

ANALISIS PERBANDINGAN METODE LOGIKA FUZZY DAN LOGIKA FUZZY CLUSTERING PADA PROYEKSI KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK DI INDONESIA SAMPAI TAHUN 2025

Jenggo Dwyana Prasaja^{*)}, Hermawan, and Susatyo Handoko

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Soedharto, S.H., Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: jenggodwyanaprasaja@gmail.com

Abstrak

Dalam proses perencanaan pengembangan sistem tenaga listrik di Indonesia diperlukan adanya suatu proyeksi kebutuhan energi listrik di masa yang akan datang. Hasil proyeksi 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 di Indonesia. Pada penelitian ini, untuk optimalisasi penyediaan energi listrik di Indonesia diperlukan suatu proyeksi kebutuhan energi listrik. Metode proyeksi yang digunakan adalah logika *fuzzy* dan logika *fuzzy clustering* dengan *fuzzy inference system* tipe *mamdani*. Proyeksi ini menggunakan data historis/aktual yang diakumulasikan dalam beberapa periode waktu, yaitu dari tahun 2009 sampai 2014. Hasil proyeksi dengan menggunakan logika *fuzzy* menunjukkan bahwa kebutuhan energi listrik di Indonesia pada tahun 2025 sebesar 612.519 GWh dengan kenaikan rata-rata setiap tahunnya sebesar 9,22%. Sedangkan hasil proyeksi yang dilakukan oleh logika *fuzzy clustering* yaitu sebesar 569.256 GWh dengan kenaikan rata-rata setiap tahunnya sebesar 7,82%. Hasil proyeksi tersebut sudah mendekati hasil proyeksi pada dokumen RUKN 2015-2034. Nilai rata-rata *error* terhadap proyeksi pada dokumen RUKN 2015-2034 adalah sebesar 8,48% untuk logika *fuzzy* dan 4,31% untuk logika *fuzzy clustering*.

Kata kunci: proyeksi kebutuhan energi listrik, *fuzzy*, *fuzzy clustering*, *mamdani*

Abstract

In the process of electricity power system development planning in Indonesia, it is necessary for having an electricity demand forecasting in the future. The forecasting results having been obtained can be considered by policy makers to formulate the actions will be taken for the future. It aims to achieve the optimization during the process of supplying electricity energy in Indonesia. In this research, to optimize the electricity supply in Indonesia, having an electricity demand forecasting was needed. Forecasting methods used were fuzzy logic and fuzzy logic clustering with fuzzy inference system of *mamdani* type. The forecasting used historical/actual data having been accumulated to several time periods from 2009 to 2014. The result of forecasting by using fuzzy logic showed that the electricity energy demand by Indonesia in 2025 amounted to 612,519 GWh in which annual average growth rate was 9.22%. While the result of forecasting made by using fuzzy logic clustering amounted to 569,256 GWh in which annual average growth rate was of 7.82%. The forecasting result is close to document RUKN's result. The error average to the document RUKN 2015-2034 is 8.48% to fuzzy logic and 4.31% to fuzzy logic clustering.

Key words: electricity demand forecasting, fuzzy, fuzzy clustering, mamdani

1. Pendahuluan

Dalam proses perencanaan pengembangan sistem tenaga listrik di Indonesia diperlukan adanya suatu proyeksi kebutuhan energi listrik di masa yang akan datang. Hasil proyeksi 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 di Indonesia.

Sasaran pemanfaatan energi primer dan energi final antara lain tercapainya pemanfaatan listrik per kapita pada tahun 2025 sekitar 2.161 kWh. Hal ini berdasarkan pada Proyeksi Nasional RUKN 2015-2034 yang menjadi acuan utama bagi sektor ketenagalistrikan[1].

Metode proyeksi untuk kebutuhan tenaga listrik saat sekarang ini telah berkembang dengan pesat. Sistem cerdas (*artificial intelligence*) merupakan suatu sistem yang paling banyak diaplikasikan oleh para pakar untuk memproyeksikan kebutuhan tenaga listrik untuk masa yang akan datang. Logika *fuzzy* merupakan salah satu sistem cerdas yang dapat digunakan untuk proyeksi tersebut[2].

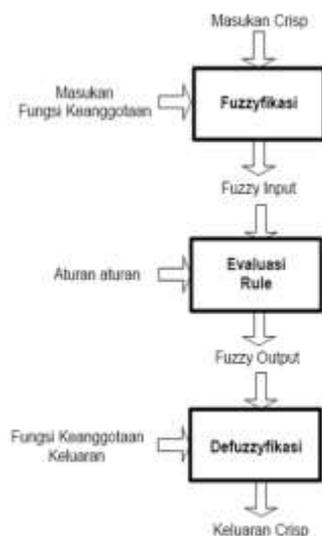
Tujuan yang hendak dicapai dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Memproyeksikan besarnya kebutuhan energi listrik di Indonesia dari tahun 2015 sampai tahun 2025 menggunakan metode logika *fuzzy* dan logika *fuzzy clustering*.
2. Membandingkan hasil proyeksi kebutuhan energi listrik di Indonesia menggunakan metode logika *fuzzy* dan logika *fuzzy clustering*.
3. Menganalisis hasil perhitungan tambahan daya pembangkit di Indonesia dari tahun 2015 sampai tahun 2025.

