

Profil Tegangan Beban Tidak Seimbang Pada Jaringan Distribusi Dengan Metode Pendekatan Langsung

Rafli Guswandri¹, Dian Yayan Sukma²

Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia

Email: rafli.guswandri@student.unri.ac.id; dianyayan.sukma@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

Radial distribution network has a load imbalance due to be connected directly to the consumer, so that the voltage and voltage drop is not the same thing for each phase. Several methods are utilized to analyze power flow such as; Newton Rapson and fast Decouple. The method uses the assumption of balanced load in each phase. In this study, the direct approach method will be analyzed for loads that are not balanced in the distribution system. This direct approach method have been carried out on feeders 20 kV Adi Sucipto PT. PLN (Persero) in Pekanbaru. The simulation results have shown the value of accuray with a fairly good average. The final results obtained are reflected in the value of Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 2.5% of the measurement voltage.

Keywords: distribution system, direct approach, feeders, voltage drop, MAPE

I. PENDAHULUAN

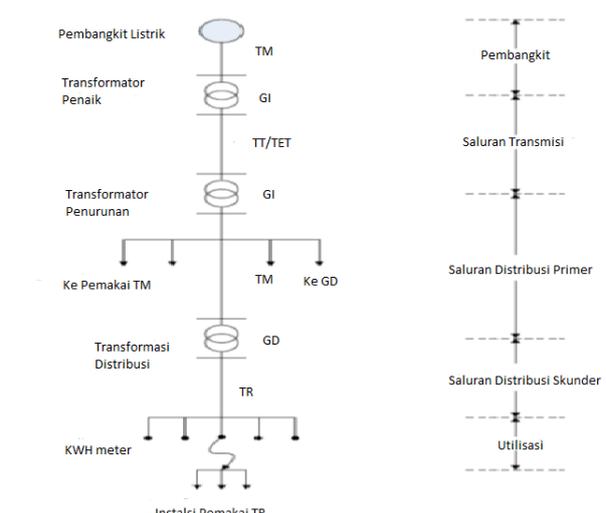
Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem penyaluran daya listrik yang memiliki parameter dan karakteristik yang berbeda dengan sistem transmisi. Hal ini disebabkan sistem distribusi langsung terhubung dengan beban, sehingga tingkat ketidakseimbangan sistem tiga fasa sangat besar. Selain itu sistem distribusi yang umumnya radial memiliki jumlah cabang yang sangat banyak. Metode *Gauss Seidel*, *Newton Rapson* serta *Fast-decouple*, pada umumnya merupakan metode yang digunakan pada sistem transmisi. Dengan perbedaan tersebut maka metode aliran daya yang ada pada sistem transmisi bisa menjadi gagal jika diterapkan pada sistem distribusi. Maka dibutuhkan metode untuk menganalisis aliran daya tidak seimbang yang akurat dan sesuai dengan karakteristik sistem distribusi.

Pada penelitian ini akan menggunakan metode Pendekatan Langsung yang dapat menghitung tegangan setiap fasa di jaringan dan bus, sehingga perhitungan *loses* menjadi lebih akurat. Tujuannya adalah untuk memperoleh profil tegangan masing-masing fasa di setiap bus. Selain itu metode ini juga sesuai dengan karakteristik sistem distribusi yang radial dan sistem tiga fasa yang tidak seimbang.

II. DASAR TEORI

Sistem distribusi berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik menuju sampai ke

konsumen. Jadi fungsi dari sistem saluran distribusi adalah: 1) Sebagai pembagi atau penyalur tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 2) merupakan sebagai sub sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan pelanggan.

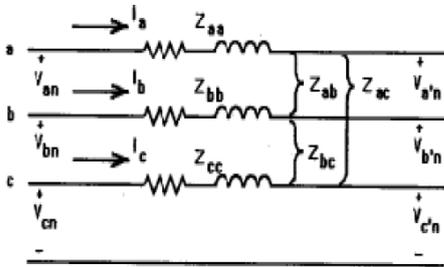


Gambar 1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik.

