

RENCANA PEMASANGAN DISTRIBUTED GENERATION PADA JARINGAN DISTRIBUSI SERTA PENGARUHNYA TERHADAP PROFIL TEGANGAN DAN RUGI-RUGI DAYA



Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Udayana



(<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/issue/view/3441>)

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/58137/33966>)

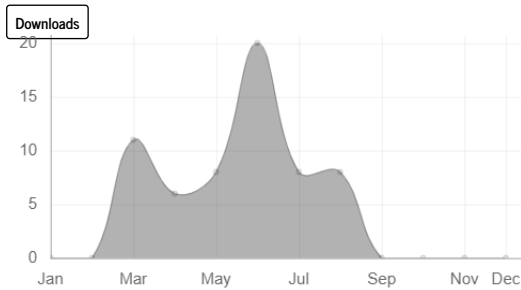
Published Mar 7, 2020

DOI: <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i01.p24> (<https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i01.p24>)

A. A. T. B. Artawan I W. Sukerayasa W. G. Ariastina

Abstract

Jatiluwi feeder is a primary 20 kV distribution network with a peak demand of 1.85 MW. The feeder has a radial configuration with a length of 120 kmc. The extended length of the feeder causes a high voltage drop and power loss. One strategy to reduce voltage drop and power loss is by the installation of distributed generation (DG). The energy resource of the DG usually adopts local available renewable energy resources, such as solar power and hydro power. This paper discusses voltage profile and power loss due to the installation of DG on the distribution network. The analysis covered survey of the available renewable energy resources and power flow simulation. Power flow simulation was carried out in two scenarios, before and after the installation of DG. The simulation results showed that during peak daytime load, DG installation is able to reduce maximum voltage drop by 2,08 %, and increases the voltage from 344,4 V to 352,7 V. Besides that, the installation of DG is able to reduce the total power loss by 9,43 % or as much as 530 kW.



How to Cite

ARTAWAN, A. A. T. B.; SUKERAYASA, I W.; ARIASTINA, W. G.. RENCANA PEMASANGAN DISTRIBUTED GENERATION PADA JARINGAN DISTRIBUSI SERTA PENGARUHNYA TERHADAP PROFIL TEGANGAN DAN RUGI-RUGI DAYA. **Jurnal SPEKTRUM**, [S.l.], v. 7, n. 1, p. 169-176, mar. 2020. ISSN 2684-9186. Available at: <<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/58137> (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/58137>)>. Date accessed: 20 aug. 2020. doi: <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i01.p24> (<https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i01.p24>).

ABNT (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/cite/58137/AbntCitationPlugin>)

APA (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/cite/58137/ApaCitationPlugin>)

BibTeX (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/cite/58137/BibtexCitationPlugin>)

CBE (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/cite/58137/CbeCitationPlugin>)

EndNote - EndNote format (Macintosh & Windows) (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/cite/58137/EndNoteCitationPlugin>)

MLA (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/cite/58137/MlaCitationPlugin>)

ProCite - RIS format (Macintosh & Windows) (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/cite/58137/ProCiteCitationPlugin>)

RefWorks (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/cite/58137/RefWorksCitationPlugin>)

Reference Manager - RIS format (Windows only) (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/cite/58137/RefManCitationPlugin>)

Turabian (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/cite/58137/TurabianCitationPlugin>)

Issue

Vol 7 No 1 (2020): Jurnal SPEKTRUM (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/issue/view/3441>)

Section

Articles



(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Most read articles by the same author(s)

- Rukmi Sari Hartati, I W. Sukerayasa, I N. Suprpta Winaya, K. Amerta Yasa, PEMANFAATAN LIMBAH KOTORAN HEWAN TERNAK SEBAGAI BIOGAS UNTUK KEPERLUAN RUMAH TANGGA DI KECAMATAN SIDEMEN KABUPATEN KARANGASEM BALI (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/jum/article/view/2122>), Buletin Udayana Mengabdikan: Vol 11 No 1 (2012): Volume 11 No.1 – April 2012 (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/jum/issue/view/330>)
- A.A. Ngurah Amrita, A. Ibi Weking, W. G. Ariastina, G. Sukadarmika, PELATIHAN PENGENDALIAN ARUS SISA LISTRIK SESUAI PERSYARATAN UMUM INSTALASI LISTRIK DI DESA MELINGGIH PAYANGAN-GIANYAR (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/jum/article/view/36074>), Buletin Udayana Mengabdikan: Vol 16 No 2 (2017) (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/jum/issue/view/2626>)
- Salim Afif, I W. Sukerayasa, W. G. Ariastina, Analisis Pengaruh Harmonisa terhadap Rugi-Rugi Daya pada Sistem Tegangan Rendah dan Transformator GRO88 di Penyulang Menjangan (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/44611>), Jurnal SPEKTRUM: Vol 5 No 2 (2018): Jurnal SPEKTRUM (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/issue/view/2956>)

PENGARUH JUMLAH FUNGSI KEANGGOTAAN PADA METODE FUZZY LOGIC TERHADAP HASIL PERAMALAN BEBAN LISTRIK JANGKA PANJANG

Sani Renartha Kusuma¹, Rukmi Sari Hartati², I Wayan Sukerayasa³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email : sanirenarthakusuma@gmail.com¹, rukmisari@unud.ac.id²

