

# PERBANDINGAN METODE *SIMPLE ECONOMETRIC* DAN LOGIKA *FUZZY* UNTUK MEMPROYEKSIKAN KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK JANGKA PANJANG DI PROVINSI BANTEN

Bagus Rizkyaji Kusuma <sup>\*)</sup>, Susatyo Handoko, and Tejo Sukmadi

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang  
Jl Prof Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup> E-mail : *bagusrizkyaji@gmail.com*

## Abstrak

Kebutuhan energi listrik di provinsi Banten cenderung mengalami peningkatan karena energi listrik merupakan salah satu kebutuhan primer manusia. Proyeksi kebutuhan energi listrik diperlukan untuk optimalisasi penyediaan energi listrik. Pada penelitian ini dilakukan proyeksi kebutuhan energi listrik menggunakan metode *Simple Econometric* dan logika *Fuzzy*. Proyeksi yang dilakukan bersifat jangka panjang yaitu dari tahun 2016 sampai tahun 2022. Proyeksi menggunakan metode *Simple Econometric* dilakukan dengan memasukkan data historis tahun 2010-2015 ke dalam program *add in Seex* microsoft excel untuk mendapatkan hasil proyeksi kebutuhan energi listrik tahun 2016-2022. Proyeksi menggunakan metode logika *fuzzy* dilakukan dengan memvariasikan fungsi keanggotaan (MF) dan *rules fuzzy* untuk mendapatkan model proyeksi yang paling sesuai. Hasil proyeksi menggunakan metode *Simple Econometric* menunjukkan bahwa kebutuhan energi listrik pada tahun 2022 sebesar 24.606,02 GWh dan metode logika *Fuzzy* sebesar 24.700,00 GWh. Dengan mengacu pada proyeksi kebutuhan energi listrik RUPTL yaitu sebesar 25.831,00 GWh didapatkan tingkat keakuratan proyeksi pada metode *Simple Econometric* sebesar 98,46% dan metode Logika *fuzzy* sebesar 97,08%.

*Kata kunci* : *Simple Econometric, Fuzzy Logic, proyeksi kebutuhan energi listrik.*

## Abstract

*Electrical energy demand in Banten province tends to increase because electrical energy is one of the primary human needs. Projection of the electrical energy is needed to optimize the supply of electrical energy. In this research, projection of electric energy using Simple Econometric and Fuzzy logic method. The projection is long term from 2016 to 2022. The projection using the Simple Econometric method is done by entering the 2010-2015 historic data into Seex microsoft excel add in program to get the projection of electric energy demand for 2016-2022. The projection using the fuzzy logic method is done by varying the membership function (MF) and the fuzzy rules to obtain the most appropriate projection model. The projection result using Simple Econometric method shows that the electrical energy demand in 2022 is 24,606,02 GWh and Fuzzy logic method is 24,700,00 GWh. With reference to projection of RUPTL electrical energy requirement that is equal to 25.831,00 GWh obtained the accuracy of projection on Simple Econometric method equal to 98,46% and Fuzzy Logic method equal to 97,08%.*

*Key words* : *Simple Econometric, Fuzzy Logic, Demand and Load Forecasting.*

## 1. Pendahuluan

Kebutuhan akan energi listrik yang memadai dan tepat sasaran akan memacu perkembangan pembangunan daerah seperti sektor industri, komersial, pelayanan publik dan bahkan kualitas hidup masyarakat. Penggunaan energi listrik secara langsung akan berdampak pada pertumbuhan ekonomi dan tingkat kesejahteraan masyarakat [1].

Pemenuhan kebutuhan energi listrik tersebut harus diantisipasi sedini mungkin agar penyediaan energi listrik

dapat tersedia dalam jumlah yang cukup dan harga yang memadai.

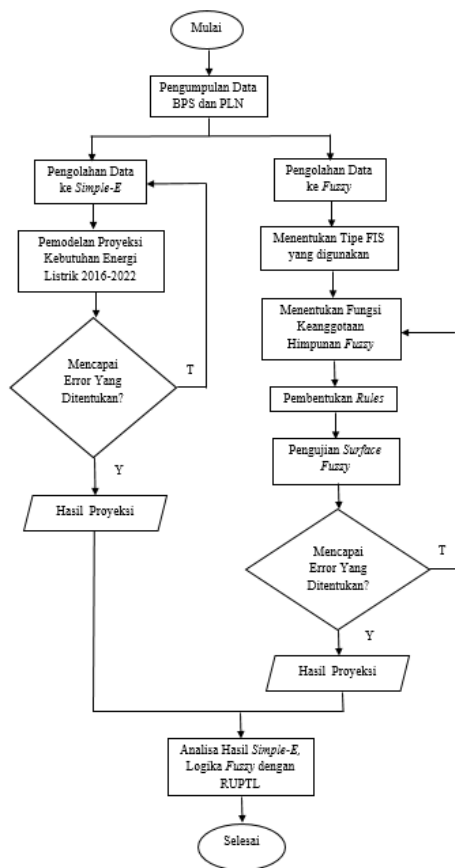
Pertumbuhan ekonomi merupakan faktor yang mempengaruhi pertumbuhan energi listrik, selain dari faktor tersebut perkembangan energi listrik juga dipengaruhi oleh faktor perkembangan penduduk dalam pengertian jumlah pelanggan yang akan dialiri listrik [2]. Demikian juga yang terjadi di provinsi Banten, pada beberapa tahun terakhir telah terjadi perkembangan yang

cukup pesat dalam hal pertumbuhan ekonomi yang menyebabkan permintaan terhadap energi listrik di provinsi Banten cenderung mengalami peningkatan.

