

Analisis Aliran Daya Menggunakan Metode *Fuzzy Logic* pada Sistem Listrik Sulbagsel

Harits Ghazy Ramadhan
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Indonesia
haritsramadhan67@gmail.com

Yusri Syam Akil
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Indonesia
yusakil@unhas.ac.id.

Indar Chaerah Gunadin
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Indonesia
indar@eng.unhas.ac.id

Abstract-- Analisis aliran daya pada sistem tenaga listrik merupakan suatu analisis yang bertujuan untuk mengetahui kondisi operasi kerja suatu sistem tenaga listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan fuzzy logic dalam analisis aliran daya dengan study kasus sistem listrik Sulawesi Bagian Selatan (Sulbagsel). Untuk mencapai tujuan penelitian, Newton Raphson digunakan sebagai basis untuk mengatur program fuzzy logic dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Pengimplementasian fuzzy logic memerlukan beberapa tahapan yakni menentukan masukan dan keluaran, menentukan membership-function, menentukan rules base, tahapan inferensi yang menggunakan metode Mamdani. Mengacu nilai aliran daya dengan metode Newton Raphson, hasil menunjukkan fuzzy logic bekerja secara baik dengan rata-rata nilai MAPE rugi-rugi daya sebesar 4.134%. Waktu komputasi dengan fuzzy logic sebesar 136.3660 ms sedangkan metode Newton Raphson membutuhkan waktu 192.9577 ms.

Keywords— Aliran daya, sistem tenaga listrik, fuzzy logic, tegangan, rugi-rugi daya

I. PENDAHULUAN

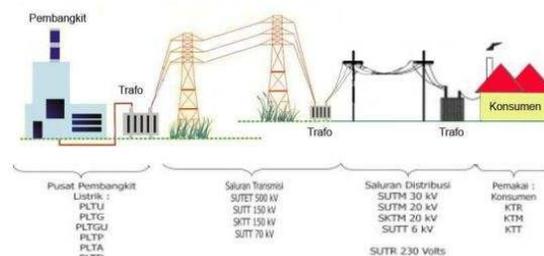
Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok bagi manusia di dunia. Kebutuhan akan energi listrik semakin tahun semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan semakin berkembangnya teknologi. Dengan meningkatnya penduduk dan semakin berkembangnya teknologi menyebabkan energi listrik yang akan di suplai oleh pembangkit menjadi sangat besar sehingga tidak akan mungkin hanya menggunakan satu unit pembangkit yang beroperasi. Hal ini membuat dibutuhkan beberapa unit pembangkit dalam satu sistem tenaga listrik yang saling terinterkoneksi untuk dapat memenuhi kebutuhan beban tersebut. Sistem tenaga listrik dikatakan beroperasi dengan baik apabila mampu menyediakan tenaga listrik secara ekonomis dan selalu memperhatikan mutu dan keandalan. Faktor yang menentukan kualitas dan keandalan sistem tenaga listrik adalah pengoperasian suatu sistem tenaga listrik meliputi tegangan dan frekuensi yang konstan dengan penyimpangan dengan batas-batas yang telah ditentukan.

Perhitungan aliran daya sistem tenaga listrik pada sistem kelistrikan secara manual akan sangat rumit, oleh sebab itu pada penelitian ini menggunakan metode *fuzzy logic* untuk mempercepat dalam perhitungan aliran daya pada sistem tenaga listrik. *Fuzzy logic* merupakan sebuah metode yang didasarkan pada logika Boolean yang umumnya digunakan pada komputasi. *Fuzzy logic* memungkinkan perangkat untuk berfikir tidak hanya dalam skala 0 dan 1 (hitam-putih/mati-hidup) tetapi juga dalam skala abu-abu. *Fuzzy logic* ini dapat menjadi alternatif berbagai sistem yang ada dalam pengambilan keputusan dikarenakan *fuzzy logic* ini memiliki beberapa kelebihan yakni memiliki konsep yang cukup sederhana sehingga mudah dimengerti, didasarkan pada bahasa sehari-hari sehingga mudah untuk dipahami, mampu menghitung fungsi-fungsi non-linier yang sangat kompleks, dan memiliki waktu komputasi yang cepat karena pada sistem kelistrikan dibutuhkan waktu yang cepat untuk aplikasi *time monitoring* agar data yang ditampilkan merupakan data *real* yang sedang berjalan di suatu sistem.