, sukerayasa@unud.ac.id³

Abstrak

Beban listrik di Kabupaten Sumbawa Besar dari tahun 2011 – 2018 mengalami peningkatan rata – rata sebesar $\pm 6,6\%$. Estimasi beban listrik untuk tahun berikutnya belum diketahui, sehingga perlu dilakukan peramalan. Peramalan beban listrik mempunyai peranan penting dalam sistem manajemen energi. Banyak metode yang bisa digunakan untuk peramalan, salah satunya yaitu metode *fuzzy logic*. Metode *fuzzy logic* terdiri dari 3 komponen, yaitu Fuzzifikasi, *Fuzzy Inference System*, dan Defuzzifikasi. Fuzzifikasi merupakan komponen penting, maka diperlukan konfigurasi yang tepat agar dapat menghasilkan hasil simulasi yang mendekati data aktualnya. Simulasi dilakukan dalam 3 kondisi, yaitu kondisi pertama (3 fungsi keanggotaan), kondisi kedua (5 fungsi keanggotaan), dan kondisi ketiga (7 fungsi keanggotaan). Kondisi ketiga memperoleh nilai MAPE sebesar 2,42%, sedangkan kondisi kedua sebesar 3,34%, dan kondisi pertama sebesar 6,51%. Kondisi ketiga memperoleh hasil simulasi tahun 2026 sebesar 24,75 MW, sedangkan kondisi kedua sebesar 23,26 MW, dan kondisi pertama sebesar 20,97 MW. Kondisi ketiga merupakan kondisi terbaik pada penelitian ini, karena memiliki nilai MAPE yang paling kecil.

Kata kunci : Peramalan, Beban Listrik, *Fuzzy Logic*, Fuzzifikasi, *Fuzzy Inference System*, Defuzzifikasi, Fungsi Keanggotaan, dan MAPE.

Abstract

Electric load in Sumbawa Besar Regency from 2011 - 2018 experienced an average increase of $\pm 6.6\%$. The electric load for the following year is not yet known, so forecasting is needed. Electric load forecasting has an important role in the energy management system. Many methods can be used for forecasting, one of them is the fuzzy logic method. Fuzzy logic method consists of 3 components, those are Fuzzification, Fuzzy Inference System, and Defuzzification. Fuzzification is an important component of the fuzzy logic method, so the proper configuration is needed in order to produce forecasting that is close to the actual data. The simulation was carried out in 3 conditions, those are the first conditions (3 membership functions), the second condition (5 membership functions), and the third condition (7 membership functions). The third condition obtained a MAPE value of 2,42%, while the second condition was 3,34%, and the first condition was 6,51%. The third condition obtained the simulation results in 2026 at 24,75MW, while the second condition was at 23,26 MW, and the first condition was at 20,97MW. The third condition is the best condition in this study, because it has the smallest MAPE value.

Keywords: *Forecasting, Electric Loads, Fuzzy Logic, Fuzzification, Fuzzy Inference System, Defuzzification, Membership Function, and MAPE.*

1. PENDAHULUAN

Beban listrik di Kabupaten Sumbawa Besar, Nusa Tenggara Barat dari 2011 – 2018 mengalami peningkatan rata – rata sebesar $\pm 6,6\%$ [1]. Peningkatan beban listrik sejalan dengan bertambahnya konsumen tenaga listrik yang berdampak pada peningkatan Rasio Elektrifikasi (RE). RE NTB pada Tahun 2017 sebesar 85,10%, angka ini melampaui target yang

dipatok sebesar 80,10%, Sedangkan tahun sebelumnya, PLN NTB baru mampu merealisasikan RE sebesar 77,68%. Tahun 2017 Pulau Lombok telah memiliki RE sebesar 83,68%, sementara Pulau Sumbawa memiliki RE sebesar 88,92% [2].

Penyediaan dan penyaluran tenaga listrik perlu dilakukan dengan tepat, sehingga akan berdampak positif dalam sistem manajemen energi. Manajemen

energi dilakukan agar mencegah terjadinya krisis energi. Peramalan beban listrik memiliki peranan penting dalam sistem manajemen energi [3]. Peramalan beban listrik dilakukan menggunakan metode *fuzzy logic*. Contoh kasus peramalan menggunakan metode *fuzzy logic* pada sistem sulselrabar bulan April 2016, diperoleh kesalahan peramalan beban yang sangat kecil yaitu sebesar -0,039035754%, sehingga metode *fuzzy logic* sangat direkomendasikan untuk digunakan dalam studi peramalan beban listrik jangka panjang [4]. Metode *fuzzy logic* terdiri dari 3 komponen, yaitu Fuzzifikasi, *Fuzzy Inference System*, dan Defuzzifikasi. Fuzzifikasi merupakan komponen penting dari metode *fuzzy logic* dalam menentukan hasil *output*, maka diperlukan konfigurasi yang tepat agar dapat menghasilkan peramalan yang mendekati data aktualnya [5]. Fuzzifikasi terdiri dari jumlah fungsi keanggotaan dan tipe fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan terdiri dari beberapa tipe, yaitu tipe segitiga, tipe trapesium, tipe *gauss*, dan tipe *generalized bell*, sedangkan jumlah fungsi keanggotaan bisa bervariasi.

