

Pengaruh Setting Tap Transformator Terhadap Profil Tegangan Pada Jaringan *IEEE 14 Bus*

Radiktyo Nindyo Sumarno
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Semarang
Semarang, Indonesia
radiktyo@unimus.ac.id

Laily Muntasiroh
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Semarang
Semarang, Indonesia
lailymuntasiroh@unimus.ac.id

Dina Mariani
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Semarang
Semarang, Indonesia
dinamariani@unimus.ac.id

Diterima : Mei 2022
Disetujui : Juni 2022
Dipublikasi : Juli 2022

Abstrak—Adanya jarak yang jauh dari pusat pembangkit ke beban pada sistem penyaluran tenaga listrik menyebabkan profil tegangan pada sisi terima atau sisi konsumen kadang turun kualitas tegangannya. Salah satu dari penurunan kualitas tegangan adalah penurunan level tegangan. Standar penurunan level tegangan pada setiap negara berbeda-beda tetapi secara umum penurunan level tegangan yang diijinkan kurang lebih tidak boleh lebih dari 10%. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh setting tap pada transformator untuk mengoptimalkan penurunan level tegangan pada sisi terima atau pada sisi konsumen. Dengan setting tap transformator diharapkan memperbaiki aliran daya dan profil tegangan pada masing-masing bus. Profil tegangan tidak hanya dipengaruhi oleh nilai setting tap transformator saja, tetapi bentuk dari jaringan juga berpengaruh. Hasil penelitian ini adalah dengan mengubah setting tap transformator dapat menghasilkan perubahan aliran daya dan profil tegangan. Setting tap yang paling optimal didapatkan pada nilai yang optimal, bukan nilai tap transformator yang semakin kecil atau semakin besar nilainya. Rata-rata penurunan level tegangan paling kecil diantara 3 skenario yang diterapkan didapatkan hasil yaitu rata-rata penurunan sebesar 5,137 % pada skenario dengan tap setting 0,95.

Kata Kunci—Penurunan Level Tegangan; Aliran Daya; Setting Tap Transformator

Abstract— The long distance from the power plant to the load on the electric power distribution system causes the voltage profile on the receiving side or the consumer side to sometimes decrease the quality of the voltage. One of the decrease in the quality of the voltage is a drop voltage. The standard drop in voltage level varies from country to country but in general the allowable drop in voltage level should not be more than 10%. The purpose of this study was to determine the effect of setting tap on the transformer to optimize the voltage level drop on the receiving side or on the consumer side. By setting the tap transformer, it is expected to improve the power flow and voltage profile on each bus. The voltage profile is not only affected by the transformer tap setting value, but the shape of the network also has an effect. The result of this research is that changing the transformer tap settings can result in changes in the power flow and voltage profile. The most optimal tap setting is obtained at the optimal value, not the smaller the transformer tap value or the larger the value. The smallest average drop voltage level among the 3 scenarios applied, the

results obtained are an average decrease of 5.137% in the scenario with a tap setting of 0.95.

Keywords—Voltage Level Reduction; Power Flow; Transformer Tap Setting

I. PENDAHULUAN

Sistem daya listrik pada suatu negara yang berupa sistem transmisi dan sistem distribusi mempunyai berbagai permasalahan yang perlu diselesaikan. Salah satu permasalahan dari sistem daya listrik adalah pertumbuhan jumlah beban listrik[1][2].

Pertumbuhan beban listrik yang tidak diimbangi dengan peningkatan pasokan listrik akan mengakibatkan beberapa pemadaman atau gangguan lain pada area tertentu. Ketika pertumbuhan beban listrik sudah dapat diimbangi oleh peningkatan pasokan listrik, hal lain yang perlu diperhatikan adalah kemampuan menyalurkan listrik dari pembangkit ke konsumen[3][4].

