

STUDI PERKIRAAN KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK DI KOTA DUMAI SAMPAI TAHUN 2025 DENGAN METODA *FUZZY LOGIC*

Tri Handayani¹, Atmam², Masnur Putra Halilintar³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning Pekanbaru.

Jl. Yos Sudarso Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

Email : trihd96@gmail.com, atmam@unilak.ac.id, masnur@unilak.ac.id

ABSTRAK

Dalam proses perencanaan pengembangan sistem tenaga listrik diperlukan adanya suatu perkiraan kebutuhan tenaga listrik dimasa yang akan datang. Hasil perkiraan yang didapatkan bisa dijadikan bahan pertimbangan bagi pembuat kebijakan untuk merumuskan tindakan yang akan diambil untuk masa-masa mendatang. Hal ini bertujuan demi tercapainya optimalisasi dalam proses penyediaan energi listrik. Untuk optimalisasi penyediaan energi listrik di Kota Dumai, diperlukan suatu perkiraan kebutuhan energi listrik. Pada penelitian ini, metoda perkiraan yang digunakan adalah logika *fuzzy*. Perkiraan yang dilakukan bersifat jangka menengah, yaitu sampai tahun 2025. Perkiraan kebutuhan energi listrik jangka menengah umumnya mengacu pada statistik masa lalu dan atas dasar karakteristik konsumsi energi yang lalu. Karakteristik tersebut biasanya dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jumlah penduduk, jumlah pelanggan listrik, PDRB. Metoda logika *fuzzy* ini menggunakan data histori/aktual yang diakumulasikan dalam beberapa periode waktu, yaitu dari tahun 2013 sampai 2017. Hasil perkiraan dengan menggunakan logika *fuzzy* menunjukkan bahwa konsumsi energi listrik di Kota Dumai setiap tahunnya memiliki rata-rata pertumbuhan sebesar 7,16%. Pada tahun 2025 perkiraan konsumsi energi listrik menggunakan *fuzzy* sebesar 792 GWh, sedangkan perkiraan yang dilakukan oleh PLN, yaitu sebesar 866 GWh. Nilai kesalahan antara hasil perkiraan logika *fuzzy* dengan PLN pada tahun 2025 tersebut adalah sebesar 8,5 %.

Kata kunci : Perkiraan kebutuhan energi listrik, Logika fuzzy

ABSTRACT

Planning for the development of an electric power system requires an estimate of electricity demand in the future. The result of the estimates obtained can be taken into consideration for policy makers to formulate actions taken for the future. This aims to achieve optimization in the process of providing electricity. To optimize the supply of electricity in the city of Dumai, an estimate of electricity needs is needed. In this study, the estimate method used is fuzzy logic. Estimates carried out are aimed for medium term, namely until 2025. Estimates of medium - term electrical energy requirements generally refer to past statistics are usually influenced by several factors such as population, number of electricity costumers, GDP (Gross Regional Domestic Product). This fuzzy logic method uses historical/actual data accumulated in several periods of time, form 2013 to 2017. The result of estimates using fuzzy logic show that electricity consumption in Dumai city has an annual growth rate of 7,16. In 2025 the estimated electricity consumption using fuzzy logic is 792 GWh; while estimates made by PLN (State Electricity Company) are 866 GWh. The error value between the estimated results of fuzzy logic and PLN in 2025 is 8,5%.

Keywords : *Estimates of electrical energy requirements, Fuzzy logic*

1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu bentuk energi yang sangat banyak dibutuhkan, makin tinggi tingkat perekonomian, dan semakin majunya teknologi maka kebutuhan energi listrik juga akan semakin tinggi. Dalam sistem kelistrikan, strategi perkiraan kebutuhan energi listrik sangat dibutuhkan untuk memperkirakan dengan tepat seberapa besar daya

listrik yang akan dibutuhkan untuk melayani beban dan kebutuhan distribusi energi listrik. Untuk mengantisipasi kebutuhan energi listrik di Kota Dumai, diperlukan perkiraan yang tepat seberapa besar daya listrik yang dibutuhkan untuk melayani beban dan kebutuhan energi listrik dalam distribusi energi listrik. Perkiraan yang tidak tepat akan menyebabkan tidak cukupnya kapasitas daya yang akan disalurkan untuk memenuhi kebutuhan beban,