2. Metode

2.1. Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* adalah suatu cara untuk memetakan suatu ruang masukan ke dalam suatu ruang output. Logika *fuzzy* ditemukan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh dari Universitas California di Barkeley pada tahun 1965. Sebelum ditemukannya teori logika *fuzzy* (*fuzzy logic*), dikenal sebuah logika tegas (*crisp logic*) yang memiliki nilai benar atau salah secara tegas. Sebaliknya logika *fuzzy* merupakan sebuah logika yang memiliki kekaburan atau kesamaran (*fuzzyness*) antara benar atau salah. Dalam teori logika *fuzzy*, sebuah nilai bisa bernilai benar atau salah secara bersamaan namun berapa besar kebenaran atau kesalahan suatu nilai tergantung kepada bobot/derajat keanggotaan yang dimilikinya.



Gambar 1. Tahapan Operasional Logika Fuzzy

2.2. Logika Fuzzy Clustering

Fuzzy clustering adalah salah satu teknik untuk menentukan *Cluster* optimal dalam suatu ruang *vektor* yang didasarkan pada bentuk normal *euclidian* untuk jarak antar vektor. *Fuzzy clustering* sangat berguna bagi pemodelan *fuzzy* terutama dalam mengidentifikasi aturan-aturan *fuzzy*. Metode *clustering* merupakan pengelompokan data beserta parameternya dalam kelompok-kelompok sesuai kecenderungan sifat dari masing-masing data tersebut (kesamaan sifat).

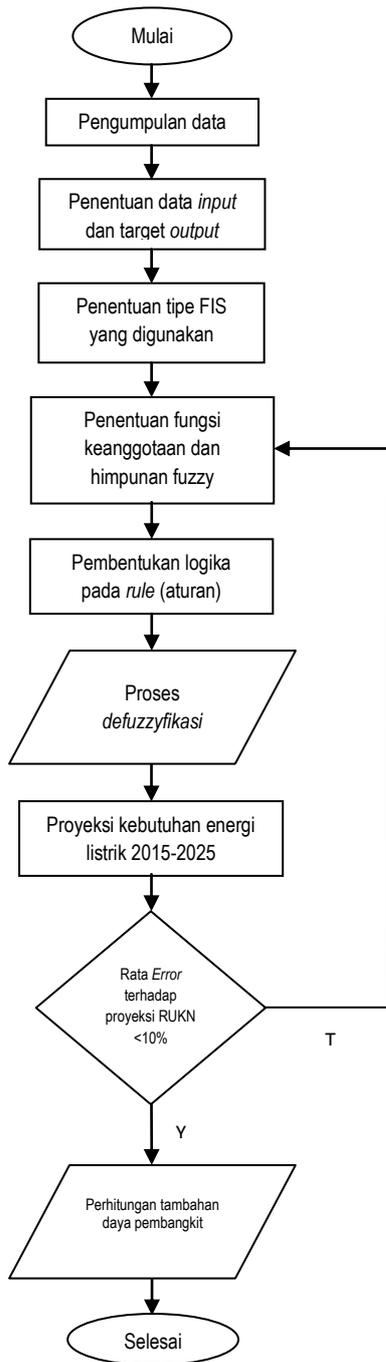
Fuzzy C-Means (FCM) dikenalkan pertama kali oleh Jim Bezdek pada tahun 1981 yang merupakan salah satu metode *clustering* menggunakan model pengelompokan *fuzzy* sehingga data dapat menjadi anggota dari semua kelas atau *cluster* dengan derajat atau tingkat keanggotaan yang berbeda antara 0 hingga 1.

Konsep dari *fuzzy c-means* pertama kali adalah menentukan pusat *cluster*, yang akan menandai lokasi rata-rata untuk tiap-tiap *cluster*. Pada kondisi awal, pusat *cluster* ini masih belum akurat. Tiap-tiap titik data memiliki derajat keanggotaan untuk tiap-tiap *cluster*. Dengan cara memperbaiki pusat *cluster* dan derajat keanggotaan tiap-tiap titik data secara berulang, maka akan dapat dilihat bahwa pusat *cluster* akan bergerak menuju lokasi yang tepat. Perulangan ini didasarkan pada minimasi fungsi obyektif yang menggambarkan jarak dari titik data yang diberikan ke pusat *cluster* yang terbobot oleh derajat keanggotaan titik data tersebut.