Peramalan beban listrik menggunakan tipe fungsi keanggotaan yang berbeda – beda akan menghasilkan *output* yang bervariasi. Tipe fungsi keanggotaan segitiga menghasilkan nilai *error* sebesar 1,4384%, untuk tipe fungsi keanggotaan *generalized bell* menghasilkan nilai *error* sebesar 1,4571%, dan tipe fungsi keanggotaan *gauss* menghasilkan nilai *error* sebesar 1,4513%. Fungsi keanggotaan yang memiliki nilai *error* paling kecil adalah fungsi keanggotaan segitiga, sehingga fungsi keanggotaan tersebut bagus digunakan untuk peramalan beban listrik [5].

Berdasarkan penjelasan tersebut, sampai saat ini belum ada dilaporkan mengenai pengaruh jumlah fungsi keanggotaan terhadap hasil peramalan beban listrik menggunakan *fuzzy logic*. Oleh karena itu, jurnal ini membahas tentang pengaruh jumlah fungsi keanggotaan terhadap hasil peramalan beban listrik jangka panjang.

2. METODE FUZZY LOGIC

2.1 Pengertian Fuzzy Logic

Logika yang memiliki nilai tidak pasti dalam menentukan antara benar dan salah adalah *fuzzy logic* [6]. *Fuzzy logic* memiliki

nilai antara 0 sampai 1 sesuai nilai derajat keanggotaan yang dimilikinya [7].

2.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi Keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam nilai keanggotaannya (derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1 [8]. Jumlah fungsi keanggotaan yang digunakan pada penelitian ini adalah 3, 5, dan 7. Selain itu, tipe fungsi keanggotaan yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe fungsi keanggotaan segitiga.

Kurva segitiga merupakan gabungan antara dua garis linier seperti yang terlihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Tipe Fungsi Keanggotaan Segitiga [9]

Persamaan fungsi keanggotaan segitiga sebagai berikut:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x < a \text{ atau } x > c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (1)$$

2.3 Mean Absolute Percentage Error

Kinerja peramalan dihitung menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang terdapat pada Persamaan 2 [11].

$$APE = \left| \frac{X_i - F_i}{X_i} \right| \times 100 \quad (2)$$

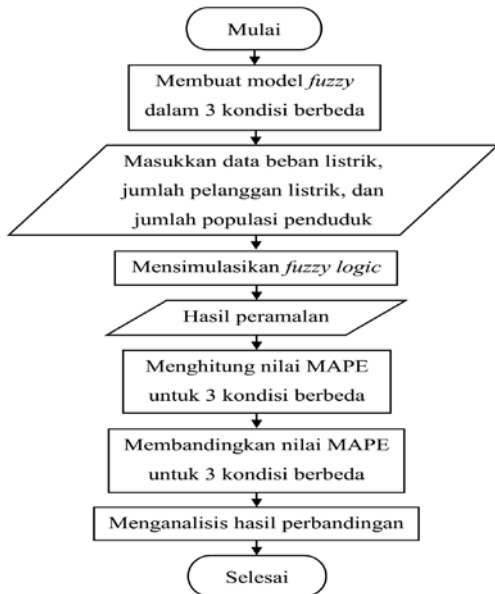
$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n APE}{n} \quad (3)$$

Keterangan:

- APE = Persentase kesalahan absolut
- X_i = nilai aktual pada waktu i
- F_i = nilai peramalan pada waktu i
- n = banyaknya jumlah data

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Lab Elektro Universitas Udayana. Sumber data dalam penelitian ini berupa data sekunder yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Area Sumbawa, Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Barat, serta studi literatur yang berkaitan dengan tema pembahasan. Alur dari metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Alur Metode Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Variabel Fuzzy Logic

Penelitian ini menggunakan 4 variabel *input* dan 4 variabel *output*. Variabel *input* yang digunakan, yaitu *In1*, *In2*, *In3*, dan *In4*. Variabel *output* yang digunakan, yaitu *Out1*, *Out2*, *Out3*, dan *Out4*.

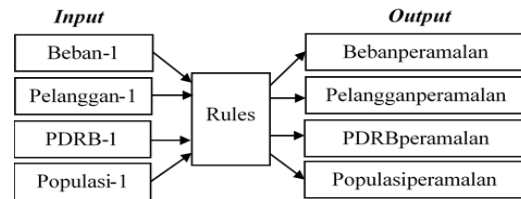
Tabel 1 Data Input Aktual

| Tahun | V ₁ | V ₂ | V ₃ | V ₄ |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 2011 | 11,49 | 87,81 | 6,81 | 422,19 |
| 2012 | 12,51 | 96,77 | 7,41 | 427,12 |
| 2013 | 13 | 106,68 | 8,05 | 431,92 |
| 2014 | 13,27 | 116,86 | 9,07 | 436,6 |
| 2015 | 15,21 | 124,92 | 10,29 | 441,1 |
| 2016 | 16,05 | 133,21 | 11,39 | 445,5 |
| 2017 | 17,12 | 143,21 | 11,93 | 449,68 |
| 2018 | 17,98 | 152,4 | 12,79 | 454,65 |

V₁ adalah Beban Listrik (MW), V₂ adalah Jumlah Pelanggan Listrik (Ribuan Rumah Tangga), V₃ adalah PDRB (Triliunan Rupiah), dan V₄ adalah Jumlah Populasi Penduduk (Ribuan Jiwa).