sebaliknya jika perkiraan beban terlalu besar maka akan menyebabkan kelebihan kapasitas daya sehingga menyebabkan kerugian. Berdasarkan pertumbuhan jumlah penduduk, peningkatan pembangunan infrastruktur, pertumbuhan ekonomi dan ketersediaan energi listrik di kota Dumai, maka perlu dilakukan peramalan perencanaan penambahan pembangkit listrik yang baru, perluasan jaringan distribusi dan kebutuhan perencanaan penjadwalan pengoperasian pembangkit energi listrik, agar daya yang dibangkitkan sesuai dengan kebutuhan beban. Oleh karena itu, penulis menggunakan suatu metoda yang mampu memberikan hasil peramalan yang akurat untuk menanggulangi keterbatasan tersebut. Peramalan beban listrik dilakukan dengan menggunakan metoda logika *fuzzy*. Metoda *fuzzy* yang digunakan adalah metoda *fuzzy* Mamdani karena memiliki kemampuan meramal yang lebih baik dibandingkan dengan peramalan konvensional. Dimana *inputnya* berupa yaitu: pertumbuhan populasi jiwa, jumlah pelanggan, dan PDRB, kemudian dipetakan dalam suatu FIS (*Fuzzy Inference System*), dimana FIS mengevaluasi semua *rule* secara simultan untuk menghasilkan *output* berupa konsumsi energi listrik.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperkirakan kebutuhan energi listrik kota Dumai sampai tahun 2025 dengan menggunakan metoda *fuzzy logic*. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Beberapa data yang digunakan untuk menentukan perkiraan kebutuhan tenaga listrik adalah dalam hal :
 1. Pertumbuhan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) pada pertumbuhan 5 tahun terakhir.
 2. Pertumbuhan penduduk menggunakan rata – rata pertumbuhan 5 tahun terakhir.
- b. Data historis yang digunakan dari tahun 2013 dari PT. PLN (Persero) yang dipakai untuk menganalisa perkiraan energi listrik di Kota Dumai.
- c. Metoda yang digunakan *Fuzzy* Mamdani.
- d. Tidak ada perubahan radikal dalam 7 tahun yang akan datang sehingga menyebabkan pola pertumbuhan tenaga listrik sesuai dengan *trend* selama ini.
- e. Penelitian ini tidak membahas pengembangan gardu induk maupun jaringan distribusi.

2. METODE PENELITIAN

Penyelesaian perkiraan kebutuhan energi listrik dalam penelitian ini, sistem *fuzzy* mamdani digunakan dengan 3 variabel *input* yaitu : jumlah penduduk, jumlah pelanggan dan PDRB yang akan diproses menggunakan metode mamdani. Selain menggunakan perhitungan metode mamdani dalam

penelitian ini juga menerapkan aplikasi yang tersedia pada MATLAB. Hal ini akan dapat membantu dalam pengambilan keputusan berdasarkan visualisasi yang tersedia seperti *rule*, *surface*, dan fungsi keanggotaan.

Bentuk Beban Listrik

Tenaga listrik yang didistribusikan ke pelanggan (konsumen) digunakan sebagai sumber daya untuk bermacam-macam peralatan yang membutuhkan tenaga listrik sebagai sumber energinya. Peralatan tersebut umumnya bisa berupa lampu (penerangan), beban daya (untuk motor listrik), pemanas, dan sumber daya peralatan elektronik. Berdasarkan jenis konsumen energi listrik, secara garis besar, ragam beban dapat diklasifikasikan ke dalam [1] :

- a. Beban rumah tangga, pada umumnya beban rumah tangga berupa lampu untuk penerangan, alat rumah tangga, seperti kipas angin, pemanas air, lemari es, penyejuk udara, *mixer*, *oven*, motor pompa air dan sebagainya. Beban rumah tangga biasanya memuncak pada malam hari.
- b. Beban komersial, pada umumnya terdiri atas penerangan untuk reklame, kipas angin, penyejuk udara dan alat-alat listrik lainnya yang diperlukan untuk restoran. Beban hotel juga diklasifikasikan sebagai beban komersial (bisnis) begitu juga perkantoran. Beban ini secara drastis naik disiang hari untuk beban perkantoran dan pertokoan dan menurun diwaktu sore.
- c. Beban industri, dibedakan dalam skala kecil dan skala besar. Untuk skala kecil banyak beroperasi disiang hari sedangkan industri besar sekarang ini banyak yang beroperasi sampai 24 jam.
- d. Beban Fasilitas Umum, terdiri atas gedung pemerintahan, penerangan jalan umum dan pemakaian kepentingan sosial.

Pengklasifikasian ini sangat penting artinya bila kita melakukan analisa karakteristik beban untuk suatu sistem yang sangat besar. Perbedaan yang paling prinsip dari empat jenis beban diatas, selain dari daya yang digunakan dan juga waktu pembebanannya.

Pemakaian daya pada beban rumah tangga akan lebih dominan pada pagi dan malam hari, sedangkan pada beban komersil lebih dominan pada siang dan sore hari. Pemakaian daya pada industri akan lebih merata, karena banyak industri yang bekerja siang-malam. Maka dilihat dari sini, jelas pemakaian daya pada industri akan lebih menguntungkan karena kurva bebannya akan lebih merata. Sedangkan pada beban fasilitas umum lebih dominan pada siang dan malam hari. Beberapa daerah operasi tenaga listrik memberikan ciri tersendiri, misalnya daerah wisata, pelanggan bisnis mempengaruhi penjualan kWh walaupun jumlah

pelanggan bisnis jauh lebih kecil dibanding dengan pelanggan rumah tangga [1].