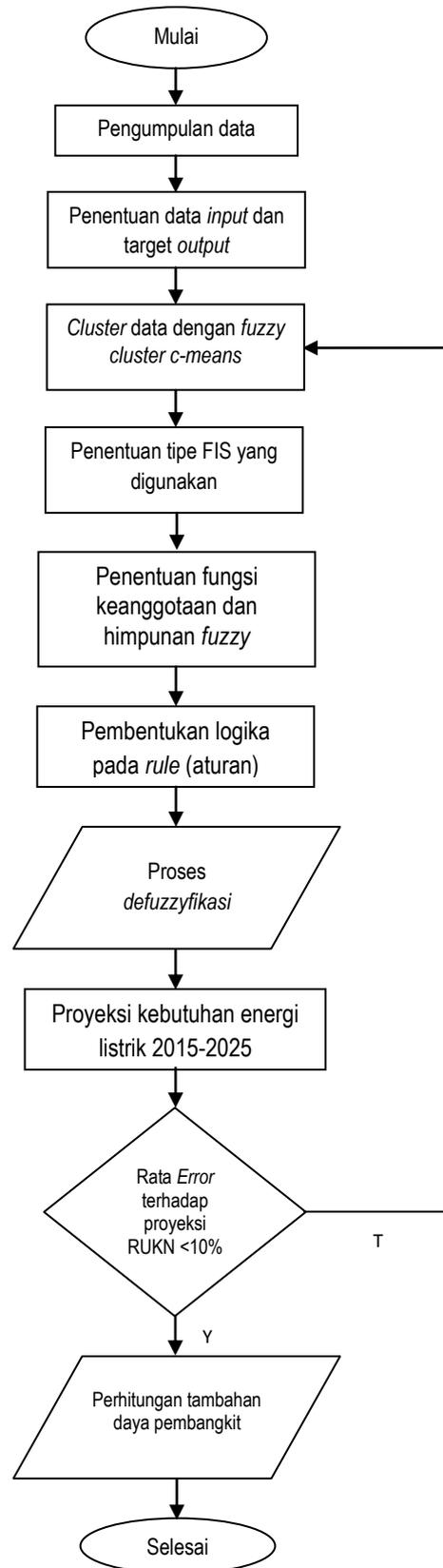
Output dari *fuzzy c-means* bukan merupakan deretan pusat *cluster* dan beberapa derajat keanggotaan untuk tiap-tiap titik data. Informasi ini dapat digunakan untuk membangun suatu *fuzzy inference system*[3].

2.4. Flowchart

Secara umum, langkah-langkah proyeksi kebutuhan energi listrik dengan menggunakan logika *fuzzy* dan logika *fuzzy clustering* dapat dilihat pada diagram alir berikut:



Gambar 2. Diagram alir metode logika fuzzy



Gambar 3. Diagram alir metode logika fuzzy clustering

Tabel 1. Data aktual dari tahun 2009 sampai 2014

Tahun	Jumlah Pelanggan per Sektor				Populasi (10 ³ jiwa)	Rasio Elektrifikasi (%)	Pertumbuhan Ekonomi (%)	Konsumsi Energi (GWh)
	Rumah Tangga	Industri	Bisnis	Umum				
2009	37.099.830	47.900	1.879.429	1.150.042	234.962,7	66,28	4,63	151.334
2010	39.324.520	48.675	1.912.150	1.150.042	238.518,8	67,15	6,22	165.969
2011	42.577.542	50.365	2.049.361	1.217.877	241.990,7	72,95	6,49	178.279
2012	46.219.780	52.661	2.218.342	1.304.466	245.425,2	76,56	6,26	194.289
2013	50.116.127	55.546	2.418.431	1.406.104	248.818,1	80,51	5,78	208.935
2014	53.309.325	58.350	2.626.160	1.499.399	252.164,8	84,35	5,5	221.296

2.5. Pengumpulan Data Historis/Aktual

Tabel 1 menunjukkan data-data yang berkaitan dengan faktor-faktor proyeksi. Data dikelompokkan menjadi *input* dan *output*, dimana ada tujuh data yang digunakan sebagai data *input* yaitu pelanggan PLN jenis rumah tangga, industri, bisnis, umum, jumlah penduduk/populasi, rasio elektrifikasi, dan pertumbuhan ekonomi. Sedangkan data *output* berupa konsumsi energi listrik. Untuk melakukan proyeksi 11 tahun ke depan, tentunya semesta pembicaraan untuk masing-masing variabel *input* dan *output* tidak diketahui dengan pasti (*uncertainty*). Oleh karena itu, penulis telah mendapatkan nilai maksimal dengan menggunakan fungsi *trendline* pada *Microsoft Excel 2010* yang digunakan untuk memproyeksikan kebutuhan energi listrik di Indonesia. Dalam melakukan proyeksi kebutuhan energi listrik dengan logika *fuzzy* maupun logika *fuzzy clustering*, *input* merupakan proyeksi data di masa yang akan datang dengan melihat kecenderungan perkembangan data pada masa lalu. Proyeksi data *input* untuk tahun 2015 sampai tahun 2025 dapat dilakukan dengan menggunakan fasilitas *trendline* pada *Microsoft Excel 2010*.