4.2 Model Fuzzy Logic

Penelitian ini membuat model *fuzzy* pada 3 kondisi yang berbeda, yaitu kondisi pertama (3 fungsi keanggotaan), kondisi kedua (5 fungsi keanggotaan), dan kondisi ketiga (7 fungsi keanggotaan). Tipe fungsi keanggotaan yang digunakan adalah tipe segitiga (*trimf*). Model *fuzzy logic* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3 Model Fuzzy Logic

4.2.1 Kondisi Pertama

Jumlah fungsi keanggotaan yang digunakan pada variabel *input* dan variabel *output* adalah 3 fungsi keanggotaan, yaitu K (Kecil), M (Medium), dan B (Besar).

Tabel 2 Parameter In1 Kondisi Pertama

| Variabel Input | MF | Parameter |
|----------------|----|---------------------|
| In1 | K | [9,49;14,08;18,67] |
| | M | [14,08;18,67;23,26] |
| | B | [18,67;23,26;27,85] |

Tabel 3 Parameter In2 Kondisi Pertama

| Variabel Input | MF | Parameter |
|----------------|----|-----------------------------|
| In2 | K | [85,81;121,3375;156,865] |
| | M | [121,3375;156,865;192,3925] |
| | B | [156,865;192,3925;227,92] |

Tabel 4 Parameter In3 Kondisi Pertama

| Variabel Input | MF | Parameter |
|----------------|----|--------------------|
| In3 | K | [4,81;9,04;13,27] |
| | M | [9,04;13,27;17,5] |
| | B | [13,27;17,5;21,73] |

Tabel 5 Parameter In4 Kondisi Pertama

| Variabel Input | MF | Parameter |
|----------------|----|-----------------------------|
| In4 | K | [420,19;438,4775;456,765] |
| | M | [438,4775;456,765;475,0525] |
| | B | [456,765;475,0525;493,34] |

Tabel 6 Parameter Out1 Kondisi Pertama

| Variabel Output | MF | Parameter |
|-----------------|----|---------------------|
| Out1 | K | [9,49;14,08;18,67] |
| | M | [14,08;18,67;23,26] |
| | B | [18,67;23,26;27,85] |

Tabel 7 Parameter Out2 Kondisi Pertama

| Variabel Output | MF | Parameter |
|-----------------|----|-----------------------------|
| Out2 | K | [85,81;121,3375;156,865] |
| | M | [121,3375;156,865;192,3925] |
| | B | [156,865;192,3925;227,92] |

Tabel 8 Parameter Out3 Kondisi Pertama

| Variabel Output | MF | Parameter |
|-----------------|----|--------------------|
| Out3 | K | [4,81;9,04;13,27] |
| | M | [9,04;13,27;17,5] |
| | B | [13,27;17,5;21,73] |

Tabel 9 Parameter *Out4* Kondisi Pertama

| Variabel Output | MF | Parameter |
|-----------------|----|-----------------------------|
| Out4 | K | [420,19;438,4775;456,765] |
| | M | [438,4775;456,765;475,0525] |
| | B | [456,765;475,0525;493,34] |

Maka diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10 Hasil Simulasi Pada Kondisi Pertama

| Tahun | V ₁ | V ₂ | V ₃ | V ₄ |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 2012 | 14,08 | 121,33 | 11,16 | 438,48 |
| 2013 | 14,08 | 121,33 | 11,16 | 438,48 |
| 2014 | 14,08 | 121,33 | 11,16 | 438,48 |
| 2015 | 14,13 | 121,72 | 11,16 | 438,68 |
| 2016 | 15,59 | 138,88 | 11,65 | 447,51 |
| 2017 | 16,58 | 154,11 | 12,94 | 455,35 |
| 2018 | 16,99 | 162,89 | 13,98 | 459,87 |
| 2019 | 17,98 | 170,32 | 14,87 | 463,69 |
| 2020 | 20,51 | 174,62 | 15,38 | 465,90 |
| 2021 | 20,97 | 174,63 | 15,39 | 465,91 |
| 2022 | 20,97 | 174,63 | 15,39 | 465,91 |
| 2023 | 20,97 | 174,63 | 15,39 | 465,91 |
| 2024 | 20,97 | 174,63 | 15,39 | 465,91 |
| 2025 | 20,97 | 174,63 | 15,39 | 465,91 |
| 2026 | 20,97 | 174,63 | 15,39 | 465,91 |

Berdasarkan hasil simulasi pada Tabel 10, maka dapat dihitung nilai APE menggunakan Persamaan 2.

$$APE = \left| \frac{16,05 - 15,59}{16,05} \times 100 \right| = 2,87\%$$

Setelah memperoleh APE, maka MAPE dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.

$$MAPE = \frac{12,55 + 8,31 + 6,1 + 7,1 + 2,87 + 3,15 + 5,51}{7}$$

$$MAPE = 6,51\%$$

Berikut hasil perhitungannya pada Tabel 11.