Perkiraan Energi Listrik

Perkiraan energi listrik adalah suatu cara yang digunakan untuk mengukur atau memperkirakan kejadian dimasa yang akan datang. Perkiraan dapat dilakukan secara kualitatif maupun secara kuantitatif. Perkiraan dengan metode kualitatif adalah perkiraan yang didasarkan pada pendapat dari yang melakukan perkiraan sedangkan perkiraan kuantitatif adalah perkiraan yang menggunakan metode statistik. Berkaitan dengan hal tersebut, maka dalam perkiraan dikenal istilah prediksi dan perkiraan. Perkiraan didefinisikan sebagai proses perkiraan suatu variabel atau kejadian dimasa yang akan datang dengan berdasarkan data atau variabel yang telah terjadi sebelumnya. Data masa lampau tersebut secara sistematis digabungkan dengan menggunakan suatu metode tertentu dan diolah untuk mendapatkan perkiraan dimasa yang akan datang. Prediksi didefinisikan sebagai suatu proses perkiraan variabel atau kejadian dimasa yang akan datang dengan lebih mendasarkan pada pertimbangan subyektif/pendapat dari data kejadian yang telah terjadi dimasa lalu. Dalam proses prediksi ini, perkiraan yang baik sangat tergantung dari kemampuan, pengalaman dan kepekaan dari orang yang bersangkutan [2].

Berdasarkan jangka waktunya permalan dapat dikategorikan menjadi tiga kategori, yaitu [3]:

a. Prakiraan Jangka Panjang

Pada perencanaan sistem distribusi jangka panjang biasanya termasuk (tahun horison) dua belas tahun atau lebih sebelum saat sekarang: jangka waktu ini lebih besar untuk mempelajari transmisi atau pembangkitan utama. Kecuali diperkirakan pertumbuhan sangat sedikit, instalasi yang ada sedikit pengaruhnya dalam pengambilan keputusan. Sering kali keputusan diambil dengan bantuan studi standarisasi jaringan, termasuk model biaya.

b. Prakiraan Jangka Menengah

Jangka waktu untuk perencanaan jangka menengah ini antara tiga tahun sampai dua belas tahun, kebanyakan metode ekonomi untuk mengembangkan jaringan telah termasuk dalam parameter-parameter pada jangka panjang yang membahas pengembangan sistem dengan cara-cara lebih umum.

c. Prakiraan Jangka Pendek

Prakiraan jangka pendek atau rencana taktis memerlukan periode satu sampai tiga tahun dimuka dan biasanya hanya merupakan pelaksanaan hasil studi jangka panjang.

Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965, sebagai suatu cara

matematis untuk menyatakan keadaan yang tidak menentu (samar) dalam kehidupan sehari-hari.

Logika *fuzzy* ini didasarkan pada teori *fuzzy set* yang merupakan perkembangan dari teori himpunan klasik. Logika *fuzzy* adalah suatu cara untuk memetakan suatu ruang masukan ke dalam suatu ruang keluaran. *Fuzzy* dapat juga disebut samar, kabur, ataupun tidak jelas. Pada logika *fuzzy*, suatu hal dapat memenuhi lebih dari satu kategori yang memiliki tingkat derajat keanggotaan tertentu. Diperlukan suatu saluran tertentu yang harus dipenuhi dalam mengambil keputusan.

Dalam teori logika *fuzzy* dikenal himpunan *fuzzy* (*fuzzy set*), merupakan pengelompokan sesuatu berdasarkan variabel bahasa (*linguistic variable*), yang dinyatakan dalam fungsi keanggotaan (*membership function*). Didalam semesta pembicaraan (*universe of discourse*) U , fungsi keanggotaan dari suatu himpunan *fuzzy* tersebut bernilai antara 0 sampai 1[4].

Variabel Linguistik

Jika dalam aljabar setiap variabel diberi nilai berupa bilangan maka dalam himpunan *fuzzy* setiap variabel diberi nilai berupa kata-kata (*words*) atau kalimat (*sentences*). Variabel seperti ini disebut *variabel linguistik*. Himpunan dari nilai-nilai yang dapat diambil disebut dengan kumpulan istilah (*term set*) dari himpunan tersebut. Setiap nilai dalam kumpulan istilah adalah variabel *fuzzy* yang didefinisikan pada variabel dasar (*base variable*). Variabel dasar menyatakan Semesta Pembicaraan untuk semua variabel *fuzzy* dalam kumpulan istilah [4].

