

Implementasi Algoritma Logika Fuzzy Dalam Penentuan Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat Off Grid

Triyanto Pangaribowo¹

ABSTRACT: In this study designed a software to calculate the integrating off grid solar power generation. The software designed using Fuzzy Logic method. The software to calculate solar power generation was developed by considering the number of homes, loss of energy, and backup system. The experimental results show that the calculation using Fuzzy Logic method has a 98% accuracy rate. Therefore, fuzzy logic method provides a new approach for calculating the capacity of the integrating off grid solar power plants. Simulation to calculate the solar power generating capacity is done by using Matlab

KEYWORDS : The Integration off grid Solar power generations, Fuzzy Logic, Matlab.

ABSTRAK: Pada penelitian ini dirancang sebuah perangkat lunak untuk menghitung kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat Off Grid. Perangkat lunak yang dirancang menggunakan metode Logika Fuzzy. Perangkat lunak untuk menghitung kapasitas pembangkit dikembangkan dengan mempertimbangkan jumlah beban rumah, rugi-rugi sistem dan cadangan energi. Hasil percobaan menunjukkan bahwa perhitungan dengan metode Logika Fuzzy memiliki tingkat keakuratan 98%. Oleh karena itu, metode logika fuzzy memberikan pendekatan baru untuk menghitung kapasitas pembangkit listrik tenaga matahari terpusat off grid. Simulasi untuk menghitung kapasitas pembangkit tenaga matahari dilakukan dengan menggunakan Matlab.

KATA KUNCI : Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat Off Grid, Logika Fuzzy, Matlab

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi akhir-akhir ini sangatlah besar dikarenakan pesatnya perkembangan teknologi disemua bidang. Dengan kebutuhan energi yang begitu banyak bahan bakar fosil dan gas bumi tidak mampu mencukupi semua kebutuhan, maka untuk memenuhi kebutuhan tersebut dimanfaatkan energi terbarukan yaitu energi yang tidak akan ada habisnya[2].

Pemanfaatan energi terbarukan diantaranya dengan memanfaatkan tenaga radiasi matahari dengan menggunakan sel surya sebagai pengkonversi energi matahari menjadi energi listrik yang kita kenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) [2].

Pembangkit Listrik Tenaga Surya terpusat adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan tenaga sinar matahari sebagai sumber energinya, dengan cara memanfaatkan radiasi cahaya (teknologi *fotovoltaik*) dan energi listrik yang dihasilkan selanjutnya disalurkan kepada pemakai melalui jaringan listrik[6].

Berdasarkan Permen ESDM tahun 2015, pembangunan PLTS fotovoltaik Terpusat memiliki kriteria lokasi rencana pembangunan yaitu lokasi yang letaknya jauh dari jangkauan listrik PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) dan pemegang izin usaha penyediaan tenaga listrik lainnya (*off grid*). PLTS Fotovoltaik Terpusat diprioritaskan untuk pelayanan listrik kepada masyarakat pengguna/penerima yang tinggal berkelompok atau jarak antara rumah dengan lainnya berdekatan[7].

Salah satu daerah terdepan Indonesia yang belum mendapatkan aliran listrik dari PLN adalah Desa Yenbekwan. Desa Yenbekwan berada di Kecamatan Meosman-sar, Kabupaten Raja Ampat, Papua Barat dengan jumlah rumah tangga 59 dan total jumlah penduduk 290 jiwa[8]. Saat ini desa Yenbekwan belum terjangkau oleh jaringan PLN dan karena keterbatasan jangkauan PLN disebabkan oleh wilayah kepulauan maka PLN belum mempunyai rencana untuk menambah jaringan di Desa Yenbekwan

Belum tersedianya energi listrik di desa Yenbekwan tersebut tentunya dapat menyebabkan terhambatnya aktifitas perekonomian maupun pendidikan. Dengan adanya instalasi panel surya pada rumah penduduk, rumah ibadah, fasilitas umum diharapkan menjadi contoh bagi masyarakat sekitar untuk mengembangkan energi terbarukan yang ramah lingkungan, sehingga diharapkan dapat mendukung pengembangan pulau tersebut, mulai dari penerangan, energi, layanan informasi dan lain-lain.

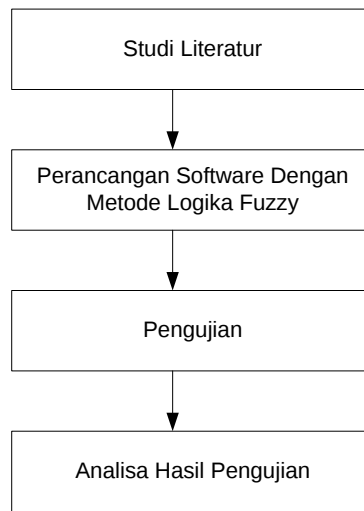
Untuk mendukung pembangunan PLTS Terpusat di daerah yang belum mendapatkan aliran listrik dari PLN maka perlu sebuah perangkat lunak untuk memudahkan dalam menghitung kapasitas PLTS yang dibutuhkan dan mudah dalam penggunaannya dengan mempertimbangkan faktor jumlah rumah dan rugi-rugi sistem dan cadangan energi. Saat ini perhitungan kapasitas pembangkit dilakukan dengan cara manual dan dengan standar efisiensi dan cadangan energi yang berbeda.

Berdasarkan pemaparan permasalahan diatas maka perlu dikembangkan sebuah perangkat lunak untuk menghitung kapasitas pembangkit PLTS dengan pendekatan algoritma Logika Fuzzy yang mempertimbangkan 3 (tiga) variabel masukan yaitu jumlah rumah, rugi-rugi sistem dan cadangan energi menggunakan Matlab. Perangkat lunak yang dikembangkan diharapkan mampu membantu menghitung dan menganalisa kapasitas pembangkit listrik tenaga surya yang diperlukan di daerah yang belum mendapat aliran listrik.

METODOLOGI PENELITIAN

Langkah – langkah yang perancangan sampai pengujian dan pengujian sistem pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 1. Langkah – langkah penelitian yang disusun bertujuan untuk memudahkan dalam merancang, menguji dan kemudian menganalisa hasil pengujian sistem.

¹ Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta



■ **Gambar 1.** Diagram Alir penelitian

Berdasarkan diagram alir penelitian pada gambar 1, maka dapat dijelaskan bahwa studi literatur merupakan proses mengumpulkan literatur tentang studi kelayakan, perencanaan, perancangan dan pengembangan PLTS terpusat, melalui media-media informasi, buku, jurnal dan Permen kementerian ESDM maupun dari sumber-sumber yang terkait. Proses selanjutnya adalah penentuan himpunan variabel masukan dan keluaran yaitu proses menentukan bentuk himpunan, keanggotaan dan range nilai setiap keanggotaan. Penentuan range nilai keanggotaan ini sangat penting pengaruhnya terhadap nilai perhitungan akhir. Setelah menentukan range pada masing-masing keanggotaan maka selanjutnya merancang *Fuzzy Inference System*(FIS) yang telah tersedia di Matlab. Kemudian membuat aturan (rule) Logika Fuzzy, aturan juga sangat penting yang juga menentukan hasil akhir.. Proses selanjutnya yaitu pengujian sistem yang meliputi pengujian setiap keluaran aturan dan pengujian sistem secara keseluruhan. Yang terakhir melakukan analisis yaitu dengan melakukan perbaikan apabila terjadi kesalahan baik pada program serta memperhitungkan persen error dari hasil data yang didapat.