II. STUDI LITERATUR

A. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan sekelompok pembangkit listrik dan gardu induk atau pusat beban yang saling terhubung (terinterkoneksi) satu sama lain oleh jaringan transmisi sehingga menjadi sebuah kesatuan interkoneksi, sistem tenaga listrik ini pada umumnya terbagi menjadi tiga bagian yakni sistem pembangkitan, sistem transmisi, dan sistem distribusi. Ketiga bagian tersebut tidak dapat dipisahkan karena merupakan sistem yang kompleks yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari pembangkit listrik ke beban (konsumen) seperti gambar 1.



Gambar 1 Rangkaian sistem tenaga listrik

Listrik yang dihasilkan oleh pembangkit selanjutnya disalurkan menggunakan saluran transmisi kemudian melalui saluran distribusi selanjutnya akan sampai ke beban (konsumen).

B. Studi Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan penentuan perhitungan tegangan, arus, daya, dan faktor daya atau daya reaktif yang terdapat pada beberapa titik sistem tenaga listrik pada operasi normal. Baik itu yang sedang beroperasi maupun pada tahap perencanaan atau pengembangan sistem pada masa yang akan datang. Studi aliran daya sangat diperlukan pada perencanaan dan desain perluasan sistem tenaga listrik dan menentukan operasi terbaik pada jaringan yang sudah ada. Seiring dengan pertumbuhan atau bertambahnya jumlah konsumen akan kebutuhan tenaga listrik, maka selalu ada terjadi perubahan beban, perubahan unit-unit pembangkit dan perubahan saluran transmisi. Studi aliran daya ini juga memberikan informasi mengenai beban pada saluran transmisi pada sistem tenaga listrik, tegangan di setiap lokasi untuk evaluasi regulasi kinerja sistem tenaga listrik dan bertujuan untuk menentukan daya nyata atau (real power), daya reaktif atau (reactive power) di berbagai titik pada sistem daya dalam keadaan beroperasi.

C. Klasifikasi Sistem Aliran Daya

Klasifikasi pada sistem aliran daya ini terbagi dalam beberapa bagian, antara lain sebagai berikut.

1. Representasi Transformator

Penggunaan transformator dalam sistem tenaga listrik ini memungkinkan untuk pemilihan tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk setiap dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.

2. Representasi Generator

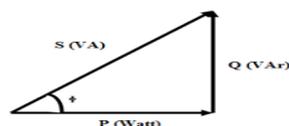
Generator listrik merupakan sebuah alat yang digunakan untuk memproduksi listrik dari energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini disebut dengan proses pembangkitan listrik.

3. Representasi Bus

Busbar merupakan suatu penghantar impedansi rendah dimana beberapa sirkuit listrik dapat dihubungkan secara terpisah dengan setiap keluaran tertuju ke dasar kerangka dengan 3 busbar fasa (Bus Fasa R-S-T) dan 1 fasa netral.

D. Konsep Dasar Aliran Daya

Persamaan maupun perhitungan daya ini memiliki hal pokok yang harus dipahami yaitu dengan memahami konsep segitiga daya. Gambar 2 menunjukkan ilustrasi konsep segitiga daya.



