AUDIT ENERGI LISTRIK BERBASIS FUZZY LOGIC PADA RUMAH SAKIT BANYUMANIK 2

Tesis S–2

Untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik

Program Studi Magister Teknik Elektro

Diajukan oleh

Gloria Putri Pancarrani

20601800016

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2023

AUDIT ENERGI LISTRIK BERBASIS FUZZY LOGIC PADA RUMAH SAKIT BANYUMANIK 2

Tesis S–2

Untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik

Program Studi Magister Teknik Elektro

Diajukan oleh

Gloria Putri Pancarrani

20601800016

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2023

HALAMAN PENGESAHAN

TESIS
AUDIT ENERGI LISTRIK BERBASIS FUZZY LOGIC PADA RUMAH SAKIT BANYUMANIK 2

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:
Gloria Putri Pancarrani
NIM: 20601800016

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada Tanggal: 10 Maret 2023

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing Utama

Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT
NIDN: 0618066301

Ketua Penguji 1

Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT
NIDN: 0826086501

Pembimbing Pendamping

Arief Marwanto, ST., M.Eng., Ph.D, IPM
NIDN: 0626097501

Penguji 2

Dr. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si
NIDN: 0620026501

Penguji 3

Dr. Eka Nuryanto Budisusila, ST., MT
NIDN: 0619107301

Tesis ini telah disetujui sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik

Tanggal: 10 Maret 2023
Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

Dr. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si
NIDN: 0620026501

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama	: Gloria Putri Pancarrani
NIM	: 20601800016
Program Studi	: Magister Teknik Elektro
Fakultas	: Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis yang diajukan kepada Program Studi Magister Teknik Elektro dengan judul :

"AUDIT ENERGI LISTRIK BERBASIS FUZZY LOGIC PADA RUMAH SAKIT BANYUMANIK 2"

Adalah hasil karya saya sendiri, judul tersebut belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) ataupun pada universitas lain serta belum pernah ditulis maupun diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis diacu, disitasi dan ditunjuk dalam daftar Pustaka. Tesis ini adalah milik saya, segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tesis ini adalah tanggung jawab saya.

Semarang, 10 Maret 2023

Penulis,

Gloria Putri Pancarrani

NIM: 20601800016

PERNYATAAN PERSETUJUAN UNGGAH KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama	:	Gloria Putri Pancarrani
NIM	:	20601800016
Program Studi	:	Magister Teknik Elektro
Fakultas	:	Teknologi Industri

Dengan ini menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir/Skripsi/Tesis/Disertasi* dengan judul :

Audit Energi Listrik Berbasis Fuzzy Logic pada Rumah Sakit Banyumanik 2

dan menyetujuinya menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak Bebas Royalti Non-ekslusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dalam pangkalan data, dan dipublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 13 Maret 2023

Yang menyatakan,

(Gloria Putri Pancarrani)

*Coret yang tidak perlu

PRAKATA

Alhamdulillah dengan mengucapkan segala puji syukur bagi Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **"Audit Energi Listrik Berbasis Fuzzy Logic Pada Rumah Sakit Banyumanik 2".**

Tesis ini tidak tersusun dengan baik tanpa bimbingan, bantuan dan dukungan dari banyak pihak yang diberikan kepada penulis. Oleh karena itu penulis memberikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Hj. Novi Marlyana, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Dr. Hj. Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si. selaku Ketua Prodi Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT selaku Dosen Pembimbing Utama.
4. Bapak Arief Marwanto, ST., M.Eng., Ph. D selaku Dosen Pembimbing.
5. Bapak Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT, Ibu Dr. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si, dan Ibu Ir. Suryani Alifah, M.T., Ph.D selaku Dosen Penguji yang telah membimbing dan membekali ilmu kepada penulis.
6. Bapak Ir. H. Hadi Pranoto, S.T selaku Direktur CV. Bartec Utama Mandiri yang memberikan beasiswa kepada saya untuk melanjutkan studi di Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
7. Teman-teman Magister Teknik Elektro Angkatan 2018 yang selalu menjadi dorongan, motivasi dan semangat selama penulis menyelesaikan tesis ini.

Penulis menydari jika tesis ini adalah jauh dari kata sempurna, untuk itu saran, kritik dan masukan yang membangun sangat diharapkan. Semoga penelitian ini dapat menjadi manfaat dan berguna bagi kita semua. Terima kasih.

Semarang, 10 Maret 2023

Gloria Putri Pancarrani

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ii
HALAMAN PENGESAHAN iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS iv
PRAKATA v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR x
ABSTRAK xi
ABSTRACT xii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2.Perumusan Masalah 2
1.3.Batasan Masalah 3
1.4.Tujuan Penelitian 3
1.5.Manfaat Penelitian 3
1.6.Keaslian Penelitian 4
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI 6
2.1 Kajian Pustaka 6
2.2 Landasan Teori 9
2.2.1 Energi Listrik 9
2.2.2 Manajemen Energi 9
2.2.3 Definisi Audit Energi 10
2.2.4 Acuan Standar Audit Energi 10
2.2.5 Audit Energi Pada Bangunan Gedung - SNI 036196-2000 11
2.2.6 Prosedur Audit Energi Bangunan Gedung (SNI 6196:2011) 12
2.2.7 Audit Energi pada Bangunan Rumah Sakit 13
2.2.8 Intensitas Konsusmsi Energi (IKE) 14
2.2.9 Beban Tenaga Listrik 16
2.2.10 Bangunan Hemat Energi 17
2.2.11 Logika Fuzzy [32] 18

2.2.7.1 Metode Fuzzy Tsukamoto [33] 18
2.2.7.2 Fungsi Keanggotaan 20
2.2.7.2 Deffuzifikasi 21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 22
3.1 Model Penelitian 22
3.2 Alat dan Bahan Penelitian 22
3.3 Data Penelitian 26
3.3.1 Profil Rumah Sakit 26
3.3.2 Data Konsumsi Energi 29
3.3.3 Data Kunjungan Pasien 29
3.3.4 Data Tingkat Hunian / BOR 30
3.4 Fuzzi Inferense System (FIS) 31
3.4.1 Fuzzyfikasi 31
3.4.2 Fungsi Keanggotaan 31
3.5 Flowchart Langkah Penelitian 37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 38
4.1 Audit Energi Awal 38
4.2 Perhitungan Manual Sistem Inferensi Fuzzy Metode Mamdani 39
4.3 Audit Energi Rinci 42
4.3.1 Konsumsi Energi Listrik Sistem Pencahayaan 42
4.3.2 Konsumsi Energi Listrik Sistem Penataan udara 44
4.3.3 Konsumsi Energi Listrik Prasarana / Utilitas 44
4.3.4 Konsumsi Energi Listrik Sarana Perkantoran 45
4.3.5 Konsumsi Energi Listrik Peralatan Medis 46
4.3.6 Rekapitulasi Konsumsi Energi Listrik 46
4.3.6 Peluang Penghematan Energi 47
4.3.7 Perhitungan Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Akhir 50
4.3.8 Perbandingan Nilai IKE Awal dan IKE Akhir 51
BAB V PENUTUP 52
5.1 Kesimpulan 52
5.2 Saran 53
DAFTAR PUSTAKA 54

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standard kriteria IKE (Intensitas Konsumsi Energi) 15
Tabel 2. 2 Nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Listrik 16
Tabel 2. 3 Standar IKE pada Bangunan Gedung di Indonesia.....16
Tabel 3. 1 Komposisi Bangunan Rumah Sakit 26
Tabel 3. 2 Data Pengelompokan Ruang Tiap Lantai 27
Tabel 3. 3 Data Konsumsi Energi (kWh).....29
Tabel 3. 4 Data Kunjungan Pasien.....30
Tabel 3. 5 Data Bed Ocuupation Rate (BOR).....30
Tabel 3. 6 Tabel Fungsi Keanggotaan.....31
Tabel 3. 5 *Rules Baze Fuzzy*.....35
Tabel 4. 1 Perhitungan IKE daya listrik Per Bulan Tahun 2021 - 2022 38
Tabel 4. 2 Perhitungan IKE Tingkat Hunian Tahun 2021 -2022.....39
Tabel 4. 3 Rata-Rata Operasional Nyala Lampu Ruangan Per Hari.....42
Tabel 4. 4 Konsumsi Energi Listrik Peralatan Sistem Pencahayaan (kWh/Hari) 43
Tabel 4. 5 Jenis Lampu Yang Digunakan.....43
Tabel 4. 6 Jam Oprasional AC Berdasarkan Fungsi Ruangan.....44
Tabel 4. 7 Konsumsi Energi Listrik Untuk Penataan udara.....44
Tabel 4. 8 Jenis dan Lama Pemakaian Utilitas 45
Tabel 4. 9 Konsumsi Energi Listrik Utilitas 45
Tabel 4. 10 Jenis dan Lama Pemkaian Sarana Perkantoran.....45
Tabel 4. 11 Konsumsi Energi Sarana Perkantoran.....46
Tabel 4. 12 Rekapitulasi Konsumsi Energi Listrik.....47
Tabel 4. 13 Biaya Penggunaan Jenis Lampu Penerangan.....48
Tabel 4. 14 Perhitungan Potensi Penghematan Energi Sistem Pencahayaan.....49
Tabel 4. 15 Rekapitulasi Peluang Hemat Energi (PHE) dari Kelompok Peralatan 50
Tabel 4. 16 Potensi Efisiensi Pemakaian Energi Listrik.....50
Tabel 4. 17 Perbandingan Nilai IKE Awal dan IKE Akhir.....51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Model Penelitian 22
Gambar 3. 2 Siteplan RS Banyumanik 2 Semarang Lantai 1 23
Gambar 3. 3 Siteplan RS Banyumanik 2 Semarang Lantai 2 24
Gambar 3. 4 Siteplan RS Banyumanik 2 Semarang Lantai 3 25
Gambar 3. 5 Diagram Fuzzifikasi dengan Matlab Fis 31
Gambar 3. 6 Himpunan Keanggotaan Daya 32
Gambar 3. 7 Himpunan Keanggotaan BOR.....33
Gambar 3. 8 Himpunan Keanggotaan IKE 34
Gambar 3. 9 Rules Editor by MATLAB.....35
Gambar 3. 10 Rules Viewer fuzzy Input - Output 36
Gambar 3. 12 Flowchart Diagram Penelitian.....37
Gambar 4. 1 Derajat Keanggotaan Himpunan Daya (kWh) 40
Gambar 4. 2 Derajat Keanggotaan Himpunan BOR.....40
Gambar 4. 3 Presentase Konsumsi Energi Listrik Per Kelompok 47

ABSTRAK

Konsumsi energi listrik secara berlebihan akan menyebabkan ketidak efisiensian penggunaan energi di suatu bangunan yang berdampak pada tagihan listrik yang terus meningkat dan membengkak. Maka pemanfaatan energi listrik harus dilakukan secara hemat dan efisien, sehingga diperlukan upaya program penghematan. Langkah yang tepat sebagai solusi adalah mengimplementasikan program penghematan dengan manajemen energi dan salah satu diantaranya adalah pelaksanaan audit energi.

Penelitian ini membahas tentang audit energi listrik berbasis fuzzy logic pada suatu bangunan. Model penelitian ditetapkan sebagai sebuah single line di kelistrikan. Parameter yang ditetapkan antara lain: tingkat hunian kamar/*bed occupancy rate* (BOR), sistem pencahayaan, sistem penataan udara, utilitas, sarana kantor, dan total besar daya listrik (kWh). Fuzzy logic digunakan untuk mengetahui suatu kejadian sebagai perbaikan kebijakan pada kejadian yang akan datang. Parameter penelitian ini menggunakan dua variabel *input* yaitu total konsumsi energi listrik (kWh) dan tingkat hunian kamar/*bed occupancy rate* (BOR), dengan variabel *output* berupa intensitas konsumsi energi (IKE) pada Tahun 2021-2022. Sebagai obyek Penelitian diambil Rumah Sakit Banyumanik 2 Semarang.

Hasil menunjukan bahwa fuzzy logic mampu digunakan untuk penentuan nilai intensitas konsumsi energi listrik pada rumah sakit dengan empat langkah untuk yaitu mendefinisikan variabel (*fuzzyfikasi*), inferensi fuzzy, komposisi aturan dan defuzzifikasi, sehingga hasil lebih akurat. Hasil audit energi listrik pada RS Banyumanik 2 Semarang menunjukan perbandingan nilai IKE awal sebesar 72,978 37,424 kWh/m^2/tahun dan nilai IKE akhir sebesar 37,424 kWh/m^2/tahun yang berada pada kategori energi efisien. Selisih nilai IKE tersebut diperoleh dari potensi peluang hemat energi dengan penggantian pada jenis lampu LED serta teknologi AC inverter yang menghasilkan potensi efisiensi sebesar 48,72%. Rumah Sakit Banyumanik 2 sudah memilki nilai IKE yang efisien. Hal ini mungkin karena rumah sakit tersebut baru 1 tahun lebih beroperasional sehingga tingkat kunjungan pasien juga belum terlalu tinggi. Perhitungan peluang hemat energi yang dilakukan di penelitian ini berguna untuk nantinya menjadi kebijakan kontrol hemat energi apabila ke depan terjadi pemborosan seiring berjalannya waktu.

Kata kunci: audit energi listrik, fuzzy logic, RS Banyumanik

ABSTRACT

Excessive consumption of electrical energy will cause inefficiency in energy use in a building which has an impact on electricity bills that continue to increase and swell. So the use of electrical energy must be carried out efficiently and efficiently, so that saving program efforts are needed. The right step as a solution is to implement a savings program with energy management and one of them is the implementation of energy audits.

This research discusses fuzzy logic-based electrical energy audits in a building. The research model was designated as a single line in electricity. The parameters set include: bed occupancy rate (BOR), lighting system, air conditioning system, utilities, office facilities, and total electrical power (kWh). Fuzzy logic is used to identify an event as a policy fix for future events. The parameters of this study use two input variables, namely the total electrical energy consumption (kWh) and the room occupancy rate /bed occupancy rate (BOR), with the output variable in the form of energy consumption intensity (IKE) in 2021-2022. As the object of research was taken Banyumanik Hospital 2 Semarang.

The results show that fuzzy logic can be used to determine the intensity value of electrical energy consumption in hospitals with four steps, namely defining variables (fuzzyfication), fuzzy inference, rule composition and defuzzification, so that the results are more accurate. The results of the electrical energy audit at Banyumanik 2 Hospital Semarang showed a comparison of the initial IKE value of 72,978 37,424 kWh/m^2/year and the final IKE value of 37,424 kWh/m^2/year which is in the efficient energy category. The difference in IKE value is obtained from the potential energy-saving opportunity with the replacement of LED lamp types and inverter AC technology which produces a potential efficiency of 48.72%. Banyumanik 2 Hospital already has an efficient IKE value. This is probably because the hospital has only been operational for more than 1 year so the patient visit rate is also not too high. The calculation of energy-saving opportunities carried out in this study is useful to later become an energy-saving control policy if in the future there is waste over time.

Keywords: electrical energy audit, fuzzy logic, Banyumanik Hospital

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan prioritas utama pada operasional di Rumah Sakit, porsi pemakaian dan alokasi dana untuk penyediaannya cukup besar. Hampir seluruh operasional rumah sakit sehari-hari membutuhkan energi listrik antara lain seperti kegiataan admisnitrasi, kegiatan perkantoran, kegiatan pemeriksaan awal atau poli dan kegiatan penunjang rumah sakit lainya sebagian besar menggunakan listrik. Banyaknya aktifitas tersebut membuat porsi pemakain energi listrik yang tidak diperhatikan secara optimal sehingga dapat berpotensi pemborosan dalam penggunaannya, seperti penerangan, penataan udara (AC), peralatan penunjang kesehatan seperti CT Scan, USG, inkubator, serta alat medis atau peralatan penujang rumah sakit lainya [1].

Penggunaan energi pada gedung rumah sakit harus dilakukan secara efektif dan efesiensi, sehingga dapat meminimalisir pembayaran rekening listrik yang terlalu besar. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu audit energi untuk menentukan nilai Intesitas Konsumsi Energi (IKE) pada rumah sakit agar mendapatkan nilai IKE yang sesuai standar sehingga tercapai penggunaan energi yang efektif dan efesien [2].

Studi kasus penelitian ini adalah di Rumah Sakit Banyumanik 2 Semarang. Dimana awalnya RS Banyumanik 2 ini menggantikan kedudukan RS Banyumanik lama. Namun akhirnya RS Banyumanik lama diupayakan tetap beroperasi dengan bertransformasi menjadi Rumah Sakit Ibu dan Anak [3]. Rumah Sakit Banyumanik 2 merupakan rumah sakit swasta tipe C dengan 3 lantai yang berdiri di atas lahan seluas 9.098 m^2. Luas bangunannya mencapai 6.921 m^2 dengan kapasitas 111 tempat tidur. Gedung rumah sakit ini memiliki kapasitas daya yang terpasang sebesar 830 kVA dengan penggunaan beban listrik sistem pencahayaan (lampu), sistem pendingin, penataan udara (AC), pompa, peralatan penunjang perkantoran.

Permasalahan yang terjadi apabila konsumsi energi listrik secara berlebihan akan menyebabkan ketidak efisiensian penggunaan energi di suatu bangunan.

Besarnya penggunaan energi terkadang disebabkan adanya kesalahan dalam manajemen penggunaan energi, atau adanya penggunaan peralatan yang kurang tepat.

Penggunaan energi listrik yang tidak efisien menyebabkan konsumsi energi listrik yang boros, tidak terkendali dan meningkatkan beban biaya listrik sehingga berdampak pada pemborosan tagihan listrik [4].

Maka pemanfaatan energi listrik harus dilakukan secara hemat dan efisien, sehingga diperlukan upaya program penghematan. Langkah yang tepat sebagai solusi adalah mengimplementasikan program penghematan dengan manajemen energi dan salah satu diantaranya adalah audit energi. Kegiatan audit energi dilakukan untuk mengetahui pola penggunaan energi dan potensi penghematan energi.

Kegiatan audit energi untuk bangunan-bangunan komersial telah banyak dilakukan. Selain untuk menghemat energi itu sendiri, juga untuk menghemat biaya untuk pemakaian energi [5]. Audit energi merupakan sebuah proses evaluasi pemanfaatan energi untuk mengetahui profil penggunaan energi pada bangunan gedung [6].

