PENERAPAN *FUZZY MAMDANI* UNTUK ESTIMASI KEBUTUHAN KWH LISTRIK RUMAH TANGGA PRABAYAR DI KABUPATEN PULANG PISAU

TUGAS AKHIR

Disusun untuk Memenuhi Syarat Kelulusan Program Strata I
pada Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer
(STMIK) Palangkaraya

OLEH

DAHLIA FEBRIANI
C2255201081
PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA

SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INFORMATIKA DAN KOMPUTER
(STMIK) PALANGKARAYA
2026

PENERAPAN *FUZZY MAMDANI* UNTUK ESTIMASI KEBUTUHAN KWH LISTRIK RUMAH TANGGA PRABAYAR DI KABUPATEN PULANG PISAU

TUGAS AKHIR

Disusun untuk Memenuhi Syarat Kelulusan Program Strata I
pada Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer
(STMIK) Palangkaraya

OLEH

DAHLIA FEBRIANI
C2255201081
PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA

SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INFORMATIKA DAN KOMPUTER
(STMIK) PALANGKARAYA
2026

PERSETUJUAN

PENERAPAN *FUZZY MAMDANI* UNTUK ESTIMASI KEBUTUHAN KWH LISTRIK RUMAH TANGGA PRABAYAR DI KABUPATEN PULANG PISAU

Tugas Akhir Ini Telah Disetujui dan Disahkan

Pembimbing I,	Pembimbing II,
Lili Rusdiana, M.Kom.	Elok Faiqotul Himmah, S.Si., M.Sc.
NIK. 198707282011007	NIK. 198503092009003

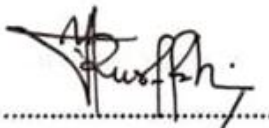
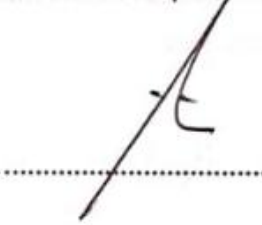
Mengetahui	Mengesahkan
Ketua STMIK Palangkaraya,	Ketua Prodi Teknik Informatika,
Ir. Hj. Siti Maryamah, M.M	Ir. Abdul Hadi, S.T., M.Kom
NIK. 196902021995004	NIK. 198505102021101

PENGESAHAN

PENERAPAN *FUZZY MAMDANI* UNTUK ESTIMASI KEBUTUHAN KWH LISTRIK RUMAH TANGGA PRABAYAR DI KABUPATEN PULANG PISAU

Tugas Akhir ini telah Diujikan, Dinilai, dan Disahkan
Oleh Tim Penguji pada Tanggal 27 April 2026

Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Sulistyowati, S.Kom., M.Cs. ..... 
   Ketua
2. Rudini, M.Pd ..... 
   Sekretaris
3. Veny Cahya Hardita, M.Kom ..... 
   Anggota
4. Lili Rusdiana, M.Kom ..... 
   Anggota
5. Elok Faiqotul Himmah, S.Si., M.Sc ..... 
   Anggota

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Dahlia Febriani

N I M : C2255201081

menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul :

PENERAPAN *FUZZY MAMDANI* UNTUK ESTIMASI KEBUTUHAN KWH LISTRIK RUMAH TANGGA PRABAYAR DI KABUPATEN *PULANG PISAU*

adalah hasil karya saya dan bukan merupakan duplikasi sebagian atau seluruhnya dari karya orang lain, kecuali bagian yang sumber informasi dicantumkan.

Pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya secara sadar dan bertanggungjawab dan saya bersedia menerima sanksi pembatalan Tugas Akhir apabila terbukti melakukan duplikasi terhadap Tugas Akhir atau karya ilmiah lain yang sudah ada.

Palangka Raya, 27 April 2026

Yang Membuat Pernyataan,



Dahlia Febriani

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

"Jangan pernah menyerah pada apa yang benar-benar ingin kamu lakukan. Seseorang yang memiliki mimpi besar lebih kuat daripada seseorang yang memiliki semua fakta."
– Albert Einstein

"Semua mimpi kita dapat terwujud jika kita berani untuk mewujudkannya." -Walt disney

Tugas Akhir ini penulis persembahkan kepada:

- Mama dan Bapa tercinta, yang senantiasa memberikan doa, dukungan, serta kepercayaan penuh kepada penulis. Tanpa kasih sayang dan pengorbanan keduanya, penulis tidak akan dapat mencapai tahap ini.
- Kedua kakak penulis, Mbak dan Mas, yang telah banyak membantu dalam berbagai hal, baik dukungan moral maupun pemenuhan kebutuhan selama masa studi.
- Teman penulis, yang telah membantu sejak tahap awal, mulai dari pencarian ide penelitian, proses penyusunan, hingga penyelesaian Tugas Akhir ini. Berkat dukungan dan kebersamaan, masa perkuliahan dapat dilalui dengan lebih baik.
- Sahabat penulis, yang selalu memberikan dukungan, perhatian, dan bantuan dengan tulus tanpa pamrih dalam berbagai situasi.
- Seluruh dosen STMIK Palangkaraya, yang telah memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, serta dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan dan menyusun Tugas Akhir ini dengan baik.

INTISARI

Dahlia Febriani, C2255201081, 2026. *Penerapan Fuzzy Mamdani Untuk Estimasi Kebutuhan Kwh Listrik Rumah Tangga Prabayar Di Kabupaten Pulang Pisau,* Pembimbing I Lili Rusdiana, M.Kom., Pembimbing II Elok Faiqotul Himmah, S.Si., M.Sc.

Penggunaan listrik prabayar pada rumah tangga sering menimbulkan masalah dalam menentukan dan memperkirakan nominal token listrik yang sesuai untuk memenuhi kebutuhan dalam satu bulan. Kondisi ini menunjukkan perlunya suatu pendekatan yang mampu membantu pengguna dalam memperkirakan kebutuhan listrik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode *Fuzzy Mamdani* dalam mengestimasi kebutuhan listrik rumah tangga sehingga dapat membantu pengguna dalam merencanakan penggunaan listrik secara lebih efektif.

Metode *Fuzzy Mamdani* dipilih karena mampu mengakomodasi ketidakpastian data serta perbedaan pola penggunaan listrik pada setiap rumah tangga. Data penelitian dikumpulkan melalui penyebaran kuesioner kepada 60 responden masyarakat Kabupaten Pulang Pisau. Variabel input yang digunakan meliputi golongan daya, jumlah peralatan elektronik, durasi pemakaian, dan jumlah penghuni rumah. Tahapan penelitian mencakup analisis kebutuhan, perancangan model *fuzzy*, penentuan fungsi keanggotaan, penyusunan aturan (*rule base*), proses inferensi, agregasi, serta *defuzzifikasi*, yang kemudian diimplementasikan dalam bentuk aplikasi dan diuji melalui pengujian fungsional serta perhitungan manual.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode Fuzzy Mamdani mampu menghasilkan estimasi kebutuhan listrik rumah tangga dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi. Berdasarkan hasil validasi melalui perhitungan error antara nilai estimasi dan data aktual, diperoleh nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 40,98%, yang menunjukkan bahwa tingkat kesalahan estimasi berada pada kategori cukup. Hal ini menunjukkan bahwa metode Fuzzy Mamdani dapat digunakan sebagai pendekatan dalam memperkirakan kebutuhan listrik rumah tangga secara sistematis, meskipun masih terdapat selisih antara hasil estimasi dan kondisi aktual.

Kata kunci : estimasi listrik, *fuzzy mamdani*, listrik prabayar, rumah tangga

ABSTRACT

Dahlia Febriani, C2255201081, 2026. *Application of the Fuzzy Mamdani Method for Estimating Prepaid Household Electricity Consumption (kWh) in Pulang Pisau Regency.,* Advisor I Lili Rusdiana, M.Kom., Advisor II Elok Faiqotul Himmah, S.Si., M.Sc.

The use of prepaid electricity in households often creates difficulties in determining and estimating the appropriate electricity token amount to meet monthly needs. This condition indicates the necessity of an approach that can assist users in estimating electricity consumption more effectively. Therefore, this study aims to implement the Fuzzy Mamdani method to estimate household electricity consumption in order to help users plan their electricity usage more efficiently.

The Fuzzy Mamdani method was selected because it is capable of accommodating data uncertainty and variations in electricity usage patterns among households. Research data were collected through questionnaires distributed to 60 respondents in Pulang Pisau Regency. The input variables used in this study include power capacity classification, number of electronic appliances, usage duration, and number of household members. The research stages consist of needs analysis, fuzzy model design, determination of membership functions, rule base formulation, inference process, aggregation, and defuzzification, which were then implemented in an application and tested through functional testing and manual calculations.

The results of this study indicate that the application of the Mamdani Fuzzy method is capable of generating estimates of household electricity needs in low, medium, and high categories. Based on the validation results through error calculation between the estimated values and actual data, a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) value of 40.98% was obtained, indicating that the estimation error rate falls within a sufficient category. This demonstrates that the Mamdani Fuzzy method can be used as an approach to systematically estimate household electricity needs, although a discrepancy between the estimation results and actual conditions still exists.

Keywords: *electricity consumption estimation, fuzzy mamdani, prepaid electricity, household*

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Sebagai sivitas akademik Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer (STMIK) Palangkaraya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dahlia Febriani

NIM : C2255201081

Program Studi : Teknik Informatika

Jenis Karya : Laporan Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer (STMIK) Palangkaraya, Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

PENERAPAN *FUZZY MAMDANI* UNTUK ESTIMASI KEBUTUHAN KWH LISTRIK RUMAH TANGGA PRABAYAR DI KABUPATEN PULANG PISAU

Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif ini Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer (STMIK) Palangkaraya berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Palangka Raya
Pada tanggal : 27 April 2026

Yang menyatakan



Dahlia Febriani

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Penerapan Fuzzy Mamdani untuk Estimasi Kebutuhan kWh Listrik Rumah Tangga Prabayar di Kabupaten Pulang Pisau". Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada program studi yang ditempuh oleh penulis.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis memperoleh berbagai bantuan, dukungan, serta bimbingan dari banyak pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Masyarakat Kabupaten Pulang Pisau yang telah bersedia menjadi responden mengisi kuesioner serta memberikan data yang diperlukan dalam penelitian ini, sehingga proses pengumpulan dan pengolahan data dapat terlaksana dengan baik.
2. Lili Rusdiana, M.Kom., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan, motivasi, serta menjawab berbagai pertanyaan penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir.
3. Elok Faiqotul Himmah, S.Si., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing II, yang telah membantu dan membimbing dalam penulisan serta memberikan saran dan masukan dalam penyusunan Tugas Akhir.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat serta menjadi referensi bagi pembaca dan peneliti selanjutnya. Selain itu, penulis juga berharap penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut di masa mendatang agar menghasilkan sistem yang lebih optimal dan sesuai dengan kebutuhan masyarakat.

Palangka Raya, 27 April 2026

Penulis

DAFTAR ISI

PENGESAHAN ..... **iii**
PERNYATAAN KEASLIAN ..... Error! Bookmark not defined.
MOTTO DAN PERSEMBAHAN ..... **vi**
INTISARI ..... **vii**
ABSTRACT ..... **viii**
KATA PENGANTAR ..... **ix**
DAFTAR ISI ..... **xi**
DAFTAR TABEL ..... **xiii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiv**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xv**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Perumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan dan Manfaat 4
1.5 Sistematika Penulisan 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **7**
2.1 Kajian Teori 7
2.1.1 Listrik 7
2.1.2 Sistem Prabayar 7
2.1.3 Kilowatt-*Hour* Meter 8
2.1.4 Estimasi 8
2.1.5 Metode *Fuzzy Mamdani* 8
2.1.6 *Mean Absolute Percentage Error* (*MAPE*) 14
2.1.7 *Python* 15
2.1.8 *Visual Studio Code* 16
2.1.9 Studi Literatur 16
2.1.10 Teknik Pengumpulan Data 17
2.1.11 Jenis Penelitian *applied research* (Penelitian Terapan) 18
2.1.12 Desain Penelitian Studi Kasus 18

2.2 Penelitian yang Relevan 19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 22
3.1 Tinjauan Umum 22
3.2 Jenis penelitian 23
3.3 Desain Penelitian 23
3.4 Instrumen Penelitian 24
3.5 Analisis Kebutuhan 25
3.5.1 Kebutuhan Perangkat Keras 25
3.5.2 Kebutuhan Perangkat Lunak 25
3.5.4 Analisis data 26
3.5.5 Analisis Proses 30
3.5.6 Perhitungan Manual 43
3.5.6 Analisis Kelemahan 55
3.6 Desain 56
3.6.1 Desain Proses 56
3.6.2 Desain *Interface* 59
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 60
4.1 Hasil 60
4.1.1 Implementasi 60
4.1.2 Pengujian 62
4.2 Pembahasan 70
4.2.1 Program 70
4.3 Kuesioner 77
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 83
5.1 Kesimpulan 83
5.2 Saran 84
DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 2 Kebutuhan Perangkat Keras 25
Tabel 3. 3 Kebutuhan Perangkat Lunak 25
Tabel 3. 4 Golongan Tarif 26
Tabel 3. 5 Klasifikasi Golongan Tarif 26
Tabel 3. 6 Klasifikasi Jumlah Alat Elektronik 27
Tabel 3. 7 Klasifikasi Durasi Pemakaian 28
Tabel 3. 8 Klasifikasi Jumlah Anggota Keluarga 29
Tabel 3. 9 Klasifikasi kebutuhan listrik (kWh) 29
Tabel 3. 10 Himpunan *Fuzzy* 32
Tabel 3. 11 Data Aturan (*Rule*) 39
Tabel 3. 12 Contoh input 44
Tabel 4. 1 Black Box Testing oleh dosen 63
Tabel 4. 2 Tabel Perhitungan Error 69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi tahapan proses inferensi *Fuzzy Mamdani* 11
Gambar 3. 2 Flowchart Sistem Estimasi Kebutuhan Listrik dengan Fuzzy Mamdani 30
Gambar 3. 3 Kurva Keanggotaan Variabel Golongan tarif 34
Gambar 3. 4 Kurva Keanggotaan Variabel Jumlah Alat elektronik 35
Gambar 3. 5 Kurva Keanggotaan Variabel Durasi Pemakaian 36
Gambar 3. 6 Kurva Keanggotaan Variabel Jumlah Anggota Keluarga 37
Gambar 3. 7 Kurva Keanggotaan Variabel Kebutuhan kWh 38
Gambar 3. 8 Kurva Hasil Clipping 51
Gambar 3. 9 Flowchart Desain Proses Estimasi Metode Fuzzy Mamdani 57
Gambar 3. 10 Desain *Interface* Sistem Estimasi kWh Listrik 59
Gambar 4. 1 Tampilan GUI sistem estimasi listrik prabayar 60
Gambar 4. 2 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh Dwi 64
Gambar 4. 3 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh Ulfah 64
Gambar 4. 4 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh Poppy 65
Gambar 4. 5 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh Noraini 65
Gambar 4. 6 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh Firda 66
Gambar 4. 7 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh Saudah 66
Gambar 4. 9 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh Jenita 67
Gambar 4. 10 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh *Noryani* 67
Gambar 4. 11 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh Reza 68
Gambar 4. 12 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh Andika 68
Gambar 4. 13 Kuesioner Nama Responden 78
Gambar 4. 14 Kuesioner menggunakan listrik prabayar 78
Gambar 4. 15 Kuesioner Penentuan Nominal Pembelian Pulsa Listrik 79
Gambar 4. 16 Kuesioner Mengenai Sistem Estimasi 79
Gambar 4. 17 Kuesioner Penentuan Variabel Alat Elektronik 80
Gambar 4. 18 Kuesioner Penentuan Durasi Alat Elektronik 80
Gambar 4. 19 Kuesioner Jumlah Anggota Keluarga 81

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat tugas pembimbing tugas akhir
Lampiran 2. Lembar konsultasi bimbingan Tugas Akhir
Lampiran 3. Surat Izin Penelitian
Lampiran 4. Surat Keterangan Telah Melakukan Penelitian
Lampiran 5. Lembar *Black Box Testing*
Lampiran 6. Surat tugas penguji seminar
Lampiran 7. Poster Penelitian
Lampiran 8. *Listing* Program

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kebutuhan energi listrik merupakan aspek vital dalam kehidupan masyarakat modern, termasuk di wilayah Kabupaten Pulang Pisau. Berdasarkan data dari Badan Statistik Kabupaten Pulang Pisau tahun 2023 Kabupaten Pulang Pisau memiliki jumlah penduduk sebanyak 138.199 jiwa yang tersebar di 8 kecamatan. Berdasarkan data dari UP3 Kuala Kapuas dan ULP Pulang Pisau, jumlah pelanggan listrik di wilayah ini mencapai 49.438 pelanggan, dengan 43.156 di antaranya merupakan pelanggan kategori rumah tangga. Jika dilihat dari jenis layanan, tercatat rata-rata dalam lima tahun terakhir terdapat sekitar 16.372 pelanggan listrik pascabayar setiap bulannya, sementara jumlah pelanggan listrik prabayar jauh lebih besar, yaitu sekitar 33.066 pelanggan per bulan. Data ini menunjukkan bahwa pada saat ini banyak masyarakat menggunakan sistem listrik prabayar (Token).

Sistem listrik prabayar (Token) merupakan sistem yang mengharuskan pelanggan membeli token listrik yang dikonversikan ke satuan kWh. Sejumlah media nasional menyebutkan bahwa salah satu kelemahan dari sistem ini adalah risiko listrik padam mendadak ketika saldo token habis, sehingga masyarakat harus melakukan pembelian secara berkala tanpa perencanaan yang matang (Tempo, 2022; Detik, 2024).

Hasil pengisian kuesioner menunjukkan bahwa sebagian masyarakat masih membeli token listrik berdasarkan nominal yang dianggap terjangkau, seperti Rp20.000 atau Rp50.000, tanpa benar-benar mengetahui apakah jumlah tersebut

mampu memenuhi kebutuhan listrik selama satu bulan. Situasi ini memperlihatkan bahwa masih banyak pengguna yang kebingungan dalam memperkirakan pola konsumsi listrik mereka. Kondisi tersebut menegaskan perlunya alat bantu yang dapat memberikan gambaran pemakaian listrik secara lebih jelas agar masyarakat dapat merencanakan pembelian token dengan lebih tepat.

Selain itu, berdasarkan pemantauan awal terhadap data Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) di Kabupaten Pulang Pisau, belum terdapat sistem informasi lokal yang menyediakan estimasi kebutuhan listrik rumah tangga secara rutin. Hal ini diperkuat dengan hasil kuesioner yang menunjukkan bahwa sebagian masyarakat belum mengetahui apakah ada layanan atau sistem untuk memperkirakan kebutuhan listrik bulanan. Akibatnya, penggunaan listrik masih dikelola berdasarkan perkiraan pribadi tanpa perhitungan yang jelas, sehingga berisiko menimbulkan pemborosan biaya maupun pemadaman mendadak. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan yang mampu mengolah data sederhana menjadi estimasi kebutuhan listrik yang lebih akurat dan mudah dipahami oleh masyarakat.

Metode logika *fuzzy*, khususnya logika *fuzzy Mamdani*, dipilih dalam penelitian ini karena dapat menangani data linguistik kualitatif, seperti "banyak–sedikit" atau "panjang–pendek," yang umum ditemukan dalam karakteristik penggunaan listrik rumah tangga. Pendekatan ini relevan dengan kondisi masyarakat di Kabupaten Pulang Pisau, yang memiliki data penggunaan listrik cenderung tidak lengkap atau sulit diperoleh secara kuantitatif dari sumber resmi. Dengan *fuzzy Mamdani*, data subjektif—seperti perkiraan jumlah perangkat

elektronik yang digunakan, durasi penggunaan rata-rata, dan jumlah anggota keluarga—dapat diproses menjadi nilai estimasi kebutuhan energi listrik dalam satuan kWh secara lebih terstruktur dan terukur.

Urgensi dari penelitian ini terletak pada perlunya pendekatan perhitungan yang mampu membantu ketidakpastian dalam pola konsumsi listrik rumah tangga masyarakat Kabupaten Pulang Pisau. Dengan menerapkan Metode *Fuzzy Mamdani* pada kasus estimasi kebutuhan listrik rumah tangga di Kabupaten Pulang Pisau dapat dihasilkan suatu perhitungan yang dapat menghasilkan estimasi kebutuhan listrik bulanan secara lebih sistematis. Hasil estimasi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai dasar pertimbangan dalam perencanaan penggunaan energi listrik serta pengelolaan pengeluaran rumah tangga secara lebih efisien.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana menerapkan *Fuzzy Mamdani* untuk estimasi kebutuhan kWh listrik prabayar di Kabupaten Pulang Pisau.

1.3 Batasan Masalah

a. Estimasi kebutuhan listrik ditujukan pada pemakaian listrik dalam satu rumah tangga.
b. Variabel data dalam penelitian ini adalah Golongan Tarif (VA), Jumlah Alat Elektronik (Jumlah), Durasi Pemakaian (Jam/hari), Jumlah Anggota Keluarga (Orang).
c. Kriteria Golongan Tarif dibatasi pada rentang 900 – 5500 VA.

d. Data *output* yang dihasilkan adalah jumlah kWh dan biaya listrik dalam sebulan.
e. Menggunakan sistem prabayar di Kabupaten Pulang Pisau.
f. Penerapan Metode *Fuzzy Mamdani* dilakukan melalui aplikasi berbasis *Graphical User Interface* (GUI) sebagai media bantu perhitungan.
g. Aplikasi yang dikembangkan hanya digunakan untuk implementasi Metode *Fuzzy Mamdani* dalam penelitian dan tidak ditujukan untuk digunakan oleh masyarakat umum.

1.4 Tujuan dan Manfaat

a. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah menerapkan *Fuzzy Mamdani* untuk estimasi kebutuhan kWh listrik prabayar di Kabupaten Pulang Pisau.

b. Manfaat

Manfaat penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu manfaat bagi penulis dan manfaat bagi STMIK Palangkaraya. Adapun penjelasannya adalah sebagai berikut:

1) Bagi Penulis

Manfaat penelitian ini bagi penulis adalah sebagai sarana penulis dalam memperdalam ilmu dan wawasan yang didapatkan selama di perkuliahan serta meningkatkan kemampuan dalam memahami penerapan Metode *Fuzzy Mamdani* dalam suatu studi kasus.

2) Bagi STMIK Palangkaraya

Manfaat penelitian ini bagi kampus adalah dapat menjadi literatur di perpustakaan STMIK Palangkaraya sekaligus menjadi referensi bagi mahasiswa lain dalam mengembangkan sistem sejenis. Penelitian ini juga dapat dijadikan sebagai acuan pembelajaran khususnya dalam Metode *Fuzzy Mamdani*.

3) Bagi Pengguna

Manfaat penelitian ini bagi pengguna adalah memberikan gambaran mengenai perkiraan kebutuhan penggunaan listrik rumah tangga berdasarkan beberapa faktor. Hasil estimasi yang diperoleh dapat menjadi referensi dalam memperkirakan kebutuhan pembelian token listrik dalam satu bulan sehingga dapat membantu dalam merencanakan pengeluaran listrik rumah tangga secara lebih terarah.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam penulisan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab dan masing-masing bab membahas dan menguraikan pokok permasalahan yang berbeda, sebagai gambaran di sini penulis menyertakan garis-garis besarnya yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang masalah, rumusan masalah, Batasan masalah, tujuan dan manfaat, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tinjauan pustaka dan kajian teori yang relevan serta mendukung penelitian. Teori yang dibahas meliputi konsep listrik, sistem prabayar, kWh meter, Metode *Fuzzy Mamdani*, *Python*, *Visual Studio Code*, studi literatur, teknik pengumpulan data, jenis penelitian *applied research*, serta desain penelitian studi kasus.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metodologi penelitian yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir. Pembahasan meliputi tinjauan umum, jenis penelitian, desain penelitian, instrumen penelitian, analisis kebutuhan, desain dan jadwal penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil implementasi metode *Fuzzy Mamdani* dalam estimasi kebutuhan listrik rumah tangga prabayar, serta pembahasan terhadap hasil perhitungan dan pengujian berdasarkan data kuesioner yang digunakan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian mengenai estimasi kebutuhan listrik rumah tangga prabayar menggunakan metode *Fuzzy Mamdani*, serta saran untuk pengembangan sistem dan penelitian selanjutnya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Teori

2.1.1 Listrik

Listrik merupakan salah satu kebutuhan penting dalam mempengaruhi kehidupan manusia. Dapat dikatakan listrik menjadi sumber energi utama dalam kegiatan manusia, baik industri maupun rumah tangga (Zaen et al., 2021).

Dalam penelitian ini, listrik merupakan fokus utama dalam pemahaman mengenai konsumsi listrik rumah tangga di Kabupaten Pulang Pisau. Selain itu, listrik menjadi aspek pada proses estimasi kWh listrik yang bertujuan memperkirakan besarnya pemakaian listrik rumah tangga.

2.1.2 Sistem Prabayar

Listrik prabayar merupakan layanan PT PLN (Persero) yang memungkinkan pelanggan mengendalikan penggunaan energi melalui meter elektronik prabayar. Sistem ini menggunakan token atau *voucher* yang dibeli sesuai nominal yang diinginkan beserta biaya administrasi, kemudian dimasukkan ke dalam meter untuk menambah saldo listrik (Gosal et al., 2025).

Sistem prabayar dalam penelitian ini diposisikan sebagai lingkungan penerapan estimasi. Selain itu, sistem prabayar berperan sebagai media nyata untuk menguji dan mengaplikasikan model estimasi. Pemilihan sistem prabayar dalam penelitian ini didasarkan pada fakta bahwa mayoritas masyarakat telah menggunakan layanan listrik prabayar.

