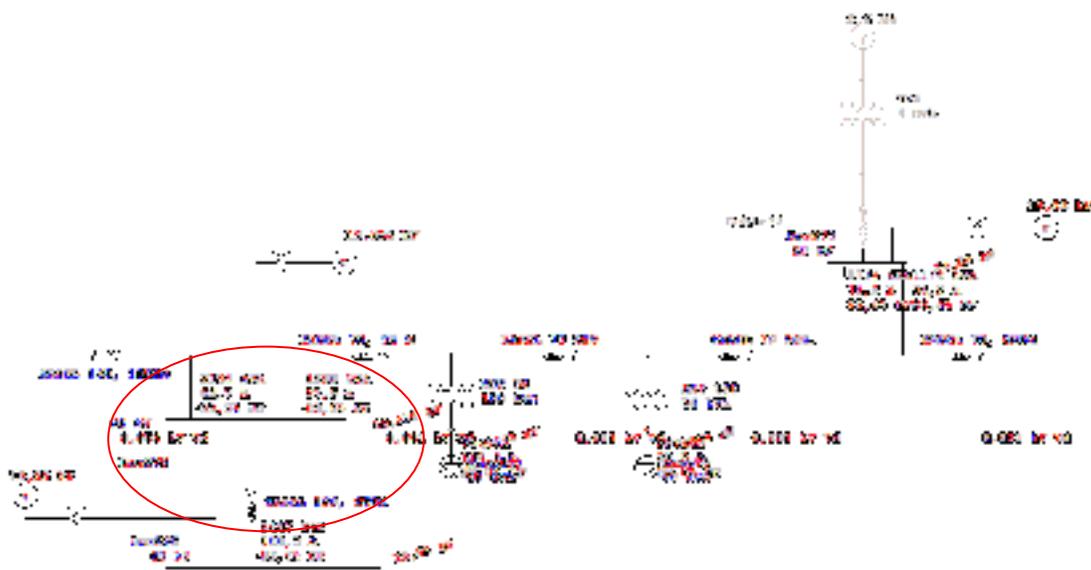
$$V_{D\ 3\phi} = \sqrt{3}[I \cdot R \cos(\phi) + I \cdot X \sin(\phi)]$$

$$V_{D\ 3\phi} = \sqrt{3}[100,3 \times 0,2162 \times \cos(33,38) + 100,3 \times 0,3305 \times \sin(33,38)] \times 0,26$$

$$V_{D\ 3\phi} = 16,368 \text{ Volt}$$

Atau

$$V_D = \frac{16,368}{19850} \times 100 \% = 0,082 \%$$



Gambar 4. Hasil simulasi menggunakan Etap untuk tegangan jatuh pada bus 275

Tabel 1. Hasil simulasi menggunakan Etap 12.6 pada bus 275

Project	ETAP	Page	01
Location	PLASIR	User	01-10-2018
Project		SW	
Language	English	Revision	Zero
Version	14.10.17.3511	Omega	100000

Bus Name	Bus Voltage		Phase Voltage		Angle		Voltage Drop		% of Drop
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
275-1	0.974	0.977	-0.002	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
275-2	-0.000	-0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
275-3, 275-4	0.970	0.970	-0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
275-5	-0.000	-0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
275-6, 275-7 (275)	0.974	0.976	-0.002	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
275-8, 275-9, 275-10	0.970	0.970	-0.000	-0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
275-11	-0.000	-0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
275-12, 275-13	0.974	0.976	-0.002	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
275-14	-0.000	-0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
275-15, 275-16	0.974	0.976	-0.002	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
275-17	-0.000	-0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
275-18, 275-19	0.974	0.976	-0.002	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00

Tabel 2. Perbandingan simulasi dengan perhitungan manual padabus 275

Tegangan Jatuh (ΔV)		
Hasil Simulasi	Perhitungan Manual	Selisih
0,08%	0,082%	0,002 %

