

Pemodelan Peramalan Beban pada System Suselrabar Menggunakan Tipe-2 Logika Fuzzy

Muhammad Ruswandi Djalal¹⁾, Imam Robandi²⁾

^{1,2)}Departement Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Noverber

¹⁾Program Studi Teknik Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang
wandi@poliupg.ac.id¹, robandi@ee.its.ac.id²



Abstract

This study discusses the short-term load forecasting model using type-2 fuzzy logic. To test the performance of the proposed algorithm, this study also used a type-1 fuzzy logic comparison method. The case study used is the 150 kV Suselrabar electrical system. Currently, the Suselrabar electricity system is experiencing significant development, so a research is needed to support the system. Load forecasting study is an approach that can be done to optimize the performance of the system. In this study, optimization of short-term 24-hour load forecasting was carried out. The load input data used is load data for 2010 - 2016 on the same day, January 8th. For type-1 fuzzy logic modeled using the Simulink Toolbox and type-2 fuzzy logic using m-file Matlab. From the analysis results obtained a minimum Mean Percentage Error (MAPE) using the Fuzzy Logic Type-2 method, compared to the Fuzzy Logic Type-1 method. MAPE for type-1 fuzzy logic method is 2.1%, while for type-2 fuzzy logic method, MAPE is 1.7%.

Keywords: Load, Type-2 Fuzzy Logic, Fuzzy Rule, Error

Abstrak

Penelitian ini membahas tentang model peramalan beban jangka pendek menggunakan logika fuzzy tipe-2. Untuk menguji kinerja dari algoritma yang diusulkan, pada penelitian ini juga digunakan metode pembandingan logika fuzzy tipe-1. Studi kasus yang digunakan yaitu pada sistem kelistrikan 150 kV Suselrabar. Saat ini sistem kelistrikan Suselrabar mengalami perkembangan yang signifikan, sehingga diperlukan suatu penelitian yang dapat menunjang sistem tersebut. Studi peramalan beban merupakan suatu pendekatan yang bisa dilakukan untuk mengoptimasi kinerja sistem tersebut. Dalam penelitian ini dilakukan optimasi peramalan beban jangka pendek 24 jam. Data input beban yang digunakan data beban tahun 2010 - 2016 pada hari yang sama yaitu tanggal 8 Januari. Untuk logika fuzzy tipe-1 dimodelkan menggunakan Toolbox Simulink dan logika fuzzy tipe-2 dengan menggunakan m-file Matlab. Dari hasil analisis diperoleh Mean Percentage Error (MAPE) minimum dengan menggunakan metode Logika Fuzzy Tipe-2, dibandingkan dengan metode Logika Fuzzy Tipe-1. MAPE untuk metode Logika Fuzzy tipe-1 adalah 2.1%, sedangkan metode logika fuzzy tipe-2, MAPE adalah 1.7%.

Kata Kunci: Beban, Tipe-2 Logika Fuzzy, Fuzzy Rule, Error

I. PENDAHULUAN

Peramalan beban merupakan studi pada system tenaga listrik yang perlu untuk dilakukan, karena dapat memperkirakan konsumsi energi listrik di masa mendatang pada range waktu tertentu. Selain itu, studi ini berguna bagi keberlangsungan system, karena meningkatkan keselamatan dan keandalan pengoperasian pada system tenaga listrik, seperti pemeliharaan unit pembangkit, pengiriman daya, dan penjadwalan pembangkit. Untuk melakukan analisis perhitungan peramalan beban diperlukan data operasi system, karena keakuratan peramalan beban dipengaruhi dari data yang diberikan.

Oleh karena itu, peralatan yang mampu memonitor beban secara akurat dan fleksibel, sehingga data beban dapat dibutuhkan kapan saja.

Sistem kelistrikan beroperasi pada tegangan 150 kV, sehingga dalam penerapannya terdapat banyak dinamika sistem. Selain itu, perkembangan sistem kelistrikan Suselrabar juga meningkat pesat, ditandai dengan peningkatan jumlah konsumen. Oleh karena itu, perlu kajian yang berkesinambungan, untuk mendukung kinerja sistem yang sedang berkembang. Beberapa penelitian telah dilakukan pada sistem Suselrabar, diantaranya [1-4] yang membahas tentang kestabilan sistem tenaga listrik Suselrabar. Kajian lain yang

perlu dilakukan pada sistem Sulselrabar adalah peramalan beban. Hasil analisis tersebut kemudian digunakan sebagai acuan untuk pengembangan sistem kedepannya.

Penelitian tentang *short-term forecasting* (peramalan beban jangka pendek) sebelumnya telah banyak dilakukan, khususnya teknik peramalan beban dengan menggunakan metode cerdas. Penggunaan metode cerdas untuk peramalan beban berbasis logika *fuzzy* tipe-1 telah banyak dilakukan, seperti pada penelitian [5-8]. Dalam penelitian ini menggunakan metode ini untuk optimasi peramalan beban, namun dalam penelitian ini logika *fuzzy* masih belum sepenuhnya dioptimalkan untuk peramalan beban, hal ini dikarenakan penentuan aturan masih menggunakan metode *trial-error*. Pada penelitian [9-12], juga telah menggunakan metode sebelumnya yaitu logika *fuzzy* tipe-1 untuk optimasi peramalan beban.