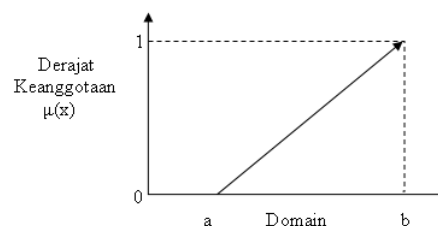
Fungsi Keanggotaan

Suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik – titik *input* data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Berikut merupakan fungsi keanggotaan yang dapat digunakan [4]:

1. Representasi Linear

a. Representasi Linear Naik

Kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nil bergerak menuju kenilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi, seperti pada Gambar 1.



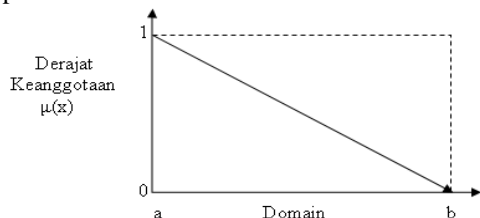
Gambar 1. Representasi Linear Naik

fungsi keanggotaan :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & ; x \geq b \\ (x-a) / (b-a) & ; a < x < b \\ 1 & ; x \leq a \end{cases} \quad (1)$$

b. Representasi Linear Turun

Merupakan kebalikan dari linear naik, seperti pada Gambar 2.



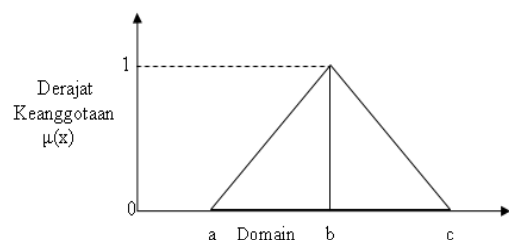
Gambar 2. Representasi Linear Turun

fungsi keanggotaan :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & ; x \geq b \\ (b-x) / (b-a) & ; a < x < b \\ 1 & ; x \leq a \end{cases} \quad (2)$$

2. Kurva Segitiga

Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara dua garis linear, seperti Gambar 3.



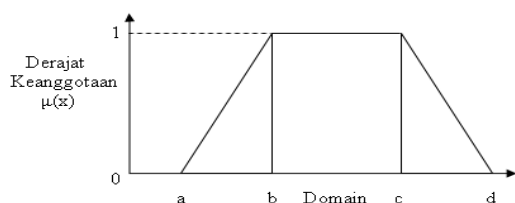
Gambar 3. Representasi Linear Turun

fungsi keanggotaan :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & ; x \geq c \text{ atau } x \leq a \\ (b-x) / (b-a) & ; a < x < b \\ 1 & ; b < x < c \end{cases} \quad (3)$$

3. Kurva Trapezium

Kurva Trapezium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan satu, seperti pada Gambar 4.



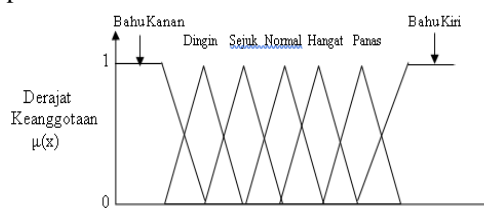
Gambar 4. Kurva Trapezium

fungsi keanggotaan :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & ; x \geq b \\ (x-a) / (b-a) & ; a < x < b \\ (d-x) / (d-c) & ; c < x < d \\ 1 & ; b \leq x \leq c \end{cases} \quad (4)$$

4. Kurva Bahu

Daerah yang terletak ditengah - tengah satu variabel yang dipresentasikan dalam bentuk segitiga, pada sisi kanan dan kirinya akan naik dan turun. Tetapi terkadang salah satu sisi variabel tersebut tidak mengalami perubahan. Himpunan *fuzzy* bahu digunakan untuk mengakhiri variabel suatu daerah *fuzzy*, seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva Bahu

Fuzzy Inference System (FIS) Mamdani

Sistem *Inference Fuzzy* (*Fuzzy inference system*) adalah sistem yang dapat melakukan penalaran dengan prinsip serupa seperti manusia melakukan penalaran dengan nalurinya. Terdapat beberapa jenis FIS yang dikenal yaitu Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto. FIS yang paling mudah dimengerti, karena paling sesuai dengan naluri manusia adalah FIS Mamdani. Metoda Mamdani dikenal juga sebagai metoda Min-Max yang diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. FIS tersebut bekerja berdasarkan kaidah-kaidah linguistik dan memiliki algoritma *fuzzy* yang menyediakan sebuah aproksimasi untuk dimasuki analisa matematik. Salah satu metode evaluasi *rule* yang banyak dipakai adalah *Inference* Min-Max. Dalam *inference* “Min-Max”, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan mengambil nilai maksimum aturan, kemudian digunakan untuk memodifikasi daerah *fuzzy* dan mengaplikasikannya ke *output*. Secara umum dapat dituliskan [4]:

$$\mu_{sf}(x_i) = \max(\mu_{sf}(x_i), \mu_{kf}(x_i)) \quad (5)$$

Keterangan :