2.1.3 Kilowatt-*Hour* Meter

Alat yang digunakan untuk mengukur energi listrik ialah kWh meter. kWh meter digunakan sebagai penjumlahan dari pemakaian energi aktif. Selain itu, kWh meter juga digunakan untuk memantau dan membatasi konsumsi energi listrik konsumen (Pujianto et al., 2022). kWh meter berperan sebagai alat ukur untuk menghitung berapa besar energi listrik yang digunakan oleh rumah tangga. Satuan kWh yang ditampilkan menjadi landasan dalam perhitungan biaya listrik pelanggan.

2.1.4 Estimasi

Estimasi ialah suatu proses yang menyertakan *estimator* dalam memberikan estimasi dari sebuah parameter. Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), estimasi diartikan sebagai perkiraan, penilaian, atau pendapat. Dengan demikian, estimasi dapat diartikan sebagai istilah untuk menyatakan perkiraan, penilaian atau pendapat mengenai sesuatu (Nainel et al., 2020).

Estimasi digunakan untuk memperkirakan berapa jumlah biaya listrik rumah tangga berdasarkan variabel *input* yang digunakan. Dengan adanya estimasi, masyarakat dapat merencanakan penggunaan listrik dengan lebih efisien.

2.1.5 Metode *Fuzzy Mamdani*

Metode *Mamdani* kerap juga dikenal dengan sebutan Metode Max - Min. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim *Mamdani* pada tahun 1975 (Rindengan & Yohanes, 2019). Menurut (Rindengan & Yohanes, 2019) untuk menghasilkan *output*, diperlukan 4 tahapan:

1. Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

   Proses pertama dalam *fuzzifikasi* adalah menentukan variabel *fuzzy* dan himpunan *fuzzy*. Kemudian, menentukan derajat kesepadanan (*degree of match*) antara data *input fuzzy* dengan himpunan *fuzzy* yang didefinisikan untuk setiap variabel *input* dari setiap aturan *fuzzy*. Pada Metode *Mamdani*, baik variabel *input* maupun variabel *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*.

2. Aplikasi Fungsi Implikasi

   Pada tahap aplikasi fungsi implikasi digunakan operator min. Proses implikasi dilakukan dengan menyesuaikan nilai keanggotaan *input* terhadap himpunan *fuzzy* yang telah ditentukan pada variabel *output* di bagian konsekuen setiap aturan. Selanjutnya, hasil implikasi dari masing-masing aturan *fuzzy* digabungkan sehingga menghasilkan keluaran inferensi *fuzzy* secara keseluruhan.

3. Komposisi Aturan (inferensi)

   Pada tahap komposisi aturan, jika model fuzzy memiliki lebih dari satu aturan, maka proses inferensi diperoleh dari gabungan serta hubungan antar aturan yang ada, bukan hanya dari penalaran tunggal. Dalam sistem *fuzzy*, terdapat tiga metode yang umum digunakan untuk melakukan inferensi, yaitu metode *max*, *additive*, dan *probabilistik* OR.

   a) Metode *Max* (*Maximum*)

      Dalam metode ini, solusi himpunan *fuzzy* ditentukan dengan mengambil nilai Maksimum dari setiap aturan. Nilai Maksimum tersebut kemudian

digunakan untuk memodifikasi daerah *fuzzy* dan diaplikasikan pada *output* dengan operator OR (union). Setelah seluruh proposisi dievaluasi, diperoleh sebuah himpunan *fuzzy* yang merepresentasikan kontribusi dari masing-masing proposisi.

Secara umum dituliskan sebagai berikut :

$$\mu_{\text{sf}}[x_i] \leftarrow max(\mu_{\text{sf}}[x_i], \mu_{\text{kf}}[x_i]) \quad (1)$$

dengan :

1) $\mu_{\text{sf}}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke- i
2) $\mu_{\text{kf}}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke- i
3) *max* (a, b) = fungsi maksimum, yaitu memilih nilai terbesar antara a dan b

Misalkan ada 3 aturan (proposisi) sebagai berikut:

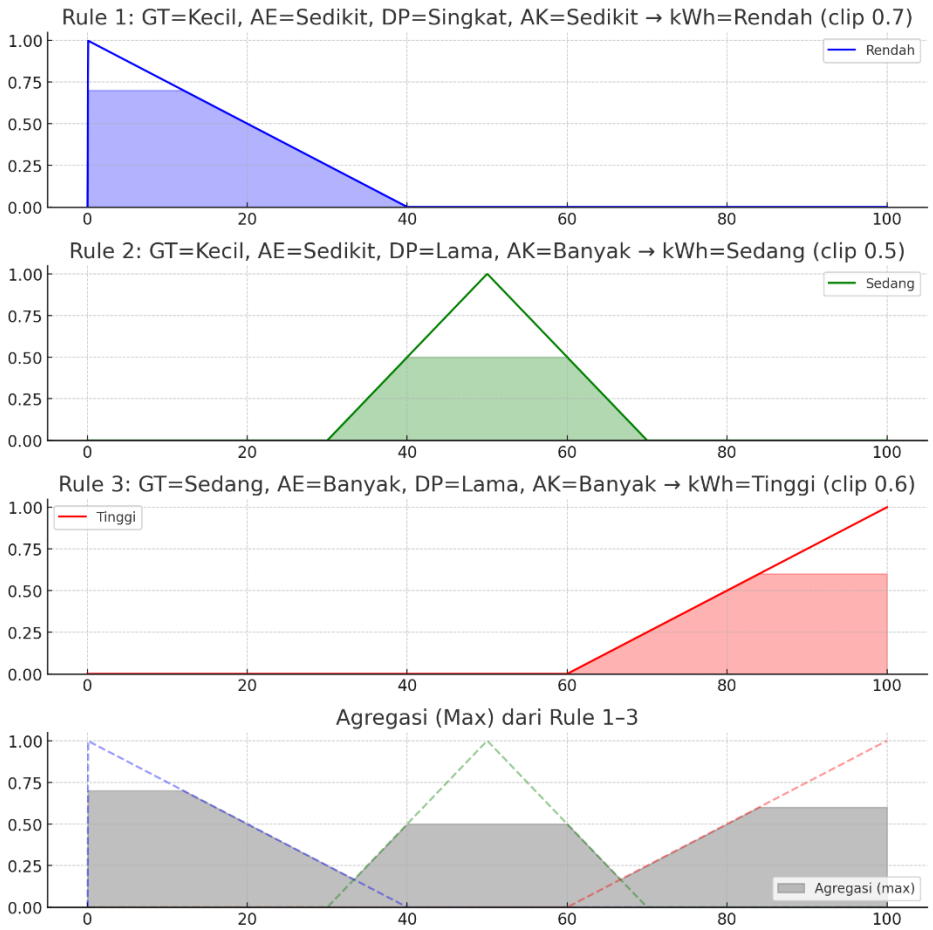
1) *IF* Alat = Sedikit *AND* Durasi = Singkat *AND* Daya = Rendah *THEN* kWh = Rendah

2) *IF* Alat = Sedikit *AND* Durasi = Singkat *AND* Daya = Sedang *THEN* kWh = Rendah

3) *IF* Alat = Sedikit *AND* Durasi = Singkat *AND* Daya = Tinggi *THEN* kWh = Rendah

Tiga aturan di atas apabila digambarkan dalam bentuk fungsi keanggotaan akan menghasilkan *output fuzzy* pada himpunan “kWh = Rendah”, “kWh = Sedang”, dan “kWh = Tinggi” sesuai dengan kondisi masing-masing aturan. Proses inferensi dilakukan dengan menggunakan operator min pada tahap implikasi untuk menentukan derajat keanggotaan dari tiap aturan, kemudian hasilnya digabungkan

menggunakan operator *max* pada tahap komposisi. Gambar 2.1 menunjukkan bagaimana ketiga aturan tersebut dipetakan ke dalam daerah *fuzzy output* secara bersamaan.



Gambar 2. 1 Ilustrasi tahapan proses inferensi *fuzzy Mamdani*
Sumber : (Rindengan & Yohanes, 2019)

b) Metode *Additive* (Sum)

Dalam metode ini, himpunan solusi *fuzzy* diperoleh dengan menjumlahkan seluruh *output* dari daerah *fuzzy* menggunakan operasi *bounded*-sum.

Secara umum dituliskan sebagai berikut :

$$\mu_{\mathrm{sf}}[x_i] \leftarrow \min(1, \mu_{\mathrm{sf}}[x_i] + \mu_{\mathrm{kf}}[x_i]) \quad (2)$$

dengan:

1) $\mu_{\mathrm{sf}}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke- i;
2) $\mu_{\mathrm{kf}}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke- i;
3) min(a, b) = fungsi minimum, yaitu memilih nilai terkecil antara a dan b

c) Metode *Probabilistik* OR (*probor*)

Metode ini menghasilkan solusi himpunan *fuzzy* dengan mengalikan (*product*) seluruh *output* dari daerah *fuzzy* yang terbentuk.

Secara umum dituliskan sebagai berikut:

$$\mu_{\mathrm{sf}}[x_i] \leftarrow (\mu_{\mathrm{sf}}[x_i] + \mu_{\mathrm{kf}}[x_i] - (\mu_{\mathrm{sf}}[x_i] * \mu_{\mathrm{kf}}[x_i]) \quad (3)$$

dengan:

1) $\mu_{\mathrm{sf}}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke- i;
2) $\mu_{\mathrm{kf}}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke- i;

Pada penelitian ini, metode komposisi aturan yang digunakan adalah metode *max*. Hal ini sesuai dengan karakteristik sistem inferensi *Mamdani* yang dikenal dengan Metode Max-Min, di mana operator min digunakan pada tahap implikasi dan operator *max* digunakan pada tahap komposisi aturan. Dengan demikian, hasil inferensi diperoleh dari nilai keanggotaan maksimum yang mewakili kontribusi dari setiap aturan yang aktif.

4. Penegasan (*defuzifikasi*)

Proses *defuzzifikasi* menerima *input* berupa himpunan *fuzzy* yang dihasilkan dari komposisi berbagai aturan *fuzzy*. Hasil dari proses ini adalah sebuah

bilangan tunggal (*crisp*) yang berada dalam domain himpunan *fuzzy* tersebut. Dengan kata lain, jika terdapat suatu himpunan *fuzzy* pada rentang tertentu, maka dari himpunan itu harus ditentukan satu nilai *crisp* sebagai *output*. Ada beberapa metode *defuzzifikasi* pada komposisi aturan *Mamdani*, antara lain:

a) Metode *Centroid* (*Composite Moment*)

Pada metode ini, nilai *crisp* ditentukan dengan mengambil titik pusat (z*) dari area himpunan *Fuzzy*. Metode ini umumnya dirumuskan sebagai berikut :

$$z^* = \frac{\int_z z\mu(z)dz}{\int_z \mu(z)dz} \quad (4)$$

$$z^* = \frac{\sum_{j=1}^{n} zj\mu(zj)}{\sum_{j=1}^{n} \mu(zj)} \quad (5)$$

Persamaan (4) dan (5) sama-sama merepresentasikan metode *defuzzifikasi Centroid*. Bedanya, persamaan (4) dipakai untuk variabel kontinu menggunakan integral, sedangkan persamaan (5) dipakai untuk variabel diskrit menggunakan penjumlahan. Secara konsep keduanya ekuivalen, hanya berbeda pada bentuk perhitungan matematis.

b) Metode *Bisektor*

Metode ini bekerja dengan cara membagi area himpunan *fuzzy* menjadi dua bagian yang sama besar berdasarkan derajat keanggotaan. Nilai *crisp* diambil pada titik z yang membagi dua area tersebut.

c) Metode *Mean of Maximum* (*MOM*)

Pada metode ini, nilai *crisp* diperoleh dengan menghitung rata-rata dari semua nilai z yang memiliki derajat keanggotaan maksimum.

d) Metode *Largest of Maximum* (*LOM*)

Pada metode ini, solusi *crisp* ditentukan dengan memilih nilai z terbesar dari himpunan *fuzzy* yang memiliki derajat keanggotaan maksimum.

e) Metode *Smallest of Maximum* (*SOM*)

Metode ini menentukan nilai *crisp* dengan mengambil nilai z terkecil dari himpunan *fuzzy* yang mencapai derajat keanggotaan maksimum.

Pada penelitian ini digunakan Metode *Centroid* dalam tahap defuzzifikasi . Metode ini mampu menghasilkan nilai *crisp* yang memberikan rata-rata berbobot dari seluruh himpunan *fuzzy*, sehingga hasil lebih stabil dan akurat.

2.1.6 *Mean Absolute Percentage Error* (*MAPE*)

Mean Absolute Percentage Error (*MAPE*) merupakan salah satu ukuran evaluasi yang sering digunakan dalam menentukan nilai tingkat akurasi suatu model karena hasilnya dinyatakan dalam bentuk persentase sehingga mudah dipahami. Semakin kecil nilai MAPE yang diperoleh, maka semakin baik tingkat akurasi model tersebut. Namun metode MAPE kurang tepat digunakan pada data yang memiliki nilai aktual nol atau mendekati nol karena dapat menghasilkan nilai kesalahan yang tidak terdefinisi (Nuha et al., 2025). MAPE dalam penelitian digunakan untuk mengukur tingkat akurasi dengan menghitung rata-rata persentase kesalahan antara nilai aktual dan nilai estimasi. Secara matematis, MAPE dapat didefinisikan sebagai berikut (Nuha et al., 2025):

$$MAPE = \frac{100\%}{N}\sum_{n=1}^{N}\left|\frac{y_n - x_n}{y_n}\right| \quad (6)$$

Dengan:

1) N = Jumlah sampel Data
2) y_n = Nilai aktual ke-n
3) x_n = Nilai Prediksi ke-n

Metode MAPE memiliki *range* nilai yang dapat dijadikan pengukuran mengenai kemampuan dari suatu model ,*range* nilai tersebut dapat dilihat pada tabel 2. 1(Nabillah & Ranggadara, 2020).

Tabel 2. 1 *Range* nilai MAPE

Range MAPE	Keterangan
<10%	Sangat Baik
10-20%	Baik
20-50%	Cukup
>50%	Tidak Akurat

2.1.7 *Python*

Python merupakan bahasa pemrograman yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang dan salah satu bahasa pemrograman tingkat tinggi. *Python* sering digunakan untuk pengembangan perangkat lunak, pembuatan situs *web*, hingga analisis data serta penerapan kecerdasan buatan. Selain itu, *python* mudah digunakan untuk *programmer* pemula sehingga popularitasnya semakin meningkat (Ritonga and Yahfizham, 2023).

Sebagai salah satu bahasa pemrograman yang mudah, *python* digunakan untuk membangun model estimasi Metode *Fuzzy Mamdani*. Bahasa pemrograman ini memiliki sintaks yang sederhana dan memilik banyak *library* pendukung seperti *scikit- fuzzy* untuk perhitungan logika *fuzzy*.

2.1.8 *Visual Studio Code*

Visual Studio Code merupakan *Integrated Development Environment* (IDE) yang cukup populer dilingkup pengembang perangkat lunak. IDE menyediakan fitur-fitur yang komprehensif dan sesuai kebutuhan sehingga membantu pengembang dalam pembuatan perangkat lunak. *Visual Studio Code* juga mudah digunakan dan dipahami oleh pemula sehingga mendukung mereka dalam mengembangkan aplikasi secara lebih cepat dan efisien (Gunawan, 2024).

Visual studio Code digunakan dalam penelitian ini untuk menulis, menguji dan menjalankan kode program *python*. Selain ringan dan memiliki fitur lengkap *visual studio code* juga memiliki ekstensi yang berguna dalam pembuatan model estimasi berbasis *fuzzy Mamdani*.

2.1.9 Studi Literatur

Studi Literatur adalah metode pendekatan yang digunakan untuk mengumpulkan, analisis, dan menyintesis literatur atau sumber informasi yang relevan yang telah dipublikasikan. Dalam studi literatur, peneliti mencari dan mengkaji aneka literatur seperti artikel, buku, jurnal dan jenis penelitian lain untuk memperoleh gambaran mengenai isu yang dikaji (Jamaludin, et al., 2023)

Studi literatur dilakukan untuk meninjau penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan pemakaian listrik, Metode *Fuzzy Mamdani*, maupun faktor yang pendukung lainnya. Dari hasil studi literatur kemudian diperoleh informasi yang dapat membantu proses penelitian ini.

2.1.10 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data adalah metode yang digunakan dalam mengumpulkan informasi atau data yang dibutuhkan dalam studi atau penelitian. Pemilihan teknik pengumpulan data mempengaruhi validitas dan reliabilitas hasil penelitian sehingga teknik pengumpulan data ini penting dalam penelitian. Contoh teknik: wawancara, observasi, studi dokumen, kuesioner (Iba, Wardhana, 2021).

Kuesioner merupakan instrumen yang digunakan untuk memperoleh data melalui serangkaian pertanyaan yang disusun guna mengukur variabel tertentu dalam penelitian. Teknik ini mengandalkan daftar pertanyaan yang telah dirancang sebelumnya, di mana responden diminta memberikan jawaban yang dapat dinilai, baik melalui pilihan yang tersedia maupun dengan menuliskan respon secara langsung(Ardiansyah, et al., 2023).

Dalam *rule of thumb* menyarankan agar jumlah sampel mencakup paling tidak sepuluh responden untuk setiap variabel. Aturan ini banyak digunakan karna kesederhanaan dan kemudahan penerapannya. Secara matematis, ketentuan tersebut dirumuskan sebagai (Seabrook, 2025):

$$N \geq 10 \times k \tag{7}$$

dengan :

1) N = jumlah sampel
2) k= jumlah variabel

Informasi dalam penelitian ini dikumpulkan melalui beberapa cara, yaitu kuesioner dan studi pustaka. Teknik pengumpulan data ini memastikan penelitian tidak hanya teori tetapi juga sesuai dengan keperluan masyarakat setempat.

2.1.11 Jenis Penelitian *applied research* (Penelitian Terapan)

Penelitian terapan merupakan bentuk penelitian yang bertujuan untuk mengimplementasikan, menguji dan menerapkan teori yang ada. Selain itu, penelitian ini juga digunakan untuk menilai seberapa manfaat teori dalam menyelesaikan persoalan di masyarakat. Dengan demikian, penelitian terapan membantu pada pengembangan solusi atau aplikasi baru berdasarkan hasil penelitian yang telah ada sehingga dapat diuji kegunaan dalam praktik nyata (Okatini et al., 2024).

2.1.12 Desain Penelitian Studi Kasus

Studi kasus merupakan metode penelitian di mana peneliti mengumpulkan suatu fenomena tertentu dalam suatu waktu dan kegiatan secara detail dengan menggunakan bermacam prosedur pengumpulan data selama rentang waktu tertentu. Penelitian studi kasus bertujuan untuk mengungkap keunikan karakteristik yang terdapat di dalam kasus yang diteliti. kasus itu sendiri merupakan alasan dilakukannya penelitian studi kasus oleh karena itu tujuan dan fokus utama dari penelitian studi kasus adalah pada kasus yang menjadi objek penelitian (Awwabiin, 2025).

Dalam penelitian ini, metode studi kasus digunakan karna penelitian ini berfokus pada fenomena khusus (pemakaian listrik rumah tangga di Pulang Pisau), sehingga dibutuhkan kajian mendalam agar hasil estimasi relevan dengan kebutuhan masyarakat setempat.

2.2 Penelitian yang Relevan

Penulis menelusuri, menelaah dan mempelajari penelitian terdahulu yang relevan untuk menghindari duplikat dari pihak lain. Adapun hasil yang diperoleh dari penelusuran penelitian terdahulu sebagai berikut :

Tabel 2. 2 Penelitian Relevan

No.	Penulis / Tahun	Topik Penelitian	Metode	Pembahasan	Hasil
1.	Hendra Suprapto & Pastima Simanjuntak / 2020	*Fuzzy* Logic Untuk Memprediksi Pemakaian Listrik Menggunakan Metode *Mamdani*	Logika *fuzzy* metode *Mamdani*	Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan logika *Fuzzy Mamdani* dalam memprediksi pemakaian listrik. sistem dirancang menggunakan *matlab*. Variabel yang digunakan adalah variabel *input* daya, total kWh dan waktu. variabel outputnya adalah prediksi.	Dengan menggunakan logika *Fuzzy* metode *Mamdani*, sistem prediksi menunjukkan hasil yang akurat dan mendekati perhitungan manual. Perbedaan antara hasil manual dan *matlab* sangat kecil, menunjukkan sistem dapat memperkirakan kebutuhan listrik dengan baik.
2.	Ema Julpia Aenun & Mashuri / 2022	Implementasi Logika *Fuzzy* Metode *Mamdani* pada Prediksi Biaya Pemakaian Listrik	Logika *fuzzy* metode *Mamdani*	Penelitian ini bertujuan memprediksi biaya pemakaian listrik berdasarkan 4 variabel *input* : luas rumah, daya listrik, jumlah peralatan elektronik, dan pendapatan ekonomi. Sistem dibangun dengan 81 aturan *Fuzzy* dan diimplementasikan menggunakan Matlab. Penelitian dilakukan pada masyarakat Kelurahan Gandasari, Kota Tangerang.	Hasil pengujian sistem menunjukkan prediksi biaya listrik dengan akurasi cukup baik, dibuktikan dengan nilai MAPE sebesar 19,60%, atau tingkat kebenaran sebesar 80,40%. Sistem berhasil memperkirakan biaya listrik responden dengan nilai yang mendekati data aktual, menunjukkan metode *Mamdani* efektif digunakan untuk tujuan prediksi biaya pemakaian listrik.

No.	Penulis / Tahun	Topik Penelitian	Metode	Pembahasan	Hasil
3.	Yulia & Sasa Ani Arnomo / 2022	Penerapan *Fuzzy* Inferensi System Menggunakan Metode *Mamdani* Dalam Menentukan Besarnya Pemakaian Listrik Rumah Tangga di Kota Batam	*Fuzzy Inference System* (FIS) dengan metode *Mamdani*	Penelitian ini membuat sistem prediksi pemakaian listrik rumah tangga pascabayar berdasarkan lima variabel *input* : besar bangunan rumah, jumlah anggota keluarga, lama waktu di rumah, total barang elektronik, dan total bayar. Sistem diimplementasikan dengan *Matlab* menggunakan 81 aturan *Fuzzy* dan fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium.	Sistem menghasilkan nilai defuzzifikasi akhir sebesar 78,69 kWh. Sistem berbasis *Fuzzy Mamdani* ini mampu membantu memprediksi besarnya pemakaian listrik rumah tangga dengan mempertimbangkan berbagai faktor, serta menunjukkan kemampuan metode *Fuzzy* dalam menangani data linguistik dan tidak pasti.
4.	Aldito Restu Wintama, Alif Bayu Ammariz ky, dkk / 2024	Analisis Perbandingan Metode *Fuzzy Mamdani* dan Tsukamoto dalam Estimasi Konsumsi Listrik	Logika *Fuzzy* metode *Mamdani* dan Tsukamoto	Penelitian ini membandingkan dua metode *Fuzzy* yaitu *Mamdani* dan Tsukamoto dalam memprediksi estimasi konsumsi listrik berdasarkan data harian. Dataset diambil dari Kaggle, terdiri dari konsumsi energi berdasarkan jenis sumber listrik (nuklir, batubara, dsb). Inferensi dilakukan dengan 81 aturan *Fuzzy*.	Akurasi *Mamdani* mencapai 79,98% dan Tsukamoto 81,00%. Keduanya efektif untuk menangani ketidakpastian. Meskipun Tsukamoto sedikit lebih akurat, *Mamdani* tetap cocok digunakan untuk prediksi estimasi listrik rumah tangga.

No.	Penulis / Tahun	Topik Penelitian	Metode	Pembahasan	Hasil
5.	Wahyuni Fithratul Zalmi, dkk / 2024	Prediksi Biaya Pemakaian Listrik Dengan Metode Logika *Fuzzy Mamdani*	Logika *Fuzzy* metode *Mamdani*	Penelitian ini memprediksi biaya pemakaian listrik berdasarkan golongan tarif, jumlah kWh, jumlah peralatan elektronik, dan waktu penggunaan. Sistem dibangun menggunakan *MATLAB* dan menerapkan 27 aturan *Fuzzy*. Setiap variabel diKlasifikasi kan ke dalam tiga himpunan *Fuzzy* dengan proses fuzzifikasi, *rule evaluation*, dan defuzzifikasi (*centroid*).	Hasil prediksi sistem mendekati data real. Misalnya, *input* [900; 850; 30; 20] menghasilkan estimasi konsumsi energi sebesar 986 kWh, yang jika dikalikan dengan tarif Rp 1.352/kWh menghasilkan prediksi biaya sebesar Rp 1.333.072. Sistem ini membantu pengguna memahami besarnya konsumsi dan biaya listrik berdasarkan pola penggunaan.

Berdasarkan Tabel 2. 1, perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terletak pada variabel *input* . Pada penelitian ini variabel *input* yang digunakan adalah golongan tarif, jumlah alat elektronik, lama pemakaian dan jumlah anggota keluarga. Penelitian ini juga memiliki subjek penelitian, yaitu rumah tangga yang menggunakan sistem listrik prabayar di Kabupaten Pulang Pisau, sehingga menjadi pembeda dari jurnal-jurnal relevan sebelumnya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tinjauan Umum

Penelitian ini difokuskan pada masyarakat kabupaten Pulang Pisau, Provinsi Kalimantan Tengah, yang dijadikan subjek penerapan Metode *Fuzzy Mamdani* dalam proses estimasi kebutuhan listrik prabayar rumah tangga. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada kemudahan akses oleh penulis sebagai warga setempat, serta belum tersedianya sistem informasi berbasis teknologi yang dapat membantu masyarakat dalam memperkirakan kebutuhan listrik prabayar.