Perencanaan ketenagalistrikan dalam lingkup nasional maupun daerah banyak menggunakan berbagai macam metode. Penelitian ini menggunakan 2 metode proyeksi yaitu metode logika fuzzy sebagai metode utama dan simple econometric sebagai pembandingan.

## 2 Metode

Secara garis besar penelitian ini digambarkan melalui diagram alir sebagai berikut.



Gambar 1 Flowchart penelitian

### 2.1 Pengolahan data

Pengolahan data diperlukan untuk menyesuaikan data-data yang didapat untuk bisa digunakan dalam program Seex microsoft excel dan toolbox fuzzy sesuai dengan kebutuhan.

#### 2.1.1 Pengolahan data simple-E

Data-data yang telah didapatkan kemudian diolah dengan membagi data sesuai dengan kebutuhan program Seex microsoft excel.

Pengolahan data pada proyeksi menggunakan metode Simple-E terdiri dari 2 tahapan yaitu:

1. Pengolahan data berdasarkan pengelompokan data Statistik

Data statistik yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) kemudian dibagi menjadi beberapa kategori yaitu jumlah penduduk, rumah tangga, inflasi rasio elektrifikasi dan PDRB. Berikut hasil pengolahan data berdasarkan kelompok statistik.

Tabel 1 Data statistik

Tahun	Jumlah penduduk (jiwa)	Rumah Tangga (RT)	Rasio Elektrifikasi (%)	Inflasi (%)
2010	10.632.166	2.596.632	76,81	6,11
2011	11.005.518	2.684.277	78,93	3,45
2012	11.248.947	2.687.410	81,04	4,37
2013	11.452.491	2.725.746	83,05	7,13
2014	11.704.877	2.861.654	92,26	5,47
2015	11.955.243	2.930.224	94,78	5,32

Tabel 1 menunjukkan kelompok data jumlah penduduk, rumah tangga, rasio elektrifikasi dan inflasi. Angka inflasi yang besar pada tahun 2013 yaitu 7,13% akan mempengaruhi daya beli masyarakat pada tahun berikutnya.

Tabel 2 Data statistik PDRB 1

Tahun	Produk Domestik Regional Bruto (juta rupiah)		
	Pertanian, Hutan dan Ikan	Pertambangan dan Penggalian	Industri Pengolahan
2010	16.737.610	2.614.130	107.806.560
2011	17.242.080	2.746.960	113.462.350
2012	17.793.380	2.745.740	118.846.200
2013	18.990.920	2.575.230	128.133.430
2014	19.456.950	2.677.280	130.305.900
2015	20.726.700	2.775.250	134.791.720

Tabel 3 Data statistik PDRB 2

Tahun	Produk Domestik Regional Bruto (juta rupiah)		
	Perdagangan dan Restoran	Angkutan dan Komunikasi	Keuangan dan Perusahaan
2010	40.608.220	27.503.090	9.119.760
2011	45.376.280	30.567.080	10.080.580
2012	49.156.560	34.082.860	11.075.030
2013	51.916.890	36.045.540	12.004.010
2014	55.256.310	40.027.380	12.698.140
2015	58.013.630	43.188.950	13.750.150

Tabel 4 Data statistik PDRB 3

Tahun	Produk Domestik Regional Bruto (juta rupiah)			
	Listrik, air dan gas	Konstruksi	Real Estate	Jasa-jasa
2010	4.330.040	21.686.190	20.528.890	15.546.910
2011	4.362.270	23.280.510	22.018.740	16.256.540
2012	4.504.720	25.805.840	23.804.670	16.907.310
2013	4.370.770	28.383.590	25.546.750	17.613.380
2014	4.728.450	31.636.470	27.697.290	18.896.350
2015	4.684.380	34.314.630	29.547.770	20.061.350

Data PDRB di atas mewakili variabel pertumbuhan ekonomi yang dibutuhkan untuk melakukan proyeksi kebutuhan energi listrik jangka panjang. Data PDRB yang telah dikelompokkan per lapangan usaha kemudian dimasukkan sebagai *input* proyeksi ke dalam program Seex microsoft excel.

2. Pengolahan data berdasarkan pengelompokan data Kelistrikan

Data kelistrikan yang diperoleh dari statistik PLN dikategorikan sesuai kebutuhan program Seex microsoft excel. Data kelistrikan dibagi menjadi data jumlah pelanggan, daya tersambung dan energi terjual. Data daya tersambung dinyatakan dengan satuan MVA dan data energi listrik terjual dinyatakan dengan satuan GWh.

Data kelistrikan dimasukkan ke dalam program *Simple econometric Simulation System* (Seex) pada *software* microsoft excel dengan pengelompokan data sebagai berikut.

Tabel 5 Data jumlah pelanggan

Tahun	Jumlah Pelanggan (pelanggan)			
	Rumah tangga	Industri	Komersial	Publik
2010	1.769.436	6.174	82.735	35.042
2011	1.856.615	6.453	87.808	45.600
2012	2.006.912	6.735	98.445	49.348
2013	1.981.982	6.662	123.315	47.654
2014	2.051.983	6.713	127.147	46.987
2015	2.760.359	6.326	128.443	59.703

Tabel 6 Data daya tersambung

Tahun	Daya Tersambung (MVA)			
	Rumah tangga	Industri	Komersial	Publik
2010	1.679,94	2.962,26	749,17	239,4
2011	1.841,76	3.407,06	900,61	283,5
2012	2.028,11	4.062,06	1.069,54	408,1
2013	2.654,91	3.746,86	1.161,22	432,1
2014	2.703,34	4.100,15	1.207,89	417,2
2015	2.846,67	4.878,45	1.446,21	433,8

Tabel 7 Data energi terjual

Tahun	Energi Listrik Terjual (GWh)			
	Rumah tangga	Industri	Komersial	Publik
2010	3.411,80	10.962,90	1.510,20	408,1
2011	3.680,90	11.471,60	1.930,80	598,5
2012	4.050,30	12.353,80	1.789,80	696,5
2013	4.467,50	12.793,90	1.471,80	819,2
2014	4.517,90	11.671,30	1.513,60	708,4
2015	4.370,20	11.645,60	2.147,50	778,2

Data kelistrikan seperti pada tabel di atas telah dibagi per kelompok pelanggan sesuai kebutuhan program *simple-E*. Data yang telah diolah kemudian dimasukkan sebagai *input* proyeksi untuk memproyeksikan kebutuhan energi listrik ke dalam program *Simple econometric Simulation System* (Seex) microsoft excel.