Perancangan Software dengan Logika Fuzzy

Lebih lengkap proses perancangan Logika Fuzzy ditampilkan pada gambar dibawah ini



■ **Gambar 2.** Diagram blok perancangan software metode Logika Fuzzy

Masukan pada system Fuzzy Logic pada gambar 2 meliputi jumlah rumah, Rugi-Rugi Sistem serta Cadangan Energi. Variabel masukan tersebut akan berpengaruh terhadap output yaitu kapasitas pembangkit. Algoritma Logika Fuzzy bertindak sebagai pengambil keputusan terhadap variabel masukan.

Pengujian dan Analisa

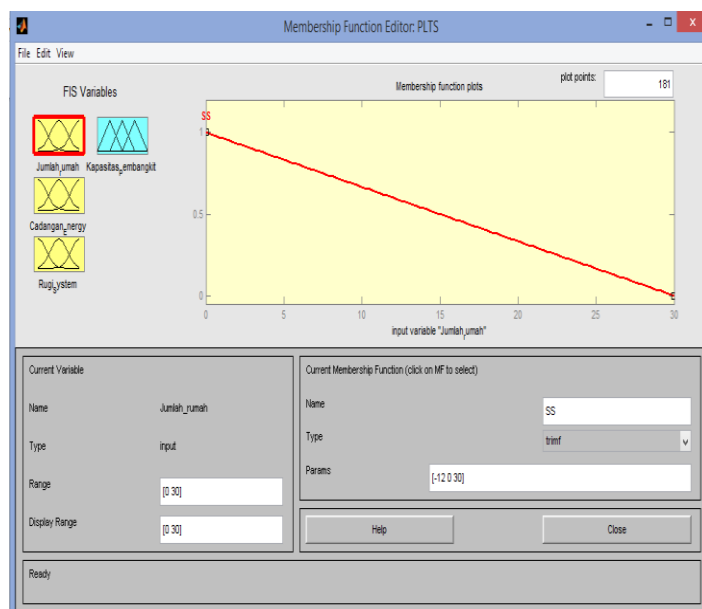
Setelah perancangan program, maka langkah selanjutnya dilakukan pengujian dan analisa terhadap hasil yang diperoleh. Pengujian dilakukan dengan memberikan variabel masukan Jumlah Rumah , Rugi-rugi Sistem dan CadanganEnergi, kemudian diamati keluarannya yaitu kapasitas pembangkit. Pada simulasi yang dibangun menampilkan output setiap aturan yang berdasarkan pada masukan jumlah rumah dan rugi-rugi pembangkit, serta cadangan energi , maka setiap perubahan pada masukan diamati masing-masing keluaran untuk memastikan program dapat berjalan sesuai dengan yang dirancang.

HASIL DAN ANALISA

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian derajat keanggotaan, pengujian keluaran masing-masing rule dan pengujian keluaran secara keseluruhan serta pengujian implementasi aplikasi perangkat lunak sebagai penghitung kapasitas pembangkit PLTS.

Pengujian pada beban 30 unit rumah

Penentuan kapasitas pembangkit PLTS dengan beban 30 rumah dengan standar kementerian ESDM per rumah 300 Wh/hari diasumsikan cadangan energi 30% dan rugi-rugi sistem adalah 30%. Range Logika Fuzzy untuk keanggotaan masukkan Jumlah Rumah kriteria Sangat Sedikit (SS) 0 - 30 unit rumah dan untuk keluaran Kapasitas Pembangkit adalah Sangat Rendah (SR) 0 sampai dengan 6 KWP.

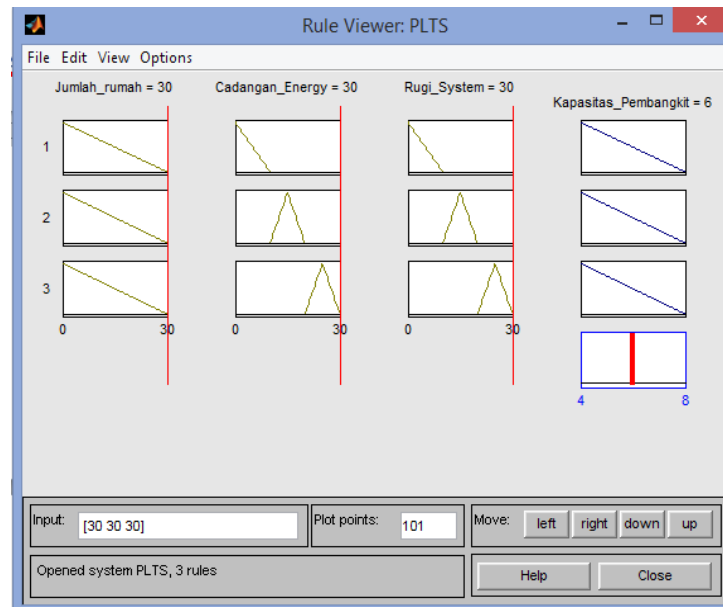


■ **Gambar 3.** Fuzzy Inference System untuk kapasitas 30 rumah

Pada gambar 3 terlihat gambar *Fuzzy Inference System* untuk beban rumah sebanyak 30 unit rumah dengan beban per rumah 300WH/hari per rumah dengan masukan jumlah beban rumah, cadangan energi dan rugi-rugi sistem serta keluarannya adalah kapasitas pembangkit. Aturan Logika Fuzzy sebagai berikut :

1. JIKA jumlah rumah Sangat Sedikit (SS) DAN cadangan energi Sedikit (S) DAN rugi-rugi sistem sedikit(S) MAKA kapasitas pembangkit sangat rendah (SR).
2. JIKA jumlah rumah Sangat Sedikit (SS) DAN cadangan energi Sedang (Sdg) DAN rugi-rugi sistem Sedang(Sdg) MAKA kapasitas pembangkit sangat rendah (SR).
3. JIKA jumlah rumah Sangat Sedikit (SS) DAN cadangan energi Banyak (B) DAN rugi-rugi sistem Banyak (B) MAKA kapasitas pembangkit sangat rendah (SR).