Konsumen yang berada jauh dari pembangkit biasanya akan mengalami penurunan level tegangan yang cukup signifikan, sehingga diperlukan suatu tindakan untuk menjaga atau meningkatkan profil tegangan sistem tersebut. Seiring dengan perkembangan teknologi kelistrikan mendorong peneliti untuk melakukan optimalisasi penyaluran daya listrik tanpa mengubah jaringan penyaluran daya listrik tersebut[3][5]. Salah satu cara mengoptimalkan profil tegangan tanpa mengubah bentuk jaringan penyaluran daya listrik adalah dengan mengubah setting nominal tap transformator[6]. Setting tap transformator yang tepat dapat meningkatkan level tegangan di sisi pembangkit dan beban karena tap transformator berperan dalam mengatur perbandingan tegangan pada kumparan sisi tegangan rendah dan sisi tegangan tinggi transformator tersebut. Dengan peningkatan tersebut diharapkan profil tegangan antar bus dapat terjaga pada nominal yang diharapkan.

Pada penelitian ini akan dibahas perbaikan profil tegangan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh setting tap transformator sehingga memperoleh penurunan level tegangan yang rendah (di bawah 5%) sesuai standar yang berlaku[7][8]. Perbaikan profil tegangan ini akan dilakukan

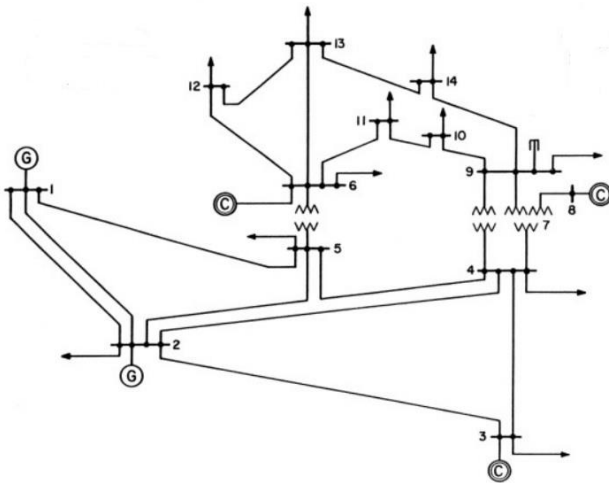
pada jaringan uji *IEEE 14-bus* dengan mengubah *setting* tap transformator yang ada pada jaringan *IEEE 14-bus*.

II. METODE

Data pada penelitian ini menggunakan data jaringan *IEEE 14-bus*[9]. Pada data jaringan tersebut tidak ada perubahan data selain nilai *setting* tap transformator yang akan diubah-ubah sesuai skenario yang akan diterapkan. Aliran daya pada penelitian ini dianalisis menggunakan metode *Newton Raphson*. Metode *Newton Raphson* dipilih oleh penulis karena memiliki banyak kelebihan dibandingkan metode sejenis seperti metode *Gauss-Seidel* dan metode *Fast Decouple*[10]. Metode *Newton Raphson* menurut beberapa referensi mempunyai kecepatan komputasi yang lebih baik dibandingkan metode sejenis. Analisis aliran daya tersebut dilakukan dengan bantuan software Matlab.

A. Data IEEE 14-bus

Data *IEEE 14-bus* ini terdiri dari 14 bus dan 20 saluran. Jumlah transformator ada 3 titik di saluran yang berbeda. *Setting* tap transformator pada data *IEEE 14-bus* ini berbeda-beda untuk masing-masing unit transformator[11] [12][9]. Gambar bentuk jaringan *IEEE 14-bus* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Satu Garis *IEEE 14-bus*[12][11][9]

B. Metode Newton Raphson

Dasar dari metode *Newton Raphson* dalam penyelesaian aliran daya adalah deret *Taylor* untuk suatu fungsi dengan dua variabel lebih. Metode *Newton Raphson* menyelesaikan masalah aliran daya dengan menggunakan suatu persamaan tidak linier untuk menghitung besarnya tegangan dan sudut fasa tegangan tiap bus[13].

Metode *Newton Raphson* biasanya menyelesaikan perhitungan lebih cepat karena hanya perlu satu titik coba dan iterasi lebih cepat dengan kata lain perhitungan sangat sederhana dan dapat dengan mudah dipahami. Namun pada metode *Newton Raphson* diperlukan turunan parsial dalam menyusun matriks *Jacobian* untuk komputasi[12].