2.1.2 Pengolahan data logika fuzzy

Data-data yang telah didapat kemudian diolah sesuai kebutuhan *toolbox fuzzy* pada *software* MATLAB. Proyeksi menggunakan logika *fuzzy* menggunakan 2 variabel *input* dan 1 variabel *output*. Variabel *input* yang digunakan adalah jumlah penduduk dan PDRB. Variabel *output* yang digunakan adalah energi listrik terjual atau kebutuhan energi listrik.

Pengolahan data pada proyeksi menggunakan metode logika *fuzzy* terdiri dari 2 tahapan yaitu:

1. Menentukan prakiraan proyeksi menggunakan *trendline*.

Prakiraan proyeksi pada metode logika *fuzzy* dibutuhkan untuk mencari *range* data yang akan digunakan sebagai *input*. Metode yang digunakan untuk mencari prakiraan proyeksi pada penelitian ini adalah metode setengah rata-rata data genap. Prakiraan proyeksi dapat dicari dengan perhitungan sebagai berikut.

Tabel 8 *Trendline* setengah rata-rata

Tahun	Kebutuhan Daya	Kel	X	Total	AVG
2010	16.293,26		0		
2011	17.682,05	I	0,5	52.865,9	17.621,97
2012	18.890,59		1,5		
2013	19.552,53		2,5		
2014	18.411,43	II	3,5	56.905,13	18.968,38
2015	18.941,17		4,5		

$$Y = a + bX \tag{1}$$

$$a = AVG_1$$

$$b = \frac{(AVG_2 - AVG_1)}{2} \tag{2}$$

$$a = 17.621,97$$

$$b = (18.968,38 - 17.621,97)/2 = 673,7$$

Maka didapatkan persamaan,

$$Y = 17.621,97 + 673,7X \tag{3}$$

Contoh perhitungan,

$$\begin{aligned} Y &= 17.621,97 + 673,7X \\ &= 17.621,97 + 673,7(8,5) \\ &= 23.348,41 \end{aligned}$$

Keterangan :

Y = prakiraan proyeksi

X = konstanta

AVG<sub>1</sub> = rata-rata kelompok 1

AVG<sub>2</sub> = rata-rata kelompok 2

Kel = kelompok data

Pada metode setengah rata-rata data genap, data dengan n=6 akan dibagi menjadi 2 kelompok. Setelah itu dicari

total dan rata-rata dari masing-masing kelompok. Hasil rata-rata dari masing-masing kelompok data yaitu  $AVG_1$  dan  $AVG_2$  akan digunakan untuk mencari nilai  $b$ . Persamaan yang digunakan pada penelitian ini adalah  $Y=a+bX$  dengan  $a$  merupakan hasil rata-rata kelompok I (2010-2012) dan  $b$  merupakan hasil dari persamaan yang telah dijelaskan sebelumnya.

Nilai  $X$  pada persamaan  $Y=a+bX$  pada metode setengah rata-rata adalah  $0;0,5;1,5;2,5.....$ , dan seterusnya. Nilai  $X$  merupakan konstanta pada metode ini. Perhitungan dengan nilai  $X=8,5$  menghasilkan nilai  $23.348,41$ . Kita dapat menyimpulkan bahwa nilai  $23.481,41$  adalah nilai dari  $X = 8,5$ ;  $n = 10$  yang berarti nilai tersebut adalah nilai dari *trendline* tahun 2019. Berikut prakiraan proyeksi kebutuhan energi listrik yang didapatkan dengan menggunakan metode *trendline* setengah rata-rata.

Tabel 9 Variabel *input-output fuzzy*

Tahun	Jumlah Penduduk (jiwa)	PDRB (juta rupiah)	Energi Terjual (GWh)
2010	10.632.166,00	247.554.930,00	16.293,26
2011	11.005.518,00	265.999.980,00	17.682,05
2012	11.248.947,00	283.695.390,00	18.890,59
2013	11.452.491,00	300.212.960,00	19.552,53
2014	11.704.877,00	315.683.230,00	18.411,43
2015	11.955.243,00	332.307.088,00	18.941,17
2016	12.224.907,60	349.841.740,67	21.326,35
2017	12.445.486,13	366.008.148,18	22.001,01
2018	12.693.689,76	382.332.158,56	22.674,71
2019	12.949.197,66	398.974.760,90	23.348,41
2020	13.194.652,41	415.794.448,42	24.021,15
2021	13.439.008,18	432.325.711,44	24.695,81
2022	13.681.841,26	448.721.630,39	25.369,51

Tabel 9 menunjukkan hasil dari prakiraan proyeksi yang didapatkan dengan menggunakan metode *trendline* setengah rata-rata. Hasil prakiraan proyeksi kemudian digunakan menjadi data *input fuzzy*.