$\mu_{sf}(x_i)$ = nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-*i*

$\mu_{kf}(x_i)$ = nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* sampai aturan ke-*i*

Tahapan Operasional Logika Fuzzy

Dalam sistem kendali logika *fuzzy*, terdapat beberapa tahapan operasional yang meliputi [5] :

a. *Fuzzyfikasi*
 Proses *fuzzyfikasi* ini berfungsi merubah masukan *crisp* menjadi masukan *fuzzy*. Masukan *crisp* dari sistem perlu diubah ke bentuk derajat keanggotaan *fuzzy* agar dapat diolah lebih lanjut dan setiap masukan dari sistem harus dapat terwakilkan pada himpunan keanggotaan *fuzzy*. Dalam *fuzzyfikasi* semesta masukan dibagi menjadi beberapa himpunan yang lebih kecil dengan fungsi keanggotaan.

b. Evaluasi aturan (*rule*)
 Dalam langkah kedua proses logika *fuzzy*, dinamakan evaluasi aturan (*rule*). Proses *fuzzy* menggunakan aturan linguistik untuk menentukan aksi kendali apa yang harus dilakukan dalam merespon nilai masukan yang diberikan. Evaluasi *rule* juga mengacu pada *fuzzy inference*. Sistem Inferensi Fuzzy (*Fuzzy Inference System /FIS*) disebut juga *Fuzzy Inference Engine* adalah sistem yang dapat melakukan penalaran dengan prinsip serupa seperti manusia melakukan penalaran dengan nalurinya. FIS ini mengaplikasikan aturan pada masukan *fuzzy* yang dihasilkan dalam proses *fuzzyfikasi*, kemudian mengevaluasi tiap aturan dengan masukan yang dihasilkan dari proses *fuzzyfikasi*.

c. *Defuzzyfikasi*
Defuzzyfikasi merupakan proses pemetaan himpunan *fuzzy* ke himpunan tegas (*crisp*). Proses ini merupakan kebalikan dari proses *fuzzyfikasi*. Metode dalam melakukan *defuzzyfikasi* antara lain [6] :

1. *Centroid method*
 Metode ini mengambil titik pusat daerah *fuzzy* sebagai solusi *crisp*. Secara umum dapat dirumuskan :

$$z * = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \quad (6)$$
2. Metode Bisektor
 Metode ini solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain *fuzzy* yang memiliki nilai keanggotaan setengah dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah *fuzzy*.
3. Metode *Mean of Maximum* (MOM)
 Metode ini mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum untuk memperoleh solusi *crisp*nya.
4. Metode *Largest of Maximum* (LOM)
 Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai tersebar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

5. Metode *Smallest of Maximum* (SOM)
 Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Metode ini melakukan perhitungan menggunakan perbedaan antara data asli dan data hasil prakiraan. Perbedaan tersebut diabsolutkan, kemudian dihitung dalam bentuk persentase terhadap data asli. Hasil persentase tersebut kemudian didapatkan nilai *mean*-nya. Suatu model memiliki kinerja sangat bagus jika nilai MAPE berada dibawah 10%, dan berada diantara 10% dan 20% [7]. Adapun rumusan untuk menghitung kesalahan ini adalah :

$$\text{Kesalahan} = \frac{|\text{actual} - \text{forecast}|}{\text{actual}} \times 100\% \quad (7)$$

Sedangkan untuk menghitung *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) adalah [7]:

$$\text{MAPE} = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i - F_i}{x_i} \times 100 \right|}{n} \quad (8)$$

Kependudukan

Dalam jangka waktu 7 tahun (2010 - 2017), kepadatan penduduk meningkat seiring dengan naiknya jumlah penduduk. Penyebaran penduduk disetiap kecamatan belum merata, menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), laju pertumbuhan penduduk Kota Dumai dari tahun 2010 - 2017 adalah sebesar 2,23 % [8] seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Penduduk Kota Dumai Tahun 2010-2017

Tahun	Laki-laki (Jiwa)	Perempuan (Jiwa)	Jumlah (Jiwa)
2010	130.910	122.268	253.178
2011	133.645	126.268	259.913
2012	137.715	130.307	268.022
2013	140.776	133.313	274.089
2014	143.900	136.209	280.109
2015	146.792	139.175	285.967
2016	149.791	142.117	291.908
2017	152.731	144.907	297.638

Perekonomian

Pertumbuhan ekonomi merupakan salah satu instrumen untuk mengevaluasi pembangunan ekonomi. Pertumbuhan ekonomi yang tinggi diperlukan terutama oleh daerah yang berkembang untuk mencapai target-target pembangunan ekonomi. Perekonomian Kota Dumai didominasi oleh empat sektor yakni, sektor bangunan, perdagangan, angkutan dan sektor jasa. Secara kumulatif, empat sektor tersebut telah merangkum persentase sebesar 83,84 % dari Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Kota Dumai. Pada tahun 2016 pertumbuhan Kota Dumai kembali meningkat, pertumbuhan paling tinggi terjadi pada tahun 2017 sebesar 4,45 %.

pertumbuhan ekonomi tertinggi dicapai oleh kategori jasa lainnya sebesar 8,05 %, pada kategori pertambangan dan pengalihan dan jasa keuangan dan asuransi mencatat pertumbuhan yang negatif [8].