C. Penurunan Level Tegangan

Penurunan level tegangan merupakan perbedaan antara tegangan pada sisi terima dengan tegangan pada sisi kirim. Penurunan level tegangan ini bisa dinyatakan dalam % atau

bisa juga dalam bentuk satuan Volt. Penurunan level tegangan dapat dinyatakan dengan selisih tegangan pada sisi kirim dengan tegangan pada sisi terima dibagi dengan tegangan pada sisi terima[14][15][16].

$$\%V = \frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

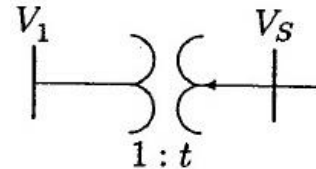
V_S = tegangan pada sisi kirim (V)

V_R = tegangan pada sisi terima (V)

$\%V$ = penurunan level tegangan (%)

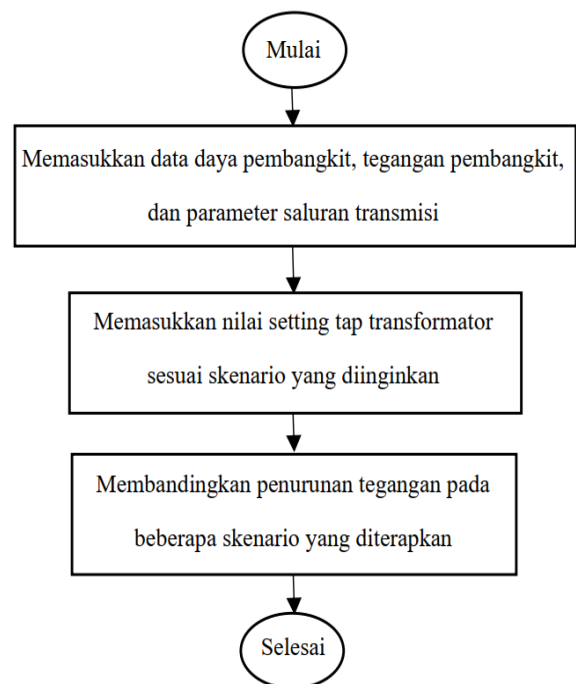
D. Tap Transformator

Sebagian besar transformator menyediakan sadapan untuk mengatur perbandingan transformasi lilitannya. Transformator yang dapat mengubah posisi sadapan dalam keadaan bertenaga disebut *On Load Tap Changer (OLTC)*. Perubahan sadapan pada OLTC biasanya dilakukan secara otomatis menggunakan motor penggerak yang mempunyai rangkaian khusus.



Gambar 2. Single line sebuah tap transformator[1]

Gambar 2 memperlihatkan skema diagram tap changer transformator secara umum. V_1 merupakan tegangan beban, V_S merupakan tegangan sumber, dan $1:t$ merupakan perbandingan lilitan dimana salah satu lilitan mempunyai perbandingan sebanyak 1 sedangkan lilitan lainnya mempunyai perbandingan lilitan sebanyak t .



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Dari gambar diagram alur penelitian pada Gambar 3 di atas, terdapat skema alur dari penelitian ini. Penelitian dimulai dengan memasukkan data daya pembangkit, tegangan pembangkit, kode saluran antar bus, reaktansi saluran. Setelah memasukkan data-data tersebut, penelitian dilanjutkan dengan mengubah *setting* tap transformator sesuai dengan skenario yang direncanakan. Proses selanjutnya adalah analisis aliran daya menggunakan metode *Newton Raphson* sehingga penulis dapat membandingkan penurunan tegangan pada beberapa skenario yang diterapkan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian penelitian ini hanya dilakukan pada jaringan uji *IEEE 14-bus*. Data jaringan *IEEE 14-bus* ini diperoleh dari beberapa referensi dimana referensi tersebut juga menggunakan data jaringan *IEEE 14-bus* sebagai data penelitian [12][11][9]. Data jaringan tersebut mempunyai 14 bus dan 20 saluran. Jumlah transformator ada 3 titik di saluran yang berbeda. *Setting* tap transformator pada data *IEEE 14-bus* ini berbeda-beda untuk masing-masing unit transformator. Nilai tegangan bus, pembangkitan daya, dan pembebanan pembangkit pada jaringan ini dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1. DATA BUS JARINGAN *IEEE 14-BUS*