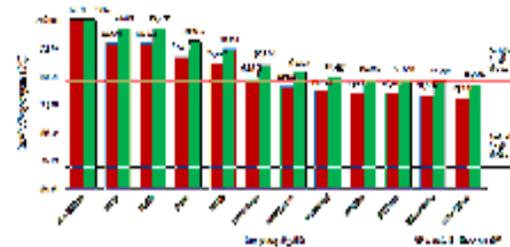
Selisih hasil simulasi dengan perhitungan manual adalah 0,002%, hal ini menunjukkan selisih yang sangat kecil, selisih tersebut terjadi karena dalam perhitungan manual tidak memperhitungkan faktor suhu kabel yang dapat mempengaruhi nilai impedansi saluran. Dengan selisih yang sangat kecil ini maka dapat dianggap selisih diabaikan dan hasil simulasi menjadi hasil yang valid untuk analisa tegangan jatuh pada jaringan distribusi.

Hasil simulasi pada keadaan tanpa DG (*Distributed Generation*) menunjukkan tegangan jatuh yang terbesar dari bus-bus yang dipilih pada bus Kuala Penaga yaitu sebesar 97,204% atau 19,441kV dan drop 2,796% yang berarti masih dalam batas standar SPLN yaitu 10% menurut standar ETAP nilai ini melebihi *marginal limit*(2%) untuk *under voltage* dan masih dalam batas *critical limit* (5%) hal ini disebabkan jarak bus tersebut adalah bus yang terjauh dari bus TC.8 Seruwai, sedangkan jatuh tegangan terkecil pada bus 275 yaitu 99,17% atau 19,834 kV dan hanya drop 0,83% dari bus 20 kV TC.8 Seruwai

Hasil simulasi pada keadaan dengan DG menunjukkan tegangan jatuh yang terbesar pada bus-bus yang dipilih pada bus Kuala Penaga yaitu sebesar 97,695% atau 19,539kV dan drop 2,305%

yang berarti masih dalam batas standar SPLN yaitu 10% , menurut standar ETAP nilai ini melebihi *marginal limit*(2%) untuk *under voltage* dan masih dalam batas *critical limit* (5%) sedangkan jatuh tegangan terkecil pada bus 275 yaitu 99,668% atau 19,934 kV dan hanya drop 0,332%. Hasil simulasi yang lebih detail seperti pada Tabel 3.

Jatuh tegangan pada saat keberadaan DG maupun tanpa DG pada bus-bus yang dipilih akan semakin membesar sebanding dengan jarak yang semakin jauh dari bus gardu induk, dari total 12 bus yang ditinjau tidak ada bus yang drop tegangannya lebih dari 5%. Pada saat tanpa keberadaan DG ada 7 bus yang drop tegangannya lebih dari 2% sedangkan pada saat keberadaan DG drop tegangan yang lebih dari 2% adalah sejumlah 5 bus, terlihat dari hasil analisa tersebut dengan keberadaan DG maka drop tegangan akan semakin kecil.

**Gambar 5. Grafik tegangan jatuh pada bus-bus yang dipilih****Tabel 3. Hasil simulasi untuk jatuh tegangan pada bus-bus yang dipilih**