Adapun kategori-kategori lainnya berturut-turut mencatat pertumbuhan yang positif, diantaranya kategori pertanian, kehutanan, dan perikanan sebesar 3,34 %, kategori industri pengolahan sebesar 5,34 %, kategori pengadaan listrik dan gas sebesar 1,04 %, kategori pengadaan air, pengelolaan sampah, limbah dan daur ulang sebesar 4,60 %, kategori konstruksi 4,19 %, kategori perdagangan besar dan eceran, reparasi mobil dan sepeda motor 2,84 %, kategori transportasi dan perdagangan sebesar 5,33 %, kategori penyediaan akomodasi dan makan minum mencatat sebesar 6,30 %, kategori informasi dan komunikasi sebesar 5,47 %, kategori *real estat* 3,43 %, kategori jasa perusahaan sebesar 6,91 %, kategori administrasi pemerintahan, pertahanan dan jaminan sosial wajib sebesar 0,04 %, kategori jasa pendidikan sebesar 2,70 %, dan kategori jasa kesehatan dan kegiatan sosial sebesar 5,49 % [8].

Data Kelistrikan

Kebijakan pemerintah dibidang kelistrikan ditujukan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan mendorong kegiatan ekonomi khususnya sektor industri. Untuk mencapai sasaran tersebut diupayakan peningkatan daya terpasang, pembangkit tenaga listrik agar tersedia tenaga listrik dalam jumlah yang cukup dengan pelayanan yang baik, seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Banyaknya Jumlah Pelanggan

No	Jenis Pelanggan	Tahun				
		2013	2014	2015	2016	2017
1	Rumah Tangga	54.873	59.766	64.162	68.432	83.866
2	Bisnis	6.945	7.234	7.462	7.755	8.518
3	Industri	21	18	21	23	24
4	Umum	1770	1696	2275	1878	2353
Jumlah		63.609	68.714	73.920	78.088	94.761

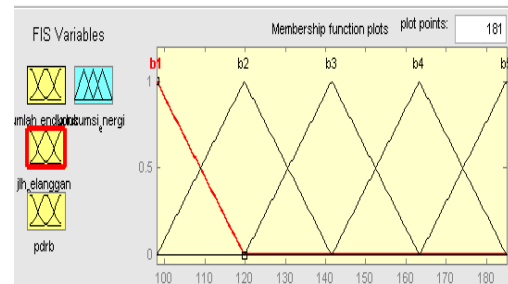
Tabel 3. Banyaknya Produksi Pelanggan (MWh)

No	Jenis Pelanggan	Tahun				
		2013	2014	2015	2016	2017
1	Rumah Tangga	118.054	130.982	139.624	151.504	157.704
2	Bisnis	55.852	62.394	66.430	70.188	72.041
3	Industri	51.799	65.178	96.418	112.835	140.468
4	Umum	14.892	21.866	21.360	22.597	24.806
Jumlah		250.512	281.472	323.833	356.349	393.459

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembentukan Himpunan Fuzzy

Jumlah penduduk, jumlah pelanggan, dan rasio elektrifikasi dijadikan sebagai masukan perkiraan, sedangkan konsumsi energi dijadikan sebagai keluaran. FIS yang digunakan adalah tipe Mamdani. Masing-masing variabel tersebut memiliki himpunan variabel bahasanya (*fuzzy set*) yang direpresentasikan dalam bentuk fungsi keanggotaan (segitiga), seperti pada Gambar 6 dan Tabel 4.