Persamaan Carson (Carson's Equation)

Model saluran tiga fasa antara bus i dan bus j dapat diperlihatkan pada gambar 2 berikut. Parameter saluran

dapat ditentukan dari suatu metode yang dikembangkan oleh Carson dan Lewis 4x4 matrik diri dan mutual kopling dari saluran tiga fasa dapat diperlihatkan pada matrik di bawah



Gambar 2. Pemodelan Saluran 3 Fasa

Tegangan pada sisi terima untuk pemodelan saluran tersebut dapat ditulis pada persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{a'n} \\ V_{b'n} \\ V_{c'n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

Persamaan diatas dapat ditulis ulang dengan persamaan berikut:

$$[V_{abc}] = [V'_{abc}] + [Z_{abc}] [I_{abc}] \quad (2)$$

Pada (2.5), Z_{abc} mengacu pada matrik impedansi fasa. Elemen matrik dapat ditentukan dari suatu persamaan Carson dan kemudian disederhanakan dengan reduksi kron. Formula yang dimodifikasi dari suatu persamaan Carson diberikan sebagai berikut:

$$z_{ii} = r_i + 9,8696 \times 10^{-4} \cdot f + j1,2566 \times 10^{-3} \cdot f \left(\ln \frac{1}{GMR} + 6,4905 + \frac{1}{2} \ln \frac{\rho}{f} \right) \Omega / km \quad (3)$$

$$z_{ij} = 9,8696 \times 10^{-4} \cdot f + j1,2566 \times 10^{-3} \cdot f \left(\ln \frac{1}{D_{ij}} + 6,4905 + \frac{1}{2} \ln \frac{\rho}{f} \right) \Omega / mi \quad (4)$$

Dimana i r adalah resistansi konduktor (*ohm/mile*), i GMR *geometric mean radius* (ft), dan ij D adalah jarak antara konduktor i dan j (ft). Aplikasi dari (3) dan (4) adalah saluran tiga fasa empat kawat dengan salah satunya merupakan kawat netral, dari saluran tersebut akan menghasilkan matrik impedansi primitif 4x4.

$$[Z_{Pr}] = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{an} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bn} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cn} \\ Z_{na} & Z_{nb} & Z_{nc} & Z_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Matrik ini kemudian direduksi menjadi matrik 3x3 dengan menggunakan reduksi kron dimana tiap elemennya dari matrik impedansi fasa diberikan melalui persamaan berikut:

$$Z_{ij} = z_{ij} - z_{in} z_{jn} / z_{nn} \quad (6)$$

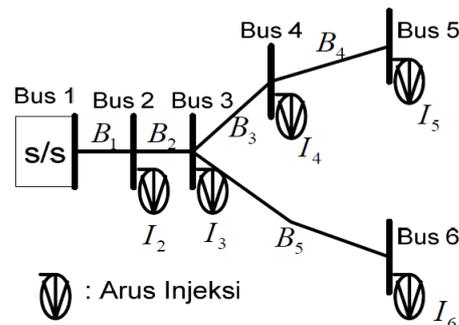
Ketika persamaan (23) dan (24) ditampilkan pada saluran udara tiga fasa atau saluran bawah tanah yang terdiri dari n ekivalen fasa dan konduktor netral, hasil dari matrik impedansi primitif akan menjadi matrik $n \times n$. Matrik ini kemudian direduksi menjadi matrik impedansi fasa 3 x 3 dengan mempartisi baris dan kolom fasa c serta baris dan kolom netral. Reduksi kron dalam partisi diberikan dengan persamaan berikut:

$$[Z_{abc}] = [Z_{abc}] - [Z_{an}] [Z_{nn}]^{-1} [Z_{na}] \quad (7)$$

Sistem Distribusi Primer

Sistem distribusi primer merupakan penyalur tenaga listrik dari Gardu Induk distribusi menuju ke pusat-pusat beban. Pada saluran ini dapat digunakan di saluran udara, saluran kabel udara, dan saluran kabel tanah, sesuai dengan tingkat keandalan yang dibutuhkan dan kondisi lingkungan.