Berdasarkan hasil pengujian aturan Logika Fuzzy diatas maka diperoleh kapasitas pembangkit sebesar 6 KWP seperti terlihat pada gambar 4 berikut ini :



■ **Gambar 4.** Hasil pengujian kapasitas pembangkit untuk 30 unit rumah

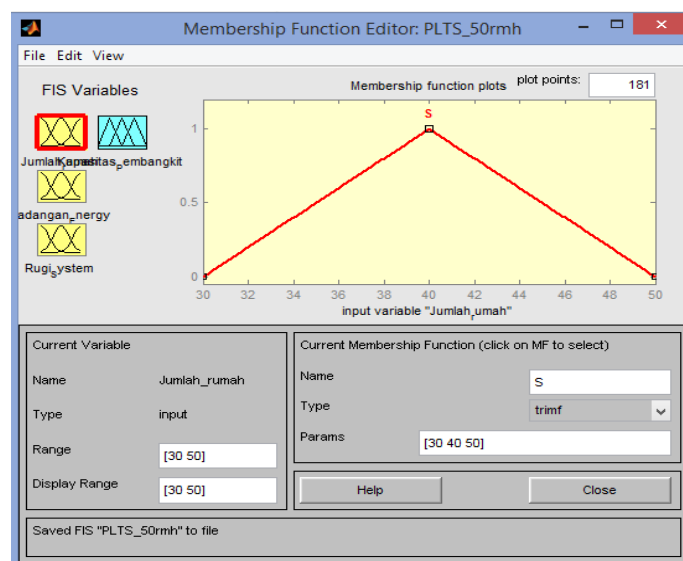
Hal ini sesuai dengan standar kementerian ESDM untuk 30 rumah dengan beban per rumah 300 Wh/hari diperlukan kapasitas pembangkit sebesar 6 KWP. Perbandingan perhitungan manual dengan spesifikasi modul surya standar kementerian ESDM jika dihitung secara manual adalah sebagai berikut:

- Jumlah kebutuhan energi = 30 rumah x 300 Wh/hari= 9000 Wh/hari
- Cadangan Energi (30%) = $0.3 \times 9000 \text{ Wh/hari} = 2700 \text{ Wh/hari}$
- Rugi-rugi sistem (30%) = $0.3 \times (2700 + 9000) = 3510 \text{ Wh/hari}$
- Total energi $9000 \text{ Wh/hari} + 2700 \text{ Wh/hari} + 3510 \text{ Wh/hari} = 15.210 \text{ Wh/hari}$

Jumlah total kebutuhan energi beban per hari 15.210 Wh/hari untuk 30 rumah. Jika menggunakan modul surya dengan keluaran energi pada temperatur operasi =800 Wh maka jumlah modul surya yang dibutuhkan sebanyak $15.210 \text{ Wh/hari} : 800 \text{ Wh} = 19$ modul surya. Kapasitas pembangkit yang diperlukan jika rata-rata penyinaran matahari 4 jam dan keluaran energi modul surya per hari 1000Wh adalah $19 \text{ modul surya} \times 1000 \text{ Wh/hari} / 4 \text{ jam} = 4750 \text{ Wh}$ atau 4,75 Kwp. Jadi perhitungan dengan Logika Fuzzy masih masuk dalam standar range yang diperbolehkan karena mengambil range yang maksimum yaitu 6 Kwp.

Pengujian pada beban 50 unit rumah

Pada penentuan kapasitas pembangkit PLTS dengan beban 50 unit rumah dengan standar kementerian ESDM per rumah 300Wh/hari diasumsikan cadangan energi 30% dan rugi-rugi sistem adalah 30% . Range Logika Fuzzy untuk keanggotaan masukkan Jumlah Rumah kriteria Sedikit (S) 30 - 50 rumah dan untuk keluaran Kapasitas Pembangkit adalah Rendah (R) 6 sampai dengan 9 Kwp.



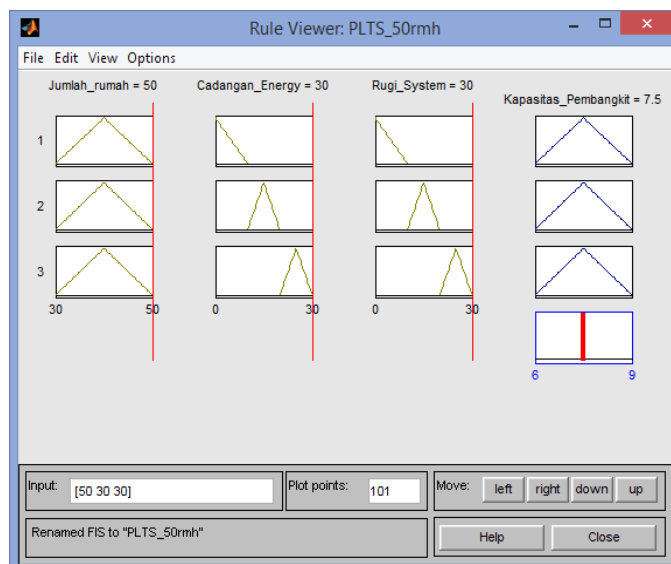
■ **Gambar 5.** Fuzzy Inference System untuk kapasitas 50 unit rumah

Pada gambar 5 terlihat *Fuzzy Inference System* dengan keanggotaan segitiga untuk beban rumah sebanyak 50 unit rumah dengan beban per rumah 300 WH/hari per rumah dengan masukan jumlah beban rumah,

cadangan energi dan rugi-rugi sistem serta keluarannya adalah kapasitas pembangkit. Aturan Logika Fuzzy sebagai berikut:

1. JIKA jumlah rumah Sedikit (S) DAN cadangan energi Sedikit (S) DAN rugi-rugi sistem Sedikit(S) MAKA kapasitas pembangkit Rendah (R).
2. JIKA jumlah rumah Sedikit (S) DAN cadangan energi Sedang (Sdg) DAN rugi-rugi sistem Sedang(Sdg) MAKA kapasitas pembangkit Rendah (R).
3. JIKA jumlah rumah Sedikit (S) DAN cadangan energi Banyak (B) DAN rugi-rugi sistem Banyak (B) MAKA kapasitas pembangkit rendah (R).

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh kapasitas pembangkit sebesar 7,5 Kwp seperti terlihat pada gambar 6 berikut ini :



■ **Gambar 6.** Hasil pengujian kapasitas pembangkit untuk 50 rumah

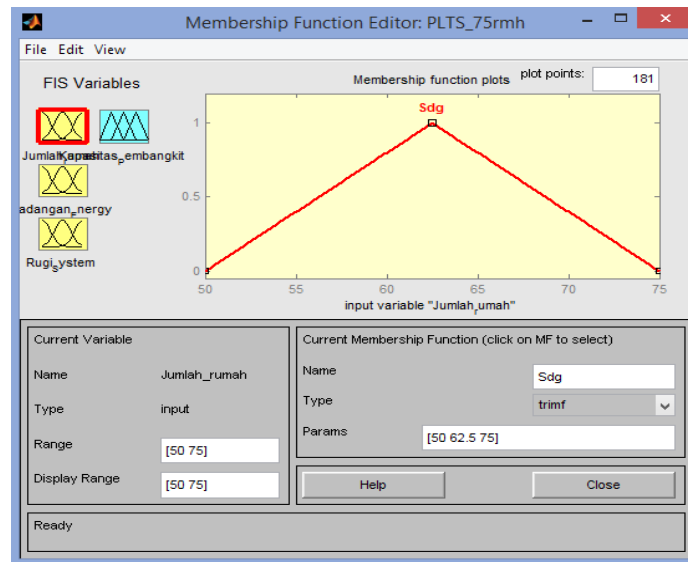
Hal ini sesuai dengan standar kementerian ESDM untuk 50 rumah dengan beban per rumah 300 Wh/hari diperlukan kapasitas pembangkit sebesar 9 Kwp. Perbandingan perhitungan manual dengan spesifikasi modul surya standar kementerian ESDM sebagai berikut:

- Jumlah kebutuhan energi = 50 rumah x 300 Wh/hari= 15.000 Wh/hari.
- Cadangan Energi (30%) = 0.3x 15.000 Wh/hari=4500 Wh/hari.
- Rugi-rugi sistem (30%)= 0.3x(15.000+4500)= 5850 Wh/hari.
- Total energi 15.000 Wh/hari + 4500 Wh/hari + 5850 Wh/hari = 25.350 Wh/hari.