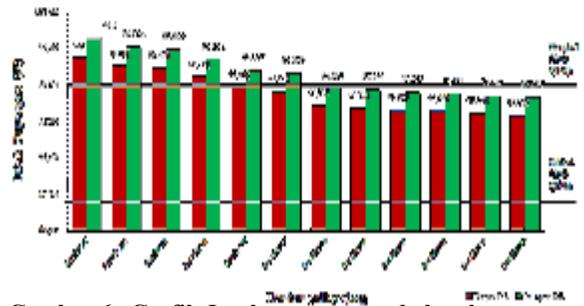
No.	Bus yang ditinjau	Tanpa Distributed Generation			Dengan Distributed Generation (2,6 MW)			Perbaikan Drop Teg (%)
		Teg. (%)	Teg. (kV)	Drop Teg. (%)	Teg. (%)	Teg. (kV)	Drop Teg. (%)	
1	TC 8. SERUWAI	100,000	20,000	0,000	100,000	20,000	0,000	0,000
2	Bus275	99,170	19,834	0,830	99,668	19,934	0,332	0,499
3	Bus273	99,152	19,830	0,848	99,679	19,936	0,321	0,527
4	Bus207	98,715	19,743	1,285	99,241	19,848	0,759	0,525
5	Bus270	98,443	19,689	1,557	98,967	19,793	1,033	0,524
6	MARLEMPANG	97,926	19,585	2,074	98,420	19,684	1,580	0,494
7	GEDUNG BIARA	97,631	19,526	2,369	98,124	19,625	1,876	0,493
8	PAYA UDANG	97,463	19,493	2,537	97,956	19,591	2,044	0,492
9	SEI KURUK	97,400	19,480	2,600	97,892	19,578	2,108	0,492
10	AIR TAWAR	97,400	19,480	2,600	97,892	19,578	2,108	0,492
11	LUBUK DAMAR	97,306	19,461	2,694	97,798	19,560	2,202	0,492
12	KUALA PENAGA	97,204	19,441	2,796	97,695	19,539	2,305	0,491

Drop tegangan pada saat tanpa DG lebih besar dibandingkan pada saat keberadaan DG. Perbaikan drop tegangan terbesar antara pada saat tanpa DG dengan pada saat adanya DG adalah pada bus 273 yaitu 0,527% hal ini disebabkan karena bertambahkecilnya arus nominal yang mengalir melalui bus tersebut karena supply arus nominal lainnya diperoleh dari sumber arus Distributed generation.

Tegangan Jatuh Pada Bus-Bus Paling Ujung Sistem Distribusi 20 kV di PT. PLN Rayon Kuala Simpang

Jatuh tegangan yang terbesar pada saat tanpa DG adalah pada bus SRW 40 yaitu 97,145% atau 19,429 kV dan drop 2,855% nilai ini sudah melebihi *marginal limit* (2%) sedangkan tegangan jatuh terkecil pada bus KSP 15 yaitu sebesar 98,713% atau 19,743 kV dan hanya drop 1,287% hal ini disebabkan beban pada bus tersebut kecil dan jarak ke gardu induk lebih dekat dibandingkan sejumlah bus-bus yang lain.

Hasil simulasi pada keadaan adanya DG menunjukkan tegangan jatuh yang terbesar pada SRW 40 yaitu sebesar 97,636% atau 19,527kV dan drop 2,364% yang berarti masih dalam batas standar SPLN yaitu 10% , sedangkan jatuh tegangan terkecil pada bus KSP 15 yaitu 99,238% atau 19,848 kV dan hanya drop 0,762 %



Gambar 6. Grafik Jatuh tegangan pada bus-bus paling ujung

Tabel 4. Hasil simulasi untuk jatuh tegangan pada bus-bus paling ujung

No.	Bus - bus paling ujung	Tanpa Distribution Generation			Dengan Distribution Generation (2,6 MW)			Perbaikan Drop Teg (%)
		Teg. (%)	Teg. (kV)	Drop Teg. (%)	Teg. (%)	Teg. (kV)	Drop Teg. (%)	
1	Bus KSP 15	98,713	19,743	1,287	99,238	19,848	0,762	0,525
2	Bus kSP 148	98,483	19,697	1,517	99,008	19,802	0,992	0,524
3	Bus KSP 52	98,434	19,687	1,566	98,958	19,792	1,042	0,524
4	Bus SRW 33	98,186	19,637	1,814	98,681	19,736	1,319	0,495
5	Bus KSP 77	97,896	19,579	2,104	98,390	19,678	1,610	0,494
6	Bus SRW 17	97,815	19,563	2,185	98,309	19,662	1,691	0,494
7	Bus SRW 39	97,391	19,478	2,609	97,884	19,577	2,116	0,492
8	Bus SRW 37	97,353	19,471	2,647	97,844	19,569	2,156	0,492
9	Bus SRW 26	97,266	19,453	2,734	97,757	19,551	2,243	0,492
10	Bus SRW 11	97,258	19,452	2,742	97,749	19,550	2,251	0,492
11	Bus SRW 57	97,195	19,439	2,805	97,686	19,537	2,314	0,491
12	Bus SRW 40	97,145	19,429	2,855	97,636	19,527	2,364	0,491