Objek penelitian ini ialah model estimasi kebutuhan listrik prabayar rumah tangga berdasarkan variabel *input* seperti golongan tarif, jumlah alat elektronik, durasi pemakaian, dan jumlah anggota keluarga.

Penelitian ini menggunakan data yang diperoleh melalui kuesioner dengan 60 responden yang merupakan pengguna listrik rumah tangga di Kabupaten Pulang Pisau sebagai gambaran umum kondisi penggunaan listrik masyarakat setempat. Data tersebut meliputi jumlah anggota keluarga, jumlah peralatan elektronik yang digunakan, serta durasi pemakaian listrik harian. Data ini dipilih karena berhubungan langsung dengan pembentukan model estimasi kebutuhan listrik menggunakan metode *Fuzzy Mamdani*, sehingga dapat mencerminkan kondisi nyata konsumsi listrik masyarakat setempat. Data lain yaitu golongan tarif didapatkan melalui *website* PT. PLN.

3.2 Jenis penelitian

Penelitian ini menggunakan penelitian terapan karena berfokus pada penerapan Metode *Fuzzy Mamdani* dalam bentuk model estimasi pemakaian listrik. Fokus penelitian adalah menerapkan metode untuk menyelesaikan permasalahan yang terjadi di masyarakat, yaitu kesulitan dalam memperkirakan kebutuhan konsumsi listrik bulanan.

Penerapan metode *Fuzzy Mamdani* dalam penelitian ini dilakukan melalui tahapan f*uzzifikasi*, pembentukan aturan (*rule base*), proses inferensi, agregasi, dan *defuzzifikasi* untuk menghasilkan nilai estimasi dalam satuan kWh. Hasil perhitungan tersebut kemudian diimplementasikan ke dalam program untuk memberikan estimasi kebutuhan kWh.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menguji teori logika *Fuzzy Mamdani*, tetapi juga mengevaluasi penerapannya dalam menghasilkan estimasi yang mendekati kondisi nyata. Hal ini sesuai dengan karakteristik penelitian terapan yang berorientasi pada solusi praktis berbasis teori yang telah ada.

3.3 Desain Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan desain penelitian berupa studi kasus. Studi kasus berfokus pada ruang lingkup yang terbatas namun digali secara detail sehingga dapat memberikan pemahaman yang menyeluruh mengenai kasus yang diteliti. Pemilihan studi kasus memungkinkan penulis untuk menelaah kondisi nyata konsumsi listrik pada rumah tangga di wilayah tersebut secara mendalam, dengan mengacu pada variabel jumlah anggota keluarga, jumlah peralatan elektronik, dan lama pemakaian listrik harian. Dengan demikian, pendekatan studi

kasus dianggap relevan karena penelitian ini memiliki objek yang jelas dan terbatas, serta menuntut analisis detail agar hasil estimasi berbasis *Fuzzy Mamdani* yang didapatkan benar-benar sesuai dengan kondisi masyarakat di lokasi penelitian.

3.4 Instrumen Penelitian

Dalam suatu penelitian dibutuhkan instrumen penelitian yang bertujuan untuk mengumpulkan data yang relevan dengan kebutuhan analisis dalam penelitian. Dalam penelitian ini instrumen yang digunakan yaitu kuesioner dan studi pustaka.

a. Kuesioner

Kuesioner sebagai instrumen penelitian yang disusun dalam bentuk pertanyaan terstruktur. Kuesioner ini ditujukan kepada masyarakat di Kabupaten Pulang Pisau untuk mendapatkan informasi terkait pemakaian listrik rumah tangga. Pertanyaan dalam kuesioner mencakup beberapa aspek, seperti jumlah anggota keluarga, jenis dan jumlah peralatan elektronik yang digunakan, serta perkiraan lama pemakaian listrik setiap harinya.

Berdasarkan *rule of thumb* ukuran sampel penelitian disarankan lebih banyak dari 10 dikali jumlah variabel. Dalam penelitian ini terdapat 4 variabel, sehingga minimum responden yang dibutuhkan adalah 40 responden. Namun demikian, penelitian ini mengumpulkan responden sebanyak 60 responden. Data yang diperoleh melalui kuesioner ini menjadi dasar dalam proses analisis menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani*,

sehingga dapat menghasilkan estimasi kebutuhan listrik rumah tangga secara lebih akurat.

b. Studi Pustaka

Studi pustaka yang dilakukan penulis dengan mengumpulkan informasi dari berbagai referensi ilmiah, seperti jurnal, artikel, dan buku yang relevan dengan topik penelitian. Literatur yang dikaji meliputi teori tentang logika *fuzzy*, metode *Mamdani*, estimasi, serta penelitian-penelitian terdahulu yang sejenis.

3.5 Analisis Kebutuhan

3.5.1 Kebutuhan Perangkat Keras

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan perangkat keras yang dapat dilihat di Tabel 3. 1.

Tabel 3. 1 Kebutuhan Perangkat Keras

No.	Hardware	Keterangan
1	*Type* PC/Laptop	Laptop ASUS VivoBook X415JAB
2	*Processor*	Intel *Core* i3-1005G1 @ 1.20 GHz (4 CPUs)
3	*Memory*	8 GB RAM
4	*Display* (LCD)	HD 1366 x 768 *pixel* (standar laptop 14 inci)

3.5.2 Kebutuhan Perangkat Lunak

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan perangkat lunak yang dapat di lihat di Tabel 3. 2.

Tabel 3. 2 Kebutuhan Perangkat Lunak

No	Perangkat Lunak	Keterangan
1	*Python*	3.13.4
2	*Visual Studio code*	1.105
3	Sistem Operasi	*Microsoft Windows* 11

3.5.4 Analisis data

Analisis data dalam penelitian ini bertujuan untuk mengolah masukan dari pengguna berupa golongan tarif (VA), jumlah alat elektronik (unit), durasi pemakaian (jam/hari), dan jumlah anggota keluarga (orang) untuk menghasilkan estimasi kebutuhan energi listrik (dalam satuan kWh) dan estimasi biaya token listrik bulanan. Berikut merupakan kriteria – kriteria pada penelitian ini :

1. Variabel Golongan Tarif

   Dalam mengetahui golongan tarif didapatkan data dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Golongan Tarif yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3. 3.

Tabel 3. 3 Golongan Tarif

No.	Golongan Tarif	Batas Daya
1	R-1/TR	900 VA
2	R-1/TR	1300 VA
3	R-1/TR	2200 VA
4	R-2/TR	3500 VA s.d 5500 VA

Sumber : PT PLN (Persero) (2025)

Golongan tarif pada Tabel 3.3 kemudian digunakan menjadi variabel *input* seperti pada Tabel 3. 4.

Tabel 3. 4 Klasifikasi Golongan Tarif

Nama Kriteria	Nama Klasifikasi	Nilai Parameter
Golongan Tarif (VA)	Kecil	900 900 1300 1500
	Sedang	1300 2200 3500
	Tinggi	3000 3500 5500 5500

Nilai parameter pada Tabel 3.4 menunjukkan batas fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk klasifikasi golongan tarif. Fungsi trapesium memiliki parameter batas bawah, rentang keanggotaan dan batas atas.

Fungsi segitiga memiliki parameter berupa batas bawah, nilai puncak dan batas atas.

2. Variabel Jumlah Alat Elektronik

Dalam penelitian ini, variabel jumlah alat elektronik digunakan sebagai salah satu *input* estimasi kebutuhan listrik prabayar berbasis logika *fuzzy Mamdani*. Variabel ini mengacu pada banyaknya peralatan elektronik yang digunakan secara rutin dalam rumah tangga, seperti lampu, televisi, kulkas, mesin cuci, kipas angin, AC, *rice cooker*, setrika, pompa air dan lainnya. Klasifikasi Variabel *input* jumlah alat elektronik yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Klasifikasi Jumlah Alat Elektronik

Nama Kriteria	Nama Klasifikasi	Nilai Parameter
Jumlah Alat Elektronik	Sedikit	0 0 6 11
	Sedang	8 14 22
	Banyak	14 18 30 30

Nilai parameter pada Tabel 3.5 menunjukkan batas fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk klasifikasi jumlah alat elektronik. Fungsi trapesium memiliki parameter batas bawah, rentang keanggotaan dan batas atas. Fungsi segitiga memiliki parameter berupa batas bawah, nilai puncak dan batas atas.

3. Variabel Durasi Pemakaian Alat Elektronik

Variabel durasi pemakaian alat elektronik adalah salah satu *input* dalam sistem *fuzzy Mamdani*. Karena setiap alat elektronik memiliki waktu penggunaan berbeda, maka nilai durasi dalam penelitian ini dihitung

sebagai total rata-rata jam penggunaan seluruh alat elektronik dalam satu hari. Klasifikasi Variabel *input* durasi pemakaian yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3. 6.

Tabel 3. 6 Klasifikasi Durasi Pemakaian

Nama Kriteria	Nama Klasifikasi	Nilai Parameter (jam)
Durasi Pemakaian	Singkat	0 0 4 9
	Sedang	5 10 15
	Lama	11 14 24 24

Nilai parameter pada Tabel 3.6 menunjukkan batas fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk klasifikasi durasi pemakaian alat elektronik. Fungsi trapesium memiliki parameter batas bawah, rentang keanggotaan dan batas atas. Fungsi segitiga memiliki parameter berupa batas bawah, nilai puncak dan batas atas.

4. Variabel Jumlah Anggota (Orang)

Variabel jumlah anggota keluarga merupakan salah satu *input* dalam menghasilkan estimasi kebutuhan energi listrik berbasis logika *fuzzy Mamdani*. Variabel ini menunjukkan jumlah anggota keluarga dalam satu rumah tangga yang menggunakan listrik untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Semakin banyak jumlah anggota keluarga, maka semakin tinggi pula intensitas penggunaan perangkat elektronik, seperti televisi, kipas angin, AC, kulkas, mesin cuci, hingga lampu penerangan. Klasifikasi Variabel *input* jumlah anggota keluarga yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3. 7.

Tabel 3. 7 Klasifikasi Jumlah Anggota Keluarga

Nama Kriteria	Nama Klasifikasi	Nilai Parameter
Jumlah Anggota keluarga	Sedikit	0 0 2 5
	Sedang	2 5 8x
	Banyak	6 8 10 10

Nilai parameter pada Tabel 3.7 menunjukkan batas fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk klasifikasi jumlah anggota keluarga. Fungsi trapesium memiliki parameter batas bawah, rentang keanggotaan dan batas atas. Fungsi segitiga memiliki parameter berupa batas bawah, nilai puncak dan batas atas.

5. Variabel Kebutuhan Listrik (kWh)

Keluaran (*output*) merupakan hasil dari proses *Fuzzy Mamdani*. Nilai *output* tersebut merepresentasikan hasil estimasi kebutuhan energi listrik bulanan berdasarkan kombinasi variabel *input* yang telah ditentukan. *Output* yang dihasilkan berupa nilai estimasi kebutuhan listrik dalam satuan kWh. Klasifikasi variabel kebutuhan listrik yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3. 8.

Tabel 3. 8 Klasifikasi kebutuhan listrik (kWh)

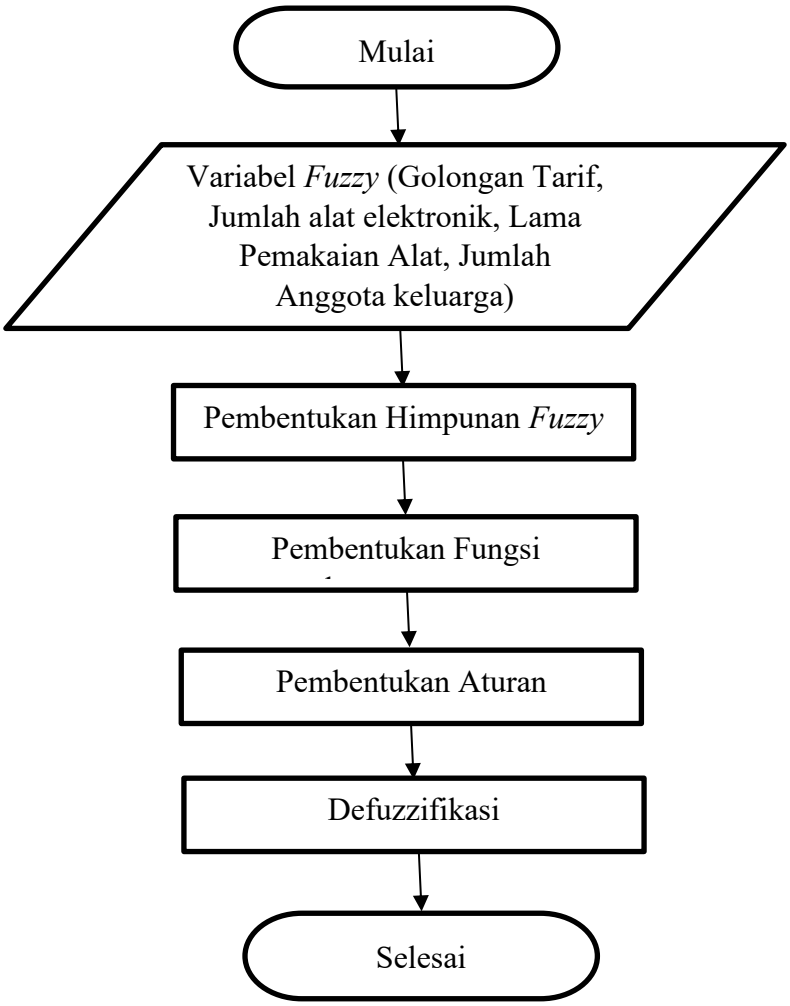
Nama Kriteria	Nama Klasifikasi	Nilai Parameter
Estimasi Kebutuhan kWh	Rendah	0 30 60
	Sedang	50 85 120
	Tinggi	110 200 400

Nilai parameter pada Tabel 3.8 menunjukkan batas fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk klasifikasi kebutuhan listrik (kWh). Fungsi

segitiga memiliki parameter berupa batas bawah, nilai puncak dan batas atas.

3.5.5 Analisis Proses

Data - data yang sudah ada kemudian diproses menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani*, adapun langkah-langkah yang dilakukan ditujukan pada Gambar 3.1 :



Gambar 3. 1 *Flowchart* Proses Estimasi Kebutuhan Listrik dengan *Fuzzy Mamdani*

Berikut adalah penjelasan dari *flowchart* pada Gambar 3. 1 :

a. Variabel *Fuzzy Mamdani*

Sistem inferensi *fuzzy* metode *Mamdani* menggunakan beberapa variabel yang terdiri dari variabel *input* dan variabel *output*. Variabel *input* yang digunakan meliputi Golongan Tarif, Jumlah Alat Elektronik, Lama Pemakaian, dan Jumlah Anggota Keluarga. Variabel *input* tersebut mewakili faktor-faktor yang memengaruhi besarnya konsumsi energi listrik dalam satu bulan. Nilai dari masing-masing variabel tersebut akan dihitung menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani* pada tahap selanjutnya.

b. Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

Pada tahap ini dilakukan pembentukan himpunan *fuzzy* untuk masing-masing variabel *input* dan *output* yang digunakan dalam menghasilkan estimasi. Himpunan *fuzzy* dikelompokkan ke dalam beberapa kategori linguistik (nilai bahasa) untuk mewakili kondisi nyata yang bersifat kualitatif, sehingga dapat diolah menggunakan metode logika *fuzzy*.

Setiap himpunan *fuzzy* direpresentasikan menggunakan kombinasi fungsi keanggotaan segitiga (*triangular membership function*) dan fungsi keanggotaan trapesium (*trapezoidal membership function*). Kombinasi fungsi ini menjaga kesederhanaan proses implementasi sekaligus memberikan fleksibilitas dalam merepresentasikan variasi nilai.

Berikut ini adalah penjelasan masing-masing variabel beserta himpunan *fuzzy* dan rentangnya:

Tabel 3. 9 Himpunan *Fuzzy*

Fungsi	Nama Variabel	Himpunan Linguistik	Rentang Nilai
Input	Golongan Tarif	Kecil, Sedang, Tinggi	900 – 5500
	Jumlah Alat Elektronik	Sedikit, Sedang, Banyak	0 - 30
	Durasi Pemakaian	Singkat, Sedang, Lama	0 - 24
	Jumlah Anggota Keluarga	Sedikit, Sedang, Banyak	0 – 10
Output	Estimasi Kebutuhan KWh	Rendah, Sedang, Tinggi	0 - 400

Pada Tabel 3.9, rentang nilai pada variabel golongan tarif diperoleh berdasarkan informasi golongan tarif listrik rumah tangga yang bersumber dari situs resmi PT PLN (Persero).

c. Pembentukan Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan berperan dalam memetakan nilai *input* ke dalam himpunan *fuzzy* sehingga diperoleh derajat keanggotaan dengan nilai antara 0 dan 1. Pada penelitian ini, pembentukan fungsi keanggotaan dilakukan menggunakan kombinasi fungsi segitiga dan trapesium dalam kerangka Metode *Fuzzy Mamdani*. Nilai keanggotaan yang dihasilkan selanjutnya digunakan dalam proses inferensi *fuzzy*. Dengan mengacu pada rumus-rumus yang telah dijelaskan sebelumnya, maka nilai keanggotaan dari masing-masing *input* dapat dihitung dan dijabarkan secara sistematis pada tahapan proses berikutnya.

1) Variabel Golongan Tarif

Fungsi keanggotaan variabel golongan tarif dibagi ke dalam tiga himpunan *fuzzy*, yaitu kecil, sedang, dan tinggi. Adapun bentuk fungsi keanggotaannya adalah sebagai berikut:

a. $\mu_{GTKecil}(x)$= trapmf $[900, 900, 1300, 1500]$

$$\mu_{GTKecil} = \begin{cases} 0; & x \geq 1500 \\ \frac{1500 - x}{1500 - 1300}; & 1300 < x < 1500 \\ 1; & x \leq 1300 \end{cases} \quad (8)$$

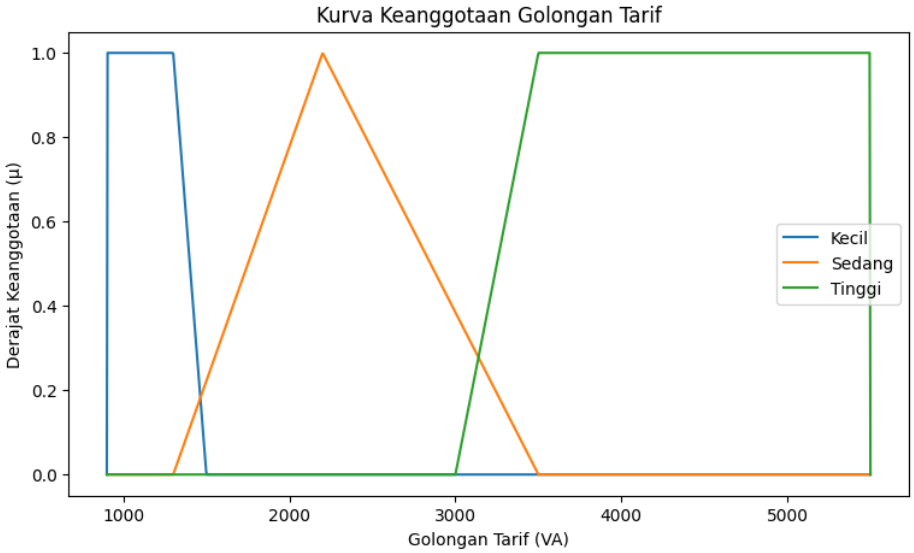
b. $\mu_{GTSedang}(x)$= trimf $[1300, 2200, 3500]$

$$\mu_{GTSedang} = \begin{cases} 0; & x \leq 1300 \text{ or } x \geq 3500 \\ \frac{x-1300}{2200 - 1300}; & 1300 < x < 2200 \\ \frac{3500-x}{3500-2200}; & 2200 \leq x \leq 3500 \end{cases} \quad (9)$$

c. $\mu_{GTTinggi}(x)$= trapmf $[3000, 3500, 5500, 5500]$

$$\mu_{GTTinggi} = \begin{cases} 0; & x \leq 3000 \\ \frac{x-2200}{3500-3000}; & 3000 < x < 3500 \\ 1; & x \geq 3500 \end{cases} \quad (10)$$

Berdasarkan fungsi keanggotaan pada persamaan (6), (7), dan (8), diperoleh kurva keanggotaan variabel golongan tarif yang divisualisasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 3. 2.



Gambar 3. 2 Kurva Keanggotaan Variabel Golongan tarif

2) Variabel Jumlah Alat Elektronik

Fungsi keanggotaan variabel jumlah alat elektronik dibagi ke dalam tiga himpunan *fuzzy*, yaitu sedikit, sedang, dan banyak. Adapun bentuk fungsi keanggotaannya adalah sebagai berikut:

a. $\mu_{JAESedikit}(x)$= trapmf $[0, 0, 6, 11]$

$$\mu_{JAESedikit} = \begin{cases} 0;\ x \geq 11 \\ \frac{11-x}{11-6};\ 6 < x < 11 \\ 1; x \leq 6 \end{cases} \quad (11)$$

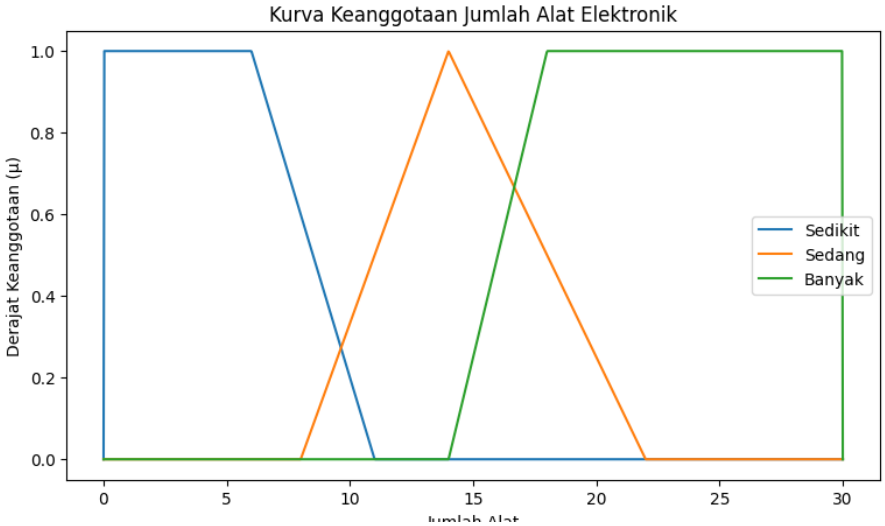
b. $\mu_{JAESedang}(x)$= trimf $[8, 14, 22]$

$$\mu_{JAESedang} = \begin{cases} 0;\ x \leq 8\ or\ x \geq 22 \\ \frac{x-8}{14-8};\ 8 < x < 14 \\ \frac{22-x}{22-14}; 14\ \leq x\ < 22 \end{cases} \quad (12)$$

c. $\mu_{JAEBanyak}(x)$= trapmf $[14, 18, 30, 30]$

$$\mu_{JAEBanyak} = \begin{cases} 0;\ x \leq\ 14 \\ \frac{x-14}{18-14};\ 14\ < x < 18 \\ 1;\ x \geq 18 \end{cases} \quad (13)$$

Berdasarkan fungsi keanggotaan pada persamaan (9), (10), dan (11), diperoleh kurva keanggotaan variabel jumlah alat elektronik yang divisualisasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 3. 3.



Gambar 3. 3 Kurva Keanggotaan Variabel Jumlah Alat elektronik

3) Variabel Durasi Pemakaian

Fungsi keanggotaan variabel durasi pemakaian dibagi ke dalam tiga himpunan *fuzzy*, yaitu singkat, sedang, dan lama. Adapun bentuk fungsi keanggotaannya adalah sebagai berikut:

a. $\mu_{DPSingkat}(x)$= trapmf [0, 0, 4, 9]

$$\mu_{DPSingkat} = \begin{cases} 0; & x \geq 9 \\ \frac{9-x}{9-4}; & 4 < x < 9 \\ 1; & x \leq 4 \end{cases} \quad (14)$$

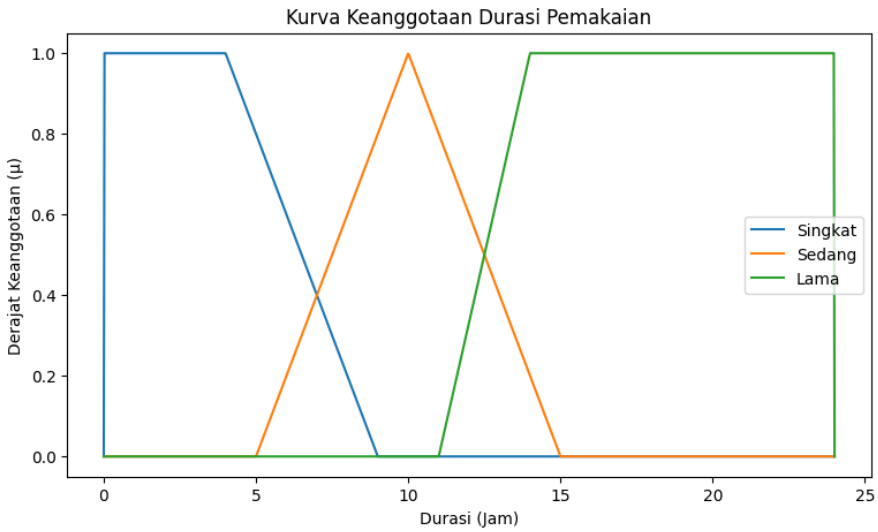
b. $\mu_{DPSedang}(x)$= trimf [5, 10, 15]

$$\mu_{DPSedang} = \begin{cases} 0; & x \leq 5 \; or \; x \geq 15 \\ \frac{x-5}{10-5}; & 5 < x < 10 \\ \frac{15-x}{15-10}; & 10 \leq x < 15 \end{cases} \quad (15)$$

c. $\mu_{DPLama}(x)$= trapmf $[11, 14, 24, 24]$

$$\mu_{DPLama} = \begin{cases} 0; & x \leq 11 \\ \frac{x-11}{14-11}; & 11 < x < 14 \\ 1; & x \geq 14 \end{cases} \quad (16)$$

Berdasarkan fungsi keanggotaan pada persamaan (12), (13), dan (14), diperoleh kurva keanggotaan variabel durasi pemakaian alat elektronik yang divisualisasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 3. 4.