Gambar 2. Segitiga daya

Keterangan:

P : Daya Aktif

Q : Daya Reaktif

S : Daya Semu

Analisis sistem tenaga listrik khususnya pada analisis aliran daya dapat dibagi menjadi tiga jenis daya, yaitu daya aktif atau real power (P), daya reaktif atau reactive power (Q), dan daya semu (S). Daya aktif (P) merupakan daya listrik yang dibangkitkan pada keluaran generator, kemudian dimanfaatkan oleh konsumen. Daya ini dapat di konversi ke bentuk energi lainnya seperti energi gerak pada motor, energi juga menjadi energi panas pada heater, ataupun dapat diubah ke bentuk energi listrik lainnya. Sedangkan daya reaktif (Q) merupakan suatu besaran yang digunakan untuk menggambarkan adanya fluktuasi daya pada saluran transmisi dan distribusi akibat dibangkitkannya medan magnetik. Daya semu (S) merupakan jumlah gaya keseluruhan dari daya aktif (P) dan daya reaktif (Q).

E. MATLAB

MATLAB merupakan suatu program komputer yang dibuat untuk memudahkan seseorang dalam memprogram komputer, dengan menggunakan MATLAB persoalan-persoalan numeris maupun perhitungan yang kompleks dapat diselesaikan dengan mudah tanpa harus menulis program yang panjang, karena didalam MATLAB telah disediakan peralatan siap pakai yang lengkap. Dengan demikian MATLAB dapat melayani mahasiswa, ilmuwan, dan ahli Teknik seperti layaknya suatu laboratorium yang cocok untuk komputasi matematika dan dibuat oleh Perusahaan The Math Work Amerika Serikat.

MATLAB R2017b merupakan MATLAB yang dikeluarkan pada tahun 2017, MATLAB telah dikembangkan menjadi environment pemrograman yang sangat canggih dan berisi fungsi-fungsi built-in yang dapat melakukan pengolahan sinyal, aljabar linear, dan kalkulasi matematis lainnya. MATLAB juga berisi toolbox yang didalamnya berisi fungsi tambahan untuk penggunaan aplikasi yang khusus.

F. Metode Fuzzy Logic

Fuzzy logic digunakan sebagai sistem dalam mengembangkan aplikasi seperti prediksi pada beban listrik yang digunakan, pengendalian sistem, penilaian keamanan, serta perencanaan sistem dan stabilitas sistem tenaga. Fuzzy logic ini merupakan salah satu pendekatan yang dapat menyelesaikan permasalahan pada aliran daya, dimana teori ini kemudian dikembangkan untuk mengembangkan pemodelan, dan masukan dari parameter aliran daya yang bertujuan untuk menganalisis aliran daya yang ada. Pendekatannya berdasarkan pada estimasi on-line voltage dan analisis perubahan aliran daya yang terjadi. Analisis aliran daya berbasis fuzzy logic ini dilakukan dengan cara adanya simulasi persamaan. Menurut Thamrin (2012), penerapan fuzzy logic ini dapat meningkatkan kinerja pada sistem kendali dengan menekan munculnya atau adanya fungsi-fungsi yang dapat membuat eror pada keluaran yang disebabkan adanya fluktuasi pada variable masukannya.

Secara garis besar, pendekatan fuzzy logic ini diimplementasikan dalam tiga tahapan sebagai berikut.

1. Tahap penyamaran (*fuzzification*) yang merupakan pemetaan dari masukan tegas ke himpunan samar.
2. Tahap inferensi, yang merupakan pembangkitan aturan samar.
3. Tahap penegasan (*defuzzification*), yang merupakan transformasi keluaran dari nilai samar yang ada ke dalam nilai tegas.



Gambar 3. Tahapan proses dalam fuzzy logic

Langkah-langkah pemodelan simulasi dengan menggunakan metode fuzzy logic ini dijelaskan dengan beberapa tahap.

1. Menentukan masukan dan keluaran, penelitian ini memiliki masukan berupa delta F (delta P dan delta Q) sedangkan keluarannya berupa delta X (delta V dan delta sudut).