Tabel 11 Nilai MAPE Pada Kondisi Pertama

| Tahun | APE (%) | | | |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | V ₁ | V ₂ | V ₃ | V ₄ |
| 2012 | 12,55 | 25,38 | 50,61 | 2,66 |
| 2013 | 8,31 | 13,73 | 38,63 | 1,52 |
| 2014 | 6,1 | 3,83 | 23,04 | 0,43 |
| 2015 | 7,1 | 2,56 | 8,45 | 0,55 |
| 2016 | 2,87 | 4,26 | 2,28 | 0,45 |
| 2017 | 3,15 | 7,61 | 8,47 | 1,26 |
| 2018 | 5,51 | 6,88 | 9,3 | 1,15 |
| MAPE (%) | 6,51 | 9,18 | 20,11 | 1,15 |

4.2.2 Kondisi Kedua

Pada kondisi ini, jumlah fungsi keanggotaan yang digunakan pada variabel *input* dan variabel *output* adalah 5 fungsi keanggotaan, yaitu SK (Sangat Kecil), K (Kecil), M (Medium), B (Besar), dan SB (Sangat Besar).

Tabel 12 Parameter *In1* Kondisi Kedua

| Variabel Input | MF | Parameter |
|----------------|----|---------------------|
| In1 | SK | [9,49;12,55;15,61] |
| | K | [12,55;15,61;18,67] |
| | M | [15,61;18,67;21,73] |
| | B | [18,67;21,73;24,79] |
| | SB | [21,73;24,79;27,85] |

Tabel 13 Parameter *In2* Kondisi Kedua

| Variabel Input | MF | Parameter |
|----------------|----|--------------------------|
| In2 | SK | [85,81;109,495;133,18] |
| | K | [109,495;133,18;156,865] |
| | M | [133,18;156,865;180,55] |
| | B | [156,865;180,55;204,235] |
| | SB | [180,55;204,235;227,92] |

Tabel 14 Parameter *In3* Kondisi Kedua

| Variabel Input | MF | Parameter |
|----------------|----|---------------------|
| In3 | SK | [4,81;7,63;10,45] |
| | K | [7,63;10,45;13,27] |
| | M | [10,45;13,27;16,09] |
| | B | [13,27;16,09;18,91] |
| | SB | [16,09;18,91;21,73] |

Tabel 15 Parameter *In4* Kondisi Kedua

| Variabel Input | MF | Parameter |
|----------------|----|------------------------------|
| In4 | SK | [420,19;432,3816;444,5732] |
| | K | [432,3816;444,5732;456,7648] |
| | M | [444,5732;456,7648;468,9564] |
| | B | [456,7648;468,9564;481,148] |
| | SB | [468,9564;481,148;493,34] |

Tabel 16 Parameter *Out1* Kondisi Kedua

| Variabel Output | MF | Parameter |
|-----------------|----|---------------------|
| Out1 | SK | [9,49;12,55;15,61] |
| | K | [12,55;15,61;18,67] |
| | M | [15,61;18,67;21,73] |
| | B | [18,67;21,73;24,79] |
| | SB | [21,73;24,79;27,85] |

Tabel 17 Parameter *Out2* Kondisi Kedua

| Variabel Output | MF | Parameter |
|-----------------|----|--------------------------|
| Out2 | SK | [85,81;109,495;133,18] |
| | K | [109,495;133,18;156,865] |
| | M | [133,18;156,865;180,55] |
| | B | [156,865;180,55;204,235] |
| | SB | [180,55;204,235;227,92] |

Tabel 18 Parameter *Out3* Kondisi Kedua

| Variabel Output | MF | Parameter |
|-----------------|----|---------------------|
| Out3 | SK | [4,81;7,63;10,45] |
| | K | [7,63;10,45;13,27] |
| | M | [10,45;13,27;16,09] |
| | B | [13,27;16,09;18,91] |
| | SB | [16,09;18,91;21,73] |

Tabel 19 Parameter *Out4* Kondisi Kedua

| Variabel Output | MF | Parameter |
|-----------------|----|------------------------------|
| Out4 | SK | [420,19;432,3816;444,5732] |
| | K | [432,3816;444,5732;456,7648] |
| | M | [444,5732;456,7648;468,9564] |
| | B | [456,7648;468,9564;481,148] |
| | SB | [468,9564;481,148;493,34] |

Maka diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Tabel 20 berikut.

Tabel 20 Hasil Simulasi Pada Kondisi Kedua

| Tahun | V ₁ | V ₂ | V ₃ | V ₄ |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 2012 | 12,56 | 109,59 | 9,04 | 432,43 |
| 2013 | 12,55 | 109,51 | 9,04 | 432,39 |
| 2014 | 13,13 | 113,95 | 9,04 | 434,67 |
| 2015 | 14,11 | 121,54 | 9,90 | 438,58 |
| 2016 | 15,34 | 131,06 | 11,66 | 443,48 |
| 2017 | 16,72 | 141,85 | 11,86 | 449,04 |
| 2018 | 17,18 | 156,01 | 11,89 | 456,33 |
| 2019 | 18,01 | 164,47 | 12,66 | 460,68 |
| 2020 | 19,75 | 168,71 | 14,27 | 462,86 |
| 2021 | 20,20 | 178,23 | 14,68 | 467,76 |
| 2022 | 21,21 | 189,01 | 15,62 | 473,31 |
| 2023 | 22,91 | 192,39 | 17,17 | 475,05 |
| 2024 | 23,26 | 192,39 | 17,50 | 475,05 |
| 2025 | 23,26 | 192,39 | 17,50 | 475,05 |
| 2026 | 23,26 | 192,39 | 17,50 | 475,05 |

Berdasarkan hasil simulasi pada Tabel 20, maka dapat dihitung nilai APE menggunakan Persamaan 2.

$$APE = \left| \frac{16,05 - 15,34}{16,05} \times 100 \right| = 4,42\%$$

Setelah memperoleh APE, maka MAPE dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.

$$MAPE = \frac{0,4 + 3,46 + 1,06 + 7,23 + 4,42 + 2,34 + 4,45}{7}$$

$$MAPE = 3,34\%$$

Berikut hasil perhitungannya pada Tabel 21.