Logika *fuzzy* merupakan salah satu metode cerdas, dimana aplikasinya telah banyak digunakan di beberapa bidang, salah satunya pada optimasi sistem tenaga listrik, seperti peramalan beban. Metode Logika *Fuzzy* Tipe-1 telah mengalami beberapa perbaikan dari sebelumnya, dan sekarang menjadi Logika *Fuzzy* Tipe-2. Perbedaan Logika *Fuzzy* Tipe-1 dengan Logika *Fuzzy* Tipe-2 pada umumnya terletak pada Membership Function. Penelitian sebelumnya telah mengusulkan beberapa metode untuk digunakan sebagai metode prediksi beban listrik, namun dari metode tersebut hanya ditentukan oleh pola pengelompokan waktu tertentu, sedangkan pada kondisi nyata, perilaku beban puncak bervariasi berdasarkan jenis beban puncak, dimana terdapat puncak siang hari, beban dan malam. Selain itu, peramalan beban hanya dilakukan selama bertahun-tahun, sedangkan beban prediksi jangka panjang tidak dijelaskan. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan metode peramalan beban dengan beberapa pengelompokan beban, kemudian hasilnya digunakan untuk memprediksi beban listrik di masa yang akan datang.

II. Peramalan Beban

Peramalan (*Forecasting*) adalah sebuah fenomena penghitungan atau peramalan pengukuran pada waktu yang akan datang. Pada pengoperasian sistem tenaga, peramalan beban merupakan masalah yang cukup signifikan dalam sistem tenaga listrik. Dari sisi

manajemen dan operasional, peramalan beban tersebut mendapat perhatian khusus. Peramalan beban waktu dibagi menjadi beberapa kelompok, yaitu [7, 8], peramalan beban listrik jangka panjang adalah peramalan beban selama lebih dari lima tahun. Peramalan beban listrik jangka menengah adalah peramalan beban untuk periode satu bulan sampai lima tahun. Peramalan beban jangka pendek adalah peramalan beban selama beberapa jam sampai satu minggu. Peramalan beban jangka sangat pendek adalah peramalan beban kurang dari satu jam (jam, menit, detik). Peramalan beban jangka pendek digunakan untuk beberapa kasus luar biasa.

Short-Term Load Forecasting

Metode peramalan beban jangka pendek terbagi menjadi beberapa bagian, yaitu [13]:

1. *Deret waktu stokastik*

Metode ini mencakup model peramalan beban jangka pendek yang populer seperti, *ARIMA*, *ARMA*, metode *Box-Jenkins*, dan lain-lain. Metode ini punya kekurangan yaitu komputasi yang lebih lama untuk identifikasi parameter, tetapi metode ini mudah dipahami dan implementasikan serta keakuratan hasil cukup baik.

2. *Multiple Regression*

Metode ini menggunakan pendekatan polinomial, dari segi kekurangan metode ini sulit untuk menemukan hubungan fungsional antara pengaruh cuaca dan permintaan beban, akan tetapi metode ini dapat memodelkan hubungan konsumsi beban dan faktor lain seperti cuaca, jenis hari, dan kelas pelanggan.

3. *Expert System*

Metode ini merupakan kombinasi dari aturan dan prosedur peramalan beban yang digunakan dengan perangkat lunak. Namun metode ini membutuhkan tenaga ahli yang terampil menggunakan perangkat lunak.

4. *Logika Fuzzy*

Metode ini dapat memodelkan ketidakpastian data (uncertainty). Metode ini dapat menangani data numerik pengetahuan linguistic.

5. *Artificial Neural Networks (ANN)*

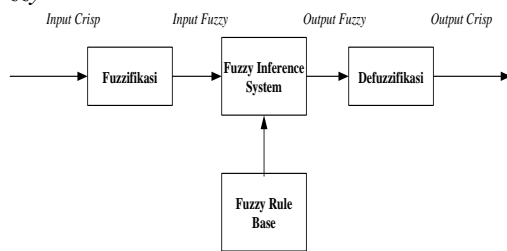
Artificial Neural Network dapat melakukan pemodelan dan adaptasi (pembelajaran) non-linier dengan tidak mengasumsikan hubungan fungsional.

III. Logika Fuzzy

Metode logika *fuzzy* mengembangkan teori klasik himpunan *boolean* (0 dan 1) ke dalam himpunan yang memiliki nilai keanggotaan yang tidak jelas (antara 0 dan 1) sehingga logika *fuzzy* disebut juga logika kabur.

A. Logika Fuzzy Tipe-1

Struktur utama sistem logika *fuzzy* tipe-1 pada gambar 1 berikut. Inferensi *fuzzy* adalah melakukan penalaran dengan menggunakan input *fuzzy* dan aturan *fuzzy* yang telah ditentukan sehingga menghasilkan output *fuzzy*.