Beberapa penelitian terdahulu tentang audit energi yang telah dilakukan antara lain: audit awal energi listrik dengan menggunakan metode perhitungan IKE [7], studi manajemen energi dengan metode yang dilakukan menggunakan perhitungan IKE dan PHE [8], simulasi audit energi pada rumah sakit dengan metodologi simulasi komputer menggunakan energyplus [9].

Berdasarkan permasalahan tersebut penelitian ini membahas tentang "Analisis konsumsi energi listrik berdasarkan audit energi dengan metode fuzzy logic dengan obyek penelitian pada Rumah Sakit Banyumanik 2, Semarang".

1.2. Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang di atas, maka dapat di rumuskan beberapa permasalahan antara lain yaitu sebagai berikut :

1. Bagaimana pola penggunaan energi listrik di RS Banyumanik 2 Semarang?

2. Bagaimanakah nilai intensitas konsumsi energi (IKE) yang diperoleh pada RS Banyumanik 2 Semarang?
3. Bagaimana metode fuzzy logic dapat diterapkan untuk membantu audit energi dan memberikan rekomendasi kebijakan control penggunaan energi listrik pada rumah sakit berdasarkan nilai konsumsi sebelumnya?

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Audit energi dilakukan dengan perhitungan metode Intesitas Konsumsi Energi (IKE).
2. Parameter yang mempengaruhi efisiensi konsumsi energi listrik adalah Tingkat Hunian Kamar /Bed Occupancy Rate (BOR), Sistem Pencahayaan, Sistem Penataan udara (AC), Utilitas (Pompa), Sarana Kantor (Kulkas, Dispenser, Komputer), total besar daya listrik (kWh).
3. Logika fuzzy dengan menggunakan Metode Tsukamoto.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berdasarkan perumusan masalah di atas yaitu menganalisis konsumsi energi listrik pada gedung kesehatan berdasarkan audit energi dengan metode fuzzy logic.

1. Menganalisis besaran penggunaan energi listrik pada Rumah Sakit Banyumanik 2 Semarang.
2. Diketahuinya intesitas konsumsi energi (IKE) pada Rumah Sakit Banyumanik 2 Semarang.
3. Penerapan Logika Fuzzy untuk meningkatkan akurasi audit energi di Rumah Sakit Banyumanik 2 Semarang.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi penulis, penelitian ini dapat menambah ilmu pengetahuan dan dapat membandingkan ilmu yang diterapkan di Universitas dengan ilmu yang

ada di lapangan serta sebagai bentuk pengaplikasian analisis statistika dalam dunia kerja.

2. Bagi kalangan akademisi, penelitian ini dapat dijadikan sebagai wawasan baru dalam membuat karya ilmiah atau untuk dikembangkan dalam penelitian selanjutnya.
3. Bagi instansi terkait, hasil penelitian dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk mengevaluasi penggunaan, perawatan dan perilaku hemat energi.

1.6. Keaslian Penelitian

Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan audit konsumsi energi menjadi dasar pemikiran dalam melakukan kegiatan penelitian ini, berikut adalah beberapa penelitian yang digunakan sebagai acuan dan akan dijadikan perbandingan, penelitian tersebut antara lain :

a. Audit Awal Energi Listrik RS Kartika Husada Tambun [7], melakukan Audit Awal Energi Listrik dengan menggunakan metode perhitungan IKE. Nilai IKE didapat dari perbandingan total penggunaan energi listrik dengan luas gedung. Proses evaluasi dimulai dengan mengumpulkan data historis gedung RS. Kartika Husada Tambun seperti data luas bangunan gedung, data pemakaian energi listrik, serta biaya yang dikeluarkan untuk kebutuhan energi listrik. Hasil perhitungan untuk nilai IKE Listrik RS Kartika Husada Tambun tahun 2016 adalah sebesar 160,73 kWh/ m^2/tahun, nilai IKE tahun 2017 adalah 166,04 kWh/ m^2/tahun, dan tahun 2018 adalah 142,79 kWh/m^2/tahun tergolong kategori efisien karena masih di bawah standar IKE listrik untuk gedung rumah sakit yaitu 380 kWh/m^2/tahun. Untuk penghematan biaya penulis merekomendasi penerapan teknologi hemat energi.
b. Studi Manajemen Energi Di Rumah Sakit Prima Medika Denpasar [8], Metode yang dilakukan menggunakan perhitungan IKE dan PHE. Perhitungan audit energi awal diperoleh indeks Intensitas Konsumsi Energi (IKE) sebesar 344,23 kWh/m²/tahun dan ini termasuk dalam katagori Energi Intensive atau menunjukan penggunaan energi yang boros. Akan dilakukan upaya konservasi energi pada semua kelompok peralatan terutama kepada peralatan sistem

penataan udara yang merupakan penyerap energi terbesar dimulai dari menyusun asumsi pola jam oprasional peralatan selanjutnya dilakukan upaya pencarian terhadap potensi-potensi hemat energi dan didapatkan total potensi penghematan energi listrik sebesar 613.813,2 kwh/m^2/tahun atau sebesar 26,70% sehingga jika usulan Peluang Hemat Energi (PHE) ini dapat diimplementasikan maka nilai IKE akhir dapat menurun menjadi 252,33 kWh/m²/Tahun atau masuk dalam katagori Energy Standart atau sudah efisien.

c. Simulasi Audit Energi pada Rumah Sakit Umum Daerah Banyumas [9]. Penelitian ini bertujuan menyimulasikan konsumsi energi dari RSUD Banyumas. Simulasi dilakukan dengan menggunakan model 3D DesignBuilder yang dianalisis dengan software EnergyPlus. Hasil simulasi penggunaan selama 1 tahun menunjukkan penggunaan energi sebesar 3.366.904,81 kWh, dengan 92% merupakan pendingin dan 8% merupakan pencahayaan. Skenario penghematan energi menggantikan Constant Air Volume menjadi Variable Air Volume menghasilkan 7,94% penghematan dengan nominal Rp. 247.293.126,57 dan nilai IKE sebesar 254,97 kWh/m sehingga masih tergolong bangunan hijau menurut standar GBCI.

Penelitian tersebut berhasil dilakukan dengan perhitungan IKE dalam pelaksanaan audit energi, namun metode yang digunakan adalah dengan perhitungan manual intensitas konsumsi energi dan terobosan potensi penghematan. Penelitian ini memfokuskan penerapan metode *fuzzy logic* untuk penentuan nilai intensitas konsumsi energi listrik pada rumah sakit dengan empat Langkah. Langkah pertama yakni pembentukan himpunan fuzzy (*fuzzyfikasi),* langkah kedua adalah aplikasi fungsi implikasi, langkah ketiga membuat komposisi aturan, langkah ke empat yaitu mengubah output menjadi himpunan tegas dengan proses *defuzzifikasi* sehingga akan diperoleh hasil berupa diketahui tingkat efisiensi penggunaan energi listrik pada Rumah Sakit berdasarkan nilai IKE dengan hasil lebih akurat. Hasil *defuzzifikasi* tersebut yang menentukan keputusan yang akan diambil.

BAB II
KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Sejumlah penelitian terkait audit energi telah dilakukan oleh beberapa penelti terdahulu, antara lain:

1. Efisiensi Penggunaan Energi Listrik Pada Gedung Dengan Metode Demand Side Manajement (DSM) Berbasis Analytical Hierarchy Process (AHP) [10], melakukan alternatif solusi dari permasalahan pemborosan energi listrik dengan usaha efisiensi pemakaian energi listrik dari sisi konsumen. Dengan menerapkan Demand Side Management (DSM) pada gedung. Untuk menerapkan DSM dilakukan audit energi pada gedung. Dari hasil IKE dan profil pemakaian energi maka ditentukan kriteria, subkriteria dan alternatif kebijakan energi pada gedung tersebut dengan perhitungan Analytical Hierarchy Process (AHP). Hasil pengolahan dari AHP didapatkan set alternatif efisiensi energi listrik dengan masing-masing bobotnya adalah SOP peralatan listrik sebesar 53,3%, perawatan peralatan listrik sebesar26,9 %, teknologi baru sebesar 19,8 %.
2. Perancangan Pencahayaan di Perpustakaan Universitas Sebelas Maret Menggunakan Pendekatan Metode Fuzzy AHP [11], perbaikan pencahayaan buatan menggunakan pendekatan fuzzy AHP dapat digunakan untuk menentukan lampu yang akan digunakan. Fuzzy AHP dipilih karena mampu mengatasi ambiguitas dalam pengambilan keputusan yang bersifat subyektif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fuzzy AHP dapat mengoptimalisasikan pemilihan IKE sebesar 43% untuk perbaikan pencahayaan di ruangan. Namun kelemahan metoda fuzzy AHP dalam optimalisasi pencahayaan di Gedung ini terkendala dengan induksi dari peralatan motor listrik seperti AC, Mesin Cuci dan Mesin Pendingin yang menyebabkan beban menjadi induktif, sehingga daya reaktif yang mempengaruhi hasil pengukuran ini.

3. Audit Penggunaan Energi Listrik Pada Air Conditioner Di Rumah Sakit Tipe C (Studi Kasus : Rsud Dr. R. Soetrasno Rembang Jawa Tengah) [12], Nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) keseluruhan RSUD dr. R. Soetrasno Rembang pada tahun 2020 dan juga nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) air conditioner RSUD dr. R. Soetrasno Rembang termasuk kategori sangat efisien dari standar 4,17 –7,92 kWh/m2/tahun dapat diefisienkan lagi. Sehingga, diperlukan proses review yang mendetail, yang meliputi pengukuran suhu ruangan sesuai regulasi, pengukuran konsumsi energi air conditioner dan analisis peluang penghematan energi yang akan diberikan.
4. Konservasi Energi Sektor Bangunan Rumah Sakit Cempaka Putih Permata Surabaya [13], Konservasi energi difokuskan pada sistem pengkondisian udara dengan metode menghitung Cooling Load Temperature Difference (CLTD) dan Overall Thermal Transfer Value (OTTV) untuk mengetahui peluang penghematan energi. Hasil perhitungan beban pendinginan dengan asumsi okupansi setiap ruangan maksimum termasuk tidak terjadi pemborosan ketika dibandingkan dengan kapasitas AC yang terpasang namun dari sisi kenyamanan kurang memenuhi kebutuhan. Rekomendasi yang dapat diterapkan adalah menambah jumlah AC agar memenuhi tingkat kenyamanan termal.
5. Analisa Audit Energi RS. GMIBM Monompia Kotamobagu [14]. Berdasarkan perhitungan IKE terdapat beberapa bangunan/ruangan yang belum memenuhi kriteria. Analisa ini digunakan perencanaan untuk mengoptimalkan penggunaan energi listrik agar dapat lebih efisien.
6. Sistem Embedded Cerdas Menggunakan Logika Fuzzy untuk Efisiensi Konsumsi Energi Listrik [15], Penelitian ini membuat purwarupa sistem embedded cerdas yang dapat mengendalikan penggunaan peralatan elektronik menggunakan metode Logi ka Fuzzy sehingga pengendalian konsumsi energi listrik dapat dilakukan secara otomatis. Hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem embedded cerdas mampu mengendalikan konsumsi energi dan menghemat energi listrik hingga 28,71%.

7. Penentuan Prioritas Efisiensi Energi Listrik Menggunakan Metode Fuzzy Logic [16]. Penelitian ini menjelaskan tiga faktor utama yang akan mempengaruhi penggunaan energi listrik untuk lampu dan Air Conditioning (AC) yaitu pencahayaan alami, luas ruangan dan suhu luar ruangan. Hasil penelitian yang diperoleh berupa hipotesis bahwa terdapat hubungan yang sangat signifikan antara intensitas cahaya, luas ruangan dan suhu luar ruangan dalam menentukan prioritas efisiensi energi terhadap suatu ruangan dan prosentase efisiensi dinamis untuk masing-masing ruangan berdasarkan dengan kriteria yang telah ditentukan.
8. Audit Energi dan Analisis Peluang Penghematan Energi Listrik Pada Bagian Produksi di PT. EPFM Makassar [17]. Audit energi tersebut dimulai dengan pengumpulan dan pengolahan data konsumsi energi pada pabrik, kemudian menghitung Intensitas Konsumsi Energi (IKE). Dari hasil perhitungan intensitas konsumsi energi maka diketahui tingkat efisiensi penggunaan energi listrik pada gedung tersebut. Efisiensi konsumsi energi listrik pada PT. EPFM dapat ditingkatkan dengan mengganti motor-motor penggerak yang sudah tidak beroperasi dengan semestinya.
9. Mengurangi Konsumsi Energi Dengan Audit Dan Manajemen Energi Pada Ruang Kendali (Studi Kasus di PT PWI) [18]. Perusahaan manufaktur produk sepatu yang berorientasi ekspor, permintaan dari konsumen semakin meningkat setiap tahunnya, membutuhkan kecukupan tenaga listrik yang bernilai ekonomis tinggi. Area penelitian pada lantai kantor ruang control. Hasil audit energi menyatakan masih diatas standar sehingga dilakukan PHE.
10. Kajian Efisiensi Energi Dengan Pengaturan Suplai Energi Listrik [19]. Industri penghasil gula dengan sistem kelistrikan menggunakan dua buah suplai energi listrik, yaitu menggunakan suplai PLN dan Boiler Turbin Generator (BTG). Penggunaan lebih dari satu suplai tenaga listrik ini mengakibatkan kenaikan biaya produksi listrik yang dibutuhkan. Untuk mengatasi masalah tersebut, dalam penelitian ini akan dilakukan kajian untuk mengefisiensikan biaya energi listrik yang dilakukan dengan cara

pengaturan suplai energi listrik, yaitu menggunakan suplai maksimal BTG dan kekurangannya ditunjang suplai PLN (alternatif I), menggunakan suplai maksimal PLN dan kekurangannya ditunjang suplai BTG (alternatif II) dan hanya menggunakan suplai PLN (alternatif III).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Energi Listrik

Energi menurut Eugene C. Lister yang diterjemahkan oleh Hanapi Gunawan (1993) bahwa energi merupakan kemampuan untuk melakukan kerja, energi merupakan kerja tersimpan. Pengertiaan ini tidaklah jauh beda dengan ilmu fisika yaitu sebgai kemampuan melakukan usaha (Kamajaya, 1986). Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat pula dimusnahkan. Energi hanya dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk energi yang lain. Demikianlah pula energi listrik yang merupakan hasil perubahan energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik. Keberadaan energi listrik ini dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin. Adapun kegunaan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari merupakan penerangan, pemanas, motor-motor listrik dan lain-lain. Energi yang digunakan alat listrik merupakan laju penggunaan energi (daya) dikalikan dengan waktu selama alat tersebut digunakan. Bila daya diukur dalam watt jam, maka persamaanya dapat dilihat pada persamaan (2.1).

$$W = P\,x\,t \tag{2.1}$$

dengan: P = daya dalam watt

t = Waktu dalam jam

W = energi dalam watt jam

Watt jam (wathour = Wh) merupakan energi yang dikeluarkan jika 1 watt digunakan selama 1 jam [20].

2.2.2 Manajemen Energi

Manajemen energi adalah Program yang disusun secara sistematis dalam penggunaan energi dengan melakukan pencatatan, perencanaan, pengawasan dan evaluasi secara kontinyu. Managemen energi perlu dilakukan dalam rangka

konservasi energi . Konservasi energi memiliki peran yang sangat penting dalam kehidupan masyarakat karena konservasi energi adalah suatu pemanfaatan energi atau sumber daya energi secara rasional dan efisien tanpa harus mengurangi jumlah penggunaan energi [21].

2.2.3 Definisi Audit Energi

Audit energi adalah teknik yang dipakai untuk menghitung besarnya konsumsi energi pada suatu bangunan/gedung dan mengenali cara-cara untuk penghematannya. Audit energi merupakan aktifitas pemeriksaan berkala untuk mengetahui ada tidaknya penyimpangan dalam suatu kegiatan penggunaan energi. Dengan melaksanakan audit energi diharapkan:

a) Dapat diketahui besarnya intensitas konsumsi energi (IKE) pada bangunan tersebut.
b) Dapat dicegah pemborosan energi tanpa harus mengurangi tingkat kenyamanan gedung yang berarti pula penghematan biaya energi.
c) Dapat diketahui profil penggunaan energi.
d) Dapat dicari upaya yang perlu dilakukan dalam usaha meningkatkan efisiensi penggunaan energi.

Audit energi awal terdiri dari survey manajemen energi dan survey energi secara teknis [22].

2.2.4 Acuan Standar Audit Energi

Menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 14 tahun 2012 [23], audit energi adalah proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang pengehematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna sumber energi dan pengguna energi dalam rangka konservasi energi. Secara umum audit energi adalah kegiatan untuk mengidentifikasi dimana dan berapa energi yang digunakan serta langkah-langkah apa yang dapat dilakukan dalam rangka konservasi energi pada suatu fasilitas pengguna energi. Audit energi dapat juga diartikan yaitu suatu prosedur pencatatan penggunaan energi secara sistimatis dan berkesinambungan, melalui

pengumpulan data kemudian diikuti dengan analisa dan pendefinisian kegiatan konservasi energi yang akan dilaksanakan. Gabungan antara pengumpulan data, analisa data dan definisi kegiatan konservasi disebut sebagai audit energi [24].