No Bus	Tegangan Bus		Pembangkitan Daya		Pembebanan	
	Nominal (p.u.)	Sudut (derajat)	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)
1	1,060	0	114,17	-16,90	00,00	00,00
2	1,045	0	40,00	00,00	21,70	12,70
3	1,010	0	00,00	00,00	94,20	19,10
4	1,000	0	00,00	00,00	47,80	-3,90
5	1,000	0	00,00	00,00	7,60	1,60
6	1,000	0	00,00	00,00	11,20	7,50
7	1,000	0	00,00	00,00	00,00	00,00
8	1,000	0	00,00	00,00	00,00	00,00
9	1,000	0	00,00	00,00	29,50	16,60
10	1,000	0	00,00	00,00	9,00	5,80
11	1,000	0	00,00	00,00	3,50	1,80
12	1,000	0	00,00	00,00	6,10	1,60
13	1,000	0	00,00	00,00	13,80	5,80
14	1,000	0	00,00	00,00	14,90	5,00

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa jaringan ini mempunyai 14 bus dengan bentuk jaringan yang dapat dilihat pada Gambar 1. Selain membutuhkan data-data pada lingkup pembangkitan, data lain yang dibutuhkan adalah data saluran antar bus pada jaringan uji ini. Data nilai parameter-parameter yang berada pada saluran jaringan *IEEE 14-bus* ini dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2. DATA SALURAN JARINGAN *IEEE 14-BUS*

No Bus		Impedansi Saluran (p.u.)		Suseptansi (p.u.)
Bus Asal	Bus Tujuan	Resistansi	Reaktansi	
1	2	0,01938	0,05917	0,02640
1	5	0,05403	0,22304	0,02190
2	3	0,04699	0,19797	0,01870
2	4	0,05811	0,17632	0,02460
2	5	0,05695	0,17388	0,01700
3	4	0,06701	0,17103	0,01730
4	5	0,01335	0,04211	0,00640
4	7	0	0,20912	0
4	9	0	0,55618	0
5	6	0	0,25202	0
6	11	0,09498	0,19890	0
6	12	0,12291	0,25581	0
6	13	0,06615	0,13027	0
7	8	0	0,17615	0
7	9	0	0,11001	0
9	10	0,03181	0,08450	0
9	14	0,12711	0,27038	0
10	11	0,08205	0,19207	0
12	13	0,22092	0,19988	0
13	14	0,17093	0,34802	0

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa jaringan ini mempunyai 20 saluran antar bus. Data saluran juga sudah dilengkapi dengan data nilai setting tap transformator default untuk jaringan *IEEE 14-bus* ini. Nilai tersebut adalah nilai asli dari data sheet *IEEE 14-bus*. Nilai ini juga digunakan dalam salah satu skenario kasus pada penelitian ini sebagai pembandingan dengan skenario kasus yang lain. Nilai *setting tap default* ini dapat dilihat pada Tabel 3.

TABEL 3. DATA *SETTING TAP* TRANSFORMATOR (*DEFAULT*)

No Bus		Nilai Setting Tap (p.u.)
Bus Asal	Bus Tujuan	
4	7	0,978
4	9	0,969
5	6	0,932

Berdasarkan Tabel 3, tap transformator pada data ini hanya terdapat di antara bus 4-7, antara bus 4-9, dan antara bus 5-6. Setelah data-data pembangkit, data saluran antar bus, dan data nilai setting tap lengkap, penelitian dilanjutkan dengan menganalisis aliran dayanya menggunakan metode *Newton Raphson*. Beberapa skenario kasus pada penelitian ini adalah nilai tap transformator diset pada angka 0,95 (skenario 1), nilai tap transformator diset pada angka 1,05 (skenario 2), dan nilai tap transformator diset pada nilai *defaultnya* (skenario 3). Hasil dari simulasi menggunakan

software Matlab 2021 dapat dilihat pada Gambar 4 untuk skenario 1, Gambar 5 untuk skenario 2, dan Gambar 6 untuk skenario 3.

