

Rekonfigurasi jaringan dan penambahan trafo sisip pada jaringan radial menggunakan algoritma genetika

Muhammad Raka Priyatama^{1*}, Nundang Busaeri², Muhammad Aris Risnandar³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Universitas Siliwangi

Jalan Siliwangi Nomor 24 Kota Tasikmalaya Kode Pos 46115, Jawa Barat, Indonesia

^{1*}197002022@student.unsil.ac.id, ²nundangb@unsil.ac.id, ³aris_elektro@unsil.ac.id

ABSTRAK

Seiring dengan berkembangnya teknologi, kebutuhan akan energi listrik terus meningkat, maka kebutuhan energi listrik perlu dipenuhi dengan diiringi kualitasnya yang baik. Masalah yang muncul di Indonesia yaitu topologi jaringan distribusi yang berbentuk radial dan memiliki kekurangan yaitu adanya nilai jatuh tegangan (drop voltage) pada bus yang berada jauh dari sumber sehingga dapat mengakibatkan kualitas tegangan pada pelanggan paling akhir akan menerima kualitas tegangan paling rendah. Pada penelitian ini menggunakan jaringan IEEE 33 bus yang telah dimodifikasi dengan menambahkan jaringan tegangan rendah (TR) yang terdapat trafo distribusi dalam proses analisis penambahan trafo sisip. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis suatu jaringan distribusi radial yang akan dioptimasi untuk mendapatkan nilai tegangan yang optimal pada sistem menggunakan algoritma genetika (AG) dan penambahan trafo sisip yang akan dihitung kembali perhitungan dayannya menggunakan *Backward Forward Sweep* (BFS) pada *software* MATLAB R2023a dan divalidasi menggunakan *software* ETAP 19.0.1. Hasil dari penelitian ini membuktikan bahwa dengan menggunakan algoritma genetika untuk merekonfigurasi jaringan sistem tenaga listrik radial dapat meningkatkan nilai tegangan sebesar 0,012008 p.u atau 0,241 kV pada jaringan TM dan 0,009332 p.u atau 3,732 V untuk jaringan TR. Sedangkan untuk penambahan trafo sisip dapat meningkatkan tegangan berdasarkan dengan kapasitas trafo apabila semakin besar kapasitas trafo terpasang maka peningkatan nilai tegangan semakin besar.

Kata kunci: jatuh tegangan, BFS, AG, rekonfigurasi, trafo sisip

ABSTRACT

Along with the development of technology, the need for electrical energy continues to increase, so the need for electrical energy needs to be met accompanied by good quality. The problem that arises in Indonesia is the radial distribution network topology and has a drawback, namely the value of drop voltage on buses that are far from the source so that it can result in voltage quality at the last customer will receive the lowest voltage quality. This study uses an IEEE 33 bus network that has been modified by adding a low voltage (LV) network that contains a distribution transformer in the analysis process of adding a parallel transformer. This study aims to analyze a radial distribution network that will be optimized to obtain optimal voltage values in the system using genetic algorithms (GA) and the addition of parallel transformers that will be recalculated day calculations using Backward Forward Sweep (BFS) on MATLAB R2023a software and validated using ETAP 19.0.1 software. The results of this study prove that using the genetic algorithm to reconfigure the radial electric power system network can increase the voltage value by 0.012008 p.u or 0.241 kV on the MV network and 0.009332 p.u or 3.732 V on the LV network. As for the addition of the parallel transformer can increase the voltage based on the capacity of the transformer, if the greater the capacity of the installed transformer, the greater the increase in voltage value.

Keywords: drop voltage, BFS, GA, reconfiguration, parallel transformer

1. PENDAHULUAN

Suplai untuk kebutuhan listrik harus terpenuhi agar dapat menunjang semua kegiatan yang dilakukan oleh masyarakat. Untuk memenuhi hal tersebut PT. PLN (Persero) menyediakan jaringan listrik yang mengalirkan listrik keseluruh pelanggannya dengan menggunakan konfigurasi jaringan radial yang memiliki ujung berupa trafo beban [1], [2]. Sistem jaringan listrik radial ini melayani beban secara langsung dengan menarik *feeder* dari sebuah sumber atau gardu induk dan saluran dicabangkan untuk beban-beban yang dilayani [3], [4]. Alasan jenis sistem jaringan ini sering