2.2.5 Audit Energi Pada Bangunan Gedung - SNI 036196-2000 [25]

a. Audit Energi Awal

Audit energi awal adalah pengumpulan contoh data awal dan memperkenalkan istilah-istilah seperti audit singkat dan survey awal. Audit energi awal pada prinsipnya dapat dilakukan pemilik/pengelola bangunan gedung yang bersangkutan berdasarkan data rekening pembayaran energi yang dikeluarkan dan pengamatan visual. Kegiatan audit energi awal meliputi pengumpulan data energi bangunan dengan data yang tersedia dan tidak memerlukan pengukuran serta melakukan perhitungan Intensitas Konsumsi Energi berdasarkan data yang telah dikumpulkan.

b. Audit Energi Rinci

Audit energi rinci merupakan tindak lanjut yang dilakukan jikalau dari analisa sebelumnya nilai IKE lebih besar dari nilai target yang ditentukan. Audit energi rinci juga perlu dilakukan untuk mengetahui profil penggunaan energi pada bangunan gedung, sehingga dapat diketahui peralatan pengguna energi apa saja yang pemakaian energinya cukup besar. Kegiatan yang dilakukan pada audit energi rinci diantaranya: penelitian dan pengukuran konsumsi energi.

c. Analisis Peluang Hemat Energi

Setelah melakukan audit energi awal dan audit energi rinci maka perlu adanya identifikasi peluang hemat energi. Hasil pengumpulan data selanjutnya ditindak lanjuti dengan perhitungan besarnya IKE dan penyusunan profil penggunaan energi bangunan gedung. Apabila besarnya IKE hasil perhitungan ternyata sama atau kurang dari IKE target maka kegiatan audit energi rinci dapat dihentikan atau diteruskan untuk memperoleh IKE yang lebih rendah lagi. Bila hasilnya lebih dari IKE

target, berarti ada peluang untuk melanjutkan proses audit energi rinci berikutnya guna memperoleh penghematan energi. Apabila peluang hemat energi telah diidentifikasi, selanjutnya perlu ditindak lanjuti dengan analisis peluang hemat energi, yaitu dengan cara membandingkan potensi perolehan hemat energi dengan biaya yang harus dibayar untuk pelaksanaan rencana penghematan energi yang direkomendasikan. Penghematan energi pada bangunan gedung harus tetap memperhatikan kenyamanan penghuni.

2.2.6 Prosedur Audit Energi Bangunan Gedung (SNI 6196:2011)

Pada SNI 6196:2011 dijelaskan tatalaksana audit energi agak sedikit kompleks dibanding SNI 03-6196-2000. Prosedur audit energi berdasarkan SNI 6196:2011 pada sebuah bangunan gedung dibagi dalam tahapan berikut :

1. Audit Energi Singkat (walk through audit)

   Audit energi singkat adalah kegiatan audit energi yang meliputi pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan gedung yang tersedia dan observasi, perhitungan intensitas konsumsi energi (lKE) dan kecenderungannya, potensi penghematan energi dan penyusunan laporan audit.

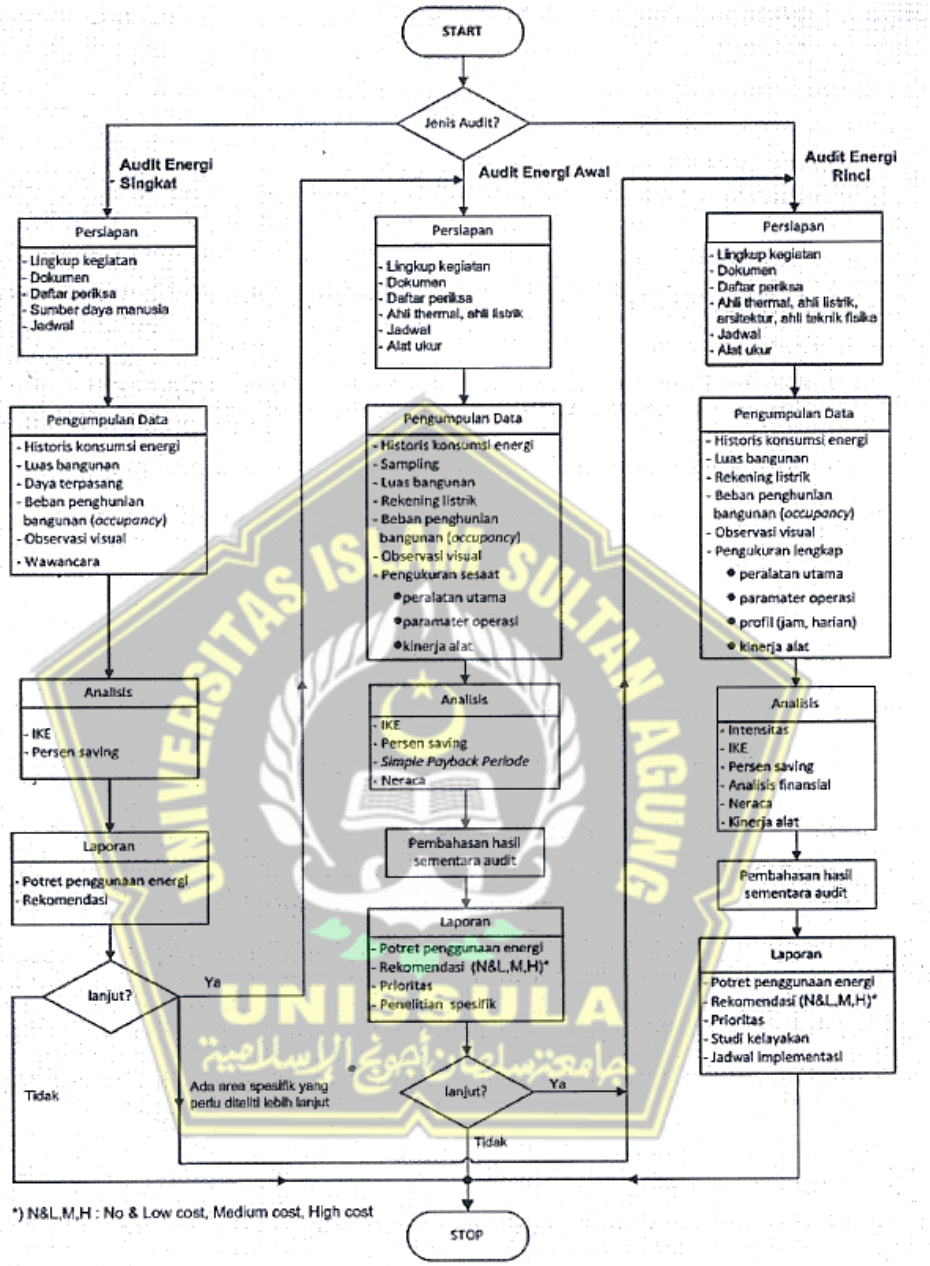
2. Audit Energi Awal (preliminary audit)

   Audit Energi Awal adalah kegiatan audit energi yang meliputi pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan gedung yang tersedia, observasi dan pengukuran sesaat, perhitungan IKE dan kecenderungannya, potensi penghematan energi dan penyusunan laporan audit.

3. Audit energi rinci (detail audit)

   Audit energi rinci adalah kegiatan audit energi yang dilakukan bila nilai IKE lebih besar dari nilai target yang ditentukan, meliputi pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan gedung yang tersedia, observasi dan pengukuran lengkap, perhitungan IKE dan kecenderungannya, potensi penghematan energi, analisis teknis dan finansial serta penyusunan laporan audit.

Skema prosedur audit energi pada SNI 6196:2011 ditampilkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Skema prosedur audit energi pada SNI 6196:2011

2.2.7 Audit Energi pada Bangunan Rumah Sakit

Sejak gedung rumah sakit beroperasi 24 jam, 365 hari setahun untuk perawatan dan pemulihan pasien, kira-kira 2–3 kali lebih intensif energi daripada bangunan biasa. Sangat sulit untuk mengurangi konsumsi energi, karena ruang yang memiliki jam operasional dan pola penggunaan yang berbeda hidup berdampingan,

seperti bangsal, klinik rawat jalan, ruang operasi, ICU (unit perawatan intensif), kantor, dan kenyamanan fasilitas, terdapat karakteristik bahwa rasio beban pendinginan/pemanasan dan fluktuasinya kompleks. HVAC (pemanas, ventilasi, dan kondisi udara) adalah penggunaan akhir utama dengan bobot mendekati 50%, pencahayaan mengikuti dengan 15% dan alat kesehatan dengan 10%. Namun demikian, dalam banyak kasus, HVAC gedung rumah sakit sistem dirancang dan dioperasikan relatif sederhana dibandingkan dengan penggunaan dan ukuran, dan lingkungan berorientasi pasien dipertahankan, teknik penghematan energi dilakukan secara manual [26]. Klasifikasi tingkat sistem manajemen energi bangunan dan kriteria pemasangan ditunjukan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Tingkat Sistem Manajemen Energi Bangunan

Level	Energy Analysis	Data Collection	Main Function
1	By energy sources (electricity, gas, etc.)	BAS Basic energy-saving control	BAS energy-saving function - Enthalpy control - Optimum start/stop control - Operating number control - CO_2 control
2	By systems (heating, cooling etc.)	BAS + EMS Energy management system	Level 1 + Energy trend analysis - Energy consumption - Energy demand trend - Energy change analysis
3	By equipment (chiller, boiler, etc.)	BAS + EMS + α Energy performance management	Level 1 + 2 + Equipment performance - Energy over-consumption - Fault detection
4	By zones (ward, outpatient, etc.)	BAS + EMS + α + β Energy optimization system	Level 1 + 2 + 3 + Optimization control
		BEMS installation criteria	
① Data collection and display		② Information monitoring	③ View data
④ Analysis of energy usage status		⑤ Analysis of facility efficiency	⑥ Providing in/outdoor information
⑦ Prediction of energy consumption		⑧ Energy cost inquiry and analysis	⑨ Interlocking control system

2.2.8 Intensitas Konsusmsi Energi (IKE)

Berdasarkan SNI 03-6196-2000 [27] tentang prosedur audit energi pada bangunan gedung, Intensitas Konsumsi Energi (IKE) adalah istilah yang digunakan untuk menyatakan besarnya jumlah penggunaan energi tiap meter persegi luas kotor (gross) bangunan dalam suatu kurun waktu tertentu. IKE penting untuk dijadikan tolak ukur menghitung potensi penghematan energi yang mungkin diterapkan ditiap ruangan atau seluruh area bangunan. Dengan membandingkan IKE bangunan

dengan standar nasional dapat diketahui apakah sebuah ruangan atau keseluruhan gedung sudah efisien atau belum dalam penggunaan energi. Dari nilai IKE inilah nantinya ditentukan tingkat efisiensi penggunaan energi listrik berdasarkan standar yang digunakan, seperti yang diperlihatkan pada persamaan (2.2).

$$IKE = \frac{Pemakaian\ energi\ listrik\ (kWh)}{Luas\ bangunan\ (m2)} \quad (2.2)$$

IKE adalah perbandingan antara konsumsi energi yang digunakan terhadap luas bangunan gedung tersebut. Perhitungan IKE dapat diperoleh menggunakan persamaan (2.3).

$$IKE = \frac{Pemakaian\ energi\ listrik\ (kWh)}{Luas\ bangunan\ (m2)} x\ BOR \quad (2.3)$$

Keterangan:

IKE = Intensitas konsumsi energi (kWh/m^2)

Total Konsumsi = (kWh)

Luas Bangunan = (m^2)

BOR = Bed Occupation Rate

Penentuan nilai Intensitas Konsumsi Energi listrik telah diterapkan di berbagai Negara (ASEAN, APEC), dan dinyatakan dalam satuan kWh/m^2 per tahun. Untuk menetapkan "target" dalam hal ini digunakan nilai IKE dari hasil penelitian yang dilakukan oleh ASEAN-USAID (US Agency for International Development) yang laporannya dikeluarkan pada tahun 1992 yang diterapkan pada SNI 05-3052-1992 dengan rincian seperti pada Tabel 2.2. [28].

Tabel 2. 2 Standard kriteria IKE (Intensitas Konsumsi Energi)

No	Klasifikasi	IKE (kWh/m^2/thn)
1	Perkantoran/Komersial	240
2	Pusat Perbelanjaan	330
3	Hotel/ Apartemen	300
4	Rumah Sakit	380

Sedangkan standar nilai intensitas konsumsi energi listrik per bulan dan per tahun dinyatakan pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Listrik

(kWh/m^2/bln)	(kWh/m^2/thn)	Kriteria
4,17 – 7,92	50,04 – 93,04	Sangat Efisien
7,92 – 12,08	93,04 – 144,96	Efisien
12,08 – 14,58	144,96 – 174,96	Cukup Efisien
14,58 – 19,17	174,96 – 230,04	Agak Boros
19,17 – 23,75	230,04 – 285,00	Boros
23,75 – 37,50	285,00 – 450,00	Sangat Boros

Sebagai pedoman, telah ditetapkan nilai standar IKE untuk bangunan di Indonesia yang telah ditetapkan oleh Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia tahun 2004 ditunjukan pad Tabel 2.4 [29].

Tabel 2. 4 Standar IKE pada Bangunan Gedung di Indonesia

Kriteria	Ruangan AC (kWh/m^2/bln)	Ruangan Non AC (kWh/m^2/bln)
Sangat Efisien	4,17 – 7,92	0,84 – 1,67
Efisien	7,92 – 12,08	1,67 – 2,5
Cukup Efisien	12,08 – 14,58	–
Agak Boros	14,58 – 19,17	–
Boros	19,17 – 23,75	2,5 – 3,34
Sangat Boros	23,75 – 37,75	3,34 – 4,17

2.2.9 Beban Tenaga Listrik

Daya listrik yang didistribuskan kepada pelanggan atau konsumen oleh pemasok tenaga listrik (*utility*) digunakan untuk keperluan sehari-hari seperti lampu kipas angin, televisi, radio dan lain – lain. Menurut pembagian konsumen, pemakaian beban di kelompokkan dalam katagori [30] :

1. Rumah Tangga (*resident*) yaitu pemakaian beban yang meliputi peralatan rumah tangga seperti beban penerangan, kipas angin, televisi, dan lain-lain.
2. Bisnis yaitu pemakaian beban yang meliputi beban pada bangunan komersil atau perdagangan seperti restoran, toko, bengkel, dan lain-lain.
3. Umum yaitu pemakaian beban pada layanan masyarakat yang cukup besar seperti rumah sakit, kantor pemerintahan dan lain-lain.

4. Industri yaitu pemakaian beban yang digunakan pada industri, baik industry berskala besar maupun industri berskala kecil. Pada industri tersebut beban yang digunakan besar, karena untuk menunjang produksi suatu perusahaan.

Beban puncak adalah nilai terbesar dari pembebanan sesaat pada suatu interval waktu tertentu atau beban tertinggi yang harus dipikul oleh sistem tenaga listrik pada interval waktu tertentu.

2.2.10 Bangunan Hemat Energi

Pada umumnya gedung di daerah tropis (Indonesia) intensitas penggunaan energinya terbagi menjadi:

1. Sistem tata udara (45-70%),
2. Sistem pencahayaan (10-20%),
3. Lift dan eskalator (2-7%), dan
4. Peralatan elektronik (2-10%).

Kriteria penggunaan energi (Intensitas Konsumsi Energi./IKE) pada bangunan gedung untuk fungsi perkantoran menurut ASEAN Data Base Officers 1990 (PPE ITB, 2005) terbagi menjadi beberapa bagian yaitu [31]:

1. *Energy Intensive*

   Bangunan gedung ini termasuk kelompok yang memiliki tingkat IKE elektrik sebesar 340 kWh/m^2 /tahun ±5%. Indikasi ini menunjukan konsumsi energi elektrik pada bangunan gedung tersebut adalah boros.

2. *Base Case*

   IKE elektriknya berada pada angka 240 kWh/m^2/tahun ±5%, hal ini menunjukan bahwa bangunan gedung tersebut tidak terkelola dengan baik tetapi tidak dikategorikan boros.

3. *Energy Standard*

   IKE elektriknya sebesar 180 kWh/m^2/tahun ±5%, nilai ini menunjukan bahwa bangunan gedung tersebut telah dapat mengelola energi elektriknya dengan baik dan sudah melaksanakan program hemat energi.

4. *Energy Efficiency.*

   IKE elektriknya adalah 145 kWh/m^2/tahun ±5% ini menunjukan bahwa bangunan gedung ini telah mengelola energi elektrinya secara optimal sehingga menjadi hemat dan efisien.

2.2.11 Logika Fuzzy [32]

Logika fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Zadeh tahun 1965. Pada teori himpunan fuzzy, peranan derajat keanggotaan atau nilai keanggotan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangatlah penting. Pada himpunan tegas (crisp), nilai keanggotaan hanya terdapat dua kemungkinan, yaitu 0 dan 1, sedangkan pada himpunan fuzzy, nilai keanggotaan terletak pada rentang 0 sampai 1. Apabila x memiliki nilai keanggotaan fuzzy $\mu_A[x] = 0$. Berarti x tidak menjadi anggota himpunan A, demikian pula A apabila x memiliki nilai keanggotaan fuzzy. $\mu_A[x] = 1$, berarti x menjadi anggota penuh pada himpunan A. Adapun beberapa alasan mengapa digunakannya logika fuzzy adalah :

1. Konsep logika fuzzy sangat sederhana sehingga mudah dipahami, kelebihanya disbanding konsep lain bukan pada kompleksitanya, tetapi pada naturalness pendekatannya dalam memecahkan masalah.
2. Fleksibel dalam artian dapat dibangun dan dikembangkan dengan mudah tanpa harus memulainya dari “nol”.
3. Logika fuzzy memberikan toleransi terhadap ketidakpresisian data. Hal ini sangat cocok dengan fakta sehari-hari.
4. Pemodelan/pemetaan untuk mencari hubungan data input-output dari sembarang sistem blackbox bisa dilakukan dengan memakai system fuzzy.
5. Pengetahuan atau pengalaman dari pakar dapat dengan mudah dipakai untuk membangun logika fuzzy.
6. Logika fuzzy berdasar pada bahasa manusia.

2.2.7.1 Metode Fuzzy Tsukamoto [33]

Pada metode Tsukamoto, setiap konsekuen pada aturan yang berbentuk if – then harus direpresentasikan dengan suatu himpunan fuzzy dengan fungsi

keanggotaan monoton. Sebagai hasilnya, keluaran hasil inferensi dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas *(crisp)* berdasarkan α-predikat *(fire strength).* Hasil akhir menggunakan rata-rata terbobot [2], dalam inferensinya, metode Tsukamoto menggunakan tahapan berikut :

1. Pembentukan himpunan fuzzy. Variabel input maupun output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy.
2. Fuzzifikasi, yaitu menetukan derajat keanggotaan varibel input .
3. Pembentukan basis pengetahuan Fuzzy (Rule dalam bentuk IF…THEN).
4. Implikasi dengan fungsi MIN untuk mendapatkan nilai α-predikat tiap-tiap rule (α1, α2,α3,….. αn) Kemudian masing-masing nilai α-predikat ini digunakan untuk menghitung keluaran hasil inferensi secara tegas (crisp) masing-masing rule (z1, z2, z3,….. zn).