3. Hasil dan Analisis

3.1. Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik Menggunakan Logika Fuzzy

Penentuan daerah irisan dan jenis kurva fungsi keanggotaan dilakukan dengan menggunakan sistem *trial and error*. Sistem *trial and error* ini dilakukan hingga sistem mendapatkan daerah irisan dan kurva yang terbaik untuk melakukan proyeksi.

3.1.1. Pembentukan Fungsi Keanggotaan (Membership Function)

Pelanggan PLN jenis rumah tangga, industri, bisnis, umum, serta jumlah penduduk/populasi, rasio elektrifikasi, pertumbuhan ekonomi dijadikan sebagai *input* proyeksi, sedangkan konsumsi energi dijadikan sebagai *output*. FIS yang digunakan adalah tipe Mamdani. Masing-masing variabel tersebut memiliki himpunan variabel bahasanya (*fuzzy set*) yang direpresentasikan dalam bentuk fungsi keanggotaan (*membership function*) segitiga.

Tabel 2. Variabel himpunan fuzzy

Fungsi	Variabel	Himpunan Fuzzy	Semesta Pembicaraan	Domain
Input	Rumah Tangga	mf1	564,7 – 899,2	230,2 – 899,1
		mf2		
Input	Industri	mf1	598,1 – 812,9	383,3 – 812,9
		mf2		
Input	Bisnis	mf1	272,4 – 427,3	117,4 – 427,3
		mf2		
Input	Umum	mf1	154,5 – 228,8	80,17 – 228,9
		mf2		
Input	Populasi	mf1	255,8 – 290,2	221,4 – 290,2
		mf2		
Input	Rasio Elektrifikasi	mf1	88,05 – 100	84,07 – 92,03
		mf2		88,05 – 96,02
		mf3		92,03 – 100
		mf4		96,02 – 104
Input	Pertumbuhan Ekonomi	mf1	6,09 – 6,89	5,29 – 6,89
		mf2		6,09 – 7,69
Output	Konsumsi Energi Listrik	mf1	235,9 – 632,9	169,7 – 302,1
		mf2		235,9 – 368,2
		mf3		302,1 – 434,4
		mf4		368,2 – 500,6
		mf5		434,4 – 566,8
		mf6		500,6 – 632,9
		mf7		568 – 700

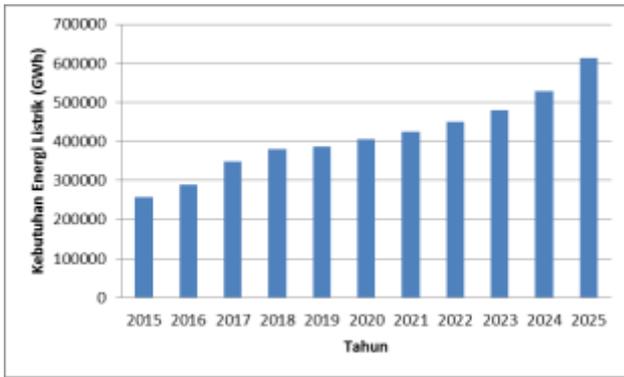
3.1.2. Pembentukan Aturan atau Rule

Dengan memperhatikan hubungan antara berbagai *input* terhadap *output*, maka dapat dibuat aturan-aturan (*rule*) untuk proyeksi setiap tahun. Maka didapatkanlah aturan (*rule*) sebanyak 8 aturan.

Tabel 3. Hasil proyeksi logika fuzzy

Tahun	Kebutuhan Energi Listrik (GWh)
2015	256.670
2016	289.961
2017	348.224
2018	379.655
2019	387.287
2020	405.546
2021	425.499
2022	449.316
2023	480.873
2024	528.053
2025	612.519

Berdasarkan Tabel 3, dapat dibuat grafik proyeksi kebutuhan energi listrik dengan logika *fuzzy* sebagai berikut.



Gambar 4. Grafik hasil proyeksi dengan logika fuzzy

Pada Gambar 4, hasil proyeksi kebutuhan energi listrik dengan logika fuzzy mengalami kenaikan yaitu dari 256.670 GWh pada tahun 2015 menjadi sebesar 612.519 GWh pada tahun 2025. Terjadi peningkatan kebutuhan energi listrik sebesar 355.849 GWh dengan kenaikan rata-rata setiap tahunnya sebesar 9,22%.