Data *input* berdasarkan tabel 9 berada diangka terkecil 16.293,26 GWh dan terbesar 25.369,51 GWh pada variabel kebutuhan energi listrik. Variabel PDRB menunjukkan angka terkecil 247.554.930 (Juta Rupiah) dan terbesar 448.721.630,39 (Juta Rupiah). Variabel jumlah penduduk menunjukkan angka terkecil 10.632.166,00 (jiwa) dan terbesar 13.681.841,26 (jiwa). Konversi data *input* menjadi *range input* dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut.

$$JPD = \left( \frac{\text{Jumlah Penduduk}}{1.000.000} \right) \quad (4)$$

$$= \left( \frac{10.632.166,00}{1.000.000} \right)$$

$$= 10,63$$

$$PDRB = \left( \frac{\text{PDRB}}{1.000.000} \right) \quad (5)$$

$$= \left( \frac{247.554.930,00}{1.000.000} \right)$$

$$= 247,55$$

$$KEL = \left( \frac{\text{Energi Terjual}}{100} \right) \quad (6)$$

$$= \left( \frac{16.293,26}{100} \right)$$

$$= 162,93$$

Keterangan :

JPD = Jumlah Penduduk

PDRB = Produk Domestik Regional Bruto

KEL = Kebutuhan Energi Listrik

Berdasarkan perhitungan sebelumnya dapat dilihat nilai data *input* pada tahun 2010 yang telah dikonversi menjadi *range input*. Data *input* jumlah penduduk menjadi 10,63, data *input* PDRB menjadi 247,55, dan data *input* kebutuhan energi listrik menjadi 162,93. Berikut hasil konversi data *input* menjadi *range input fuzzy*.

Tabel 10 *range input fuzzy*

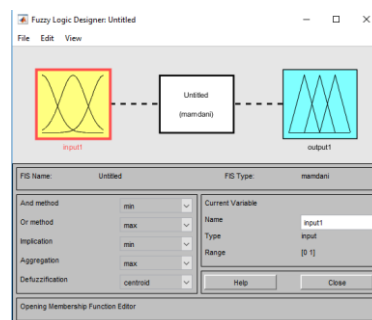
Tahun	Jumlah penduduk	PDRB	Kebutuhan Energi Listrik
2010	10,63	247,55	162,93
2011	11,05	265,99	176,82
2012	11,24	283,69	188,90
2013	11,45	300,21	195,52
2014	11,70	315,68	184,11
2015	11,95	332,30	189,41
2016	12,22	349,84	213,26
2017	12,44	366,01	220,01
2018	12,69	382,33	226,74
2019	12,94	398,97	233,48
2020	13,19	415,79	240,21
2021	13,43	432,32	246,95
2022	13,68	448,72	253,69

Tabel 10 dapat dilihat bahwa semua variabel *range input* ≤ 1000. Data *input* yang telah dikonversi kemudian dimasukkan sebagai *range input*. *Range input* inilah yang akan menjadi variabel *input* dan *output* pada proyeksi menggunakan metode logika *fuzzy*.

## 2.2 Membuat model proyeksi fuzzy

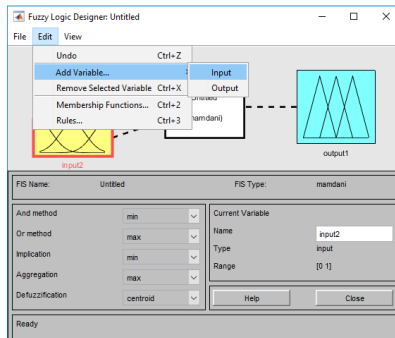
Proyeksi kebutuhan energi listrik metode logika *fuzzy* dilakukan dengan menggunakan *toolbox fuzzy* yang terdapat pada *software* MATLAB. Membuat model proyeksi pada *toolbox fuzzy* dapat dilakukan dengan langkah sebagai berikut.

### 1. Membuat variabel *input-output*



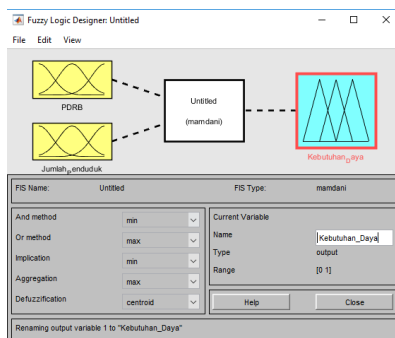
Gambar 2 *Toolbox fuzzy*

Dengan mengetikkan “fuzzy” pada lembar kerja MATLAB maka secara otomatis *toolbox fuzzy* akan muncul seperti pada gambar 2. Setelah menampilkan *toolbox fuzzy*, langkah selanjutnya membuat variabel *input output* seperti pada gambar 3.



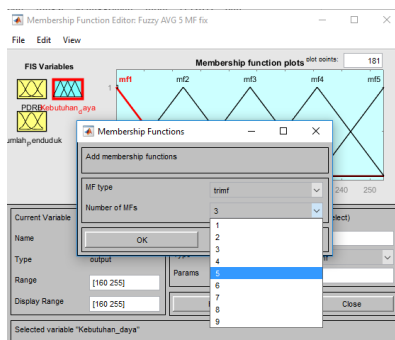
Gambar 3 *Toolbox fuzzy add variable*

Menu *edit* pada *menubar* di bagian atas *toolbox fuzzy* berisikan menu seperti pada gambar 3. Klik *edit* lalu pilih *Add Variable input/output* untuk menambahkan variabel, klik *edit* pilih *remove* untuk menghapus variabel. Penelitian ini menggunakan 2 variabel *input* dan 1 variabel *output* seperti pada gambar 4.



Gambar 4 *Toolbox fuzzy 2 variabel input 1 variabel output*

Nama variabel yang digunakan pada sistem dapat dirubah pada kolom *Name* di sebelah kanan bawah. Variabel *input<sub>1</sub>* dirubah menjadi PDRB lalu *input<sub>2</sub>* menjadi Jumlah penduduk. Kemudian variabel *output* dirubah menjadi kebutuhan daya. Setelah itu *double click* pada salah satu variabel maka akan muncul *toolbox* seperti pada gambar 5.