5. Defuzzifikasi Menggunakan metode rata-rata. Pada persamaan (2.4).

$$z = \frac{\sum(\alpha_i \, x \, z_i)}{\sum \alpha_i} \qquad (2.4)$$

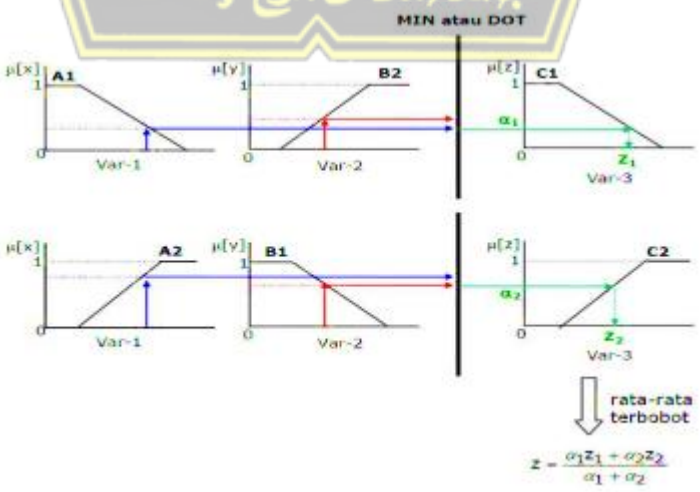
Keterangan:

Z = Variabel output

αi = Nilai α predikat

zi = Nilai variabel output

Proses inferensi dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Inferensi Metode Tsukamoto

2.2.7.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai yang keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan, yaitu:

a) Representasi Kurva Linier Naik : kenaikan himpunan dimulai dari nilai domain yang memiliki nilai keanggotaan nol bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan yang lebih tinggi, pada persamaan (2.5).

$$\mu_A[x] = \begin{cases} 0 & ,x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & ,a \leq x \leq b \\ 1 & ,x \geq b \end{cases} \quad (2.5)$$

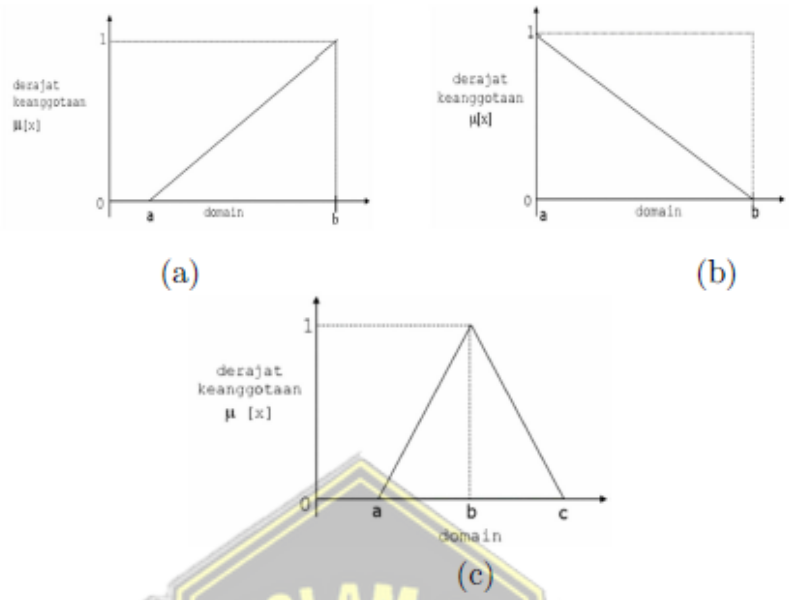
b) Representasi Kurva Liner Turun: garis lurus yang dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak turun ke nilai domain yang memiliki deirajat keanggotaan lebih rendah. Fungsi keanggotaannya adalah pada persamaan (2.6).

$$\mu_A[x] = \begin{cases} 1 & ,x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & ,a \leq x \leq b \\ 0 & ,x < b \end{cases} \quad (2.6)$$

c) Representasi Kurva Segitiga: yaitu gabungan antara representasi linier naik dan representasi linier turun, seperti pada persamaan (2.7).

$$\mu_A[x] = \begin{cases} 0 & ,x \leq a \; atau \; x > c \\ \frac{x-a}{b-a} & ,a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & ,b \leq x \leq c \end{cases} \quad (2.7)$$

Grafiknya representase kurva linear naik, kurva linear turun dan kurva segitiga digambarkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 (a) Kurva Linier Naik (b) Kurva Linier Turun (c) Kurva Linier Segitiga

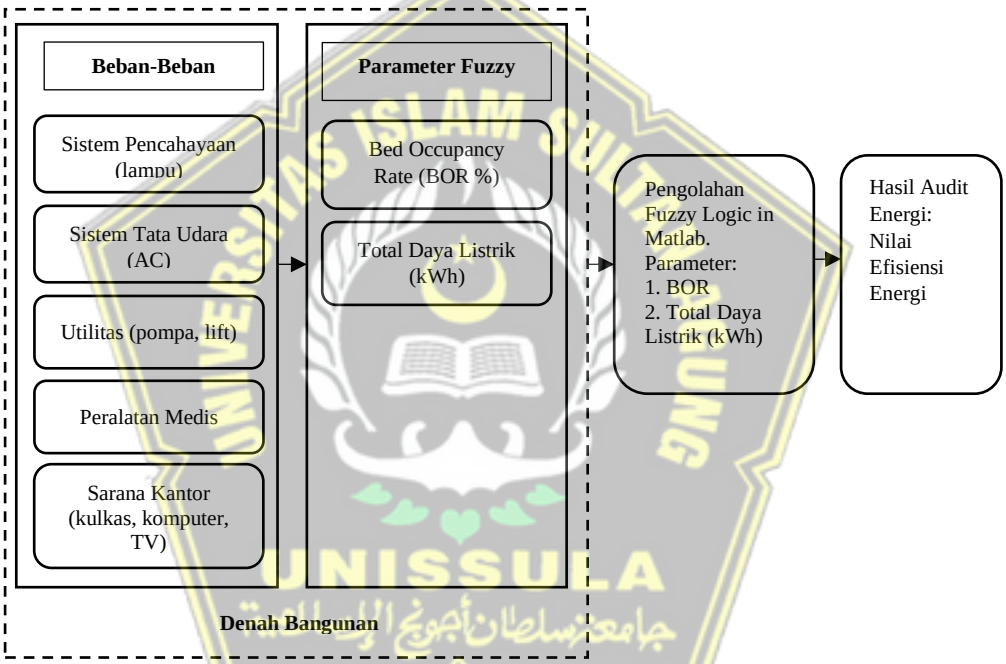
2.2.7.2 Deffuzifikasi

Defuzzifikasi atau penegasan merupakan metode untuk memetakan nilai dari himpunan fuzzy ke dalam nilai crisp. Input dari proses defuzifikasi adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy dalam range tertentu.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Model Penelitian

Model penelitian disusun untuk memberikan panduan secara sistematis dalam melakukan penelitian. Susunan metode penelitian ini berdasarkan tujuan secara umum kemudian dirancang menjadi ide penelitian, studi literatur, pengumpulan data, menganalisis konsumsi energi listrik berdasarkan hasil audit energi dan penarikan kesimpulan. Model penelitian disajikan pada Gambar 3.1.

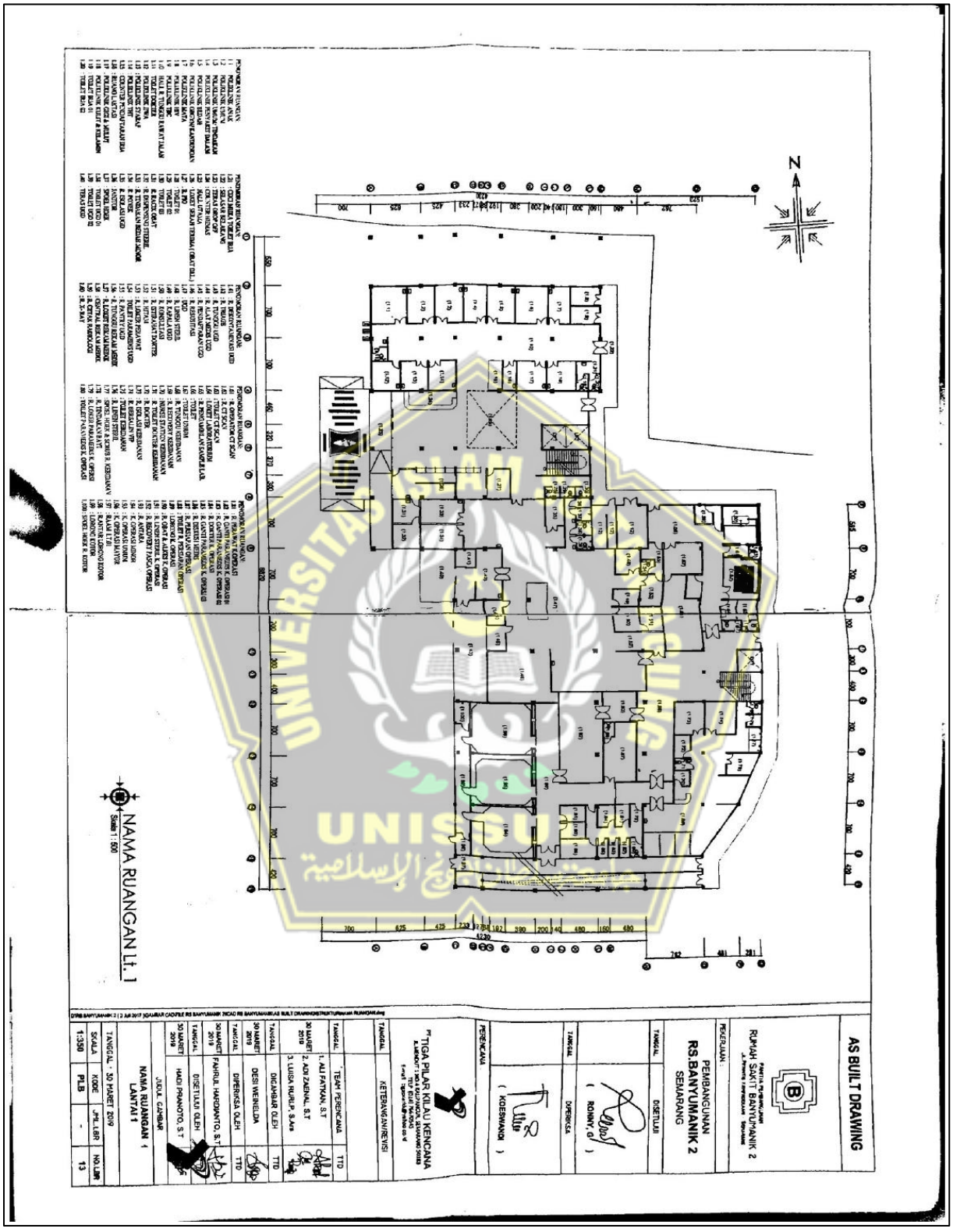


Gambar 3. 1 Model Penelitian

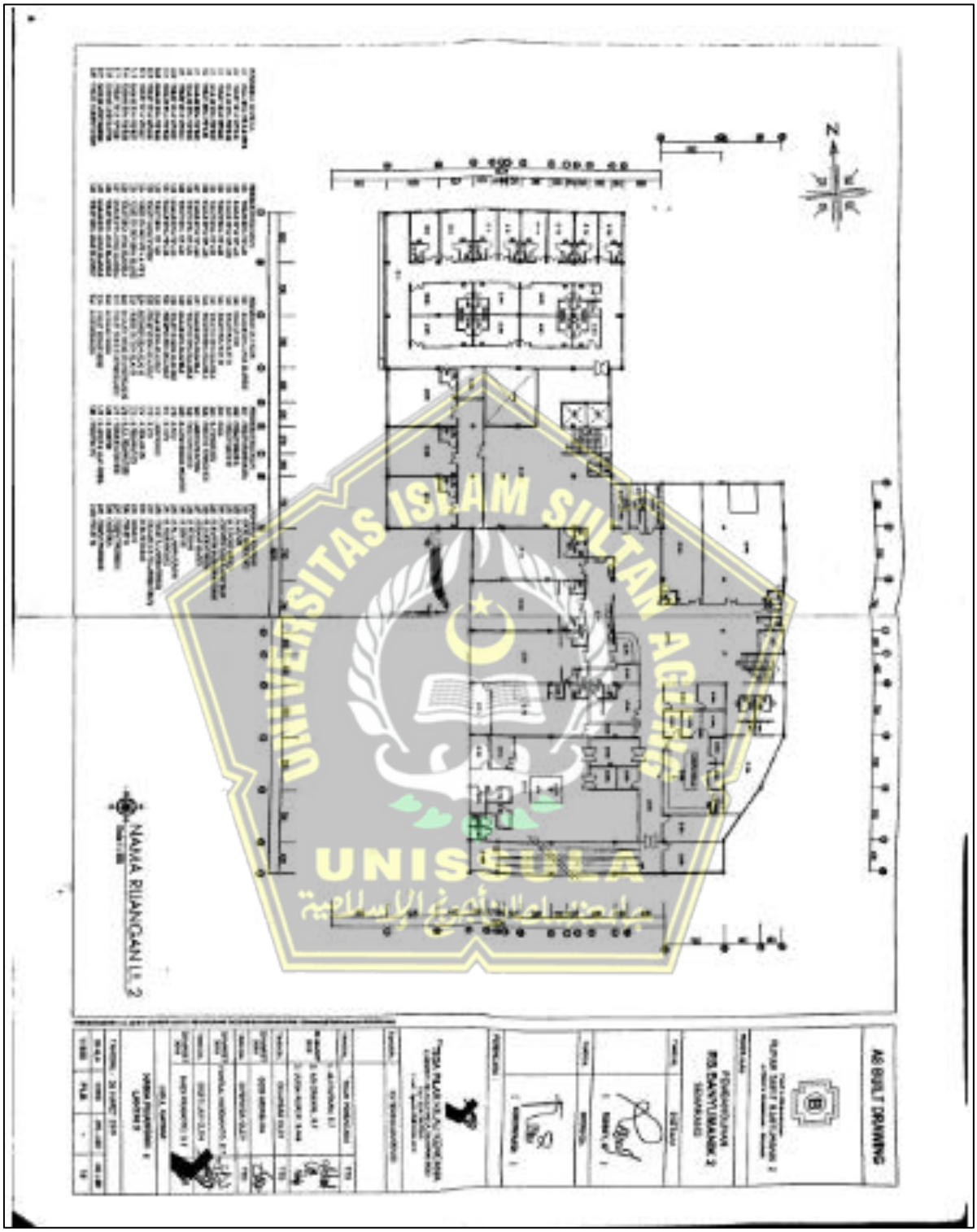
3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

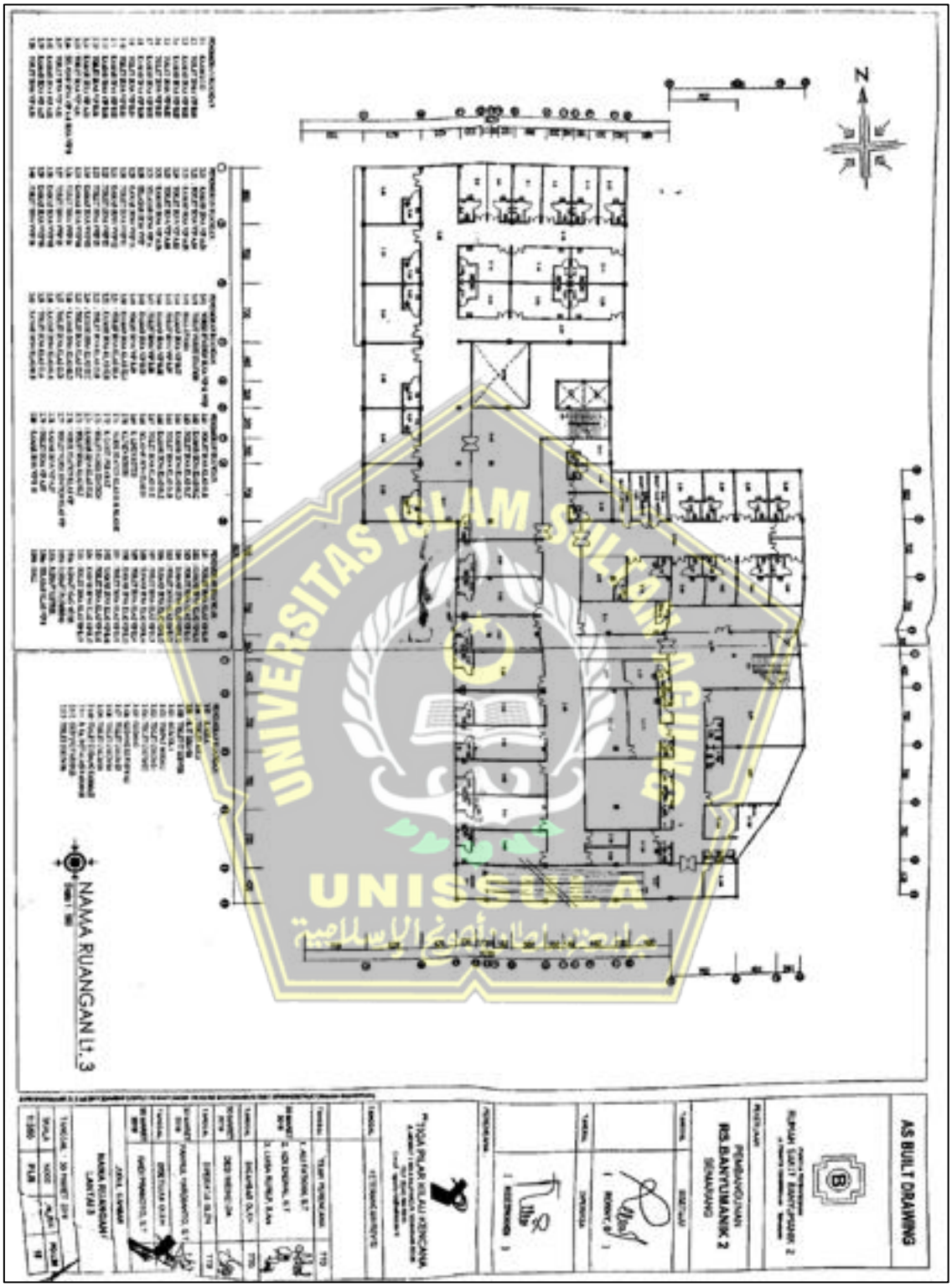
1. Perangkat Keras
   - Processor AMD Ryzen 3 2200U Radeon Vega Mobile Gfx 2.50 GHz
   - RAM 4,00 GB
2. Perangkat lunak
   - Sistem operasi windows 10
   - Software Matlab R2019a, (windows 64 bit).