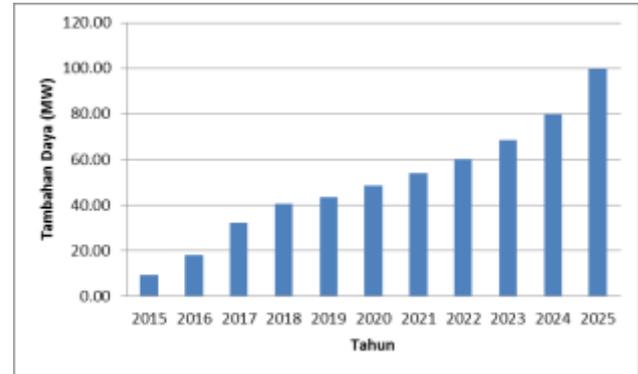
Setelah mendapatkan hasil proyeksi kebutuhan energi listrik pada tahun 2015 hingga tahun 2025 dengan logika fuzzy clustering, maka perhitungan energi produksi, beban puncak, reserve margin, kebutuhan daya pembangkit, dan tambahan daya pembangkit juga diproyeksikan pada tahun 2015 hingga tahun 2025.

Tabel 4. Hasil perhitungan tambahan daya pembangkit

Tahun	Energi Produksi (GWh)	Beban Puncak (GW)	Reserve Margin (GW)	Kebutuhan Daya Pembangkit (GW)	Tambahan Daya Pembangkit (GW)
2015	295.023	43,01	15,05	58,07	9,20
2016	333.288	48,59	17,01	65,60	17,96
2017	399.797	58,29	20,40	78,69	32,24
2018	435.384	63,48	22,22	85,69	40,40
2019	444.136	64,75	22,66	87,41	43,26
2020	464.543	67,73	23,70	91,43	48,38
2021	487.399	71,06	24,87	95,93	53,95
2022	514.091	74,95	26,23	101,18	60,26
2023	550.197	80,21	28,08	108,29	68,39
2024	603.489	87,98	30,79	118,78	79,87
2025	700.022	102,06	35,72	137,78	99,84

Berdasarkan Tabel 4, dapat dibuat grafik tambahan daya pembangkit sebagai berikut.

Gambar 5 menunjukkan bahwa kebutuhan tambahan daya pembangkit pada setiap tahun selalu meningkat dari sebesar 9,2 GW pada tahun 2015 hingga sebesar 99,84 GW pada tahun 2025. Kebutuhan tambahan daya pembangkit rata-rata setiap tahunnya sebesar 9,06 GW.



Gambar 5. Grafik tambahan daya pembangkit berdasarkan proyeksi dengan logika fuzzy

3.2. Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik Menggunakan Logika Fuzzy Clustering

Data input dan target output dicluster dengan metoda fuzzy cluster c-means untuk menentukan nilai keanggotaan masing-masing data. Pengelompokan (clustering) dilakukan menggunakan fungsi yang telah ada pada software Matlab yaitu fungsi genfis3.

3.2.1. Pembentukan Fungsi Keanggotaan (Membership Function)

Pelanggan PLN jenis rumah tangga, industri, bisnis, umum, serta jumlah penduduk/populasi, rasio elektrifikasi, dan pertumbuhan ekonomi yang telah dicluster dijadikan sebagai input proyeksi, sedangkan konsumsi energi dijadikan sebagai output. FIS yang digunakan adalah tipe Mamdani. Masing-masing variabel tersebut memiliki himpunan variabel bahasanya (fuzzy set) yang direpresentasikan dalam bentuk fungsi keanggotaan (membership function) gauss.