Gambar 3. 4 Kurva Keanggotaan Variabel Durasi Pemakaian

4) Jumlah Anggota Keluarga

Fungsi keanggotaan variabel jumlah anggota keluarga dibagi ke dalam tiga himpunan *fuzzy*, yaitu sedikit, sedang, dan banyak. Adapun bentuk fungsi keanggotaannya adalah sebagai berikut:

a) $\mu_{JAKSedikit}(x)$= trapmf $[0, 0, 2, 5]$

$$\mu_{JAKSedikit} = \begin{cases} 0; & x \geq 5 \\ \frac{5-x}{5-2}; & 2 < x < 5 \\ 1; & x \leq 2 \end{cases} \quad (17)$$

b) $\mu_{JAKSedang}(x)$= trimf $[2, 5, 8]$

$$\mu_{JAKSedang} = \begin{cases} 0;\ x \leq 2\ or\ x \geq 8 \\ \frac{x-2}{5-2};\ 2 < x < 5 \\ \frac{8-x}{8-5}; 5 \leq x\ < 8 \end{cases} \quad (18)$$

c) $\mu_{JAKBanyak}(x)$= trapmf $[6, 8, 10, 10]$

$$\mu_{JAKBanyak} = \begin{cases} 0;\ x \leq\ 6 \\ \frac{x-6}{8-6};\ 6 < x < 8 \\ 1; x \geq 8 \end{cases} \quad (19)$$

Berdasarkan fungsi keanggotaan pada persamaan (15), (16), dan (17), diperoleh kurva keanggotaan variabel jumlah anggota keluarga yang divisualisasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 3. 5.



Gambar 3. 5 Kurva Keanggotaan Variabel Jumlah Anggota Keluarga

5) Variabel Kebutuhan kWh

Fungsi keanggotaan variabel kebutuhan kWh dibagi ke dalam tiga himpunan *fuzzy*, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Adapun bentuk fungsi keanggotaannya adalah sebagai berikut:

a) $\mu_{KKRendah}(z)$= trimf [0, 30, 60]

$$\mu_{KKRendah} = \begin{cases} 0;\ z \leq 0\ or\ z \geq\ 60 \\ \frac{z-0}{30-0};\ 0 < z < 30 \\ \frac{60-z}{60-30};\ 30 \leq x < 60 \end{cases} \quad (20)$$

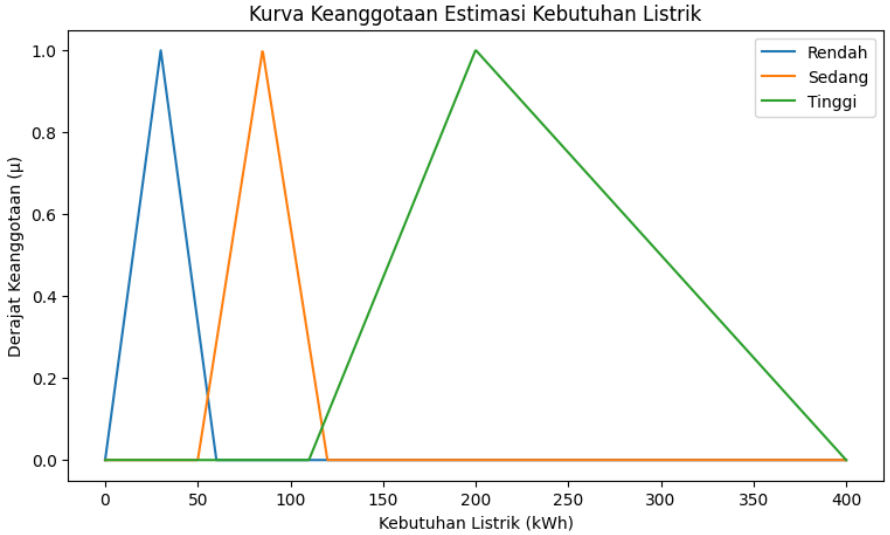
b) $\mu_{KKSedang}(x)$= trimf [50, 85, 120]

$$\mu_{KKSedang} = \begin{cases} 0;\ z \leq 50\ or\ z \geq 120 \\ \frac{z-50}{85-50};\ 50 < z < 85 \\ \frac{120-z}{120-85};\ 85 \leq z < 120 \end{cases} \quad (21)$$

c) $\mu_{KKTinggi}(x)$= trimf [110, 200, 400]

$$\mu_{KKTinggi} = \begin{cases} 0 \quad ;z \leq\ 110\ or\ z \geq 400 \\ \frac{z-110}{200-110};\ 110 < z \leq 200 \\ \frac{400-z}{400-200} \quad ;200 \leq z < 400 \end{cases} \quad (22)$$

Berdasarkan fungsi keanggotaan pada persamaan (18), (19), dan (20), diperoleh kurva keanggotaan variabel kebutuhan kWh yang divisualisasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 3. 6.



Gambar 3. 6 Kurva Keanggotaan Variabel Kebutuhan kWh

d. Aturan *Fuzzy* (*IF–THEN Rules*)

Proses inferensi fuzzy *Mamdani* menghasilkan 81 aturan, setiap aturan direpresentasikan dalam bentuk pernyataan *IF–THEN* yang menghubungkan kondisi dengan estimasi kebutuhan kWh. Aturan-aturan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. 10.

Tabel 3. 10 Data Aturan (*Rule*)

Rule [R]		Golongan Tarif		Jumlah Alat Elektronik		Durasi Pemakaian		Jumlah Anggota Keluarga		Kebutuhan kWh
[R1]	*IF*	Kecil	*AND*	Sedikit	*AND*	Singkat	*AND*	Sedikit	*THEN*	Rendah
[R2]	*IF*	Kecil	*AND*	Sedikit	*AND*	Singkat	*AND*	Sedang	*THEN*	Rendah
[R3]	*IF*	Kecil	*AND*	Sedikit	*AND*	Singkat	*AND*	Banyak	*THEN*	Rendah
[R4]	*IF*	Kecil	*AND*	Sedikit	*AND*	Sedang	*AND*	Sedikit	*THEN*	Rendah
[R5]	*IF*	Kecil	*AND*	Sedikit	*AND*	Sedang	*AND*	Sedang	*THEN*	Rendah
[R6]	*IF*	Kecil	*AND*	Sedikit	*AND*	Sedang	*AND*	Banyak	*THEN*	Rendah
[R7]	*IF*	Kecil	*AND*	Sedikit	*AND*	Lama	*AND*	Sedikit	*THEN*	Rendah
[R8]	*IF*	Kecil	*AND*	Sedikit	*AND*	Lama	*AND*	Sedang	*THEN*	Rendah
[R9]	*IF*	Kecil	*AND*	Sedikit	*AND*	Lama	*AND*	Banyak	*THEN*	Rendah
[R10]	*IF*	Kecil	*AND*	Sedang	*AND*	Singkat	*AND*	Sedikit	*THEN*	Rendah
[R11]	*IF*	Kecil	*AND*	Sedang	*AND*	Singkat	*AND*	Sedang	*THEN*	Rendah
[R12]	*IF*	Kecil	*AND*	Sedang	*AND*	Singkat	*AND*	Banyak	*THEN*	Rendah
[R13]	*IF*	Kecil	*AND*	Sedang	*AND*	Sedang	*AND*	Sedikit	*THEN*	Rendah
[R14]	*IF*	Kecil	*AND*	Sedang	*AND*	Sedang	*AND*	Sedang	*THEN*	Rendah
[R15]	*IF*	Kecil	*AND*	Sedang	*AND*	Sedang	*AND*	Banyak	*THEN*	Sedang
[R16]	*IF*	Kecil	*AND*	Sedang	*AND*	Lama	*AND*	Sedikit	*THEN*	Sedang
[R17]	*IF*	Kecil	*AND*	Sedang	*AND*	Lama	*AND*	Sedang	*THEN*	Sedang
[R18]	*IF*	Kecil	*AND*	Sedang	*AND*	Lama	*AND*	Banyak	*THEN*	Sedang

Rule [R]		Golongan Tarif		Jumlah Alat Elektronik		Durasi Pemakaian		Jumlah Anggota Keluarga		Kebutuhan kWh
[R19]	*IF*	Kecil	*AND*	Banyak	*AND*	Singkat	*AND*	Sedikit	*THEN*	Sedang
[R20]	*IF*	Kecil	*AND*	Banyak	*AND*	Singkat	*AND*	Sedang	*THEN*	Sedang
[R21]	*IF*	Kecil	*AND*	Banyak	*AND*	Singkat	*AND*	Banyak	*THEN*	Sedang
[R22]	*IF*	Kecil	*AND*	Banyak	*AND*	Sedang	*AND*	Sedikit	*THEN*	Sedang
[R23]	*IF*	Kecil	*AND*	Banyak	*AND*	Sedang	*AND*	Sedang	*THEN*	Sedang
[R24]	*IF*	Kecil	*AND*	Banyak	*AND*	Sedang	*AND*	Banyak	*THEN*	Sedang
[R25]	*IF*	Kecil	*AND*	Banyak	*AND*	Lama	*AND*	Sedikit	*THEN*	Sedang
[R26]	*IF*	Kecil	*AND*	Banyak	*AND*	Lama	*AND*	Sedang	*THEN*	Sedang
[R27]	*IF*	Kecil	*AND*	Banyak	*AND*	Lama	*AND*	Banyak	*THEN*	Sedang
[R28]	*IF*	Sedang	*AND*	Sedikit	*AND*	Singkat	*AND*	Sedikit	*THEN*	Rendah
[R29]	*IF*	Sedang	*AND*	Sedikit	*AND*	Singkat	*AND*	Sedang	*THEN*	Rendah
[R30]	*IF*	Sedang	*AND*	Sedikit	*AND*	Singkat	*AND*	Banyak	*THEN*	Rendah
[R31]	*IF*	Sedang	*AND*	Sedikit	*AND*	Sedang	*AND*	Sedikit	*THEN*	Rendah
[R32]	*IF*	Sedang	*AND*	Sedikit	*AND*	Sedang	*AND*	Sedang	*THEN*	Rendah
[R33]	*IF*	Sedang	*AND*	Sedikit	*AND*	Sedang	*AND*	Banyak	*THEN*	Sedang
[R34]	*IF*	Sedang	*AND*	Sedikit	*AND*	Lama	*AND*	Sedikit	*THEN*	Rendah
[R35]	*IF*	Sedang	*AND*	Sedikit	*AND*	Lama	*AND*	Sedang	*THEN*	Sedang
[R36]	*IF*	Sedang	*AND*	Sedikit	*AND*	Lama	*AND*	Banyak	*THEN*	Sedang
[R37]	*IF*	Sedang	*AND*	Sedang	*AND*	Singkat	*AND*	Sedikit	*THEN*	Rendah
[R38]	*IF*	Sedang	*AND*	Sedang	*AND*	Singkat	*AND*	Sedang	*THEN*	Rendah
[R39]	*IF*	Sedang	*AND*	Sedang	*AND*	Singkat	*AND*	Banyak	*THEN*	Sedang
[R40]	*IF*	Sedang	*AND*	Sedang	*AND*	Sedang	*AND*	Sedikit	*THEN*	Rendah
[R41]	*IF*	Sedang	*AND*	Sedang	*AND*	Sedang	*AND*	Sedang	*THEN*	Sedang
[R42]	*IF*	Sedang	*AND*	Sedang	*AND*	Sedang	*AND*	Banyak	*THEN*	Sedang
[R43]	*IF*	Sedang	*AND*	Sedang	*AND*	Lama	*AND*	Sedikit	*THEN*	Sedang

Rule [R]		Golongan Tarif		Jumlah Alat Elektronik		Durasi Pemakaian		Jumlah Anggota Keluarga		Kebutuhan kWh
[R44]	*IF*	Sedang	*AND*	Sedang	*AND*	Lama	*AND*	Sedang	*THEN*	Sedang
[R45]	*IF*	Sedang	*AND*	Sedang	*AND*	Lama	*AND*	Banyak	*THEN*	Sedang
[R46]	*IF*	Sedang	*AND*	Banyak	*AND*	Singkat	*AND*	Sedikit	*THEN*	Rendah
[R47]	*IF*	Sedang	*AND*	Banyak	*AND*	Singkat	*AND*	Sedang	*THEN*	Sedang
[R48]	*IF*	Sedang	*AND*	Banyak	*AND*	Singkat	*AND*	Banyak	*THEN*	Sedang
[R49]	*IF*	Sedang	*AND*	Banyak	*AND*	Sedang	*AND*	Sedikit	*THEN*	Sedang
[R50]	*IF*	Sedang	*AND*	Banyak	*AND*	Sedang	*AND*	Sedang	*THEN*	Sedang
[R51]	*IF*	Sedang	*AND*	Banyak	*AND*	Sedang	*AND*	Banyak	*THEN*	Sedang
[R52]	*IF*	Sedang	*AND*	Banyak	*AND*	Lama	*AND*	Sedikit	*THEN*	Sedang
[R53]	*IF*	Sedang	*AND*	Banyak	*AND*	Lama	*AND*	Sedang	*THEN*	Sedang
[R54]	*IF*	Sedang	*AND*	Banyak	*AND*	Lama	*AND*	Banyak	*THEN*	Tinggi
[R55]	*IF*	Tinggi	*AND*	Sedikit	*AND*	Singkat	*AND*	Sedikit	*THEN*	Rendah
[R56]	*IF*	Tinggi	*AND*	Sedikit	*AND*	Singkat	*AND*	Sedang	*THEN*	Rendah
[R57]	*IF*	Tinggi	*AND*	Sedikit	*AND*	Singkat	*AND*	Banyak	*THEN*	Sedang
[R58]	*IF*	Tinggi	*AND*	Sedikit	*AND*	Sedang	*AND*	Sedikit	*THEN*	Rendah
[R59]	*IF*	Tinggi	*AND*	Sedikit	*AND*	Sedang	*AND*	Sedang	*THEN*	Sedang
[R60]	*IF*	Tinggi	*AND*	Sedikit	*AND*	Sedang	*AND*	Banyak	*THEN*	Sedang
[R61]	*IF*	Tinggi	*AND*	Sedikit	*AND*	Lama	*AND*	Sedikit	*THEN*	Sedang
[R62]	*IF*	Tinggi	*AND*	Sedikit	*AND*	Lama	*AND*	Sedang	*THEN*	Sedang
[R63]	*IF*	Tinggi	*AND*	Sedikit	*AND*	Lama	*AND*	Banyak	*THEN*	Sedang
[R64]	*IF*	Tinggi	*AND*	Sedang	*AND*	Singkat	*AND*	Sedikit	*THEN*	Rendah
[R65]	*IF*	Tinggi	*AND*	Sedang	*AND*	Singkat	*AND*	Sedang	*THEN*	Sedang
[R66]	*IF*	Tinggi	*AND*	Sedang	*AND*	Singkat	*AND*	Banyak	*THEN*	Sedang
[R67]	*IF*	Tinggi	*AND*	Sedang	*AND*	Sedang	*AND*	Sedikit	*THEN*	Sedang
[R68]	*IF*	Tinggi	*AND*	Sedang	*AND*	Sedang	*AND*	Sedang	*THEN*	Sedang

Rule [R]		Golongan Tarif		Jumlah Alat Elektronik		Durasi Pemakaian		Jumlah Anggota Keluarga		Kebutuhan kWh
[R69]	*IF*	Tinggi	*AND*	Sedang	*AND*	Sedang	*AND*	Banyak	*THEN*	Sedang
[R70]	*IF*	Tinggi	*AND*	Sedang	*AND*	Lama	*AND*	Sedikit	*THEN*	Sedang
[R71]	*IF*	Tinggi	*AND*	Sedang	*AND*	Lama	*AND*	Sedang	*THEN*	Sedang
[R72]	*IF*	Tinggi	*AND*	Sedang	*AND*	Lama	*AND*	Banyak	*THEN*	Tinggi
[R73]	*IF*	Tinggi	*AND*	Banyak	*AND*	Singkat	*AND*	Sedikit	*THEN*	Sedang
[R74]	*IF*	Tinggi	*AND*	Banyak	*AND*	Singkat	*AND*	Sedang	*THEN*	Sedang
[R75]	*IF*	Tinggi	*AND*	Banyak	*AND*	Singkat	*AND*	Banyak	*THEN*	Sedang
[R76]	*IF*	Tinggi	*AND*	Banyak	*AND*	Sedang	*AND*	Sedikit	*THEN*	Sedang
[R77]	*IF*	Tinggi	*AND*	Banyak	*AND*	Sedang	*AND*	Sedang	*THEN*	Sedang
[R78]	*IF*	Tinggi	*AND*	Banyak	*AND*	Sedang	*AND*	Banyak	*THEN*	Tinggi
[R79]	*IF*	Tinggi	*AND*	Banyak	*AND*	Lama	*AND*	Sedikit	*THEN*	Sedang
[R80]	*IF*	Tinggi	*AND*	Banyak	*AND*	Lama	*AND*	Sedang	*THEN*	Tinggi
[R81]	*IF*	Tinggi	*AND*	Banyak	*AND*	Lama	*AND*	Banyak	*THEN*	Tinggi

e. *Defuzzifikasi*

Defuzzifikasi merupakan tahap menggubah himpunan *fuzzy output* hasil aturan menjadi nilai tegas (*crisp*) sebagai keluaran akhir. Dalam penelitian ini, metode *defuzzifikasi* yang digunakan adalah metode *centroid*, yaitu metode yang menentukan nilai *crisp* berdasarkan titik pusat dari area pada kurva keanggotaan *fuzzy*.

Metode *centroid* menghitung nilai *defuzzifikasi* dengan mempertimbangkan seluruh nilai keanggotaan sehingga diperoleh nilai *crisp* sebagai representasi *output* estimasi. Nilai *crisp* yang dihasilkan dari proses *defuzzifikasi* selanjutnya digunakan sebagai estimasi kebutuhan listrik rumah tangga.

3.5.6 Algoritma Fuzzy Mamdani pada Estimasi Kebutuhan Listrik

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai mekanisme estimasi yang digunakan, dibuatlah perhitungan manual menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani*. Perhitungan ini bertujuan untuk menjelaskan secara rinci tahapan-tahapan yang dilakukan dalam menghasilkan estimasi kebutuhan listrik, mulai dari penentuan nilai *input*, proses *fuzzifikasi*, penerapan aturan *fuzzy* (inferensi), proses agregasi, hingga tahap *defuzzifikasi*. Berikut tahapan perhitungan manual estimasi listrik menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani.*

a. Data *Input*

Tabel 3. 11 Contoh *input*

Variabel	Nilai
Golongan Tarif	900 VA
Jumlah Alat Elektronik	10 unit
Durasi Pemakaian	15 jam/hari
Jumlah Penghuni	6 orang

b. *Fuzzifikasi*

1. Golongan Tarif (900 VA)

Nilai *input* golongan tarif listrik yang digunakan adalah 900 VA.

a) Golongan Kecil (*trapmf* [900, 900, 1300, 1500])

Berdasarkan fungsi keanggotaan golongan kecil, nilai keanggotaan bernilai maksimum (1) pada rentang $900 \leq x \leq 1300$. Karena nilai *input* x = 900 berada pada rentang tersebut, maka:

$$\mu_{GolKecil}(900) = 1$$

b) Golongan Sedang (*trimf* [1300, 2200, 3500])

Fungsi keanggotaan golongan sedang mulai bernilai lebih dari 0 pada $x \geq 1300$. Karena nilai *input* $x = 900 < 1300$, maka:

$$\mu_{GolSedang}(900) = 0$$

c) Golongan Tinggi (*trapmf* [3000, 3500, 5500, 5500])

Fungsi keanggotaan golongan tinggi mulai aktif pada $x \geq 3000$. Karena nilai *input* $x = 900 < 3000$, maka:

$$\mu_{GolTinggi}(900) = 0$$

d) Hasil Variabel Golongan Tarif

$$(1,\ 0,\ 0)$$

2. Jumlah Alat Elektronik (10 unit)

Nilai *input* jumlah alat elektronik yang digunakan adalah 10 unit.

a) Sedikit (*trapmf* [0, 0, 6, 11])

Berdasarkan fungsi keanggotaan *Sedikit*, nilai keanggotaan menurun secara linier pada rentang 6 < x < 11. Karena nilai *input* x = 10 berada pada rentang tersebut, maka:

$$\mu_{AlatSedikit}(10) = \frac{11-10}{11-6} = \frac{1}{5} = 0{,}2$$

b) Sedang (*trimf* [8, 14, 22])

Fungsi keanggotaan *Sedang* mulai bernilai lebih dari 0 pada x ≥ 8, dan bernilai maksimum 1 pada x = 14. Karena nilai *input* x = 10 berada pada rentang 8 < x < 14, maka:

$$\mu_{AlatSedikit}(10) = \frac{10-8}{14-8} = \frac{2}{6} = 0{,}3333$$

c) Banyak (*trapmf* [14, 18, 30, 30])

Fungsi keanggotaan *Banyak* mulai aktif pada x ≥ 14. Karena nilai *input* x = 10 < 14, maka:

$$\mu_{AlatBanyak}(10) = 0$$

d) Hasil *Fuzzifikasi* Variabel Jumlah Alat Elektronik

$$(0{,}2,\ 0{,}3333,\ 0)$$

c. Durasi Pemakaian (15jam)

Nilai *input* durasi pemakaian listrik yang digunakan adalah 15 jam.

a) Singkat (*trapmf* [0, 0, 4, 9])

Fungsi keanggotaan *singkat* mulai bernilai 1 pada rentang 0 ≤ x ≤ 4 dan menurun hingga 0 pada x = 9. Karena nilai *input* x = 5 < 6, maka :

$$\mu_{DurasiSedang}(15) = 0$$

b) Sedang (*trimf* [5, 10, 15])

Fungsi keanggotaan *Sedang* bernilai 1 pada x = 10 dan menuru hingga 0 pada x = 15. Karena nilai *input* x = 15 =15, maka:

$$\mu_{DurasiSedang}(15) = 0$$

c) Lama (*trapmf* [11, 14, 24, 24])

Fungsi keanggotaan *lama* memiliki nilai maksimum 1 pada rentang 14 ≤ x ≤ 24. Karena nilai *input* x = 15 berada pada rentang tersebut, maka:

$$\mu_{DurasiSedang}(15) = 1$$

d) Hasil Variabel Durasi Pemakaian

$$(0,\ 0,\ 1)$$

d. Jumlah Penghuni (6 orang)

Nilai *input* jumlah penghuni rumah yang digunakan adalah 3 orang.

a) Sedikit (*trapmf* [0, 0, 2, 5])

Berdasarkan fungsi keanggotaan *Sedikit*, nilai keanggotaan bernilai 1 pada rentang 0 ≤ x ≤ 2 dan bernilai 0 pada x=5. Karena nilai input x = 6 > 5, maka:

$$\mu_{PenghuniSedikit}(6) = 0$$

b) Sedang (*trimf* [2, 4, 8])

Fungsi keanggotaan *Sedang* mengalami penurunan linier pada rentang 5 < x < 8. Karena nilai *input* x = 6 berada pada rentang tersebut, maka:

$$\mu_{PenghuniSedang}(6) = \frac{8-6}{8-5} = \frac{2}{3} = 0{,}6667$$

c) Banyak (*trapmf* [6, 8, 10, 10])

Fungsi keanggotaan *Banyak* mulai bernilai lebih dari 0 pada x > 6. Karena nilai *input* x = 6, maka:

$$\mu_{PenghuniBanyak}(6) = 0$$

d) Hasil Variabel Jumlah Anggota keluarga

$$(0,\ 0{,}6667,\ 0)$$

c. Inferensi (*Rule Mamdani*)

Pada tahap ini dilakukan evaluasi setiap *rule* menggunakan operator AND berupa fungsi MIN. Nilai α-predikat dihasilkan dari nilai minimum derajat keanggotaan setiap variabel pada *rule* yang sesuai. Variabel dengan parameter yang memiliki nilai adalah sebagai berikut.

1) Golongan : Kecil

2) Alat : Sedikit dan Sedang

3) Durasi : lama

4) Anggota Keluarga : Sedang

Dari parameter yang memiliki nilai tersebut maka rule yang aktif adalah sebagai berikut.