Gambar 3. 2 Siteplan RS Banyumanik 2 Semarang Lantai 1



Gambar 3. 3 Siteplan RS Banyumanik 2 Semarang Lantai 2



Gambar 3. 4 Siteplan RS Banyumanik 2 Semarang Lantai 3

3.3 Data Penelitian

3.3.1 Profil Rumah Sakit

Rumah Sakit Banyumanik 2 merupakan rumah sakit swasta tipe C yang berdiri di atas lahan seluas 9.098 m^2. Luas bangunannya mencapai 6.921 m^2 dengan 3 lantai berkapasitas 111 tempat tidur. Rumah sakit ini memiliki komposisi bangunan yang dinyatakan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Komposisi Bangunan Rumah Sakit

Area	Luas (m^2)	Presentase
Room	4.568	66%
Non Room	2.353	34%
Total	6.921	100%

Tebel 3.1 menunjukkan bahwa persentase komposisi luas area room dan non room bangunan rumah sakit adalah sebesar 66% untuk room dan 34% non room. Sumber utama listrik dari PLN adalah sebesar 830 kVA dengan penggunaan beban listrik sistem pencahayaan (lampu), sistem pendingin.penataan udara (AC), pompa, peralatan penunjang dan backup 2 buah Generator Set (Genset) masing – masing sebesar 400 kVA dan 250 kVA.

Sedangkan dari jenis dan jumlah ruangan di 3 lantai rumah sakit ini di kelompokan menjadi 6 kelompok ruangan yaitu :

1. Kamar Bedah
2. Penunjang Medik
3. Poliklinik
4. Perkantoran
5. Rawat Inap
6. Inap Intensive

Nama Ruangan per kelompok ruangan di setiap lantai dijabarkan di Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Data Pengelompokan Ruang Tiap Lantai

Kelompok Ruangan	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3
Kamar Bedah	- R. Tindakan Bedah Minor - K. Operasi Minor - K. Operasi Umum - K. Operasi Mayor - R. Recovery Pasca Operasi		
Penunjang Medik	- R. Racik Obat - Central Rekam medik - R. X-Ray - R. CT Scan - R. Bersalin - R. Isolasi Kebidanan - R. Tindakan Bayi	- R. Hemodialisa - R. Bank Darah - R. Mikrobiologi - R. Laboratorium	
Poliklinik	- P. Anak - P. Umum - P. Tindakan - P. Penyakit Dalam - P. Bedah - P. Obgyn - P. Mata - P. HIV - P. TBC - P. Jiwa - P. Syaraf - P. THT - P. Gigi & Mulut - P. Kulit & Kelamin		
Kantor	- R. Linen Steril - R. Kepala UGD - R. Konsultasi - R. Loker Perawat - R. Tunggu Rekam Medik - R. Loket Rekam Medik - Loket Lab - R. Pengambilan Sample Lab - Nurse Station Kebidanan - R. Dokter - R. Perawat Kamar Operasi - R.Ganti Paramedis Kamar Operasi 01, 02,03 - R. Dokter Kamar Operasi - R. Diskusi Medis - R. Persiapan Operasi - R. Linen Steril Kamar Operasi	- K. Linen Kotor - Nurse Station VIP A & B - Nurse Station IRNA Kls 2 - Nurse Station IRNA Kls 3 - R. Tunggu IRNA Kls 3 - R. Perawat ICU - R. Ka Perawat ICU - R. Dokter, Nurse Station ICU - R. Linen dan Alat Steril - Kasir Counter Rawat Inap - Gudang Reagen - R.Petugas - R. Diskusi - R. Ka Laboratorium - Gudang - Mushola	- Nurse Station IRNA VIP dan VVIP - R. Linen Kotor - R. Linen Bersih - Nurse Station IRNA Kls 01 dan 02 - R. Ganti Perawat - R. Shaft Gas Medis - R. Shaft Plumbing - R. Shaft Listrik - Nurse Station VIP

Kelompok Ruangan	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3
Rawat Inap		- IRNA VIP B.01 - IRNA VIP B.02 - IRNA VIP B.03 - IRNA VIP B.04 - IRNA VIP B.05 - IRNA VIP B.06 - IRNA VIP B.07 - IRNA VIP B.08 - IRNA VIP A. 01 - IRNA VIP A.02 - IRNA VIP A.03 - IRNA VIP A.04 - IRNA VIP A.05 - IRNA VIP A.06 - IRNA Anak Kls 3.A - IRNA Anak Kls 3.B - IRNA Anak Kls 3.C - IRNA Kls 03.A - IRNA Kls 03.B - IRNA Kls 03.C	- IRNA VIP B.01 - IRNA VIP B.02 - IRNA VIP B.03 - IRNA VIP B.04 - IRNA VIP B.05 - IRNA VIP B.06 - IRNA VIP B.07 - IRNA VIP B.08 - IRNA VIP B.09 - IRNA VIP B.10 - IRNA VIP B.11 - IRNA VIP B.12 - IRNA VIP B.13 - IRNA VIP B.14 - IRNA VIP B.15 - IRNA VIP B.16 - IRNA VIP B.17 - IRNA VIP A.01 - IRNA VIP A.02 - IRNA VIP A.03 - IRNA VIP A.04 - IRNA VIP A.05 - IRNA VIP A.06, - VVIP 01 - VVIP 02 - VVIP 03 - VVIP 04 - VVIP 05 - VVIP 06 - IRNA Kls 02.A - IRNA Kls 02.B - IRNA Kls 02.C - IRNA Kls 02.D - IRNA Kls 02.E - IRNA Kls 01.A - IRNA Kls 01.B - IRNA Kls 01.C - IRNA Kls 01.D - IRNA Kls 01.E
Inap Intensive	- R. Isolasi UGD - R. Dekontaminasi UGD - UGD	- R. ICU - R. PICU - R. NICU - R. ICU VIP	

3.3.2 Data Konsumsi Energi

Besaran daya listrik dari Bulan Juli Tahun 2021 sampai dengan Desember Tahun 2021 berkisar antara 33.487 kWh/m^2/tahun. Sementara rata-rata konsumsi energi listrik selama setahun pada Tahun 2022 berkisar antara 30.228 kWh/m^2/tahun dengan jumlah total penggunaan energi listrik sebesar 362.737 kWh/m^2/tahun yang dinyatakan pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Data Konsumsi Energi (kWh) Juli 2021–Desember 2022

Bulan	kWh 2021	kWh 2022
Januari	-	31.342
Februari	-	27.315
Maret	-	28.462
April	-	30.879
Mei	-	27.843
Juni	-	26.260
Juli	33.031	26.648
Agustus	32.565	34.651
September	36.317	37.816
Oktober	32.201	31.376
November	32.566	30.592
Desember	34.243	29.554
Total Konsumsi	200.923	362.738
Rata-Rata/tahun	33.487	30.228

3.3.3 Data Kunjungan Pasien

Berdasarkan data kunjungan pasien dari tahun 2021-2022 pada Tabel 3.4 didapat kunjungan pasien terendah adalah pada Bulan September 2021 dan kunjungan pasien tertinggi di Bulan Juli Tahun 2022, dengan jumlah pasien dalam kurun waktu Bulan Juli 2021 sampai dengan Desember 2022 sebanyak 5.969 pasien, sedangkan rata-rata kunjungan pasien di Tahun 2022 sejumlah 350 pasien.

Tabel 3. 4 Data Kunjungan Pasien Juli 2021–Desember 2022

Bulan	2021	2022
Januari	-	424
Februari	-	326
Maret	-	307
April	-	332
Mei	-	327
Juni	-	305
Juli	258	479
Agustus	189	435
September	186	272
Oktober	439	452
November	410	301
Desember	282	245
Total Setahun	1.764	4.205

3.3.4 Data Tingkat Hunian / BOR

Jumlah tingkat hunian kamar (BOR) di Tahun 2021 tertinggi pada Bulan Agustus yaitu 61%. Tahun 2022 pada Bulan April dan Desember yaitu 65%, sesuai pada Tabel 3.5.

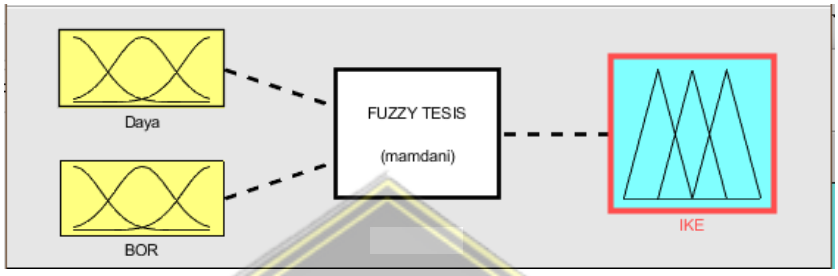
Tabel 3. 5 Data Bed Ocuupation Rate (BOR) Juli 2021–Desember 2022

No	Bulan	BOR 2021	BOR 2022
1	Januari	-	57
2	Februari	-	63
3	Maret	-	57
4	April	-	65
5	Mei	-	60
6	Juni	-	46
7	Juli	55	45
8	Agustus	61	62
9	September	50	61
10	Oktober	51	52
11	November	57	54
12	Desember	44	65

3.4 Fuzzi Inferense System (FIS)

3.4.1 Fuzzyfikasi

Tahap fuzzifikasi adalah tahap pembentukan fungsi keanggotaan. Fuzzifikasi menggunakan 2 parameter input dan 1 variabel output, ditunjukan dengan aplikasi Matlab pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Diagram Fuzzifikasi dengan Matlab Fis

3.4.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi yang digunakan untuk penentuan efisiensi konsumsi energi listrik pada Rumah Sakit dari hasil audit energi. Himpunan variable fuzzy dijabarkan pada Tabel fungsi keanggotaan 3.6.

Tabel 3. 6 Tabel Fungsi Keanggotaan

No	Variabel Input	Himpunan Fuzzy	Fungsi Keanggotaan	Domain
1	Konsumsi Energi (kWh)	Rendah	26.000 - 30.000	[26000 28000 30000]
		Sedang	29.000 - 35.000	[29000 32000 35000]
		Tinggi	34.000 - 38.000	[34000 36000 38000]
2	BOR (%)	Di Bawah Standart	0 - 59 %	[0 29,5 59]
		Sesuai Standart	60 - 85 %	[60 72,5 85]
		Di Atas Standart	86 - 100 %	[86 93 100]
No	**Variabel Output**	**Himpunan Fuzzy**	**Fungsi Keanggotaan**	**Domain**
3	IKE ($kWh/m^2/bln$)	Efisien	4,17 - 12,50	[4,17 8,26 12,5]
		Cukup Efisien	12,00 - 19,50	[12 15,75 19,5]
		Tidak Efisien	19,00 - 37,50	[19 28,25 37,5]

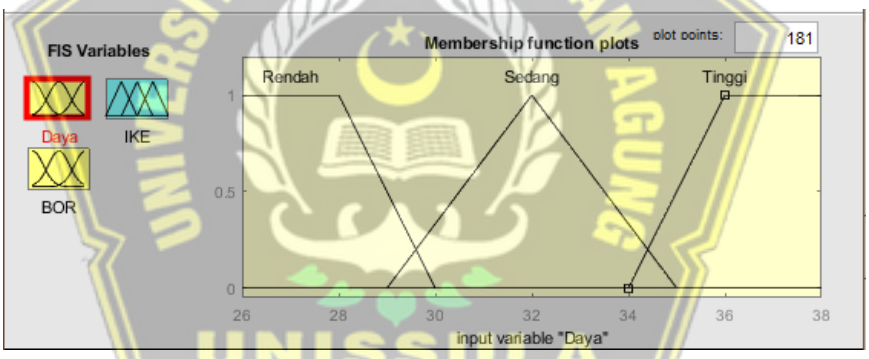
Sehingga dapat ditentukan fungsi derajat keanggotaan masing-masing input variabel adalah sebagai berikut :

1. Total Daya Listrik (kWh)
2. Tingkat Hunian Kamar/Bed Occupancy Rate (BOR) (%)

Dengan output variabel berupa IKE (kWh/m^2/bulan)

7. Fungsi Keanggotaan Daya

Keanggotaan daya dibagi menjadi 3, **rendah, sedang, tinggi** berdasarkan pada range data yang didapatkan, dimana rendah berada pada range < 30000 atau bernilai 1; daya sedang pada 32000 dan tinggi adalah >34000 atau bernilai 1. Maka dipilih kurva trapesium untuk keanggotaan rendah dan tinggi dan segitiga untuk keanggotaan sedang. Himpunan keanggotaan daya dinyatakan di Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Himpunan Keanggotaan Daya

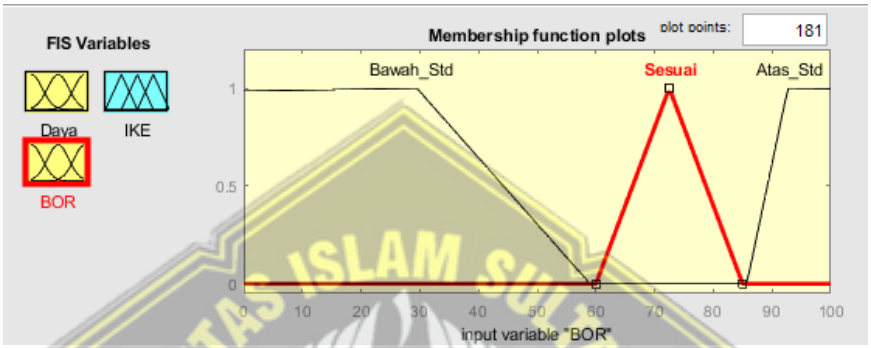
$$\mu_{Daya\ rendah}[x] = \begin{cases} 1 & , \quad x \leq 28000 \\ \dfrac{30000 - x}{28000} & ,28000 \leq x \leq 30000 \\ 0 & , \quad x \geq 30000 \end{cases}$$

$$\mu_{Daya\ sedang}[x] = \begin{cases} 0 & ,x \leq 29000 \\ \dfrac{x - 29000}{3000} & ,29000 \leq x \leq 32000 \\ \dfrac{35000 - x}{3000} & ,32000 \leq x \leq 35000 \end{cases}$$

$$\mu_{Daya\ tinggi}[x] = \begin{cases} 0 & ,x \leq 34000 \\ \dfrac{x - 36000}{2000} & ,34000 \leq x \leq 36000 \\ 1 & ,x \geq 36000 \end{cases}$$

8. Fungsi Keanggotaan BOR

Keanggotaan BOR dibagi menjadi 3, **Di Bawah Standar, Sesuai Standar, Di Atas Standar** berdasarkan pada range data yang didapatkan, dimana di bawah standar berada pada range < 59% dan di atas standar berada pada range 86% keatas memiliki nilai todak ideal atau 1, kategori sesuai standar (**ideal**) berada pada range 60% - 85%, ditunjukan pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Himpunan Keanggotaan BOR

$$\mu_{BOR\ bawah\ std}[x] = \begin{cases} 1 & , \quad x \leq 29.5 \\ \dfrac{59 - x}{29.5} & ,29.5 \leq x \leq 59 \\ 0 & , \quad x \geq 59 \end{cases}$$

$$\mu_{BOR\ sesuai}[x] = \begin{cases} 0 & ,x \leq 60 \\ \dfrac{x - 60}{12.5} & ,60 \leq x \leq 72.5 \\ \dfrac{85 - x}{12.5} & ,72.5 \leq x \leq 85 \end{cases}$$

$$\mu_{BOR\ atas\ std}[x] = \begin{cases} 0 & ,x \leq 86 \\ \dfrac{x - 86}{7} & ,86 \leq x \leq 93 \\ 1 & ,x \geq 93 \end{cases}$$

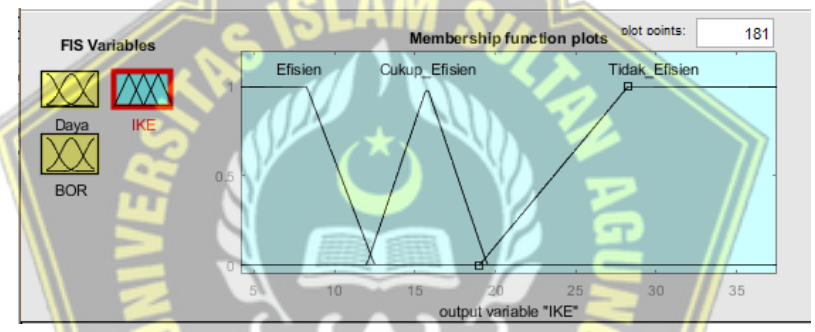
9. Fungsi Keanggotaan IKE

Penentuan nilai Intensitas Konsumsi Energi listrik dari hasil penelitian yang dilakukan oleh ASEAN-USAID yang laporannya dikeluarkan pada tahun 1992 yang diterapkan pada SNI 05-3052-1992 terbagi menjadi 6 kategori yaitu:

1. Sangat Efisien : 4,17 – 7,992 kWh/m^2/bulan.
2. Efisien : 7,92 – 12,08 kWh/m^2/bulan.

3. Cukup Efisien : 12,08 – 14,58 kWh/m^2/bulan.
4. Agak Boros : 14,58 – 19,17 kWh/m^2/bulan.
5. Boros : 19,17 – 23,75 kWh/m^2/bulan.
6. Sangat Boros : 23,75 – 37,5 kWh/m^2/bulan.