Jumlah total kebutuhan energi beban per hari 25.350 Wh/hari untuk 50 rumah. Jika menggunakan modul surya dengan keluaran energi pada temperatur operasi =800 Wh maka jumlah modul surya yang dibutuhkan sebanyak $25.350 \text{ Wh/hari} : 800 \text{ Wh} = 31,7$ modul surya. Kapasitas pembangkit yang diperlukan jika rata-rata penyinaran matahari 4 jam dan keluaran energi modul surya per hari 1000Wh adalah $31,7 \text{ modul surya} \times 1000 \text{ Wh/hari} / 4 \text{ jam} = 7925 \text{ Wh}$ atau 7,925 KWP. Jadi perhitungan dengan Logika Fuzzy masih masuk dalam standar range maksimum yaitu 9 Kwp

Pengujian pada beban 75 unit rumah

Pada penentuan kapasitas pembangkit PLTS dengan beban 75 unit rumah dengan standar kementerian ESDM per rumah 300 Wh/hari diasumsikan cadangan energi 30% dan rugi-rugi sistem adalah 30% . Range Logika Fuzzy untuk keanggotaan masukkan Jumlah Rumah kriteria Sedang (Sdg) 50 sampai 75 rumah dan untuk keluaran Kapasitas Pembangkit adalah Sedang (Sdg) 9 sampai dengan 12 KWP.

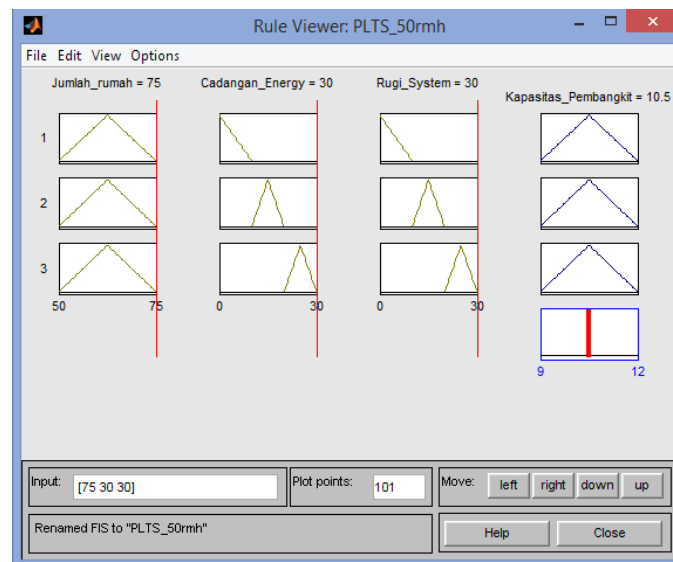


■ **Gambar 7.** Fuzzy Inference System untuk kapasitas 75 unit rumah

Pada gambar 7 tampak gambar *Fuzzy Inference System* dengan keanggotaan segitiga untuk beban rumah sebanyak 75 unit rumah dengan beban per rumah 300Wh/hari per rumah dengan masukan jumlah beban rumah, cadangan energi dan rugi-rugi sistem serta keluarannya adalah kapasitas pembangkit. Aturan Logika Fuzzy sebagai berikut:

1. JIKA jumlah rumah Sedang (Sdg) DAN cadangan energi Sedikit (S) DAN rugi-rugi sistem Sedikit(S) MAKA kapasitas pembangkit Rendah (R)
2. JIKA jumlah rumah Sedang (Sdg) DAN cadangan energi Sedang (Sdg) DAN rugi-rugi sistem Sedang(Sdg) MAKA kapasitas pembangkit Rendah (R)
3. JIKA jumlah rumah Sedang (Sdg) DAN cadangan energi Banyak (B) DAN rugi-rugi sistem Banyak (B) MAKA kapasitas pembangkit rendah (R)

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh kapasitas pembangkit sebesar 10,5 KWP seperti terlihat pada gambar 8 berikut ini :



■ **Gambar 8.** Hasil pengujian kapasitas pembangkit untuk 75 unit rumah

Hal ini sesuai dengan standar kementerian ESDM untuk 75 rumah dengan beban per rumah 300 Wh/hari diperlukan kapasitas pembangkit sebesar 10,5 KWP. Perbandingan perhitungan manual dengan spesifikasi modul surya standar kementerian ESDM sebagai berikut:

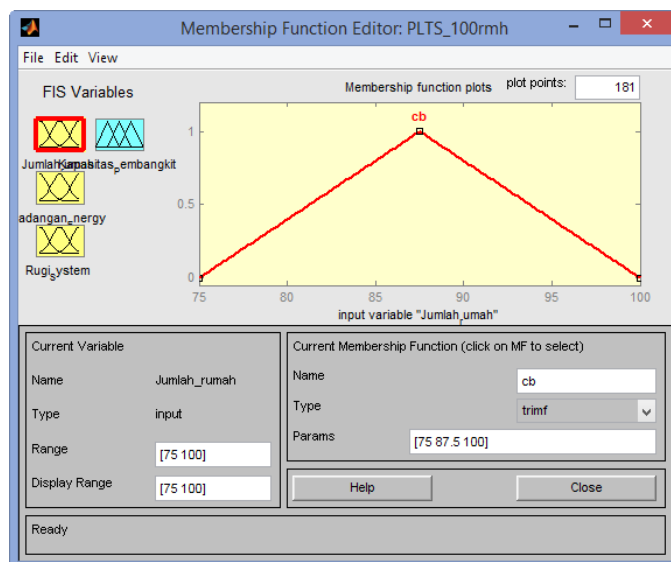
- Jumlah kebutuhan energi = 75 rumah x 300 Wh/hari= 22.500 Wh/hari.
- Cadangan Energi (30%) = 0.3x 22.500 Wh/hari=6750 Wh/hari.
- Rugi-rugi sistem (30%)= 0.3x(22.500+6750)= 8775 Wh/hari.
- Total energi 22.500 Wh/hari + 6750 Wh/hari + 8775 Wh/hari = 38.025 Wh/hari.

Jumlah total kebutuhan energi beban per hari 38.025 Wh/hari untuk 75 rumah. Jika menggunakan modul surya dengan keluaran energi pada temperatur operasi =800 Wh maka jumlah modul surya yang dibutuhkan sebanyak 38.025 Wh/hari : 800 Wh= 47,5 modul surya. Kapasitas pembangkit yang diperlukan jika rata-rata penyinaran

matahari 4 jam dan keluaran energi modul surya per hari 1000 Wh adalah 47,5 modul surya x 1000 Wh/hari /4 jam= 11875 Wh atau 11,875 KWP. Jadi perhitungan dengan Logika Fuzzy masih masuk dalam standar range yang diperbolehkan karena range yang maksimum yaitu 12 KWP.