Rule 1 : *If* Kecil *AND* Sedikit *AND* Lama *AND* Sedang *THEN* Rendah

Kekuatan aturan dihitung dengan operator MIN:

$$\alpha_1 = \min(1,\ 0.2,\ 1,\ 0.6667) = 0.2$$

Rule 2 : *If* Kecil *AND* Sedang *AND* Lama *AND* Sedang *THEN* Sedang

$$\alpha_2 = \min(1,\ 0.3333,\ 1,\ 0.6667) = 0.3333 = \frac{1}{3}$$

Nilai α tersebut menunjukkan tingkat kebenaran masing-masing *rule* yang selanjutnya digunakan pada tahap implikasi untuk memotong fungsi keanggotaan *output*.

d. Implikasi

Dalam *fuzzy mamdani*, proses implikasi dilakukan dengan operator MIN, yaitu dengan membatasi (*clipping*) fungsi keanggotaan *output* sebesar nilai α-predikat dari masing-masing *rule*. Secara umum proses implikasi dirumuskan sebagai:

$$\mu_i'(z) = \min(\alpha_i, \mu_i(z))$$

di mana:

$\mu_i(z)$ adalah fungsi keanggotaan output sebelum clipping

$\alpha_i$adalah firing strength dari rule ke-i

$\mu_i'(z)$adalah fungsi keanggotaan *output* setelah *clipping*

1) Fungsi Keanggotaan Kebutuhan Kwh "Rendah"

Fungsi keanggotaan Kebutuhan kWh rendah sebelum *clipping*

$$\mu_{KKRendah} = \begin{cases} 0;\ z \leq 0\ or\ z \geq\ 60 \\ \dfrac{z-0}{30-0};\ 0 < z < 30 \\ \dfrac{60-z}{60-30};\ 30 \leq x < 60 \end{cases}$$

Proses implikasi dilakukan dengan :

$$\mu_R'(z) = \min(\mu_R(z), 0.2)$$

Karena α_1 =0.2 maka fungsi keanggotaan Rendah dibatasi 0.2.

Cari batas *clipping* saat μ_R (z) = 0.2

Bagian naik :

$$\frac{z}{30} = 0.2$$

$$\mathrm{z} = 6$$

Bagian turun :

$$\frac{60 - z}{30} = 0.2$$

$$60 - z = 6$$

$$z = 54$$

Setelah dipotong fungsi keanggotaan Kebutuhan kWh Rendah menjadi :

$$\mu_R^I(z) = \begin{cases} 0;\ z \leq 0\ or\ z \geq 60 \\ \dfrac{z - 0}{30 - 0};\ 0 < z < 6 \\ 0.2;\quad 6 \leq z \leq 54 \\ \dfrac{60 - z}{60 - 30};\ 54 < z < 60 \end{cases}$$

2) Fungsi Keanggotaan Kebutuhan Kwh "Sedang"

Fungsi keanggotaan Kebutuhan kWh sedang sebelum *clipping* :

$$\mu_{KKSedang} = \begin{cases} 0;\ z \leq 50\ or\ z \geq 120 \\ \dfrac{z - 50}{85 - 50};\ 50 < z < 85 \\ \dfrac{120 - z}{120 - 85};\ 85 \leq z < 120 \end{cases}$$

Proses implikasi dilakukan dengan :

$$\mu_S'(z) = \min\left(\mu_S(z), 0.3333\right)$$

Karena α_1 =0.3333 maka fungsi keanggotaan Rendah dibatasi 0.3333.

Cari batas *clipping* saat μ_S(z) = 0.3333

Bagian naik :

$$\frac{z-50}{35} = 0.3333$$

$$z - 50 = \frac{35}{3}$$

$$z = \frac{185}{3} = 61.6667$$

Bagian turun :

$$\frac{120-z}{35} = 0.3333$$

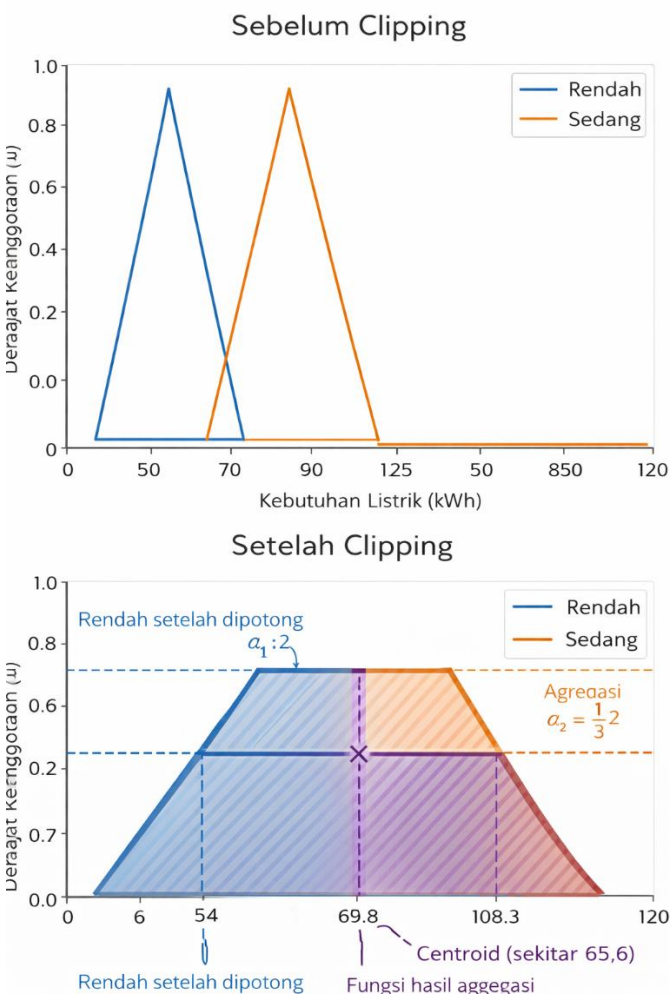
$$120 - z = \frac{35}{3}$$

$$z = \frac{325}{3} = 108.3333$$

Setelah dipotong fungsi keanggotaan Kebutuhan kWh Rendah menjadi :

$$\mu_S^I = \begin{cases} 0;\ z \leq 50\ or\ z \geq 120 \\ \dfrac{z-50}{85-50};\ 50 < z < \dfrac{185}{3} \\ \dfrac{1}{3};\ \dfrac{185}{3} \leq z \leq \dfrac{325}{3} \\ \dfrac{120-z}{120-85};\ \dfrac{325}{3} \leq z < 120 \end{cases}$$

Proses *clipping* tersebut ditampilkan pada Gambar 3.7 Berikut.



Gambar 3. 7 Kurva Hasil Clipping

Hasil dari tahap implikasi adalah dua fungsi keanggotaan *output* yang telahn dibatasi sesuai nilai *firing strength* masing-masing *rule*.

e. Agregasi (MAX)

Sesudah proses implikasi, dilakukan tahap agregasi untuk menyatukan seluruh aturan menjadi satu representasi keputusan. Metode agregasi yang dipakai adalah operator maksimum (MAX), di mana setiap nilai keluaran dipilih berdasarkan derajat keanggotaan tertinggi dari hasil implikasi. Fungsi yang dibandingkan di daerah *overlap* yang relevan sebagai berikut.

1) Rendah (bagian turun setelah *clipping*) :

$$\mu_R^I(z) = \frac{60 - z}{30}$$

2) Sedang (bagian naik sesudah *clipping*):

$$\mu_S^I(z) = \frac{z - 50}{35}$$

Setelah itu kita setarakan dengan kalikan silang:

$$\frac{60 - z}{30} = \frac{z - 50}{35}$$

$$35(60 - z) = 30\ (z - 50)$$

$$2100 - 35z = 30z - 1500$$

$$3600 = 65z$$

$$z = \frac{720}{13} = 55.3846$$

Daerah *overlap* terjadi pada interval 54 ≤ z ≤ 61,6667 karena pada rentang tersebut fungsi "Rendah" dan "Sedang" sama-sama memiliki nilai keanggotaan. Untuk menentukan yang lebih dominan, kedua fungsi disetarakan sehingga diperoleh titik potong pada z = 55,3846. Maka fungsi keanggotaan Agregasi adalah sebagai berikut.

$$\mu_{agg}(z) = \begin{cases} 0;\ z \leq 0\ or\ z \geq 120 \\ \dfrac{z - 0}{30 - 0};\ 0 < z < 6 \\ 0.2;\quad 6 \leq z \leq 54 \\ \dfrac{60 - z}{60 - 30};\ 54 < z \leq 55.3846 \\ \dfrac{z - 50}{85 - 50};\ 55.3846 < z \leq 61.6667 \\ \dfrac{1}{3};\ 61.6667\ < z \leq\ 108.3333 \\ \dfrac{120 - z}{120 - 85};\ 108.3333 < z < 120 \end{cases}$$

f. *Defuzzifikasi* (Metode *Centroid*)

Tahap selanjutnya adalah *defuzzifikasi* untuk mengubah hasil *output fuzzy* yang berbentuk derajat keanggotaan menjadi nilai tegas (*crisp*). Hasil dari agregasi akan dihitung per segmen yang terdiri luas area dan momen pertama.

1) Segmen 1 : $0 \rightarrow 6, \mu = \frac{z}{30}$

Area:

$$A_{1=} \int_0^6 \frac{z}{30} dz = \left[\frac{z^2}{60}\right]_0^6 = \frac{36}{60} = 0.6$$

Moment :

$$M_1 = \int_0^6 z . \frac{z}{30} dz = \int_0^6 \frac{z^2}{30}\, dz = \left[\frac{z^3}{90}\right]_0^6 = \frac{216}{90} = 2.4$$

2) Segmen 2 : $6 \rightarrow 54, \mu = 0.2 = \frac{1}{5}$

Area :

$$A_{2=} \int_6^{54} \frac{1}{5} dz = \frac{54-6}{5} = \frac{48}{5} = 9.6$$

Moment :

$$M_2 = \int_6^{54} z . \frac{1}{5} dz = \frac{1}{5}\left[\frac{z^2}{2}\right]_6^{54} = \frac{1}{10}(2916 - 36) = 288$$

3) Segmen 3 : $54 \rightarrow 55.3846, \mu = \frac{60-z}{30}$

Area :

$$A_{3=} \int_{54}^{55.3846} \frac{60-z}{30} dz \approx 0.2449704$$

Moment :

$$M_3 = \int_{54}^{55.3846} z.\frac{60-z}{30}dz \approx 13.3906236$$

4) Segmen 4 : $55.3846 \rightarrow 61.6667, \mu = \frac{z-50}{35}$

Area :

$$A_{4=} \int_{55.3846}^{61.6667} \frac{z-50}{35}dz \approx 1.5302433$$

Moment :

$$M_4 = \int_{55.3846}^{61.6667} z.\frac{z-50}{35}dz \approx 90.1487438$$

5) Segmen 5 : $61.6667 \rightarrow 108.3333, \mu = \frac{1}{3}$

Area :

$$A_{5=} \int_{61.6667}^{108.3333} \frac{1}{3}dz = \frac{108.3333-61.6667}{3} = \frac{46.6666}{3} \approx 15.5555556$$

Moment :

$$M_5 = \int_{61.6667}^{108.3333} z.\frac{1}{3}dz = \frac{1}{3}\left[\frac{z^2}{2}\right]_{61.6667}^{108.3333} \approx 1322.2222222$$

6) Segmen 6 : $108.3333 \rightarrow 120, \mu = \frac{120-z}{35}$

Area :

$$A_{6=} \int_{108.3333}^{120} \frac{120-z}{35}dz \approx 1.9444444$$

Moment :

$$M_6 = \int_{108.3333}^{120} z.\frac{120-z}{35}dz \approx 218.2098765$$

Hasil dari perhitungan area dan *moment* kemudian di totalkan.

Total Area :

$$A = \sum A_i \approx 0.6 + 9.6 + 0.2449704 + 1.5302433 + 15.5555556 + 1.9444444 \approx 29.475214$$

Total *Moment* :

$$M = \sum M_i \approx 2.4 + 288 + 13.3906236 + 90.1487438 + 1322.2222222 + 218.2098765 \approx 1934.371466$$

Selanjutnya untuk memperoleh nilai tegas (*crisp*) digunakan metode *centroid* dari kurva hasil agregasi. Nilai *centroid* dihitung menggunakan perbandingan total momen pertama terhadap total luas daerah agregasi. Rumus menentukan *centroid* sebagai berikut.

$$z^* = \frac{\int_z z\,\mu_{agg}(z)dz}{\int_z \mu_{agg}(z)dz} \approx \frac{\sum M_i}{\sum A_i}$$

$$z^* = \frac{M}{A} = \frac{1934.371466}{29.475214} \approx 65.6271$$

Berdasarkan perhitungan *defuzzifikasi* menggunakan metode *centroid*, diperoleh nilai *crisp* sebesar 65.6271 kWh. Nilai tersebut merupakan estimasi kebutuhan energi listrik yang dihasilkan dari proses *Fuzzy Mamdani* berdasarkan *input* yang telah diberikan.

3.5.6 Analisis Kelemahan

Ketiadaan sistem estimasi kebutuhan listrik rumah tangga di Kabupaten Pulang Pisau menimbulkan sejumlah kelemahan yang berimbas langsung pada

masyarakat. Berikut ini beberapa kelemahan tidak adanya sistem estimasi di kabupaten Pulang Pisau :

1. Masyarakat terkadang kesulitan menentukan nominal pembelian token listrik yang mencukupi untuk satu bulan. Hal ini menyebabkan pemborosan maupun kekurangan daya listrik sebelum periode penggunaan berakhir.
2. Ketidakpastian dalam memperkirakan kebutuhan listrik kerap menyulitkan masyarakat dalam merencanakan keuangan dalam rumah tangga. Biaya listrik sering kali menjadi pengeluaran yang tidak terkontrol sehingga mengganggu alokasi dana untuk kebutuhan penting lainnya.
3. Belum adanya sistem informasi yang memberikan layanan instansi terkait yang memberikan estimasi kebutuhan listrik berbasis data aktual rumah tangga.

Berdasarkan kelemahan di atas, penelitian ini menjadi penting untuk dilakukan karena menawarkan solusi berupa pendekatan estimasi kebutuhan listrik melalui penerapan metode logika *fuzzy Mamdani*. Hasil penerapan metode *Fuzzy Mamdani* diharapkan dapat menjadi dasar dalam perencanaan penggunaan listrik serta pengelolaan pengeluaran bulanan secara lebih efektif.

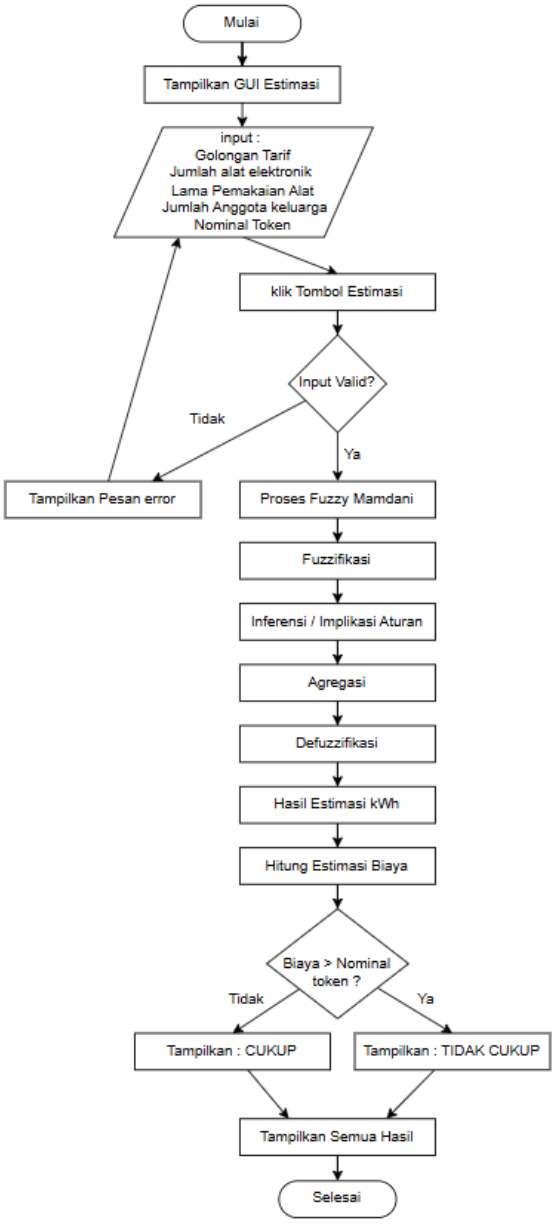
3.6 Desain

3.6.1 Desain Proses

Desain proses dalam penelitian ini menggambarkan langkah-langkah logis dalam melakukan estimasi kebutuhan kWh listrik prabayar menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani*. Penelitian ini lebih menekankan pada pemodelan prediktif dan

difokuskan pada alur proses logika *fuzzy* bukan pada pengembangan perangkat lunak berbasis web.

Desain proses disajikan pada Gambar 3.8 dalam bentuk *flowchart* yang menunjukkan alur proses estimasi menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani*.



Gambar 3. 8 *Flowchart* Desain Proses Estimasi Metode Fuzzy Mamdani

Berikut adalah penjelasan *flowchart* dari Gambar 3. 8.

a. *Input* Data

   Pengguna memasukkan data berupa golongan tarif, jumlah alat elektronik, lama pemakaian alat, jumlah anggota keluarga, dan nominal token.

b. Validasi *Input*

   Setelah tombol estimasi diklik, sistem memeriksa apakah *input* valid. Jika tidak valid, sistem menampilkan pesan *error* dan kembali ke *input*.

c. Proses *Fuzzy Mamdani* Jika *input* valid, sistem menjalankan empat tahapan *fuzzy*:

   1) *Fuzzifikasi* → mengubah nilai *crisp* menjadi nilai *fuzzy*
   2) Inferensi/Implikasi Aturan → menerapkan aturan *fuzzy*
   3) Agregasi → menggabungkan hasil seluruh aturan
   4) *Defuzzifikasi* → mengubah kembali nilai *fuzzy* menjadi nilai *crisp* (kWh)

d. Hasil Estimasi

   Sistem menghasilkan estimasi kebutuhan listrik dalam satuan kWh, lalu menghitung estimasi biaya yang diperlukan.

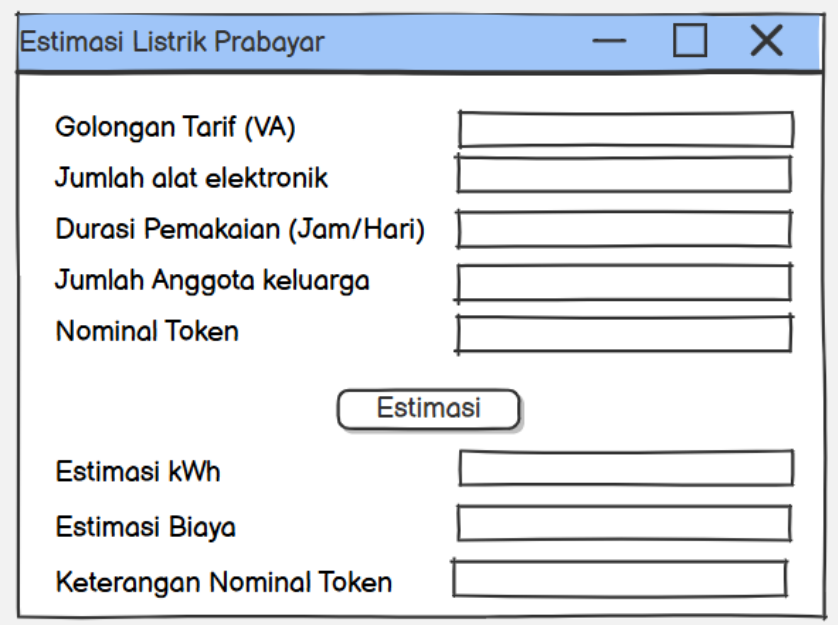
e. Keterangan Nominal

   Estimasi biaya dibandingkan dengan nominal token yang di*input*:

   1) jika biaya ≤ nominal token → tampil "CUKUP"
   2) Jika biaya > nominal token → tampil "TIDAK CUKUP

3.6.2 Desain *Interface*

Desain antarmuka (*interface*) merupakan tahap penting dalam mendukung penerapan Metode *Fuzzy Mamdani* dalam proses estimasi kebutuhan listrik. Pada penelitian ini, desain *interface* dibuat berbasis *GUI* (*Graphical User Inter*face) dengan desain yang di rancang menggunakan *balsamiq*. Desain dirancang sederhana namun fungsional, dengan menyesuaikan kebutuhan penelitian, yaitu variabel *input* berupa jumlah anggota keluarga, jumlah peralatan elektronik durasi pemakaian listrik harian, dan golongan tarif listrik. Sementara itu, *output* ditampilkan dalam bentuk estimasi kebutuhan kWh dan estimasi biaya listrik. Desain *interface* estimasi biaya listrik dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Desain *Interface* Model Estimasi kWh Listrik

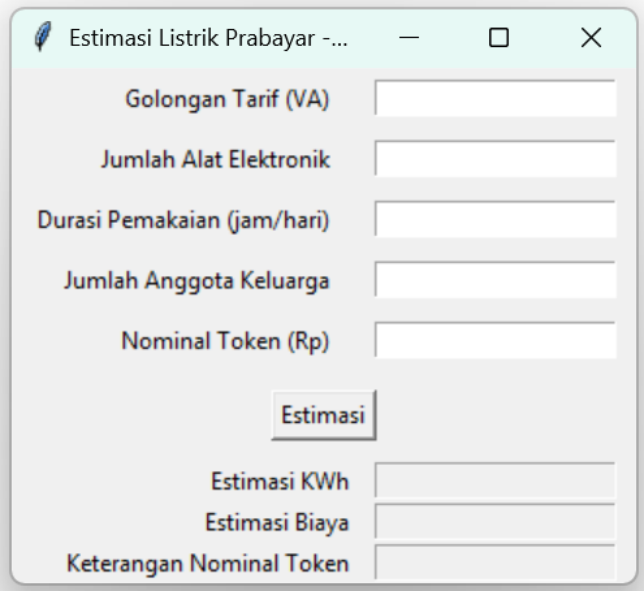
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Implementasi

Model estimasi listrik prabayar pada rumah tangga kemudian di implementasikan dalam program berbasis *GUI* (*Graphical User Inter*face) sebagai media pengujian metode. Metode *Fuzzy Mamdani* diterapkan untuk mengolah data *input* sehingga menghasilkan estimasi kebutuhan listrik rumah tangga. Adapun tampilan *GUI* dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Tampilan GUI estimasi listrik prabayar

Antarmuka pengguna (GUI) pada model estimasi listrik dalam penelitian ini digunakan sebagai media implementasi Metode *Fuzzy Mamdani*. GUI menampilkan komponen *input* variabel penelitian berupa golongan tarif listrik (VA), jumlah alat elektronik, durasi pemakaian listrik per hari, jumlah penghuni,

dan nominal token listrik. Berikut penjelasan mengenai masing-masing komponen antarmuka pada Gambar 4.1.

1) Golongan Tarif (VA)

   Pengguna memasukkan golongan tarif listrik (dalam satuan VA) yang digunakan pada rumah tangga sebagai salah satu variabel *input*.

2) Jumlah Alat Elektronik

   Pengguna memasukkan jumlah alat elektronik yang terdapat di rumah, seperti lampu, kulkas, televisi, dan peralatan elektronik lainnya.

3) Durasi Pemakaian (jam/hari)

   Pengguna memasukkan rata-rata durasi pemakaian seluruh alat elektronik dalam satu hari. Nilai durasi pemakaian berada pada rentang 1 hingga 24 jam.

4) Jumlah Penghuni

   Pengguna memasukkan jumlah penghuni yang tinggal dalam satu rumah sebagai variabel yang memengaruhi tingkat konsumsi listrik.

5) Nominal Token (Rp)

   Pengguna memasukkan nominal token listrik prabayar yang ingin dianalisis untuk mengetahui kecukupannya terhadap estimasi biaya listrik.

6) Estimasi kWh

   Estimasi konsumsi energi listrik dalam satuan *kilowatt-hour* (kWh) ditampilkan sebagai hasil perhitungan menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani*.

7) Estimasi Biaya

Estimasi biaya listrik diperoleh dari hasil estimasi kWh yang dikalikan dengan tarif listrik per kWh. Besaran tarif listrik disesuaikan dengan golongan tarif yang dimasukkan oleh pengguna.

8) Keterangan Nominal Token

Keterangan nominal token memberikan informasi apakah nominal token listrik yang dimasukkan mencukupi atau tidak terhadap estimasi biaya listrik yang dihasilkan.

4.1.2 Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menguji fungsionalitas GUI dan menguji hasil estimasi. Pengujian bertujuan untuk mendeteksi kesalahan atau *error* pada hasil program serta melihat kesesuaian antara hasil estimasi dengan kondisi nyata di lapangan. Pengujian pada penelitian ini dilakukan oleh Dosen STIMIK Palangkaraya untuk menguji fungsional GUI dan masyarakat di Kabupaten Pulang Pisau untuk menguji hasil estimasi.