Namun dalam penelitian ini fungsi keanggotaan IKE akan dibagi menjadi 3 pengelompokan yakni **Efisien, Cukup Efisien, dan Tidak Efisien** berdasarkan pada range data yang didapatkan, dimana Efisien berada pada range < 12,50, Cukup Efisien dalam range 12,00 - 19,50, dan Tidak Efisien berada pada range 19,00 - 37,50. Maka diterapkan kombinasi kurva trapezium dan segitiga untuk menggambarkan nilai keanggotaannya, pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Himpunan Keanggotaan IKE

$$\mu_{IKE\ efisen}[x] = \begin{cases} 1 & , x \leq 8.26 \\ \dfrac{8.26 - x}{4.09} & ,8.26 \leq x \leq 12.50 \\ 0 & , x \geq 12.50 \end{cases}$$

$$\mu_{IKE\ cukup\ efisien}[x] = \begin{cases} 0 & ,x \leq 12.00 \\ \dfrac{x - 12.00}{3.75} & ,12 \leq x \leq 15.75 \\ \dfrac{15.75 - x}{3.75} & ,15.75 \leq x \leq 19.5 \end{cases}$$

$$\mu_{IKE\ tidak\ efisien}[x] = \begin{cases} 0 & ,x \leq 19 \\ \dfrac{x - 28.25}{9.25} & ,19 \leq x \leq 28.25 \\ 1 & ,x \geq 28.25 \end{cases}$$

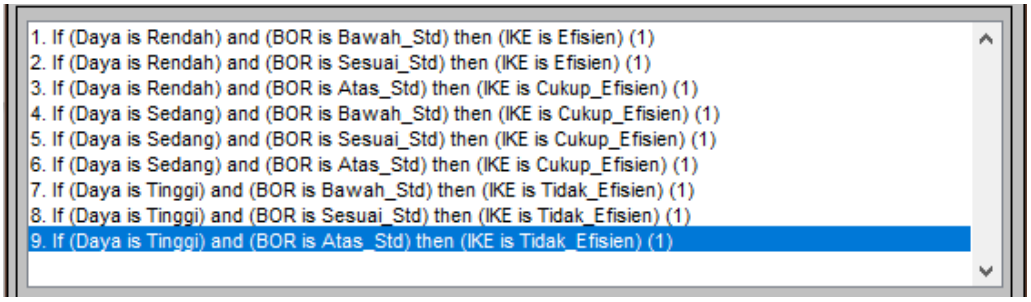
3.4.3 *Rules Baze Fuzzy* / Komposisi Aturan *Fuzzy*

Pada tahapan ini output dari tahapan fuzzifikasi yang berupa daya listrik (kWh), Data BOR (%), dan Intesitas Konsumsi Energi (kWh/m^2/bulan) dan selanjutnya akan digabung dengan menggunakan *rule evaluation*, menghasilkan 9 aturan dengan 3 keluaran/output.seperti ditunjukkan pada Tabel 3.7.

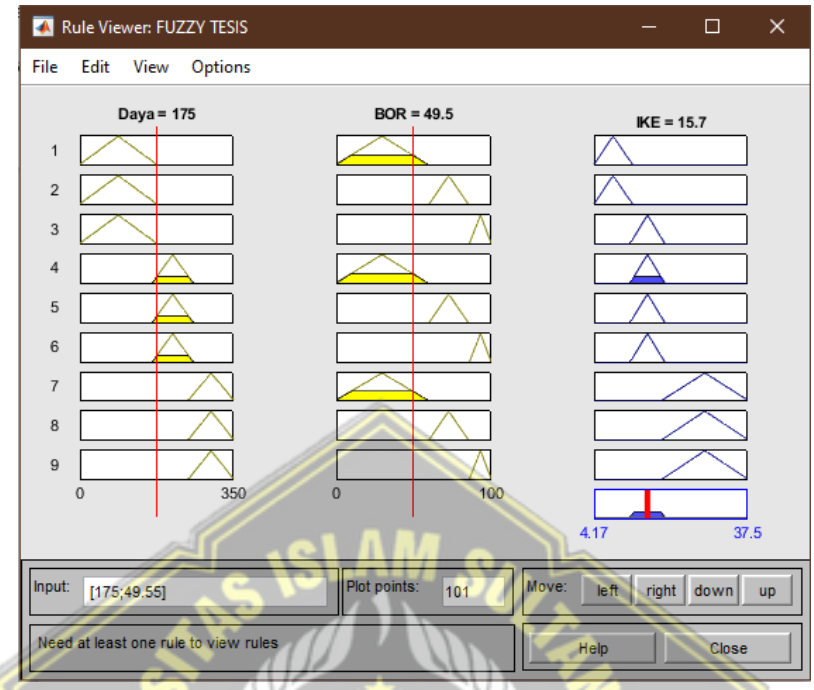
Tabel 3. 7 *Rules Baze Fuzzy*

RULES	PARAMETER		OUTPUT
	Daya (kWh)	BOR (%)	IKE
1	Rendah	Bawah Standar	Efisien
2	Rendah	Sesuai Standar	Efisien
3	Rendah	Atas Standar	Cukup Efisien
4	Sedang	Bawah Standar	Cukup Efisien
5	Sedang	Sesuai Standar	Cukup Efisien
6	Sedang	Atas Standar	Cukup Efisien
7	Tinggi	Bawah Standar	Tidak Efisien
8	Tinggi	Sesuai Standar	Tidak Efisien
9	Tinggi	Atas Standar	Tidak Efisien

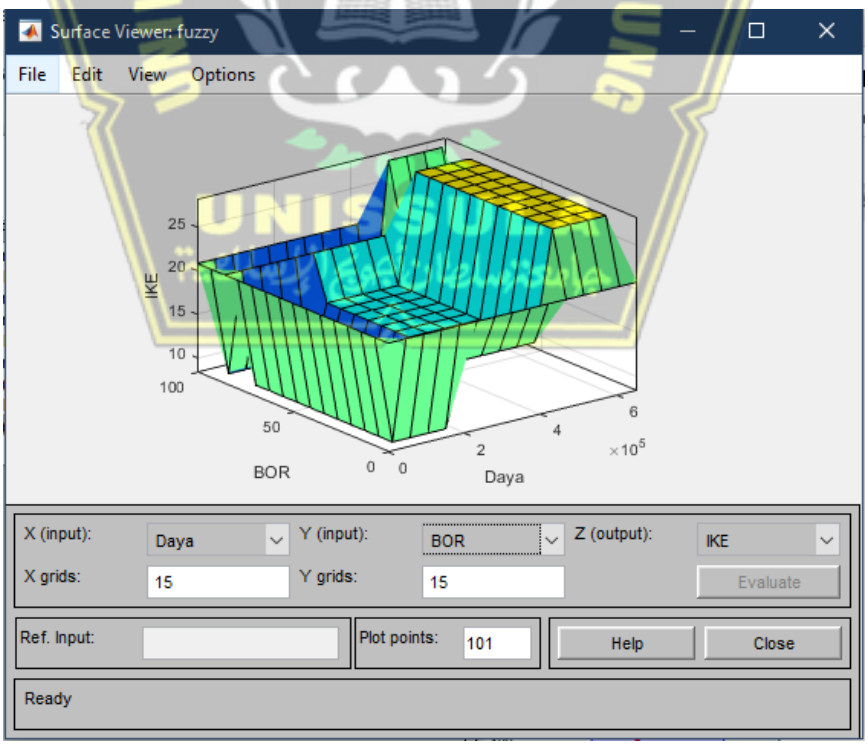
Dalam aplikasi Matlab komposisi aturan dibuat pada *rule editor* dan dihasilkan 9 aturan atas input 2 variabel total daya/konsumsi energi listrik dan *bed occupancy rate* dan menghasilkan output nilai intensitas konsumsi energi dengan 3 kriteria yaitu IKE Efisien, IKE Cukup Efisien dan IKE Tidak Efisien yang dimunculkan pada kotak dialog *rule viewer* sesuai dengan Gambar 3.9 dan 3.10.



Gambar 3. 9 Rules Editor by MATLAB



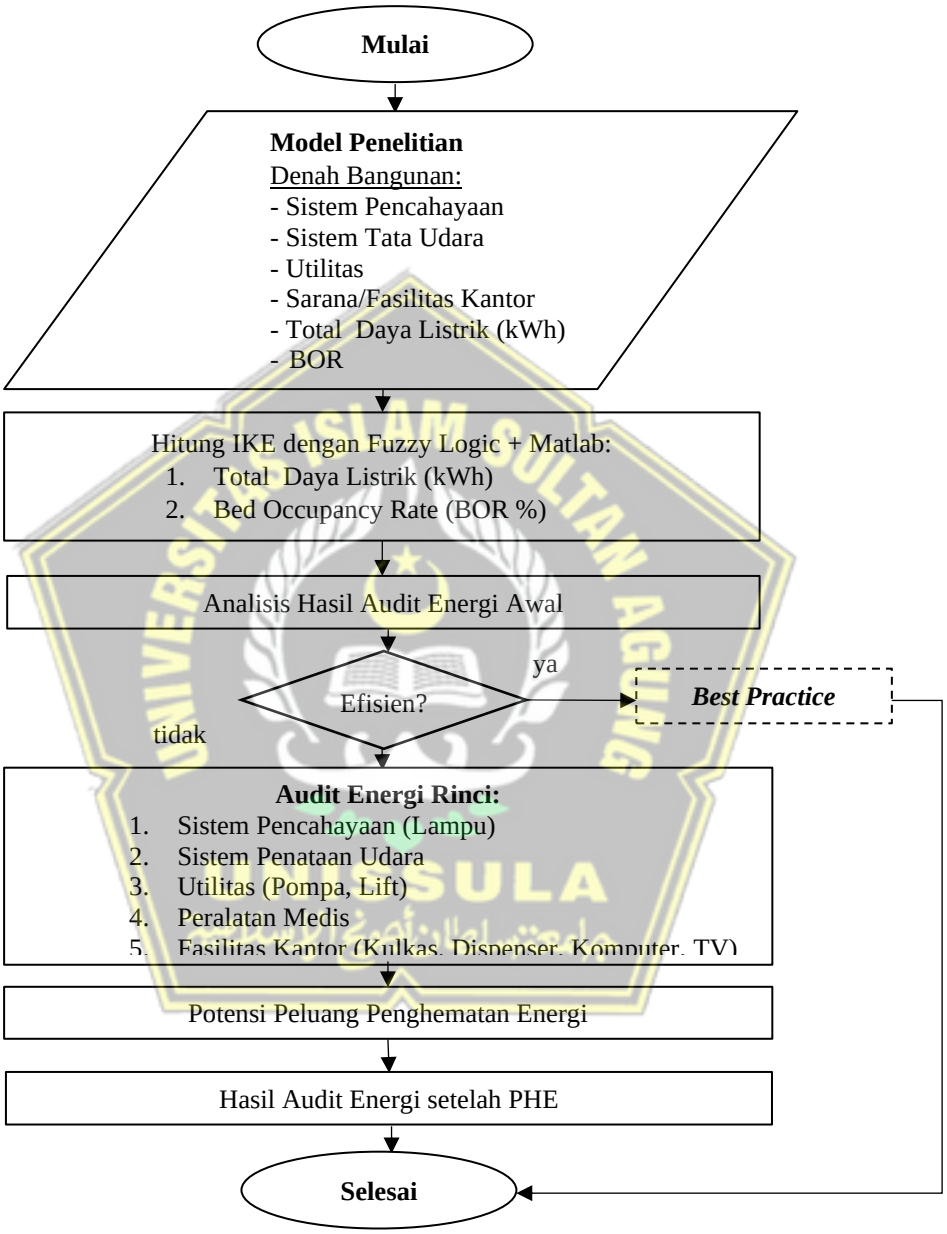
Gambar 3. 10 Rules Viewer fuzzy Input – Output



Gambar 3. 11 Surface Rule by MATLAB

3.5 Flowchart Langkah Penelitian

Flowchart langkah penelitian dalam analisa konsumsi energi listrik berdasarkan audit energi dengan metode Fuzzy ditunjukan pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 12 Flowchart Diagram Penelitian

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Audit Energi Awal

Tahap Perhitungan IKE (Indeks Konsumsi Energi) yang dilakukan diawal adalah menghitung IKE daya listrik dari Bulan Juli Tahun 2021 hingga Desember 2022. Terlihat jika hasil perhitungan beragam tiap bulannya. Terdapat hasil perhitungan intensitas konsumsi energi listrik per bulan berada pada kategori efisien. Perhitungan IKE daya listrik Per Bulan Tahun 2021 – 2022 dinyatakan pada Tabel 4.1, merujuk pada persamaan (2.2).

Tabel 4. 1 Perhitungan IKE daya listrik Per Bulan Tahun 2021 - 2022

Bulan	kWh 2021	IKE/Bulan	Hasil	kWh 2022	IKE/Bulan	Hasil
Januari	-	-		31.342	4,53	Efisien
Februari	-	-		27.315	3,95	Efisien
Maret	-	-		28.462	4,11	Efisien
April	-	-		30.879	4,46	Efisien
Mei	-	-		27.843	4,02	Efisien
Juni	-	-		26.260	3,79	Efisien
Juli	33.031	4,77	Efisien	26.648	3,85	Efisien
Agustus	32.565	4,71	Efisien	34.651	5,01	Efisien
September	36.317	5,25	Efisien	37.816	5,46	Efisien
Oktober	32.201	4,65	Efisien	31.376	4,53	Efisien
November	32.566	4,71	Efisien	30.592	4,42	Efisien
Desember	34.243	4,95	Efisien	29.554	4,27	Efisien
Total	**200.923**			**362.738**		
Rata2	**33.487**			**30.228**		
IKE / Tahun	**29,0**			**52,4**		

Semakin besar nilai IKE maka penggunaan energi listrik pada bulan tersebut sangat besar, selain itu pengaruh nilai Bed Occupation Rate (BOR) berpengaruh dalam perhitungannya. Semakin besar nilai BOR menunjukkan nilai persentase penggunaan bangsal atau tempat tidur pada satu satuan waktu tertentu sehingga memberikan grafik nilai yang besar atau kecil dalam tingkat pemanfaatan dari

tempat tidur. Perhitungan IKE Tingkat Hunian Kamar / *Bed Occupancy Rate* (BOR) 2021-2022 pada Tabel 4.2, merujuk pada persamaan (2.3).

Tabel 4. 2 Perhitungan IKE Tingkat Hunian Tahun 2021 -2022

Bulan	BOR 2021	IKE / Bulan	Hasil	BOR 2022	IKE / Bulan	Hasil
Januari	-	-	-	57	258	Efisien
Februari	-	-	-	63	249	Efisien
Maret	-	-	-	57	234	Efisien
April	-	-	-	65	290	Efisien
Mei	-	-	-	60	241	Efisien
Juni	-	-	-	46	175	Efisien
Juli	55	262	Efisien	45	173	Efisien
Agustus	61	287	Efisien	62	310	Efisien
September	50	262	Efisien	61	333	Efisien
Oktober	51	237	Efisien	52	236	Efisien
November	57	268	Efisien	54	239	Efisien
Desember	44	218	Efisien	65	278	Efisien
Total	318			687		
Rata-Rata	**53,0%**			**57,3%**		

b. Hasil Audit Energi Awal

Data yang digunakan pada perhitungan Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Awal, adalah konsumsi energi listrik 2022 sebesar 362.738 kWh/m^2/tahun, dengan prosentase BOR rata rata Tahun 2020 sebesar 57,3 %. Merujuk persamaan (2.2) menghasilkan nilai IKE Awal Tahun 2020 sebesar 52,41 kWh/m^2/ tahun.

$$IKE\ Awal = \frac{362.738}{6.921} = 52{,}41 \text{ kWh/m}^2\text{/ tahun}$$

Berpanduan pada kriteria nilai Indeks Konsumsi Energi pada Tabel 2.2, maka nilai IKE awal ini masuk dalam katagori *Energy Efficiency* yaitu menunjukkan penggunaan energi yang efisien.