Gambar 5 *Toolbox fuzzy 5 membership function*

Untuk merubah jenis keanggotaan dan jumlah fungsi keanggotaan klik menu *edit* lalu pilih *Add MFs*. Penelitian ini menggunakan jenis keanggotaan segitiga dan 3 variasi fungsi keanggotaan (MF) yaitu 3 fungsi keanggotaan, 5 fungsi keanggotaan dan 7 fungsi keanggotaan.

Setelah merubah fungsi keanggotaan *input* (PDRB dan Jumlah\_Penduduk) dan fungsi keanggotaan *output* (Kebutuhan\_daya), tentukan *range* yang digunakan pada model proyeksi menggunakan metode logika *fuzzy*.

*Range* yang digunakan pada variabel *input* dan *output* sistem *fuzzy* adalah hasil dari perkiraan menggunakan *trendline* analisis seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya. Penggantian *range input* dapat dilakukan dengan merubah angka pada kolom *Range* di sebelah kiri bawah.



Gambar 6 *Membership function edit rules*

Setelah menentukan *range input* dan *output*, buat *rule fuzzy* yang akan digunakan. *Fuzzy rule* dapat dibuat dengan klik menu *edit* lalu pilih *rules* seperti pada gambar 6. Model proyeksi 5MF menggunakan 3 variabel dan 5 fungsi keanggotaan (MF). Jumlah *rule* yang akan terbentuk pada model proyeksi 5MF adalah 25 baris *rules*.

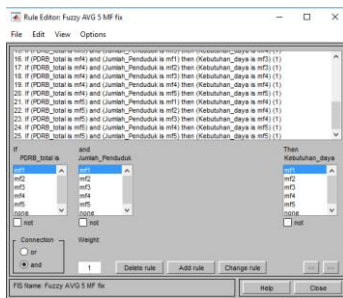
Pembentukan *rule* didasari dari logika dasar *if* (Jumlah Penduduk meningkat) *then* (kebutuhan daya meningkat) dan *if* (PDRB naik) *then* (kebutuhan daya naik). Berikut logika dasar yang digunakan pada model proyeksi metode logika *fuzzy* menggunakan variasi 5 MF.

Tabel 11 Logika dasar pembentukan *rule* (5MF)

	PDRB	SK	K	M	B	SB
JPD						
SK		SK	SK	K	M	B
K		SK	K	K	M	B
M		K	K	M	B	B
B		M	M	B	B	SB
SB		B	B	B	SB	SB

- Keterangan:  
 SK : sangat kecil  
 K : kecil  
 M : medium  
 B : besar  
 SB : sangat besar

Berikut *rules* yang terbentuk menggunakan logika dasar seperti pada tabel 10.



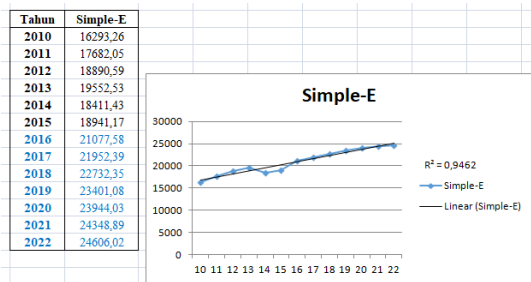
Gambar 7 Toolbox Fuzzy Rules Editor

Gambar 7 menunjukkan *rules* yang telah dibuat berdasarkan logika yang telah dijelaskan sebelumnya. *Rules* yang berjumlah 25 baris pada model proyeksi 5MF merupakan indikator bahwa pembentukan *rules* telah sesuai dengan logika dasar.

### 3. Hasil DAN Analisis

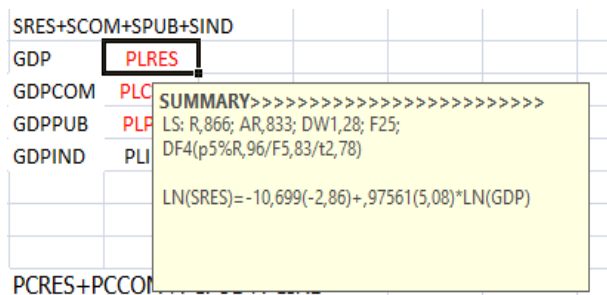
#### 3.1 Proyeksi Simple-E

Metode proyeksi *Simple-E* menggunakan data-data historis tahun 2010-2015 untuk mendapatkan hasil proyeksi tahun 2016-2022. Dilakukan tes uji *R-Squared*, D-W dan Uji T untuk mendapatkan korelasi antara variabel bebas dan variabel tidak bebas.



Gambar 8 Pengujian *R-Squared* hasil proyeksi *Simple-E*

Gambar 8 dapat dilihat bahwa nilai dari uji *R-Squared* menunjukkan nilai 0,946. Nilai 0,946 baik karena mendekati maksimum nilai *R-Squared* = 1 sehingga dapat dikatakan garis regresi sangat mendekati datanya.



Gambar 9 Pengujian koefisien model proyeksi *Simple-E*

Gambar di atas dapat dilihat bahwa nilai dari uji *R-Squared* menunjukkan angka 0,866. Nilai 0,866 cukup baik karena mendekati 0,90 sehingga dapat dikatakan garis regresi mendekati datanya.

Hasil uji *Durbin-Waston* menunjukkan nilai pengujian 1,28. Nilai 1,28 yang dihasilkan telah sesuai dengan standar hasil pengujian yang berada ( $1 < DW < 3$ ) maka nilai ini menunjukkan negatif *autokorelasi* pada nilai *residual* regresi tersebut.