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method
Maximum Power Mismatch = 0.039133
No. of Iterations = 2

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.060	0.000	0.000	0.000	223.302	-5.583	0.000
2	1.045	-5.046	21.700	12.700	40.000	62.936	0.000
3	1.010	-12.925	94.200	19.100	0.000	0.000	0.000
4	1.000	-10.197	47.800	-3.900	0.000	0.000	0.000
5	1.000	-8.557	7.600	1.600	0.000	0.000	0.000
6	1.000	-14.420	11.200	7.500	0.000	0.000	0.000
7	1.000	-13.503	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	1.000	-13.503	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	1.000	-15.333	29.500	16.600	0.000	0.000	0.190
10	1.000	-15.675	9.000	5.800	0.000	0.000	0.000
11	1.000	-15.308	3.500	1.800	0.000	0.000	0.000
12	1.000	-15.752	6.100	1.600	0.000	0.000	0.000
13	1.000	-16.066	13.800	5.800	0.000	0.000	0.000
14	1.000	-17.260	14.900	5.000	0.000	0.000	0.000
Total			259.300	73.600	263.302	57.354	0.190

Gambar 4. Hasil Profil Tegangan dengan Skenario 1

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method
Maximum Power Mismatch = 0.0391497
No. of Iterations = 2

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.060	0.000	0.000	0.000	223.302	-5.586	0.000
2	1.045	-5.047	21.700	12.700	40.000	62.945	0.000
3	1.010	-12.928	94.200	19.100	0.000	0.000	0.000
4	1.000	-10.203	47.800	-3.900	0.000	0.000	0.000
5	1.000	-8.554	7.600	1.600	0.000	0.000	0.000
6	1.000	-14.973	11.200	7.500	0.000	0.000	0.000
7	1.000	-13.936	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	1.000	-13.936	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	1.000	-15.806	29.500	16.600	0.000	0.000	0.190
10	1.000	-16.161	9.000	5.800	0.000	0.000	0.000
11	1.000	-15.826	3.500	1.800	0.000	0.000	0.000
12	1.000	-16.300	6.100	1.600	0.000	0.000	0.000
13	1.000	-16.607	13.800	5.800	0.000	0.000	0.000
14	1.000	-17.762	14.900	5.000	0.000	0.000	0.000
Total			259.300	73.600	263.302	57.358	0.190

Gambar 5. Hasil Profil Tegangan dengan Skenario 2

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method
Maximum Power Mismatch = 0.0391143
No. of Iterations = 2

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.060	0.000	0.000	0.000	223.302	-5.578	0.000
2	1.045	-5.045	21.700	12.700	40.000	62.927	0.000
3	1.010	-12.921	94.200	19.100	0.000	0.000	0.000
4	1.000	-10.191	47.800	-3.900	0.000	0.000	0.000
5	1.000	-8.561	7.600	1.600	0.000	0.000	0.000
6	1.000	-14.373	11.200	7.500	0.000	0.000	0.000
7	1.000	-13.562	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	1.000	-13.562	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	1.000	-15.375	29.500	16.600	0.000	0.000	0.190
10	1.000	-15.702	9.000	5.800	0.000	0.000	0.000
11	1.000	-15.300	3.500	1.800	0.000	0.000	0.000
12	1.000	-15.711	6.100	1.600	0.000	0.000	0.000
13	1.000	-16.034	13.800	5.800	0.000	0.000	0.000
14	1.000	-17.269	14.900	5.000	0.000	0.000	0.000
Total			259.300	73.600	263.302	57.349	0.190

Gambar 6. Hasil Profil Tegangan dengan Skenario 3

Dari Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 dapat dilihat ada perbedaan pada *magnitude* dan sudut dari tegangan masing-masing bus setelah dianalisis aliran dayanya. Berdasarkan hasil simulasi tersebut dapat dihitung penurunan level tegangan pada masing-masing saluran dengan

menggunakan rumus (1) dan didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 4. Sebagai contoh dengan mengambil hasil simulasi Skenario 1 pada bus 13 dengan tegangan $1\angle -16,066$ dan pada bus 14 dengan tegangan $1\angle -17,260$. Perhitungan penurunan tegangan untuk bus 13-14 pada Skenario 1 adalah sebagai berikut.

$$\%V = \frac{1\angle -17,260 - 1\angle -16,066}{1\angle -16,066} \times 100\%$$

Pada contoh skenario di atas didapatkan hasil penurunan level tegangan sebesar 2,5958%. Semua perhitungan dihitung menggunakan Ms.Excel. Hasil lengkap dari semua saluran pada semua skenario dapat dilihat pada Tabel 4.