Pengujian pada beban 100 unit rumah

Penentuan kapasitas pembangkit PLTS dengan beban 100 rumah dengan standar kementerian ESDM per rumah 300 Wh/hari diasumsikan cadangan energi 30% dan rugi-rugi sistem adalah 30% . Range Logika Fuzzy untuk keanggotaan masukkan Jumlah Rumah kriteria Cukup Banyak (CB) 75 sampai 100 rumah dan untuk keluaran Kapasitas Pembangkit adalah Cukup Banyak (CB) 12 sampai dengan 18 KWP.

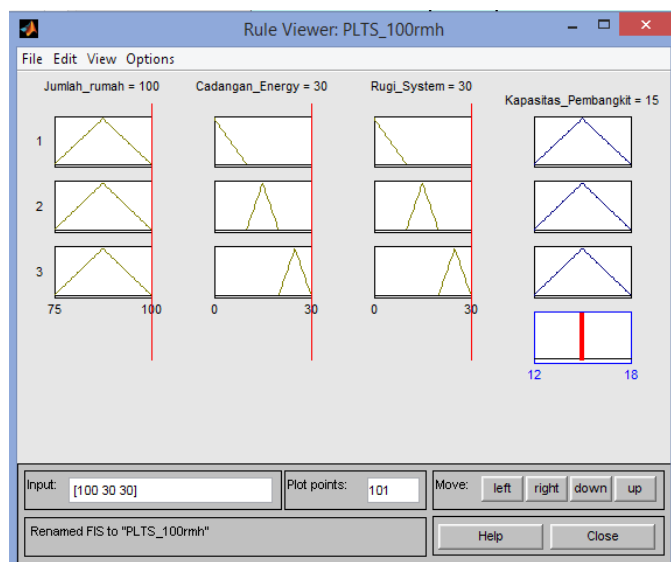


■ Gambar 9. Fuzzy Inference System untuk kapasitas 100 unit rumah

Pada gambar 9 tampak *Fuzzy Inference System* dengan keanggotaan segitiga untuk beban rumah sebanyak 100 unit rumah dengan beban per rumah 300WH/hari per rumah dengan masukan jumlah beban rumah, cadangan energi dan rugi-rugi sistem serta keluarannya adalah kapasitas pembangkit. Aturan Logika Fuzzy sebagai berikut:

1. JIKA jumlah rumah Cukup Banyak (CB) DAN cadangan energi Sedikit (S) DAN rugi-rugi sistem Sedikit(S) MAKA kapasitas pembangkit Cukup Besar (CB).
2. JIKA jumlah rumah Cukup Banyak (CB) DAN cadangan energi Sedang (Sdg) DAN rugi-rugi sistem Sedang(Sdg) MAKA kapasitas pembangkit Cukup Besar (CB).
3. JIKA jumlah rumah Cukup Banyak (CB) DAN cadangan energi Banyak (B) DAN rugi-rugi sistem Banyak (B) MAKA kapasitas pembangkit Cukup Besar (CB).

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh kapasitas pembangkit sebesar 15 KWP seperti terlihat pada gambar 10 berikut ini :



■ Gambar 10. Hasil Pengujian kapasitas pembangkit untuk 100 rumah

Hal ini sesuai dengan standar kementerian ESDM untuk 100 rumah dengan beban per rumah 300 Wh/hari diperlukan kapasitas pembangkit sebesar 15 KWP. Perbandingan perhitungan manual dengan spesifikasi modul surya standar kementerian ESDM sebagai berikut:

- Jumlah kebutuhan energi = 100 rumah x 300 Wh/hari= 30.000 Wh/hari.
- Cadangan Energi (30%) = $0.3 \times 30.000 \text{ Wh/hari} = 9000 \text{ Wh/hari}$.
- Rugi-rugi sistem (30%) = $0.3 \times (30.000 + 9000) = 11.700 \text{ Wh/hari}$.
- Total energi $30.000 \text{ Wh/hari} + 9000 \text{ Wh/hari} + 11.700 \text{ Wh/hari} = 50.700 \text{ Wh/hari}$.

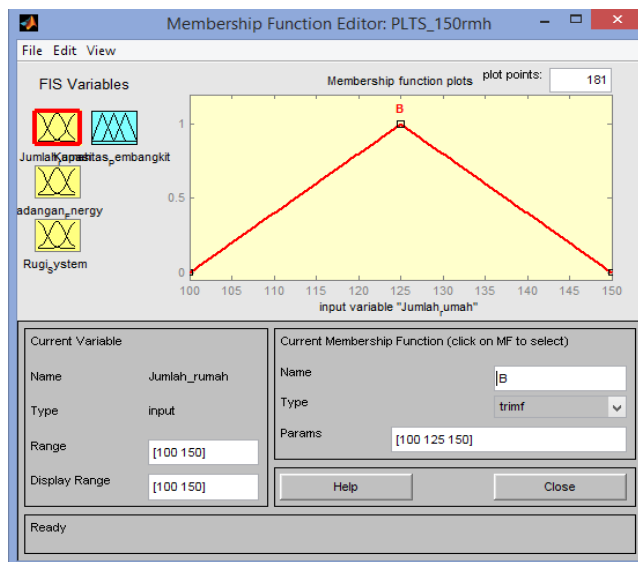
Jumlah total kebutuhan energi beban per hari 50.700 Wh/hari untuk 100 rumah. Jika menggunakan modul surya dengan keluaran energi pada temperatur operasi =800 Wh maka jumlah modul surya yang dibutuhkan sebanyak $50.700 \text{ Wh/hari} : 800 \text{ Wh} = 63,4$ modul surya. Kapasitas pembangkit yang diperlukan jika rata-rata penyinaran matahari 4 jam dan keluaran energi modul surya per hari 1000 Wh adalah $63,4 \text{ modul surya} \times 1000 \text{ Wh/hari} / 4 \text{ jam} = 15850 \text{ Wh}$ atau 15,850 KWP. Jadi perhitungan dengan Logika Fuzzy masih masuk dalam standar range yang diperbolehkan karena range yang maksimum yaitu 16 KWP.

Pengujian pada beban 150 unit rumah

Pada penentuan kapasitas pembangkit PLTS dengan beban 150 unit rumah dengan standar kementerian ESDM per rumah 300 Wh/hari dengan asumsi untuk cadangan energi 30% dan rugi-rugi sistem adalah 30% . Range Logika Fuzzy untuk keanggotaan masukkan Jumlah Rumah kriteria Banyak (B) 100 sampai 150 rumah dan untuk keluaran Kapasitas Pembangkit adalah Banyak (B) 18 sampai dengan 30 KWP. Untuk menentukan kapasitas pembangkit untuk 150 unit rumah menggunakan 3(tiga) aturan Logika Fuzzy dengan keanggotaan segitiga. Tiga aturan Logika Fuzzy sebagai berikut :