Penggambaran saluran distribusi primer dengan lebih sederhana dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3. Saluran Distribusi Sederhana

Aliran Daya Tiga Fasa Dengan Metode Pendekatan Langsung

Metode pendekatan langsung berdasarkan topologi jaringan ini dikembangkan atas 2 matrik, yaitu: matrik bus injeksi terhadap arus pencabangan dan matrik arus cabang terhadap tegangan bus.

a. Matrik Injeksi Arus-Arus Cabang (BIBC)

Sistem distribusi sederhana ditunjukkan pada gambar 3 digunakan sebagai contoh pemecahan aliran daya sistem distribusi sederhana. Injeksi daya dapat dirubah dalam suatu ekuivalen injeksi arus, dan hubungan antara bus arus injeksi dan pencabangan arus dapat ditentukan berdasarkan hukum arus *Kirchhoff* (KCL) pada jaringan distribusi yaitu jumlah arus yang masuk sama dengan jumlah arus keluar [1]-[2]. Pencabangan arus dapat diformulasikan dalam suatu ekuivalen injeksi arus. Sebagai contoh, untuk pencabangan arus B_1 , B_2 dan B_5 dapat ditampilkan dalam satu injeksi arus:

$$\begin{aligned} B_1 &= I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \\ B_3 &= I_4 + I_5 \\ B_5 &= I_6 \end{aligned} \quad (12)$$

Oleh karena itu hubungan antara bus injeksi arus dan pencabangan arus dapat ditampilkan dari matrik berikut.

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Persamaan diatas dapat ditampilkan dalam suatu persamaan umum

$$[B] = [BIBC][I] \quad (14)$$

Dimana BIBC adalah matrik bus injeksi terhadap pencabangan arus. Konstanta matrik BIBC adalah sisi atas dari matrik segitiga yang hanya mengandung nilai 0 dan +1.

b. Matrik Arus Cabang-Tegangan Bus (BCBV)

Hubungan antara pencabangan arus dan tegangan bus seperti diperlihatkan pada gambar 3 dapat ditentukan berdasarkan (2.1) dan (3.4). Sebagai contoh, tegangan bus 2,3 dan 4 adalah

$$\begin{aligned} V_2 &= V_1 - B_1 Z_{12} \\ V_3 &= V_2 - B_2 Z_{23} \\ V_4 &= V_3 - B_3 Z_{34} \end{aligned} \quad (15)$$

Dimana i V adalah tegangan pada bus i dan ij Z adalah impedansi saluran antara bus i dan bus j . Dengan mensubstitusi persamaan ketiga persamaan, diperoleh:

$$V_4 = V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} - B_3 Z_{34} \quad (16)$$

Dari persamaan tersebut dapat dilihat bahwa tegangan bus dapat diekspresikan sebagai fungsi cabang arus, parameter saluran, dan tegangan tambahan. Dengan prosedur yang sama dapat ditampilkan kembali untuk bus yang lainnya sehingga hubungan antara arus cabang dan tegangan bus dapat diekspresikan dalam matrik berikut.

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Dimana BCBV adalah matrik arus cabang terhadap tegangan bus. Algoritma ini dapat dengan mudah diperluas untuk sistem saluran tiga fasa. Sebagai contoh jika saluran berada antara bus i dan bus j pada saluran tiga fasa, maka hubungan cabang arus i B menjadi vektor 3 x 1 sedangkan untuk matrik diagonal menjadi 3 x 3 matrik identik. Sama halnya untuk matrik BCBV yang berada antara bus i dan bus j pada sistem tiga fasa menjadi 3 x 3 matrik impedansi.