Tabel 21 Nilai MAPE Pada Kondisi Kedua

| Tahun | APE (%) | | | |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | V ₁ | V ₂ | V ₃ | V ₄ |
| 2012 | 0,40 | 13,25 | 22 | 1,24 |
| 2013 | 3,46 | 2,65 | 12,3 | 0,11 |
| 2014 | 1,06 | 2,49 | 0,33 | 0,44 |
| 2015 | 7,23 | 2,71 | 3,79 | 0,57 |
| 2016 | 4,42 | 1,61 | 2,37 | 0,45 |
| 2017 | 2,34 | 0,95 | 0,59 | 0,14 |
| 2018 | 4,45 | 2,37 | 7,04 | 0,37 |
| MAPE (%) | 3,34 | 3,72 | 6,92 | 0,47 |

4.2.3 Kondisi Ketiga

Jumlah fungsi keanggotaan yang digunakan pada variabel *input* dan variabel *output* adalah 7 fungsi keanggotaan, yaitu Min, SK (Sangat Kecil), K (Kecil), M

(Medium), B (Besar), SB (Sangat Besar), dan Max.

Tabel 22 Parameter *In1* Kondisi Ketiga

| Variabel Input | MF | Parameter |
|----------------|-----|---------------------|
| In1 | Min | [9,49;11,78;14,07] |
| | SK | [11,78;14,07;16,36] |
| | K | [14,07;16,36;18,67] |
| | M | [16,36;18,67;20,96] |
| | B | [18,67;20,96;23,25] |
| | SB | [20,96;23,25;25,54] |
| | Max | [23,25;25,54;27,85] |

Tabel 23 Parameter *In2* Kondisi Ketiga

| Variabel Input | MF | Parameter |
|----------------|-----|------------------------|
| In2 | Min | [85,81;103,57;121,33] |
| | SK | [103,57;121,33;139,09] |
| | K | [121,33;139,09;156,85] |
| | M | [139,09;156,85;174,61] |
| | B | [156,85;174,61;192,37] |
| | SB | [174,61;192,37;210,13] |
| | Max | [192,37;210,13;227,92] |

Tabel 24 Parameter *In3* Kondisi Ketiga

| Variabel Input | MF | Parameter |
|----------------|-----|---------------------|
| In3 | Min | [4,81;6,93;9,05] |
| | SK | [6,93;9,05;11,17] |
| | K | [9,05;11,17;13,29] |
| | M | [11,17;13,29;15,41] |
| | B | [13,29;15,41;17,53] |
| | SB | [15,41;17,53;19,65] |
| | Max | [17,53;19,65;21,73] |

Tabel 25 Parameter *In4* Kondisi Ketiga

| Variabel Input | MF | Parameter |
|----------------|-----|------------------------|
| In4 | Min | [420,19;429,33;438,47] |
| | SK | [429,33;438,47;447,61] |
| | K | [438,47;447,61;456,75] |
| | M | [447,61;456,75;465,89] |
| | B | [456,75;465,89;475,03] |
| | SB | [465,89;475,03;484,17] |
| | Max | [475,03;484,17;493,34] |

Tabel 26 Parameter *Out1* Kondisi Ketiga

| Variabel Output | MF | Parameter |
|-----------------|-----|---------------------|
| Out1 | Min | [9,49;11,78;14,07] |
| | SK | [11,78;14,07;16,36] |
| | K | [14,07;16,36;18,67] |
| | M | [16,36;18,67;20,96] |
| | B | [18,67;20,96;23,25] |
| | SB | [20,96;23,25;25,54] |
| | Max | [23,25;25,54;27,85] |

Tabel 27 Parameter *Out2* Kondisi Ketiga

| Variabel Output | MF | Parameter |
|-----------------|-----|------------------------|
| Out2 | Min | [85,81;103,57;121,33] |
| | SK | [103,57;121,33;139,09] |
| | K | [121,33;139,09;156,85] |
| | M | [139,09;156,85;174,61] |
| | B | [156,85;174,61;192,37] |
| | SB | [174,61;192,37;210,13] |
| | Max | [192,37;210,13;227,92] |

Tabel 28 Parameter *Out3* Kondisi Ketiga

| Variabel Output | MF | Parameter |
|-----------------|-----|---------------------|
| Out3 | Min | [4,81;6,93;9,05] |
| | SK | [6,93;9,05;11,17] |
| | K | [9,05;11,17;13,29] |
| | M | [11,17;13,29;15,41] |
| | B | [13,29;15,41;17,53] |
| | SB | [15,41;17,53;19,65] |
| | Max | [17,53;19,65;21,73] |

Tabel 29 Parameter *Out4* Kondisi Ketiga

| Variabel Output | MF | Parameter |
|-----------------|-----|------------------------|
| Out4 | Min | [420,19;429,33;438,47] |
| | SK | [429,33;438,47;447,61] |
| | K | [438,47;447,61;456,75] |
| | M | [447,61;456,75;465,89] |
| | B | [456,75;465,89;475,03] |
| | SB | [465,89;475,03;484,17] |
| | Max | [475,03;484,17;493,34] |

Hasil simulasi dari tahun 2012 – 2026 menggunakan *fuzzy logic* dapat dilihat pada Tabel 30 berikut.