Tabel 5. Variabel himpunan fuzzy clustering

Fungsi	Variabel	Himpunan Fuzzy	Semesta Pembicaraan	Domain
Input	Rumah Tangga	in1cluster1	564,7 – 899,2	42,06 – 570,6
		in1cluster2		41,96 – 898,9
		in1cluster3		26,87 – 765,8
		in1cluster4		32,5 – 626,6
		in1cluster5		35,43 – 862,5
		in1cluster6		29,11 – 664,7
		in1cluster7		26,47 – 732
		in1cluster8		28,86 – 805,1
		in1cluster9		27,7 – 698,5
Input	Industri	in2cluster1	598,1 – 812,9	27 – 601,9
		in2cluster2		26,94 – 812,7
		in2cluster3		17,25 – 727,2
		in2cluster4		20,87 – 637,8
		in2cluster5		22,75 – 789,3
		in2cluster6		18,69 – 662,3
		in2cluster7		17 – 705,5
		in2cluster8		18,53 – 752,4
		in2cluster9		17,78 – 684
Input	Bisnis	in3cluster1	272,4 – 427,3	19,48 – 275,1
		in3cluster2		19,43 – 427,1
		in3cluster3		12,44 – 365,5
		in3cluster4		15,05 – 301
		in3cluster5		16,41 – 410,3
		in3cluster6		13,48 – 318,7
		in3cluster7		12,26 – 349,8
		in3cluster8		13,37 – 383,7
		in3cluster9		12,83 – 334,3
Input	Umum	in4cluster1	154,5 – 228,8	9,347 – 155,8
		in4cluster2		9,325 – 228,8
		in4cluster3		5,971 – 199,2
		in4cluster4		7,222 – 168,2
		in4cluster5		7,874 – 220,7
		in4cluster6		6,468 – 176,7
		in4cluster7		5,883 – 191,7
		in4cluster8		6,413 – 207,9
		in4cluster9		6,155 – 184,2
Input	Populasi	in5cluster1	255,8 – 290,2	4,324 – 256,4
		in5cluster2		4,313 – 290,1
		in5cluster3		2,762 – 276,5
		in5cluster4		3,341 – 262,1
		in5cluster5		3,642 – 286,4
		in5cluster6		2,992 – 266,1
		in5cluster7		2,721 – 273
		in5cluster8		2,967 – 280,5
		in5cluster9		2,847 – 269,5
Input	Rasio Elektrifikasi	in6cluster1	88,05 – 100	2,589 – 88,72
		in6cluster2		0,5832 – 100
		in6cluster3		0,6471 – 100
		in6cluster4		1,431 – 95,13
		in6cluster5		0,5955 – 100
		in6cluster6		0,9965 – 99,49
		in6cluster7		0,6986 – 100
		in6cluster8		0,6209 – 100
		in6cluster9		1,1 – 99,99
Input	Pertumbuhan Ekonomi	in7cluster1	6,09 – 6,89	0,1006 – 6,104
		in7cluster2		0,1004 – 6,889
		in7cluster3		0,06427 – 6,571
		in7cluster4		0,07773 – 6,238
		in7cluster5		0,08474 – 6,802
		in7cluster6		0,06962 – 6,329
		in7cluster7		0,06331 – 6,49
		in7cluster8		0,06903 – 6,665
		in7cluster9		0,06625 – 6,41
Output	Konsumsi Energi	out1cluster1	235,9 – 632,9	41,81 – 240,2
		out1cluster2		57,9 – 632,5
		out1cluster3		31,63 – 427,1
		out1cluster4		35,02 – 283,3
		out1cluster5		45,79 – 568,2
		out1cluster6		32,32 – 316,9
		out1cluster7		30,93 – 386,5
		out1cluster8		34,76 – 479,8
		out1cluster9		30,11 – 350,1

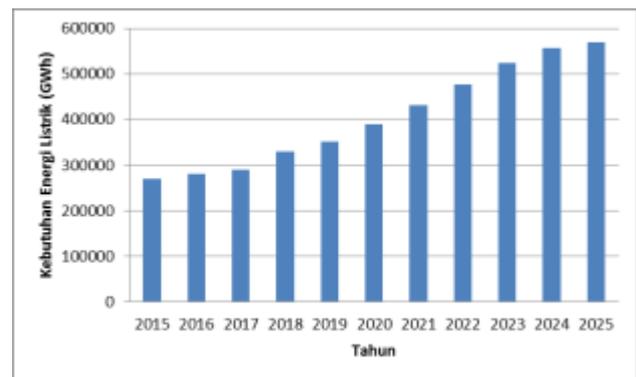
3.2.2. Pembentukan Aturan atau Rule

Dengan memperhatikan hubungan antara berbagai cluster input terhadap output, maka didapat aturan-aturan (rule) untuk proyeksi setiap tahun. Sehingga didapatkanlah aturan sebanyak 9 aturan.

Tabel 6. Hasil proyeksi logika fuzzy clustering

Tahun	Kebutuhan Energi Listrik (GWh)
2015	269.866
2016	281.224
2017	289.090
2018	330.243
2019	352.237
2020	389.467
2021	432.188
2022	476.610
2023	524.664
2024	556.788
2025	569.256

Berdasarkan Tabel 5, dapat dibuat grafik proyeksi kebutuhan energi listrik dengan logika fuzzy clustering sebagai berikut.



Gambar 6. Grafik hasil proyeksi dengan logika fuzzy clustering

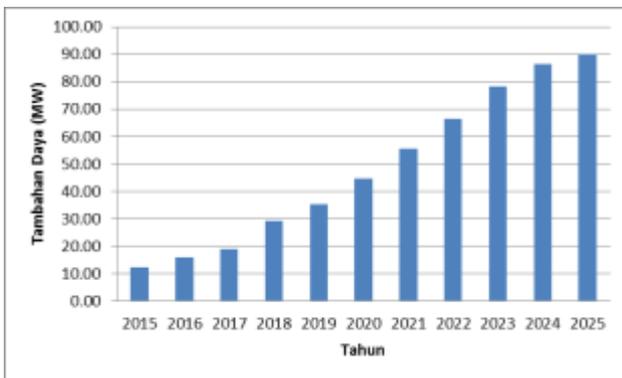
Pada Gambar 6, hasil proyeksi kebutuhan energi listrik dengan logika fuzzy clustering mengalami kenaikan yaitu dari 269.866 GWh pada tahun 2015 menjadi sebesar 569.256 GWh pada tahun 2025. Terjadi peningkatan sebesar 299.390 GWh dengan kenaikan rata-rata setiap tahunnya sebesar 7,82%.