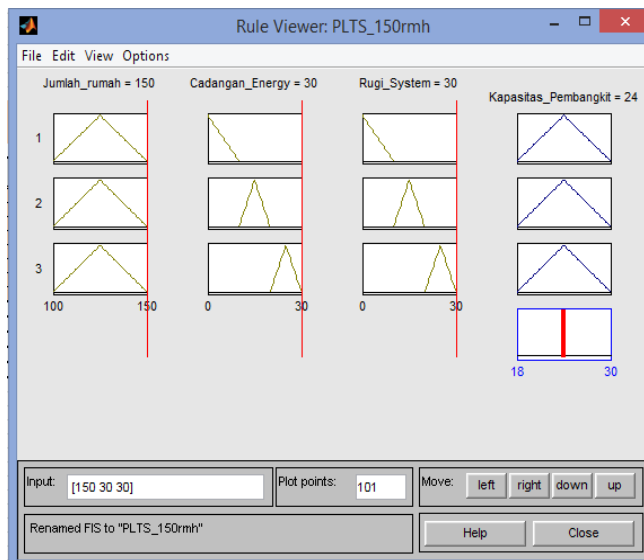
1. JIKA jumlah rumah Banyak (B) DAN cadangan energi Sedikit (S) DAN rugi-rugi sistem Sedikit(S) MAKA kapasitas pembangkit Besar (B).
2. JIKA jumlah rumah Banyak (B) DAN cadangan energi Sedang (Sdg) DAN rugi-rugi sistem Sedang(Sdg) MAKA kapasitas pembangkit Besar (B).
3. JIKA jumlah rumah Banyak (B) DAN cadangan energi Banyak (B) DAN rugi-rugi sistem Banyak (B) MAKA kapasitas pembangkit Besar (B).

Aturan yang sudah ditetapkan tersebut dimasukkan pada *Fuzzy Inference System* sesuai gambar 11 dengan masukan jumlah rumah, cadangan energi dan rugi-rugi sistem dan keluarannya adalah kapasitas pembangkit maka hasil pengujiannya dapat dilihat pada gambar 12.



■ Gambar 11. Fuzzy Inference System untuk kapasitas 150 unit rumah

Pada gambar 11 terlihat gambar Fuzzy Inference System dengan keanggotaan segitiga untuk beban rumah sebanyak 150 unit rumah dengan beban per rumah 300 WH/hari per rumah dengan masukan jumlah unit rumah, cadangan energi dan rugi-rugi sistem serta keluarannya adalah kapasitas pembangkit. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh kapasitas pembangkit sebesar 24 KWP seperti terlihat pada gambar 12 berikut ini :



■ Gambar 12. Hasil Pengujian kapasitas pembangkit untuk 150 unit rumah

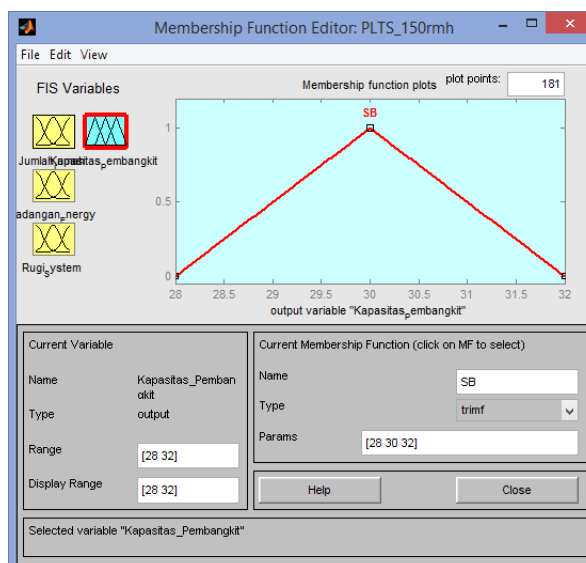
Pada gambar 12 menunjukkan hasil pengujian kapasitas pembangkit untuk 150 unit rumah. Hasil dari pengujian diperoleh hasil sesuai dengan standar kementerian ESDM untuk 150 rumah dengan beban per rumah 300 Wh/hari diperlukan kapasitas pembangkit sebesar 24 KWP. Perbandingan perhitungan manual yang mengacu pada spesifikasi modul surya standar kementerian ESDM sebagai berikut:

- Jumlah kebutuhan energi = 150 rumah x 300 Wh/hari = 45.000 Wh/hari.
- Cadangan Energi (30%) = $0.3 \times 45.000 \text{ Wh/hari} = 13.500 \text{ Wh/hari}$.
- Rugi-rugi sistem (30%) = $0.3 \times (45.000 + 13.500) = 17.550 \text{ Wh/hari}$.
- Total energi $45.000 \text{ Wh/hari} + 13.500 \text{ Wh/hari} + 17.550 \text{ Wh/hari} = 76.050 \text{ Wh/hari}$.

Jumlah total kebutuhan energi beban per hari 76.050 Wh/hari untuk 150 rumah. Jika menggunakan modul surya dengan keluaran energi pada temperatur operasi = 800 Wh maka jumlah modul surya yang dibutuhkan sebanyak $76.050 \text{ Wh/hari} : 800 \text{ Wh} = 95,1$ modul surya. Kapasitas pembangkit yang diperlukan jika rata-rata penyinaran matahari 4 jam dalam sehari dan keluaran energi modul surya per hari 1000 Wh adalah $95,1 \text{ modul surya} \times 1000 \text{ Wh/hari} / 4 \text{ jam} = 23.775 \text{ Wh}$ atau 23,775 KWP. Jadi perhitungan dengan Logika Fuzzy masih masuk dalam standar range karena range yang maksimum yaitu 24 KWP.

Pengujian pada beban 200 unit rumah

Penentuan kapasitas pembangkit PLTS dengan beban 200 rumah dengan standar kementerian ESDM per rumah 300 Wh/hari diasumsikan cadangan energi 30% dan rugi-rugi sistem adalah 30% . Range Logika Fuzzy untuk keanggotaan masukkan Jumlah Rumah kriteria Banyak (SB) 150 sampai 200 rumah dan untuk keluaran Kapasitas Pembangkit adalah Banyak (SB) 28 sampai dengan 32 KWP.



■ Gambar 13. Fuzzy Inference System untuk kapasitas 200 unit rumah

Pada gambar 13 menunjukkan gambar *Fuzzy Inference System* dengan keanggotaan segitiga untuk beban rumah sebanyak 200 rumah dengan beban per rumah 300 WH/hari per rumah dengan masukan jumlah beban rumah,

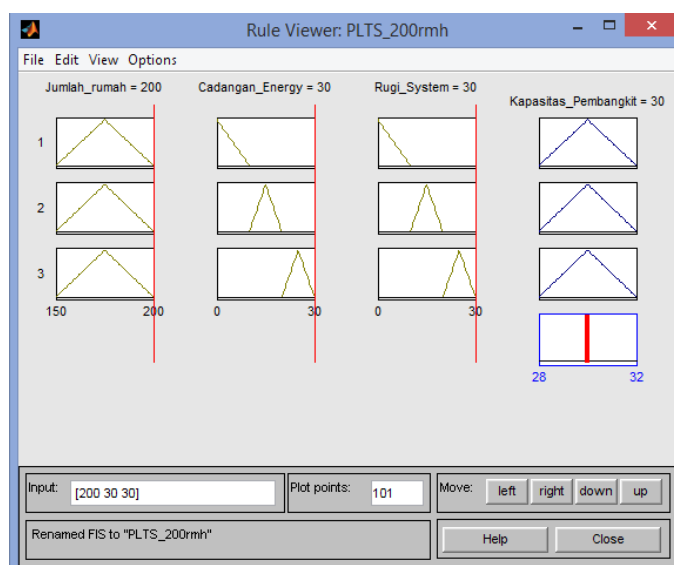
cadangan energi dan rugi-rugi sistem serta keluarannya adalah kapasitas pembangkit. Aturan Logika Fuzzy sebagai berikut:

1. JIKA jumlah rumah Sangat Banyak (SB) DAN cadangan energi Sedikit (S) DAN rugi-rugi sistem Sedikit(S) MAKA kapasitas pembangkit Besar (B).
2. JIKA jumlah rumah Sangat Banyak (SB) DAN cadangan energi Sedang (Sdg) DAN rugi-rugi sistem Sedang(Sdg) MAKA kapasitas pembangkit Besar (B).
3. JIKA jumlah rumah Sangat Banyak (SB) DAN cadangan energi Banyak (B) DAN rugi-rugi sistem Banyak (B) MAKA kapasitas pembangkit Besar (B).