Gambar 1. Struktur Fuzzy Tipe-1

Metode *fuzzy rule* dikenal dengan metode mamdani atau *Max-Min* dimana terdapat lima tahapan untuk mendapatkan output yaitu :

- a. Pembentukan himpunan *Fuzzy* variabel input dan output
- b. Me Fungsi operasi keanggotaan
- c. Implikasi fungsi aplikasi (implikasi), umumnya digunakan fungsi Min
- d. Aturan komposisi (agregasi)
- e. Afirmasi (defuzzifikasi)

Defuzzifikasi adalah proses pemetaan hasil daerah inferensi *fuzzy* ke daerah non-*Fuzzy* (*Crisp*). Dalam implementasi kendali *fuzzy* secara real time, proses *defuzzifikasi* digunakan oleh *Center of Area (COA)*. Pusat area defuzzifikasi menghasilkan pusat gravitasi dari distribusi aksi kontrol yang dinyatakan dalam persamaan 1 berikut:

$$z^* = \frac{\sum_{k=1}^m V_k \mu_v(V_k)}{\sum_{k=1}^m \mu_v(V_k)} \quad (1)$$

Di mana:

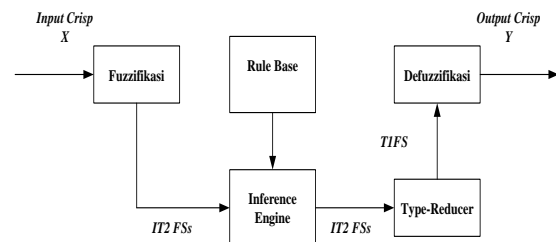
z^* = output value, m = quantization level, V_k = k-th element, dan μ_v = derajat keanggotaan elemen dalam himpunan *fuzzy* v.

B. Logika Fuzzy Tipe - 2

Sistem logika *fuzzy* tipe-1 yang fungsi keanggotaannya merupakan himpunan *fuzzy* tipe-1, tidak dapat secara langsung menyelesaikan ketidakpastian aturan sistem logika *fuzzy* tipe-2, sedangkan fungsi

keanggotaan *antecedent* atau konsekuen *fuzzy* tipe-2 mampu melakukan ketidakpastian aturan. Himpunan *fuzzy* tipe-2 memiliki tingkat keanggotaan yang mereka sendiri *fuzzy*. Level-level dalam himpunan *fuzzy* tipe-2 dapat berada dalam himpunan bagian dari keanggotaan sekunder. Mirip dengan FLS Tipe-1, FLS Tipe-2 juga mencakup keanggotaan FIS dan fungsi defuzzifikasi. Perbedaannya adalah sebelum proses defuzzifikasi terdapat proses reduksi tipe yang memiliki beberapa metode algoritma seperti *Mendel Algoritm Kernik (KMA)*, *Mendel Algorithm Kernik Enhance (EKMA)*, *Mendel Algorithm with Initialization (EKMANI) Kernik Mendel*, *Iterative Algorithm with Stop Condition (IASC)*, *Enhance Iterative Algorithm with Stop Condition (EIASC)*.

Pada Gambar 2 menunjukkan proses IT2FLS yaitu pemetaan dari nilai input *crisp* set x ke nilai output yang dinyatakan dalam persamaan $Y = f(x)$.



Gambar 2. Logika Fuzzy Tipe-2 Structure [13]

Defuzzifikasi

Pada metode *fuzzy* Tipe-2, proses defuzzifikasi melalui *tipe-reducer* seperti Algoritma Mendel Kernik (KMA), Algoritma *Mendel Kernik Enhance (EKMA)*, Algoritma Mendel dengan Inisialisasi (EKMANI), Algoritma Iteratif dengan *Stop Condition (IASC)*, *Enhance Iterative Algorithm with Stop Condition (EIASC)* [13]. Pada penelitian ini, proses defuzzifikasi menggunakan *centroid* pada IT2FLS.

IV. METODE PENELITIAN

Peramalan beban listrik pada sistem kelistrikan 150 kV Sulsebar, dianalisis menggunakan beberapa pendekatan yaitu dengan menggunakan metode Logika Fuzzy Tipe 1 (FLT1) dan Logika Fuzzy Tipe 2 (FLT2). Masing-masing pendekatan memprediksi beban listrik pada tanggal 8 Januari 2016. Sebagai input data menggunakan data beban listrik tahun 2010 sampai dengan tahun 2015, data yang diperoleh dari UPB PT.

PLN Wilayah Sulselrabar. Software yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *Microsoft Excel* untuk mengolah data load dan Software Matlab untuk Logika *Fuzzy Tipe-1* dan Logika *Fuzzy Tipe-2*.

A. *Pre-Processing*

Tahap pra-pemrosesan adalah melakukan data beban harian beban listrik selama tahun 2010-2015. Kemudian dari data tersebut dilakukan pengelompokan data untuk beban pada tanggal 8 Januari 2010-2015.