Dari hasil uji T didapatkan nilai hasil pengujian sebesar [5,08]. Nilai parameter t hasil uji dianggap baik adalah apabila nilai tersebut  $\geq 2$ , artinya variabel bebas memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variabel tidak bebasnya. Berikut hasil proyeksi kebutuhan energi listrik dengan menggunakan metode *Simple Econometric* tahun 2016-2022.

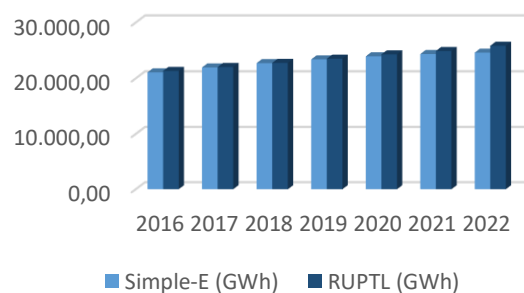
Tabel 12 Hasil proyeksi kebutuhan energi listrik *Simple-E*

Tahun	Kebutuhan Energi Listrik (GWh) <i>Simple-E</i>	RUPTL	Error (%)
2016	21.077,58	21.331,00	1,1
2017	21.952,39	22.037,00	0,3
2018	22.732,35	22.776,00	0,1
2019	23.401,08	23.519,00	0,5
2020	23.944,03	24.297,00	1,2
2021	24.348,89	24.901,00	2,9
2022	24.606,02	25.831,00	4,7

Tabel 12 di atas menunjukkan hasil proyeksi menggunakan metode *Simple Econometric* memiliki nilai yang tidak terlalu jauh dengan RUPTL. *Error* terkecil berada ditahun 2018 dengan nilai 0,1% dan *error* terbesar berada ditahun 2022 dengan nilai 4,7%.

Berdasarkan tabel 12 didapat rata-rata *error* proyeksi 1,54%. Nilai rata-rata *error* 1,54% sudah sangat baik, sehingga hasil proyeksi kebutuhan energi listrik menggunakan metode *Simple Econometric* sudah bisa dikatakan baik.

Perbandingan hasil proyeksi kebutuhan energi listrik dengan menggunakan metode *Simple Econometric* terhadap RUPTL bisa disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut.



Gambar 10 Grafik perbandingan hasil proyeksi *Simple-E* dengan RUPTL

Gambar di atas menunjukkan hasil proyeksi menggunakan metode *Simple Econometric* memiliki selisih yang sangat kecil terhadap RUPTL sudah sesuai dengan hasil proyeksi yang ada pada tabel 12. Dengan selisih yang kecil maka *error* proyeksi yang dihasilkan juga kecil seperti yang ditunjukkan pada table 12 di atas.

### 3.2 Proyeksi logika fuzzy

#### 3.2.1 Validasi proyeksi logika fuzzy

Validasi proyeksi pada metode logika *fuzzy* diperlukan untuk menentukan apakah model proyeksi yang dibuat menggunakan *toolbox fuzzy* sudah layak digunakan untuk melakukan proyeksi. Berikut hasil validasi proyeksi dengan variasi 3 fungsi keanggotaan, 5 fungsi keanggotaan, dan 7 fungsi keanggotaan.

Tabel 13 Validasi model proyeksi logika fuzzy

Tahun	Kebutuhan Energi Listrik (GWh)			
	Data aktual	3MF	5MF	7MF
2010	16.293,26	17.200	16.800	16.500
2011	17.682,05	17.300	17.900	17.400
2012	18.890,59	19.200	18.300	18.100
2013	19.552,53	20.000	18.600	18.600
2014	18.411,43	20.500	19.400	19.600
2015	18.941,17	20.800	19.900	20.200

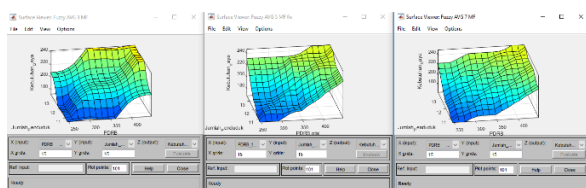
Tabel 14 Error validasi model proyeksi logika fuzzy

Tahun	Error Validasi (%)		
	3MF	5MF	7MF
2010	5,5	3,1	1,2
2011	2,1	1,2	1,5
2012	1,6	3,1	4,1
2013	2,2	4,8	4,8
2014	11,3	4,9	6,4
2015	9,8	5,0	6,6
Rata-rata	5,41	3,68	4,10

Berdasarkan nilai *error* pada tabel di atas didapatkan rata-rata *error* pada proyeksi *fuzzy* 3MF bernilai 5,41%, 5MF bernilai 3,68%, dan 7MF bernilai 4,1%. Dengan nilai *error* 3,68% menjadikan model proyeksi *fuzzy* 5MF sebagai model proyeksi yang paling valid.

#### 3.2.2 Hasil proyeksi logika fuzzy

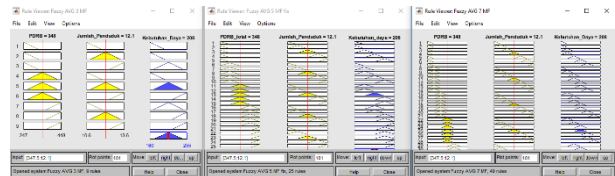
Proyeksi menggunakan metode logika *fuzzy* dilakukan dengan menggunakan 3 variasi *membership function* (MF). Berikut hasil *surface* dari 3 variasi model proyeksi yang dilakukan.