1) Pengujian Oleh Dosen

Pengujian fungsionalitas antarmuka (GUI) memastikan semua komponen *input*, proses eksekusi, dan tampilan *output* pada program berjalan sesuai dengan seharusnya. Pengujian GUI menggunakan *black box testing* oleh Ir. Abdul Hadi, S.T., M.Kom., selaku dosen di STMIK Palangkaraya. Adapun hasil pengujian *black box testing* yang telah dilakukan disajikan pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Black Box Testing oleh dosen

Aktivitas Pengguna	Relasi yang diharapkan	Kesimpulan
Input angka valid pada seluruh field input	Nilai diterima dan dapat diproses sistem	[√] Sesuai [ ] Tidak Sesuai
Input kosong pada salah satu field	Sistem menolak input dan menampilkan peringatan	[√] Sesuai [ ] Tidak Sesuai
Input non-angka pada salah satu field	Sistem menolak input dan menampilkan peringatan	[√] Sesuai [ ] Tidak Sesuai
Semua input valid lalu klik tombol Estimasi	Sistem menampilkan estimasi kWh, biaya, dan keterangan token	[√] Sesuai [ ] Tidak Sesuai

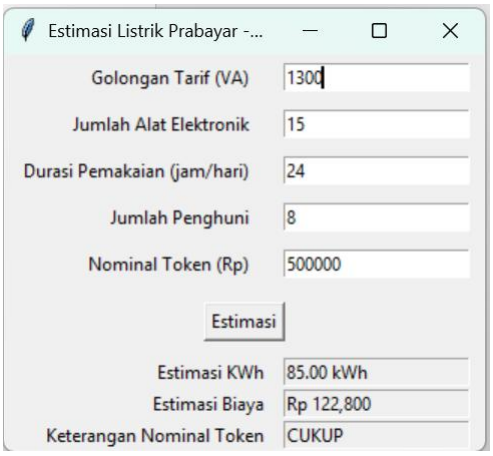
2) Pengujian Oleh Masyarakat Kabupaten Pulang Pisau

Pengujian hasil estimasi dilakukan dengan mengumpulkan data input dari 10 orang di Kabupaten Pulang Pisau, yaitu golongan tarif listrik, jumlah peralatan elektronik, durasi pemakaian, jumlah anggota keluarga, serta nominal token listrik yang biasanya dibeli setiap bulan. Data-data tersebut kemudian dimasukkan ke dalam sistem melalui antarmuka (GUI) sebagai *input*. Selanjutnya, hasil estimasi yang diperoleh dihitung untuk menentukan nilai validasinya. Berikut ini merupakan hasil pengujian berdasarkan data penggunaan listrik masyarakat Pulang Pisau.

a. Responden 1

Nama : Dwi

Nominal token per bulan : Rp 500.000

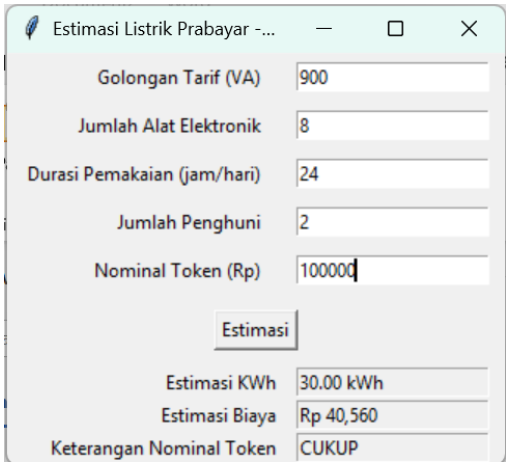


Gambar 4. 2 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh Dwi

b. Responden 2

Nama : Ulfah

Nominal token per bulan : Rp 100.000

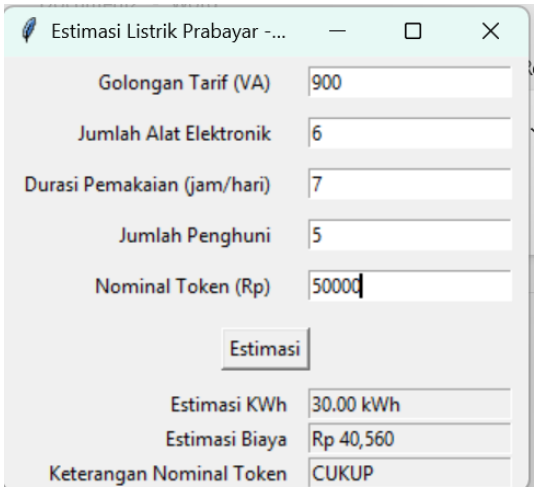


Gambar 4. 3 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh Ulfah

c. Responden 3

Nama : Poppy

Nominal token per bulan : Rp 50.000

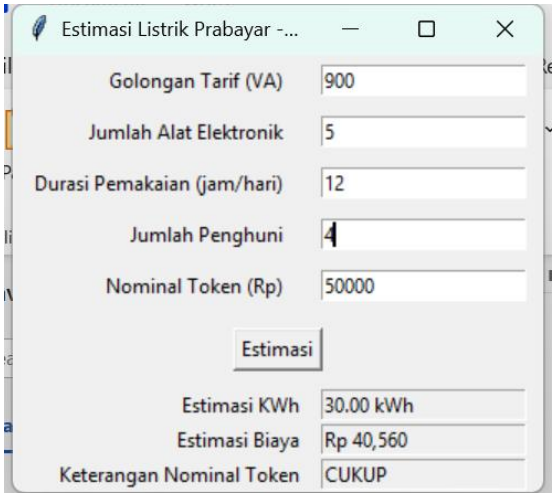


Gambar 4. 4 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh Poppy

d. Responden 4

Nama : Noraini

Nominal token per bulan : Rp 50.000

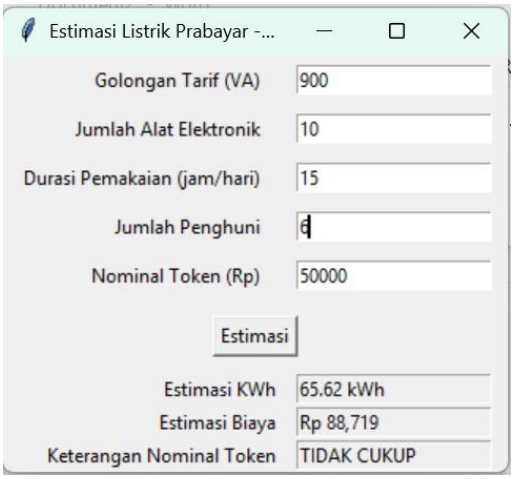


Gambar 4. 5 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh Noraini

e. Responden 5

Nama : Firda

Nominal token per bulan : Rp 150.000

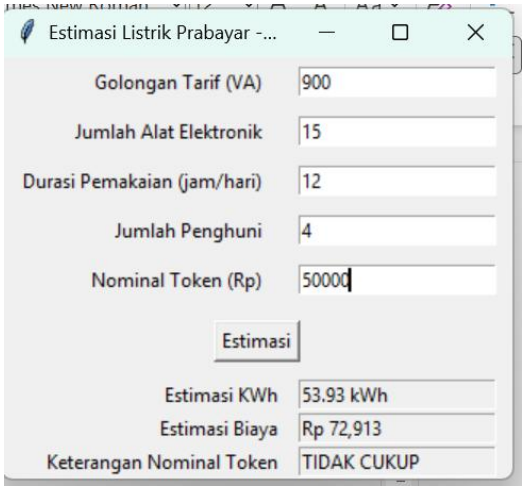


Gambar 4. 6 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh Firda

f. Responden 6

Nama : Saudah

Nominal token per bulan : Rp 100.000

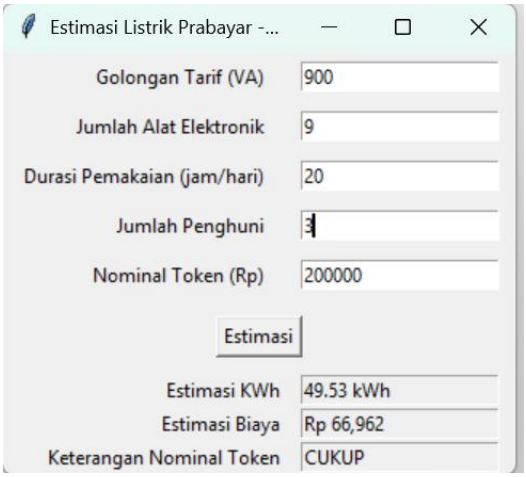


Gambar 4. 7 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh Saudah

g. Responden 7

Nama : Jenita

Nominal token per bulan : Rp 100.000

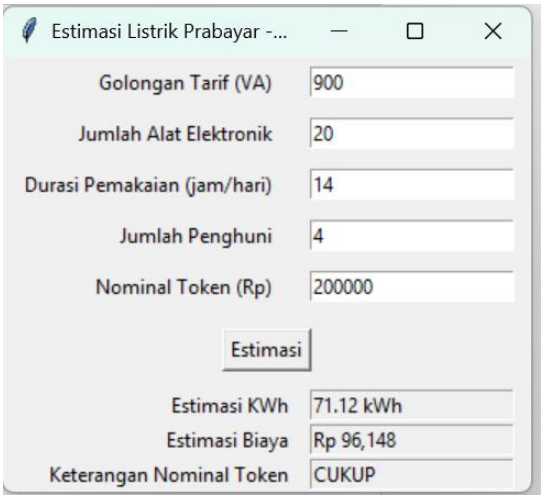


Gambar 4. 8 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh Jenita

h. Responden 8

Nama : Noryani

Nominal token per bulan : Rp 200.000

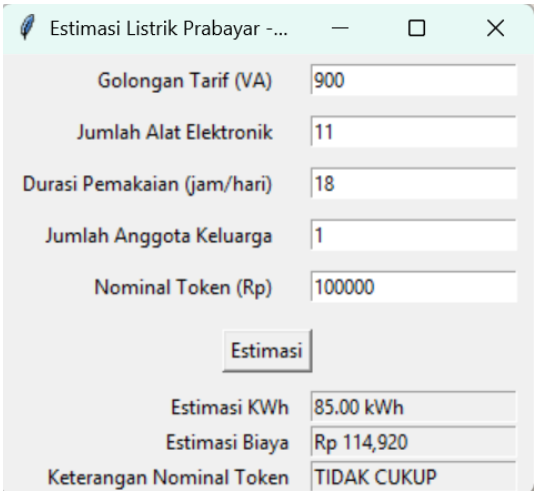


Gambar 4. 9 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh *Noryani*

i. Responden 9

Nama : Reza

Nominal token per bulan : Rp 100.000

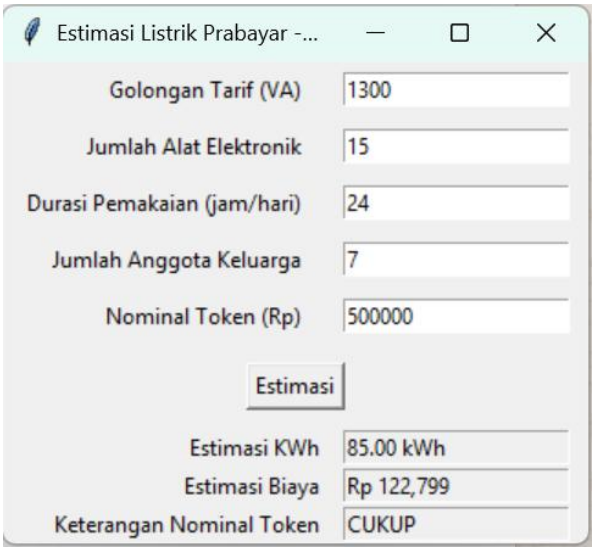


Gambar 4. 10 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh Reza

j. Responden 10

Nama : Andika

Nominal token per bulan : Rp 500.000



Gambar 4. 11 Hasil Estimasi Kebutuhan kWh Andika

Hasil estimasi dari 10 responden selanjutnya diukur tingkat akurasi terhadap nilai aktual dengan menggunakan metode *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Perhitungan MAPE dilakukan dengan

menghitung persentase *error* pada data responden. Nilai *error* pada masing-masing data dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Error(\%) = \frac{|Nominal\ Aktual - Estimasi|}{Nominal\ Aaktual}\ x\ 100\%$$

Berdasarkan rumus tersebut, diperoleh hasil perhitungan *error* untuk masing-masing data. Hasil perhitungan tersebut disajikan pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Tabel Perhitungan *Error*

No	Nominal Token aktual	Estimasi Nominal token	Error (%)
1	500.000	122.800	75.44%
2	100.000	40.560	59.44%
3	50.000	40.560	18.88%
4	50.000	40,560	18.88%
5	150.000	88.719	40.85%
6	100.000	72.913	27.09%
7	100.000	66.962	33.04%
8	200.000	96.148	51.93%
9	100.000	114.920	14,92%
10	400.000	122.799	69,30%

Setelah diperoleh persentase *error* pada masing-masing data, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) untuk mengetahui tingkat akurasi secara keseluruhan. Hasil perhitungan tersebut disajikan sebagai berikut.

$$MAPE\ =\ \frac{409.77\ \%}{10}\ =\ 40.98\ \%$$

Nilai MAPE menunjukkan persentase sebesar 40.98%. hasil ini menunjukkan tingkat kesalahan rata-rata berada pada kategori cukup. Kriteria interpretasi nilai MAPE dapat dilihat pada Tabel 2. 1.

Nilai MAPE sebesar 40,98% dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah pola pemakaian listrik rumah tangga yang dapat berubah-ubah dalam satu bulan sehingga tidak selalu menggambarkan kondisi penggunaan listrik yang sebenarnya. Selain itu, model estimasi pada penelitian ini hanya mempertimbangkan jumlah alat elektronik tanpa memperhitungkan besarnya daya listrik dari masing-masing perangkat. Hal tersebut menyebabkan penggunaan alat elektronik dengan daya besar tidak dapat diestimasi secara optimal sehingga pada nominal token aktual yang besar terlihat adanya selisih yang cukup signifikan dengan hasil estimasi. Faktor lainnya adalah keterbatasan responden dalam memberikan data *input*, seperti jumlah alat elektronik dan lama pemakaian yang umumnya berdasarkan perkiraan, sehingga dapat menimbulkan perbedaan antara hasil estimasi dengan nominal token listrik aktual.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Program

Metode *Fuzzy Mamdani* diterapkan sebagai pendekatan perhitungan estimasi kebutuhan listrik. Implementasi metode tersebut dilakukan melalui pemrograman yang disusun secara terstruktur, sebagaimana akan dijelaskan pada bagian berikut.

```
import numpy as np
import pandas as pd
import skfuzzy as fuzz
import tkinter as tk
from tkinter import messagebox
```

Baris kode di atas digunakan untuk mengambil pustaka yang dibutuhkan dalam proses penerapan *Fuzzy Mamdani*. *NumPy* digunakan untuk perhitungan

numerik, *Pandas* untuk pengolahan data dalam bentuk tabel, *scikit-fuzzy* untuk mengimplementasikan Metode *Fuzzy Mamdani*, dan *Tkinker* untuk membuat tampilan pengguna. *Messagebox* dipakai untuk menampilkan pesan atau peringatan kepada pengguna.

```
# ====================== LOAD RULE BASE ====================
RULES = pd.read_csv("rule_fuzzy_listrik.csv", dtype=str,
keep_default_na=False).map(
   lambda s: s.strip() if isinstance(s, str) else s
)

# Mapping linguistik (CSV) -> indeks 0/1/2
MAP_GOL = {"Kecil": 0, "Sedang": 1, "Tinggi": 2}
MAP_ALAT = {"Sedikit": 0, "Sedang": 1, "Banyak": 2}
MAP_DURASI = {"Singkat": 0, "Sedang": 1, "Lama": 2}
MAP_PENGHUNI = {"Sedikit": 0, "Sedang": 1, "Banyak": 2}
MAP_OUTPUT = {"Rendah": 0, "Sedang": 1, "Tinggi": 2}
```

Bagian kode di atas berfungsi untuk membaca basis aturan *fuzzy* yang tersimpan pada *file* CSV dan mengonversi nilai linguistik menjadi indeks numerik. Konversi dilakukan agar program dapat mengolah nilai derajat keanggotaan serta melakukan proses *inferesni fuzzy Mamdani* secara sistematis.

```
# ====================== FUNGSI ESTIMASI ====================
def estimasi_kwh(golongan, jumlah_alat, durasi, jumlah_penghuni):

   # Semesta pembicaraan
   x_gol = np.arange(900, 5501, 1)
   x_alat = np.arange(0, 31, 1)
   x_durasi = np.arange(0, 25, 1)
   x_penghuni = np.arange(0, 11, 1)
   x_kwh = np.arange(0, 401, 1)

   # Clamp ke semesta pembicaraan
   golongan = np.clip(golongan, x_gol[0], x_gol[-1])
   jumlah_alat = np.clip(jumlah_alat, x_alat[0], x_alat[-1])
   durasi = np.clipb(durasi, x_durasi[0], x_durasi[-1])
   jumlah_penghuni = np.clip(jumlah_penghuni, x_penghuni[0], x_penghuni[-1])
```

Kode di atas berperan dalam menghitung estimasi konsumsi listrik menggunakan metode *fuzzy Mamdani*. Di dalam fungsi ini ditetapkan semesta

pembicaraan untuk setiap variabel *input* dan *output*, serta dilakukan pembatasan nilai *input* agar berada dalam rentang yang telah ditentukan sehingga perhitungan dapat stabil.

```
# ================== FUNGSI KEANGGOTAAN ==================

  # Golongan
  gol_kecil  = fuzz.trapmf(x_gol, [900, 900, 1300, 1500])
  gol_sedang = fuzz.trimf(x_gol, [1300, 2200, 3500])
  gol_tinggi = fuzz.trapmf(x_gol, [3000, 3500, 5500, 5500])

  # Alat
  alat_sedikit = fuzz.trapmf(x_alat, [0, 0, 6, 10])
  alat_sedang  = fuzz.trimf(x_alat, [8, 15, 22])
  alat_banyak  = fuzz.trapmf(x_alat, [18, 24, 30, 30])

  # Durasi
  durasi_singkat = fuzz.trapmf(x_durasi, [0, 0, 4, 8])
  durasi_sedang  = fuzz.trimf(x_durasi, [6, 12, 16])
  durasi_lama    = fuzz.trapmf(x_durasi, [14, 18, 24, 24])

  # Penghuni
  penghuni_sedikit = fuzz.trapmf(x_penghuni, [0, 0, 2, 3])
  penghuni_sedang  = fuzz.trimf(x_penghuni, [2, 4, 7])
  penghuni_banyak  = fuzz.trapmf(x_penghuni, [6, 8, 10, 10])

  # Output kWh
  kwh_rendah = fuzz.trimf(x_kwh, [0, 75, 150])
  kwh_sedang = fuzz.trimf(x_kwh, [120, 200, 280])
  kwh_tinggi = fuzz.trimf(x_kwh, [250, 325, 400])
```

Bagian kode di atas berfungsi dalam pembentukan fungsi keanggotaan *fuzzy* pada seluruh variabel dengan menggunakan fungsi segitiga dan trapesium. Pembentukan himpunan *fuzzy* menggambarkan kondisi rendah, sedang, dan tinggi pada setiap variabel, sehingga proses *fuzzifikasi* dapat dilakukan secara bertahap dan menghasilkan inferensi.

```
# ===================== FUZZIFIKASI =====================
  mu_g = [
    fuzz.interp_membership(x_gol, gol_kecil, golongan),
    fuzz.interp_membership(x_gol, gol_sedang, golongan),
    fuzz.interp_membership(x_gol, gol_tinggi, golongan)
```

```
    ]

    mu_a = [
        fuzz.interp_membership(x_alat, alat_sedikit, jumlah_alat),
        fuzz.interp_membership(x_alat, alat_sedang, jumlah_alat),
        fuzz.interp_membership(x_alat, alat_banyak, jumlah_alat)
    ]

    mu_d = [
        fuzz.interp_membership(x_durasi, durasi_singkat, durasi),
        fuzz.interp_membership(x_durasi, durasi_sedang, durasi),
        fuzz.interp_membership(x_durasi, durasi_lama, durasi)
    ]

    mu_p = [
        fuzz.interp_membership(x_penghuni, penghuni_sedikit, jumlah_penghuni),
        fuzz.interp_membership(x_penghuni, penghuni_sedang, jumlah_penghuni),
        fuzz.interp_membership(x_penghuni, penghuni_banyak, jumlah_penghuni)
    ]

    kwh_mf = [kwh_rendah, kwh_sedang, kwh_tinggi]
```

Kode di atas melakukan proses *fuzzifikasi*, yaitu nilai *input crisp* dikonversi menjadi nilai derajat keanggotaan pada setiap himpunan *fuzzy* melalui fungsi interpolasi. Setiap variabel dihitung tingkat keanggotaannya terhadap tiga kategori *fuzzy*. Fungsi *interp_membership* digunakan untuk memperoleh nilai derajat keanggotaan secara numerik sesuai bentuk fungsi keanggotaan yang telah ditetapkan.

```
# ==================== INFERENSI MAMDANI ====================
    agregasi = np.zeros_like(x_kwh)

    for _, rule in RULES.iterrows():
        try:
            ig = MAP_GOL[rule['gol']]
            ia = MAP_ALAT[rule['alat']]
            idu = MAP_DURASI[rule['durasi']]
            ip = MAP_PENGHUNI[rule['penghuni']]
            io = MAP_OUTPUT[rule['output']]
        except KeyError as e:
            raise ValueError(f"Isi CSV tidak dikenali: {e}. Cek ejaan/spacing di file
CSV.")
```

```
            firing_strength = min(mu_g[ig], mu_a[ia], mu_d[idu], mu_p[ip])

            if firing_strength > 0:
                clipped = np.fmin(firing_strength, kwh_mf[io])
                agregasi = np.fmax(agregasi, clipped)

        if np.sum(agregasi) == 0:
            raise ValueError("Kombinasi input tidak ter-cover oleh aturan fuzzy.")
```

Kode program di atas berfungsi pada proses inferensi. Setiap aturan *fuzzy* di proses menggunakan operator minimum sebagai representasi operasi AND untuk menentukan tingkat *aktivasi* aturan. Kemudian seluruh aturan yang aktif digabungkan menggunakan operator maksimum sehingga membentuk himpunan *fuzzy* pada variabel *output* atau disebut agregasi.

```
    # ===================== DEFUZZIFIKASI =====================
        hasil_kwh = fuzz.defuzz(x_kwh, agregasi, 'centroid')
        return hasil_kwh
```

Kode di atas untuk melakukan proses *defuzzifikasi* menggunakan metode *cetroid* untuk mendapatkan nilai *crisp* dari himpunan *fuzzy output* hasil agregasi aturan, yang kemudian di gunakan sebagai estimasi konsumsi energi listrik.

```
# ===================== TARIF =====================
def get_tarif(golongan):
    if golongan <= 900:
        return 1352.00
    elif golongan <= 1300:
        return 1444.70
    elif golongan <= 2200:
        return 1444.70
    else:  # 3500 – 5500
        return 1699.53
```

Fungsi *get_tarif* pada kode di atas digunakan untuk menentukan tarif listrik per kWh berdasarkan golongan tarif listrik yang dimasukkan. Hasil perhitungan tarif listrik kemudian di gunakan dalam estimasi biaya listrik.

```
# ============== VALIDASI INPUT (SESUI PERMINTAAN) ===============
def parse_int_field(entry: tk.Entry, nama: str) -> int:
    nilai = entry.get().strip()

    if nilai == "":
        raise ValueError(f"{nama} tidak boleh kosong.")

    # hanya digit 0-9, jadi koma/titik/huruf/simbol otomatis ditolak
    if not nilai.isdigit():
        raise ValueError(f"{nama} harus berupa angka tanpa koma, titik, atau
huruf.")

    return int(nilai)
```

Kode di atas terdapat fungsi *parse_int_field* yang digunakan untuk memvalidasi input pengguna. Fungsi ini memastikan tidak ada *input* yang kosong atau bukan angka.

```
# ===================== GUI ACTION =====================
def submit():
    try:
        gol = parse_int_field(entry_gol, "Golongan Tarif (VA)")
        alat = parse_int_field(entry_alat, "Jumlah Alat Elektronik")
        dur = parse_int_field(entry_durasi, "Durasi Pemakaian (jam/hari)")
        penghuni = parse_int_field(entry_penghuni, "Jumlah Penghuni")
        token = parse_int_field(entry_token, "Nominal Token (Rp)")

        esti_kwh = estimasi_kwh(gol, alat, dur, penghuni)
        biaya = esti_kwh * get_tarif(gol)
        status = "CUKUP" if token >= biaya else "TIDAK CUKUP"

        output_kwh.config(state="normal")
        output_kwh.delete(0, tk.END)
        output_kwh.insert(0, f"{esti_kwh:.2f} kWh")
        output_kwh.config(state="readonly")

        output_biaya.config(state="normal")
        output_biaya.delete(0, tk.END)
        output_biaya.insert(0, f"Rp {biaya:,.0f}")
        output_biaya.config(state="readonly")

        output_status.config(state="normal")
        output_status.delete(0, tk.END)
        output_status.insert(0, status)
        output_status.config(state="readonly")
```

```
    except ValueError as ve:
        messagebox.showwarning("Input tidak valid", str(ve))
    except Exception as e:
        messagebox.showerror("Error", str(e))
```

Pada kode di atas terdapat Fungsi *submit*() yang berperan pada antarmuka pengguna yang dijalankan saat tombol estimasi ditekan. Seluruh nilai *input* diambil dari komponen GUI dan divalidasi menggunakan fungsi *parse_int_field*. Selanjutnya, fungsi *estimasi_kwh* digunakan untuk memperoleh nilai estimasi konsumsi energi listrik dalam satuan kWh. Nilai tersebut kemudian digunakan untuk menghitung estimasi biaya listrik dengan mengalikan hasil kWh dengan tarif listrik berdasarkan golongan daya. Selain itu, fungsi status digunakan untuk menentukan apakah nominal token listrik yang dimasukkan mencukupi atau tidak terhadap estimasi biaya yang dihasilkan.

```
# ==================== BUILD GUI ====================
root = tk.Tk()
root.title("Estimasi Listrik Prabayar - Fuzzy Mamdani")

labels = [
    "Golongan Tarif (VA)",
    "Jumlah Alat Elektronik",
    "Durasi Pemakaian (jam/hari)",
    "Jumlah Penghuni",
    "Nominal Token (Rp)"
]

entries = []
for i, text in enumerate(labels):
    tk.Label(root, text=text).grid(row=i, column=0, padx=10, pady=5, sticky="e")
    ent = tk.Entry(root)
    ent.grid(row=i, column=1, padx=10, pady=5)
    entries.append(ent)

entry_gol, entry_alat, entry_durasi, entry_penghuni, entry_token = entries

tk.Button(root, text="Estimasi", command=submit).grid(row=5, column=0,
columnspan=2, pady=10)
```

```
tk.Label(root, text="Estimasi KWh").grid(row=6, column=0, sticky="e")
output_kwh = tk.Entry(root, state="readonly")
output_kwh.grid(row=6, column=1)

tk.Label(root, text="Estimasi Biaya").grid(row=7, column=0, sticky="e")
output_biaya = tk.Entry(root, state="readonly")
output_biaya.grid(row=7, column=1)

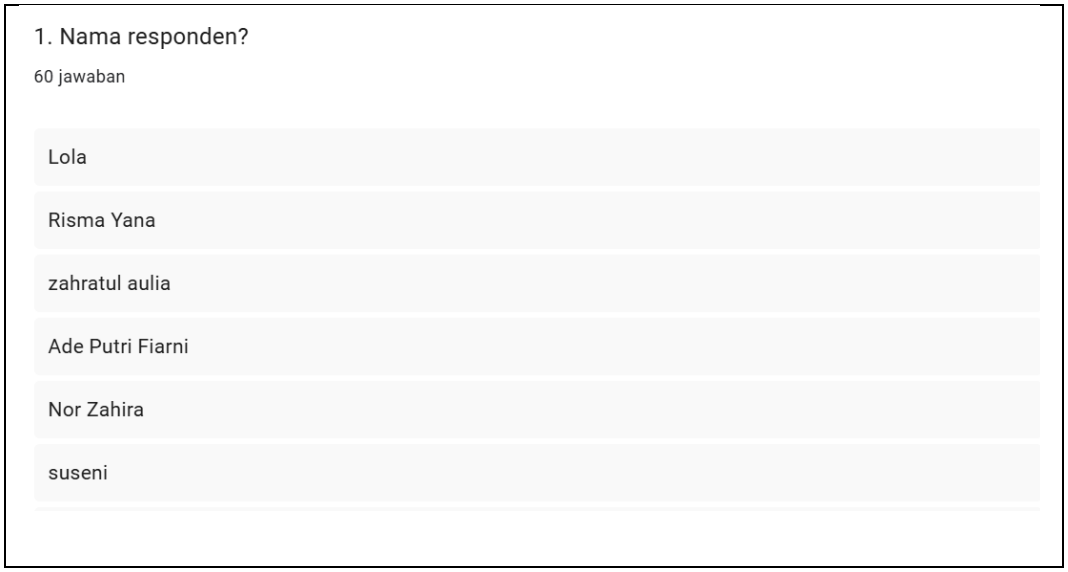
tk.Label(root, text="Keterangan Nominal Token").grid(row=8, column=0,
sticky="e")
output_status = tk.Entry(root, state="readonly")
output_status.grid(row=8, column=1)

root.mainloop()
```

Bagian kode di atas digunakan untuk membangun antarmuka model estimasi listrik yang terdiri dari komponen *input*, tombol proses, dan komponen *output*.