Setelah mendapatkan hasil proyeksi kebutuhan energi listrik pada tahun 2015 hingga tahun 2025 dengan logika fuzzy clustering, maka perhitungan energi produksi, beban puncak, reserve margin, kebutuhan daya pembangkit, dan tambahan daya pembangkit juga diproyeksikan pada tahun 2015 hingga tahun 2025.

Tabel 7. Hasil perhitungan tambahan daya pembangkit

Tahun	Energi Produksi (GWh)	Beban Puncak (GW)	Reserve Margin (GW)	Kebutuhan Daya Pembangkit (GW)	Tambahan Daya Pembangkit (GW)
2015	310.191	45,22	15,83	61,05	12,19
2016	323.246	47,13	16,49	63,62	15,98
2017	331.906	48,39	16,94	65,33	18,88
2018	378.719	55,21	19,32	74,54	29,25
2019	403.942	58,89	20,61	79,50	35,35
2020	446.125	65,04	22,76	87,81	44,75
2021	495.060	72,18	25,26	97,44	55,46
2022	545.320	79,50	27,83	107,33	66,40
2023	600.302	87,52	30,63	118,15	78,25
2024	636.329	92,77	32,47	125,24	86,34
2025	650.578	94,85	33,20	128,05	90,11

Berdasarkan Tabel 7, dapat dibuat grafik tambahan daya pembangkit sebagai berikut.



Gambar 7. Grafik tambahan daya pembangkit berdasarkan proyeksi dengan logika fuzzy clustering

Gambar 7 menunjukkan bahwa kebutuhan tambahan daya pembangkit pada setiap tahun selalu meningkat dari sebesar 12,19 GW pada tahun 2015 hingga sebesar 90,11 GW pada tahun 2025. Kebutuhan tambahan daya pembangkit rata-rata setiap tahunnya sebesar 7,79 GW.

3.3. Perbandingan Hasil Proyeksi

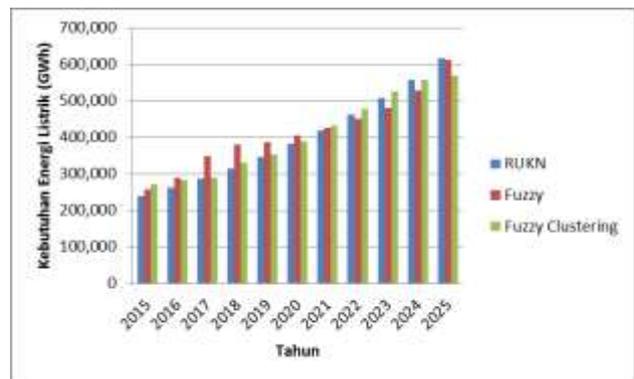
Perbandingan *error* hasil proyeksi kebutuhan energi listrik dengan logika fuzzy dan logika fuzzy clustering terhadap proyeksi kebutuhan energi listrik pada dokumen RUKN 2015-2034 dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 8. Perbandingan *error* hasil proyeksi kebutuhan energi listrik dengan logika fuzzy dan logika fuzzy clustering

Tahun	Proyeksi RUKN (GWh)	Proyeksi Logika Fuzzy		Proyeksi Logika Fuzzy Clustering	
		Kebutuhan Energi (GWh)	Error (%)	Kebutuhan Energi (GWh)	Error (%)
2015	238.982	256.670	7,40	269.866	12,92
2016	261.648	289.961	10,82	281.224	7,48
2017	286.899	348.224	21,37	289.090	0,76
2018	314.952	379.655	20,54	330.243	4,85
2019	346.511	387.287	11,77	352.237	1,65
2020	381.425	405.546	6,32	389.467	2,11
2021	419.508	425.499	1,43	432.188	3,02
2022	461.160	449.316	2,57	476.610	3,35
2023	507.191	480.873	5,19	524.664	3,44
2024	558.140	528.053	5,39	556.788	0,24
2025	615.530	612.519	0,49	569.256	7,52
Rata-rata <i>error</i>			8,48		4,31

Dari Tabel 8 dapat dilihat hasil proyeksi tersebut sudah mendekati hasil proyeksi pada dokumen RUKN 2015-2034 dengan rata-rata *error* 8,48% untuk logika fuzzy dan 4,31% untuk logika fuzzy clustering. Hal ini dikarenakan pada logika fuzzy clustering didapatkan daerah kurva dan aturan-aturan (*rules*) yang terbaik karena dibuat berdasarkan clustering yang dihasilkan dari proses *cluster c-means*. Sedangkan pada logika fuzzy, dilakukan dengan menggunakan proses *trial and error*.