B. *Processing*

Pada tahap ini, pemodelan peramalan beban jangka pendek menggunakan *Fuzzy Tipe-1* dan *Fuzzy Tipe-2*, sebagai berikut:

1. Membuat fungsi keanggotaan sistem logika *fuzzy tipe-2* yaitu input X, Y dan output (Z) untuk hari yang akan diprediksi dengan kondisi sebagai berikut:
 - X1 : Data beban untuk 2010.
 - X2 : Data beban untuk 2011.
 - X3 : Data beban untuk 2012.
 - X4 : Data beban untuk 2013.
 - X5 : Data beban untuk 2014.
 - X6 : Data beban untuk 2015.
 - Z1 : Hari perkiraan untuk diprediksi.
2. Buat aturan logika *fuzzy tipe-2* sebagai berikut:
 - IF X is A_i AND Y is B_i THEN Z is C_i
3. Terapkan operasi AND ke logika *fuzzy tipe-2*
4. Menerapkan fungsi implikasi MIN pada aturan *fuzzy*
5. Menerapkan komposisi MAX pada setiap hasil implikasi aturan *fuzzy*.

C. *Post-Processing*

Pada tahap lanjutan mencari *error* peramalan, dengan rumus :

$$Error\% = \frac{P_{forecast} - P_{actual}}{P_{actual}} \times 100 \tag{2}$$

Setelah menghitung kesalahan peramalan beban menggunakan metode logika *fuzzy tipe-2*, ditunjukkan dengan *Mean Average Percentage Error (MAPE)*. Kemudian nilai MAPE dibandingkan dengan kesalahan peramalan beban menggunakan metode Logika *Fuzzy Tipe-1*.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Input Data Beban*

Pada penelitian ini digunakan data beban 24 jam pada hari yang sama prediksi yaitu dari

tahun 2010 sampai dengan tahun 2015. Tabel 1 berikut adalah hasil pengelompokan beban untuk peramalan beban pada tanggal 8 Januari 2016.

Tabel 1. Input Data Beban

No	2010 (MW)	2011 (MW)	2012 (MW)	2013 (MW)	2014 (MW)	2015 (MW)
1	313.3	372.8	373.1	384.1	541.2	542.8
2	297.4	355.6	355.7	382.1	512.8	523.1
3	289.8	344.8	346.0	377.8	495.0	502.8
4	281.0	334.9	343.1	383.0	484.1	495.0
5	297.7	349.9	342.7	397.8	486.0	510.2
6	318.7	353.6	358.9	427.1	517.6	553.0
7	314.2	349.5	358.4	418.2	506.1	538.9
8	346.6	363.7	365.4	452.2	528.8	570.3
9	370.4	377.0	383.5	508.4	570.3	616.2
10	390.8	399.1	392.6	525.4	590.3	635.3
11	397.2	414.3	410.6	534.5	614.3	655.0
12	385.2	414.2	397.3	524.9	599.2	650.2
13	368.9	405.6	386.8	552.4	598.5	670.0
14	382.0	404.8	388.3	565.3	591.5	694.4
15	364.8	410.6	386.8	574.9	589.4	684.4
16	367.7	402.6	387.9	556.9	586.0	671.5
17	377.4	400.0	393.2	543.6	584.0	660.1
18	418.2	439.5	438.9	589.6	614.6	677.4
19	476.0	539.9	534.9	658.4	725.9	831.4
20	471.2	534.4	524.4	645.3	710.8	819.9
21	457.7	515.6	510.2	656.4	682.7	778.9
22	417.4	471.2	465.2	577.6	632.0	741.6
23	357.2	412.1	411.1	526.9	568.8	691.4
24	331.5	386.1	377.5	491.9	515.8	648.8

B. *Desain Logika Fuzzy*

Rancangan input untuk logika fuzzy tipe 1 dan tipe 2 adalah 6 input, terdiri dari memuat data pada tanggal yang sama (8 Januari) selama 6 tahun terakhir, 2010 hingga 2015. Gambar 3-5 menunjukkan desain logika *fuzzy*.

C. *Membership Function Fuzzy Design*

Perancangan Fungsi Keanggotaan Logika *Fuzzy Tipe-1* dan *Tipe-2* menggunakan 33 *Fuzzy Set*, dengan range 200 - 1000 MW. Perancangan fungsi keanggotaan ditunjukkan pada tabel 2 dan gambar 6.