4.2 Perhitungan Manual Sistem Inferensi Fuzzy Metode Mamdani

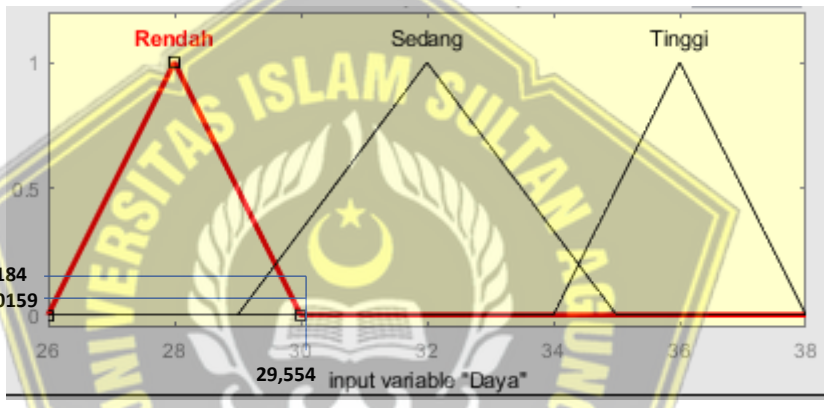
Pada Bab ini akan dijelaskan proses perhitungan manual sistem inferensi fuzzy metode Mamdani berdasarkan data yang telah diperoleh bahwa untuk Bulan Desember 2022 penggunaan listrik sebesar 29.554 kWh dan prosentase BOR sebesar 65 %, Adapun tahap perhitungan manual metode Mamdani sebagai berikut:

a. Pembentukan Himpunan Fuzzy

Pada tahap ini akan dibuat fungsi keanggotaan ketika nilai penggunaan listrik sebesar 29.554 kWh dan prosentase BOR sebesar 65 %. Berdasarkan variabel Daya (kWh) ada 3 himpunan fuzzy yaitu rendah, sedang, tinggi. Data daya listrik pada Bulan Desember 2022 sebesar 29.554 kWh jika dihitung manual maka tingkat keanggotaan masuk dalam range daya rendah dan sedang, derajat keanggotaan himpunan daya dinyatakan dalam Gambar 4.1.

$$\mu_{Daya\ Rendah}[29.554] = \frac{30.000-29.554}{28.000} = 0.0159$$

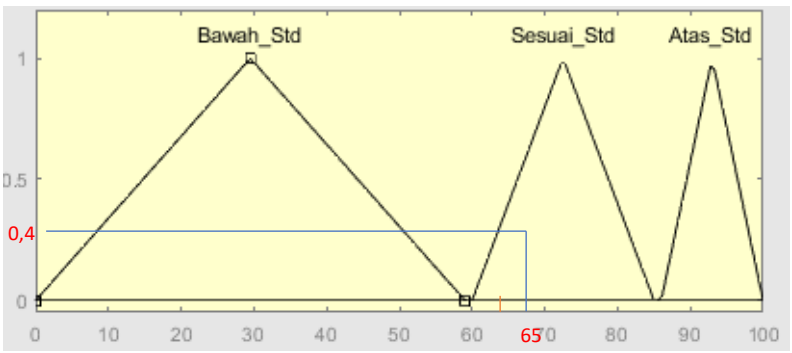
$$\mu_{Daya\ Sedang}[29.554] = \frac{29.554-29.000}{3.000} = 0.184$$



Gambar 4. 1 Derajat Keanggotaan Himpunan Daya (kWh)

Sedangkan untuk variabel BOR dapat diketahui nilai presentase BOR pada Bulan Desember 2022 adalah sebesar 65%, maka berada pada range himpunan keanggotaan BOR sedang, hasil dinyatakan pada Gamabr 4.2.

$$\mu_{BOR\ Sedang}[65] = \frac{65-60}{12,5} = 0.4$$



Gambar 4. 2 Derajat Keanggotaan Himpunan BOR

b. Penalaran Komposisi Aturan dan Fungsi Implikasi

Proses penyusunan basis aturan berdasarkan pada kombinasi dari hasil pembentukan himpunan fuzzy dan daftar aturan yang digunakan. Fungsi implikasi yang digunakan pada metode Mamdani adalah nilai minimum di antara kedua implikasi yang ada. Nilai minimum dari hasil kedua implikasi yang ada biasanya dinamakan dengan α-predikat. Dalam proses penalaran ada 3 hal yang dilakukan yaitu mengaplikasi operator fuzzy, metode implikasi dan komposisi. Dari 9 rule yang ada, rule fuzzy yang akan ditampilkan hanya 2 aturan saja,yaitu (Rule 2), dan (Rule 5). Berikut adalah penyusunan basis aturan ketika penggunaan listrik sebesar 17.315 kWh dan prosentase BOR sebesar 63%.

1. Aturan ke-2 [R2]

[R2] If (Daya is Rendah) and (BOR is Sedang / Sesuai) then (IKE is Efisien).

α-predikat$_2$ = min (μDaya Rendah[29.554], μBOR Sedang[65]) = min (0,0159;0,4) = 0,0159

2. Aturan ke-4 [R5]

[R5] If (Daya is Sedang) and (BOR is Sedang / Sesuai) then (IKE is Cukup Efisien).

α-predikat$_4$ = min (μDaya Sedang[29.554], μBOR Sedang[65]) = min (0,184;0,4) = 0,184.

c. Defuzzifikasi

Langkah terakhir adalah penegasan atau defuzzifikasi. Metode yang digunakan adalah metode centroid. Persamaan untuk output IKE yang akan digunakan dalam perhitunggan *deffuzifikasi* menggunakan Rules 2 dan 5.

[R2] μIKE Efisien(x) = 0,0159, maka nilai x adalah :

$\mu_{IKE\ Efisien}[x] = \frac{8,26-x}{4,09} = 0.0159 = 8,195$

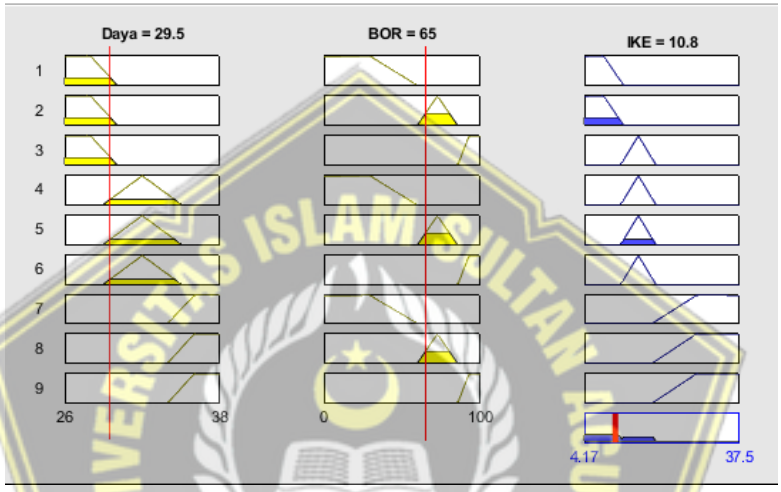
[R5] μIKE Cukup Efisien(x) = 0,184, maka nilai x adalah :

$\mu_{IKE\ Efisien}[x] = \frac{x-12,00}{3,75} = 0.184 = 12,69$

Maka dengan menggunakan metode centroid diperoleh nilai angka Intesitas Konsumsi Energi (IKE) sebesar 12,36.

$Z_1 = \frac{(0,0159x8,195)+(0,184x12,69)}{(0,0159+0,184)} = \frac{(0,13)+(2,33)}{(0,199)} = \frac{2,46}{0,199} = 12,36$

Nilai 12,36 berada di dalam range IKE 12,08-19,17 termasuk dalam kriteria **Cukup Efisien** berdasarkan perhitungan manual dengan metode fuzzy Tsukamoto. Sementara apabila dibuktikan dengan program Matlab nilai x pada daya yaitu 29.554 kWh dan BOR 65% menghasilkan nilai IKE 10,8 yang termasuk dalam kriteria **efisien** karena berada pada range 4,17-12,50. Hal ini dimungkinakan karena metode yang diterapkan pada Matlab adalah metode fuzzy mamdani, seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Nilai IKE pada Program Matlab

4.3 Audit Energi Rinci

4.3.1 Konsumsi Energi Listrik Sistem Pencahayaan

Perhitungan konsumsi energi listrik untuk sistem pencahayaan didapat dari hasil mengalikan daya pada masing masing jenis lampu serta perkiraan berapa lama titik lampu tersebut dinyalakan. Rata-rata operasional nyala lampu per hari jika di jumlah atas kelompok ruangan ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Rata-Rata Operasional Nyala Lampu Ruangan Per Hari

No	Kelompok Ruangan	Rata2 Nyala Lampu (Jam/Hari)
1	Kamar Bedah	24 jam/hari
2	Penunjang Medik	24 jam/hari
3	Poliklinik	8 jam/hari
4	Kantor	8 jam/hari
5	Rawat Inap	15 jam/hari
6	Inap Intensive	24 jam/hari

Konsumsi energi listrik harian dari system pencahayaan (lampu) di seluruh ruangan dijelaskan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Konsumsi Energi Listrik Sistem Pencahayaan (kWh/Hari)

No	Kel Ruangan	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3	Energi kWh/hari per kel ruang
1	Kamar Bedah	180,413	-	-	180,413
2	Penunjang Medik	118,52	83,03	-	201,55
3	Poliklinik	94,82	-	-	94,82
4	Kantor	85,6	91,33	67,8	244,73
5	Rawat Inap		102,40	112,99	215,4
6	Inap Intensive	179,1	-	-	179,1
	Jumlah	658,44	276,768	180,792	1.116
	Presentase	59,00%	24,80%	16,20%	100%

Jenis lampu yang digunakan ada 4 jenis yaitu TL, LHE, Halogen dan LED dengan jumlah keseluruhan lampu adalah 1.778 pcs. Presentase total dari jumlah lampu TL terpasang sebanyak 23,6%, lampu LHE sebesar 62%, lampu Halogen 0,8%, dan terkahir presentase lampu LED terpasang yaitu sebesar 13,6%. Perinciannya pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Jenis Lampu Yang Digunakan

No	Jenis Lampu	Lampu	Jumlah	Presentase
1	TL	TL 1 x 18	65	3,20%
		TL 2 x 18	249	15,30%
		TL 1 x 36	21	1,10%
		TL 2 x 36	58	2,90%
		TL Bulat	19	1,10%
2	LHE	Downlight	1.093	60,90%
		Spotlight	21	1,10%
3	Halogen	Halogen	16	0,60%
		Lampu Baret	4	0,20%
4	LED	LED	232	13,60%
	Jumlah		1.778	**100,00%**

Tingkat konsumsi energi sistem pencahayaan (lampu) adalah sebesar 1116 kWh/hari dengan jumlah keseluruhan lampu terpasang adalah sebanyak 1778 pcs.

4.3.2 Konsumsi Energi Listrik Sistem Penataan udara

Perhitungan konsumsi energi listrik untuk sistem penataan udara didapat dari daya pada masing masing AC serta pada Tabel 4.6 dijabarkan perkiraan lamanya AC pada tiap kelompok ruangan di nyalakan.

Tabel 4. 6 Jam Oprasional AC Berdasarkan Fungsi Ruangan

No	Kelompok Ruangan	Rata2 Nyala AC (Jam/Hari)
1	Kamar Bedah	22 jam/hari
2	Penunjang Medik	22 jam/hari
3	Poliklinik	8 jam/hari
4	Kantor	8 jam/hari
5	Rawat Inap	8 jam/hari
6	Inap Intensive	15 jam/hari

Pengelompokan jam oprasional serta besarnya konsumsi daya dari masing masing AC didapatkan jumlah konsumsi energi listrik yang dipakai pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Konsumsi Energi Listrik Untuk Penataan udara

No	Kelompok Ruangan	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3	Energi kWh/hari per kel ruang
1	Kamar Bedah	180,41	-	-	180,41
2	Penunjang Medik	118,52	213,16	-	331,68
3	Poliklinik	94,82	-	-	94,82
4	Kantor	85,60	234,47	171,45	491,52
5	Rawat Inap	-	262,89	285,75	548,64
6	Inap Intensive	497,84	-	-	497,84
	Jumlah	1.830,28	710,53	457,20	2998,00
	Presentase	61,05%	23,70%	15,25%	100%

4.3.3 Konsumsi Energi Listrik Prasarana / Utilitas

Perhitungan konsumsi energi listrik untuk utilitas didapat dari daya pada masing masing peralatan serta perkiraan lamanya alat tersebut digunakan. Jenis prasaran atau alat pada RSB 2 ada pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Jenis dan Lama Pemakaian Utilitas

No	Nama Alat	Lama Pemakaian (Jam / Hari)
1	Pompa Air Tanah	12 jam
2	Pompa Booster	12 jam
3	Lift	8 jam

Sedangkan konsumsi energi listrik harian pada pompa air tanah, pompa booster dan lift dijelaskan pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Konsumsi Energi Listrik Utilitas

No	Nama Alat	QTY	Daya (Watt)	Total Daya (Kw)	Kerja (Jam/hari)	Σ Energi (kWh/hari)
1	Pompa Air	2	2.200	4,5	12	53
2	Pompa Booster	4	2.200	8,8	12	105,6
3	Lift	6	3.000	15	8	120
	Σ Alat Utilitas	12	**Σ Daya**	28,3	**Σ Energi**	278,6

4.3.4 Konsumsi Energi Listrik Sarana Perkantoran

Konsumsi energi listrik sarana kantor, memiliki jam oprasional yang mengikuti sesuai jam kantor berlangsung, kecuali kulkas yang dioperasionalkan selama 24 jam. Jenis dan lama pemakaian sarana perkantoran dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Jenis dan Lama Pemakaian Sarana Perkantoran

No	Nama Sarana / Alat	Lama Pemakaian (Jam / Hari)
1	Kulkas	24 jam
2	Dispenser	8 jam
3	Komputer	8 jam
4	TV	8 jam

Berikut dibawah ini konsumsi energi listrik harian dari masing-masing jenis sarana perkantoran dijelaskan pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Konsumsi Energi Sarana Perkantoran

No	Nama Alat	QTY	Daya (Watt)	Total Daya (Kw)	Kerja (Jam/hari)	Σ Energi (kWh/hari)
1	Kulkas	57	75	5,85	24	140
2	Dispenser	14	300	4,2	8	34
3	Komputer	25	600	15	8	120
4	TV	50	100	5,6	8	46
	Σ Alat Kantor	146	Σ Daya	30,65	Σ Energi	340

Dari data dapat diketahui jumlah keseluruhan peralatan kantor adalah sebanyak 146 unit alat dengan besarnya kebutuhan daya 30,65 kW sedangkan konsumsi energi sebesar 340 kWh/hari.

4.3.5 Konsumsi Energi Listrik Peralatan Medis

Perhitungan konsumsi energi listrik untuk sistem peralatan medis didapat dari daya pada masing masing peralatan medis serta perkiraan lamanya alat tersebut digunakan.

Tabel 4. 12 Konsumsi Energi Untuk Peralatan Medis

No	Kel Ruangan	Alat Medis	Lama Pemakaian	Total Daya (Kw)	Total Energi (kWh/hari)
1	Kamar Bedah	Meja Operasi, Mesin Anestesi, Ventilator, Patient Monitor, Suction pump, Oxygen analyser	1-4 jam	105	613
2	Inap Intensive	Monitor, Inkubator, Ventilator, Fototerapi, Defibrilator, Resuscitation set, ECG Recording and Monitor, Mesin Digital Radiographic, CT Scan, Mobile X-ray, Suction Pump	8-22 jam		

4.3.6 Rekapitulasi Konsumsi Energi Listrik

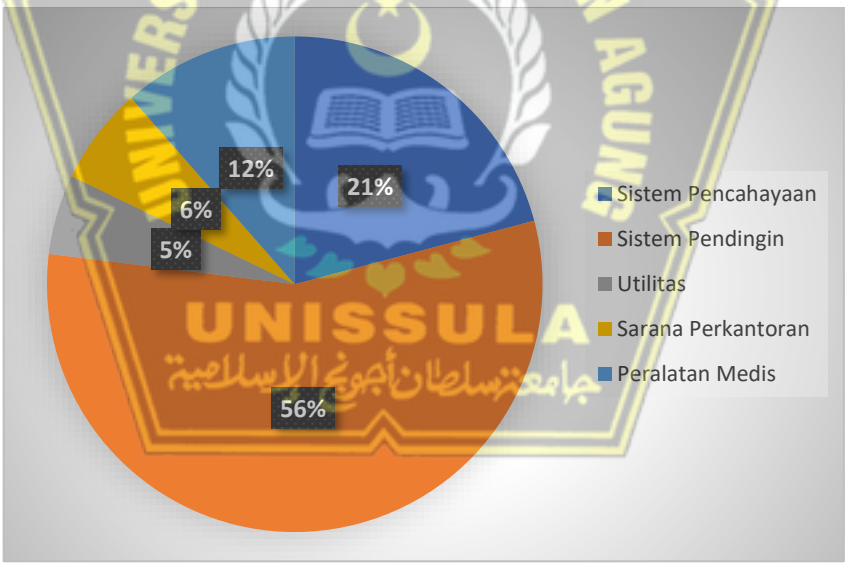
Daya listrik terbesar berasal dari sistem penataan udara sebesar 1035 kW/Hari dan terkecil adalah utilitas sebesar 159 kW/Hari. Untuk konsumsi energi listrik (kWh/Tahun) terbesar adalah berasal dari system penataan udara (AC) yaitu

sebesar 63,35% diikuti sistem pencahayaan 23,58%, sarana kantor sebesar 7,18%, dan konsumsi terkecil pada Utilitas sebesar 5,89%. Terangkum di Tabel 4.12.

Tabel 4. 13 Rekapitulasi Konsumsi Energi Listrik

No	Kelompok Alat	Total Daya (Kw)	Σ Energi (kWh/hari)	Σ Energi (kWh/tahun)	Presentase (%)
1	Sistem Pencahayaan	44,5	1.116	407.340	23,58
2	Sistem Tata Udara	323,3	2.998	1.094.270	63,35
3	Utilitas	28,3	278,6	101.689	5,89
4	Sarana Perkantoran	30,65	340	124.100	7,18
5	Peralatan Medis	105	613	223,745	11.47
	Total Konsumsi		5,346	1,951,144	100.00

Presentase konsumsi energi listrik per hari per kelompok ruangan ditunjukan dalam bentuk diagram pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 4 Presentase Konsumsi Energi Listrik Per Kelompok

4.3.6 Peluang Penghematan Energi

4.3.6.1 Sistem Pencahayaan

Dari jumlah lampu yang ada disimpulkan jenis lampu yang digunakan adalah 86,40% lampu terdiri dari lampu Neon TL, Lampu Hemat Energi (LHE) dan Halogen sedangkan yang menggunakan jenis LED (Light Emitting Diode) dengan

presentase 13,60% dari penyerapan energi total secara keseluruhan. Jika dilakukan upaya penggantian pada jenis jenis lampu yang terhitung boros energi dan mengganti dengan lampu hemat energi yaitu Lampu LED maka ada peluang penghematan energi yang bisa didapatkan. Perbandingan total biaya dari 3 jenis lampu penerangan yaitu lampu pijar, CFL dan LED dinyatakan pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 14 Biaya Penggunaan Jenis Lampu Penerangan

No	Keterangan	Lampu Pijar	Lampu CFL	Lampu LED
1	Umur pakai	4.000 jam	8.000 jam	40.000 jam
2	Konsumsi listrik untuk lumen = 500lm	50 W	13 W	6 W
3	Harga lampu	Rp 8.000	Rp 20.000	Rp 60.000
4	Penggunaan kWh listrik selama 40.000 jam	2.000 kWh	520 kWh	240 kWh
5	Tarif listrik (asumsi daya 1300 VA @1352/kWh) (No.4 x 1352/kWh)	Rp 2.704.000	Rp 703.040	Rp 324.480
6	Penggantian lampu selama 40.000 jam	10 x	5 x	1 x
7	Penggantian lampu baru selama 40.000 jam	Rp 80.000	Rp 100.000	Rp 60.000
8	Total biaya selama 40.000 jam (No.5+No.7)	Rp 2.784.000	Rp 803.040	Rp 384.480

Berdasarkan data perbandingan total biaya yang harus dikeluarkan jika digunakan ketiga jenis lampu diatas, maka potensi penghematan biaya untuk energi listrik yang dapat dicapai pada system penerangan sebesar 51%.

$$Potensi\ penghematan\ biaya\ (\%) = \frac{\text{Rp } 803.040 - \text{ Rp } 384.480 \text{ x } 100\%}{\text{Rp } 803.040} = 51\ \%$$

Diasumsikan bahwa keseluruhan lampu jenis CFL/LHE, Neon TL dan halogen akan diganti dengan jenis LED maka analisa perhitungan potensi penghematan energi seperti pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 15 Potensi Penghematan Energi Sistem Pencahayaan

No	Jenis Lampu	Presentase Jumlah Lampu (%)	Konsumsi Energi Awal (kWh/hari)	Faktor Penghematan (%)	Konsumsi Energi Akhir (kWh/hari)
1	TL+LHE+Halogen	77,2%	861,60	51%	422,18
2	LED	22,8%	254,40	TETAP	254,40
	Jumlah	100%	1.116		676,59

Potensi hemat energi (Sistem Pencahayaan) = 861,60 – 422,18 = 439,414 kWh/hari atau 160.386 kWh/tahun.