Gambar 6. Member Function

Tabel 4. Variabel Input Dan Himpunan Fuzzy

Variabel	Himpunan Fuzzy	Domain	
Input	Jumlah Penduduk	A1	[280 - 320]
		A2	[300 - 340]
		A3	[320 - 360]
		A4	[340 - 380]
Input	Jumlah Pelanggan	B1	[76,27 - 119,8]
		B2	[98 - 141,5]
		B3	[119,8] - 163,3]
		B4	[141,5 - 185]
		B5	[163,3 - 206,8]
Input	PDRB	C1	[2351 - 4263]
		C2	[3308 - 5222]
		C3	[4263 - 6177]
		C4	[5222 - 7132]
		D1	[317,8 - 538,8]
Output	Konsumsi Energi Listrik	D2	[428 - 649]
		D3	[503,8 - 759,8]
		D4	[649 - 870]
		D5	[759,8 - 980,8]

Fuzzyfikasi

Fuzzyfikasi merupakan tahap awal dari proses inferensi. *Fuzzyfikasi* adalah proses merubah data yang telah diinput yang berupa data *crisp* (tegas) menjadi data dalam bentuk himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan. Sebagai contoh ditentukan fungsi keanggotaan variabel jumlah penduduk berdasarkan persamaan 3, diperoleh fungsi keanggotaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{A_1} &= (320 - x) / (320 - 300) \\ &= (320 - 311,060) / (20) \\ &= 8,94 / 20 \\ &= 0,447 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{A2} &= (x - 300) / (320 - 300) \\ &= (311,060 - 300) / (20) \\ &= 11,060 / 20 \\ &= 0,553 \end{aligned}$$

Aturan Fuzzy

Dengan memperhatikan hubungan antara berbagai input terhadap output, maka dapat dibuat aturan-aturan (*rule*) untuk perkiraan tahun-tahun berikutnya dan diperoleh aturan sebanyak 80 aturan. Seperti pada Gambar 7.

1. If (jumlah_penduduk is a1) and (jhl_pelanggan is b1) and (pdrib is c1) then (konsumsi_energi is D1) (1)
2. If (jumlah_penduduk is a1) and (jhl_pelanggan is b1) and (pdrib is c2) then (konsumsi_energi is D1) (1)
3. If (jumlah_penduduk is a1) and (jhl_pelanggan is b1) and (pdrib is c3) then (konsumsi_energi is D2) (1)
4. If (jumlah_penduduk is a1) and (jhl_pelanggan is b1) and (pdrib is c4) then (konsumsi_energi is D3) (1)
5. If (jumlah_penduduk is a1) and (jhl_pelanggan is b2) and (pdrib is c1) then (konsumsi_energi is D1) (1)
6. If (jumlah_penduduk is a1) and (jhl_pelanggan is b2) and (pdrib is c2) then (konsumsi_energi is D2) (1)
7. If (jumlah_penduduk is a1) and (jhl_pelanggan is b2) and (pdrib is c3) then (konsumsi_energi is D3) (1)
8. If (jumlah_penduduk is a1) and (jhl_pelanggan is b2) and (pdrib is c4) then (konsumsi_energi is D3) (1)
9. If (jumlah_penduduk is a1) and (jhl_pelanggan is b3) and (pdrib is c1) then (konsumsi_energi is D2) (1)
10. If (jumlah_penduduk is a1) and (jhl_pelanggan is b3) and (pdrib is c2) then (konsumsi_energi is D3) (1)
11. If (jumlah_penduduk is a1) and (jhl_pelanggan is b3) and (pdrib is c3) then (konsumsi_energi is D3) (1)

Gambar 7. Aturan Fuzzy

Aplikasi Fungsi Implikasi

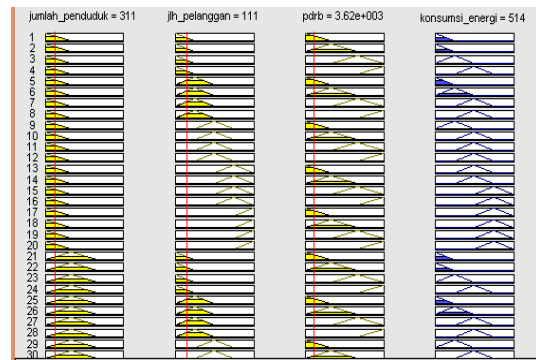
Setelah menentukan aturan *fuzzy*, tahapan berikutnya adalah menentukan aplikasi fungsi implikasi. Aplikasi fungsi implikasi pada metoda Mamdani digunakan fungsi MIN. Pada tahapan ini setiap derajat keanggotaan diproses kedalam 80 aturan *fuzzy* yang telah dibuat sebelumnya. Dengan nilai keanggotaan *fuzzyfikasi* yang telah didapat, maka α -predikat (*fire strength*) dapat ditentukan dengan aturan [R1], [R2], [R5], [R6], [R22], [R25] dan [R26].