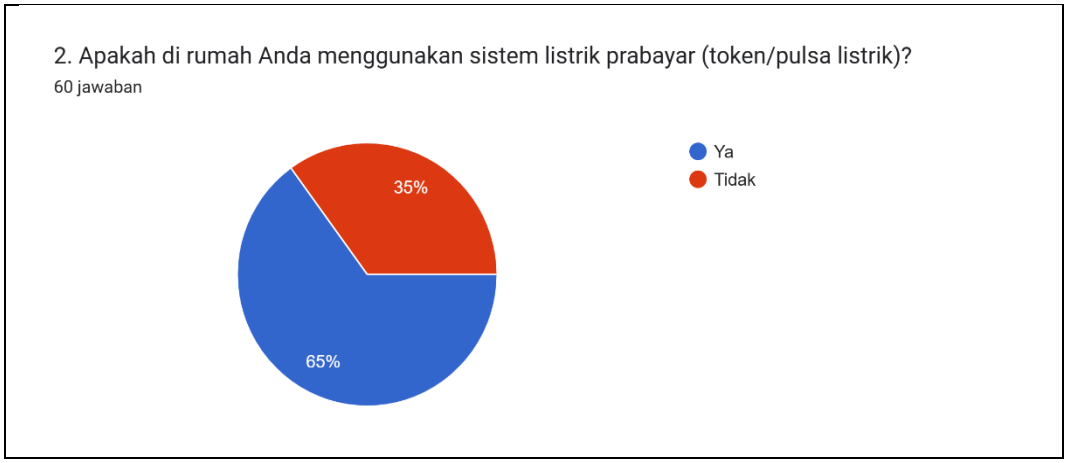
4.3 Kuesioner

Pada penelitian ini, kuesioner digunakan sebagai instrumen dalam pengumpulan data. Data yang diperoleh dari kuesioner digunakan untuk mengumpulkan informasi awal sebagai dasar untuk menentukan semesta pembicaraan pada masing-masing himpunan *fuzzy*. Jumlah responden yang terlibat dalam penelitian ini sebanyak 60 responden. Adapun hasil pengisian kuesioner disajikan dalam bentuk diagram sebagai berikut.



Gambar 4. 12 Kuesioner Nama Responden

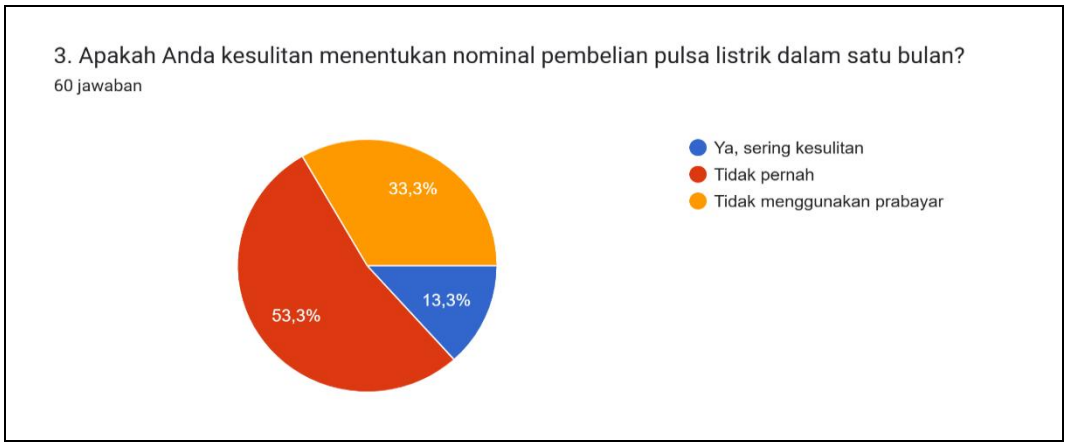
Gambar 4. 13 menampilkan nama responden yang berpartisipasi dalam penelitian, dengan total 60 responden. Data nama digunakan sebagai bukti bahwa kuesioner diisi oleh responden yang berbeda. Nama responden hanya digunakan sebagai data pendukung penelitian dan tidak digunakan dalam proses perhitungan.



Gambar 4. 13 Kuesioner menggunakan listrik prabayar

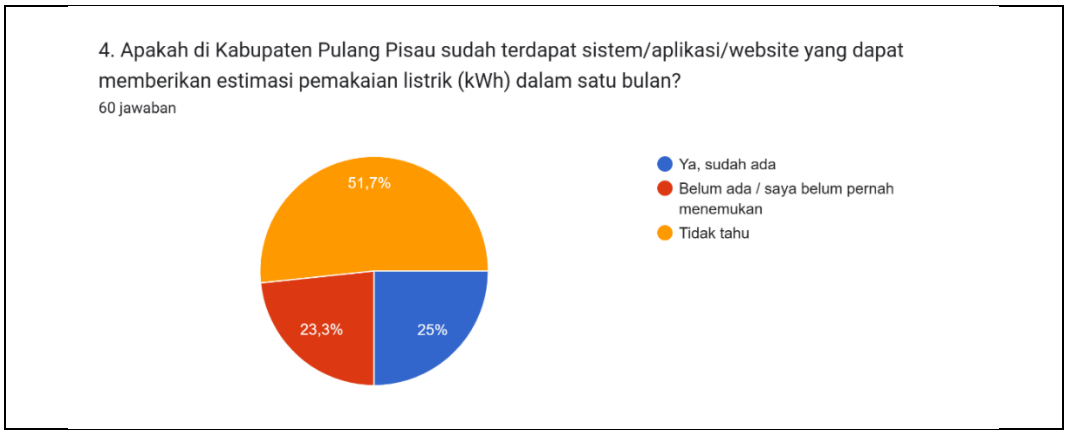
Berdasarkan diagram pada Gambar 4.14, sebanyak 65% responden menyatakan menggunakan sistem listrik prabayar, sedangkan sisanya sebanyak 35% responden tidak menggunakan sistem prabayar. Hasil ini menunjukkan

masyarakat yang menggunakan sistem prabayar lebih banyak dari pada yang menggunakan sistem pasca bayar.



Gambar 4. 14 Kuesioner Penentuan Nominal Pembelian Pulsa Listrik

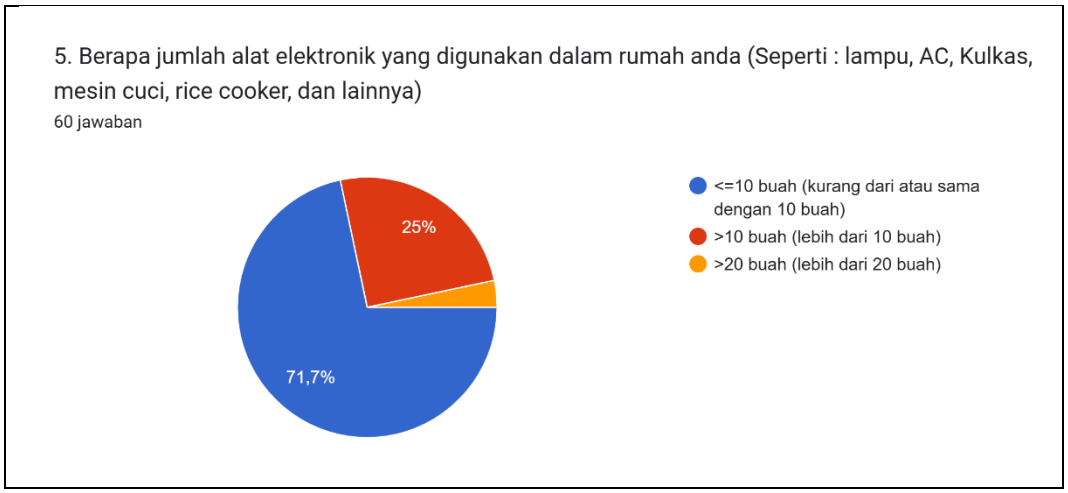
Diagram pada Gambar 4.15 menunjukkan bahwa sebanyak 13,3% responden mengalami kesulitan dalam menentukan nominal token listrik. Sebanyak 53,3 % menyatakan tidak kesulitan dan sebanyak 33,3 % tidak menggunakan listrik prabayar. Data ini menunjukkan bahwa masih terdapat masyarakat yang memerlukan suatu pendekatan estimasi untuk memperkirakan kebutuhan listrik bulanan.



Gambar 4. 15 Kuesioner Mengenai Sistem Estimasi

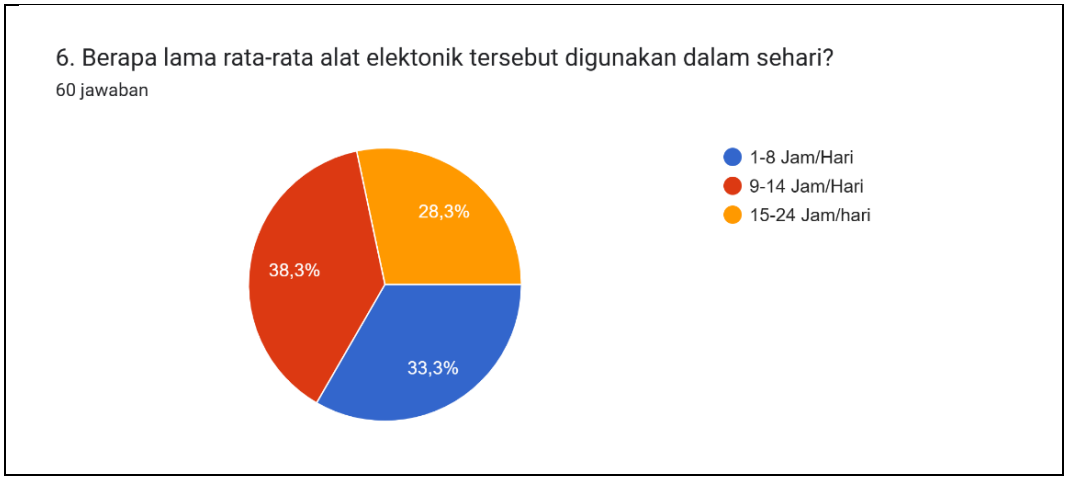
Berdasarkan diagram pada Gambar 4.16, sebanyak 25% responden menyatakan sudah terdapat sistem atau aplikasi estimasi pemakaian listrik di

Pulang Pisau, sebanyak 23,3 responden menyatakan belum ada atau belum pernah menemukan dan sebanyak 51,7 % responden menyatakan tidak mengetahui adanya sistem estimasi.



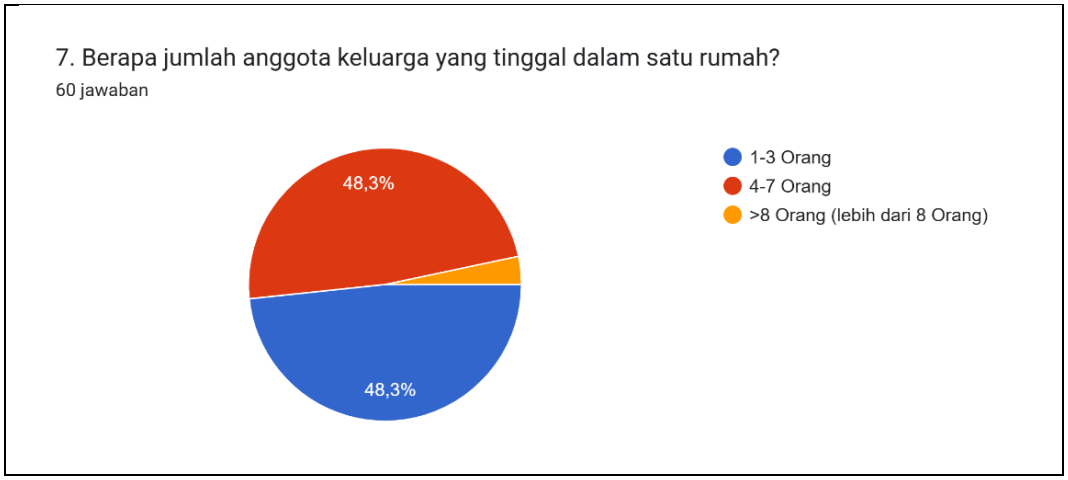
Gambar 4. 16 Kuesioner Penentuan Variabel Alat Elektronik

Diagram pada Gambar 4.17 menunjukkan bahwa sebanyak 71,7% responden menggunakan alat elektronik sebanyak ≤ 10 buah, sebanyak 25% responden menggunakan lebih dari 10 alat elektronik dan sebagian kecil menggunakan lebih dari 20 buah alat elektronik. Data ini kemudian menjadi parameter dalam variabel jumlah alat elektronik.



Gambar 4. 17 Kuesioner Penentuan Durasi Alat Elektronik

Diagram pada Gambar 4.18 menyatakan sebanyak 33,3% responden menggunakan alat elektronik 1-8 jam per hari, 38,3% responden selama 9–14 jam per hari, dan sebanyak 28,3% responden selama 15–24 jam per hari. Hal ini menunjukkan durasi pemakaian alat elektronik beragam, sehingga durasi pemakaian mempengaruhi besarnya konsumsi listrik rumah tangga.



Gambar 4. 18 Kuesioner Jumlah Anggota Keluarga

Diagram pada Gambar 4.19, sebanyak 48,3% responden memiliki jumlah anggota keluarga 1–3 orang, sebanyak 48,3% responden memiliki 4–7 orang, dan sebagian kecil memiliki lebih dari 8 orang dalam satu rumah. Variasi jumlah anggota keluarga berpotensi mempengaruhi pola serta besarnya konsumsi listrik.

Berdasarkan hasil kuesioner yang melibatkan 60 responden, dapat disimpulkan bahwa mayoritas responden menggunakan listrik prabayar dan masih terdapat sebagian masyarakat yang mengalami kesulitan dalam menentukan nominal pembelian token listrik. Selain itu, sebagian besar responden tidak mengetahui atau belum menemukan adanya sistem estimasi pemakaian listrik di wilayah Pulang Pisau. Data kuesioner juga menunjukkan adanya variasi jumlah alat elektronik, durasi pemakaian, dan jumlah anggota keluarga. Data yang diperoleh

melalui kuesioner ini menjadi dasar dalam proses analisis menggunakan Metode Fuzzy Mamdani.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi serta pengujian tentang sistem estimasi listrik prabayar pada rumah tangga di Kabupaten Pulang Pisau yang sudah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

a. Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem estimasi kebutuhan listrik rumah tangga berbasis Metode *Fuzzy Mamdani* berbasis *GUI* (*Graphic User Interface*). Sistem digunakan untuk mengolah variabel sehingga dapat memberikan estimasi kebutuhan listrik secara sistematis.
b. Sistem estimasi ini dikembangkan menggunakan konsep logika *fuzzy mamdani*, yang meliputi tahapan *fuzzifikasi*, pembentukan basis aturan (*rule base*), proses inferensi, serta *defuzzifikasi*. Aturan *fuzzy* disusun berdasarkan analisis kondisi pemakaian listrik rumah tangga, sehingga sistem dapat menghasilkan *output* estimasi kebutuhan listrik dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi.
c. Hasil pengujian yang dilakukan menggunakan *black box testing* menunjukkan bahwa aplikasi estimasi dapat berjalan sesuai rancangan. Selain itu, hasil perhitungan manual menunjukkan kesesuaian dengan hasil perhitungan pada aplikasi estimasi.
d. Berdasarkan perhitungan validasi menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), diperoleh nilai *error* sebesar 40,98%, yang termasuk dalam kategori cukup. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan metode *Fuzzy*

Mamdani memiliki kemampuan yang cukup memadai dalam memberikan estimasi kebutuhan listrik, meskipun masih terdapat selisih antara nilai estimasi dan data aktual.

5.2 Saran

Dalam penelitian yang dilakukan masih memiliki sejumlah keterbatasan, sehingga diperlukan pengembangan lebih lanjut pada penelitian selanjutnya. Oleh karena itu terdapat beberapa saran sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian berikutnya, yaitu:

a. Pada penelitian berikutnya dapat ditambahkan variabel *input*, seperti jenis peralatan listrik, pola pemakaian harian dan lainnya. Hal ini bertujuan meningkatkan tingkat akurasi dan kesesuaian hasil estimasi dengan kondisi nyata.
b. Pengembangan sistem dapat mempertimbangkan penerapan metode *fuzzy* dengan metode lain, seperti *Fuzzy Sugeno* atau berbasis kecerdasan lainnya.
c. Penerapan Fuzzy Mamdani dapat ditingkatkan dengan menambahkan fitur visualisasi hasil estimasi serta rekomendasi penggunaan listrik. Dengan demikian, informasi dapat disajikan lebih jelas, informatif dan mudah dipahami oleh pengguna.
d. Sistem estimasi kebutuhan listrik dapat dikembangkan dengan menambahkan klasifikasi jenis bisnis atau usaha, sehingga sistem tidak hanya dapat digunakan pada rumah tangga, tetapi juga dapat diterapkan pada berbagai golongan usaha atau sektor bisnis.

e. Pada penelitian selanjutnya, model estimasi dapat diimplementasikan dalam bentuk *website* atau aplikasi *mobile* agar mudah di akses oleh masyarakat luas.

DAFTAR PUSTAKA

Abrori, M., & Prihamayu, A. H. (2015). Aplikasi logika *Fuzzy* metode *Mamdani* dalam pengambilan keputusan penentuan jumlah produksi. *Kaunia*, *11*(2), 91–99

Adawiyah Ritonga, & Yahfizham Yahfizham. (2023). Studi Literatur Perbandingan Bahasa Pemrograman C++ dan Bahasa Pemrograman Python pada Algoritma Pemrograman. *Jurnal Teknik Informatika Dan Teknologi Informasi*, *3*(3), 56–63. https://doi.org/10.55606/jutiti.v3i3.2863

Awwabiin, S. (2025). Penelitian Studi Kasus Kualitatif. *Dunia Dosen*, *9*(2), 13087–13098. https://www.duniadosen.com/penelitian-studi-kasus/

Dr.Arie Gunawan, S.Kom., M. M. S. I. (2024). *Mobile Programming Menggunakan Flutter dan Visual Studio Code Untuk Pemula*. www.penerbitlitnus.co.id

Gosal, S. G., Pontoh, W., & Kalalo, M. Y. B. (2025). Analisis penjualan listrik prabayar dan pascabayar dalam meningkatkan laba pada PT PLN (Persero) Unit Pelayanan Pelanggan (UP3) Manado. *Riset Akuntansi Dan Portofolio Investasi*, *3*(1), 125–131. https://doi.org/10.58784/rapi.287

Jailani, M. S. (2023). *Teknik Pengumpulan Data Dan Instrumen Penelitian Ilmiah Pendidikan Pada Pendekatan Kualitatif dan Kuantitatif*. *1*, 1–9.

Jamaludin, U., Adya Pribadi, R., & Sarni, S. (2023). Implementasi Model Problem Based Learning Pada Pembelajaran Ipa Untuk Mengembangkan Kemampuan Berpikir Kritis. *Didaktik : Jurnal Ilmiah PGSD STKIP Subang*, *9*(2), 3247–3256. https://doi.org/10.36989/didaktik.v9i2.1015

Nabillah, I., & Ranggadara, I. (2020). *Mean Absolute Percentage Error untuk Evaluasi Hasil Prediksi Komoditas Laut*. *5*(2), 250–255. https://doi.org/10.33633/joins.v5i2.3900

Nainel, Y. L., Buulolo, E., & Lubis, I. (2020). Penerapan Data Mining Untuk Estimasi Penjualan Obat Berdasarkan Pengaruh Brand Image Dengan Algoritma Expectation Maximization (Studi Kasus: PT. Pyridam Farma Tbk). *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, *7*(2), 214. https://doi.org/10.30865/jurikom.v7i2.2097

Nuha, H. H., Telkom, U., & Barat, J. (2025). *Mean Absolute Percentage Error (MAPE) dan Penggunaannya*. *3*(December 2024), 3–5.

Okatini, M., Siti, N., Ambarwati, S., & Hidayah, N. (2024). *Analisis Kebutuhan Bahan Ajar dalam Pembelajaran Metode Penelitian Terapan di Program Studi Kosmetik dan Perawatan Kecantikan*. *15*(2), 1449–1458.

PUJIANTO, M. C. C., Winarno, I., Winarno, I., Rahmatullah, D., & Rahmatullah, D. (2022). Smart Meter Dan Pengontrol Penggunaan Energi Listrik Berdasarkan Smart Relay Dengan Komunikasi Ethernet Dan Wireless. *Media*

Elektrika, *14*(2), 87. https://doi.org/10.26714/me.v14i2.7047

Rindengan, A. ., & Yohanes, A. . L. (2019). Sistem Fuzzy. In *Sistem Fuzzy*.

Seabrook, J. A. (2025). Powering Nutrition Research: Practical Strategies for Sample Size in Multiple Regression. *Nutrients* , *17*(16), 1–11. https://doi.org/10.3390/nu17162668

Zaen, S. L., Solekhan, S., & Rozaq, I. A. (2021). Sistem Monitoring Pemakaian Energi Listrik Rumah Tangga Berbasis Web. *Jurnal Elektro Kontrol (ELKON)*, *1*(1), 15–24. https://doi.org/10.24176/elkon.v1i1.6965

Lampiran

SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INFORMATIKA DAN KOMPUTER
(STMIK) PALANGKARAYA
Jl. G. Obos No.114 Telp.0536-3224593, 3225515 Fax.0536-3225515 Palangka Raya
email : humas@stmikplk.ac.id - website : www.stmikplk.ac.id

SURAT TUGAS PEMBIMBING TUGAS AKHIR

NO. 212/STMIK-3.C.2/AU/IX/2025

Ketua Program Studi Teknik Informatika Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer (STMIK) Palangkaraya menugaskan nama-nama tersebut di bawah ini :

1. Nama : Lili Rusdiana, M.Kom
   NIK : 198707282011007
   Sebagai Pembimbing I dalam **PEMBUATAN PROGRAM**
2. Nama : Elok Faiqotul Himmah, S.Si., M.Sc
   NIK : 198503092009003
   Sebagai Pembimbing II dalam **PENULISAN TUGAS AKHIR**

Untuk membimbing Tugas Akhir mahasiswa :

Nama	:	Dahlia Febriani
NIM	:	C2255201081
Program Studi	:	TEKNIK INFORMATIKA (55201)
Tanggal Daftar	:	04/09/2025
Judul Tugas Akhir	:	Penerapan Fuzzy Mamdani untuk Estimasi Kebutuhan KWH Listrik Rumah Tangga Prabayar di Kabupaten Pulang Pisau

Demikian surat ini dibuat agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya, dan dilaksanakan dengan penuh tanggung jawab.