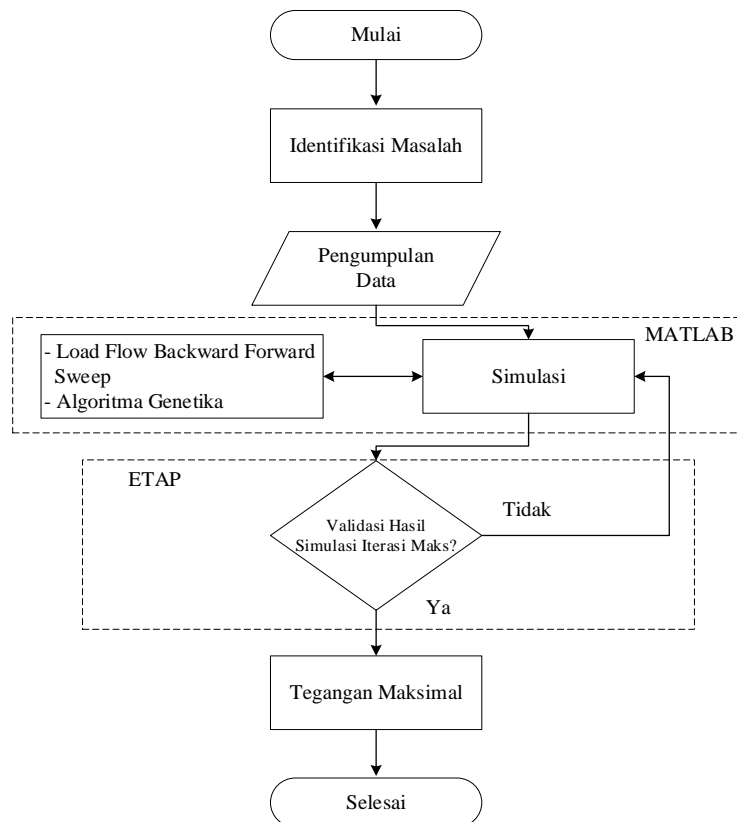
digunakan karena pengamanan terhadap arus gangguan lebih mudah, minimalnya arus gangguan, biaya murah, pengaturan tegangan dan aliran daya yang mudah, serta bentuknya sederhana [5]. Dalam penggunaan sistem jaringan radial ini memiliki nilai keandalan yang rendah dengan mengandalkan satu sumber untuk menyuplai beberapa *feeder* [6]. Pemasalahan lain yang rentan terjadi adalah mengenai beban berlebih pada trafo yang dapat mengakibatkan jatuh tegangan yang bisa mempengaruhi dari kualitas tegangan yang nantinya diterima oleh pelanggan [7]. Maka perlu adanya suatu optimasi dalam permasalahan penggunaan sistem jaringan radial ini.

Pada penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa dengan melakukan rekonfigurasi jaringan dapat mengefisiensi jaringan sebesar 96,87% dan dapat meningkatkan kualitas tegangan pada sistem [6], [8]. Dalam melakukan optimasi ini berdasarkan penelitian sebelumnya kita dapat menggunakan metode optimasi seperti sistem kekebalan buatan, *modified firefly algorithms*, *particle swarm optimization*, *genetic algorithm* dan banyak lagi metode optimasi yang bisa digunakan [6], [8], [9]. Pada penelitian terkait penambahan trafo sisip juga dapat meningkatkan nilai tegangan dengan terjadinya penurunan presentasi beban pada trafo eksisting akibat dari penyisipan trafo baru [1], [2], [10].

Tujuan pada penelitian ini adalah membuktikan bahwa dengan melakukan rekonfigurasi jaringan menggunakan algoritma genetika dapat meningkatkan nilai tegangan minimum pada sistem jaringan radial, dengan dibantu penambahan trafo sisip untuk meningkatkan nilai ujung sisi jaringan tegangan rendah pada sistem jaringan tersebut. Perbedaan dengan penelitian sebelumnya terletak pada pemanfaatan trafo sisip pada sisi jaringan rendah, dikarenakan pada jaringan eksisting yang akan menjadi fokus kita untuk menjaga nilai tegangan yaitu pada tegangan di sisi pelanggan. Tahapan dari penelitian ini adalah melakukan rekonfigurasi jaringan terlebih dahulu untuk mendapatkan konfigurasi jaringan yang lebih baik dari kondisi eksisting, setelah didapat hasil dari rekonfigurasi lalu akan dilakukan penambahan trafo sisip pada bus jaringan tegangan rendah yang memiliki nilai tegangan yang paling rendah dengan melakukan beberapa percobaan penyisipan trafo menggunakan beberapa variasi kapasitas trafo.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian



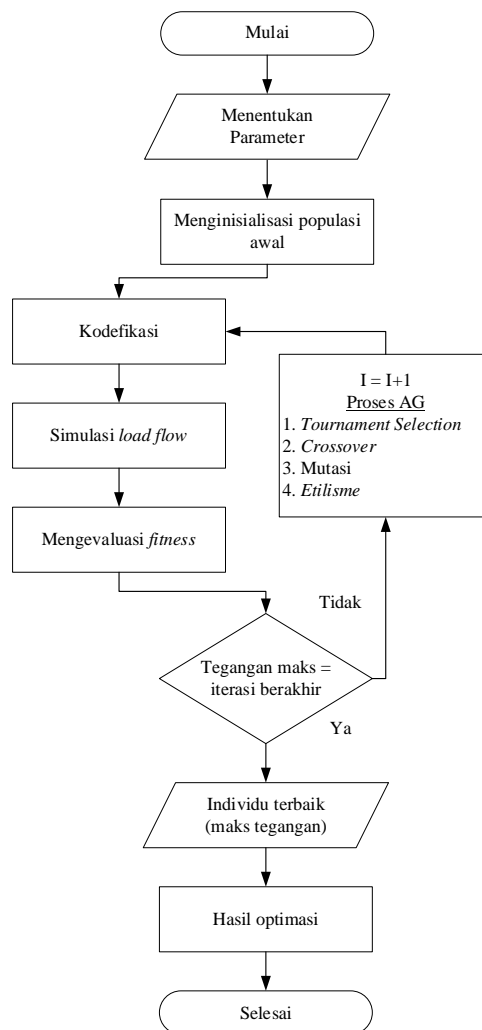
Gambar 1. Flowchart penelitian

Dalam melakukan penelitian ini dibuat *flowchart* sebagai dasar penelitian. *Flowchart* yang akan dijadikan acuan tertera pada Gambar 1. Identifikasi masalah dilakukan untuk menganalisis terlebih dahulu masalah apa saja yang akan diangkat. Setelah itu melakukan pengumpulan data yang nantinya akan digunakan dalam penelitian. Setelah semua data yang dibutuhkan didapat dilanjutkan dengan melakukan simulasi menggunakan software MATLAB R2023a. Lalu dilakukan validasi dari hasil simulasi menggunakan software ETAP. Apabila hasil tidak sesuai maka dilakukan simulasi kembali dan memperhatikan parameter yang dibuat pada Simulasi sampai mendapatkan hasil yang valid. Apabila hasil yang didapat telah tervalidasi maka simulasi selesai dan tercapai.

2.2 Optimasi Algoritma Genetika

Pelaksanaan optimasi pada penelitian ini menggunakan program dari MATLAB R2023a dengan menggunakan algoritma genetika untuk meningkatkan nilai tegangan pada jaringan. Rencana dari pembuatan program simulasi optimasi ini dibagi menjadi 6 tahap. Untuk tahap pertama adalah membangkitkan populasi, tahap kedua menghitung nilai fitness, tahap ketiga melakukan seleksi, tahap keempat adalah pindah silang, tahap kelima adalah mutasi, dan tahap keenam adalah elitisme. Fungsi objektif yang akan menjadi solusi optimasi dapat dilihat persamaannya sebagai berikut:

$$Max V_i = \frac{S_i}{I_i^*} \tag{1}$$

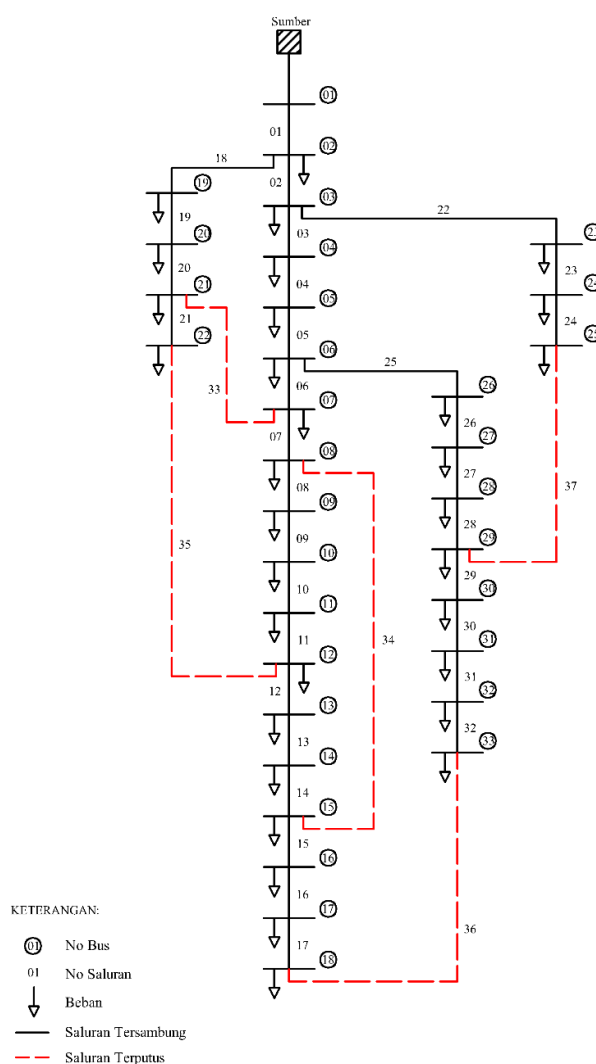


Gambar 2. Flowchart optimasi

Pada proses optimasi ini dibuatkan *flowchart* sebagai acuan dalam melakukan pembuatan logika yang akan tertuang dalam bentuk kode skrip pada aplikasi MATLAB R2023a. Proses optimasi dimulai dengan menentukan parameter yang dibutuhkan. Setelah itu menginisialisasi berapa populasi yang akan dibuat di awal untuk mendapatkan populasi awal. Lalu melakukan kodefikasi untuk menerjemahkan setiap parameter yang termuat dalam simulasi. Setelah itu dari hasil yang didapat dari proses algoritma genetika dilakukan studi aliran dayanya untuk mendapatkan nilai jatuh tegangan. Lalu mengevaluasi nilai *fitness* dari setiap hasil studi aliran daya yang dilakukan. Apabila didapat nilai tegangan yang paling optimasi sesuai nilai toleransi maka didapatkan individu terbaik atau nilai tegangan sistem jaringan yang paling optimal. Dan simulasi optimasi berakhir

2.3 Model Jaringan

Model jaringan yang digunakan pada penelitian ini adalah sisten jaringan IEEE 33 bus yang telah dimodifikasi dengan menambahkan sisi jaringan tegangan rendah. Pemodelan ini dimaksudkan agar kita bisa mengetahui bagaimana keadaan tegangan di sisi jaringan tegangan rendah dan memudahkan dalam melakukan penambahan trafo sisip.



Gambar 3. Sistem jaringan IEEE 33 bus setelah dimodifikasi

2.4 Data Jaringan IEEE 33 Bus yang Telah Dimodifikasi

Pada penelitian ini data yang digunakan merupakan data jaringan IEEE 33 Bus yang telah dimodifikasi, dengan menambahkan data transformator *step down* untuk mengetahui berapa nilai tegangan rendah pada jaringan distribusi tersebut. Berikut data beban, data saluran dan trafo yang akan digunakan pada penelitian ini yang ditampilkan pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 3.

Tabel 1. Data beban IEEE 33 bus

No. Bus	Beban		No. Bus	Beban		No. Bus	Beban	
	P (kW)	Q (kVAR)		P (kW)	Q (kVAR)		P (kW)	Q (kVAR)
33	0	0	44	60	35	55	90	50
34	100	60	45	60	35	56	420	200
35	90	40	46	120	80	57	420	200
36	120	80	47	60	10	58	60	25
37	60	30	48	60	20	59	60	25
38	60	20	49	60	20	60	60	20
39	200	100	50	90	40	61	120	70
40	200	100	51	90	40	62	200	600
41	60	20	52	90	40	63	150	70
42	60	20	53	90	40	64	210	100
43	45	30	54	90	40	65	60	40
Total			3715 kW			2300 kVAR		

Tabel 2. Data saluran IEEE 33 bus

No. Saluran	Saluran		Impedansi		No. Saluran	Saluran		Impedansi	
	Dari	Ke	R(Ohm)	X(Ohm)		Dari	Ke	R(Ohm)	X(Ohm)
1	1	2	0,0922	0,047	20	20	21	0,4095	0,4784
2	2	3	0,4930	0,2511	21	21	22	0,7089	0,9373
3	3	4	0,3660	0,1864	22	3	23	0,4512	0,3083
4	4	5	0,3811	0,1941	23	23	24	0,8980	0,7091
5	5	6	0,8190	0,7070	24	24	25	0,8960	0,7011
6	6	7	0,1872	0,6188	25	6	26	0,2030	0,1034
7	7	8	0,7144	0,2351	26	26	27	0,2842	0,1447
8	8	9	1,0300	0,7400	27	27	28	1,0590	0,9337
9	9	10	1,0440	0,7400	28	28	29	0,8042	0,7006
10	10	11	0,1966	0,0650	29	29	30	0,5075	0,2585
11	11	12	0,3744	0,1238	30	30	31	0,9744	0,9630
12	12	13	1,4680	1,1550	31	31	32	0,3105	0,3619
13	13	14	0,5416	0,7129	32	32	33	0,3410	0,5302
14	14	15	0,5910	0,5260	33	8	21	2,0000	2,0000
15	15	16	0,7463	0,5450	34	9	15	2,0000	2,0000
16	16	17	1,2890	1,7210	35	12	22	2,0000	2,0000
17	17	18	0,7320	0,5740	36	18	33	0,5000	0,5000
18	2	19	0,1640	0,1565	37	25	29	0,5000	0,5000
19	19	20	1,5042	1,3554					

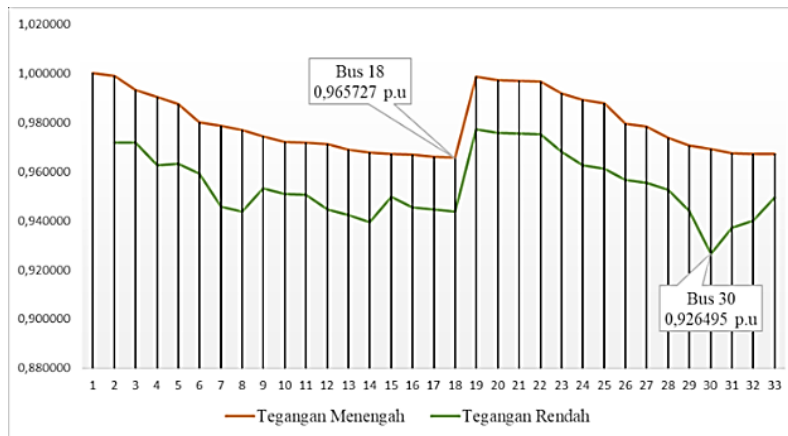
Tabel 3. Data pemilihan trafo setiap bus

No. Trafo	Bus		Kapasitas (kVA)	%Z	X/R	Impedansi	
	Dari	Ke				R(Ohm)	X(Ohm)
1	2	34	160	4	1,5	55,470	83,205
2	3	35	160	4	1,5	55,470	83,205
3	4	36	200	4	1,5	44,376	66,564
4	5	37	100	4	1,5	88,752	133,13
5	6	38	100	4	1,5	88,752	133,13
6	7	39	250	4	1,5	35,501	53,251
7	8	40	250	4	1,5	35,501	53,251
8	9	41	100	4	1,5	88,752	133,13
9	10	42	100	4	1,5	88,752	133,13
10	11	43	100	4	1,5	88,752	133,13
11	12	44	100	4	1,5	88,752	133,13
12	13	45	100	4	1,5	88,752	133,13
13	14	46	200	4	1,5	44,376	66,564
14	15	47	100	4	1,5	88,752	133,13
15	16	48	100	4	1,5	88,752	133,13
16	17	49	100	4	1,5	88,752	133,13
17	18	50	160	4	1,5	55,470	83,205
18	19	51	160	4	1,5	55,470	83,205
19	20	52	160	4	1,5	55,470	83,205
20	21	53	160	4	1,5	55,470	83,205
21	22	54	160	4	1,5	55,470	83,205
22	23	55	160	4	1,5	55,470	83,205
23	24	56	630	4	1,5	14,088	21,131
24	25	57	630	4	1,5	14,088	21,131
25	26	58	100	4	1,5	88,752	133,13
26	27	59	100	4	1,5	88,752	133,13
27	28	60	100	4	1,5	88,752	133,13
28	29	61	200	4	1,5	44,376	66,564
29	30	62	800	5	3,5	6,8680	24,038
30	31	63	200	4	1,5	44,376	66,564
31	32	64	315	4	1,5	28,175	42,263
32	33	65	160	4	1,5	55,470	83,205

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini sistem jaringan yang diteliti merupakan jaringan IEEE 33 bus yang dimodifikasi, yang terdiri dari 1 pembangkit, 33 bus tegangan menengah (TM), 32 trafo, 32 bus beban pada tegangan rendah (TR) dan 37 saluran dengan 32 saluran utama serta 5 saluran *tie-lines* pada jaringan tegangan menengah. Nilai dasar yang digunakan pada sistem adalah 20 kV pada jaringan TM, 400 V pada jaringan TR dan sumber 100 MVA dengan total beban 3715 kW dan 2300 kVAR.

3.1 Kondisi Tegangan Eksisting



Gambar 4. Grafik kondisi tegangan eksisting

Dari hasil perhitungan daya sebelum dilakukan rekonfigurasi jaringan dan penambahan trafo sisip didapatkan nilai tegangan paling rendah terdapat pada bus 18 pada jaringan TM dengan nilai tegangan 0,965727 p.u atau 19,315 kV dan bus 30 pada jaringan TR dengan nilai tegangan 0,926495 p.u atau 370,598 V. Hal tersebut terjadi karena bus 18 pada jaringan TM berada jauh dari sumber dibandingkan dengan bus jaringan TM lainnya, sedangkan pada bus 30 jaringan TR terjadi karena beban terbesar terdapat pada bus tersebut dan bus tersebut berada jauh dari sumber.