Tabel 30 Hasil Simulasi Pada Kondisi Ketiga

| Tahun | V ₁ | V ₂ | V ₃ | V ₄ |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 2012 | 12,94 | 103,57 | 8,00 | 429,33 |
| 2013 | 12,93 | 108,75 | 7,99 | 431,99 |
| 2014 | 12,98 | 112,91 | 8,54 | 434,13 |
| 2015 | 14,11 | 121,59 | 10,61 | 438,61 |
| 2016 | 15,95 | 135,82 | 11,80 | 445,93 |
| 2017 | 17,52 | 147,99 | 12,23 | 452,19 |
| 2018 | 18,08 | 152,38 | 12,76 | 454,45 |
| 2019 | 19,26 | 161,46 | 13,84 | 459,12 |
| 2020 | 19,81 | 170,28 | 14,35 | 463,66 |
| 2021 | 20,17 | 178,03 | 14,69 | 467,65 |
| 2022 | 21,54 | 183,50 | 15,94 | 470,47 |
| 2023 | 22,11 | 189,09 | 16,47 | 473,35 |
| 2024 | 22,62 | 196,93 | 16,94 | 477,39 |
| 2025 | 23,94 | 204,56 | 18,15 | 481,31 |
| 2026 | 24,75 | 210,14 | 18,89 | 484,18 |

Berdasarkan hasil simulasi pada Tabel 30, maka dapat dihitung nilai APE menggunakan Persamaan 2.

$$APE = \left| \frac{16,05 - 15,95}{16,05} \times 100 \right| = 0,62\%$$

Setelah memperoleh APE, maka MAPE dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.

$$MAPE = \frac{3,44 + 0,54 + 2,19 + 7,23 + 0,62 + 2,34 + 0,56}{7}$$

$$MAPE = 2,42\%$$

Berikut hasil perhitungannya pada Tabel 31.

Tabel 31 Nilai MAPE Pada Kondisi Ketiga

| Tahun | APE (%) | | | |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | V ₁ | V ₂ | V ₃ | V ₄ |
| 2012 | 3,12 | 7,47 | 7,69 | 0,44 |
| 2013 | 0,77 | 2,17 | 0,74 | 0,02 |
| 2014 | 2,03 | 3,30 | 5,95 | 0,59 |
| 2015 | 7,29 | 2,34 | 3,01 | 0,48 |
| 2016 | 0,93 | 2,09 | 3,59 | 0,11 |
| 2017 | 2,22 | 3,34 | 2,26 | 0,51 |
| 2018 | 0,67 | 0,26 | 0,08 | 0,14 |
| MAPE (%) | 2,43 | 2,99 | 3,33 | 0,32 |

4.3 Pengaruh Jumlah Fungsi Keanggotaan

Simulasi dilakukan dari tahun 2012 – 2026. Setiap tahunnya menggunakan 1 *rules*, sehingga jumlah *rules* yang seharusnya digunakan untuk simulasi dari tahun 2012 – 2026 adalah 15 *rules*. Kenyataannya, kondisi pertama (3 fungsi keanggotaan) memperoleh 7 *rules* valid, kondisi kedua (5 fungsi keanggotaan) memperoleh 13 *rules* valid, dan kondisi ketiga (7 fungsi keanggotaan) memperoleh 15 *rules* valid. Hal tersebut menyebabkan hasil simulasi yang berbeda – beda pada setiap kondisinya.

4.3.1 Perbandingan Nilai MAPE Beban Listrik

Nilai MAPE yang diperoleh pada 3 kondisi yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 32 berikut.

Tabel 32 MAPE Beban Listrik Pada 3 Kondisi

| Tahun | APE (%) | | |
|----------|----------------|----------------|----------------|
| | K ₁ | K ₂ | K ₃ |
| 2012 | 12,55 | 0,40 | 3,44 |
| 2013 | 8,31 | 3,46 | 0,54 |
| 2014 | 6,1 | 1,06 | 2,19 |
| 2015 | 7,1 | 7,23 | 7,23 |
| 2016 | 2,87 | 4,42 | 0,62 |
| 2017 | 3,15 | 2,34 | 2,34 |
| 2018 | 5,51 | 4,45 | 0,56 |
| MAPE (%) | 6,51 | 3,34 | 2,42 |

K₁ adalah Kondisi Pertama (3 fungsi keanggotaan), K₂ adalah Kondisi Kedua (5 fungsi keanggotaan), dan K₃ adalah Kondisi Ketiga (7 fungsi keanggotaan).

Berdasarkan Tabel 32, dapat dilihat bahwa kondisi ketiga memiliki nilai MAPE

yang paling kecil. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kondisi ketiga memiliki tingkat ketelitian yang paling tinggi daripada kondisi pertama dan kedua, sehingga kemungkinan terjadinya hasil simulasi yang sama dari 2012 – 2026 menjadi semakin kecil. Jadi, kondisi ketiga yang menggunakan 7 fungsi keanggotaan merupakan kondisi yang paling bagus digunakan untuk melakukan peramalan beban listrik pada penelitian ini.

4.3.2 Perbandingan Hasil Peramalan Beban Listrik

Hasil peramalan dari tahun 2012 sampai tahun 2026 pada 3 kondisi yang berbeda dapat dilihat pada tabel 9 berikut.

Tabel 9 Hasil Simulasi Beban Listrik

| Tahun | Beban Listrik (MW) | | |
|-------|--------------------|----------------|----------------|
| | K ₁ | K ₂ | K ₃ |
| 2012 | 14,08 | 12,56 | 12,93 |
| 2013 | 14,08 | 12,56 | 12,94 |
| 2014 | 14,08 | 13,13 | 12,98 |
| 2015 | 14,13 | 14,11 | 14,11 |
| 2016 | 15,59 | 15,34 | 15,95 |
| 2017 | 16,58 | 16,72 | 17,52 |
| 2018 | 16,99 | 17,18 | 18,08 |
| 2019 | 17,98 | 18,01 | 19,26 |
| 2020 | 20,51 | 19,75 | 19,81 |
| 2021 | 20,97 | 20,20 | 20,17 |
| 2022 | 20,97 | 21,21 | 21,54 |
| 2023 | 20,97 | 22,91 | 22,11 |
| 2024 | 20,97 | 23,26 | 22,62 |
| 2025 | 20,97 | 23,26 | 23,94 |
| 2026 | 20,97 | 23,26 | 24,75 |

Berdasarkan Tabel 33, dapat dilihat bahwa hasil simulasi pada kondisi ketiga merupakan hasil simulasi yang paling bagus daripada kondisi pertama dan kondisi kedua, karena tidak terdapat hasil simulasi yang sama dari tahun 2012 – 2026. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kondisi ketiga memiliki tingkat ketelitian yang paling tinggi daripada kondisi pertama dan kedua.

5. SIMPULAN

Berdasarkan perbandingan hasil peramalan dari 3 kondisi yang berbeda, kondisi ketiga yang menggunakan 7 fungsi keanggotaan merupakan hasil peramalan yang paling bagus daripada kondisi pertama dan kondisi kedua, karena kondisi ketiga memiliki nilai MAPE yang paling kecil di antara kondisi pertama dan kondisi kedua.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] R. K. Wardana, "Data Beban Listrik Kabupaten Sumbawa Besar," in *PT. PLN (Persero) Area Sumbawa, Sumbawa Besar, Indonesia*, 2018.

[2] E. C. Septarini, "Rasio Elektrifikasi NTB 2017 Melampaui Target," *Kabar24*, 2018. [Daring]. Tersedia pada: <https://kabar24.bisnis.com/read/20180122/78/729150/rasio-elektifikasi-ntb-2017-melampaui-target>.

[3] M. Masarrang, E. Yudaningtyas, dan A. Naba, "Peramalan Beban Jangka Panjang Sistem Kelistrikan Kota Palu Menggunakan Metode Logika Fuzzy," *J. EECCIS*, vol. 9, no. 1, hal. 13–18, 2015.

[4] M. R. Djalal, A. Pangkung, S. Sonong, dan A. Apollo, "Peak Load Prediction Using Fuzzy Logic For The 150 kV Sulselrabar System," *J. Inf. Technol. Comput. Sci.*, vol. 3, no. 1, hal. 49, 2018.

[5] A. M. Ardhian, S. P. Hadi, dan M. I. Bs, "Membership Function Comparative Study on Load Forecasting using ANFIS Framework," *IJSER*, vol. 7, no. 2, hal. 963–967, 2016.

[6] I. P. Jerry, A. Dinata, I. W. Rinas, dan I. W. A. Wijaya, "Pengaruh Fuzzy Logic Controller Pada Pengoperasian Filter Aktif Shunt Terhadap Penurunan I THD dan Rugi- Rugi Daya Pada Sistem Kelistrikan RSUD Klungkung," *SPEKTRUM*, vol. 6, no. 3, hal. 141–147, 2019.

[7] M. S. Imrona, "Implementasi Fuzzy Sugeno Untuk Perubahan Perilaku NPC (Dinosaurus) Pada Game Dino Escape," *Cent. Libr. Maulana Malik Ibrahim State Islam. Univ.*, hal. 1–89, 2015.

[8] L. K. Wardhani dan E. Haerani, "Analisis Pengaruh Pemilihan Fuzzy Membership Function Terhadap Output Sebuah Sistem Fuzzy Logic," *SNTIKI III*, hal. 326–333, 2011.

[9] T. Sutojo, *Logika Fuzzy menggunakan Matlab*. Semarang, 2011.

[10] H. Effendi, "Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek Menggunakan Matlab," *Saintek*, vol. XII, no. 1, hal. 52–58, 2009.

[11] S. Singh, S. Hussain, dan M. A. Bazaz, "Short term load forecasting using artificial neural network," *2017 Fourth Int. Conf. Image Inf. Process.*, hal. 159–163, 2017.