Matrik BIBC dan BCBV dapat dikembangkan berdasarkan struktur topologi sistem distribusi BIBC matrik Menampilkan hubungan antara bus injeksi arus dan arus cabang. Variasi hubungan arus cabang, dibangkitkan dari variasi bus injeksi arus yang dapat dikalkulasikan secara langsung dengan matrik BIBC. Matrik BCBV menampilkan hubungan antara arus cabang dan tegangan bus. Variasi hubungan tegangan bus, dibangkitkan dari variasi arus cabang yang dapat dikalkulasikan secara langsung dengan Matrik BCBV. Dengan menggabungkan (14) dan (18) kedua Matrik injeksi arus dan tegangan tersebut di dapat persamaan

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (18)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I]$$

Adapun Solusi Untuk distribusi aliran beban dapat ditentukan dengan persamaan dengan iterasi

$$I_i^k = I_i^k(V_i^k) + jI_i^i(V_i^k) = \left(\frac{P_1 - JQ_1}{V_2^*} \right) \quad (19)$$

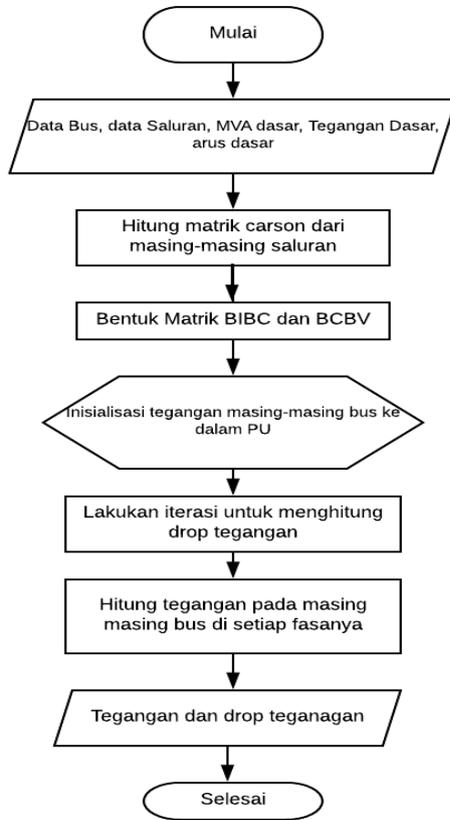
$$[\Delta V^{k+1}] = [DLF][I^k] \quad (20)$$

$$[V^{k+1}] = [V^0] - [\Delta V^{k+1}] \quad (21)$$

III. METODE PENELITIAN

Adapun sistem tenaga yang digunakan sebagai objek penelitian yaitu sistem tenaga pada PT. PLN (persero), yaitu saluran distribusi primer penyulang adi sucipto di Gardu induk garuda sakti. Sistem tersebut akan di analisis menggunakan metode pendekatan langsung. Adapun *flowchart* Algoritma menghitung aliran daya

dengan menggunakan metode pendekatan langsung dapat dilihat pada gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Flowchart Algoritma Metode pendekatan Langsung.

IV.HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Program untuk kondisi Radial 3 fasa

Untuk menguji kebenaran Program bagi sistem tiga fasa tidak seimbang dilakukan pengujian dengan sistem distribusi radial 66 trafo.

4.1.1. Data Sistem Distribusi Radial 66 Trafo.

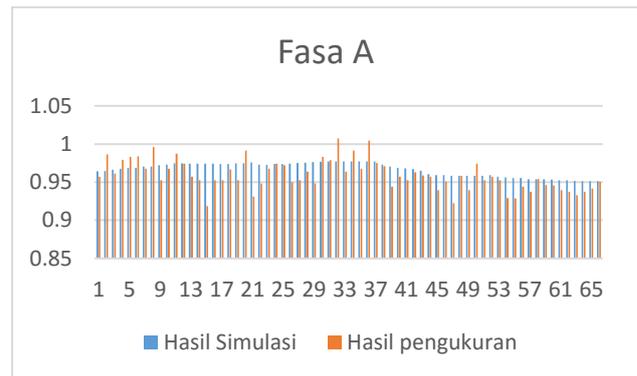
Data yang di gunakan untuk pengujian sistem distribusi radial tiga fasa tak seimbang berupa data tegangan line to netral yang didapat dari penyulang Adi sucipto dimana untuk pengujian data di lakukan mulai dari trafo 1. Untuk impedansi saluran diberikan dalam bentuk matrik 3 x 3.