Tabel 2. Pengelompokan Beban Untuk *Fuzzy Tipe-1*

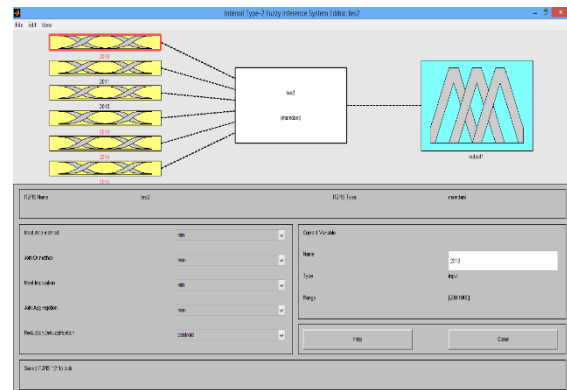
No	Load (MW)	No	Load (MW)	No	Load (MW)
1	[200 225]	12	[475 500]	23	[750 775]
2	[225 250]	13	[500 525]	24	[775 800]
3	[250 275]	14	[525 550]	25	[800 825]
4	[275 300]	15	[550 575]	26	[825 850]
5	[300 325]	16	[575 600]	27	[850 875]
6	[325 350]	17	[600-625]	28	[875 900]
7	[350 375]	18	[625-650]	29	[900 925]
8	[375 400]	19	[650 675]	30	[925 950]
9	[400 425]	20	[675 700]	31	[950 975]
10	[425 450]	21	[700 725]	32	[975 1000]
11	[450 475]	22	[725 750]	33	[1000 1025]

Logika *Fuzzy Tipe-1* dirancang menggunakan *toolbox* logika fuzzy di Matlab dan pemodelan menggunakan *Simulink*. Sedangkan untuk Logika *Fuzzy Tipe-2*

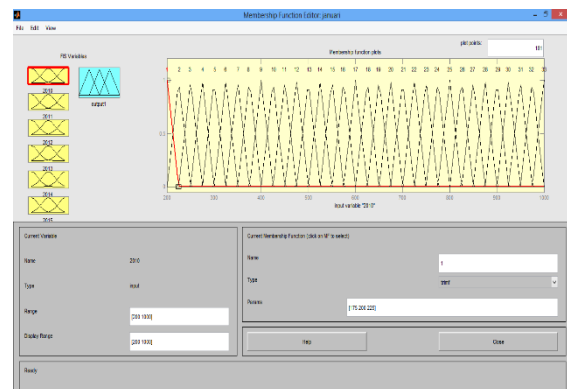
menggunakan kombinasi *toolbox* dan *coding* (m-file matlab). Untuk optimasi fungsi keanggotaan logika *fuzzy* dirancang menggunakan m-file matlab. Tabel 3 berikut menunjukkan himpunan fungsi keanggotaan dan desain fungsi keanggotaan *Fuzzy* (Gambar 3-6). Gambar 7 menunjukkan desain fuzzy rule yang digunakan. Pemodelan system keseluruhan ditunjukkan pada gambar 8.

Tabel 3. Himpunan fungsi keanggotaan *fuzzy* tipe-2

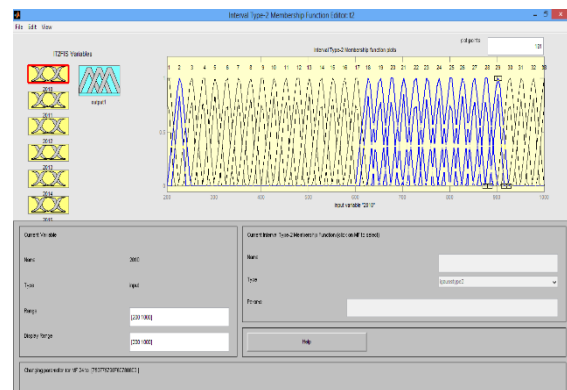
MF	Parameter
1	[175 200 215 185 205 225]
2	[200 225 240 210 230 250]
3	[225 250 265 235 255 275]
4	[250 275 290 260 280 300]
5	[275 300 315 285 305 325]
6	[300 325 340 310 330 350]
7	[325 350 365 335 355 375]
8	[350 375 390 360 380 400]
9	[375 400 415 385 405 425]
10	[400 425 440 410 430 450]
11	[425 450 465 435 455 475]
12	[450 475 490 460 480 500]
13	[475 500 515 485 505 525]
14	[500 525 540 510 530 550]
15	[525 550 565 535 555 575]
16	[550 575 590 560 580 600]
17	[575 600 615 585 605 625]
18	[600 625 640 610 630 650]
19	[625 650 665 635 655 675]
20	[650 675 690 660 680 700]
21	[675 700 715 685 705 725]
22	[700 725 740 710 730 750]
23	[725 750 765 735 755 775]
24	[750 775 790 760 780 800]
25	[775 800 815 785 805 825]
26	[800 825 840 810 830 850]
27	[825 850 865 835 855 875]
28	[850 875 890 860 880 900]
29	[875 900 915 885 905 925]
30	[900 925 940 910 930 950]
31	[925 950 965 935 955 975]
32	[950 975 990 960 980 1000]
33	[975 1000 1015 985 1005 1025]



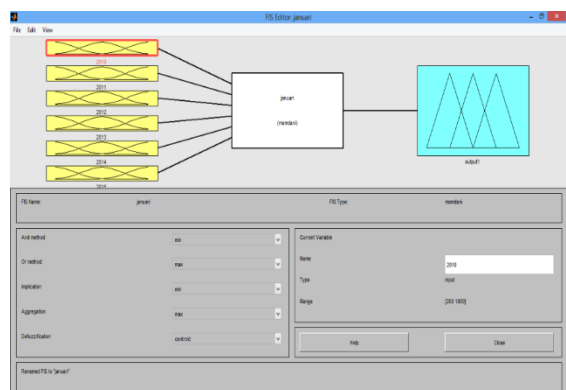
Gambar 4. Desain Input X, Y, Z Logika *Fuzzy* Tipe-2