Selisih terbesar antara drop tegangan pada saat tanpa DG dan dengan DG adalah pada bus kSP 15 yaitu 0,525% , dan selisih rata-rata drop tegangan pada saat tanpa DG dan dengan DG adalah 0,5%. Perbedaan selisih drop tegangan yang cukup besar pada saat tanpa DG dan dengan DG disebabkan karena dipengaruhi oleh impedansi jaringan, dengan keberadaan DG sebagai sumber pembangkit sehingga impedansi akan bertambah

kecil karena jarak yang semakin dekat dari sumber pembangkit.

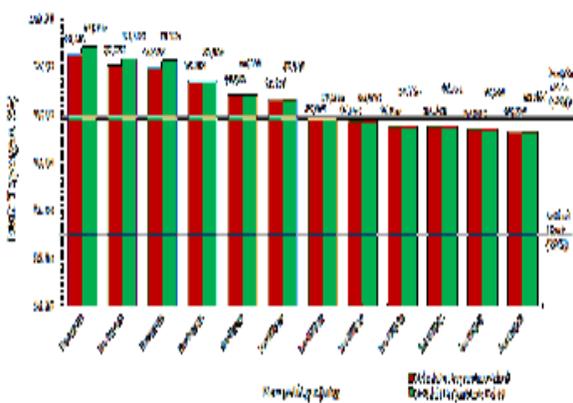
Tabel 5. Hasil simulasi untuk jatuh tegangan sebelum dan setelah pergantian kabel

No.	Bus - bus paling ujung	Sebelum Pergantian Kabel			Setelah Pergantian Kabel			Perbaikan Drop Teg (%)
		Teg. (%)	Teg. (kV)	Drop Teg. (%)	Teg. (%)	Teg. (kV)	Drop Teg. (%)	
1	Bus KSP 15	99,238	19,848	0,762	99,395	19,879	0,605	0,158
2	Bus kSP 148	99,008	19,802	0,992	99,165	19,833	0,835	0,157
3	Bus KSP 52	98,958	19,792	1,042	99,115	19,823	0,885	0,157
4	Bus SRW 33	98,681	19,736	1,319	98,682	19,736	1,318	0,002
5	Bus KSP 77	98,390	19,678	1,610	98,391	19,678	1,609	0,002
6	Bus SRW 17	98,309	19,662	1,691	98,310	19,662	1,690	0,002
7	Bus SRW 39	97,884	19,577	2,116	97,885	19,577	2,115	0,002
8	Bus SRW 37	97,844	19,569	2,156	97,846	19,569	2,154	0,002
9	Bus SRW 26	97,757	19,551	2,243	97,759	19,552	2,241	0,002
10	Bus SRW 11	97,749	19,550	2,251	97,751	19,550	2,249	0,002
11	Bus SRW 57	97,686	19,537	2,314	97,688	19,538	2,312	0,001
12	Bus SRW 40	97,636	19,527	2,364	97,637	19,527	2,363	0,002

Tegangan Jatuh Pada Bus-Bus Paling Ujung Sebelum dan Setelah Pergantian Kabel Pada Sistem Distribusi di PT.PLN Rayon Kuala Simpang

Pergantian kabel saluran distribusi 20 kV dari kabel 70 mm² menjadi kabel 150 mm² dilakukan pada jaringan distribusi 20 Kv sepanjang 2,746 KM mulai dari bus 275 sampai dengan bus 207. Jatuh tegangan yang terbesar pada saat sebelum pergantian kabel adalah pada busSRW 40 yaitu 97,636% atau 19,527 kVdan drop tegangan 2,364% nilai ini melebihi *marginal limit* dan masih dalam batas *critical limit* sedangkan jatuh tegangan terkecil pada bus KSP 15 yaitu 99,238% atau 19,848 kVdan drop tegangan 0,762%