Pada Gambar 8 dapat dilihat perbandingan antara hasil proyeksi kebutuhan energi listrik oleh RUKN, logika fuzzy, dan logika fuzzy clustering.



Gambar 8. Grafik perbandingan hasil proyeksi RUKN, logika fuzzy, dan logika fuzzy clustering

Gambar 8 merupakan perbandingan proyeksi antara RUKN 2015-2034, logika *fuzzy*, dan logika *fuzzy clustering*. Dapat dilihat bahwa proyeksi RUKN, logika *fuzzy*, dan logika *fuzzy clustering* menunjukkan grafik yang tidak jauh berbeda dalam kenaikannya. Adanya perbedaan dikarenakan asumsi yang digunakan untuk melakukan proyeksi kebutuhan energi listrik pada dokumen RUKN 2015-2034 berbeda, yaitu pertumbuhan ekonomi, pertumbuhan penduduk, dan inflasi[1].

4. Kesimpulan

Hasil proyeksi kebutuhan energi listrik di Indonesia dengan logika *fuzzy* terjadi peningkatan dari 256.670 GWh pada tahun 2015 menjadi sebesar 612.519 GWh pada tahun 2025 dengan kenaikan rata-rata setiap tahunnya sebesar 9,22%. Sedangkan hasil proyeksi dengan logika *fuzzy clustering* terjadi peningkatan dari 269.866 GWh pada tahun 2015 menjadi sebesar 569.256 GWh pada tahun 2025 dengan kenaikan rata-rata setiap tahunnya sebesar 7,82%. Hasil proyeksi antara logika *fuzzy* dengan logika *fuzzy clustering* tidak jauh berbeda. Nilai *error* rata-rata yang didapat sebesar 8,48% untuk logika *fuzzy* dan 4,31% untuk logika *fuzzy clustering*. Hasil perhitungan kebutuhan tambahan daya pembangkit di Indonesia berdasarkan proyeksi menggunakan logika *fuzzy* terjadi peningkatan dari 9,2 GW pada tahun 2015 hingga sebesar 99,84 GW pada tahun 2025 dengan kenaikan rata-rata setiap tahunnya sebesar 9,06 GW. Sedangkan berdasarkan proyeksi menggunakan logika *fuzzy clustering* terjadi peningkatan dari 12,19 GW pada tahun 2015 hingga sebesar 90,11 GW pada tahun 2025 dengan kenaikan rata-rata setiap tahunnya sebesar 7,79 GW.

Referensi

- [1]. Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2015-2034, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2015.
- [2]. Nurkholid, Nahar, "Analisa Perbandingan Metode Logika *Fuzzy* dengan Jaringan Saraf Tiruan *Backpropagation* pada Peramalan Kebutuhan Energi Listrik Jangka Panjang di Indonesia Sampai Tahun 2022," Universitas Diponegoro, Semarang, 2014.
- [3]. Kusumadewi, Sri, "Analisis dan Desain Sistem *Fuzzy* Menggunakan *Toolbox* Matlab," Yogyakarta : Penerbit Graha Ilmu, 2002.
- [4]. Wibowo, Andro Cahyo, "Analisis Proyeksi Energi Listrik Menggunakan Metode *Simple Econometric*," Universitas Diponegoro, Semarang, 2015.
- [5]. Marsudi, D., "Operasi Sistem Tenaga Listrik," Balai Penerbit & Humas ISTN : Jakarta, 1990.
- [6]. Kartika, Meigy Restanaswari, "Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik APJ Pekalongan Tahun 2014-2018 dengan Menggunakan *Software* LEAP," Universitas Diponegoro, Semarang, 2015.
- [7]. Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2014.
- [8]. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2015-2024, PT PLN (Persero), 2015.
- [9]. Arief, Abraham, "Aplikasi *Fuzzy Clustering C-Means* pada Peramalan Kebutuhan Energi Listrik Jangka Panjang di Provinsi Sumatra Barat Sampai Tahun 2021," Universitas Andalas, Padang, 2012.
- [10]. Albab, Muhammad Hasnan, "Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik APJ Pekalongan Tahun 2014-2018 dengan Metode Logika *Fuzzy*," Universitas Diponegoro, Semarang, 2015.
- [11]. Utama, Ngakan Putu Satriya, "Prakiraan Kebutuhan Tenaga Listrik Propinsi Bali Sampai Tahun 2018," Teknik Elektro, Vol. 6 No. 1, 2007.
- [12]. Suswanto, Daman, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik," Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, 2009.
- [13]. Peraturan Menteri ESDM Nomor 30 Tahun 2003.
- [14]. Marsudi, D., "Pembangkitan Energi Listrik," Erlangga : Jakarta, 2005.