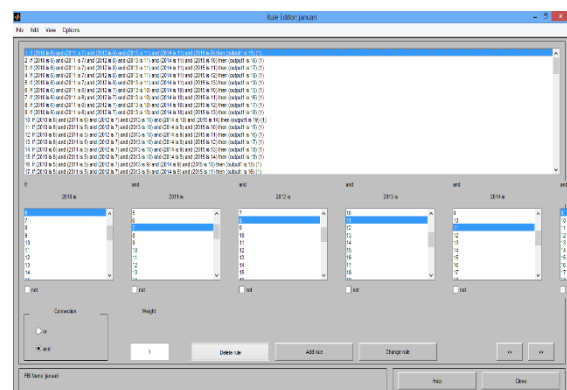
Gambar 5. Desain membership function *fuzzy* Tipe-1



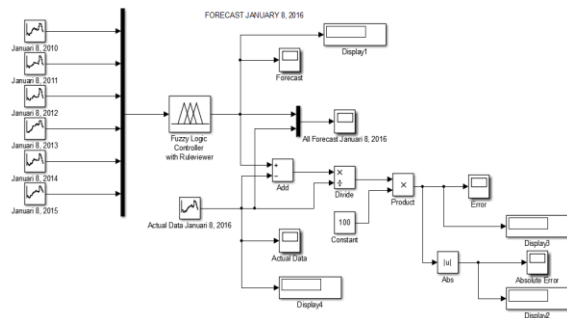
Gambar 6. Desain membership function *fuzzy* Tipe-2



Gambar 3. Desain Input X, Y, Z Logika *Fuzzy* Tipe-1



Gambar 7. Input rule



Gambar 8. Pemodelan System

D. Desain Fuzzy Rules

Tabel 4 menunjukkan aturan fuzzy berdasarkan pengelompokan beban untuk beban pada tanggal 8 Januari 2016.

Tabel 4. Pengelompokan Beban Untuk Aturan Fuzzy pada 8 Januari 2016

Hour	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	5	7	7	8	14	14
2	4	7	7	8	13	13
3	4	6	6	8	12	13
4	4	6	6	8	12	12
5	4	6	6	8	12	13
6	5	7	7	10	13	15
7	5	6	7	9	13	14
8	6	7	7	11	14	15
9	7	8	8	13	15	17
10	8	8	8	14	16	18
11	8	9	9	14	17	19
12	8	9	8	13	16	19
13	7	9	8	15	16	19
14	8	9	8	15	16	20
15	7	9	8	15	16	20
16	7	9	8	15	16	19
17	8	9	8	14	16	19
18	9	10	10	16	17	20
19	12	14	14	19	22	26
20	11	14	13	18	21	25
21	11	13	13	19	20	24
22	9	11	11	16	18	22
23	7	9	9	14	15	20
24	6	8	8	12	13	18

Pengelompokan aturan fuzzy didasarkan pada data beban dari setiap tahun. Kemudian setiap aturan dibuat sebanyak 5 pola aturan, sehingga total aturan adalah 24 jam x 5 aturan = 120 Aturan. Kemudian untuk mengurangi jumlah aturan, pada data yang sama dengan data pada 03.00, 04.00, 05.00, 14.00, 15.00, 16.00, dan 17.00 pada tabel di atas, aturan yang diambil hanya satu, sehingga total aturan adalah 21 x 5 = 105 aturan .

Tabel 5 berikut menunjukkan hasil aturan logika fuzzy untuk peramalan beban 8 Januari 2016. X1 adalah data beban 2010, X2 (2011), X3 (2012), X4 (2013), X5 (2014), X6 (2015) , dan Z (Keluaran). Sedangkan untuk Z

(Keluaran) yang diambil berkisar antara 15-19 berdasarkan data beban. Untuk hasil tanggal 8 Januari 2016 ditampilkan sebagai berikut.

Table 5. Fuzzy Rule bulan January 8, 2016

Rule	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Z
1	5	7	7	8	14	11	16
2	5	7	7	8	14	12	17
3	5	7	7	8	14	13	18
4	5	7	7	8	14	14	18
5	5	7	7	8	14	15	19
6	4	7	7	8	13	10	15
7	4	7	7	8	13	11	16
8	4	7	7	8	13	12	17
9	4	7	7	8	13	13	18
10	4	7	7	8	13	14	19
11	4	6	6	8	12	11	15
12	4	6	6	8	12	12	16
13	4	6	6	8	12	13	17
14	4	6	6	8	12	14	18
15	4	6	6	8	12	15	19
.
.
.
.
101	6	8	8	12	13	14	15
102	6	8	8	12	13	15	16
103	6	8	8	12	13	16	17
104	6	8	8	12	13	17	18
105	6	8	8	12	13	18	19

Gambar 7 dan 8 menunjukkan aturan desain input logika fuzzy, menggunakan dua pendekatan, menggunakan toolbox (Untuk peramalan beban menggunakan logika fuzzy tipe-1) dan m-file (Untuk peramalan beban menggunakan logika fuzzy tipe-2).