TABEL 4. PERBANDINGAN 3 SKENARIO

Kode Antar Bus	Penurunan Tegangan (%)			
	Tap 0.95	Tap 1.05	Tap Original	
A	1-5	8,9891	8,9891	8,9891
B	1-2	16,5025	16,5025	16,5025
C	5-6	17,2639	18,2182	17,1774
D	3-4	0,0205	0,0213	0,0203
E	4-5	9,7821	9,7831	9,7811
F	4-7	5,8305	6,5314	5,9274
G	4-9	8,9360	9,7584	9,0315
H	2-5	7,3829	7,3829	7,3829
I	2-3	7,4428	7,6373	7,6369
J	2-4	2,8408	2,8412	2,8404
K	6-11	1,5517	1,5524	1,6485
L	6-13	2,9117	2,9127	2,9125
M	6-12	2,4049	2,3763	2,3760
N	7-8	0,0000	0,0000	0,0000
O	7-9	3,1064	3,2289	3,1056
P	9-10	0,6082	0,6080	0,6080
Q	9-14	3,4201	3,4493	3,3238
R	10-11	0,6322	0,5099	0,7277
S	12-13	0,5100	0,5384	0,5383
T	13-14	2,5958	2,5307	2,7200

Setelah didapatkan hasil perhitungan penurunan level tegangan untuk masing-masing saluran, terlihat bahwa jika dibandingkan antara tiga skenario kasus yang diterapkan, tidak ada yang mutlak terbaik memberikan penurunan level tegangan untuk satu skenario. Kadang skenario 1 mempunyai penurunan level tegangan yang paling kecil. Kadang skenario 2 mempunyai penurunan level tegangan yang paling kecil. Begitu juga dengan skenario 3.

Berdasarkan Tabel 4 dapat dianalisis bahwa penurunan tegangan paling rendah diperoleh pada saluran antara bus 3 dengan bus 4 pada *setting* tap transformator original *IEEE 14-bus*. Penurunan level tegangan pada saluran antara bus 3 dan bus 4 adalah 0,0203 %. Sebenarnya ada yang lebih rendah daripada saluran antara bus 3 dan bus 4 yaitu saluran bus 7 dan bus 8 dengan nilai penurunan level tegangan 0 %. Hal ini

karena pada saluran bus 7 dan bus 8 memiliki karakteristik yang sama. Jadi untuk saluran antara bus 7 dan bus 8 tidak dapat dibandingkan dengan saluran-saluran yang lain pada jaringan *IEEE 14-bus* ini.

Pada semua skenario memiliki rating penurunan tegangan di atas 5% sesuai standar PLN sebanyak 8 saluran antar bus. Sedangkan saluran antar bus yang penurunan rating tegangannya masih dalam toleransi standar PLN ada sebanyak 12 saluran.

Pada penelitian terdahulu, rating penurunan tegangan di atas 5% sebanyak 7 saluran tetapi menggunakan data *IEEE 14-bus* yang sudah dimodifikasi. Hal ini merupakan hal yang wajar pada suatu sistem aliran daya dimana jika ada perubahan data seperti data pada Tabel 1 dan Tabel 2 akan mengakibatkan perubahan profil tegangan antar bus[11].