4.1.2. Hasil dan Pembahasan sistem distribusi 66 Trafo.

Dalam analisa aliran daya sistem distribusi objek penyulang adi sucipto PT.PLN (persero). Untuk pengujian program ini menggunakan input data saluran, data bus, tegangan dasar sebesar 20 kV, Sedangkan untuk daya

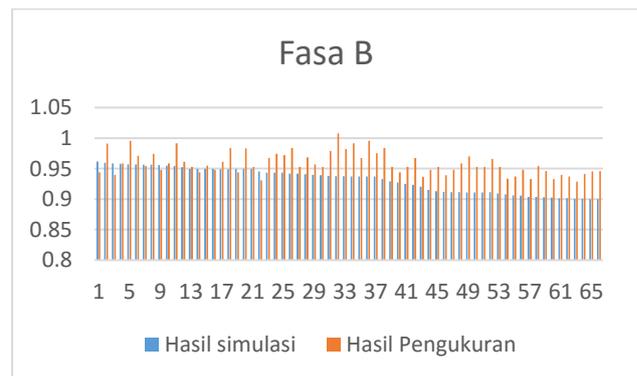
dasar adalah 50 MVA. Hasil dari pengujian tersebut didapat besar tegangan dalam nilai per unit. Untuk melihat ke akurasian simulasi dilakukan perbandingan antara hasil simulasi terhadap tegangan yang terukur di PT.PLN persero. Seperti yang terlihat pada gambar 5,6 dan 7.

Gambar 5 adalah grafik perbandingan hasil tegangan antara hasil simulasi metode pendekatan langsung dengan data pengukuran penyulang Adi sucipto PT. PLN (persero) di fasa A.



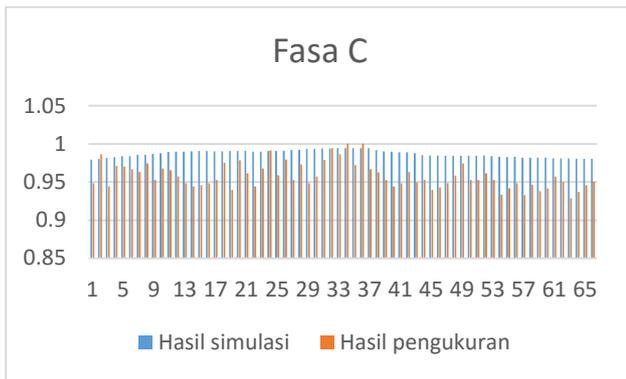
Gambar 5. Grafik perbandingan hasil simulasi terhadap data oengukuran di fasa A.

Gambar 6 adalah grafik perbandingan hasil tegangan antara hasil simulasi metode pendekatan langsung dengan data pengukuran penyulang Adi sucipto PT. PLN (persero) di fasa B.



Gambar 6. Grafik perbandingan hasil simulasi terhadap data oengukuran di fasa B.

Gambar 7 adalah grafik perbandingan hasil tegangan antara hasil simulasi metode pendekatan langsung dengan data pengukuran penyulang Adi sucipto PT. PLN (persero) di fasa C.



Gambar 7. Grafik perbandingan hasil simulasi terhadap data oengukuran di fasa C.

Dari grafik hasil tersebut dapat dilihat perbandingan antara hasil yang diperoleh dari program metode pendekatan langsung dan hasil pengukuran dari PLN.

4.1.3. Drop Tegangan Pada Masing – Masing Trafo di Setiap Fasa Penyulang Adi sucipto PT.PLN (persero).

Adapun hasil perhitungan drop tegangan pada penyulang adi sucipto dengan metode pendekatan langsung menggunakan matlab adalah seperti yang terlihat dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data drop tegangan setiap fasa pada masing-masing saluran dari hasil perhitungan