Gambar 11 Surface Viewer proyeksi fuzzy logic

Gambar di atas menunjukkan *surface* hasil proyeksi logika *fuzzy* dengan variasi fungsi keanggotaan 3MF, 5MF dan 7MF. Dengan melihat hasil *surface output* dapat dilihat karakteristik dari proyeksi yaitu linear naik terhadap data historis.

*Surface* dengan menggunakan 3MF terlihat berbeda dengan *surface* 5MF dan 7MF. Perbedaan ini disebabkan karena kurangnya tingkat ketelitian dari model proyeksi dengan menggunakan 3 fungsi keanggotaan (MF)



Gambar 12 Rules Viewer proyeksi fuzzy logic

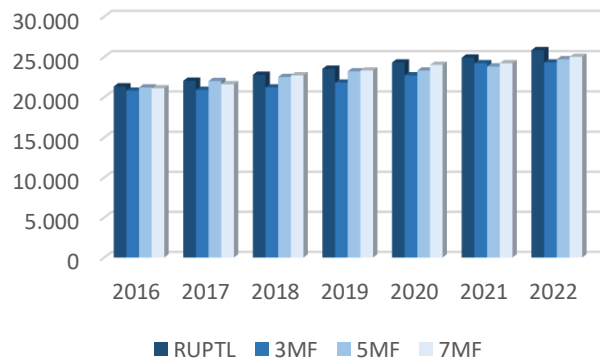
Gambar di atas menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap *output rules* pada *Rule Viewer*. Semakin banyak fungsi keanggotaan (MF) yang digunakan maka model proyeksi akan semakin teliti.

Fungsi keanggotaan membagi *range input* menjadi beberapa kategori berdasarkan fungsi keanggotaan yang digunakan. Berikut hasil proyeksi metode logika *fuzzy*.

Tabel 15 Hasil Proyeksi kebutuhan energi listrik logika fuzzy

Tahun	RUPTL	3MF	5MF	7MF
2016	21.331	20.800	21.200	21.100
2017	22.037	20.900	22.000	21.600
2018	22.776	21.200	22.500	22.700
2019	23.519	21.800	23.200	23.300
2020	24.297	22.700	23.300	24.000
2021	24.901	24.200	23.800	24.200
2022	25.831	24.300	24.700	25.000

Tabel 15 di atas menunjukkan hasil proyeksi logika *fuzzy* memiliki selisih yang kecil terhadap RUPTL. Hasil proyeksi dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut.



Gambar 13 Grafik perbandingan hasil proyeksi fuzzy logic dengan RUPTL

Gambar 13 menunjukkan perbedaan selisih yang sedikit antara hasil proyeksi logika *fuzzy* model proyeksi 3MF, 5MF dan 7MF terhadap RUPTL telah sesuai dengan tabel 15. Selisih antara hasil proyeksi dengan RUPTL bisa dianggap sebagai *error* proyeksi.

Hasil proyeksi dengan metode logika *fuzzy* secara garis besar memiliki nilai *error* yang kecil. Nilai *error* terkecil berada ditahun 2017 model proyeksi 5MF dengan angka 0,1% dan terbesar ditahun 2019 model proyeksi 3MF dengan angka 7,3%.

Tabel 16 menunjukkan *range error* untuk masing-masing model proyeksi 3MF, 5MF dan 7MF adalah 2,3% - 7,3%; 0,1% - 4,4% dan 0,3% - 3,2%.

Berikut *error* proyeksi berdasarkan tabel 15 dan gambar 13.

**Tabel 16** *Error* proyeksi kebutuhan energi listrik logika *fuzzy*

Tahun	Error Proyeksi (%)		
	3MF	5MF	7MF
2016	2,3	0,5	1,07
2017	5,1	0,1	1,9
2018	6,9	1,2	0,3
2019	7,3	1,3	0,9
2020	6,5	4,1	1,2
2021	2,8	4,4	2,8
2022	5,9	4,3	3,2
Rata-rata	5,25	2,27	1,62

Dengan mengacu pada rata-rata *error* hasil proyeksi masing-masing model proyeksi yang bernilai 5,25%, 2,27%, dan 1,62% terlihat bahwa model proyeksi *fuzzy logic* 7MF memiliki *output* hasil proyeksi yang paling baik. Berdasarkan rata-rata *error* dan nilai *error* per tahun yang terlihat pada tabel 16, semakin banyak fungsi keanggotaan yang digunakan dengan *rules* yang tepat maka akan mendapatkan ketelitian dan nilai proyeksi yang lebih baik.

### 3.3. Perbandingan hasil proyeksi *simple-E* dan logika *fuzzy*

Hasil proyeksi kebutuhan energi listrik dengan menggunakan metode *Simple Econometric* kemudian dibandingkan dengan metode logika *fuzzy*. Dengan membandingkan antara hasil proyeksi dan nilai *error* dapat dilihat metode yang lebih optimal dan efisien.

**Tabel 17** Perbandingan hasil proyeksi kebutuhan energi listrik *Simple-E* dan *Fuzzy Logic* terhadap RUPTL

Tahun	Kebutuhan Energi Listrik (GWh)		
	Simple-E	Fuzzy	RUPTL
2016	21077,58	21.200,00	21.331,00
2017	21952,39	22.000,00	22.037,00
2018	22732,35	22.500,00	22.776,00
2019	23401,08	23.200,00	23.519,00
2020	23944,03	23.300,00	24.297,00
2021	24348,89	23.800,00	24.901,00
2022	24606,02	24.700,00	25.831,00

Tabel 17 menunjukkan selisih terkecil proyeksi metode *Simple-E* pada tahun 2018 yaitu 30,65 GWh dan metode *fuzzy* pada tahun 2017 yaitu 37,0 GWh. Selisih terbesar metode *Simple-E* berada pada tahun 2022 yaitu 1.224,98 GWh dan metode logika *fuzzy* pada tahun 2021 yaitu 1.101,00 GWh.