4.3.6.2 Sistem Penataan Udara

Atas data Tabel 4.12 penataan udara (AC) memiliki nilai terbesar yaitu sebesar 63,35% dari keseluruhan konsumsi daya total yaitu sebesar 2998 kWh/hari. AC yang digunakan pada RS Banyumanik 2 merupakan tipe teknologi standar.

Penggantian AC dengan menggunakan teknologi inverter 1,5 PK dapat diperoleh penghematan hingga 47,2% [34]. Diasumsikan AC pada kelompok ruang poliklinik lantai 1, 2 dan 3 diganti dengan yang AC berteknologi inverter maka akan didapatkan hasil potensi penurunan konsumsi energi pada sistem penataan udara (AC) sebesar 44,75 kWh/hari atau sama dengan 16.335 kWh/tahun.

Potensi Hemat Energi AC (Teknologi Standar menjadi Inverter) :

= Konsumsi Daya AC x 47,2%

= 94,82 kWh/Hari x 47,2%

= **44,75 kWh/Hari = 16.335 kWh/Tahun**

Dari keempat kelompok peralatan telah dijabarkan di atas yang memiliki peluang hemat energi adalah pada kelompok pencahayaan dan pendingin udara. Rekapitulasi Peluang Hemat Energi atas konsumsi energi masing-masing kelompok alat tersebut dirangkum pada Tabel 4.16.

Tabel 4. 16 Peluang Hemat Energi (PHE)

Kelompok Alat	Peluang Hemat Energi	PHE (kWh/hari)	PHE (kWh/tahun)
Sistem Pencahayaan	Penggantian lampu LHE, TL, Halogen menjadi LED	439,41	160.386
Sistem Pendingin	Penggantian AC Standar 1,5 PK pada Kelompok Ruang Poliklinik menjadi Teknologi Inverter	44,75	16.334
Σ Jumlah PHE		**484,16**	**176.720**

Berdasarkan hasil keseluruhan jumlah peluang hemat energi (PHE) yang sudah didapatkan nilainya selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai intensitas konsumsi energi listrik akhir yang dijelaskan pada Tabel 4.17.

Tabel 4. 17 Potensi Efisiensi Pemakaian Energi Listrik

A	B	C = A - B	D = (A-C)/A*100%
Konsumsi Energi Awal (kWh/tahun)	Peluang Hemat Energi (kWh/tahun)	Konsumsi Energi Akhir (kWh/tahun)	Potensi Efisiensi
362.738	**176.720**	**186.018**	**48,72%**

PHE yang didapat dari kelompok peralatan adalah sebesar 176.720 kWh/tahun atau 48,72% dari nilai energi awal, dengan nilai konsumsi energi listrik akhir sebesar 186.018 kWh/Tahun. Besarnya selisih nilai energi listrik diatas adalah merupakan potensi efisiensi konsumsi energi listrik yang bisa didapat setiap tahunnya (kWh/Tahun) jika peluang peluang hemat energi tersebut bisa di implementasikan menjadi program nyata dalam bentuk pengelolaan sistem energi yang baru.

4.3.7 Perhitungan Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Akhir

Nilai IKE akhir Tahun 2022 merupakan nilai IKE yang didapatkan apabila kemungkinan peluang hemat energi yang sudah dianalisa dapat diimplementasikan menjadi program nyata dalam bentuk pengelolaan energi yang baru oleh pihak RS Banyumanik 2. Merujuk persamaan (2.2) besarnya nilai PHE yang didapatkan sebesar 171.563 kWh/Tahun, sehingga didapatkan nilai IKE Akhir Tahun 2022 sebesar 26,88 kWh/ m^2/ tahun.

$$IKE\ Akhir = \frac{86.018}{6.921} == 26{,}88\ \text{kWh/m2/tahun}$$

Berdasarkan pedoman nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Listrik pada Tabel 2.2, maka nilai IKE akhir ini masi berada dibawah kategori sangat efisien yang menunjukan energi terkelola dengan baik dan sudah menerapkan hemat energi karena nilainya berada dibawah range 50,04-93,04 kWh/m²/tahun.

4.3.8 Perbandingan Nilai IKE Awal dan IKE Akhir

Nilai IKE awal adalah nilai IKE real yang didapat berdasarkan jumlah kWh per bulan pada Tahun 2022, sedangkan IKE akhir adalah nilai IKE yang dapat diperoleh apabila kemungkinan potensi peluang hemat energi yang telah dijelaskan di atas dapat diimplementasikan dalam tindakan nyata pada Rumah Sakit Banyumanik 2, Semarang, perbandingan nilai IKE awal dan akhir dintunjukan di Tabel 4.17.

Tabel 4. 18 Perbandingan Nilai IKE Awal dan IKE Akhir

No	Item	IKE Awal	IKE Akhir
1	Nilai (kWh/m²/Tahun)	72,978	37,424
2	Indeks	*Energy Efficiency*	*Energy Efficiency*

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil Analisis Konsumsi Energi Listrik Pada Rumah Sakit Umum Banyumanik Semarang Berdasarkan Audit Energi dengan Fuzzy Logic, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Perolehan nilai intensitas konsumsi energi awal sebesar 72,978 kWh/ m^2/ tahun. Mengacu pada Tabel 2.2 maka nilai IKE awal ini termasuk dalam katagori sangat efisien dengan konsumsi energi listrik total sebesar 362.738 kWh/m^2/Tahun.
2. Perhitungan fuzzifikasi menghasilkan 9 rules dengan input kWh total dan BOR serta output IKE dikelompokan menjadi 3 kategori yaitu efisien, cukup efisien dan tidak efisien. Data Bulan Desember Tahun 2022 menghasilkan nilai defuzifikasi sebesar 12,36 berada di dalam range IKE dengan kriteria Cukup Efisien (12,08 - 19,17).
3. Audit energi rinci dijabarkan 5 beban terpasang yang memiliki pengaruh besar terhadap penyumbang daya rumah sakit antara lain, sistem pencahayaan, system tata udara, peralatan medis, utilitas dan sarana kantor. Untuk konsumsi energi listrik (kWh/Tahun) terbesar adalah dari sistem tata udara (AC) yaitu 63,35% diikuti sistem pencahayaan 23,58%, peralatan medis sebesar 11,47%, peralatan kantor sebesar 7,18%, dan konsumsi terkecil pada utilitas sebesar 5,89%.
4. Peluang hemat energi diperhitungkan dengan penggantian pada jenis lampu LED serta teknologi AC inverter yang menghasilkan potensi efisiensi sebesar 48,72%.
5. Perhitungan Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Akhir setelah PHE adalah sebesar 37,42 kWh/ m2/ tahun. Disimpulkan nilai IKE akhir ini sangat efisien. Hal ini masuk akal dikarenakan hasil perhitungan IKE awal sebelum dilakukan analisa peluang hemat energi pun sudah berada di dalam kategori efisien.

5.2 Saran

Rumah Sakit Banyumanik 2 sudah memilki nilai IKE yang sangat efisien pada pelaksanaan audit energi awal sehingga tidak perlu melanjutkan perhitungan pada audit energi rinci. Hal ini dimungkinkan karena rumah sakit tersebut baru 1 tahun lebih beroperasional sehingga tingkat kunjungan pasien juga belum terlalu tinggi. Perhitungan peluang hemat energi dalam audit energi rinci yang dilakukan di penelitian ini hanya sebagai rekomendasi yang berguna untuk nantinya menjadi kebijakan kontrol hemat energi apabila ke depan terjadi pemborosan seiring berjalannya waktu. Hasil dari perhitungan audit energi dapat dicapai dalam kondisi nyata dengan dilakukan tindakan berdasarkan rekomendasi potensi peluang hemat energi yang telah dijabarkan di atas.

1. Diupayakan untuk penggantian AC yang masih memakai teknologi standart dengan yang telah berteknologi inverter guna mempertahankan nilai IKE tetap berada di kategori efisien.
2. Penggantian jenis lampu LED agar nilai konsumsi energi listrik menjadi jauh lebih efisien.
3. Implementasi metode fuzzy pada program audit energi / perhitungan IKE pada Rumah Sakit agar menjadi kontrol dalam pola penggunaan energi di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. Ike, D. A. N. Ahp, D. I. Ruang, And R. Inap, "Tugas Akhir," 2020.

[2] M. Ikhsan And M. Saputra, "Audit Energi Sebagai Upaya Proses Efisiensi Pemakaian Energi Listrik Di Kampus Universitas Teuku Umar (Utu) Meulaboh," Vol. 2, No. 3, Pp. 136–146, 2016.

[3] C. W. Edy, "Wali Kota Semarang Hendrar Prihadi Resmikan Rsu Banyumanik 2 Semarang," *Https://Jateng.Tribunnews.Com/*, Semarang, 2021.

[4] A. D. Yuliantoro, A. A. Nugroho, And H. B. Sukoco, "Analisa Konsumsi Energi Listrik Untuk Penghematan Energi Listrik Di Gedung Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung," *Klaster Eng.*, Pp. 172–179, 2019.

[5] M. K. Rahma Farah Ningrum, S.Kom, "Implementasi Logika Fuzzy Pada Pola Penggunaan Energi Listrik Pada Suatu Gedung Berdasarkan Hasil Audit Energi," *J. Tek. Vol. 3 No. 1, Agustus 2014*, Vol. 1999, No. December, Pp. 1–6, 2006.

[6] S. R. Maulida, M. Galina, And J. W. Simatupang, "Analisis Intensitas Konsumsi Energi Rs Medirossa Cikarang," *J. Electr. Electron. Eng.*, Vol. 2, No. 1, P. 20, 2019.

[7] B. Saing, M. Krismahariyanto, N. Fahdillah, And Universitas Bhayangkara Jakarta Raya, "Audit Awal Energi Listrik Rs Kartika Husada Tambun Bungaran," Vol. 1, No. 1, Pp. 25–33, 2019.

[8] C. Y. Rachmat, I. N. S. Kumara, And I. A. . Giriantari, "Studi Manajemen Energi Di Rumah Sakit Prima Medika Denpasar," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, Vol. 18, No. 1, P. 23, 2019.

[9] P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, And U. W. Purwokerto, "J-Proteksion : Jurnal Kajian Ilmiah Dan Teknologi Teknik Mesin Simulasi Audit Energi Pada Rumah Sakit Umum Daerah Banyumas," Vol. 5, No. 2, Pp. 12–19, 2021.

[10] A. M. Sunu Arsy Pratomo, Muhamad Haddin, "Efisiensi Penggunaan Energi Listrik Pada Gedung Dengan Metode Demand Side Manajement (DSM) Berbasis Analytical Hierarchy Process (AHP)," *J. Telemat. Informatics*, Vol. 7, No. February, Pp. 1–9, 2019.

[11] F. S. Apriliana, "Perancangan Pencahayaan Di Perpustakaan Universitas Sebelas Maret Menggunakan Pendekatan Metode Fuzzy AHP," *Uns-Fak.Teknik-Progr. Stud. Tek. Ind.*, 2019.

[12] A. Cahyanto, S. Nisworo, And D. Pravitasari, "Audit Penggunaan Energi Listrik Pada Air Conditioner Di Rumah Sakit Tipe C (Studi Kasus : Rsud Dr. R. Soetrasno Rembang Jawa Tengah)," *Theta Omega J. Electr. Eng.*, P. 2021, 2021.

[13] A. G. Safitra And M. D. A. P. Putra, "Konservasi Energi Sektor Bangunan Rumah Sakit Cempaka Putih Permata Surabaya," *J. Technopreneur*, Vol. 8, No. 2, Pp. 97–102, 2020.

[14] C. J. F. Mangaku, L. S. Patras, And M. Rumbayan, "Analisa Audit Energi Rs . Gmibm Monompia Kotamobagu Pendahuluan Latar Belakang Energi Listrik Merupakan Bagian Yang Penting Manusia Dalam Kehidupan Dalam

Kegiatan Hal Ini Dikarenakan Peralatan Listrik Seperti Peralatan Elektronik , Pengkondisian Udara , L," Pp. 1–10.
[15] R. Adriman, M. Asfianda, A. A, And Y. Away, "Sistem Embedded Cerdas Menggunakan Logika Fuzzy Untuk Efisiensi Konsumsi Energi Listrik," *J. Ilm. Tek. Elektro Komput. Dan Inform.*, Vol. 4, No. 1, P. 58, 2018.
[16] S. Informasi, M. Syamsudin, And W. Yuniarto, "Prosiding Seminar Nasional Sisfotek Penentuan Prioritas Efisiensi Energi Listrik Menggunakan Metode Fuzzy Logic," *Pros. Sisfotek*, Vol. 3584, Pp. 124–128, 2017.
[17] J. Jamal, M. Marlina, And F. Dwi, "Audit Energi Dan Analisis Peluang Penghematan Energi Listrik Pada Bagian Produksi Di Pt. Epfm Makassar," *J. Sinergi Jur. Tek. Mesin*, Vol. 17, No. 1, P. 42, 2019.
[18] W. Gunawan, "Mengurangi Konsumsi Energi Dengan Audit Dan Manajemen Energi Pada Ruang Kendali (Studi Kasus Di PT. PWI)," *J. Ind. Serv.*, Vol. 4, No. 1, 2018.
[19] M. Mieftah, "Kajian Efisiensi Energi Dengan Pengaturan Suplai Energi Listrik," *J. Eltek*, Vol. 16, No. 1, P. 98, 2018.
[20] Dkk Ahmad Wahid, "Analisis Kapasitas Dan Kebutuhan Daya Listrik Untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik Di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura," *J. Tek. Elektro Untan*, Vol. 2, No. 1, P. 10, 2014.
[21] D. Despa, M. A. Muhammad, A. Surianto, A. Hamni, G. F. Nama, And Y. Martini, "Monitoring Dan Manajemen Energi Listrik Gedung Laboratorium Berbasis Internet Of Things (IOT)," *Semin. Nas. Tek. Elektro 2018*, Pp. 2–6, 2018.
[22] Ratnanto Fitriadi And Yanuarti Werdaningsih, "Audit Energi Dengan Pendekatan Metode AHP (Analytical Hierarchy Process) Untuk Penghematan Energi Listrik (Studi Kasus : PT . ABC)," No. 2015, Pp. 126–134, 2016.
[23] Mentri Energi Dan Sumber Daya Mineral, "Peraturan Mentri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor 14 Tahun 2012 Tentang Manajemen Energi," P. 19, 2012.
[24] J. Teruna, "Audit Energi Awal Melalui Perhitungan Instensitas Konsumsi Energi (IKE) Listrik," *J. Elektr. Borneo*, Vol. 5, No. 2, Pp. 27–30, 2019.
[25] Badan Standardisasi Nasional (BSN), "Prosedur Audit Energi Pada Bangunan Gedung," *Sni 03-6196-2000*, P. 14, 2000.
[26] J. Y. Muhammad, A. A. Adamu, A. M. Alhaji, And Y. Y. Ali, "Energy Audit And Efficiency Of A Complex Building: A Comprehensive Review," *Eng. Sci.*, Vol. 3, No. 4, Pp. 36–41, 2018.
[27] P. Studi *Et Al.*, "Analisa Kebutuhan Dan Konservasi Energilistrikpada Museum Provinsi Kalimantan Barat."
[28] Suharto, "Analisis Penghematan Energi Listrik Pada Rumah Sakit Umum Daerah Dokter Soedarso Pontianak," *J. Elkha*, Vol. 8, No. 1, Pp. 13–19, 2016.
[29] R. Dewi, Sarwono, And R. Hantoro, "Audit Dan Konservasi Energi Pada Rumah Sakit Angkatan Laut Dr. Ramelan Surabaya," *Inst. Teknol. Sepuluh Novemb.*, Pp. 1–8, 2013.
[30] P. Magister, B. Keahlian, T. Sistem, P. Studi, T. Elektro, And F. T. Industri,

"Tesis – Te142599," 2015.
[31] I. N. S. Kumara, "Manajemen Energi Di Rumah Sakit Surya Husadha Denpasar," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, Vol. 11, No. 2, 2014.
[32] A. R. Wardani, Y. N. Nasution, And F. D. T. Amijaya, "Aplikasi Logika Fuzzy Dalam Mengoptimalkan Produksi Minyak Kelapa Sawit Di PT. Waru Kaltim Plantation Menggunakan Metode Mamdani," *Inform. Mulawarman J. Ilm. Ilmu Komput.*, Vol. 12, No. 2, P. 94, 2017.
[33] S. Widaningsih, "Analisis Perbandingan Metode Fuzzy Tsukamoto, Mamdani Dan Sugeno Dalam Pengambilan Keputusan Penentuan Jumlah Distribusi Raskin Di Bulog Sub. Divisi Regional (Divre) Cianjur," *J. Inform. Dan Manaj. Stmik*, Vol. 11, No. 1, Pp. 51–65, 2017.
[34] M. R. Suprayogi, U. Wibawa, And M. Shidiq, "Analisis Audit Energi Pada Beban HVAC (Heat, Ventilation, And Air Conditioning) Di Rumah Sakit Umum Daerah Dr. Saiful Anwar Malang," *Semin. Tek. Energi Elektr.*, Pp. 1–6, 2014.

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية