

Analisis Aliran Daya Sistem Jaringan Listrik 14 Bus Modified Dengan Metode Newton Raphson

Bayu Dwi Prabowo¹, Erdin Syam², Rani Alham³, Indra Nusantara⁴, M. Ridwan⁵
^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Elektro, Universitas Mulawarman
 bayudpratama74@gmail.com

Abstrak- Aliran daya adalah suatu operasi hitung untuk mencari nilai arus, tegangan, daya aktif maupun daya reaktif pada system tenaga listrik dalam keadaan normal beroperasi. Tujuan dilakukannya menganalisis aliran daya adalah untuk mengecek keadaan penyaluran pada sistem tenaga listrik dalam keadaan baik atau tidak. Analisis aliran daya yang telah dilakukan dalam penelitian ini mendapatkan rugi daya aktif dan reaktif sebesar 26,449 MW dan 104,307 MVAR dan nilai *drop* tegangan terbesar pada saluran 1-2 dengan besar 8,27%. Dalam melakukan penelitian analisis aliran daya ini sudah dapat dikatakan optimal pada sistem tenaga listrik 14 bus modifikasi karena didapatkan nilai daya semu pembangkitan lebih besar daripada nilai daya semu pembebanan yang memiliki besaran 586,65 MVA > 531,02 MVA. Selain itu juga dilihat dari nilai faktor daya pada bus yang memiliki nilai mendekati angka 1, memiliki nilai profil tegangan yang baik, dan memiliki nilai faktor daya secara keseluruhan sistem yang baik yaitu 0,97. Oleh karena itu dalam sistem tenaga listrik 14 bus modifikasi ini tidak perlu dilakukan penambahan kapasitor shunt dalam mengurangi rugi atau kehilangan daya setiap bus, karena profile tegangan dan faktor daya sudah dapat dikatakan optimal dan memenuhi standard PLN dalam sistem tenaga listrik 14 bus modifikasi.

Kata kunci: Bus, rugi-rugi daya, dan aliran daya.

I. PENDAHULUAN

Aliran daya adalah suatu perhitungan atau operasi hitung arus, daya aktif, tegangan, dan daya reaktif dalam penyaluran sistem tenaga listrik di mana dilakukan saat keadaan normal atau berjalan. Dilakukannya analisis mengenai aliran daya diharapkan mampu menyelesaikan dan mengatasi permasalahan yang ada pada sistem jaringan tenaga listrik. Permasalahan tersebut memiliki beberapa faktor dan penyebab terjadinya yang tentu mempunyai cara penanganan yang berbeda.

Analisis aliran daya digunakan dan diperlukan untuk melihat keadaan pengoperasian sistem tenaga listrik sudah dalam keadaan baik dan optimal atau belum, melalui operasi hitung aliran daya pada system tenaga listrik. Tujuan utama penelitian dan simulasi ini adalah untuk menganalisa aliran daya agar dapat menentukan sudut tegangan, magnitudo tegangan, aliran daya reaktif dan aktif pada saluran, serta rugi daya yang berada pada system transmisi. Hasil penelitian dan simulasi aliran daya dapat dijadikan referensi untuk merencanakan dan mengoperasikan sistem, penjadwalan yang hemat biaya pembangkitan, dan dapat dijadikan sebagai referensi untuk menganalisis stabilitas transien serta studi kontingensi.

II. LANDASAN TEORI

A. Aliran Daya

Perhitungan dalam aliran daya digunakan untuk mengetahui keadaan dan kondisi dalam penyaluran dan pengoperasian sistem tenaga listrik. Perhitungan dan operasi hitung dalam aliran daya yang meliputi arus, tegangan, dan faktor daya pada bus dilakukan dalam pengoperasian normal. Hasil aliran daya dengan perhitungan tersebut digunakan untuk mensimulasikan keadaan gangguan yang kecil ataupun besar, stabilitas transien ataupun analisa kontingensi [1].

Dalam analisa aliran daya, bus dapat disusun menjadi sebuah sistem tenaga listrik di mana terdapat bus penadah (*slack*) atau bus berayun (*swing*), bus P-Q (bus beban), dan bus P-V (bus generator/pembangkit) [1]. Hukum Kirchoff pada bus sebagai berikut :

$$I_i V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j, j \neq i \quad (1)$$

Daya penyaluran pada bus i sebagai berikut :

$$P_i + j Q_i = V_i \times I_i \quad (2)$$

atau

$$I_i = \frac{P_i - j Q_i}{v_i^*} \quad (3)$$

Dari persamaan diatas diperoleh :

$$\frac{P_i - j Q_i}{v_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j, j \neq i \quad (4)$$

B. Metode Newton Raphson

Metode Newton Raphson adalah suatu metode penyelesaian yang dilakukan untuk memecahkan persamaan non-linier yang menggunakan pendekatan 1 titik awal yang mempertimbangkan slope atau gradiennya. Titik pendekatan dinyatakan sebagai berikut [2]:

$$X_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (5)$$

Algoritma dalam melakukan simulasi Metode Newton-Raphson

1. Mendefinisikan f(x) dan f'(x) pada kasus
2. Menentukan toleransi e dan iterasi maksimal (N)

3. Menentukan tebakan awal x_0
4. Menghitung $f(x_0)$ dan $f'(x_0)$ pada kasus
5. Untuk iterasi $i = 1$ s/d N atau $|f(x)| \geq \epsilon$ hitung x menggunakan persamaan diatas
6. Akar persamaan merupakan nilai x_i terakhir yang diperoleh.

C. Drop Tegangan

Drop tegangan atau jatuh tegangan adalah tegangan yang hilang pada saluran di mana berbanding terbalik dengan luas penampang saluran dan berbanding lurus dengan panjang saluran penghantar. Jatuh tegangan menggunakan besaran persen atau volt. Standar PLN untuk jatuh tegangan maksimum memiliki toleransi +5% dan minimum -10% [9]. Untuk itu dalam melakukan perancangan dan permodelan sistem tenaga listrik harus dibuat jatuh tegangan pada saluran terima maksimal 10%. Tegangan jatuh diakibatkan oleh tegangan yang hilang yang disebabkan tahanan (R) dan reaktansi (X) pada saluran antar bus [6]. Drop tegangan atau Regulasi Tegangan VR (voltage regulation)

$$V_R = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \tag{6}$$

Di mana :

V_s : tegangan ujung pengiriman

V_r : tegangan ujung Penerimaan

A. Faktor Daya

Faktor daya dapat diartikan dengan cosinus sudut di mana terletak di antara persimpangan 0 (zero-crossing) tegangan dan persimpangan 0 arus, di mana 0 tegangan adalah acuan. Faktor daya dinyatakan untuk pembagian antara daya aktif (P) dan daya semu (S) [8].

$$\text{Faktor Daya} = \frac{(P)}{(S)} \tag{7}$$

Faktor Daya standar PLN memiliki besaran 85% / 0,85 (SPLN 70-1). Salah satu cara untuk memeperbaiki Faktor daya dilakukan dengan pemasangan Kapasitor bank untuk perbaikan nilai faktor daya. Nilai dalam faktor daya ditentukan oleh kapasitas nilai kapasitor yang dipasang (dalam kVAR) [8].

III. METODE PENELITIAN

A. Data 14 Bus IEEE

Data yang digunakan adalah data 14 bus IEEE dari datasheet IEEE. Data sistem jaringan listrik 14 bus tersebut dimodifikasi dari segi saluran yang digunakan dan datasheet pembangkitan, pembebanan, tegangan dan sudut fasa yang digunakan.

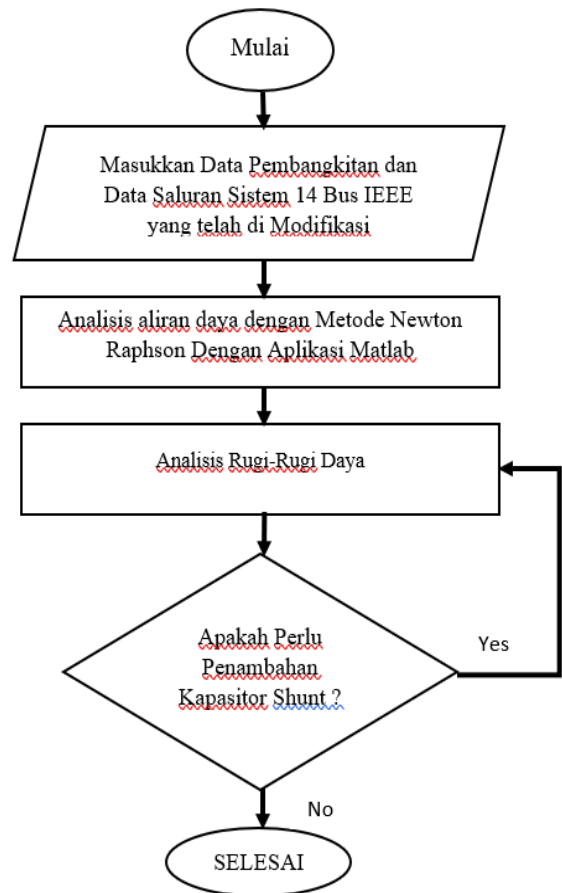
B. Analisis Aliran Daya

Analisis aliran daya untuk pengolahannya kami menggunakan metode Newton Raphson. Dalam pengolahan data dengan menggunakan metode Newton Raphson didapatkan keunggulan dibandingkan dengan metode lainnya seperti perhitungan komputasinya yang lebih cepat dalam pengolahan datanya, dapat digunakan dengan banyak bus dan beban, dan

memiliki nilai yang lebih akurat. Perhitungan komputasi yang lebih cepat dengan menggunakan metode Newton Raphson didapatkan karena iterasi yang digunakan lebih sedikit dan nilai ketidakcocokan daya maksimumnya mendekati angka 0 dibandingkan dengan metode lainnya. Oleh karena itu menganalisis aliran daya dengan metode Newton Raphson lebih efektif dan akurat pada perhitungan aliran daya pada sistem tenaga listrik. Analisis yang dilakukan berupa simulasi menggunakan aplikasi Matlab R2013a. Hasil aliran daya ini nantinya akan dianalisis apakah aliran daya listrik pada sistem jaringan listrik telah baik atau tidak.

C. Analisis Rugi-Rugi Daya

Analisis rugi daya didasarkan pada jumlah beban yang digunakan apakah sebanding dengan daya yang dibangkitkan. Selain itu juga dapat dilihat hasil simulasi apakah telah terjadi rugi daya pada saluran antara bus 1 dengan bus lainnya, dilihat juga faktor daya dan drop tegangan yang terjadi pada setiap busnya apakah telah memenuhi standar PLN atau tidak. Kemudian dilihat hasil rugi daya yang terjadi pada sistem apakah rugi daya pada system memiliki nilai rugi daya di bawah toleransi standar PLN +5% jika telah memenuhi standar maka tidak perlu dilakukan penambahan kapasitor shunt pada sistem.

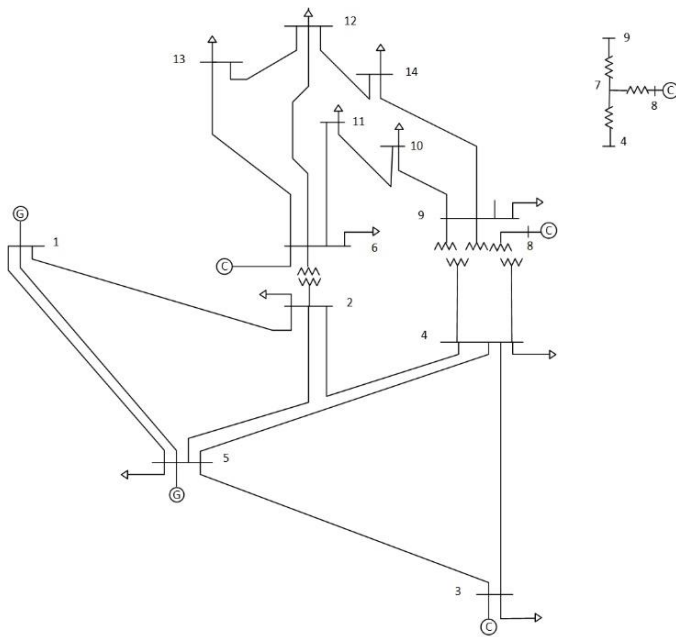


Gambar 1. Flowchart penyelesaian analisis aliran daya

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Aliran Daya Dengan Metode Newton Raphson

Model saluran ini adalah data dari 14-bus IEEE yang telah dimodifikasi (*modified*). Data tersebut terdiri dari 14 bus, 20 saluran, 1 *slack bus*, dan 3 pusat pembangkit. *Single line diagram* untuk sistem 14 bus IEEE sebagai berikut.



Gambar 2. Sistem jaringan listrik 14 bus IEEE modifikasi

Data bus yang dipakai adalah data standar IEEE 14 bus yang telah dilakukan modifikasi pada *datasheet*. Dari data yang telah dimodifikasi terdapat jumlah Beban yang digunakan adalah 519,3315 MW dan 110,8422 MVAR serta untuk pembangkitannya sendiri dilakukan pembangkitan dengan 544,9545 MW dan 193,6587 MVAR. Data untuk 14 Bus sebagai berikut pada [Tabel 1](#) dan [Tabel 2](#) [4] [5] :

TABEL 1
DATA 14 BUS IEEE SETELAH MODIFIKASI

Bus	Code Bus	Volt. Mag.	Angle Degrees	Load		Generator				Injected MVAR
				MW	MVAR	MW	MVAR	Qmin	Qmax	
1	1	1.06	0	0	0	256.0725	-1.6807	0	0	0
2	0	0.9854	-11.8971	31.671	5.13	0	0	0	0	0
3	2	1.01	-9.3349	81.324	17.5788	76.7205	12.2635	0	0	0
4	0	0.9804	-12.9595	69.4575	14.2614	0	0	0	0	0
5	2	1.045	-4.9026	55.9305	10.5678	112.7205	71.3776	0	0	0
6	2	1.05	-24.3116	37.1385	6.8058	58.7205	75.272	0	0	0
7	0	1.0332	-19.1788	0	0	0	0	0	0	0
8	2	1.09	-15.5272	0	0	40.7205	36.4263	0	0	0
9	0	1.0234	-24.814	59.4135	10.2942	0	0	0	0	0
10	0	1.0092	-26.4572	35.964	6.6006	0	0	0	0	0
11	0	1.0163	-26.6465	28.755	9.4734	0	0	0	0	0
12	0	1.009	-27.6529	41.3505	9.234	0	0	0	0	0
13	0	0.9997	-27.288	28.998	17.0658	0	0	0	0	0
14	0	0.9712	-30.239	49.329	3.8304	0	0	0	0	0
Total				519.3315 MW	110.8422 MVAR	544.9545 MW	193.6587 MVAR	0	0	0

TABEL 2
DATA SALURAN 14 BUS SETELAH MODIFIKASI

Bus Pengirim	Bus Penerima	R (p.u)	X (p.u)	Half Susceptance	Transformer Tap
1	2	0.05403	0.22304	0.0246	1
1	5	0.01938	0.05917	0.0264	1
5	3	0.04699	0.19797	0.0219	1
5	4	0.05811	0.17632	0.0187	1
5	2	0.05695	0.17388	0.017	1
3	4	0.06701	0.17103	0.0173	1
4	2	0.01335	0.04211	0.0064	1
4	7	0	0.20912	0	0.978
4	9	0	0.55618	0	0.969
2	6	0	0.25202	0	0.932
6	11	0.09498	0.1989	0	1
6	13	0.12291	0.25581	0	1
6	12	0.06615	0.13027	0	1
7	8	0	0.17615	0	1
7	9	0	0.11001	0	1
9	10	0.03181	0.0845	0	1
9	14	0.12711	0.27038	0	1
10	11	0.08205	0.19207	0	1
13	12	0.22092	0.19988	0	1
12	14	0.17093	0.34802	0	1

Dalam melakukan pengolahan data tersebut digunakan metode *Newton Raphson* dalam mengolahnya. Analisis saluran aliran daya dengan metode *Newton Raphson* yang telah dilakukan simulasi didapatkan sejumlah iterasi, daya maksimum ketidakcocokan dan hasil rugi daya aktif serta daya reaktif pada sistem tenaga listrik 14 Bus. Hasil simulasinya pada [Gambar 3](#), [Gambar 4](#) dan [Gambar 5](#) sebagai berikut.

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method
Maximum Power Mismatch = 8.53825e-06
No. of Iterations = 3

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.060	0.000	0.000	0.000	256.898	1.045	0.000
2	0.979	-11.886	31.671	5.130	0.000	0.000	0.000
3	1.010	-9.397	81.324	17.579	76.721	14.860	0.000
4	0.974	-12.934	69.457	14.261	0.000	0.000	0.000
5	1.045	-4.930	55.931	10.568	112.721	78.769	0.000
6	1.050	-24.776	37.139	6.806	58.721	74.037	0.000
7	1.017	-19.257	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	1.090	-15.548	0.000	0.000	40.721	46.435	0.000
9	0.993	-25.141	59.413	10.294	0.000	0.000	0.000
10	0.980	-26.905	35.964	6.601	0.000	0.000	0.000
11	0.991	-27.156	28.755	9.473	0.000	0.000	0.000
12	0.986	-28.245	41.350	9.234	0.000	0.000	0.000
13	0.977	-27.880	28.998	17.066	0.000	0.000	0.000
14	0.942	-30.935	49.329	3.830	0.000	0.000	0.000
Total			519.332	110.842	545.780	215.146	0.000

Gambar 3. Hasil simulasi perhitungan aliran daya dengan metode Newton Raphson

Line Flow and Losses

--Line-- from to	Power at bus & line flow			--Line loss--		Transformer tap
	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	
1	256.898	1.045	256.900			
5	155.292	-20.032	156.579	4.210	7.004	
2	101.607	21.077	103.770	5.238	16.500	
2	-31.671	-5.130	32.084			
1	-96.369	-4.577	96.478	5.238	16.500	
5	-74.058	-10.184	74.755	3.302	6.596	
4	41.124	-1.592	41.155	0.236	-0.477	
6	97.632	11.223	98.275	0.000	22.058	0.932
3	-4.603	-2.718	5.346			
5	-42.958	-8.274	43.748	0.867	-0.973	
4	38.355	5.556	38.755	1.002	-0.850	
4	-69.457	-14.261	70.907			
5	-82.493	-8.177	82.898	4.193	8.908	
3	-37.353	-6.406	37.898	1.002	-0.850	
2	-40.889	1.115	40.904	0.236	-0.477	
7	53.349	-7.134	53.824	0.000	6.108	0.978
9	37.929	6.340	38.455	0.000	8.140	0.969
5	56.790	68.202	88.750			
1	-151.082	27.035	153.482	4.210	7.004	
3	43.825	7.301	44.429	0.867	-0.973	
4	86.687	17.085	88.354	4.193	8.908	
2	77.361	16.781	79.160	3.302	6.596	
6	21.582	67.231	70.610			
2	-97.632	10.834	98.231	0.000	22.058	
11	30.010	17.346	34.663	1.035	2.168	
13	29.536	16.263	33.718	1.267	2.638	
12	59.668	22.789	63.871	2.448	4.820	

Gambar 4. Hasil simulasi perhitungan aliran dan rugi daya dengan metode Newton Raphson

7	0.000	0.000	0.000			
4	-53.349	13.242	54.968	0.000	6.108	
8	-40.720	-40.780	57.630	0.000	5.655	
9	94.069	27.539	98.017	0.000	10.217	
8	40.721	46.435	61.761			
7	40.720	46.435	61.761	0.000	5.655	
9	-59.413	-10.294	60.299			
4	-37.929	1.800	37.972	0.000	8.140	
7	-94.069	-17.322	95.651	0.000	10.217	
10	36.196	2.087	36.256	0.424	1.128	
14	36.389	3.141	36.524	1.721	3.661	
10	-35.964	-6.601	36.565			
9	-35.771	-0.959	35.784	0.424	1.128	
11	-0.193	-5.641	5.645	0.027	0.064	
11	-28.755	-9.473	30.275			
6	-28.975	-15.179	32.710	1.035	2.168	
10	0.220	5.705	5.709	0.027	0.064	
12	-41.350	-9.234	42.369			
6	-57.220	-17.969	59.975	2.448	4.820	
13	0.758	3.467	3.548	0.029	0.026	
14	15.112	5.268	16.004	0.450	0.917	
13	-28.998	-17.066	33.647			
6	-28.269	-13.625	31.381	1.267	2.638	
12	-0.729	-3.441	3.517	0.029	0.026	
14	-49.329	-3.830	49.477			
9	-34.668	0.521	34.671	1.721	3.661	
12	-14.661	-4.351	15.293	0.450	0.917	
Total loss				26.449	104.307	

Gambar 5. Hasil simulasi perhitungan aliran dan rugi daya dengan metode Newton Raphson

Dari pengolahan data yang telah dilakukan dengan simulasi aliran daya sistem jaringan listrik 14 bus IEEE modifikasi dapat dilihat hasil aliran daya simulasinya dengan metode Newton Raphson didapatkan jumlah iterasi yaitu berjumlah 3 iterasi sedangkan untuk nilai ketidakcocokan daya maksimumnya sebesar $8,53825e^{-6}$. Dari sini dapat dilihat bahwa nilai iterasi yang dihasilkan cukup sedikit dan pengolahan data untuk simulasi terbilang cepat dibuktikan dengan iterasi yang dihasilkan hanya 3 iterasi. Untuk nilai akurasi cukup akurat karena nilai ketidakcocokan daya maksimumnya mendekati angka 0.

Untuk rugi daya pada setiap bus bisa dilihat melalui Gambar 4 dan Gambar 5 di mana hasil simulasi aliran daya pada saluran 14 bus IEEE Modifikasi dengan metode Newton Raphson menghasilkan hilangnya daya aktif dan reaktif sebesar 26,449 MW dan 104,307 MVAR.

B. Analisis Rugi-Rugi Daya

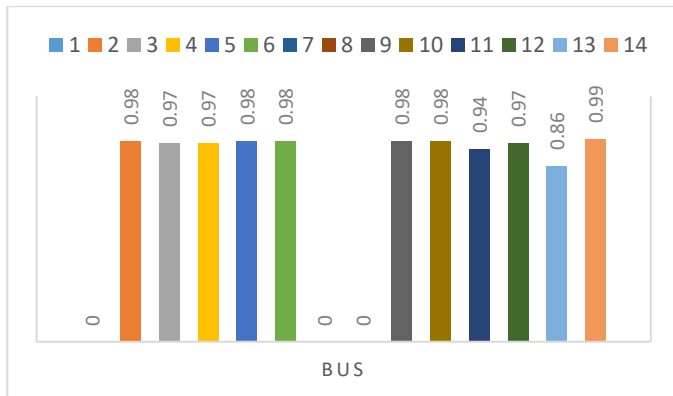
Rugi daya terjadi akibat beberapa faktor seperti drop tegangan tidak standar, profile tegangan yang buruk, dan faktor daya yang tidak sesuai dari Bus. Hasil rugi daya dan drop tegangan setiap busnya dapat dilihat melalui Tabel 3 sebagai berikut.

TABEL 3
RUGI DAYA DAN DROP TEGANGAN PADA BUS SALURAN 14 BUS IEEE MODIFIKASI

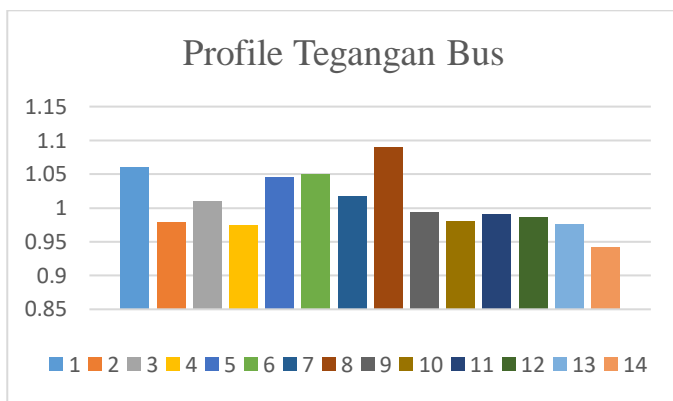
Bus Pengirim	Bus Penerima	P _{Loss}	Q _{Loss}	Drop Tegangan Antar Saluran
1	2	5,238	16,500	9,05 %
1	5	4,210	7,004	1,43 %
5	3	0,867	-0,973	3,46 %
5	4	4,193	8,908	7,95 %
5	2	3,302	6,596	7,5 %
3	4	1,002	-0,850	4,33 %
4	2	0,236	-0,477	-0,411 %
4	7	0	6,108	-4,44 %
4	9	0	8,140	-2,02 %
2	6	0	22,058	-7,42 %
6	11	1,035	2,168	6,27 %
6	13	1,267	2,638	8,92 %
6	12	2,448	4,820	7,03 %
7	8	0	5,655	-7,06 %
7	9	0	10,217	2,53 %
9	10	0,424	1,128	1,43 %
9	14	1,721	3,661	5,55 %
10	11	0,027	0,064	-1,41 %
13	12	0,029	0,026	-1,73 %
12	14	0,45	0,917	4,8 %
Total		26,449 MW	104,307 MVAR	

Untuk saluran yang mengalami rugi-rugi daya yang paling besar kerugiannya untuk rugi daya aktif berada pada saluran bus 1-2 dengan kerugian 5,238 MW dan untuk kerugian daya reaktif yang paling besar berada pada saluran bus 2-6 dengan kerugian mencapai 22,058 MVAR. Drop tegangan yang tidak standard dapat terjadi apabila telah mencapai nilai persentase +5% dan -10% dari tegangan jatuh nominal. Sehingga yang mengalami drop tegangan berada pada saluran 1-2, 5-4, 5-2, 6-11, 6-13, 6-12, dan 9-14. Untuk drop tegangannya paling besar berada pada

saluran bus 1-2 yaitu sekitar 8,27%. Drop tegangan ini terjadi akibat nilai resistansi (R) dan reaktansi (X) pada saluran.



Gambar 6. Grafik faktor daya pada setiap bus



Gambar 7. Grafik profile tegangan

Dari simulasi aliran daya dengan metode Newton Raphson didapatkan sebuah gambar grafik faktor daya setiap bus pada Gambar 6. Menurut Standar PLN nilai faktor daya sebesar > 85% (SPLN 70-1) sedangkan untuk faktor daya pada sistem tenaga listrik 14 bus memiliki nilai yang relatif stabil dan mendekati angka 1 atau > 85%. Sehingga faktor daya pada sistem tenaga listrik 14 bus Modifikasi dapat dikatakan telah memenuhi standar PLN karena telah melebihi dan melewati dari standar yang telah ditetapkan oleh standar PLN.

Dari simulasi aliran daya didapatkan hasil profile tegangan pada setiap bus seperti pada Gambar 7. Pada profile tegangan tersebut terjadi ketidakseimbangan di antara profile tegangan setiap busnya dikarenakan beban yang digunakan berbeda dan faktor lainnya. Profile tegangan terbesar pada sistem tenaga listrik 14 bus terjadi pada bus 8 sebesar 1,09 pu dan profile tegangan terkecil terjadi pada bus 14 sebesar 0,942 pu.

Dari kedua parameter tersebut faktor daya dan profile tegangan maka dapat dikatakan bahwa rugi daya cukup besar terletak pada bus 13 dan 14 pada sistem tenaga listrik 14 bus modifikasi. Rugi-rugi daya terjadi karena nilai faktor daya yang kecil dan nilai profile tegangan yang buruk atau kecil.

$$P_{\text{pembangkitan}} = 545,780 \text{ MW}$$

$$Q_{\text{pembangkitan}} = 215,146 \text{ MVAR}$$

$$P_{\text{Beban}} = 519,3315 \text{ MW}$$

$$Q_{\text{Beban}} = 110,8422 \text{ MVAR}$$

$$S = V \times I \tag{8}$$

$$P = S \times \text{Cos } \phi \tag{9}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{10}$$

$$S_{\text{pembangkitan}} = 586,65 \text{ MVA}$$

$$S_{\text{Beban}} = 531,02 \text{ MVA}$$

$$S_{\text{pembangkitan}} > S_{\text{Beban}}$$

$$\text{Cos } \phi = \frac{P}{S} \tag{11}$$

$$\text{Cos } \phi = \frac{545,780}{586,65} = 0,93 \text{ (Faktor daya pembangkitan/sumber)}$$

$$\text{Cos } \phi = \frac{519,3315}{531,02} = 0,97 \text{ (Faktor daya pembebanan)}$$

$$\text{Daya pembangkitan} = 545,780 \text{ MW}$$

$$\text{Rugi daya} = 26,449 \text{ MW}$$

$$\% \text{Rugi-rugi daya} = \frac{\text{Rugi Daya}}{\text{Daya Pembangkitan}} \times 100\% \tag{12}$$

$$\% \text{Rugi-rugi daya} = 4,84 \%$$

Dapat dilihat bahwa daya semu pembangkit lebih besar dari daya semu beban artinya tidak terjadi *overload* atau kelebihan beban. Menurut SPLN No 1 tahun 1995 rugi-rugi daya memiliki standar toleransi maksimum +5%. Untuk rugi daya aktif sendiri sudah memenuhi standar PLN yaitu 4,84% sehingga dapat dikatakan bahwa tidak perlu dilakukan penambahan kapasitor shunt untuk mengurangi rugi daya karena telah memenuhi standar PLN dan sistem tenaga listrik telah optimal. Sedangkan untuk faktor dayanya sudah dapat dikatakan optimal karena faktor daya telah mendekati angka 1 sehingga untuk sistem jaringan listrik 14 bus modifikasi sudah optimal dari sisi rugi daya dan faktor daya sistem secara keseluruhan.

KESIMPULAN

1. Hasil analisis aliran daya system 14 bus IEEE modifikasi dengan metode Newton Raphson didapatkan hasil rugi daya 26,449 MW dan 104,307 MVAR
2. Rugi daya pada system 14 bus modifikasi memiliki persentase rugi-rugi daya aktif 4,84% dan masih dalam standar PLN.
3. Hasil analisis aliran daya pada sistem jaringan listrik 14 bus IEEE modifikasi dengan metode Newton Raphson didapatkan hasil rugi-rugi daya aktif antar saluran yang paling besar berada pada saluran 1-2 dengan rugi-rugi daya 5,238 MW.
4. Hasil rugi daya reaktif saluran yang paling besar pada 14 bus berada pada saluran 2-6 dengan besar 22,058 MVAR.
5. Drop tegangan terbesar pada sistem 14 bus terletak pada saluran bus 1-2 dengan besar 8,27 % dan drop tegangan terkecil pada saluran bus 7-8 dengan drop tegangan - 6,69%.
6. Sistem jaringan listrik 14 bus IEEE modifikasi memiliki nilai faktor daya yang sesuai dengan standar PLN.

7. Sistem jaringan listrik 14 bus IEEE modifikasi memiliki nilai faktor daya yang kecil pada bus 13 dan *profile* tegangan yang buruk pada bus 14.
8. Rugi-rugi daya pada sistem jaringan listrik 14 bus IEEE modifikasi memiliki rugi-rugi daya yang relatif kecil dilihat dari sisi pembangkitan, pembebanan, faktor daya pada sistem jaringan listrik serta *profile* tegangan.
9. Tidak perlu dilakukan penambahan kapasitor shunt untuk memperbaiki faktor daya pada sistem jaringan listrik karena faktor daya pada sistem jaringan listrik telah mendekati angka 1 secara keseluruhan.

REFERENSI

- [1] W. D. Stevenson Jr, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Translated Ir. Idris Kamal, Jakarta: Erlangga, 1984.
- [2] Ainul Yaqin. *Studi Aliran Daya Sistem Distribusi Radial Tiga Fasa Metode Newton-Raphson Untuk Memperbaiki Profil Tegangan Menggunakan Rekonfigurasi Jaringan Dan Penempatan Kapasitor Bank*. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015
- [3] H. Saadat, *Power System Analysis second edition*, Singapore: McGraw Hill Education (Asia), 2004.
- [4] M.W. Mustafa, M. H. Sulaiman, H. Shareef, and S. N. A. Khalid, "Transmission loss allocation in deregulated power system using the hybrid genetic algorithm-support Vector Machine technique," *Cyber Journals: Multidisciplinary Journals in Science and Technology*, January, 2011.
- [5] P. Srikanth, O. Rajendra, A. Yesuraj, M. Tilak, and K. Raja. "Load flow analysis of IEEE14 bus system using MATLAB," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* vol. 2 no. 5, May 2013.
- [6] I. M. A. Mahardiananta, P. A. R. Arimbawa, and D. A. S. Santiari, "Perhitungan drop tegangan sistem distribusi menggunakan metode aliran daya," *Jurnal Resistor*, vol 3, no. 1, 2020.
- [7] M. Jesuli, R. Gianto, and I. Arsyad. "Pengaruh pembangkit tersebar terhadap tegangan dan rugi-rugi daya sistem distribusi tenaga listrik," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjung Pura*, vol 1, no. 1, 2021.
- [8] W. Adhawi A., O. Penangsang, and A. Soeprijanto. *Analisis Power Quality Pada Sistem Kelistrikan PT. Indopipe Polyplast*. Undergraduate paper, ITS.
- [9] *SPLN No. 1. 1995. Tegangan-Tegangan Standar*. Jakarta: Perusahaan Umum Listrik Negara.