3.2 Kondisi Tegangan Setelah Rekonfigurasi

Parameter yang digunakan dalam melakukan rekonfigurasi menggunakan algoritma genetika ini berupa besar populasi dan iterasi maksimal. Untuk besar populasi yang digunakan adalah 20 populasi dan untuk masimal iterasi adalah 1000 iterasi. Hasil dari rekonfigurasi tersebut didapat saluran yang akan dihapus yaitu saluran 7, 11, 14, 28, dan 32 dengan hasil tegangan minimum yang tertera pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 4. Nilai tegangan minimum pada bus jaringan tegangan menengah hasil rekonfigurasi

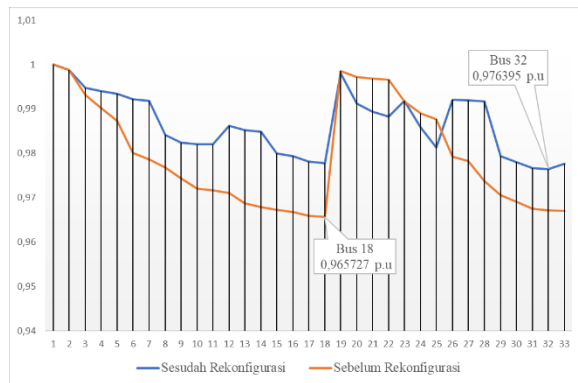
No.	Simulasi	Bus	Tegangan (p.u)	Tegangan (kV)
1	Sebelum Rekonfigurasi	18	0,965727	19,314
2	Setelah Rekonfigurasi	18	0,977735	19,555
Selisih			0,012008	0,241

Nilai tegangan pada bus 18 jaringan TM hasil rekonfigurasi mengalami peningkatan dari 0,965727 p.u atau 19,314 kV menjadi 0,977735 p.u atau 19,555 kV seperti ditunjukkan Tabel 5. Akibat dari hasil rekonfigurasi ini bus 32 menjadi bus dengan tegangan terendah pada sisi jaringan TM. Hal tersebut diakibatkan dari posisi bus 32 yang berada jauh dari sumber dibandingkan dengan bus lain. Walaupun demikian dengan dilakukannya rekonfigurasi ini dapat meningkatkan tegangan minimum sistem dari 0,965727 p.u atau 19,314 kV menjadi 0,976395 atau 19,528 kV.

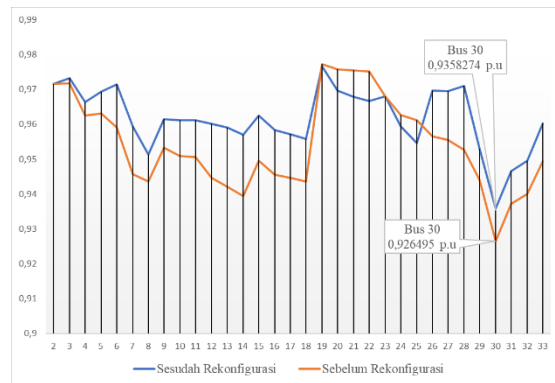
Tabel 5. Nilai tegangan minimum pada bus jaringan tegangan rendah hasil rekonfigurasi

No.	Simulasi	Bus	Tegangan (p.u)	Tegangan (V)
1	Sebelum Rekonfigurasi	30	0,926495	370,598
2	Setelah Rekonfigurasi	30	0,935827	374,330
Selisih			0,009332	3,732

Nilai tegangan pada jaringan TR hasil rekonfigurasi ini memiliki nilai tegangan minimum pada bus 30. Hal tersebut terjadi karena bus 30 ini memiliki beban terbesar dan menjadi salah satu bus yang berposisi cukup jauh dari sumber.



Gambar 5. Grafik perbandingan nilai tegangan jaringan tegangan menengah hasil rekonfigurasi



Gambar 6. Grafik perbandingan nilai tegangan jaringan tegangan rendah hasil rekonfigurasi

Pada bus ini mengalami peningkatan dari 0,926495 p.u atau 370,598 V pada bus 30 menjadi 0,935827 p.u atau 374,330 V pada bus 30 seperti ditunjukkan tabel 6. Hal ini disebabkan oleh posisi bus tegangan menengah yang tersambung dengan bus 30 jaringan TR mendapatkan sumber dari bus 6 jaringan TM dan berubah sumber menjadi dari bus 3 jaringan TM. Sehingga didapatkan bahwa nilai tegangan pada jaringan TR mengalami peningkatan setelah dilakukan rekonfigurasi sebesar 0,009332 p.u atau 3,732 V. Untuk memperjelas perbandingan nilai tegangan hasil rekonfigurasi, maka nilai tegangan setiap bus akan disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 5 dan Gambar 6.

3.3 Kondisi Tegangan Setelah Penambahan Trafo Sisip

Hasil dari rekonfigurasi jaringan dipatkan nilai tegangan minimum terjadi pada bus 30 jaringan tegangan rendah dengan besar trafo 800 kVA dengan beban 632,455 kVA, maka penambahan trafo sisip akan dilakukan pada bus tersebut. Penambahan trafo sisip dilakukan menggunakan trafo dengan kapasitas 100 kVA – 1000 kVA sesuai dengan Tabel 6. Pada tahap ini kita akan mencari tahu kapasitas trafo yang terbaik untuk meningkatkan tegangan pada bus yang memiliki nilai tegangan paling rendah setelah dilakukan rekonfigurasi.

Tabel 6. Data trafo sisip yang digunakan

No.	Kapasitas Trafo (kVA)	%Z	X/R	Impedansi		Impedansi (T1+T2)	
				R (Ohm)	X (Ohm)	R (Ohm)	X (Ohm)
1	100	4	1,5	88,752	133,130	6,833	20,641
2	160	4	1,5	55,470	83,205	6,716	19,002
3	200	4	1,5	44,376	66,564	6,617	18,039
4	250	4	1,5	35,501	53,251	6,477	16,958
5	315	4	1,5	28,175	42,263	6,282	15,725
6	400	4	1,5	22,188	33,282	6,019	14,350
7	500	4	1,5	17,750	26,626	5,713	13,003
8	630	4	1,5	14,088	21,131	5,338	11,580
9	800	5	3,5	6,868	24,038	3,434	12,019
10	1000	5	3,5	5,494	19,230	9,506	8,400

Dalam prinsip pemasangan trafo sisip beban pada suatu bus akan membagi beban pada trafo 1 dan trafo 2 dengan perbandingan yang dipengaruhi oleh kapasitas dan impedansi trafo masing-masing. Untuk mengetahui perbandingan pembagian beban pada trafo sisip yang akan dipasangkan akan ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Pembagian beban pada trafo

No.	Kapasitas Trafo 1 (kVA)	Kapasitas Trafo 2 (kVA)	Beban Trafo 1 (kVA)	Beban Trafo 2 (kVA)	Total Beban (kVA)
1	800	100	546,9885	85,4670	632,4555
2	800	160	505,9644	126,4911	632,4555
3	800	200	481,8709	150,5846	632,4555
4	800	250	454,7995	177,6560	632,4555
5	800	315	423,8445	208,6110	632,4555
6	800	400	389,2034	243,2521	632,4555
7	800	500	355,0627	277,3928	632,4555
8	800	630	318,7177	313,7378	632,4555
9	800	800	316,2278	316,2278	632,4555
10	800	1000	281,0913	351,3642	632,4555

Hasil yang didapatkan dari perhitungan pembagian pembebanan trafo dapat dilihat bahwasanya kapasitas trafo yang lebih besar akan mendapatkan beban lebih besar dibandingkan trafo yang lebih kecil, namun jika menggunakan trafo dengan kapasitas sama beban akan dibagi sama besar. Maka dapat tergambarkan dengan dilakukannya pemasangan trafo sisip ini akan membantu trafo eksisting dalam menampung beban yang terpasang pada bus tersebut. Kondisi tegangan yang didapatkan setelah menambahkan trafo sisip pada jaringan hasil rekonfigurasi pada bus 30 jaringan TR dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan nilai tegangan hasil penyisipan trafo

No.	Kapasitas trafo (kVA)	Tegangan sebelum (p.u)	Tegangan sesudah (p.u)	Selisih tegangan (p.u)
1	100	0,935827	0,941547	0,005720
2	160	0,935827	0,944337	0,008510
3	200	0,935827	0,945985	0,010158
4	250	0,935827	0,947843	0,012016
5	315	0,935827	0,949973	0,014146
6	400	0,935827	0,952362	0,016535
7	500	0,935827	0,954716	0,018889
8	630	0,935827	0,957219	0,021392
9	800	0,935827	0,957552	0,021725
10	1000	0,935827	0,959903	0,024076

Hasil yang didapatkan pada perbandingan tersebut didapatkan hasil tegangan paling besar terdapat pada penambahan trafo sisip dengan kapasitas 1000 kVA. Hal tersebut terjadi karena beban pada bus tersebut besar 632,455 kVA dan perlu ditambahkan trafo yang lebih besar juga untuk mampu menampung beban tersebut. Dapat disimpulkan pula semakin besar kapasitas trafo yang disisipkan akan semakin meningkat pula nilai tegangan dikarenakan beban pada trafo eksisting dan trafo sisip akan terbagi dan meringankan kerja trafo ketika kedua trafo tersebut memiliki nilai kapasitas yang besar.

4. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai tegangan hasil rekonfigurasi mengalami peningkatan pada jaringan TM sebesar 0,012008 p.u atau 0,241 kV, pada jaringan TR sebesar 0,009332 p.u atau 3,732 V, dan untuk hasil dari trafo sisip didapatkan nilai tegangan terbaik didapat dari penambahan trafo sisip dengan kapasitas 1000 kVA dengan peningkatan sebesar 0,024076 p.u atau 9,6304 V. Saran untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan perhitungan menggunakan studi aliran daya lain untuk mengetahui seberapa akurat setiap metode perhitungan yang ada, dan perlu adanya percobaan penerapan perhitungan ini pada jaringan distribusi yang ada di Indonesia dengan memperhatikan situasi serta kondisi wilayah pada jaringan distribusi tersebut.

REFERENSI

- [1] P. Harahap, M. Adam, and A. Prabowo, "Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban Overload Dan Jatuh Tegangan Pada Trafo Bl 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etab 12.6.0," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 62–69, 2019, doi: 10.30596/rele.v1i2.3002.
- [2] M. Muhammad, S. Meliala, and D. Damayanti, "MENGATASI BEBAN LEBIH TRANSFORMATOR GARDU DISTRIBUSI DENGAN MENGGUNAKAN TRAF0 SISIP DI PT PLN (Persero) ULP LANGSA KOTA," *J. Energi Elektr.*, vol. 11, no. 1, p. 29, 2022, doi: 10.29103/jee.v1i1.7735.
- [3] Z. Sya'roni and T. Rijanto, "Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi 20 kV Dan Solusinya Pada Jaringan Tegangan Rendah," *J. Tek. Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 173–180, 2019.
- [4] B. A. Zakwansyah, Ira Devi Sara, Rakhmad Syafutra Lubis, "Optimasi Penempatan Kapasitor Pada Penyulang Kota Calang dengan Metode Modified Backward-Forward Sweep," *J. J-Innovation*, vol. 7, no. 2, 2018.
- [5] A. E. Prihadana, O. Penangsang, and N. K. Aryani, "Optimasi Aliran Daya Satu Fasa Pada Sistem Distribusi Radial 33 Bus Ieee Dan Sistem Kelistrikan Pt. Semen Indonesia Aceh Untuk Meminimasi Kerugian Daya Dan Deviasi Tegangan Menggunakan Kapasitor," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16120.
- [6] R. Syahputra and I. Soesanti, "Optimisasi Multi-objektif pada Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik dengan Integrasi Pembangkit Terdistribusi Menggunakan Metode Sistem Kekebalan Buatan," *J. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 57–71, 2020, doi: 10.15294/jte.v12i2.26353.
- [7] G. A. Setia, H. U. Setiawan, F. Haz, and E. Taryana, "Studi Penambahan Gardu Sisipan Tipe Tiang untuk Mengatasi Beban Lebih di PT PLN (PERSERO) Area Cianjur Rayon Mande," vol. 2, pp. 139–149, 2022.
- [8] H. Nurohmah, M. Ali, and A. Raikhani, "Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Radial Menggunakan Modified Firefly Algorithms (MFA) Pada Penyulang Tanjung Rayon Jombang," *JEEE-U (Jurnal Ilmu-Ilmu Tek. Elektro dan Rekayasa)*, vol. 1, no. 2, pp. 45–48, 2017, doi: 10.21070/jeee-u.v12.1064.
- [9] R. J. Naibaho and D. Y. Sukma, "Peningkatan Kualitas Jaringan Distribusi Tegangan Menengah Dengan Optimasi Konfigurasi," vol. 4, no. 1, pp. 1–6, 2017.
- [10] Martunis, Muliadi, Syukri, T. M. Asyadi, and Misswar ABD, "Penentuan Kapasitas Transformator Sisip Untuk Mengatasi Beban Lebih Pada ULP Merduati Kota," *J. Tek. Elektro dan Komputasi*, vol. 5, no. 2, pp. 196–203, 2023, doi: 10.32528/elkom.v5i2.11051.