Hasil simulasi pada keadaan setelah pergantian kabel menunjukkan tegangan jatuh yang terbesar pada bus SRW 40 yaitu sebesar 97,637% atau 19,527kVdan drop tegangan 2,363% yang berarti masih dalam batas standar SPLN yaitu 10%, sedangkan jatuh tegangan terkecil pada bus KSP 15 yaitu 99,395% atau 19,879 kV dan hanya drop 0,605%



Selisih terbesar antara drop tegangan pada saat sebelum dan setelah pergantian kabel adalah pada bus KSP 15 yaitu 0,158%, selisih rata-rata drop tegangan pada saat sebelum dan setelah pergantian kabel adalah 0,041%. Bus tersebut selain mempunyai beban cukup besar juga mempunyai jarak yang paling dekat dibandingkan bus-bus ujung lateral yang lain dengan *distributed generation* sehingga menyebabkan perbaikan drop tegangan yang cukup signifikan.

IV. KESIMPULAN

Setiap bus pada sistem distribusi 20 Kv P.T. PLN Rayon Kuala Simpang mempunyai jatuh tegangan yang besarnya tergantung terhadap diameter kabel saluran, panjang kabel saluran dari pusat pembangkit atau gardu induk, keberadaan *Distributed Generation* yang tersambung pada sistem dan beban yang tersambung pada bus tersebut. Sistem Distribusi Rayon Kuala Simpang merupakan sistem distribusi radial jaringan tegangan menengah dengan jatuh tegangan terbesar pada saat tanpa *Disributed Generation* pada bus 87 yaitu 97,145% sedangkan jatuh tegangan terkecil adalah pada bus Marlempang yaitu 97,926%. Nilai tersebut masih dalam batas standard untuk *under voltage* maksimum 10%. Pada saat *Disributed Generation* terhubung ke jaringan distribusi bus paling terbesar jatuh tegangannya adalah pada bus 87 yaitu 97,635% sedangkan jatuh tegangan terkecil adalah pada bus Marlempang yaitu 98,42%. Perbaikan jatuh tegangan akibat pergantian kabel saluran distribusi dari ukuran 70 mm² menjadi ukuran 150 mm² sepanjang 2,746 km mulai dari bus 275 sampai dengan bus 207 menyebabkan jatuh tegangan maksimum dan minimum berkurang masing-masing menjadi 97,637% dan 98,422%.

Jatuh tegangan terbesar terjadi pada keadaan saat tanpaterhubung dengan *Distributed Generation* hal ini karena pengaruh keberadaan pembangkit menyebabkan pembagian distribusi arus tidak terjadi pada satu sumber sehingga menyebabkan perhitungan nilai impedansi saluran terhadap keberadaan arus nominalnya menjadi berubah dan menyebabkan jatuh tegangan yang berkurang pada hampir seluruh bus sistem. Sedangkan pergantian kabel saluran distribusi dengan diameter yang semakin besar menyebabkan nilai impedansi saluran semakin mengecil yang mengakibatkan jatuh tegangan diseluruh bus sistem mengalami perubahan menjadi lebih kecil

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gonen, 1988, *Modern Power System Analysis*. Canada , Jhon Wiley and Sons.
- [2] Hadi, 1994, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Erlangga , Bandung.
- [3] Kothari,DP, 2005, *Modern Power Sistem Analysis*,Tata McGraw Hill, New Delhi.
- [4] Lily.S., 2015, *Analisa Rugi – Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi*, E-Journal Teknik Elektro dan Komputer, ISSN . 2301-8402.
- [5] Stevenson, William D.,Granger, John J, 1994, *Power Sistem Analysis.*, McGraw-Hill International Edition., New York.
- [6] Zuhail, 1991, *Dasar Tenaga Listrik*, Penerbit ITB, Bandung.