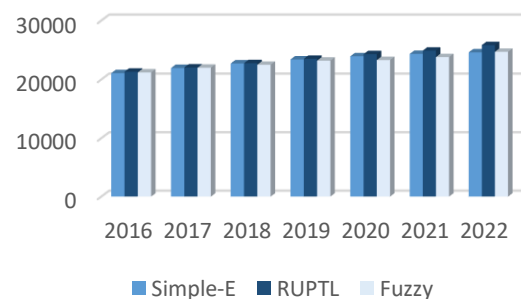
Berikut *error* proyeksi kebutuhan energi listrik dengan RUPTL metode *Simple-E* dan metode logika *Fuzzy*.

**Tabel 18** Perbandingan *error* proyeksi *simple-E* dan logika *Fuzzy*

Tahun	Error Proyeksi (%)	
	Simple-E	Fuzzy
2016	1,1	0,5
2017	0,3	0,1
2018	0,1	1,2
2019	0,5	1,3
2020	1,2	4,1
2021	2,9	4,4
2022	4,7	4,3
Rata-rata	1,54	2,27

Hasil proyeksi kebutuhan energi listrik menggunakan metode *Simple-E* tahun 2016 – 2022 menunjukkan *error* kurang lebih 0,1% - 4,7% dengan rata-rata *error* 1,54%. Hasil Proyeksi kebutuhan energi listrik menggunakan metode logika *fuzzy* tahun 2016-2022 menunjukkan hasil *error* kurang lebih 0,1% - 4,4% dengan rata-rata *error* 2,27%. Kedua metode proyeksi baik metode *Simple Econometric* maupun metode logika *fuzzy* sudah menunjukkan hasil yang baik karena rata-rata *error* proyeksi sangat kecil.

Perbandingan hasil proyeksi kebutuhan energi listrik metode *Simple Econometric* dengan logika *fuzzy* di atas dapat disajikan dalam bentuk grafik perbandingan hasil sebagai berikut



**Gambar 14** Grafik perbandingan hasil proyeksi logika *fuzzy* dengan *simple-E* terhadap RUPTL

Berdasarkan analisa terhadap hasil proyeksi dan *error* proyeksi, proyeksi kebutuhan energi listrik menggunakan metode *Simple-E* memiliki tingkat keakuratan yang lebih baik dari metode proyeksi logika *fuzzy*. Hal ini diindikasikan dengan nilai *error* yang lebih kecil yaitu



1,54%, sedangkan metode logika *fuzzy* memiliki nilai *error* 2,92%.

Tingkat keakuratan metode logika *fuzzy* yang bernilai 97,08% masih berada di bawah tingkat keakuratan metode *Simple-E* yaitu 98,46%. Perbedaan nilai keakuratan proyeksi disebabkan karena perbedaan jumlah variabel *input* yang digunakan antara metode proyeksi *simple econometric* dengan metode proyeksi logika *fuzzy*.

#### **4. Kesimpulan**

Proyeksi kebutuhan energi listrik metode *simple-E* menghasilkan nilai keakuratan proyeksi sebesar 98,46% dan metode logika *fuzzy* sebesar 97,08%. Validasi proyeksi menggunakan metode logika *fuzzy* menunjukkan model proyeksi 5MF memiliki nilai *error* terkecil terhadap data aktual yaitu 3,68%. Hasil proyeksi metode logika *fuzzy* 3MF, 5MF dan 7MF menghasilkan *error* proyeksi masing-masing sebesar 5,25%, 2,27% dan 1,62%. Proyeksi menggunakan model proyeksi dengan lebih banyak fungsi keanggotaan akan memiliki nilai *error* yang lebih kecil karena tingkat ketelitian model proyeksi meningkat seiring jumlah fungsi keanggotaan yang digunakan. Penggunaan jumlah fungsi keanggotaan dan pembentukan *rules* yang tepat akan membentuk sebuah model proyeksi *fuzzy logic* yang optimal dan valid.

#### **Referensi**

- [1] R. Wadyomukti, "Analisis Perbandingan Metode DKL 3.2 dengan Metode Simple Econometric," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2010.
- [2] D. Marsudi, "Operasi Sistem Tenaga Listrik," Balai Penerbit & Humas ISTN, Jakarta, 1990.
- [3] Spyros Makridakis, Steven C. Wheelwright, Victor E Mc Gee, "Metode dan Aplikasi Peramalan," Jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1992.
- [4] P. G. Allen dan R. Fildes, "Econometric Forecasting ,Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners," University of Massachusetts, 2000.
- [5] Dewi Sri Kusuma, " Analisis Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab," Graha Ilmu, Yogyakarta, 2002.
- [6] Linawati, Sidemen M, Sari Harati Rukmi, " Peramalan Beban Listrik Harian Dengan Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System," Universitas Udayana, Bali, 2014.
- [7] Konica Jorida Ajce, "Long Term Load Forecasting Based Fuzzy Logic Cases of Albania," University of Tirana, Tirana, Albania, 2017.
- [8] Budi Septiawan Rachmad. "Perbandingan Metode Setengah Rata-rata dan Metode Kuadrat Terkecil Untuk Peramalan Pendapatan Perusahaan di BLU Terminal Mangkang Semarang," Universitas Dian Nuswantoro, Semarang, 2016.
- [9] Data Statistik Tahun 2010-2015, PT. PLN (Persero).
- [10] Rencana Umum Perencanaan Tenaga Listrik 2016-2025, PT PLN(Persero), 2015.
- [11] Data kependudukan dan energi tahun 2010-2015 Badan Pusat Statistik (BPS) provinsi Banten.