Jika semua penurunan level tegangan antar bus dirata-ratakan untuk masing-masing skenario, maka didapatkan hasil rata-rata prosentase penurunan tegangan untuk skenario dengan tap *setting* 0,95 sebesar 5,137 %. Hasil rata-rata prosentase penurunan tegangan untuk skenario dengan tap *setting* 1,05 adalah sebesar 5,269 %. Hasil rata-rata prosentase penurunan tegangan untuk skenario dengan tap *setting* original adalah sebesar 5,163 %.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisis terhadap jaringan *IEEE 14-bus* didapatkan hasil penurunan level tegangan paling kecil antar bus terjadi pada saluran antara bus 3 dan bus 4 dengan skenario tap *setting default* sebesar 0,0203 %. Rata-rata penurunan level tegangan paling kecil diantara 3 skenario yang diterapkan didapatkan hasil yaitu rata-rata penurunan sebesar 5,137 % pada skenario dengan tap *setting* 0,95.; Secara perbandingan antar masing-masing saluran diperoleh penurunan level tegangan paling kecil pada skenario tap *setting default*, namun perbandingan rata-rata seluruh saluran untuk masing-masing skenario diperoleh penurunan rata-rata level tegangan paling kecil pada skenario tap *setting* 0,95. Jadi belum tentu *setting* tap yang semakin mengecil menjauh dari 1,00 itu lebih baik, begitu juga *setting* tap yang semakin membesar menjauh dari 1,00 lebih baik. *Setting* tap yang paling optimal didapatkan pada nilai yang optimal, bukan nilai tap transformator yang semakin kecil atau semakin besar nilainya.

REFERENSI

- [1] R. Nindyo Sumarno, S. Handoko, and M. Facta, "Improvement Power Losses Using Bank Capacitors and Tap Changers with the shark smell algorithm," *Int. J. Smart Grid Clean Energy*, vol. 10, no. 1, pp. 51–56, 2020.
- [2] Agusutrisno and Dkk, "Study of Analysis and Repair of Drop Voltage with Load Breaking Method at CD 125 PT. PLN UP3 Bintaro," *Teknika*, vol. 17, no. 01, pp. 78–81, 2021.
- [3] K. Ramdhan, B. Sirait, and Z. Abidin, "Studi Pemasangan DG terhadap Profil Tegangan pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Area Pontianak," *Univ. Tanjungpura*.
- [4] H. P. Prayitno, O. Penansang, and N. K. Aryani, "Studi Perbaikan Stabilitas Tegangan Sistem Baru Lima (H5) Area Samarinda untuk Pengurangan Susut Energi," *EECCIS*, vol. 7, no. 2, pp. 131–136, 2013.
- [5] M. F. Wahyudianto, "Analisa Tegangan Jatuh pada Sistem Distribusi Listrik di KM. Dorolonda dengan Menggunakan Simulasi ETAP," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [6] P. P. I. (Persero), "SPLN No. 72," 1987.
- [7] F. S. Hadisantoso, "Analisa Penurunan Tegangan dan Rugi-Rugi Penyulang Menggunakan ETAP di Gardu Induk Bandung Selatan," *ELEKTRA*, vol. 1, no. 2, pp. 42–53, 2016.
- [8] M. Dzulfiqar, "Analisis Kontingensi Sistem IEEE 14bus dengan Metode Bounding," Universitas Islam Indonesia, 2018.
- [9] R. Indriyani, E. H. Harun, and Y. Mohamad, "Analisis Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Sulawesi Utara dan Gorontalo Menggunakan Metode Fast Decoupled," *JJEEE*, vol. 1, no. 1, pp. 13–18, 2019.
- [10] D. Prabowo, Bayu Dwi, "Analisis Aliran Daya Sistem Jaringan Listrik 14 Bus Modified dengan Metode Newton Raphson," *PoliGrid*, vol. 02, no. 02, 2021.
- [11] H. Saadat, *Power System Analysis*. McGraw Hill Education, 2004.
- [12] Zulfahri, A. Tanjung, and Monice, "Optimalisasi Pengaturan Tegangan di Jaringan Listrik dengan menggunakan Genetik Algoritma," *J. Tek.*, vol. 14, no. 2, pp. 216–222, 2020.
- [13] B. Winardi, H. Winarno, and K. Rizky Aditama, "Perbaikan Losses dan Drop Tegangan PWI 9 dengan Pelimpahan Beban ke Penyulang Baru PWI 11 di PT PLN (Persero) Area Semarang," *TRANSMISI*, vol. 18, no. 2, pp. 65–69, 2016.
- [14] Arsuyono, "Analisis Perbaikan Jatuh Tegangan pada Penyulang Lubuk Jambi di Area Pelayanan PT. PLN (Persero) ULP Taluk Kuantan," Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2021.
- [15] M. S. Utomo, "Perbaikan Regulasi Tegangan pada Jaringan Distribusi Menggunakan Solid-State Tap Changer berbasis GIS," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.