Bus	Tegangan Terhitung (PU)			Drop Tegangan (%)		
	Fasa A	Fasa B	Fasa C	Fasa A	Fasa B	Fasa C
1	1.00	1.00	1.00	0.00%	0.00%	0.00%
2	0.96	0.96	0.98	3.57%	3.85%	2.07%
3	0.96	0.96	0.98	3.53%	4.05%	1.99%
4	0.97	0.96	0.98	3.37%	4.13%	1.85%
5	0.97	0.96	0.98	3.37%	4.13%	1.84%
6	0.97	0.96	0.98	3.24%	4.22%	1.72%
7	0.97	0.96	0.98	3.24%	4.22%	1.72%
8	0.97	0.96	0.98	3.11%	4.31%	1.60%
9	0.97	0.96	0.98	3.11%	4.31%	1.60%
10	0.97	0.96	0.98	3.11%	4.31%	1.60%
11	0.97	0.96	0.99	2.97%	4.37%	1.46%
12	0.97	0.96	0.99	2.97%	4.37%	1.46%
13	0.97	0.96	0.99	2.97%	4.37%	1.46%
14	0.97	0.96	0.99	2.80%	4.41%	1.32%

Bus	Tegangan Terhitung (PU)			Drop Tegangan (%)		
	Fasa A	Fasa B	Fasa C	Fasa A	Fasa B	Fasa C
15	0.97	0.95	0.99	2.69%	4.52%	1.21%
16	0.97	0.95	0.99	2.70%	4.53%	1.21%
17	0.97	0.95	0.99	2.53%	4.55%	1.08%
18	0.97	0.95	0.99	2.53%	4.55%	1.08%
19	0.97	0.95	0.99	2.54%	4.76%	1.04%
20	0.97	0.95	0.99	2.56%	4.98%	1.01%
21	0.97	0.95	0.99	2.59%	5.02%	1.00%
22	0.97	0.95	0.99	2.58%	5.03%	0.98%
23	0.97	0.95	0.99	2.57%	5.04%	0.96%
24	0.97	0.95	0.99	2.57%	5.04%	0.95%
25	0.97	0.95	0.99	2.56%	5.03%	0.94%
26	0.97	0.95	0.99	2.55%	5.03%	0.94%
27	0.97	0.95	0.99	2.61%	5.09%	0.98%
28	0.97	0.95	0.99	2.61%	5.10%	0.98%
29	0.97	0.95	0.99	2.55%	5.03%	0.94%
30	0.97	0.95	0.99	2.54%	5.03%	0.94%
31	0.97	0.95	0.99	2.55%	5.04%	0.94%
32	0.98	0.95	0.99	2.42%	5.01%	0.90%
33	0.97	0.95	0.99	2.70%	5.46%	1.03%
34	0.97	0.94	0.99	2.72%	5.64%	1.01%
35	0.97	0.94	0.99	2.60%	5.68%	0.92%
36	0.97	0.94	0.99	2.60%	5.68%	0.92%
37	0.97	0.94	0.99	2.61%	5.68%	0.92%
38	0.97	0.94	0.99	2.59%	5.81%	0.89%
39	0.98	0.94	0.99	2.48%	5.84%	0.81%
40	0.98	0.94	0.99	2.43%	5.94%	0.76%
41	0.98	0.94	0.99	2.37%	6.02%	0.70%
42	0.98	0.94	0.99	2.32%	6.10%	0.64%
43	0.98	0.94	0.99	2.27%	6.19%	0.59%
44	0.98	0.94	0.99	2.29%	6.23%	0.59%
45	0.98	0.94	0.99	2.29%	6.26%	0.58%
46	0.98	0.94	0.99	2.27%	6.28%	0.57%
47	0.98	0.94	0.99	2.26%	6.29%	0.56%
48	0.98	0.94	0.99	2.26%	6.30%	0.55%