Penegasan (Defuzzyfikasi)

Pada tahap *defuzzyfikasi* ini data yang telah dirubah menjadi data *fuzzy* dioutputkan kembali menjadi data tegas (*crisp*). α -predikat yang mempunyai nilai adalah aturan [R1], [R2], [R5], [R6], [R22], [R25] dan [R26], Sehingga diperoleh titik pusat daerah untuk konsumsi energi listrik pada tahun 2019 adalah sebesar :

$$\begin{aligned} z &= \frac{358,208 + 526,421}{2} \\ &= \frac{914,977}{2} \\ &= 457,488 \end{aligned}$$

Maka hasil konsumsi energi listrik yang diperoleh dengan metode *centroid* adalah 457,488 GWh. Pada tahun 2019 konsumsi energi listrik yang didapatkan menggunakan Matlab adalah sebesar 514 GWh, seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Konsumsi Energi Listrik Tahun 2019 dengan Menggunakan Matlab

Peramalan Hasil Konsumsi Energi Listrik

Ramalan konsumsi energi listrik dengan *fuzzy* Mamdani untuk kemudahan dapat dilakukan dengan bantuan *software* MATLAB R2007b, rancangan sistem inferensi *fuzzy* tersebut dikerjakan pada *Fuzzy Logic Toolbox*. Berdasarkan contoh perhitungan pada sub bab sebelumnya, dilakukan hal yang sama untuk peramalan data lainnya. Seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Ramalan Konsumsi Energi Listrik Tahun 2018 – 2025 Menggunakan *Fuzzy Logic*

No	Tahun	Perkiraan Logika Fuzzy (GWh)
1	2018	466
2	2019	514
3	2020	534
4	2021	591
5	2022	644
6	2023	707
7	2024	766
8	2025	792

Data yang didapat dari PLN digunakan sebagai pembandingan terhadap perkiraan yang dihasilkan oleh logika *fuzzy*. Berikut ini hasil perkiraan konsumsi energi listrik yang dihasilkan oleh logika *fuzzy* dengan rata-rata pertumbuhan konsumsi energi listrik sebesar 7,16% yang dibandingkan terhadap perkiraan yang dilakukan oleh PT. PLN Area Dumai, seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Perkiraan Konsumsi Energi Listrik

Tahun	Perkiraan PLN (GWh)	Perkiraan Logika Fuzzy (GWh)	Kesalahan (%)
2018	433	466	7,6
2019	478	514	7,5
2020	523	534	2,1
2021	582	591	1,5
2022	643	644	0,15
2023	710	707	0,42
2024	784	766	2,3
2025	866	792	8,5

Pada Tabel 6 hasil perkiraan antara PT. PLN Area Dumai dengan logika *fuzzy* tidak jauh berbeda. Nilai kesalahan rata-rata yang didapat sebesar 3,76 % yang berarti perkiraan menggunakan *fuzzy* sangat bagus karena nilai MAPE atau kesalahan dibawah 10 %.

4. KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil peramalan konsumsi energi listrik di Kota Dumai pada tahun 2025 dengan logika *fuzzy* diperoleh hasil ramalan sebesar 792 GWh, sementara konsumsi energi listrik pada tahun 2025 menurut peramalan PT. PLN Area Dumai sebesar 866 GWh.
2. Berdasarkan hasil peramalan menggunakan *fuzzy logic* didapatkan rata-rata pertumbuhan konsumsi energi listrik setiap tahunnya sebesar 7,16 %.
3. Hasil perkiraan antara PT. PLN Area Dumai dengan logika *fuzzy* tidak jauh berbeda. Nilai rata - rata kesalahan yang diperoleh sebesar 3,76 %, diketahui bahwa data perkiraan konsumsi energi listrik yang dihasilkan oleh PT. PLN hanya digunakan sebagai data pembandingan, karena nilai konsumsi energi listrik untuk 7 tahun ke depan belum dapat dipastikan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. B. Fadillah, Analisis Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik Tahun 2015-2024 Wilayah PLN Kota Pekanbaru Dengan Metode Gabungan, *Jom FTEKNIK*, vol. 2, no. 2, pp. 1–10, 2015.
- [2] M. H. dkk Albab, Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik APJ Pekalongan Tahun 2014-2018 Dengan Metode Logika Fuzzy, *Transient*, vol. 4, no. 3, pp. 1–6, 2015.
- [3] A. Pabla, *Sistem Distribusi Daya Listrik, Ahli Bahasa Abdul Hadi*. Jakarta: Erlangga, 1994.
- [4] S. Kusumadewi, *Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tool Box Matlab*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2002.
- [5] H. D. Laksono dan H. Effendi, Aplikasi Logika Fuzzy Pada Perkiraan Kebutuhan Energi Listrik Jangka Panjang Di Provinsi Sumatera Barat Sampai Tahun 2018, *Teknol. Inf. Pendidik.*, vol. 3, no. 1, pp. 42–53, 2011.
- [6] L. Maulida, Implementasi Logika Fuzzy Mamdani Untuk Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek Perusahaan Listrik Negara (PLN) Rayon Banda Aceh, Universitas Syaikh Kuala, 2016.
- [7] M. Z. A. Zainun, N. Y dan Majid, Low Cost House Demand Predictor, Universitas Teknologi Malaysia, 2003.
- [8] BPS Dumai, *Kota Dumai Dalam Angka 2017*. BPS Kota Dumai, 2017.