E. Metode Logika Fuzzy

Peramalan beban menggunakan metode logika fuzzy tipe-1 menggunakan pemodelan Simulink yang terintegrasi dengan toolbox fuzzy Matlab. Pemodelan peramalan beban menggunakan data input 6 tahun sebelumnya pada tanggal yang sama, ditunjukkan pada gambar 8. Dari hasil simulasi peramalan beban 8 Januari 2016, diperoleh error peramalan sebagai berikut, dengan menggunakan metode logika fuzzy tipe-1 rata-rata error sebesar 2.133371219%.

Tabel 6 dan 7 berikut menunjukkan perbandingan beberapa metode yang digunakan untuk meramalkan beban. Sedangkan gambar 9 dan 10 menunjukkan grafik perbandingan peramalan beban dengan menggunakan beberapa metode dibandingkan dengan beban aktual 8 Januari 2016.

Tabel 6. Perbandingan Hasil Peramalan Beban Tanggal 8 Januari 2016 dengan Logika Fuzzy Tipe-1

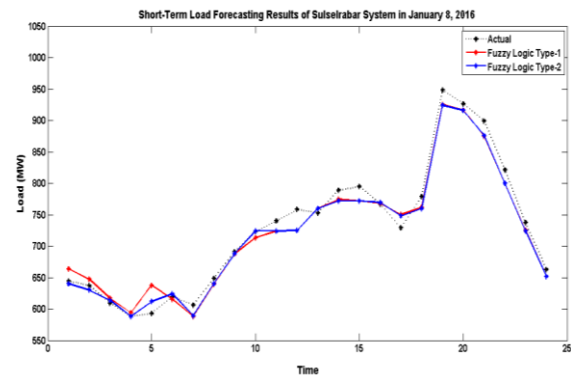
Jam	Actual (MW)	Logika Fuzzy Tipe-1	
		Prediksi (MW)	Error (%)
1	644	664	3.10
2	637.1	647.28	1.59
3	609.2	617.03	1.28
4	588.1	593.93	0.99
5	592.9	637.76	7.56
6	619.4	615.56	0.61
7	606.4	588.15	3.00
8	648.5	639.58	1.37
9	691.4	687.60	0.54
10	723.2	713.19	1.38
11	740.2	724	2.18
12	758.5	724.89	4.43
13	753	760	0.92
14	788.8	774.4	1.82
15	794.9	772	2.88
16	766.7	768.43	0.22
17	729	750.11	2.89
18	778.8	762.11	2.14
19	948.2	924.79	2.46
20	926.7	916.39	1.11
21	899.3	875.15	2.68
22	821.7	800	2.64
23	737.4	725.14	1.66
24	662.8	652	1.62
Error Rata-Rata			2.13

Tabel 7. Perbandingan Hasil Peramalan Beban Tanggal 8 Januari 2016 dengan Logika Fuzzy Tipe-2

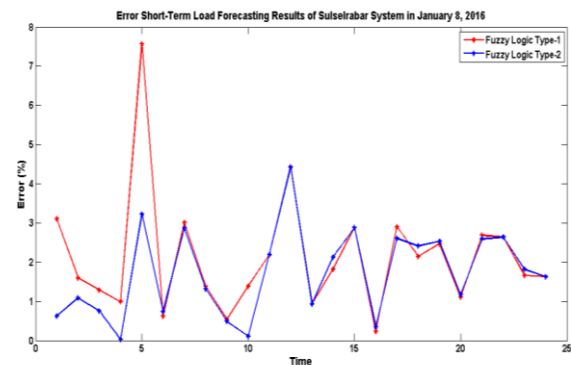
Jam	Aktual (MW)	Logika Fuzzy Tipe-2	
		Prediksi (MW)	Error (%)
1	644	640	0.62
2	637.1	630.17	1.08
3	609.2	613.80	0.75
4	588.1	588	0.01
5	592.9	612	3.22
6	619.4	624	0.74
7	606.4	589.03	2.86
8	648.5	640	1.31
9	691.4	688	0.49
10	723.2	724	0.11
11	740.2	724	2.18
12	758.5	724.945	4.42
13	753	760	0.92
14	788.8	772	2.12
15	794.9	772	2.88
16	766.7	769.31	0.34
17	729	748	2.60
18	778.8	760	2.41
19	948.2	924.16	2.53
20	926.7	915.88	1.16
21	899.3	876	2.59
22	821.7	800	2.64
23	737.4	724	1.81
24	662.8	652	1.62
Error Rata-Rata			1.72

Dari hasil analisis peramalan beban dengan kedua pendekatan yang digunakan, menunjukkan perhitungan yang akurat. Pemodelan yang digunakan menggunakan Logika Fuzzy Tipe-1 Toolbox dan Logika Fuzzy Tipe-2 m-file. Sedangkan pendekatan yang digunakan adalah dengan mengelompokkan data beban berdasarkan klasifikasi penggunaan beban. Prakiraan beban 24 jam untuk beban 8 Januari 2016, menggunakan data masukan beban dari tahun 2010 sampai 2016 pada

tanggal yang sama. Dari hasil analisis didapatkan error terkecil dengan menggunakan metode Intelligent Logika Fuzzy Tipe-2, dibandingkan dengan metode perbandingan Logika Fuzzy Tipe-1 lainnya. Untuk error hasil peramalan beban pada tanggal 5-10 Januari 2016 ditunjukkan pada tabel 5.