Bus	Tegangan Terhitung (PU)			Drop Tegangan (%)		
	Fasa A	Fasa B	Fasa C	Fasa A	Fasa B	Fasa C
49	0.98	0.94	0.99	2.26%	6.30%	0.54%
50	0.97	0.93	0.99	2.71%	6.73%	0.83%
51	0.97	0.93	0.99	2.97%	7.09%	0.97%
52	0.97	0.93	0.99	3.10%	7.30%	1.03%
53	0.97	0.92	0.99	3.22%	7.51%	1.09%
54	0.97	0.92	0.99	3.27%	7.65%	1.11%
55	0.96	0.92	0.99	3.50%	7.95%	1.22%
56	0.96	0.92	0.99	3.51%	7.96%	1.22%
57	0.96	0.91	0.99	3.97%	8.50%	1.48%
58	0.96	0.91	0.98	4.08%	8.68%	1.53%
59	0.96	0.91	0.98	4.07%	8.75%	1.51%
60	0.96	0.91	0.98	4.10%	8.79%	1.52%
61	0.96	0.91	0.98	4.16%	8.86%	1.55%
62	0.96	0.91	0.98	4.18%	8.88%	1.55%
63	0.96	0.91	0.98	4.17%	8.89%	1.55%
64	0.96	0.91	0.98	4.18%	8.91%	1.55%
65	0.96	0.91	0.98	4.18%	8.91%	1.55%
66	0.96	0.91	0.98	4.10%	8.85%	1.52%
67	0.96	0.91	0.98	4.28%	9.08%	1.62%
68	0.96	0.91	0.98	4.37%	9.24%	1.67%
69	0.96	0.91	0.98	4.45%	9.38%	1.72%
70	0.96	0.91	0.98	4.45%	9.42%	1.71%
71	0.95	0.90	0.98	4.60%	9.61%	1.80%
72	0.95	0.90	0.98	4.61%	9.63%	1.81%
73	0.95	0.90	0.98	4.61%	9.63%	1.80%
74	0.95	0.90	0.98	4.62%	9.65%	1.81%
75	0.95	0.90	0.98	4.64%	9.69%	1.82%
76	0.95	0.90	0.98	4.66%	9.73%	1.83%
77	0.95	0.90	0.98	4.75%	9.84%	1.88%
78	0.95	0.90	0.98	4.76%	9.86%	1.88%
79	0.95	0.90	0.98	4.82%	9.94%	1.91%
80	0.95	0.90	0.98	4.86%	9.98%	1.93%
81	0.95	0.90	0.98	4.88%	10.01%	1.96%
82	0.95	0.90	0.98	4.89%	10.01%	1.96%

Dari tabel 4.1 dapat dilihat tegangan dan persentase drop tegangan pada fasa A, B dan C. dari tabel tersebut terlihat drop tegangan semakin besar terjadi dari bus terdekat dengan feeder ke bus terjauh dari feeder. Drop tegangan terbesar untuk fasa A adalah sebesar 4,89 %, drop tegangan terbesar pada fasa B adalah sebesar 10,01% dan drop tegangan terbesar pada fasa C adalah sebesar 2,07 %.

V.KESIMPULAN

Dari hasil simulasi yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa akurasi rata-rata hasil simulasi cukup baik, dinyatakan dalam MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) sebesar 2,5 %. Range tegangan untuk fasa A adalah sebesar 0,9511 PU-0.9774 PU, pada fasa B adalah sebesar 0,899 PU- 0.9615 PU dan fasa C adalah sebesar 0,9793 PU-0,9946 PU. Dan drop tegangan terbesar terdapat pada fasa B sebesar 10,01%.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfredo, D. 2016. "*Analisa perhitungan susut daya dan energi dengan pendekatan kurva beban pada jaringan distribusi PT.PLN (Persero) Area Pekanbaru*". Skripsi. Universitas Riau. Pekanbaru.
- Babae, R.Ebrahimi,A. and M.Hoseynpoor. 2011." *Evaluation and Calculation of Overhead line impedance in Distribution Networks*".Australian Journal of Basic and Applied Sciences,Islamic Azad University,Iran.
- Golden,Boris et.al.2015." *Using the Mean Absolute Percentage Error for Regression Models*".
- Iriani, Silviana., 2008. *Studi aliran daya tiga fasa untuk sistem distribusi dengan metode pendekatan langsung*. Padang.
- Priambodo,Pungki. 2013." *Analisis Aliran Daya Tiga Fasa Tida Seimbang Menggunakan Metode K-Matrik dan Z_{BR} pada sistem Distribusi 20 kV Kota Surabaya*".Journal.Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).Surabaya.
- SPLN 64 1985.
- Stevenson,William D, JR 1983. "*Analisis Sistem Tenaga Listrik*".Edisi Keempat.Erlangga. Jakarta.