Palangka Raya, 09 September 2025

Ketua Program Studi,

Ir. ABDUL HADI, S.T., M.Kom
NIK. 198505102021101

TEMBUSAN :
1. Pembimbing I dan II
2. Mahasiswa yang bersangkutan
3. Arsip Prodi TI

SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INFORMATIKA DAN KOMPUTER

(STMIK) PALANGKARAYA

Jl. G. Obos No.114 Telp.0536-3224593, 3225515 Fax.0536-3225515 Palangkaraya
email : humas@stmikplk.ac.id - website : www.stmikplk.ac.id

KARTU KEGIATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Dahlia Febriani

NIM : C2255201081

Tanggal Persetujuan Judul : 09 September 2025

Judul Tugas Akhir : Penerapan Fuzzy mamdani untuk estimasi kebutuhan kwh listrik rumah tangga prabayar di kabupaten Pulang Pisau

No.	Tanggal Konsultasi		Uraian	Tanda Tangan
	Terima	Kembali		
1	11-09-2025	11/09 2025	Perbaikan metode pada proposal	
2	13-09-2025	13/9 2025	Rumusan masalah dan bbrp teori diperbaiki;	
			flowchart diperbaiki kembali	
3	16-09-2025	16/9 2025	Perbaiki bab 2 & 3 yg saling berkaitan	
4	19-09-2025	20/9 2025	lengkapi bab 2 & 3	
5	24-09-2025		ACC proposal, silakan ke dosbing 2	
6	12-09-2025		Penulisan sitasi bab 1	
		15 sep 2025	Penulisan fuzzi hubungan pada bab 1	
7	15-09-2025	19-09-2025	Perbaikan kalimat	
8	26-09-2025		Buat parafhase	
			Beri kepala tabel	
			tambahkan teknik wawancara	
		28-09-2025	Beri no pers. rumus	
9	01-10-2025		Perbaiki kapital	
			Perbaiki sitasi	
			Ringkas gap penelitian	
		02-10-2025	Tambahkan kalimat	
10	04-10-2025	04-10-2025	Ringkas sistematika penulisan	
11	04-10-2025		ACC seminar	

No.	Tanggal Konsultasi		Uraian	Tanda Tangan
	Terima	Kembali		
1	23/oktober/25	23-10-2025	Sesuaikan format kuesioner	
2	26-10-2025	26-10-2025	Sesuaikan format wawancara	
3	14-01-2026	14-01-2026	sesuaikan dgn format laporan	
4	19-01-2026	19-01-2026	Demo program dan sesuaikan beberapa	
			Perubahan layout	
5	22-01-2026	22-01-2026	Sesuaikan isi blackbox	
6	23-01-2026	23-01-2026	Lengkapi Penulisan laporan	
7	07-02-2026	07-02-2026	Buat kesimpulan Hasil Grapik dan	
			lengkapi penulisan serta lampiran	
8	08-02-2026	08-02-2026	Acc sidang, silahkan konsul dgn	
			dosbing 2	
9	04-02-2026		Perbaikan kalimat	
		05-02-2026	Beri nomor persamaan	
10	24-02-26		Ganti beberapa kata	
		25-02-2026	Perbaiki kalimat intisari	
11	05-03-2026		tambah manfaat bagi penggunaan	
			samakan nomor tabel	
			Perbaiki huruf kapital	
		10-03-2026	Perbaiki nomor gambar	
12	11-03-2026		Acc sidang	

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I,

Lic. Rusdiana

Dosen Pembimbing II,

Elok Faiqotul Hmmi S

SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INFORMATIKA DAN KOMPUTER
(STMIK) PALANGKARAYA
Jl. G. Obos No.114 Telp.0536-3224593, 3225515 Fax.0536-3225515 Palangkaraya
email : humas@stmikplk.ac.id - website : www.stmikplk.ac.id

Nomor : 785/STMIK-C1/Ak/X/2025
Lampiran : -
Perihal : Permohonan Izin Penelitian dan Pengumpulan Data untuk Tugas Akhir

Kepada
Yth. **Manager PT. PLN ULP Pulang Pisau**

Jl. Tingang Menteng No.70, Pulang Pisau, Kec. Kahayan Hilir
Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah

Dengan hormat,

Sehubungan dengan penyusunan Tugas Akhir mahasiswa sebagai persyaratan kelulusan Program Studi Teknik Informatika (S1) pada STMIK Palangkaraya, maka dengan ini kami sampaikan permohonan izin penelitian dan pengumpulan data bagi mahasiswa kami berikut:

Nama	:	DAHLIA FEBRIANI
NIM	:	C2255201081
Prodi (Jenjang)	:	Teknik Informatika (S1)
Thn. Akad. (Semester)	:	2025/2026 (7)
Lama Penelitian	:	23 Oktober 2025 s.d 23 November 2025
Tempat Penelitian	:	PT. PLN ULP Pulang Pisau

Dengan judul Tugas Akhir:

PENERAPAN FUZZY MAMDANI UNTUK ESTIMASI KEBUTUHAN KWH LISTRIK RUMAH TANGGA PRABAYAR DI KABUPATEN PULANG PISAU

Adapun ketentuan dan aturan pemberian informasi dan data yang diperlukan dalam penelitian tersebut menyesuaikan dengan ketentuan/peraturan pada instansi Bapak/Ibu.

Demikian permohonan ini disampaikan, atas perhatian dan kerja samanya diucapkan terima kasih.

Palangka Raya, 23 Oktober 2025

Ketua,

Ir. Hj. Siti Maryamah, MM.
NIK. 196902021995004

UID KALIMANTAN SELATAN DAN TENGAH
UP3 KUALA KAPUAS
ULP PULANG PISAU

Nomor : 0048 /AGA.05/F13050800/XI/2025 17 November 2025
Lampiran : -
Perihal : Persetujuan penelitian dan pengumpulan
Data untuk tugas akhir an. DAHLIA FEBRIANI

Kepada Yth:
Ketua STMIK Palangkaraya
Di
PALANGKA RAYA

Menindak lanjuti Surat Saudara Nomor 785/STMIK-C.2/AK/X/2025 tanggal 23 Oktober 2025 Perihal : Permohonan Izin Penelitian dan Pengumpulan Data untuk Tugas Akhir an. DAHLIA FEBRIANI, kami sampaikan bahwa pada prinsifnya PLN ULP Pulang Pisau dapat memberi izin dan memfasilitasi dalam pengumpulan data yang diperlukan. Silahkan berkomunikasi langsung ke bidang TE (Transaksi Energi).

Demikian kami sampaikan, atas perhatian diucapkan terimakasih.

MANAGER

APRYANTO REDYANA

Tembusan :

1. MUP II PLN UP3 KUALA KAPUAS

Jl. Tingang Menteng No. 90
Kabupaten Pulang Pisau 73564
T : (0531) 123 W : www.pln.co.id

Paraf :_____

LEMBAR BERITA ACARA PENGUJIAN BLACK BOX

Pada hari sabtu, 24 januari 2025 dilakukan pengujian black box testing dalam penyusunan tugas akhir :

Nama : Dahlia Febriani

NIM : C2255201081

Jurusan : Teknik Informatika

Judul Tugas Akhir : Penerapan Fuzzy Mamdani Untuk Estimasi Kebutuhan Kwh Listrik Rumah Tangga Prabayar Di Kabupaten Pulang Pisau

Keterangan :

*) Diisi Sesuai (√) pada pilihan jika sesuai (Diterima) atau jika tidaksesuai (Ditolak) dengan hasil pengujian yang ada.

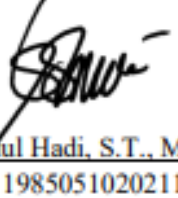
Black Box Testing

Aktivitas Pengguna	Relasi yang diharapkan	Kesimpulan
Input angka valid pada seluruh field input	Nilai diterima dan dapat diproses sistem	[✓] Sesuai [ ] Tidak Sesuai
Input kosong pada salah satu field	Sistem menolak input dan menampilkan peringatan	[✓] Sesuai [ ] Tidak Sesuai
Input non-angka pada salah satu field	Sistem menolak input dan menampilkan peringatan	[✓] Sesuai [ ] Tidak Sesuai
Semua input valid lalu klik tombol Estimasi	Sistem menampilkan estimasi kWh, biaya, dan keterangan token	[✓] Sesuai [ ] Tidak Sesuai

Catatan Masukan : Penelitian selanjutnya disarankan menambah input jumlah dan jenis perangkat elektronik berdasarkan rentang watt, durasi pemakaian, serta waktu siang–malam agar estimasi kWh Fuzzy Mamdani akurat dan mencerminkan kondisi konsumsi rumah tangga.

Palangka Raya, 24 Januari 2026

Dosen Penguji,



Ir. Abdul Hadi, S.T., M.Kom.

NIP. 198505102021101

SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INFORMATIKA DAN KOMPUTER
(STMIK) PALANGKARAYA
Jl. G. Obos No.114 Telp.0536-3224593, 3225515 Fax.0536-3225515 Palangka Raya
email : humas@stmikplk.ac.id - website : www.stmikplk.ac.id

SURAT TUGAS PENGUJI TUGAS AKHIR

458/STMIK-3.C.2/AU/IV/2026

Ketua Program Studi Teknik Informatika Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer (STMIK) Palangkaraya menugaskan kepada nama- nama berikut :

1. Nama : Sulistyowati, S.Kom., M.Cs.
   NIK : 198212162007002
   Sebagai Ketua
2. Nama : Rudini, M.Pd
   NIK : 198709172015105
   Sebagai Sekretaris
3. Nama : Veny Cahya Hardita, M.Kom
   NIK : 199504302020002
   Sebagai Anggota
4. Nama : Lili Rusdiana, M.Kom
   NIK : 198707282011007
   Sebagai Anggota
5. Nama : Elok Faiqotul Himmah, S.Si., M.Sc
   NIK : 198503092009003
   Sebagai Anggota

Untuk menguji Tugas Akhir mahasiswa :

Nama Mahasiswa	:	Dahlia Febriani
N I M	:	C2255201081
Hari / Tanggal Ujian	:	Senin, 27 April 2026
Waktu	:	13.00 WIB
Judul TA	:	PENERAPAN FUZZY MAMDANI UNTUK ESTIMASI KEBUTUHAN KWH LISTRIK RUMAH TANGGA PRABAYAR DI KABUPATEN PULANG PISAU
Ruang	:	Sidang 1

Demikian surat ini dibuat agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya dan dilaksanakan dengan penuh tanggung jawab.

Palangka Raya, 11 April 2026

Ketua Program Studi Teknik Informatika,



Ir. ABDUL HADI, S.T., M.Kom
NIK. 198505102021101

Tembusan :
1. Dosen Penguji
2. Mahasiswa yang Bersangkutan
3. Arsip

SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INFORMATIKA DAN KOMPUTER
(STMIK) PALANGKARAYA
Jl. G. Obos No.114 Telp.0536-3224593, 3225515 Fax.0536-3225515 Palangka Raya
email : humas@stmikplk.ac.id - website : www.stmikplk.ac.id

BERITA ACARA
UJIAN TUGAS AKHIR

Periode : April 2026

Pada hari ini Senin, 27 April 2026 Pukul 13.00 WIB sampai dengan ..... WIB telah dilaksanakan Ujian Tugas Akhir mahasiswa atas nama :

Nama Mahasiswa	:	Dahlia Febriani
N I M	:	C2255201081
Program Studi	:	Teknik Informatika
Tahun Angkatan	:	2022
Judul TA	:	PENERAPAN FUZZY MAMDANI UNTUK ESTIMASI KEBUTUHAN KWH LISTRIK RUMAH TANGGA PRABAYAR DI KABUPATEN PULANG PISAU

Dosen Penguji :

	Nama		Nilai	Tanda Tangan
1.	Sulistyowati, S.Kom., M.Cs	=	.....	(.....)
2.	Rudini, M.Pd	=	.....	(.....)
3.	Veny Cahya Hardita, M.Kom	=	.....	(.....)
4.	Lili Rusdiana, M.Kom	=	.....	(.....)
5.	Elok Faiqotul Himmah, S.Si., M.Sc	=	.....	(.....)

Hasil Ujian : **LULUS / TIDAK LULUS** *) NILAI = ...

Revisi (Tidak Ada / Minor / Mayor *)

Catatan Penting :
1. Lama Perbaikan : ..... hari
2. Jika lebih dari 1 (satu) bulan dikenakan sanksi berupa denda sebesar Rp. 600.000,- (Enam ratus ribu rupiah) per bulan dari tanggal ujian.
3. Jika lebih dari 3 (tiga) bulan dari tanggal ujian maka hasil ujian dibatalkan dan wajib mengajukan judul dan pembimbing baru.

Demikian Berita Acara ini dibuat, agar dapat digunakan sebagaimana semestinya.

Palangka Raya, 27 April 2026

Ketua Penguji,

Sulistyowati, S.Kom., M.Cs
NIK. 198212162007002

Mahasiswa,

Dahlia Febriani
NIM. C2255201081

Mengetahui :
Ketua Program Studi Teknik Informatika,

Ir. Abdul Hadi, S.T., M.Kom
NIK. 198505102021101

Tembusan:
Mahasiswa yang bersangkutan.
Berita acara ini diberikan setelah menyelesaikan semua revisi dari semua penguji
**) Coret yang tidak perlu*

PENERAPAN FUZZY MAMDANI UNTUK ESTIMASI KEBUTUHAN KWH LISTRIK RUMAH TANGGA PRABAYAR DI KABUPATEN PULANG PISAU

Nama Penulis : Dahlia Febriani

Pembimbing 1 : Lili Rusdiana, M.Kom. | Pembimbing 2 : Elok Faiqotul Himmah, S.Si., M.Sc.

Latar Belakang



Penggunaan listrik prabayar sering menimbulkan risiko listrik padam akibat pembelian token tanpa estimasi kebutuhan yang tepat. Di Kabupaten Pulang Pisau, masyarakat umumnya membeli token berdasarkan nominal, bukan perhitungan kebutuhan listrik bulanan, serta belum tersedia sistem estimasi pemakaian listrik. Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan Logika Fuzzy Mamdani untuk menghasilkan estimasi kebutuhan listrik rumah tangga yang lebih akurat dan mendukung efisiensi konsumsi serta perencanaan keuangan.



Tujuan



Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode Logika Fuzzy Mamdani dalam memberikan estimasi kebutuhan listrik rumah tangga, memberikan solusi berbasis teknologi yang membantu masyarakat dalam merencanakan penggunaan listrik secara lebih efisien.

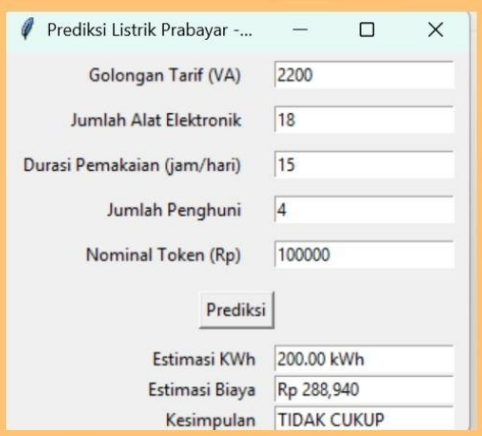
Metode



Metode Fuzzy Mamdani merupakan metode yang digunakan untuk memodelkan masalah yang mengandung ketidakpastian . Metode ini bekerja menggunakan aturan IF-THEN untuk mengolah data yang bersifat samar menjadi suatu keputusan atau nilai estimasi yang lebih mendekati kondisi nyata.

Hasil





Sistem estimasi listrik prabayar rumah tangga diimplementasikan dalam program berbasis GUI dengan menerapkan metode Fuzzy Mamdani untuk mengolah data input dan menghasilkan estimasi kebutuhan listrik. Antarmuka dirancang agar pengguna dapat memasukkan variabel golongan tarif listrik (VA), jumlah alat elektronik, durasi pemakaian harian, jumlah penghuni, dan nominal token listrik, serta memperoleh hasil estimasi secara langsung.



Kesimpulan



Penelitian ini menghasilkan sistem estimasi kebutuhan listrik rumah tangga prabayar berbasis metode Fuzzy Mamdani yang diimplementasikan dalam GUI. Sistem mengolah variabel input untuk menghasilkan estimasi kebutuhan listrik. Penerapan tahapan fuzzy meliputi fuzzifikasi, rule base, inferensi, dan defuzzifikasi, dengan output kategori rendah, sedang, dan tinggi. Hasil pengujian menunjukkan sistem berjalan sesuai rancangan dan hasil perhitungan sistem sesuai dengan perhitungan manual



```
import numpy as np
import pandas as pd
import skfuzzy as fuzz
import tkinter as tk
from tkinter import messagebox

# ====================== LOAD RULE BASE ======================
RULES = pd.read_csv("rule_fuzzy_listrik.csv", dtype=str, keep_default_na=False).map(
   lambda s: s.strip() if isinstance(s, str) else s
)

# Mapping linguistik (CSV) -> indeks 0/1/2
MAP_GOL = {"Kecil": 0, "Sedang": 1, "Tinggi": 2}
MAP_ALAT = {"Sedikit": 0, "Sedang": 1, "Banyak": 2}
MAP_DURASI = {"Singkat": 0, "Sedang": 1, "Lama": 2}
MAP_PENGHUNI = {"Sedikit": 0, "Sedang": 1, "Banyak": 2}
MAP_OUTPUT = {"Rendah": 0, "Sedang": 1, "Tinggi": 2}

# ====================== FUNGSI ESTIMASI ======================
def estimasi_kwh(golongan, jumlah_alat, durasi, jumlah_penghuni):

   # Semesta pembicaraan
   x_gol = np.arange(900, 5501, 1)
   x_alat = np.arange(0, 31, 1)
   x_durasi = np.arange(0, 25, 1)
   x_penghuni = np.arange(0, 11, 1)
   x_kwh = np.arange(0, 401, 1)

   # Clamp ke semesta pembicaraan (biar aman meskipun input kelewat)
   golongan = np.clip(golongan, x_gol[0], x_gol[-1])
   jumlah_alat = np.clip(jumlah_alat, x_alat[0], x_alat[-1])
   durasi = np.clip(durasi, x_durasi[0], x_durasi[-1])
   jumlah_penghuni = np.clip(jumlah_penghuni, x_penghuni[0], x_penghuni[-1])

   # ================== FUNGSI KEANGGOTAAN ==================

   # Golongan
   gol_kecil  = fuzz.trapmf(x_gol, [900, 900, 1300, 1500])
   gol_sedang = fuzz.trimf(x_gol, [1300, 2200, 3500])
   gol_tinggi = fuzz.trapmf(x_gol, [3000, 3500, 5500, 5500])

   # Alat
   alat_sedikit = fuzz.trapmf(x_alat, [0, 0, 6, 10])
   alat_sedang  = fuzz.trimf(x_alat, [8, 15, 22])
   alat_banyak  = fuzz.trapmf(x_alat, [18, 24, 30, 30])

   # Durasi
   durasi_singkat = fuzz.trapmf(x_durasi, [0, 0, 4, 8])
```

```
durasi_sedang  = fuzz.trimf(x_durasi, [6, 12, 16])
durasi_lama    = fuzz.trapmf(x_durasi, [14, 18, 24, 24])

# Penghuni
penghuni_sedikit = fuzz.trapmf(x_penghuni, [0, 0, 2, 3])
penghuni_sedang  = fuzz.trimf(x_penghuni, [2, 4, 7])
penghuni_banyak  = fuzz.trapmf(x_penghuni, [6, 8, 10, 10])

# Output kWh
kwh_rendah = fuzz.trimf(x_kwh, [0, 75, 150])
kwh_sedang = fuzz.trimf(x_kwh, [120, 200, 280])
kwh_tinggi = fuzz.trimf(x_kwh, [250, 325, 400])

# ===================== FUZZIFIKASI =====================
mu_g = [
   fuzz.interp_membership(x_gol, gol_kecil, golongan),
   fuzz.interp_membership(x_gol, gol_sedang, golongan),
   fuzz.interp_membership(x_gol, gol_tinggi, golongan)
]

mu_a = [
   fuzz.interp_membership(x_alat, alat_sedikit, jumlah_alat),
   fuzz.interp_membership(x_alat, alat_sedang, jumlah_alat),
   fuzz.interp_membership(x_alat, alat_banyak, jumlah_alat)
]

mu_d = [
   fuzz.interp_membership(x_durasi, durasi_singkat, durasi),
   fuzz.interp_membership(x_durasi, durasi_sedang, durasi),
   fuzz.interp_membership(x_durasi, durasi_lama, durasi)
]

mu_p = [
   fuzz.interp_membership(x_penghuni, penghuni_sedikit, jumlah_penghuni),
   fuzz.interp_membership(x_penghuni, penghuni_sedang, jumlah_penghuni),
   fuzz.interp_membership(x_penghuni, penghuni_banyak, jumlah_penghuni)
]

kwh_mf = [kwh_rendah, kwh_sedang, kwh_tinggi]

# ===================== INFERENSI MAMDANI =====================
agregasi = np.zeros_like(x_kwh)

for _, rule in RULES.iterrows():
   try:
      ig = MAP_GOL[rule['gol']]
      ia = MAP_ALAT[rule['alat']]
      idu = MAP_DURASI[rule['durasi']]
      ip = MAP_PENGHUNI[rule['penghuni']]
```

```
            io = MAP_OUTPUT[rule['output']]
        except KeyError as e:
            raise ValueError(f"Isi CSV tidak dikenali: {e}. Cek ejaan/spacing di file CSV.")

        firing_strength = min(mu_g[ig], mu_a[ia], mu_d[idu], mu_p[ip])

        if firing_strength > 0:
            clipped = np.fmin(firing_strength, kwh_mf[io])
            agregasi = np.fmax(agregasi, clipped)

    if np.sum(agregasi) == 0:
        raise ValueError("Kombinasi input tidak ter-cover oleh aturan fuzzy.")

    # ====================== DEFUZZIFIKASI ======================
    hasil_kwh = fuzz.defuzz(x_kwh, agregasi, 'centroid')
    return hasil_kwh

# ====================== TARIF ======================
def get_tarif(golongan):
    if golongan <= 900:
        return 1352.00
    elif golongan <= 1300:
        return 1444.70
    elif golongan <= 2200:
        return 1444.70
    else:  # 3500 – 5500
        return 1699.53

# ====================== VALIDASI INPUT (SESUI PERMINTAAN) ======================
def parse_int_field(entry: tk.Entry, nama: str) -> int:
    nilai = entry.get().strip()

    if nilai == "":
        raise ValueError(f"{nama} tidak boleh kosong.")

    # hanya digit 0-9, jadi koma/titik/huruf/simbol otomatis ditolak
    if not nilai.isdigit():
        raise ValueError(f"{nama} harus berupa angka tanpa koma, titik, atau huruf.")

    return int(nilai)

# ====================== GUI ACTION ======================
def submit():
    try:
        gol = parse_int_field(entry_gol, "Golongan Tarif (VA)")
        alat = parse_int_field(entry_alat, "Jumlah Alat Elektronik")
        dur = parse_int_field(entry_durasi, "Durasi Pemakaian (jam/hari)")
        penghuni = parse_int_field(entry_penghuni, "Jumlah Penghuni")
```

```
        token = parse_int_field(entry_token, "Nominal Token (Rp)")

        esti_kwh = estimasi_kwh(gol, alat, dur, penghuni)
        biaya = esti_kwh * get_tarif(gol)
        status = "CUKUP" if token >= biaya else "TIDAK CUKUP"

        output_kwh.config(state="normal")
        output_kwh.delete(0, tk.END)
        output_kwh.insert(0, f"{esti_kwh:.2f} kWh")
        output_kwh.config(state="readonly")

        output_biaya.config(state="normal")
        output_biaya.delete(0, tk.END)
        output_biaya.insert(0, f"Rp {biaya:,.0f}")
        output_biaya.config(state="readonly")

        output_status.config(state="normal")
        output_status.delete(0, tk.END)
        output_status.insert(0, status)
        output_status.config(state="readonly")

    except ValueError as ve:
        messagebox.showwarning("Input tidak valid", str(ve))
    except Exception as e:
        messagebox.showerror("Error", str(e))

# ===================== BUILD GUI =====================
root = tk.Tk()
root.title("Estimasi Listrik Prabayar - Fuzzy Mamdani")

labels = [
    "Golongan Tarif (VA)",
    "Jumlah Alat Elektronik",
    "Durasi Pemakaian (jam/hari)",
    "Jumlah Penghuni",
    "Nominal Token (Rp)"
]

entries = []
for i, text in enumerate(labels):
    tk.Label(root, text=text).grid(row=i, column=0, padx=10, pady=5, sticky="e")
    ent = tk.Entry(root)
    ent.grid(row=i, column=1, padx=10, pady=5)
    entries.append(ent)

entry_gol, entry_alat, entry_durasi, entry_penghuni, entry_token = entries

tk.Button(root, text="Estimasi", command=submit).grid(row=5, column=0,
columnspan=2, pady=10)
```

```
tk.Label(root, text="Estimasi KWh").grid(row=6, column=0, sticky="e")
output_kwh = tk.Entry(root, state="readonly")
output_kwh.grid(row=6, column=1)

tk.Label(root, text="Estimasi Biaya").grid(row=7, column=0, sticky="e")
output_biaya = tk.Entry(root, state="readonly")
output_biaya.grid(row=7, column=1)

tk.Label(root, text="Keterangan Nominal Token").grid(row=8, column=0, sticky="e")
output_status = tk.Entry(root, state="readonly")
output_status.grid(row=8, column=1)

root.mainloop()
```