Aturan yang sudah ditetapkan tersebut dimasukkan pada *Fuzzy Inference System* sesuai gambar 13 dengan masukan jumlah rumah, cadangan energi dan rugi-rugi sistem dan keluarannya adalah kapasitas pembangkit maka hasil pengujiannya dapat dilihat pada gambar 14.

Hasil pengujian pada gambar 14 sesuai dengan standar spesifikasi kementerian ESDM untuk 200 unit rumah dengan beban per rumah 300 Wh/hari diperlukan kapasitas pembangkit sebesar 30 KWP. Perbandingan perhitungan manual dengan spesifikasi modul surya standar kementerian ESDM sebagai berikut:

- Jumlah kebutuhan energi = 200 rumah x 300 Wh/hari= 60.000 Wh/hari
- Cadangan Energi (30%) = 0.3x 60.000 Wh/hari=18.000 Wh/hari
- Rugi-rugi sistem (30%)= 0.3x(60.000 + 18.000)= 23.400 Wh/hari
- Total energi 60.000 Wh/hari + 18.000 Wh/hari + 23.400 Wh/hari = 101.400 Wh/hari



■ Gambar 14. Hasil Pengujian kapasitas pembangkit untuk 200 rumah

Jumlah total kebutuhan energi beban per hari 101.400 Wh/hari untuk 200 rumah. Jika menggunakan modul surya dengan keluaran energi pada temperatur operasi =800 Wh maka jumlah modul surya yang dibutuhkan sebanyak 101.400 Wh/hari : 800 Wh= 126,8 modul surya. Kapasitas pembangkit yang diperlukan jika rata-rata penyinaran matahari 4 jam dalam sehari dan keluaran energi modul surya per hari 1000 Wh adalah 126,8 modul surya x 1000 Wh/hari/ 4 jam = 31.700 Wh atau 31,7 KWP. Jadi perhitungan dengan Logika Fuzzy masih masuk dalam standar range karena range yang maksimum yaitu 32 KWP.

Analisa Hasil Pengujian Keseluruhan

Berdasarkan hasil keseluruhan pengujian maka dapat ditampilkan sebagai berikut:

■ Tabel 1. Hasil pengujian keseluruhan

No	Jumlah Rumah (unit)	Total Kebutuhan Energi/Hari (Per rumah (300 Wh/hari serta 30% Cadangan Energi dan Rugi-Rugi Sistem	Range Kapasitas Pembangkit Logika Fuzzy (Kwp)	Perhitungan Kapasitas Pembangkit Dengan Logika Fuzzy (Kwp)	Perhitungan Kapasitas Pembangkit Secara Manual (Kwp)	Standar Perusahaan hexamitra (Kwp)	Selisih Perhitungan Manual dengan Logika Fuzzy
1.	30	15.210 Wh/hari	0 s/d 6	6	4,75	6	26,3%
2.	50	25.350 Wh/hari	6 s/d 9	7,5	7,93	9	5,4%
3.	70	38.025 Wh/hari	9 s/d 12	10,5	11,88	12	11,6%
4.	100	50.700 Wh/hari	12 s/d 18	15	15,85	15	5,3%
5.	150	76.050 Wh/hari	18 s/d 30	24	23,78	24	0,9%
6.	200	101.400 Wh/hari	28 s/d 32	30	31,7	30	5,3%

Berdasarkan tabel 1, menunjukkan hasil perhitungan kapasitas pembangkit PLTS dengan metode Logika Fuzzy. Persentase selisih perhitungan secara manual dengan Metode Logika Fuzzy pada masing-masing jumlah rumah diperoleh dari perhitungan sebagai berikut :

1. Untuk 30 unit rumah $\frac{6-4,75}{4,75} \times 100\% = 26,3\%$.
2. Untuk 50 unit rumah $\frac{7,93-7,5}{7,93} \times 100\% = 5,4\%$.
3. Untuk 70 unit rumah $\frac{11,88-10,5}{11,88} \times 100\% = 11,6\%$.
4. Untuk 100 unit rumah $\frac{15,85-15}{15,85} \times 100\% = 5,3\%$.
5. Untuk 150 unit rumah $\frac{24-23,78}{23,78} \times 100\% = 0,9\%$.
6. Untuk 200 unit rumah $\frac{31,7-30}{31,7} \times 100\% = 5,3\%$.

Selisih rata-rata perhitungan manual dengan Logika Fuzzy dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Selisih rata-rata} = \frac{26,3\% + 5,4\% + 11,6\% + 5,3\% + 0,9\% + 5,3\%}{6} = 9,1\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan dengan Logika Fuzzy mendapatkan hasil cukup baik hal ini dapat terlihat untuk beban rumah 150 unit maka kapasitas pembangkit perhitungan dengan Logika Fuzzy diperoleh 24 Kwp dan perusahaan konsultan hexamitra 24 Kwp sedang perhitungan manual 23,78 Kwp. Hal ini masih sesuai dengan range yang ditentukan dengan maksimum 30 Kwp. Pada kapasitas 200 rumah juga menunjukan angka hasil perhitungan masih dalam range kapasitas pembangkit yang ditetapkan yaitu perhitungan Logika Fuzzy 30 Kwp sedangkan perhitungan secara manual diperoleh 31,7 Kwp sedangkan berdasarkan perusahaan penyedia PLTS adalah 30 Kwp jadi terdapat selisih yang tidak terlalu signifikan yaitu sekitar 1,7 Kwp dibandingkan dengan perhitungan kapasitas pembangkit secara manual dengan spesifikasi modul surya sesuai dengan ESDM. Maka jika dirata-rata selisih perhitungan secara manual dengan Logika Fuzzy = 1,16 Kwp. Sedangkan selisih perhitungan yang dilakukan perusahaan penyedia layanan PLTS dengan menacu pada spesifikasi Kementerian ESDM sebesar 0,6 Kwp

■ Tabel 2. Data PLTS Off Grid Hexamitra

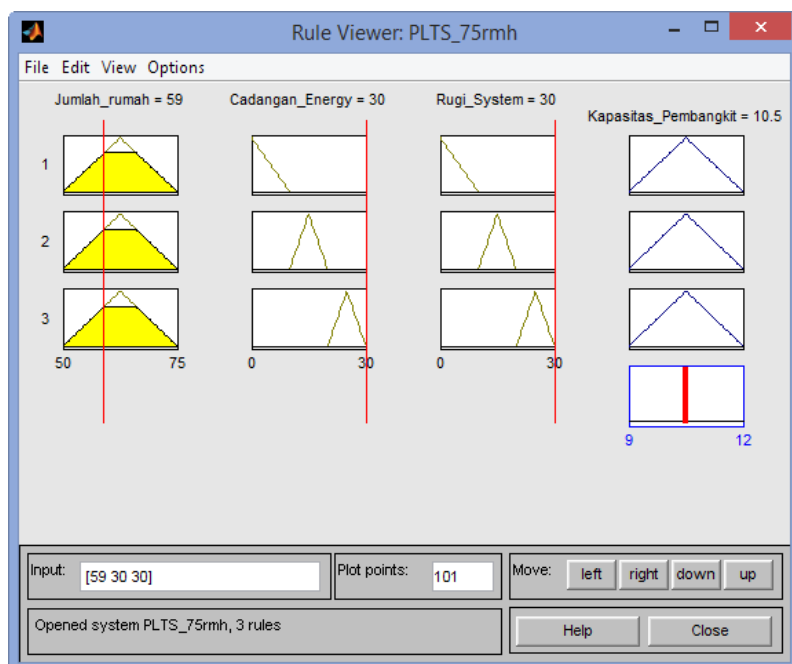
Komponen	PLTS 9 KWP	PLTS 12 KWP	PLTS 15 KWP	PLTS 24 KWP	PLTS 30 KWP	PLTS 45 KWP
Total Pengguna(unit rumah)	50	75	100	150	200	300
Total Baterai OpzV@800Ah	48	72	96	120	168	240
Total Panel Surya@200Wp	45	60	75	120	150	225
Total SCC@3.600W	3	4	5	8	10	15
Total Inverter@3.000VA	2	3	3	5	6	9
Kapasitas Solar Panel(Wp)	9000	12000	15000	24000	30000	45000
Komponen Pendukung	Mounting, kabel, Monitoring System, Panel DC, AC, Combiner Box, Penangkal Petir, Penerangan Site					
Luas Rumah Pembangkit(m ²)	22	27	32	36	46	60
Kebutuhan Lahan(m ²)	170	230	280	430	540	790

Sumber: <http://www.hexamitra.co.id/plts-terpusat-pembangkit-listrik-tenaga-surya.php>

Studi Kasus Untuk 59 Rumah

Pada studi kasus yaitu salah satu daerah terdepan Indonesia yang belum mendapatkan aliran listrik dari PLN adalah Desa Yenbekwan. Desa Yenbekwan berada di Kecamatan Meosman-sar, Kabupaten Raja Ampat, Papua Barat dengan jumlah rumah tangga 59 dan total jumlah penduduk 290 jiwa. Maka untuk desa dengan jumlah rumah 59 unit menggunakan spesifikasi dengan standar kementerian ESDM per rumah 300 Wh/hari diasumsikan cadangan energi 30% dan rugi-rugi sistem adalah 30%. Range Logika Fuzzy untuk keanggotaan masukkan Jumlah Rumah

kriteria Sedang (Sdg) 50 sampai 75 rumah dan untuk keluaran Kapasitas Pembangkit adalah Sedang (Sdg) 9 sampai dengan 12 KWP



■ **Gambar 15.** Hasil Pengujian kapasitas pembangkit untuk 59 rumah

Perhitungan manual kapasitas pembangkit untuk 59 rumah

- Jumlah kebutuhan energi = 59 rumah x 300 Wh/hari = 17.700 Wh/hari.
- Cadangan Energi (30%) = $0.3 \times 17.700 \text{ Wh/hari} = 5.310 \text{ Wh/hari}$.
- Rugi-rugi sistem (30%) = $0.3 \times (17.700 + 5.310) = 6903 \text{ Wh/hari}$.
- Total energi $17.700 \text{ Wh/hari} + 5.310 \text{ Wh/hari} + 6903 \text{ Wh/hari} = 29.913 \text{ Wh/hari}$.

Jumlah total kebutuhan energi beban per hari 29.913 Wh/hari untuk 59 rumah. Jika menggunakan modul surya dengan keluaran energi pada temperatur operasi = 800 Wh maka jumlah modul surya yang dibutuhkan sebanyak $29.913 \text{ Wh/hari} : 800 \text{ Wh} = 37,4$ modul surya. Kapasitas pembangkit yang diperlukan jika rata-rata penyinaran matahari 4 jam dan keluaran energi modul surya per hari 1000 Wh adalah $37,4 \text{ modul surya} \times 1000 \text{ Wh/hari} / 4 \text{ jam} = 9,35 \text{ KWh}$. Jadi perhitungan dengan Logika Fuzzy masih masuk dalam standar range yang diperbolehkan karena range yang maksimum yaitu 12 KWP. Hasil perhitungan kapasitas pembangkit dengan Logika Fuzzy diperoleh 10,5 KWP seperti yang ditunjukkan pada gambar 15. Selisih perhitungan Logika Fuzzy dengan Manual = $(10,5 - 9,35) / 9,35 \times 100\% = 12,3\%$

KESIMPULAN

Hasil selisih perbandingan perhitungan kapasitas pembangkit PLTS secara manual dengan metode Logika Fuzzy sebesar 9,1% . Hal ini dipengaruhi oleh lebar nilai pada setiap himpunan keanggotaan. Semakin nilai range-nya kecil maka hasil juga semakin presisi. Pada studi kasus desa Yenbekwan perhitungan kapasitas pembangkit PLTS secara manual untuk 59 unit rumah dengan kapasitas 300Wh/hari adalah 9,35Kwp sedangkan dengan menggunakan metode Logika Fuzzy diperoleh 10,5 Kwp sehingga diperoleh selisih dalam presentase sebesar 12,3 %. Berdasarkan perhitungan kapasitas pembangkit PLTS dengan Logika Fuzzy memberikan hasil yang cukup baik dengan tingkat keakuratan 90,8% . Sehingga metode Logika Fuzzy dapat dijadikan rujukan untuk menghitung kapasitas pembangkit PLTS

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Widodo, Djoko Adi, Suryono, Tatyantoro A., Tugino, "Pemberdayaan Energi Matahari Sebagai Energi Listrik Lampu Pengatur Lalu Lintas, Fakultas Ekonomi, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, 2009
- [2]. Suriadi dan Syukri, Mahdi , "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYSY Pada Komplek Perumahan di Banda Aceh" Jurnal Rekayasa Elektrika Vol. 9, No. 2, Oktober 2010
- [3]. Hasan, Hasnawiya , " perancangan pembangkit listrik tenaga surya di pulau saugi" Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK) Volume 10, Nomor 2, Juli - Desember 2012
- [4]. Kusumadewi, Sri, Analisis & Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox MATLAB. Yogyakarta, GRAHA ILMU, 2002
- [5]. Kusumadewi, Sri dan Purnomo, H, Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan. Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta, 2004

- [6]. Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Tahun 2012
- [7]. Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Tahun 2015
- [8]. https://rajaampatkab.bps.go.id/website/pdf_publicasi/Statistik-Daerah-Distrik-Meosmansar-2013.pdf