Gambar 9. Perbandingan Hasil Peramalan Beban Tanggal 8 Januari 2016



Gambar 10. Error Peramalan pada 4 Januari 2016

V. KESIMPULAN

Hasil peramalan beban menggunakan Logika Fuzzy Tipe-2 didapatkan selisih error yang sangat kecil, dibandingkan dengan metode perbandingan Logika Fuzzy Tipe-1. Peramalan beban pada tanggal 8 Januari 2016, diperoleh kesalahan peramalan sebagai berikut, dengan menggunakan metode logika fuzzy tipe-1 error rata-rata sebesar 2.133371%, dan dengan menggunakan metode logika fuzzy tipe-2 sebesar 1.729779%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Layanan Pembiayaan Pendidikan (PUSLAPDIK) dan Lembaga Pembiayaan Dana Pendidikan (LPDP) yang telah memberikan bantuan untuk penelitian ini.

REFERENCES

- [1] M. R. Djalal and F. Faisal, "Intelligent Fuzzy Logic - Cuckoo Search Algorithm Method for Short-Term Electric Load Forecasting in 150 kV Sulselrabar System," *Lontar Komputer : Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, pp. 154-165% @ 2541-5832, 2017-12-05 2017.
- [2] M. Y. Yunus, M. R. Djalal, and Marhatang, "Optimal Design Power System Stabilizer Using Firefly Algorithm in Interconnected 150 kV Sulselrabar System, Indonesia," *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, vol. 12, no. 3, pp. 250-259, 2017.
- [3] M. R. Djalal, H. Nawir, H. Setiadi, and A. Imran, "An Approach Transient Stability Analysis Using Equivalent Impedance Modified in 150 kV South of Sulawesi System," *Journal of Electrical and Electronics Engineering UMSIDA*, vol. 1, no. 1, pp. 1-7, 2016.
- [4] M. R. Djalal, A. Imran, and I. Robandi, "Optimal placement and tuning power system stabilizer using Participation Factor and Imperialist Competitive Algorithm in 150 kV South of Sulawesi system," in *Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), 2015 International Seminar on*, 2015, pp. 147-152: IEEE.
- [5] A. Khosravi, S. Nahavandi, and D. Creighton, "Short term load forecasting using interval type-2 fuzzy logic systems," in *Fuzzy Systems (FUZZ), 2011 IEEE International Conference on*, 2011, pp. 502-508: IEEE.
- [6] A. Khosravi and S. Nahavandi, "Load forecasting using interval type-2 fuzzy logic systems: Optimal type reduction," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, no. 2, pp. 1055-1063, 2014.
- [7] A. Dharma, I. Robandi, And M. H. Purnomo, "Application Of Short Term Load Forecasting On Special Days Using Interval Type-2 Fuzzy Inference Systems: Study Case In Bali Indonesia," *Journal of Theoretical & Applied Information Technology*, vol. 49, no. 2, 2013.
- [8] A. Dharma, I. Robandi, and M. H. Purnomo, "Application of Interval Type-2 Fuzzy Logic System in Short Term Load Forecasting on Special Days," *IPTEK The Journal for Technology and Science*, vol. 22, no. 2, 2011.
- [9] D. Ranaweera, N. Hubele, and G. Karady, "Fuzzy logic for short term load forecasting," *International journal of electrical power & energy systems*, vol. 18, no. 4, pp. 215-222, 1996.
- [10] D. Ali, M. Yohanna, M. Puwu, and B. Garkida, "Long-term load forecast modelling using a fuzzy logic approach," *Pacific Science Review A: Natural Science and Engineering*, vol. 18, no. 2, pp. 123-127, 2016.
- [11] R. Swaroop, "Load forecasting for power system planning using fuzzy-neural networks," in *Proceedings of the world congress on engineering and computer science, San Francisco, USA, 2012*, pp. 24-26.
- [12] S. Sachdeva and C. M. Verma, "Load forecasting using fuzzy methods," in *Power System Technology and IEEE Power India Conference, 2008. POWERCON 2008. Joint International Conference on*, 2008, pp. 1-4: IEEE.
- [13] A. Ramadhani, Agus Dharma, & Imam Robandi, "Optimization FOU of Interval Type-2 Fuzzy Inference System Using Big Bang – Big Crunch Algorithm for Short Term Load Forecasting on National Holiday Case Study: South and Central Kalimantan-Indonesia," *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, vol. 10, no. 1, pp. 123-130, 2015.