2. Menentukan membership-function fuzzy logic sebagai berikut.

VLN : $(\Delta F_{max})^x(-1)$ dan $(\Delta X_{max})^x(-1)$

LN : $(\Delta F_{max})^x(-3/4)$ dan $(\Delta X_{max})^x(-3/4)$

MN : $(\Delta F_{max})^x(-1/2)$ dan $(\Delta X_{max})^x(-1/2)$

SN : $(\Delta F_{max})^x(-1/4)$ dan $(\Delta X_{max})^x(-1/4)$

ZR : $(\Delta F_{max})^x(0)$ dan $(\Delta X_{max})^x(0)$

SP : $(\Delta F_{max})^x(1/4)$ dan $(\Delta X_{max})^x(1/4)$

MP : $(\Delta F_{max})^x(1/2)$ dan $(\Delta X_{max})^x(1/2)$

LP : $(\Delta F_{max})^x(3/4)$ dan $(\Delta X_{max})^x(3/4)$

VLP : $(\Delta F_{max})^x(1)$ dan $(\Delta X_{max})^x(1)$

3. Menentukan fuzzy logic rules base yang ditunjukkan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Rules fuzzy logic menghubungkan masukan dan keluaran.

Fuzzy Rules	If ΔF	Then ΔX
Rule 1	VLN	VLN
Rule 2	LN	LN
Rule 3	MN	MN
Rule 4	SN	SN
Rule 5	ZR	ZR
Rule 6	SP	SP
Rule 7	MP	MP
Rule 8	LP	LP
Rule 9	VLP	VLP

4. Proses inferensi menggunakan metode Mamdani.

G. Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) merupakan perhitungan dengan menggunakan kesalahan absolute pada tiap periode dibagi dengan nilai observasi nyata untuk periode itu yang digunakan untuk mengetahui kinerja perhitungan atau program yang kita buat untuk mengetahui seberapa kecil penyimpangan yang dialami. Berikut merupakan rumus dari MAPE.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y - y_i}{y_i} \right| \times 100\% \quad (1)$$

Semakin kecil nilai MAPE menunjukkan bahwa keakuratan semakin tinggi. Sebaliknya jika nilai MAPE semakin besar maka keakuratannya semakin rendah bahkan bisa jadi tidak akurat. Berikut tabel yang menunjukkan interpretasi nilai MAPE dari interval nilainya.

Tabel 2. Rentang Nilai MAPE

Nilai MAPE (%)	Interpretasi
≤ 10	Sangat baik
10 - 20	Baik
20 - 50	Layak
> 50	Tidak akurat

Tabel 2 menunjukkan bahwa rentang nilai MAPE yang baik digunakan apabila nilai MAPE dibawah 10% dan jika nilai MAPE berada pada rentang 10% hingga 20% masih dapat digunakan.

III. METODELOGI

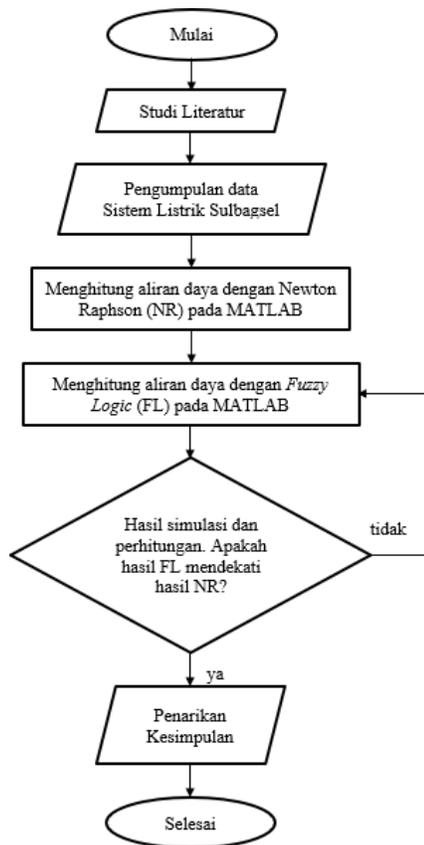
A. Tahapan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu perumusan masalah, studi literatur, pengumpulan data, pelaksanaan simulasi, analisa hasil, dan penarikan kesimpulan yang dijelaskan sebagai berikut.

1. Rumusan masalah merupakan permasalahan-permasalahan atau dasar pemikiran mengenai penelitian ini. Rumusan masalah ini muncul akibat adanya latar belakang masalah dari sebuah penelitian yang akan di analisis.
2. Studi literatur merupakan pembelajaran atau pencarian referensi yang relevan mengenai permasalahan yang diteliti. Referensi meliputi buku-buku, jurnal atau paper serta penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang berkaitan dengan permasalahan yang ada pada penelitian ini.

3. Pengumpulan data pada penelitian ini berupa pengambilan data sistem pada PT. PLN UIKL Sulawesi yang digunakan agar dapat mendukung penelitian ini.
4. Pelaksanaan simulasi akan dilakukan setelah terkumpulnya data-data yang dibutuhkan, selanjutnya penulis membuat program pada software, yang selanjutnya data yang telah dikumpulkan lalu dimasukkan kedalam program yang telah dibuat.
5. Analisa hasil merupakan menganalisis hasil dari simulasi berupa perhitungan aliran daya data-data yang telah diperoleh dari hasil penelitian menggunakan metode Newton Raphson dan fuzzy logic.
6. Kesimpulan ini didapatkan dari hasil simulasi yang telah dilakukan sebelumnya dan menunjukkan hasil akhir dari perumusan masalah pada penelitian ini.

B. Alur Penelitian



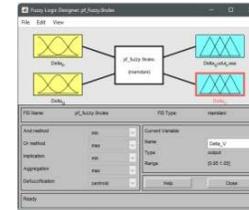
Gambar 4. Diagram Alur Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Fuzzy Logic

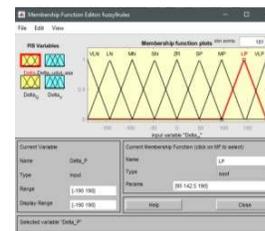
Metode fuzzy logic pada penelitian ini diimplementasikan pada sistem Sulbagsel yang terdiri dari 76 bus dengan level tegangan dan beban yang berbeda-beda. Berikut merupakan Langkah-langkah pemodelan simulasi dengan fuzzy logic control dengan beberapa tahapan sebagai berikut.

1. Penentuan masukan dan keluaran pada tools fuzzy logic yang telah disediakan oleh Matlab.



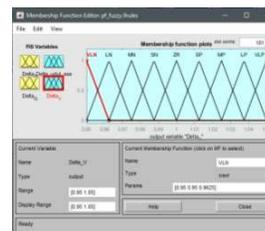
Gambar 5. Fuzzy logic designer

2. Penentuan membership-function masukan.



Gambar 6. Masukan membership-function fuzzy logic

3. Penentuan membership-function keluaran.



Gambar 6. Keluaran membership-function fuzzy logic

4. Menentukan rules base.



Gambar 7. Tampilan rules fuzzy logic

5. Pada tahapan inferensi fuzzy logic menggunakan metode Mamdani.

B. Unjuk Kerja Fuzzy Logic

Tabel 2. Hasil rugi-rugi daya dan mean absolute percentage error (MAPE)

Rugi-rugi daya MW dan MAPE %				
Dari Bus	Ke Bus	Newton Raphso	Fuzzy Logic	Error (%)
1	2	0.695	0.695	0.000
1	3	0.869	0.858	1.282
1	7	0.018	0.018	0.000
2	3	0.078	0.083	6.024
2	4	0.039	0.036	8.333
2	5	0.074	0.067	10.448
2	8	0.045	0.041	9.756
2	44	0.053	0.047	12.766
3	9	0.801	0.788	1.650
4	5	0.038	0.035	8.571
5	6	0.115	0.103	11.650
6	65	0.848	0.831	2.046
8	23	0.261	0.260	0.385
9	10	0.226	0.213	6.103
9	11	0.096	0.095	1.053
10	11	0.057	0.052	9.615
11	12	0.034	0.033	3.030
11	15	0.349	0.354	1.412
12	13	0.174	0.174	0.000
14	15	0.005	0.005	0.000
15	16	0.023	0.022	4.545
15	19	0.547	0.545	0.367
17	19	1.872	1.685	11.098
18	19	1.779	1.722	3.310
19	20	0.610	0.597	2.178
19	24	1.885	1.847	2.057
20	21	0.509	0.498	2.209
21	22	0.002	0.002	0.000
21	23	0.005	0.005	0.000
21	24	0.158	0.155	1.935
21	29	0.385	0.378	1.852
22	23	0.009	0.009	0.000
24	25	0.165	0.162	1.852
25	26	0.718	0.649	10.632
26	29	0.042	0.041	2.439
27	28	0.000	0.000	0.000
29	30	0.071	0.069	2.899
29	38	0.045	0.045	0.000
29	39	0.002	0.002	0.000
31	32	0.000	0.000	0.000
33	34	0.172	0.151	13.907
33	35	0.131	0.118	11.017
33	36	0.096	0.088	9.091
35	36	0.002	0.002	0.000
36	41	0.120	0.118	1.695
37	41	0.016	0.016	0.000
38	40	0.038	0.036	5.556
39	40	0.031	0.030	3.333
40	42	0.130	0.126	3.175
40	43	0.455	0.442	2.941
42	43	0.130	0.126	3.175
43	44	0.532	0.537	0.931
44	45	0.001	0.001	0.000
44	46	0.211	0.189	11.640
44	47	0.157	0.141	11.348
46	49	1.257	1.145	9.782
47	48	0.300	0.301	0.332
47	49	0.982	0.997	1.505
48	50	0.397	0.387	2.584
50	51	0.043	0.039	10.256
51	52	0.247	0.222	11.261
51	53	0.546	0.537	1.676

53	54	0.427	0.402	6.219
54	55	0.233	0.206	13.107
55	56	0.090	0.094	4.255
56	58	1.617	1.476	9.553
57	60	0.113	0.124	8.871
58	59	2.103	2.162	2.729
60	61	0.074	0.074	0.000
62	63	0.130	0.130	0.000
62	64	0.071	0.070	1.429
62	66	0.084	0.083	1.205
64	66	0.015	0.014	7.143
67	68	0.060	0.059	1.695
68	69	0.063	0.059	6.780
69	70	0.037	0.036	2.778
70	71	0.011	0.011	0.000
71	72	0.073	0.073	0.000
72	73	0.016	0.016	0.000
72	76	1.607	1.595	0.752
74	75	0.125	0.112	11.607
Jumlah		26.645	25.766	-
MAPE (%)		-	-	4.134

Dari Tabel 2 Hasil rugi-rugi daya dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) memperlihatkan bahwa rugi-rugi yang dihasilkan dari kedua metode ini berbeda. Pada metode Newton Raphson rugi daya yang dihasilkan sebesar 26.645 MW sedangkan pada metode fuzzy logic rugi daya yang dihasilkan sebesar 25.766 MW. Jika dibandingkan rugi-rugi daya yang dihasilkan dari kedua metode tersebut menghasilkan selisih sebesar 0.879 MW. Sedangkan nilai MAPE dapat kita lihat bahwa nilai MAPE tertinggi bernilai 13.907% sedangkan nilai terendah bernilai 0%. Selain itu dari tabel dapat kita lihat rata-rata MAPE yang dihasilkan sebesar 4.134%.

Selain nilai MAPE unjuk kerja pada fuzzy logic ini juga dapat kita buktikan dengan membandingkan waktu komputasi dari kedua metode tersebut. Tabel 3 menunjukkan waktu komputasi yang dibutuhkan pada saat komputasi.

Tabel 3. Waktu Komputasi

Metode	Waktu Komputasi (ms)
Newton Raphson	192.9577
Fuzzy Logic	136.3660

Tabel 3. Waktu Komputasi menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan metode fuzzy logic untuk melakukan komputasi lebih cepat yakni 136.3660 ms sedangkan waktu yang dibutuhkan metode Newton Raphson untuk melakukan komputasi 192.9577 ms.

V. KESIMPULAN

1. Fuzzy logic merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk analisis aliran daya. Dengan metode Newton Raphson sebagai dasar untuk merancang program fuzzy logic. Dalam pengimplementasiannya, fuzzy logic memerlukan beberapa tahapan yakni menentukan masukan (delta P dan Delta Q) dari hasil Metode Newton Raphson dan keluaran (delta sudut dan delta V) metode fuzzy logic, menentukan membership-function, menentukan rules base, dan tahap inferensi menggunakan metode Mamdani.

2. Unjuk kerja dari *fuzzy logic* ini dibuktikan rata-rata nilai MAPE rugi-rugi daya sebesar 4.134% menunjukkan interpretasi yang sangat baik dengan acuan nilai aliran daya menggunakan metode Newton Raphson. Selain itu, unjuk kerja *fuzzy logic* juga dapat ditunjukkan dengan waktu komputasi. Waktu yang dibutuhkan pada metode *fuzzy logic* lebih singkat yakni 136.3660 ms, sedangkan waktu yang dibutuhkan pada metode Newton Raphson untuk melakukan komputasi 192.9577 ms.

Referensi

- [1] Buragohain, U., & Boruah, T. (2017). Fuzzy Logic Based Load Flow Analysis. Prosiding IEE International Confrence on Algorithm, Methodology, Models and Applications in Emerging Technologies (ICAMMAET), 1-6.
- [2] Cekdin, C. (2007). Sistem Tenaga Listrik, Contoh Soal dan Penyelesaian Menggunakan MATLAB. Yogyakarta: CV Andi Offset.
- [3] Dixit, S., Srivastava, L., & Agnihotri, G. (2006). Power Flow Analysis Using Fuzzy Logic. Prosiding IEEE Power India Conference, 1-7.
- [4] Hosea, E., & Tanoto, Y. (2004). Perbandingan Analisa Aliran Daya dengan Menggunakan Algoritma Genetika dan Metode Newton Raphson. 2.
- [5] Lidya, A., & Siregar, Y. (2015). Studi Aliran Daya pada Sistem Kelistrikan Sumatera Bagian Utara (Sumbagut) 150 kV dengan Menggunakan Software Powerworld Versi 17. 11(30), 1-6.
- [6] Marsudi, I. D. (2006). Operasi Sistem Tenaga Listrik. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [7] Montano, J. J., Sese, A., Palmer, A., & Cajal, B. (2013). Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy.
- [8] Pangloli, K. M., Thaha, S., & Gaffar, H. (2020). Analisis Aliran Daya Menggunakan Metode Fast Decoupled Pada Sisi Tegangan 6.3 KV PT. Semen Tonasa V. Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI), 1-7.
- [9] Puryono, D. A. (2014). Metode Fuzzy Inferensi System Mamdani untuk Menentukan Bantuan Modal Usaha Bagi UMKM Ramah Lingkungan. 2-3.
- [10] Saadat, H. (1999). Power System Analysis. New York: McGraw-Hill.
- [11] Salman, R., Mustaman, & Sinuraya, A. (2014). Simulasi dan Analisis Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Perangkat Lunak Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) Versi 4.0. 15, 1-7.
- [12] Sitompul, M. (2015). Perbandingan Aliran Daya dengan Menggunakan Metode Gauss-Seidel dan Metode Newton-Raphson.
- [13] Sulasno. (1993). Analisis Sistem Tenaga Listrik. Semarang: Satya Wacana.
- [14] Suprianto. (2018). Analisa Tegangan Jatuh pada Jaringan Distribusi 20 kV PT.PLN Area Rantau Prapat Rayon Aek Kota Batu. 3(2), 1-9.
- [15] Thamrin, F. (2012). Studi Inferensi Fuzzy Tsukamoto untuk Penentuan Faktor Pembebanan Trafo PLN. Tesis Magister Sistem Informasi Universitas Diponegoro.